

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 8 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Génie Civil

Option : STRUCTURES

Présenté par : HARRAT Ferial

**Thème : Contribution à l'étude du comportement d'un
béton renforcé par des fibres métalliques**

Sous la direction de : Dr. KECHKAR Chiraz

Juin 2024

Dédicaces :

Celui qui a dit que je suis à elle ... l'aura ; Et je suis à elle, et si elle refuse contre sa volonté, je la lui amènerai.

Je l'ai réalisé et aujourd'hui j'ai embrassé une grande gloire. Le rêve n'était pas proche et le chemin n'était pas facile ... mais je suis arrivé.

Louange à dieu pour le début et la fin ; louange à dieu pour l'amour, les remerciements et la gratitude, grâce à qui j'ai atteint les objectifs les plus élevés.

Je dédie ma mémoire de fin d'étude avec amour à :

- *Mon grand moi qui a enduré tous les pièges et déceptions et a terminé malgré les difficultés.*

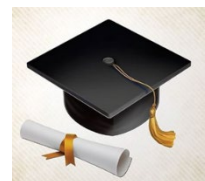
- *Les personnes plus chères à mon cœur, mon premier soutien après dieu **ma Mère et mon père** que dieu ait pitié de lui*

- *A ceux dont les mains se sont tendues vers moi dans les moments de faiblesse, vers mon cote inébranlable et la sécurité de mon cœur, mes frères **Réda et Skander.***

- *A mes amis Sarra, Dounia, Ines, Djihane et a tous mes collègues de la spécialité.*

- *A tous ceux qui m'ont donné un coup de main de près ou de loin et m'ont aidé.*

... HARRAT Ferial ...



Remerciements :

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

*Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à ma promotrice **Mme KECHKAR Chiraz** pour la qualité de son encadrement, pour sa patience, sa rigueur, ses encouragements, et son aide durant la période de réalisation de ce modeste travail.*

Mes remerciements vont également au responsable du Laboratoire de béton, Université 8 Mai 1945, en Génie Civil de GUELMA.

*Mes vifs remerciements vont également aux **membres du jury** qui nous feront l'honneur de juger ce travail.*

Notre sincère gratitude va vers tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

SOMMAIRE

Résumé	V
Abstract	VI
ملخص	VII
Liste des figures	IX
Liste des tableaux	X
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE BETON RENFORCE PAR DES FIBRES METALLIQUES	
I.1. GENERALITE SUR LE BETON	3
I.2. GENERALITE SUR LE BETON ARME	3
I.3. LES CONSTITUANTS DU BETON	4
I.3.1. Ciment	4
I.3.2. Granulats	4
I.3.4. L'eau de gâchage	5
I.4. LES METHODES DE FORMULATION D'UN BETON ORDINAIRE	6
I.4.1. La méthode de Bolomey	6
I.4.2. La méthode de Faury	6
I.4.3. La méthode de Dreux-Gorisse :	6
I.5. LES TYPES DES BETONS	7
I.5.1. Le béton léger	7
I.5.2. Le béton lourd	7
I.5.3. Le béton armé	7
I.5.4. Le béton autoplaçant	7
I.5.6. Le béton prêt à l'emploi	8
I.5.7. Le béton précontraint	8
I.5.9. Le béton haute performance	8
I.5.10. Le béton projeté	8

I.5.11. Le béton fibré	8
I.6. HISTORIQUE SUR L'UTILISATION DES BETONS ET DES FIBRES	9
I.7. AVANTAGES DU BETON FIBRE	10
I.7.1. Aspect technique	10
I.7.2. Aspect économique	11
I.8. MISE EN ŒUVRE DU BETON RENFORCE DE FIBRES	11
I.9. LES FIBRES	11
I.10. LES DIFFERENTS TYPES DES FIBRES	11
I.10.1. Les fibres organiques	11
a) Les fibres végétales et animales	11
b) Les fibres synthétiques	12
I.10.2. Les fibres non organiques	13
a) Les fibres minérales	13
b) Fibres artificielles	13
I.11. ROLE DES FIBRES METALLIQUES DANS LE BETON	16
I.12. INFLUENCE DES FIBRES METALLIQUES SUR LE COMPORTEMENT MECANIQUE DU BETON	17
I.12.1. Comportement en compression	17
I.12.2. Comportement en traction	18
I.13. DOMAINES D'UTILISATION DU BETON RENFORCE DE FIBRES METALLIQUES	19
I.14. LES AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES FIBRES METALLIQUES	20
I.14.1. Avantages des fibres	20
I.14.2. Inconvénients des fibres	21
I.15. CONCLUSIONS	21
CHAPITRE II : CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES ET METHODES EXPERIMENTALES	
II.1. INTRODUCTION	24
II.2. MATERIAUX UTILISES	24
II.3. LES ESSAIS PRELIMINAIRES SUR LES GRANULATS	25
II.3.1. Analyse granulométrique (Norme NA 2607)	25

II.3.1.1. Principe de l'essai	25
II.3.1.2. Description de l'essai	26
II.3.2. Module de finesse (Norme NA 2607)	27
II.3.3. Masse Volumique (Norme NA 255)	28
II.3.4. Mesure de la propreté des granulats	29
II.3.5. Mesure de la dureté des graviers (NA 458)	30
II.4. LE CIMENT :	30
II.5. EAU DE GACHAGE	31
II.6. LES FIBRES	31
II.7. FORMULATION DES BETONS	31
II.7.1. Dosages des bétons	37
II.7.2. Confection des éprouvettes	37
II.7.3. Moulage et démoulage	39
II.8. PRESENTATION DES ESSAIS	40
II.8.1. Mesure de la consistance	40
II.8.2. Masse volumique à sec (méthode par pesée hydrostatique)	40
II.8.3. L'absorption à l'eau par immersion totale	41
II.8.4. Essai par Ultra-son	42
II.8.5. Essai du scléromètre	43
II.8.6. Essai de compression	44
II.8.7. Résistance au fendage (ou essai brésilien)	44
II.8.8. Essai de traction par flexion	45
II.10. CONCLUSION	46
CHAPITRE III : PRESENTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS	
III.1. INTRODUCTION	50
III.2. RESULTATS ET INTERPRETATIONS	50
III.2.1. L'affaissement au cône d'Abrams	50
III.2.2. Masse volumique à sec	51
III.2.3. Absorption à l'eau	52

III.2.4. Essai d'ultrason	53
III.2.5. Essai de compression	55
III.2.5.1. Résistance à la compression à 28 jours	55
III.2.5.2. Evolution de la résistance à la compression en fonction de l'âge du béton	58
III.3. Résistance à la traction par fendage	59
III.3.1. Résistance à la traction par fendage à 28 jours	59
III.3.2. Evolution de la résistance à la traction par fendage en fonction de l'âge du béton	60
III.2.4. Essai de traction par flexion	62
III. 2.5. Mode de rupture des éprouvettes soumise à la traction	63
III.6. CONCLUSION	65
CONCLUSION GENERALE	67

Résumé :

Ces dernières années notre environnement connaît une forte abondance de déchets dans la nature. Ces déchets, de tout genre, créent des problèmes environnementaux de plus en plus incontrôlables.

Ce travail s'inscrit dans le cadre du recyclage et de la valorisation des déchets solides abondant dans la nature comme fibres pour la production des bétons. Il vise à examiner l'effet de l'ajout de fibres d'aluminium issues des canettes de boisson sur le comportement du béton. Pour cela, des bétons ont été fabriqués, on faisant varier le pourcentage des fibres de 1% à 3% de la masse de ciment. Une comparaison des résultats d'affaissement, masse volumique à sec, la vitesse ultrasonique, la résistance à la compression, à la traction et l'absorption d'eau par immersion totale avec le béton témoin a été faite.

Les résultats ont montré que l'introduction jusqu'au 2% de fibres d'aluminium issues des canettes de boisson dans le béton donne des résultats de résistance à la compression acceptable, ainsi qu'une amélioration remarquable de la résistance à la traction par flexion (jusqu'à 30.9%) et par fendage (jusqu'à 13.7%). Ainsi une diminution de la masse volumique et l'absorption d'eau par immersion totale du béton.

Mots clés : comportement - béton – déchet – recyclage – fibres métalliques.

ABSTRACT :

In recent years, our environment has witnessed a significant abundance of waste in nature, causing uncontrollable and huge environmental issues.

This work falls within the framework of recycling and retrieving solid waste available in nature as fibers for concrete production.

The aim and the purpose of this is to test the effect of adding aluminum fibers from beverage cans on the behavior of concrete. Concrete was manufactured with varying fiber ratios from 1 percent to 3 percent of the cement mass. A comparison was made of slump results, dry bulk density, ultrasonic wave velocity, compressive and tensile strength, and water absorption by total immersion with control concrete.

The results showed that incorporating up to 2 percent aluminum fibers from beverage cans into concrete leads to a significant improvement in flexural tensile strength by up to 30.9 percent and by splitting (up to 13.70 percent). There was also a decrease in density and water absorption by total immersion for the concrete.

Keywords: workability–dry density–compressive strength – tensile strength – flexural strengt

ملخص:

في السنوات الأخيرة، عرفت بيتنا وفرة كبيرة من النفايات في الطبيعة. هذه النفايات، بجميع أنواعها تخلق مشاكل بيئية لا يمكن السيطرة عليها.

وهذا العمل يندرج في إطار إعادة التدوير واسترجاع النفايات الصلبة المتوفرة في الطبيعة كألياف لإنتاج الخرسانة. يهدف هذا العمل الى اختبار تأثير إضافة الياف الألومينيوم من علب المشروبات على سلوك الخرسانة.

ولهذا، تم تصنيع الخرسانة، مع تغيير نسبة الالياف من 1 بالمئة الى 3 بالمئة من كتلة الاسمنت. تم اجراء مقارنة نتائج الهبوط، الكتلة الحجمية الجافة، سرعة الموجات فوق الصوتية، مقاومة الضغط، والشد، امتصاص الماء بالغمر الكلي مع خرسانة التحكم.

أظهرت النتائج ان دمج ما يصل الى 2 بالمئة من الياف الالومينيوم من علب المشروبات في الخرسانة يؤدي الى تحسن ملحوظ في قوة شد الانحناء تصل الى 30.9 بالمئة وعن طريق الانقسام (حتى 13.70 بالمئة). وأيضا انخفاض الكثافة وامتصاص الماء عن طريق الغمر الكلي للخرسانة.

الكلمات المفتاحية: سلوك-خرسانة - نفاية - إعادة تدوير - الياف معدنية.

LISTE DES FIGURES

**CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE BETON
RENFORCE PAR DES FIBRES METALLIQUES**

Figure I.1. Le béton armé	4
Figure I.2. Fibres végétales	12
Figure I.3. Fibres de polypropylènes	12
Figure I.4. Fibres d'amiante	13
Figure I.5. Fibres de verre	13
Figure I.6. Fibres de carbone	14
Figure I.7. Différents types des fibres métalliques	14
Figure I.8. Schémas descriptifs comment les fibres couvrent les microfissures	17
Figure I.9. Fissuration dans le béton sans et avec fibres	17
Figure I.10. Courbe d'évolution de la contrainte à la compression en fonction de la déformation avec différent pourcentage des fibres (Bencardino, 2008)	18
Figure I.11. Diagramme représente comportement de charge-déformation de béton avec fibres et béton sans fibres	18

**CHAPITRE II : CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES ET
METHODES EXPERIMENTALES**

Figure II.1. Matériaux utilisés pour la formulation des bétons	24
Figure II.2. Tamiseuse utilisée pour l'essai d'analyse granulométrique	24
Figure II.3. Courbes granulométriques des sable et gravier 3/8 et 5/15	26
Figure II.4: Mesure des masses volumiques absolue et apparente	27
Figure II.5. Machine d'équivalent de sable	28
Figure II.6. Les canettes	30
Figure II.7. Fibres de canette	30
Figure II.8. Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône)	31
Figure II.9. Courbes granulométriques	34
Figure II.10. Bétonnière utilisée	37

Figure II.11. Béton de fibres	37
Figure II.12. Mise en place du béton et la conservation des éprouvettes	38
Figure II.13. Cône d'Abrams	39
Figure II.14. Dispositif d'essai par pesée hydrostatique	41
Figure II.15. Appareil à ultrasons	42
Figure II.18. Photo du scléromètre utilisé	43
Figure II.17. Presse utilisée pour l'essai de compression	44
Figure II.18. Essai traction par fendage	45
Figure II.19. Essai de traction par flexion	46
CHAPITRE III : PRESENTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS	
Figure III.1. Variation de l'affaissement du béton en fonction du pourcentage en fibres	50
Figure III.2. Essai de l'affaissement pour le béton fibré ou ordinaire	51
Figure III.3. Variation de la masse volumique pour les différents pourcentages des fibres dans le béton	51
Figure III.4. Valeurs de l'absorption par immersion totale pour les quatre bétons d'étude	52
Figure III.5. Essai d'ultrason sur éprouvette cubique	54
Figure III.6. Variation de la vitesse dans chaque pourcentage en fonction des jours	54
Figure III.7. Ecrasement de l'éprouvette	56
Figure III.8. Résistance à la compression par la presse à 28 jours de différents pourcentages de fibre	56
Figure III.9. Résistance à la compression par scléromètre à 28 jours de différents pourcentages de fibre	57
Figure III.10. Variation de la résistance à la compression en fonction de l'âge du béton et le de dosage des fibres	58
Figure III.11. Essai de traction par fendage de l'éprouvette	59
Figure III.12. Résistance à la traction par fendage à 28 jours de différents pourcentages de fibre	60
Figure III.13. Variation de la résistance en traction par fendage en fonction de l'âge des éprouvettes et en fonction de dosage des fibres	61
Figure III.14. Essai de traction par flexion de l'éprouvette.	62
Figure III.15. Variation de la résistance en traction par flexion en fonction de l'âge des éprouvettes et en fonction de dosage des fibres.	63
Figure III.16. Mode de rupture à traction par fendage du 4 pourcentage	64
Figure III.17. Mode de rupture à la traction par flexion du 4 pourcentage	65

LISTE DES TABLEAUX

**CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE BETON RENFORCE
PAR DES FIBRES METALLIQUES**

Tableau I.1. Caractéristiques et les types des granulats	5
Tableau I.2. Caractéristiques des fibres couramment utilisées [BOUZ. 03]	15
Tableau I.3. Les sites de l'utilisation du béton de fibre	20

**CHAPITRE II : CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES
ET METHODES EXPERIMENTALES**

Tableau II.1. Analyse granulométrique du gravier 5/15	26
Tableau II.2. Analyse granulométrique du gravier 3/8	26
Tableau II.3. Analyse granulométrique du sable	27
Tableau II.4. Les classes des sables	28
Tableau II.5. Résultats de l'essai des masses volumiques	28
Tableau II.6. Valeurs de l'essai de propreté des graviers	29
Tableau II.7. Valeurs de l'essai d'équivalent de sable	30
Tableau II.8. Valeurs de l'essai de dureté (Los Angeles)	30
Tableau II.9. Composition chimique moyenne du ciment CPJ-CEM II/A utilisé	30
Tableau II.10. Correction sur le dosage de pate en fonction de D_{ma}	33
Tableau II.11. K en fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment	34
Tableau II.12. Les pourcentages des constituants	34
Tableau II.13. Formulation finale du béton	36
Tableau II.14. Relation générale entre la qualité du béton et la vitesse d'impulsion	43

**CHAPITRE III : PRESENTATION ET INTERPRETATION
DES RESULTATS**

Tableau III.1. Variation de l'affaissement du béton en fonction du dosage en fibres métalliques	50
Tableau III.2. Valeurs de la masse volumique pour les quatre bétons étudiés	51

Tableau III.3. Valeurs de l'essai d'absorption d'eau par immersion totale pour les différents bétons d'étude	52
Tableau III.4. Résultats d'ultrason des différents types du béton à 7, 14 et 28 jours	53
Tableau III.5. Résistances ultimes à la compression pour les quatre formulations	55
Tableau III.6. Valeurs des résistances à la compression pour les quatre formulations	57
Tableau III.7. Résultats d'écrasement des différents types du béton à 7 et 14 jours	58
Tableau III.8. Résistance à la traction par fendage pour les quatre formulations	59
Tableau III.9. Résultats au fendage des différents types du béton à 7, 14 et 28 jours.	61
Tableau III.10. Résultats de la traction par flexion des différents types du béton à 7 et 28 jours	62

INTRODUCTION GENERAL

INTRODUCTION GENERALE

Les bâtiments et les ouvrages de génie civil sont généralement réalisés en béton. Sa mise en œuvre nécessite peu des moyens, sa plasticité permet d'obtenir de multiples formes, composé de granulats (gravier et sable), de ciment et d'eau et éventuellement d'adjuvant.

Le béton est un matériau dont les performances en traction sont faibles par rapport à celles en compression. Pour l'utilisation efficace d'un tel matériau, il a été nécessaire de le renforcer par des aciers qui reprennent les efforts de traction : le béton armé. Le renforcement de la zone tendue du béton par des armatures en acier a permis le développement de ce matériau dans le bâtiment et les travaux publics. Cette solution, outre toutes ses qualités (résistance, formulation relativement simple, facilité de mise en œuvre...), présente néanmoins deux inconvénients : ce matériau est fortement hétérogène et son comportement en traction reste du type fragile. De plus, sa mise en œuvre se heurte parfois à la complexité du ferrailage.

Cependant, l'incorporation des fibres au sein du béton améliore son comportement de façon à augmenter ces caractéristiques mécaniques. Ce procédé a donné naissance à un nouveau matériau qui présente une bonne résistance à la traction, au choc, à la fatigue, un comportement post-rupture satisfaisant et un caractère plus ou moins homogène dans tout le volume de la matrice.

Les bétons renforcés avec des fibres sont utilisés en différentes applications, on cite les dallages industriels, la réparation des canalisations d'assainissement, la projection sous voûte dans les tunnels, la réalisation de chaussées entièrement faites en béton de fibres, des chaussées d'autoroutes ou chaussées de parkings aéronautique.

Parmi les types des fibres, on a les fibres métalliques. Elles sont les plus utilisées en raison de leur amélioration significative des caractéristiques mécaniques du béton. Cependant, l'inconvénient principal de ce type de fibre est leur coût. Leur production coûte plus cher que leur bénéfice. Par conséquent, un matériau alternatif basé sur le recyclage ou la réutilisation semble comme solution parfaite pour réduire cet inconvénient.

D'autre part, l'accumulation des déchets non dégradables devenant de plus en plus incontrôlable et occupant un espace public, non négligeable, a mis en lumière l'utilisation de

Ces matériaux dans plusieurs usages, à savoir, des applications dans le domaine de la construction, permettant à la fois, de réduire le cout de fabrication et d'améliorer les performances des composites cimentaires, sans oublier la protection de l'environnement

Par ailleurs, les métaux sont les matériaux les plus recyclés au monde. Contrairement à d'autres, et grâce à la technologie actuelle, ils sont relativement faciles et peu coûteux à séparer et à réintroduire dans le cycle de fabrication, Parmi les métaux recyclables star, nous trouvons l'aluminium et l'acier, qui peuvent être réintroduits encore et encore dans le cycle sans perdre leurs propriétés.

Notre travail s'inscrit dans ce contexte. Il vise à étudier le comportement d'un béton renforcé par des fibres métalliques élaborées d'un déchet abondant. Ces fibres sont récupérées des canettes de boisson.

Cette étude comprend trois principaux chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à la recherche bibliographique, en présentant les notions fondamentales des bétons, des bétons renforcés par des fibres, à savoir les avantages du béton fibré, les différents types de fibres utilisées dans les domaines de la construction, notamment les fibres métalliques et leur influence sur le comportement mécanique du béton.
- Le deuxième chapitre présente les caractéristiques des matériaux employé pour la confection des bétons (ciment, eau, granulats), les formulations étudiées ainsi les procédures expérimentales adoptées pour les différents essais réalisés.
- Dans le dernier chapitre nous avons présenté les résultats obtenus et la discussion concernant la caractérisation mécanique d'un béton ordinaire et des bétons fibrés avec des fibres recyclées des canettes de boisson.

Nous finalisons ce travail par une conclusion générale dans laquelle nous rappelons les principaux résultats obtenus.

CHAPITRE I :

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE BETON RENFORCE PAR DES FIBRES METALLIQUES

I.1. GENERALITE SUR LE BETON [1]

Depuis sa création, le béton est fabriqué à partir de ciment, d'eau et de granulats comme ingrédients de base. Le ciment représente la phase liante du béton et a une granulométrie de 1 à 100 micromètres. Sable d'une granulométrie de 1 à 5 mm et granulats ou graviers d'une granulométrie de 5 à 25 mm.

Les Romains le fabriquaient à partir de chaux, de céramiques broyées et de sable volcanique (Vitruve, Les Architectes, 1er siècle avant JC). Le Panthéon de Rome, construit en 124 après JC, est recouvert d'un immense dôme en béton.

Actuellement, c'est le matériau le plus couramment utilisé dans tous les domaines de la construction, y compris les structures telles que les ponts et les barrages, les ouvrages de génie civil et même les pistes et les jetées portuaires.

Si le matériau est plastique et de consistance normale lors de la fabrication, ses propriétés mécaniques seront conservées dans le temps. Le béton fini doit être considéré comme un matériau composite constitué de granulats et de pâte de ciment durcie. Ses propriétés dépendent en grande partie de sa formulation.

L'évolution des connaissances sur les matériaux et les nouvelles exigences en matière utilisée encouragent les chercheurs et les fabricants à incorporer de nouveaux produits dans leurs formulations pour obtenir les propriétés souhaitées.

I.2. GENERALITE SUR LE BETON ARME [2]

La mise en œuvre du béton armé est généralement attribuée à Joseph Lambot, qui fit flotter un bateau en béton armé en 1848, et à Joseph Monnier, qui fabriqua ses propres bacs à fleurs à partir de ce matériau en 1849. C'était sous la direction de Joseph Monnier, mais fut également popularisé par Coignet., François Hennebique et Armand Gabriel, ce système s'est rapidement répandu en France. En 1906, une Circulaire Ministérielle établit les instructions d'utilisation du béton armé et codifie pour la première fois la conception et les calculs des ponts et des bâtiments utilisant ce matériau.



Figure I.1. Le béton armé [3].

L'invention du béton précontraint par Eugène Freycinet vers 1930 marque un nouvel essor. Par la suite, avec la mise en œuvre du concept de précontrainte et l'amélioration de la compréhension du comportement mécanique et rhéologique du béton, d'importantes étapes conceptuelles ont été franchies qui ont représenté une véritable révolution dans la technologie de la construction.

I.3. LES CONSTITUANTS DU BETON [4]

I.3.1. Ciment :

Les ciments sont des poudres fines obtenues par cuisson à haute température (vers 1450 °C) et broyage d'un mélange minéral constitué de calcaire et d'argile (en général).

Ces poudres constituées de sels minéraux anhydres instables (en particulier les silicates et aluminates de chaux) forment avec l'eau une pâte capable par « hydratation » de faire prise et de durcir progressivement. Cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité même sous eau, d'où le nom de liants hydrauliques.

I.3.2. Granulats :

Le granulats, qu'on appelle aussi agrégat, est un fragment de roche, d'une taille inférieure à 125 mm (sables, gravillons et graviers), destiné à entrer dans la composition des matériaux destinés à la fabrication d'ouvrages des travaux publics, de génie civil et de bâtiment. Les

granulats constituent le squelette du béton et ils représentent, environ 80% du poids total du béton. Cependant, les granulats doivent satisfaire à certaines exigences de qualité pour qu'ils soient utilisés dans le béton.

Un granulat est constitué d'un ensemble de grains minéraux, qui selon sa dimension se situe dans l'une des 6 familles présentées dans le tableau I.1.

Tableau I.1. Caractéristiques et les types des granulats [4].

Familles	Caractéristiques
Fillers	$D < 2$ mm avec au moins 85% de passant à 1,25 mm et 70 % de passant à 0,063 mm
Sablons	$D \leq 1$ mm avec moins de 10% de passant à 0,063 mm
Sables	$0 \text{ mm} < D \leq 4$ mm
Graves	$D < 6,3$ mm
Gravillons	$d \geq 2$ mm et $D \leq 63$ mm
Ballasts	$d \geq 31,5$ mm et $D = 50$ ou 63 mm

I.3.4. L'eau de gâchage :

L'eau joue un rôle déterminant dans la fabrication des mortiers et des bétons à base de liants hydrauliques. Elle agit non seulement pour conduire à la prise de ces matériaux, par réaction entre les constituants anhydres des ciments, mais aussi pour leur conférer certaines de leurs caractéristiques à l'état frais. Il joue un double rôle dans la formulation du béton :

- Déclencher l'hydratation du ciment (liant hydraulique) qui conduit à la prise et au durcissement du béton par la formation de constituants hydratés qui ont des propriétés liantes
- Assurer la maniabilité du béton frais pour faciliter sa mise en place.

Le dosage en eau qui se traduit par le rapport Eau/Ciment (E/C) est un paramètre déterminant vis-à-vis de la porosité, de la résistance et donc de la durabilité du béton. Plus le rapport E/C est faible plus ces propriétés sont favorisées. En règle générale le rapport E/C est compris entre 0,4 et 0,6.

I.4. LES METHODES DE FORMULATION D'UN BETON ORDINAIRE [5]

Le choix des proportions des chacun des constituants d'un béton afin d'obtenir les propriétés mécaniques et de mise en œuvre souhaitées s'appelle la formulation. Plusieurs méthodes de formulation existent comme :

La méthode de Bolomey, la méthode de Faury, la méthode de Dreux-Gorisse.

I.4.1. La méthode de Bolomey :

La méthode de Bolomey a le mérite d'avoir ouvert la voie aux études de béton. Toutefois, elle ne peut être appliquée qu'aux granulats dont la masse volumique absolue est comprise entre 2,5 et 2,7 kg/m³ ; ce sont d'ailleurs les granulats les plus courants.

I.4.2. La méthode de Faury :

Cette méthode est venue en 1941 compléter la méthode de **Bolomey**. La méthode de **Faury** donne des bétons comportant moins de sable et plus de gravier. Ces bétons sont plus raides et conviendront à des travaux pour lesquels une très bonne maniabilité n'est pas indispensable. Les bétons **Faury** auront souvent une résistance mécanique supérieure aux bétons **Bolomey** correspondants.

I.4.3. La méthode de Dreux-Gorisse :

L'application de la méthode graphique de Dreux-Gorisse permet de déterminer la composition du squelette granulaire qui est appliquée pour formuler un béton ordinaire sans addition et sans superplastifiant.

La formulation des bétons relève des critères techniques, normatifs et aussi économiques comme les caractéristiques géométriques de l'ouvrage et son environnement durant son fonctionnement, les caractéristiques du béton lors de sa mise en œuvre et durci, les conditions de production et de mise en œuvre du béton, les matériaux disponibles localement, les normes en vigueur...

Cette ressource s'attache dans un premier temps à présenter la démarche afin de formuler un béton ordinaire.

Contenu de la ressource :

- Contexte de la formulation d'un béton ordinaire

- Recherche du rapport pondérale E/C
- Evaluation de la quantité de ciment C et de la qualité d'eau E
- Optimisation du squelette granulaire
- Estimation du coefficient de compacité

I.5. LES TYPES DES BETONS [6]

Tout d'abord, notons qu'il existe une grande variété de bétons permettant de réaliser un projet de maçonnerie.

I.5.1. Le béton léger :

C'est un béton très malléable et très léger. Effectivement, il est efficace pour tous les travaux de rénovation. De plus, il résiste aux chocs et remplit très bien sa mission d'isolant thermique. Ainsi, il s'emploie particulièrement pour les murs porteurs et les dalles.

I.5.2. Le béton lourd :

Celui-ci dispose de granulats très lourds, ce qui permet de répondre à des besoins très précis tels que les ouvrages des centrales nucléaires. Puisque celui-ci permet de ne laisser passer aucune trace de radiation et de répondre à des normes très strictes de sécurité

I.5.3. Le béton armé :

Le béton armé est un béton renforcé avec des armatures en acier afin d'améliorer la solidité et la durabilité de ce matériau pour la construction de bâtiments et d'ouvrages de génie civil.

Le principal objectif de ce béton est de compenser les principales faiblesses d'un béton plus conventionnel, à savoir sa résistance globale, et les risques de fissuration sur le plus long terme.

I.5.4. Le béton autoplaçant :

Celui-ci est un béton extrêmement fluide, facilitant grandement son utilisation. Avec ce béton, le but est de gagner un temps considérable lors du coulage sur chantier, car la mise en œuvre se fait sans vibration, contrairement aux bétons plus conventionnels.

Pour autant, une fois le béton solidifié, sa qualité reste la même que sur un béton traditionnel.

I.5.6. Le béton prêt à l'emploi :

Les bétons prêts à l'emploi sont des bétons directement conçus par les industriels dans leurs centrales à béton. Il est ensuite transporté à l'aide d'un camion toupie et directement transféré sur les chantiers clients. Une fois sur place, le béton prêt à l'emploi est appliqué par le camion toupie, soit par la pompe à béton, soit par la goulotte.

I.5.7. Le béton précontraint :

Le béton précontraint est un béton ayant la particularité de rester dans un état de compression optimal. En effet, cet état de compression permet au béton d'être utilisé dans les meilleures conditions, ce qui favorise une meilleure finition.

Cet état de pression est construit à partir de câbles de précontrainte en acier, intégrés directement dans le béton comme cela est le cas avec les armatures en acier dans le béton armé. Sur un chantier, il est possible d'appliquer la précontrainte au béton avant le coulage du béton (pré-tension), ou bien après le coulage lorsque le béton durcit (post_ tension).

Il est important de préciser que la précontrainte par post_ tension est généralement plus efficace mais aussi plus difficile à mettre en œuvre que la précontrainte par pré-tension.

I.5.9. Le béton haute performance :

Les bétons de haute-performance possèdent des caractéristiques beaucoup plus intéressantes que les bétons conventionnels. Ils sont à la fois plus résistants à la compression, et beaucoup plus fluides. Il s'agit également d'un béton moins poreux, protégeant ainsi plus efficacement les armatures préalablement déposées.

I.5.10. Le béton projeté :

Il s'agit d'un béton qui porte bien son nom, car il est volontairement projeté sur une surface solide par le biais d'un projecteur d'air comprimé. De ce fait, on limite l'affaissement et le coulage ultérieur du béton. En termes de composition, le béton projeté dispose des caractéristiques similaires au béton pour les fondations plus traditionnelles.

I.5.11. Le béton fibré :

Un béton fibré est un béton dans lequel sont incorporées des fibres qui lui donnent de meilleures propriétés mécaniques et une meilleure durabilité. A la différence des armatures traditionnelles, les fibres sont réparties dans la masse du béton, elles permettent de constituer un matériau qui présente un comportement homogène.

I.6. HISTORIQUE SUR L'UTILISATION DES BETONS ET DES FIBRES [7]

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

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

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

La fin des années soixante a connu la participation d'un grand nombre de chercheurs afin d'orienter les axes de recherche vers l'application, avec toute la fiabilité du béton de fibres dans

les domaines de construction. Les travaux se multiplient et une multitude de types de fibres a été introduite dans le commerce comme étant de nouvelles applications. Le plus grand progrès dans ce domaine a commencé dans les années soixante-dix avec l'incorporation des fibres d'acier dans l'industrie réfractaire.

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

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

I.7. AVANTAGES DU BETON FIBRE [8]

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

I.7.1. Aspect technique :

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

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

I.7.2. Aspect économique :

Les principaux avantages économiques des bétons fibrés sont :

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

I.8. MISE EN ŒUVRE DU BETON RENFORCE DE FIBRES

Lors de la mise en œuvre du béton de fibres, le dosage en fibres ne peut pas dépasser certaines limites car au-delà, le gâchage et la mise en œuvre deviennent impossibles. Compte tenu des rôles opposés dévolus aux paramètres fondamentaux des fibres (dosage en volume, forme et rapport longueur sur le diamètre) sur l'ouvrabilité et la mise en œuvre, et sur l'efficacité mécanique après durcissement, on doit se limiter à une gamme de pourcentages qui ne donne qu'une efficacité mécanique réduite mais qui permet une mise en œuvre acceptable [9].

I.9. LES FIBRES [10]

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

I.10. LES DIFFERENTS TYPES DES FIBRES [11]

Les fibres sont classées selon leur origine (naturelle, synthétique ou artificielle), leur forme (droite, ondulée, aiguille, ...etc.), leurs dimensions (macro ou microfibres) et leurs propriétés mécaniques. Les principales fibres utilisées sont les fibres organiques et les fibres inorganiques.

I.10.1. Les fibres organiques :

Ces fibres ne sont pas utilisées pour renforcer le béton, vu que leurs caractéristiques mécaniques sont inférieures à celles du béton. Elles sont par contre mieux adaptées pour le renforcement des sols, notamment dans le corps des chaussées. Dans cette catégorie de fibres, nous pouvons citer :

- a) Les fibres végétales et animales :** la principale fibre végétale est la cellulose qui résiste aux alcalis. Les fibres végétales résistent aussi à la plupart des acides organiques mais sont détruites par les acides minéraux forts. Il existe quatre sortes de fibres végétales : les fibres provenant des poils, les fibres du liber, et les fibres extraites des troncs de certaines graminées.

Elles sont souvent utilisées dans la fabrication du papier et dans les panneaux de construction (fibres de bois).



Figure I.2. Fibres végétales [12].

b) Les fibres synthétiques : cette famille regroupe plusieurs types de fibres comme le nylon, le polypropylène, l'acryle, le polyester ...etc.). Elles sont apparues à la fin du XIX^{ème} siècle sous le nom de rayonne. Elles sont dérivées de la cellulose naturelle. Aujourd'hui, la plupart des fibres synthétiques proviennent de produits dérivés du pétrole et de polymères dont la structure ressemble à celle des matières plastiques. La première fibre plastique commercialisée avec succès, le nylon, date de 1938. Depuis, de nombreux synthétiques, dont les fibres acryliques, l'aramide, l'oléfine et le polystyrène sont apparus. Ces fibres ont également été étudiées à des fins industrielles très précises, telles que la fabrication des matériaux d'isolation, tissus pare-balles, les fuselages et ailes d'avion.



Figure I.3. Fibres de polypropylènes [13].

I.10.2. Les fibres non organiques

Ces fibres ont une bonne résistance à la traction et un module d'élasticité élevé,

comparativement à la matrice. Dans cette catégorie de fibres, nous pouvons citer :

a) Les fibres minérales : elles regroupent plusieurs sortes de fibres (amiante, alumine ...etc.), et sont utilisées en grande quantité dans plusieurs applications traditionnelles. Les fibres d'amiante autrefois utilisées pour l'isolation et l'ignifugeage, se sont aujourd'hui révélées cancérigènes.

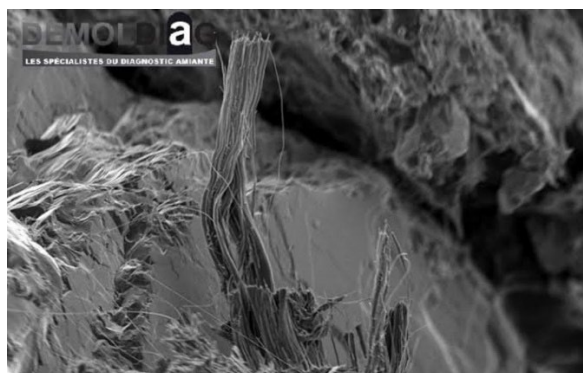


Figure I.4. Fibres d'amiante [14].

b) Fibres artificielles : ce type de fibres est le plus utilisé dans le domaine industriel en général et dans le domaine du génie civil en particulier. Il regroupe les fibres de verre, les fibres de carbone, les fibres métalliques et autres. Elles sont aujourd'hui les plus répandues dans l'industrie de la construction.



Figure I.5. Fibres de verre [15].



Figure I.6. Fibres de carbone [16].

Les principales fibres utilisées pour renforcer les mortiers et les bétons sont les fibres métalliques. Ce type de fibres, qui regroupe les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, a été et reste encore l'objet de recherches très importantes. Les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion inter faciale entre fibre et matrice. Les fabricants des fibres d'acier ont essayé d'améliorer l'adhérence en jouant sur l'irrégularité de la surface de la fibre, ce qui les a conduits aux nombreuses variétés de fibres qui se différencient les unes des autres par leur diamètre, leur section (ronde, carrée, rectangulaire), leur longueur et leurs modes d'opération. Les diamètres des fibres d'acier varient généralement entre 0.1 et 0.7 mm, avec des longueurs de 10 à 70 mm.



Figure I.7. Différents types des fibres métalliques [17].



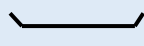

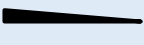
Les fibres métalliques utilisées dans les dallages industriels sont le plus souvent des fibres tréfilées. Ce sont généralement des fils de 1 mm de diamètre. Les différentes fibres existantes se différencient les unes des autres par le type d'ancrage actif dans la matrice du béton. Il existe des fibres fabriquées avec un ancrage dit déformable, par exemple des fibres à crochets telles que celles commercialisées par la société Bekaert sous la marque "Dramix" ou des fibres ondulées telles que celles commercialisées par la société Trefil Arbed. Cette société

fabrique également une fibre commercialisée sous la marque "Twin-set" qui possède un cône indéformable à chacune de ses extrémités. Ce type d'ancrage est beaucoup plus rigide que l'ancrage obtenu par des crochets ou des ondulations.

Les fibres métalliques sont classées en deux catégories :

- Les fibres fonctionnant par adhérence, de forme généralement plate, ayant une surface spécifique importante. Elles sont peu ductiles. Leur principal apport est la limitation de l'ouverture des fissures.
- Les fibres fonctionnant par ancrage, de forme cylindrique en acier tréfilé, ayant un comportement ductile. L'ancrage est assuré par des crochets aux extrémités de la fibre ou par la forme ondulée de la fibre. Ces fibres confèrent une bonne ductilité au béton car elles ont une capacité de reprise d'efforts importante lorsque les fissures sont assez ouvertes. Quelques types de fibres couramment usitées sont donnés dans le tableau I-1 suivant :

Tableau I.2. Caractéristiques des fibres couramment utilisées [11].

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

R_t : résistance à la traction du matériau de la fibre,

E : module d'élasticité à la traction du matériau de la fibre,

L : Longueur,

l : Largeur,

D : Diamètre,

e : Epaisseur.

I.11. ROLE DES FIBRES METALLIQUES DANS LE BETON [18, 19]

Les fibres jouent généralement un rôle dans le renforcement du béton, en améliorant son comportement, notamment en termes d'efforts de traction, et en inhibant la propagation des microfissures. Dans certaines applications, il peut également remplacer le renforcement passif. Selon les fibres utilisées (forme et texture) et la structure dans laquelle elles sont incorporées, ce rôle peut conduire à des améliorations sûres :

- Résistance cohésive du béton frais.
- Déformation pré-fracture.
- Résistance à la traction.
- Ductilité et résistance aux fissures.
- Résistant aux chocs.
- Résistance à la fatigue.
- Résistant à l'abrasion.
- Résistance mécanique du béton jeune.
- Réduire l'impact du retrait dû à l'effet de proximité des microfissures.
- Résistant au feu.
- Résistant à l'abrasion.

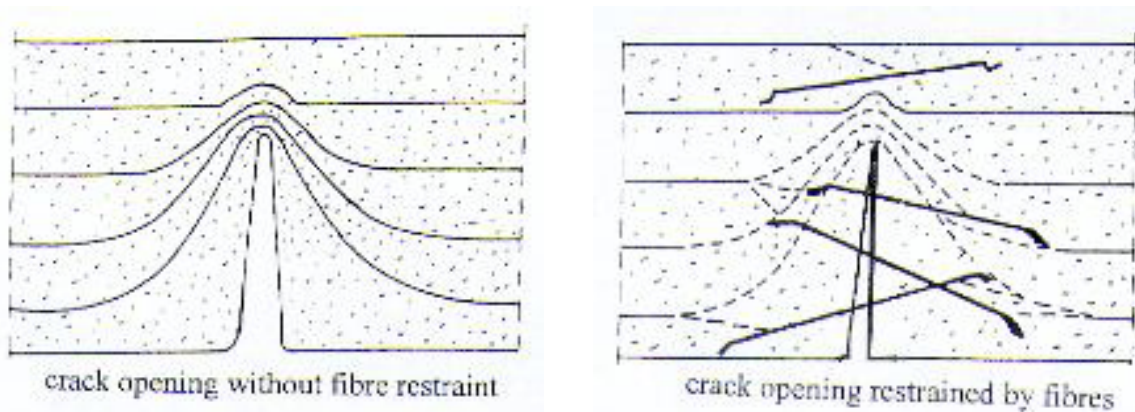


Figure I.8. Schémas descriptifs comment les fibres couvrent les microfissures [20].

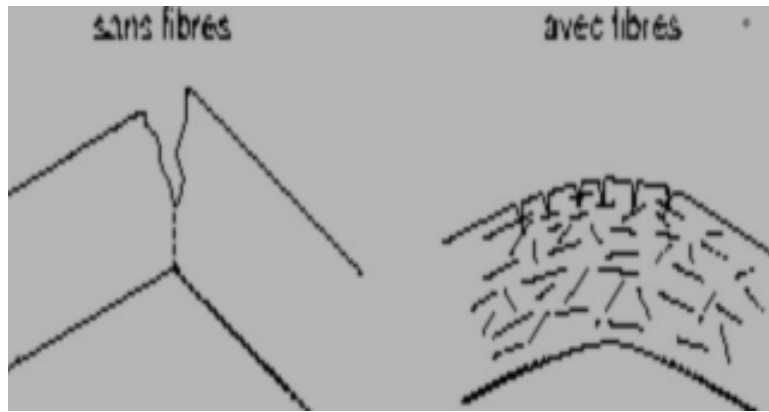


Figure I.9. Fissuration dans le béton sans et avec fibres [20].

I.12. INFLUENCE DES FIBRES METALLIQUES SUR LE COMPORTEMENT MECANIQUE DU BETON [22]

Les fibres servent généralement à renforcer le béton en empêchant la propagation des fissures et en augmentant la ductilité. Ses propriétés ont été analysées par plusieurs chercheurs à travers des études sur le comportement du BFM sous compression, traction, torsion et cisaillement.

I.12.1. Comportement en compression :

De nombreuses études et investigations ont montré que le comportement en compression du BFM est légèrement modifié par rapport au béton témoin. La résistance à la compression du BFM par rapport au BT dépend de la teneur en fibres. Les chercheurs ont démontré la présence de ductilité.

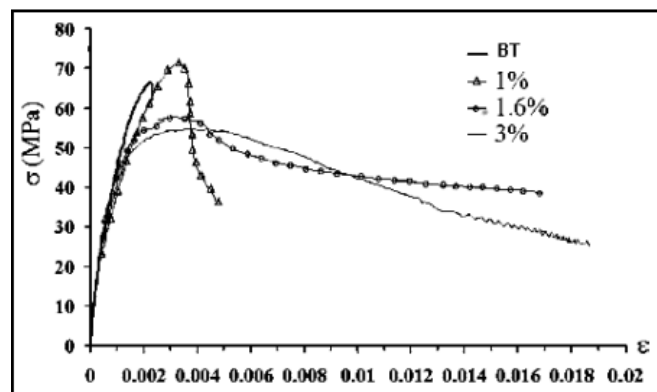


Figure I.10. Courbe d'évolution de la contrainte à la compression en fonction de la déformation avec différent pourcentage des fibres (Bencardino. 2008) [21].

I.12.2. Comportement en traction :

La faible résistance à la traction du béton peut être compensée par l'ajout de fibres. Les fibres sont insérées dans le béton pour compenser la faiblesse du matériau aux forces de traction à travers le joint de macro-fissure. Par conséquent, le bon comportement en traction du béton fibré est la propriété la plus importante. L'étude a montré que le comportement en traction, la ductilité et la déformation du BFM étaient significativement améliorés par rapport au béton de référence. Cette amélioration est influencée par la recette, la qualité du béton, le dosage des fibres, le type de fibres, la forme et l'orientation.

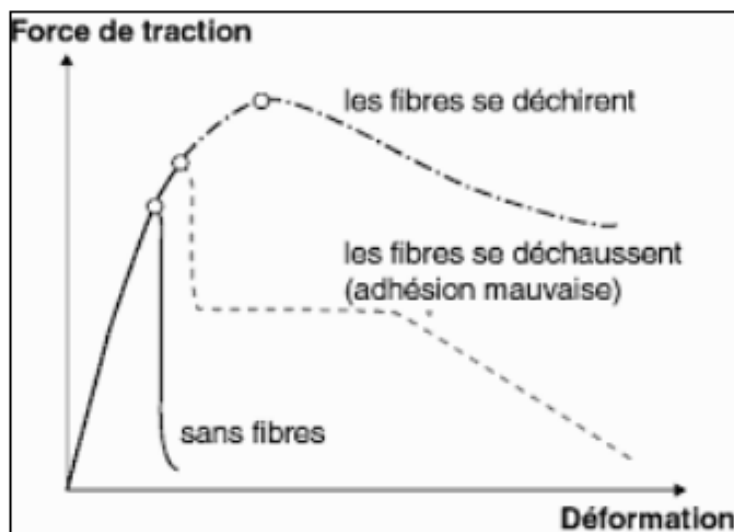


Figure I.11. Diagramme représente comportement de charge-déformation de béton avec fibres et béton sans fibres [20].

De plus, plusieurs études ont été réalisées sur différents comportements du béton renforcé de fibres métalliques, notamment :

- Comportement en torsion et en cisaillement.
- Comportement au retrait et au fluage.
- Comportement dynamique.
- Comportement en fatigue.

En résumé, l'étude montre que les limites du béton fibré sont fondamentalement liées à plusieurs calculs et paramètres qui dépendent :

- Géométrie des fibres (plates, ondulées, etc.).
- Résistance à la rupture des fibres.

- Dosage des fibres. Étude de la littérature 16
- Longueur des fibres.

Ces paramètres influencent significativement l'adhésion du béton et des fibres au sein de la matrice.

I.13. DOMAINES D'UTILISATION DU BETON RENFORCE DE FIBRES METALLIQUES [7]

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

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

Tableau I.3. Les sites de l'utilisation du béton de fibre [20].

Applications	Intérêts apportés par l'ajout des fibres dans le béton
Canalisation et coupe 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, dallage manufacturé, et tous 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.
Éléments 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 ex 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.
Répartition des revêtements routiers, tabliers de ponts.	<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de la résistance aux chocs. - Amélioration de la déformation.
Parties exposées aux fortes variations de températures et même aux hautes températures.	<ul style="list-style-type: none"> - Remplacement avec succès du revêtement réfractaire. - Diminution le cout de répartition des éléments réfractaires.
Stabilisation des parois rocheuse, les talus, les tunnels, les galeries souterrains.	<ul style="list-style-type: none"> - Evite le travail de fixation du grillage ordinairement employé - Diminution du cout de répartition 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.14. LES AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES FIBRES METALLIQUES

I.14.1. Avantages des fibres :

Les fibres métalliques utilisées pour améliorer le comportement mécanique d'un béton de structure (résistance au cisaillement, en traction, en flexion, au choc). Elles confèrent au béton une certaine ductilité (résistance à la post-fissuration) et une plus grande résistance à la rupture [20].

I.14.2. Inconvénients des fibres :

Dans le cas d'un béton fibré avec des fibres métallique, le béton est plus lourd. Et son principal inconvénient est surtout son coût plus élevé qu'un béton traditionnel. Attention, en zone de risque sismique modéré et plus, l'utilisation des fibres structurales est interdite. [11]

I.15. CONCLUSIONS :

L'utilisation des fibres de toutes natures dans plusieurs domaines en particulier dans la construction est de plus en plus pratiquée. De ce fait, de récentes recherches sont en cours dans le but d'améliorer les propriétés des matériaux renforcés par des fibres.

La nature des fibres utilisées est en relation avec leurs applications et les modes de mise en œuvre. Le choix des fibres dépend du rôle que l'on désire faire jouer.

Il est certain qu'un rôle structural assez élevé associe à une grande durabilité et à une utilisation économique exige l'emploi de fibres de haute module comparé à celui de la matrice, et non altérables, disponibles sur le marché local à des prix acceptables.

Actuellement, les types de fibres les plus utilisés dans le renforcement des bétons sont les fibres d'acier. Mais vu le problème économique que présente la production des fibres d'acier, particulièrement pour les pays en voie de développement, l'avenir en termes de renforcement sera attribué aux fibres issues de la valorisation ou le recyclage des déchets.

REFERENCES

- [1] G. BERNIER, Formulation des bétons. Techniques de l'ingénieur. C2 210
- [2] F. GABRYSIK, **Matériaux** – Les Bétons chapitre 04
- [3] https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/part-1-generalites/materiel_materiaux/beton/arme
- [4] <https://www.infociments.fr/betons/constituants>
- [5] <https://ft.univ-tlemcen.dz/assets/uploads/pdf/departement/gc/Methodes-de-composition-du-beton.pdf>
- [6] <https://www.coffrages-cosmos.com/les-differents-types-de-beton-et-leurs-specificites/>
- [7] <https://dspace.ummtto.dz/server/api/core/bitstreams/5f0199e1-4f7d-4fa5-abb7-cb0cd44a514c/content>
- [8] ASSOCIATION BETON QUEBEC (2005) : « *Guide de bonnes pratiques pour l'utilisation des fibres dans le béton* », Dépôt légal Bibliothèque nationale du Québec ISBN 2-923379-00-4
- [9] ABSI, E. (1994) « *Béton de fibres, synthèse des études et recherches réalisées au CEBTP* », Annales de l'ITBTP, N° 520.
- [10] LAROUCI B. (2017) : « *Contribution à l'étude du comportement mécanique de béton des fibres-métalliques (les copeaux de récupérations)* » mémoire de master, Université Ahmed Draia Adrar.
- [11] DJEBALI S. (2013) : « *Caractérisation des éléments de structures en béton de fibres métalliques* », Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou.
- [12] <http://annderodegain.canalblog.com/archives/2009/10/31/15632603.html>
- [13] <http://doc.lerm.fr/bhp-au-feu-les-fibres-polypropylene-font-baisser-la-pression/>
- [14] <https://demoldiag.fr/amiante-ce-quil-faut-connaître/>
- [15] <https://buchholz-gruppe.eu/fr/recyclage-de-fibres-de-verre/>
- [16] <https://www.diamantex.ca/fr/renfort-structural.html>
- [17] BOUZEROURA. M. (2003) : « *Etude du comportement du béton de fibres ondulées. Proposition d'une relation simplifiée contrainte-déformation* », Mémoire de Magistère en génie civil, Université de Tizi-Ouzou,.
- [18] DGM09/UMBB 2011 -2012 Mémoire chapitre V le bétons-fibres
- [19] FICHES TECHNIQUES : LAFARGE, Béton provincial, Fibre mix, Fibres SIKA, Steel mix, Steel construction et des avis technique sur les vibres métallique.

[20] MAKHLOUFI Née CHERGUI N. (2010) : « *Caractérisation en statique du comportement en traction direct du béton armé de fibres en copeaux* » Mémoire de magistère, Université mouloud MAMRI de Tizi-Ouzou.

[21] <https://www.infociments.fr/betons-fibers>

CHAPITRE II :

CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES ET METHODES EXPERIMENTALES

II.1. INTRODUCTION :

Le béton est un matériau de construction, composé du ciment, gravier, sable, d'eau et éventuellement d'adjuvant pour modifier ces propriétés. Afin de formuler un béton qui doit répondre aux exigences demandées, il est souhaitable que ses constituants soient convenables aux normes en vigueur.

Le but de ce chapitre est de présenter la démarche expérimentale adoptée dans notre travail. On décrira les caractéristiques des matériaux utilisés pour la confection des éprouvettes par l'exécution de quelques essais d'identification préliminaires dont les résultats nous aident au choix des matériaux ainsi que la formulation du béton.

II.2. MATERIAUX UTILISES :

Nous avons utilisé pour la confection du béton des matériaux locaux dont les caractéristiques mécaniques et physiques ont été déterminées expérimentalement. Le choix des matériaux s'est porté sur leur disponibilité dans la région de Guelma. Les matériaux utilisés présentés dans la figure II.1 sont:

- ✓ Un sable (0/3) roulé issu de la région de Tébessa
- ✓ Un gravier (3/8) issu de la carrière de Bendjerah
- ✓ Un gravier (5/15) issu de la carrière de Bounowara
- ✓ Un ciment CEM II/A-L 42,5N provenant de la cimenterie de Hdjar Soud
- ✓ Eau de gâchage : Eau potable du laboratoire
- ✓ Fibres des canettes : récupérée auprès des différents Fast Food de Guelma.



G5/15

G3/8

Sable

Fibres des canettes



Sac du Ciment CEM II/A-L 42,5N.

Figure II.1. Matériaux utilisés pour la formulation des bétons.

II.3. LES ESSAIS PRELIMINAIRES SUR LES GRANULATS :

Les granulats constituent le squelette du béton et représentent entre 60 à 80% du volume du béton. Ils sont d'origines géologiques assez diverses, et leur caractérisation constitue une étape importante dans la suite du protocole expérimental fixé.

II.3.1. Analyse granulométrique (Norme NA 2607) [1]

Le tracé de la courbe granulatoire des granulats est une étape nécessaire pour pouvoir étudier la composition des bétons pour obtenir les meilleures caractéristiques (bonne étanchéité, bonne résistance mécanique, faible retrait, bonne durabilité...).

II.3.1.1. Principe de l'essai :

L'essai consiste à fractionner un matériau à travers une série des tamis décroissante de plus grand à plus petit ; et faire peser le refus dans chaque tamis.



Figure II.2. Tamiseuse utilisée pour l'essai d'analyse granulométrique.

II.3.1.2. Description de l'essai :

On emboîte les tamis les uns sur les autres dans un ordre décroissant du fond de la colonne vers le bas. En partie inférieure, on dispose un fond étanche qui permettra de récupérer les fillers. Un couvercle sera disposé en haut de la colonne afin d'interdire toute perte de matériau pendant le tamisage. On appellera tamisât le poids de matériau passant à travers un tamis donné et refus le poids de matériau retenu par ce même tamis.

Les résultats de l'analyse granulométrique obtenus pour les différents granulats sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

Tableau II.1. Analyse granulométrique du gravier 5/15.

Maille des tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
16	9.25	9.25	0.30	99.70
14	138.25	147.5	4.83	95.17
12.5	403.7	551.2	18.06	81.94
10	822.6	1373.8	45.01	54.99
8	933.1	2306.9	75.59	24.41
6.3	653.4	2960.3	97.01	2.99
5	82.2	3042.5	99.70	0.30
4	6.7	3049.2	99.92	0.08
3.15	0.9	3050.1	99.95	0.05
Fond	1.51	3051.61	100	0.00

Tableau II.2. Analyse granulométrique du gravier 3/8.

Maille des tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
10	1.15	1.15	0.04	99.96
8	6.9	8.05	0.27	99.73
6.30	377.9	385.95	12.83	87.17
5	1462.9	1848.85	61.44	38.56
4	913.5	2762.35	91.79	8.21
3.15	192	2954.35	98.18	1.82
2.50	29.95	2984.3	99.17	0.83
1.25	8	2992.3	99.44	0.56
Fond	16.85	3009.15	100	0.00

Tableau II.3. Analyse granulométrique du sable.

Maille des tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
5	3.05	3.05	0.15	99.85
2.5	15.2	18.25	0.91	99.09
1.25	67.2	85.45	4.27	95.73
0.63	663.1	748.55	37.43	62.57
0.315	979.65	1728.2	86.41	13.59
0.16	222.15	1950.35	97.51	2.49
0.08	40.3	1990.65	99.53	0.47
Fond	9.45	2000.1	100	0.00

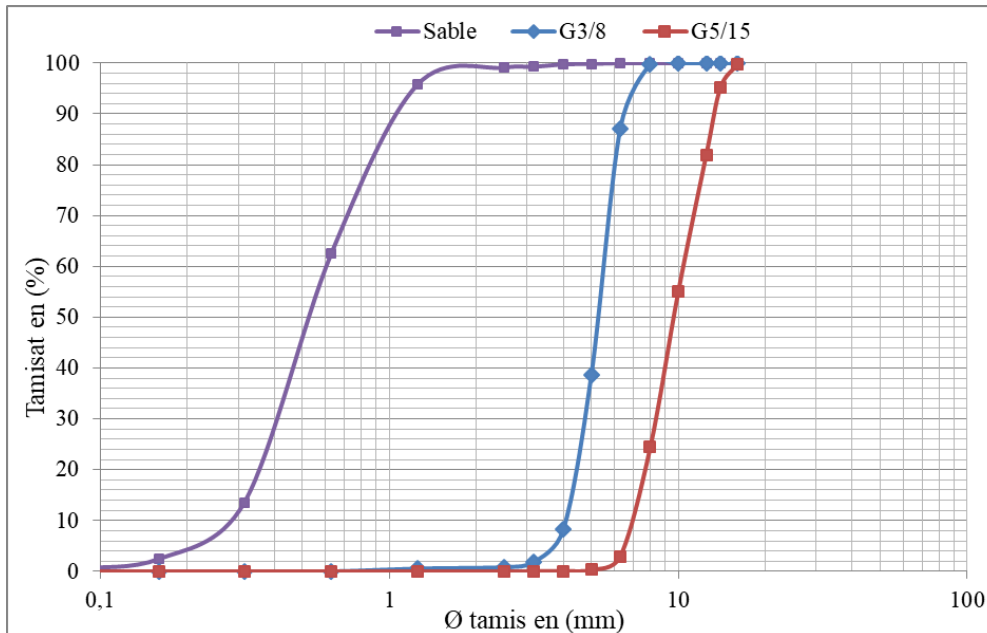


Figure II.3. Courbes granulométriques des sable et gravier 3/8 et 5/15.

II.3.2. Module de finesse (Norme NA 2607) [1]

Par définition le module de finesse est égal au $1/100^{\text{ième}}$ de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : [0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 – 5 mm].

A partir de la valeur du module de finesse, on classe les sables selon les trois catégories présentées sur le tableau qui suit :

Tableau II.4. Les classes des sables.

Qualité du sable :	Module de finesse :
Gros	[2.8 – 3.3]
Préférentiel	[2.2 – 2.8]
Fin	[1.8 –2.2]

Dans notre cas :

$$M_f = \frac{97,51+86,41+37,42+4,27+0,91+1,48}{100} = 2.28$$

Dans notre cas, on est en présence d'un sable préférentiel.

II.3.3. Masse Volumique (Norme NA 255) [2]

Les masses volumiques absolues et apparentes, ont été mesurées conformément à la norme NA 255.



Figure II.4: Mesure des masses volumiques absolue et apparente.

Le tableau II.2 résume les résultats de l'essai des masses volumiques pour les différents matériaux utilisés :

Tableau II.5. Résultats de l'essai des masses volumiques.

Les matériaux	Gravier (5/15)	Gravier (3/8)	Sable (0/5)
Masse volumique apparente (kg/m³)	1460	1425	1659
Masse volumique absolues (kg/m³)	2726	2713	2560

Commentaire :

Concernant les masses volumiques apparentes et absolues des granulats naturels, les valeurs obtenues correspondent aux valeurs moyennes des granulats courants utilisés dans la fabrication des bétons. Ainsi pour ce matériau, les sables et graviers présentent des masses volumiques absolues variant dans la fourchette $[2500 \div 2700]$ kg/m^3 , et des masses volumiques apparentes variant dans les limites de $[1400 \div 1600]$ kg/m^3 .

II.3.4. Mesure de la propreté des granulats :

❖ **Cas des graviers (Norme NA 463) [3]**

L'essai de propreté des graviers consiste à déterminer le pourcentage d'éléments de taille inférieurs à 0.5mm. Le principe général est de faire débarrasser le gravier de cette classe fine uniquement par un lavage répété.

Tableau II.6. Valeurs de l'essai de propreté des graviers.

	G 3/8	G 5/15
Propreté P (%)	2.52	0.68

❖ **Cas du sable**

Essai équivalent de sable (Norme NA 455) [4]

Cet essai consiste à déterminer la quantité d'élément fins (argile, limons, impuretés) contenus dans sable par rapport à la quantité d'élément sableux.

Pour les sables, la propreté peut être contrôlé à travers l'essai de l'équivalent de sable.



Figure II.5. Machine d'équivalent de sable.

Tableau II.7. Valeurs de l'essai d'équivalent de sable.

ESV (%)	92
ES (%)	89

Selon la classification de la norme **NF P18-589**, le sable testé correspond à un sable très propre.

II.3.5. Mesure de la dureté des graviers (NA 458) [5]

Afin de mesurer la dureté des graviers, nous avons eu recours à l'essai Los Angeles dont le but est de quantifier la résistance des graviers aux chocs. Le **principe consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6mm produite en soumettant le matériau aux chocs de boulets normalisés et aux frottements réciproques dans la machine Los Angeles.**

Le tableau II.7 présente les résultats trouvés de cet essai.

Tableau II.8. Valeurs de l'essai de dureté (Los Angeles).

	G3/8	G5/15
LA (%)	34	27

Les deux granulats présentent un coefficient $LA < 40\%$, les granulats utilisés dans notre étude sont correspondent à des granulats courants qui conviennent parfaitement bien pour la confection de bétons ordinaires ayant de bonnes performances mécaniques.

II.4. LE CIMENT :

Pour la confection des bétons d'étude, nous avons utilisé un ciment Portland composé CPJ-CEM II/A 42.5, provenant de la cimenterie de Hdjar Soud implantée dans la commune de Azzaba (Wilaya de Skikda).

Les différentes caractéristiques du ciment utilisé sont indiquées sur la fiche technique élaborée par le producteur au niveau d'un laboratoire spécialisé conformément à la norme NA 442-2008 [6], et dont la composition chimique moyenne est présentée dans le tableau II.9.

Tableau II.9. Composition chimique moyenne du ciment CPJ-CEM II/A utilisé. [7]

Composants	CaO	SiO₂	Al₂O₃	FeO₃	MgO	K₂O	Na₂O	SO₃	PAF	MnO
(%)	58.6	24.92	6.58	3.65	1.21	0.85	0.08	2.17	1.7	--

II.5. EAU DE GACHAGE :

L'eau utilisée pour l'ensemble des essais est celle du robinet disponible de laboratoire pédagogique de génie civil et hydraulique de l'université 8 Mai 1945 Guelma.

II.6. LES FIBRES :

Les fibres utilisées, pour la confection d'un béton fibré, sont des fibres métalliques provenant de la récupération des canettes en aluminium. Ces déchets sont collectés des restaurants, lavés, séchés à l'air libre puis coupés à l'aide d'une cisaille en forme de fibres de géométrie droite de longueur de 4 cm et de largeur de 4 mm.



Figure II.6. Les canettes.



Les fibres des canettes

Longueur des fibres

Figure II.7. Fibres de canette.

II.7. FORMULATION DES BETONS

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir un mélange optimal des matériaux, où l'on dispose le dosage en ciment et en eau afin de réaliser un béton dont les qualités sont celles recherchées pour la construction de l'ouvrage désiré

Plusieurs méthodes de formulations ont été élaborées : Caquot, Faury, Dreux-Gorisse, Baron-Lesage, etc. Chacune de ces méthodes reposent sur des propres hypothèses.

Dans notre cas, nous avons optée pour la méthode **Dreux-Gorisse** parce que c'est une méthode dont l'utilisation est relativement simple et ces résultats donnent satisfaction.

- **Objectifs visés par l'étude**

Nous visons un béton de référence de résistance caractéristique à la compression $f_{c28} = 30MPa$ et un affaissement au cône d'Abrams 7 cm, la dimension maximale des granulats utilisé est $D_{max} = 15\text{ mm}$ et le dosage en ciment est fixé à $400kg/m^3$.

- **Détermination du rapport C/E :**

D'après les objectifs visés et l'abaque de la figure II.8 on a :

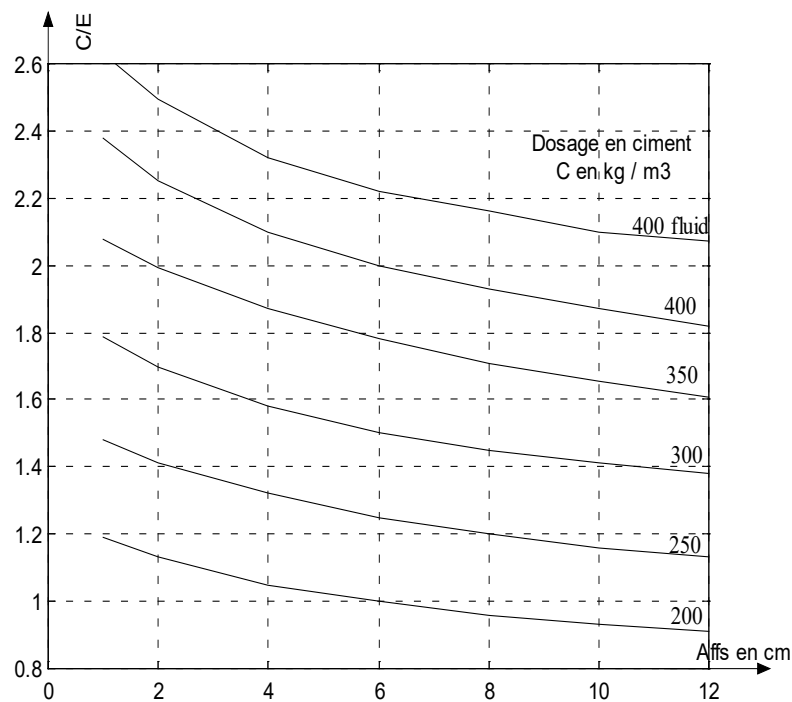


Figure II.8. Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône).

$$\frac{C}{E} = 1,97 \rightarrow E = \frac{C}{1,97} = \frac{400}{1,97} = 203.05 \text{ Litr}$$

- **Correction sur le dosage d'eau :**

Lorsque la dimension maximale des granulats D_{max} est différente de 20mm, une correction sur la quantité de pate est nécessaire à l'obtention de la maniabilité souhaitée. Les corrections (Tableau II.10) sont à apporter sur la quantité d'eau (le rapport C/E reste inchangé)

Tableau II.10. Correction sur le dosage de pate en fonction de D_{max} .

Dimension maximale des granulats $D_{max}(mm)$	5	8	12.5	20	31	50	80
Correction sur le dosage en eau (%)	+15	+9	+4	0	-4	-8	-12

D'après nos données ($D_{max}=15cm$), une correction de (+4%) est nécessaire sur le dosage de l'eau.

- **Détermination du mélange optimal à minimum des vides :**

Il s'agit de déterminer les pourcentages de sable, de gravillons, et de gravier qui vont permettre la réalisation d'un squelette granulaire à minimum des vides. Les quantités des matériaux de chaque classe granulaire doivent être judicieuses pour les plus petits éléments viennent combler les vides laissés par les plus gros. La courbe granulométrique théorique d'un matériau à minimum des vides peut être schématisée par une droite brisée. La démarche proposée par Dreux pour déterminer le mélange optimum à minimum des vides est de tracer la droite brisée de référence et de déterminer les pourcentages en volumes absolus de matériaux.

- **Traçage de la droite brisée de référence :**

La droite de référence de Dreux représente la courbe idéale d'un matériau à minimum de vides. C'est une droite brisée dont le point de brisure est défini par son abscisse X et son ordonnée Y.

En abscisse :

$$D_{max} > 20 \text{ mm} \rightarrow \text{Module}(X) = \frac{\text{Module}(D_{max}) + 38}{2}$$

$$D_{max} \leq 20 \text{ mm} \rightarrow X = \frac{D_{max}}{2} = \frac{15}{2} = 7.5 \text{ mm}$$

En ordonnée :

$$Y = 50 - \sqrt{1.25D_{max}} + K' \quad \text{ou} \quad K' = K + K_S + K_P$$

Y : est donné en pourcentage de passants cumulés

K : est un coefficient donné par le tableau II.11.

K_s et K_p étant des coefficients correctifs définis par :

K_s : correction supplémentaire fonction de la granularité du sable qui donnée par :

$K_s = (6 M_f - 15)$ avec M_f est le module de finesse du sable.

K_p : correction supplémentaire si le béton est pompable

$K_p = +5$ à $+10$ selon le degré de plasticité désiré.

Tableau II.11. K en fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment.

Vibration		Faible :		Normale :		Puissante :	
		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en ciment	400 + Fluide	- 2	0	- 4	- 2	- 6	- 4
	400	0	+ 2	- 2	0	- 4	- 2
	350	+ 2	+ 4	0	+ 2	- 2	0
	300	+ 4	+ 6	+ 2	+ 4	0	+ 2
	250	+ 6	+ 8	+ 4	+ 6	+ 2	+ 4
	200	+ 8	+10	+ 6	+ 8	+ 4	+ 6

Donc : $Y = 50 - \sqrt{1,25 \times 15} - 1,32 - 2 = 42.81 \%$

Ainsi, les coordonnées du point de brisure sont : (7.5 , 42.81)

- **Les lignes de partage**

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

Tableau II.12. Les pourcentages des constituants.

Matériaux	Les pourcentages en volume (%)
Sable	34
Gravier (3/8)	9
Gravier (5/15)	57

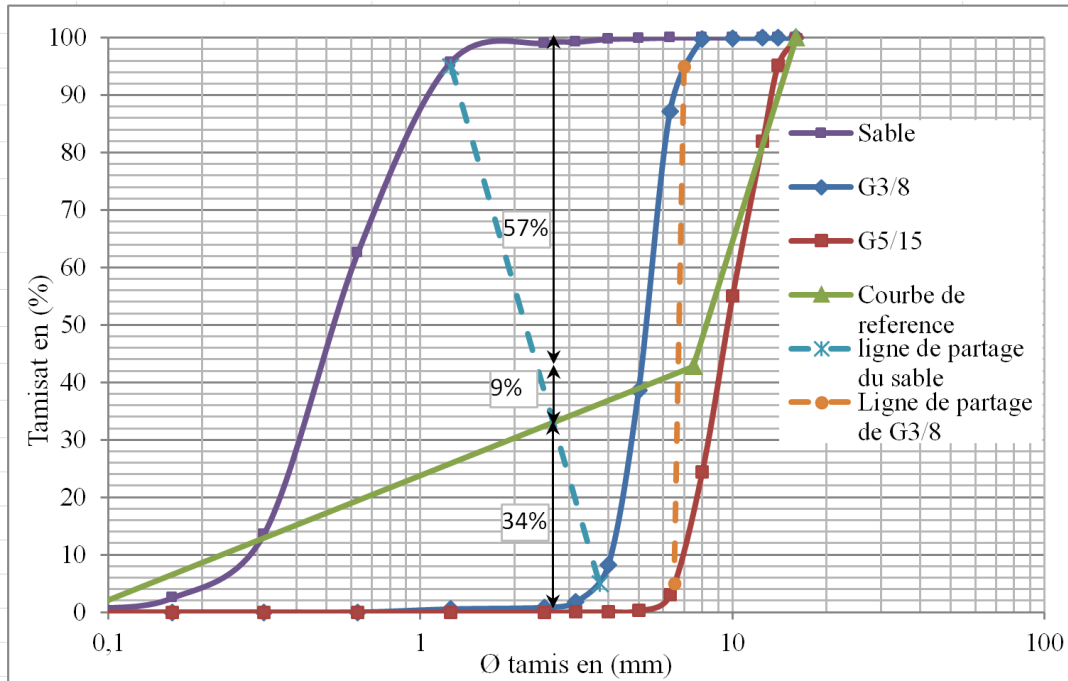


Figure II.9. Courbes granulométriques.

- **Coefficient de compacité :**

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

$$V_M = V_G + V_C$$

Avec

- V_G : Volume absolu des granulats

- V_C : Volume absolu du ciment

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

En utilisant le tableau des valeurs du coefficient de compacité et après interpolation pour un diamètre maximum de granulats égal à 15mm, on trouve : $\gamma = 0.81$

- **Dosage des Granulats :**

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

- **Volume absolu de ciment :**

$$V_C = \frac{m_c}{\gamma}$$

Avec :

- m_c : dosage (en masse) de ciment.

- γ : masse volumique = 3,1 g/cm³.

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

$$V_G = 1000 \times \gamma - V_C = 1000 \times 0.81 - 129.03 = 680.97 \text{ litres.}$$

- **Volume absolu du sable :**

$$V_S = \frac{V_G \times 34}{100}$$

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

$$V_{G3/8} = \frac{V_G \times 9}{100}$$

- **Volume du gravier (5/15) :**

$$V_{G5/15} = \frac{V_G \times 57}{100}$$

Les dosages en masse des éléments secs (granulats, sable) pour 1 m³ de béton sont :

- Masse du sable : $M_S = V_S \times \rho_s$
- Masse du gravier (3/8) : $M_{G(3/8)} = V_{G(3/8)} \times \rho_{G(3/8)}$
- Masse du gravier (5/15) : $M_{G(5/15)} = V_{G(5/15)} \times \rho_{G(5/15)}$

Donc :

Pour préparer 1m³ de béton, il faudra donc les masses suivantes :

Tableau II.13. Formulation finale du béton.

FORMULATION (kg/ m³)	
Ciment	400
Sable	588
Gravier 3/8	215
Gravier 5/15	1048
Eau	211
E/C	0.53
G/S	2,15

II.7.1. Dosages des bétons

Pour les besoins de notre étude expérimentale nous avons préparé quatre bétons :

- **Un béton ordinaire désigné par BO** : il correspond à un mélange ordinaire formulé à partir de trois classes granulaires : sable, gravillon (3/8) et gravillon (5/15).
- **Trois bétons fibrés désignés respectivement par BF1% ; BF2% et BF3%** : c'est des mélanges formulés à partir de trois classes granulaires : sable, gravillon (3/8) et (5/15) et les fibres des cannettes, dont les pourcentages des fibres sont 1%, 2% et 3% de la masse du ciment.

II.7.2. Confection des éprouvettes

Conformément à la norme NA 2600 [8], et pour les besoins de notre étude et selon la nature de l'essai à réaliser, on a utilisé respectivement pour la confection des éprouvettes des moules cubiques (15×15×15) cm³, des moules prismatiques (7×7×28) cm³ et des moules cubiques (10×10×10) cm³,

❖ Réalisation du béton témoin :

Le malaxage a été exécuté à l'aide d'une bétonnière de 120 litres de capacité, et les étapes de malaxage sont :

- Préparation des quantités nécessaire pour le malaxage.
- Introduction des granulats dans le malaxeur (sable, gravillon), faire le malaxage pendant 2 min afin d'assurer une bonne dispersion des granulats du béton.
- Introduction du ciment et faire un malaxage pendant 1min
- Introduction de l'eau et faire le malaxage pendant 2min.



Figure II.10. Bétonnière utilisée.

❖ **Réalisation du béton de fibres :**

Le malaxage a été exécuté à l'aide d'une bétonnière de 120 litres de capacité, et les étapes de malaxage sont :

- Préparation des quantités nécessaire pour le malaxage.
- Introduction des granulats dans le malaxeur (sable, gravillon), faire le malaxage pendant 2 min afin d'assurer une bonne dispersion des granulats du béton.
- Introduction du ciment et faire un malaxage pendant 1min
- Introduction de l'eau et faire le malaxage pendant 2min.
- Introduction des fibres et faire le malaxage jusqu'à obtenir béton homogène.



Figure II.11. Béton de fibres.

II.7.3. Moulage et démoulage

Après l'opération de malaxage, le béton est prêt à l'emploi. Le béton est introduit dans des moules préalablement graissés par de l'huile afin de faciliter le démoulage après 24 heures de leur coulage.

Le remplissage des moules est exécuté en deux couches, pour chaque couche on a appliqué 25 coups afin d'assurer un remplissage parfait du moule. A la fin du coulage, il faut araser les éprouvettes à l'aide d'une truelle selon les normes NA 2610 [9]. La face supérieure de l'éprouvette doit être lisse et bien finie.

Après démoulage, les éprouvettes sont entreposées dans de l'eau jusqu'au moment de l'essai.



Figure II.12. Mise en place du béton et la conservation des éprouvettes

II.8. PRESENTATION DES ESSAIS

Différents essais ont été effectués afin de déterminer les propriétés de béton témoin et des bétons modifiés par les fibres métalliques.

II.8.1. Mesure de la consistance (Norme NA 431) [10]

Les indices décrivant la rhéologie des mélanges cimentaires à l'état frais, sont multiples, l'affaissement au cône d'Abrams, a été choisi pour évaluer l'ouvrabilité des bétons testés. Cet essai, est connu universellement, il permet de mesurer la consistance. Dans cette étude, il a été effectué conformément aux prescriptions de la norme citée ci-dessus.

Le cône tronconique à une hauteur de 30cm, placé sur une surface métallique lisse, serrée avec des écrous, la petite ouverture vers le haut. Le remplissage du moule a été effectué en trois couches d'égal volume. Chaque couche, a été piquée 25 fois avec une tige métallique ayant des dimensions standard. Une fois le cône rempli, le béton en excès à la surface a été arasé, en se servant de la même tige. A la fin, le cône est relevé lentement, la différence entre la hauteur du béton affaissé et la hauteur du cône, est appelée l'affaissement, exprimé en cm.



Figure II.13. Cône d'Abrams.

II.8.2. Masse volumique à sec (méthode par pesée hydrostatique) Norme NA 435 [11]

La masse volumique à sec a été mesurée par pesée hydrostatique, les mesures ont été effectuées après conservation des éprouvettes cubiques (10x10x10) cm³ dans l'eau à température ambiante jusqu'à l'échéance de 28 jours

Après séchage des éprouvettes jusqu'à une masse constante, On mesure le masse de l'éprouvette dans l'air, puis dans l'eau, la différence des deux pesées correspond au volume de l'éprouvette et la masse volumique égale à :

$$\rho_b = \frac{P_{air}}{P_{air} - P_{imm}}$$

Avec :

ρ_b : masse volumique

P_{air} : masse de l'éprouvette dans l'air

P_{imm} : masse de l'éprouvette dans l'eau



Figure II.14. Dispositif d'essai par pesée hydrostatique.

II.8.3. L'absorption à l'eau par immersion totale :

L'absorption d'eau par immersion totale est déterminée selon la norme NBN B 15-215 :198 [12].

Le principe de l'essai consiste à déterminer la variation de la masse d'un échantillon du béton immergé dans un bac d'eau jusqu'à une masse constante, soit la masse M_1 .

Après séchage à 105°C, soit la masse M_2 , l'absorption d'eau par immersion A_b est exprimée en pourcentage de la masse sèche et est calculée par l'équation suivante :

$$A_b = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100\%$$

Les résultats obtenus sur trois éprouvettes de chaque type du béton sont exprimés, en pourcentage, sous la forme de la moyenne de trois valeurs mesurées.

II.8.4. Essai par Ultra-son : (Norme NA 5027) [13]

Évidemment, cette méthode est applicable aussi au laboratoire, elle nécessite des mesures de la vitesse d'impulsion du son. Pour évaluer les propriétés d'isolation acoustique des bétons, les vitesses d'impulsion ont été mesurées par la méthode de transmission directe. L'appareil utilisé, est composé de trois parties comprenant, un transducteur, un récepteur et un écran digital, pour noter les mesures au moment de leurs stabilisations (figure II.17).



Figure II.15. Appareil à ultrasons.

Cet essai consiste à mesurer la vitesse longitudinale du son dans le béton à l'aide d'un appareil comportant une boîte de mesure, et deux têtes (une émettrice et l'autre réceptrice).

Les essais ultrasoniques ont été effectués sur des éprouvettes cubiques (15x15x15) cm³. Une fois l'appareil mis en marche, on peut lire le temps de propagation en microseconde. Le calcul de la vitesse de propagation V en m/sec se fait à partir du temps déterminé et la distance traversée qui est l'arrêt de l'éprouvette cubique :

$$V = \frac{L}{t}$$

Avec :

V : vitesse de propagation de son (km/s);

t : le temps de propagation en microseconde.

L : côté de l'éprouvette cubique (dans notre cas 15cm).

Tableau II.14. Relation générale entre la qualité du béton et la vitesse d'impulsion.

Vitesse du son en m/s	Appréciation de la qualité
> 4500	Excellent
3500 à 4500	Bon
3000 à 3500	Assez bon
2000 à 3000	Médiocre
< 2000	Très mauvais

II.8.5. Essai du scléromètre (NF EN 12504-2) [14]

Il s'agit sans aucun doute de l'instrument le plus utilisé dans le diagnostic des ouvrages déjà bâtis. Le scléromètre est composé d'une tige en acier, sortant d'un cylindre (figure II.18), qui est appuyée sur le béton et comprime un ressort. En fin de course, ce ressort projette une masse sur la tige, sur laquelle elle rebondit ; ce rebondissement, d'autant plus important que le béton est dur, est mesuré soit par un index (sur les anciens modèles) soit sur un cadran digital pour les modèles récents.

Il existe une relation directe entre la dureté superficielle et la résistance du béton à la compression.



Figure II.16. Photo du scléromètre utilisé.

II.8.6. Essai de compression : (Norme NA 427) [15]

La résistance à la compression, est l'un des facteurs essentiels, pour juger la réussite de la valorisation, puisqu'elle est une exigence principale, pour la stabilité des structures, cette propriété doit être définie et spécifiée attentivement.

Selon la norme NA-427, l'essai consiste à effectuer un effort de chargement sur une éprouvette jusqu'à rupture dans une presse d'essai de compression.

La presse utilisée est une machine de type CONTROLS ayant une capacité maximale de 3000kN. Les éprouvettes doivent être bien centrées entre les deux plateaux, afin d'éviter l'apparition des moments dus à l'excentricité de la charge de compression.

Dans notre étude, nous avons utilisé des éprouvettes cubiques de dimensions $(15 \times 15 \times 15)$ cm³. Après conservation des éprouvettes dans l'eau, elles sont séchées à atmosphère libre du laboratoire pendant 24h avant l'âge d'essai.

L'essai de compression a été réalisé aux échéances de 7,14 et 28 jours de façon à observer l'évolution progressive des performances. Pour chaque échéance, trois éprouvettes ont été testées.



Figure II.17. Presse utilisée pour l'essai de compression.

II.8.7. Résistance au fendage (ou essai brésilien) (Norme NA 430) [16]

Il consiste à soumettre une éprouvette normalisée à un effort de fendage, par application de forces de compression radiales suivant deux génératrices diamétralement opposées

Dans notre cas, l'essai de traction par fendage a été effectué sur des éprouvettes cubiques (15x15 x15) cm³. La résistance à la traction du béton se déduit de la force appliquée « F » par la formule empirique suivante [17] :

$$\sigma_t = \frac{2F}{\pi a^2}$$

Avec :

σ_t : résistance à la traction par flexion en (MPa)

F : charge à la rupture en (N)

a : côté de l'éprouvette cubique (= 150mm)



Figure II.18. Essai traction par fendage.

II.8.8. Essai de traction par flexion (Norme NA 428) [18]

L'essai de flexion est réalisé sur des éprouvettes prismatiques (7x7x28) cm³ selon la norme NA428, il s'agit de déterminer la résistance à la flexion (3 points) de l'éprouvette soumise à un effort centré exercé à l'aide d'une presse hydraulique.

La résistance à la traction par flexion est calculée à partir de l'équation suivante :

$$\sigma_t = \frac{1,5FL}{B^3}$$

Avec :

σ_t : résistance à la traction par flexion en (MPa)

F : charge à la rupture en (N)

L : distance entre appuis (= 210mm)

B : dimension transversale de l'éprouvette ($B = 70\text{mm}$)



Figure II.19. Essai de traction par flexion.

II.10. CONCLUSION:

- Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents matériaux utilisés ainsi que leurs propriétés physiques
- Les essais de caractérisation de la phase inerte : sable + gravier laissent apparaître que les granulats utilisés dans notre travail se sont des granulats courants utilisés pour les bétons hydrauliques.
- Le projet expérimental associe des essais de caractérisation à l'état frais des différentes compositions du béton ainsi que des essais de caractérisation à l'état durci.

Les résultats expérimentaux de ce programme d'essai sont présentés dans le chapitre suivant.

Liste normative :

- [1] Norme NA 2607: Granulats - Analyse granulométrique par tamisage.
- [2] Norme NA 255: Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau.
- [3] Norme NA 463: Granulats - Détermination de la propreté superficielle.
- [4] Norme NA 455: Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Evaluation des fines - Equivalent de sable.
- [5] Norme NA 458: Granulats - Essai de Los Angeles.
- [6] Norme NA 442: Ciment - Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants.
- [7] <http://www.gica.dz/fiche-technique-ciments>. Consulté le 25-03-2019.
- [8] Norme NA 2600: Bétons - Moules pour éprouvettes cylindriques et prismatiques.
- [9] Normes NA 2610: Bétons - Mise en place par piquage.
- [10] Norme NA 431: Béton frais - Détermination de la consistance - Essai d'affaissement.
- [11] Norme NA 435: Béton durci – Détermination de la masse volumique.
- [12] Norme NBN B 15-215: Essais sur béton durci - Absorption d'eau par immersion.
- [13] Norme NA 5027: Béton - Auscultation sonore - Mesure du temps de propagation d'ondes soniques dans le béton.
- [14] Norme NF EN 12504-2: Essais pour béton dans les structures - Partie 2 : essais non destructifs - Détermination de l'indice de rebondissement

[15] Norme NA 427: Bétons - Détermination de la résistance à la compression des éprouvettes.

[16] Norme NA 430: Bétons - Détermination de la résistance à la traction par fendage des éprouvettes.

[17] Redjel Bachir et Yahiaoui Mourad : « La mesure de la résistance du béton à la traction », Algerie équipement, Vol 4, pp 28-35, 1992.

[18] Norme NA 428: Béton - détermination de la résistance à la flexion des éprouvettes.

CHAPITRE III :

PRESENTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

III.1. INTRODUCTION

Nous présenterons dans ce chapitre les résultats des différents essais effectués sur les bétons confectionnés selon les différentes compositions mentionnées en détail dans le chapitre précédent. A l'issu de ces résultats, des discussions et des interprétations seront présentées au fur et à mesure afin d'apprécier l'apport de ces fibres et de définir le meilleur pourcentage du point de vue performance.

III.2. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III.2.1. L'affaissement au cône d'Abrams

Le tableau III.1 et les figure III.1 présentent la variation de l'affaissement du béton en fonction du dosage en fibres métalliques.

Tableau III.1. Variation de l'affaissement du béton en fonction du dosage en fibres métalliques.

Type du béton :	BO	BF 1%	BF 2%	BF 3%
Affaissement (cm)	8	4	3	2,5

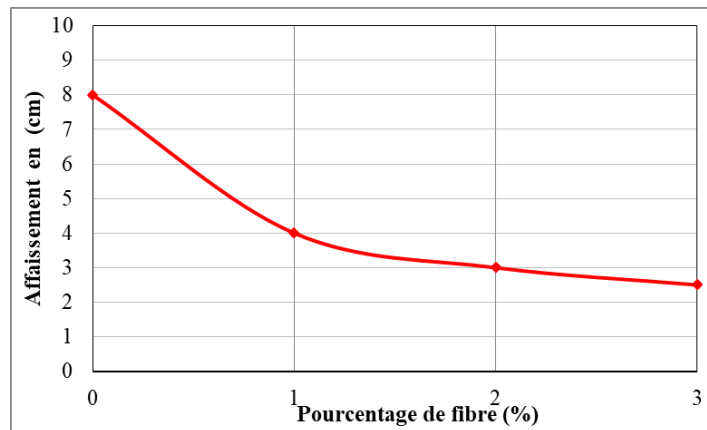


Figure III.1. Variation de l'affaissement du béton en fonction du pourcentage en fibres.

D'après les résultats trouvés, on peut constater que l'affaissement diminue avec l'augmentation du dosage des fibres. En effet, il passe de 8 cm pour le béton ordinaire à 4 cm, 3cm et 2.5 cm pour les bétons contenant 1%, 2% et 3% de fibre successivement. Donc, par rapport au béton ordinaire, on remarque une baisse de l'affaissement de 50%, 62.5% et 68.75% pour les bétons fibrés BF1%, BF2% et BF3% successivement.

Ces résultats confirment celle de la littérature, l'ajout de fibres diminue l'ouvrabilité du béton. Donc, l'ajout de superplastifiant est fortement recommandé.



Figure III.2. Essai de l'affaissement pour le béton fibré ou ordinaire.

III.2.2. Masse volumique à sec

Dans le tableau III.2 et la figure III.3 nous avons rassemblé les résultats des mesures de la masse volumique à sec en fonction du pourcentage de fibre pour les différentes compositions.

Tableau III.2. Valeurs de la masse volumique pour les quatre bétons étudiés.

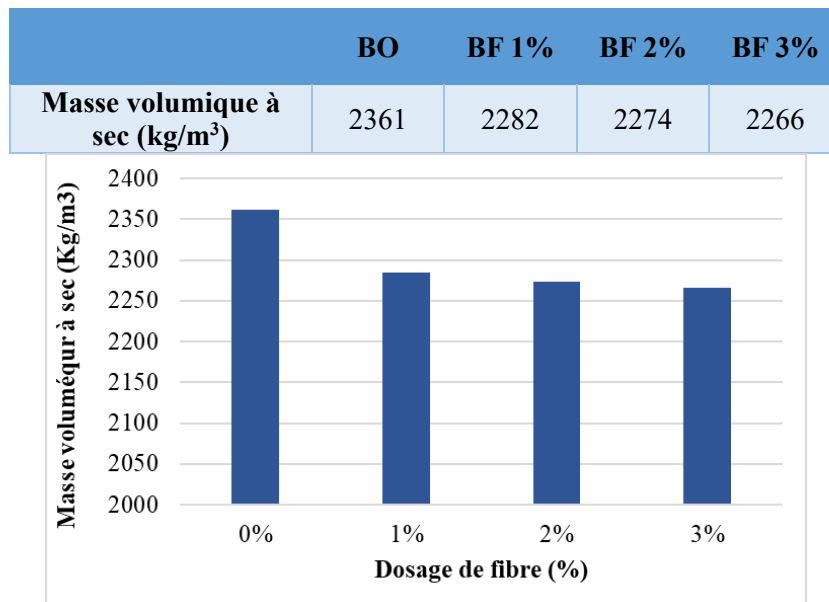


Figure III.3. Variation de la masse volumique pour les différents pourcentages Des fibres dans le béton.

Commentaire :

D'après les résultats présentés dans la figure III.3, on peut constater que l'ajout de fibre des canettes de boisson s'accompagne d'une baisse de la masse volumique du béton durci. Cette baisse croît avec l'augmentation du pourcentage de fibre. Elle passe de 2361 kg/m³ pour le béton ordinaire à 2282 kg/m³, 2274 kg/m³ et 2266 kg/m³. Une diminution faible et varie entre 3.3 et 4% par rapport au béton ordinaire.

III.2.3. Absorption à l'eau :

Dans le tableau III.3 et la figure III.4 nous avons regroupé les résultats des mesures de l'absorption d'eau par immersion totale pour les quatre bétons d'étude.

Tableau III.3. Valeurs de l'essai d'absorption d'eau par immersion totale pour les différents bétons d'étude.

Type du béton	M0	M1	A _b (%):
0%	2382,3	2234,5	6,61
1%	2353,2	2247,4	4,71
2%	2369,2	2229	6,29
3%	2390,7	2246,9	6,39

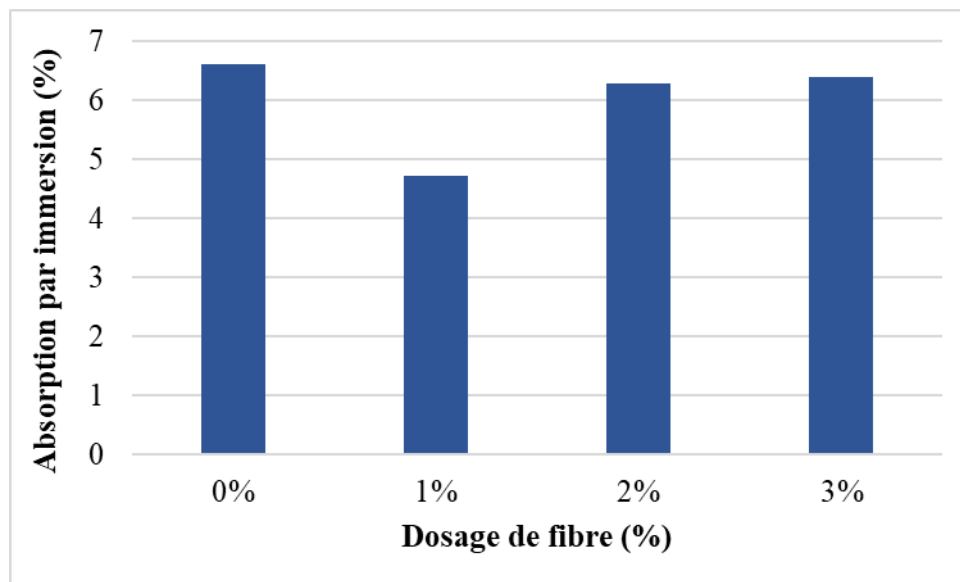


Figure III.4. Valeurs de l'absorption par immersion totale pour les quatre bétons d'étude.

Commentaire :

D'après la figure III.4, on peut remarquer que l'absorption d'eau par immersion totale des bétons fibrés est plus faible que celle du béton ordinaire, et elle augmente avec l'augmentation du pourcentage de fibre.

Par rapport au béton ordinaire, on a observé une diminution de l'absorption d'eau par immersion totale de 28.7%, 5.3% et 3.3% pour les trois bétons fibrés BF1%, BF2% et BF3% respectivement.

III.2.4. Essai d'ultrason :

La vitesse ultrasonique des différents bétons d'étude est mesurée sur éprouvette cubique (15x15x15) cm^3 à l'âge de 7 jours, 14 jours et 28 jours de conservation dans l'eau, les résultats sont présentés dans le tableau III.6 et la figure III.4.

Tableau III.4. Résultats d'ultrason des différents types du béton à 7, 14 et 28 jours.

Type du béton :	L'âge des éprouvettes :	Vitesse moyenne (m/s) :
BO	7 jours	4052.0
	14 jours	4155.1
	28 jours	4406.0
BF1%	7 jours	4022.0
	14 jours	4111.1
	28 jours	4226.5
BF2%	7 jours	3973.0
	14 jours	4053.2
	28 jours	4196.7
BF3%	7 jours	3947.0
	14 jours	3989.4
	28 jours	4055.0



Figure III.5. Essai d'ultrason sur éprouvette cubique.

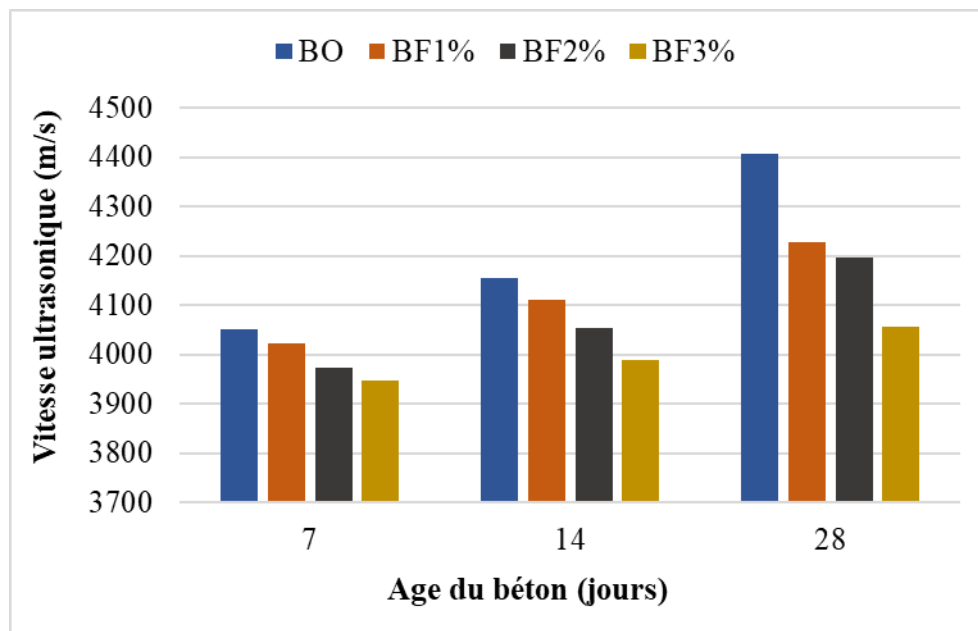


Figure III.6. Variation de la vitesse dans chaque pourcentage en fonction des jours.

Commentaire :

Selon le tableau III.3 qui donne la relation générale entre la qualité du béton et la vitesse d'impulsion, et d'après les résultats trouvés illustré dans la figure III.5, on peut dire que les vitesses obtenues pour les différentes formulations du indiquent que les bétons d'étude sont de bonne qualité ($V > 3500$ m/s).

On remarque aussi que l'ajout des fibres des cannettes de boisson fait diminuer la vitesse de propagation des ultrasons du béton, et ça pour les différents âges étudiés. Cette diminution augmente avec l'augmentation du pourcentage des fibres. A titre d'exemple, et à l'âge de 28 jours, cette diminution est de l'ordre de 4.1%, 4.8 et 8% pour les bétons fibrés BF1%, BF2% et BF3% respectivement.

III.2.5. Essai de compression :

III.2.5.1. Résistance à la compression à 28 jours

La détermination des valeurs des résistances à 28 jours des bétons étudiés est obtenue par un essai destructif sur presse traditionnelle et par un essai non destructif à l'aide d'un scléromètre digital.

a) Résistance à la compression à 28 jours par presse

Les moyennes des résistances mécaniques obtenues à 28 jours pour les différentes formules de bétons testées, sur trois éprouvettes, sont données dans le tableau III.5 et présentées sur la figure III.8.

Tableau III.5. Résistances ultimes à la compression pour les quatre formulations.

Designation des bétons	BO	BF1%	BF2%	BF3%
Résistance à la compression en (MPa)	32,79	31,45	29.97	29.02



Figure III.7. Ecrasement de l'éprouvette.

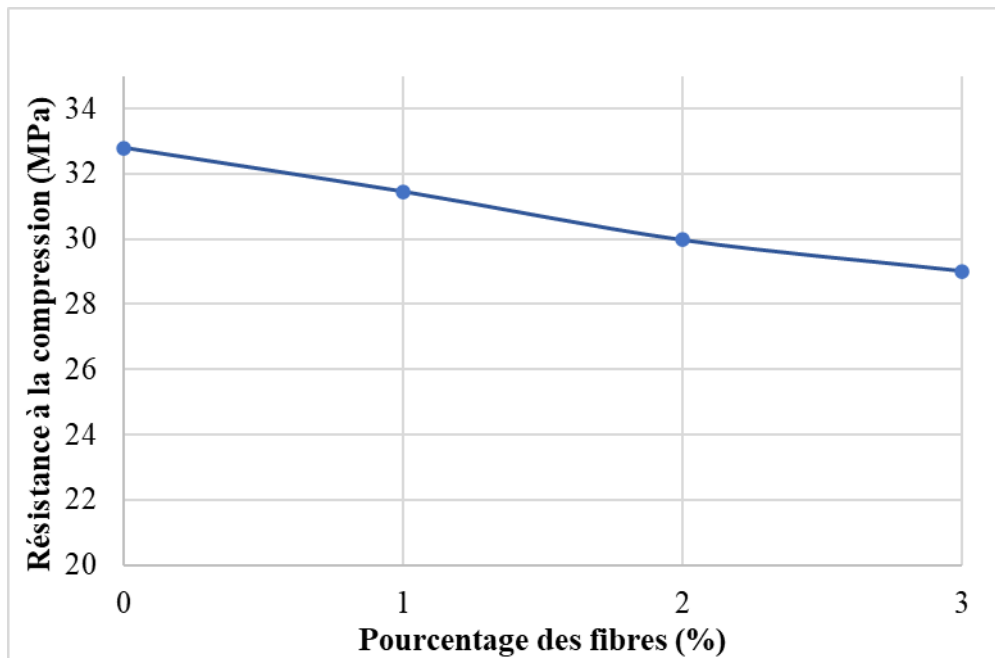


Figure III.8. Résistance à la compression par la presse à 28 jours de différents pourcentages de fibre.

Commentaire :

D'après la figure III.8, on remarque que l'ajout des fibres issues des canettes de boisson s'accompagne d'une baisse de la résistance en compression. Cette diminution augmente avec l'augmentation du pourcentage de fibre. Au bout de 28 jours de conservation, le béton ordinaire (BO) a donné une résistance de 32.79 MPa, contre des résistances de 31,45 MPa, 29,97 MPa et 29,02 MPa pour les trois bétons fibrés BF1%, BF2% et BF3% respectivement. Donc les écarts constatés sont 3.8%, 8.3% et 11.3% successivement. Malgré la diminution de la résistance, les valeurs restent acceptables, et au voisinage de la résistance demandée (30 MPa).

b) Résistance sclérométrique à la compression à 28 jours

Les valeurs de la résistance à la compression obtenues à 28 jours par l'utilisation de scléromètre pour les différentes formules de bétons testées, sont données dans le tableau III.6 et présentées sur la figure III.9.

Tableau III.6. Valeurs des résistances à la compression pour les quatre formulations.

Désignation des bétons	BO	BF1%	BF2%	BF3%
Résistance à la compression en (MPa)	25.03	20.80	20.1	20.00

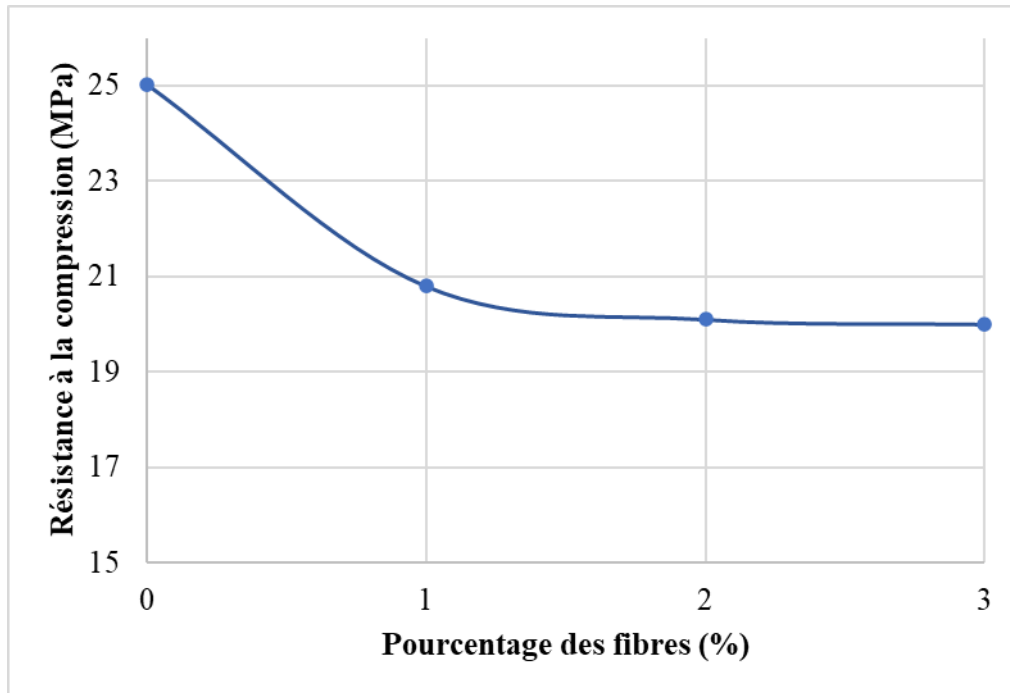


Figure III.9. Résistance à la compression par scléromètre à 28 jours de différents pourcentages de fibre.

Commentaire :

Les résultats de l'essai sclérométrique donnent des valeurs de résistance en compression des bétons plus faible que celle données par presse. Pour le béton ordinaire, l'écart constaté est de 23.5%, et intègre ainsi la précision de cet essai. En effet, et selon les résultats de la littérature spécialisée, la précision du scléromètre est d'environ 30% [1]. Cependant concernant les bétons fibrés les écarts observés sont plus élevés, mais il diminue avec l'augmentation du pourcentage de fibre. L'écart constaté est de 33.9%, 32.1% et 31.1% pour les trois bétons fibrés BF1%, BF2% et BF3% successivement.

III.2.5.2. Evolution de la résistance à la compression en fonction de l'âge du béton

Afin d'observer l'évolution de la résistance à la compression des bétons testés dans le temps, nous avons procédé à des mesures à 7, 14 jours d'âges des éprouvettes. Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau III.7 et la figure III.10.

Tableau III.7. Résultats d'écrasement des différents types du béton à 7 et 14 jours.

Désignation du béton	Age	Résistance moyenne (MPa)
BO	7 jours	24.12
	14 jours	28.07
BF1%	7 jours	22.88
	14 jours	27.88
BF2%	7 jours	22.01
	14 jours	26.97
BF3%	7 jours	21.84
	14 jours	26.67

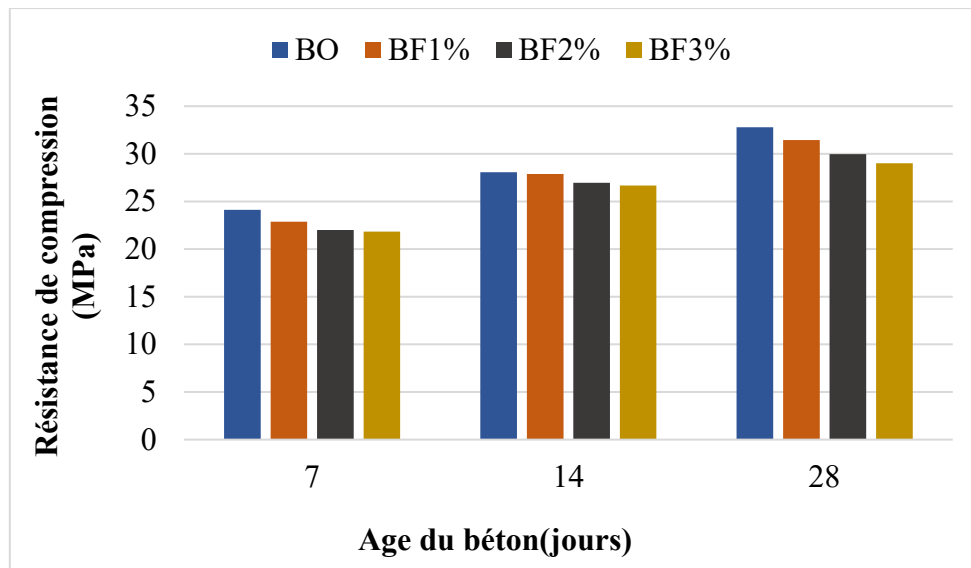


Figure III.10. Variation de la résistance à la compression en fonction de l'âge du béton et le de dosage des fibres.

Commentaire :

D'après la figure III.8, on remarque que pour les quatre bétons étudiés, la résistance à la compression continue a augmenté dans le temps et ça en raison de la poursuite de cristallisation du ciment (durcissement). En analysant les courbes de cette figure, on peut constater que ces

résistances évoluent pratiquement toutes de manière similaire. On constate aussi que plus de 70% de la résistance demandée à 28 jours (30MPa) a été atteinte à 7 jours (une évolution rapide des résistances au jeune âge) et ça pour les quatre bétons étudiés.

III.3. Résistance à la traction par fendage :

III.3.1. Résistance à la traction par fendage à 28 jours

Les résultats de la résistance à la traction par flexion à l'âge de 28 jours de conservation dans l'eau sont présentés dans le tableau et la figure suivants :

Tableau III.8. Résistance à la traction par fendage pour les quatre formulations.

Désignation des bétons	BO	BF1%	BF2%	BF3%
Résistance à la compression en (MPa)	32,79	31,45	29.97	29.02



Figure III.11. Essai de traction par fendage de l'éprouvette.

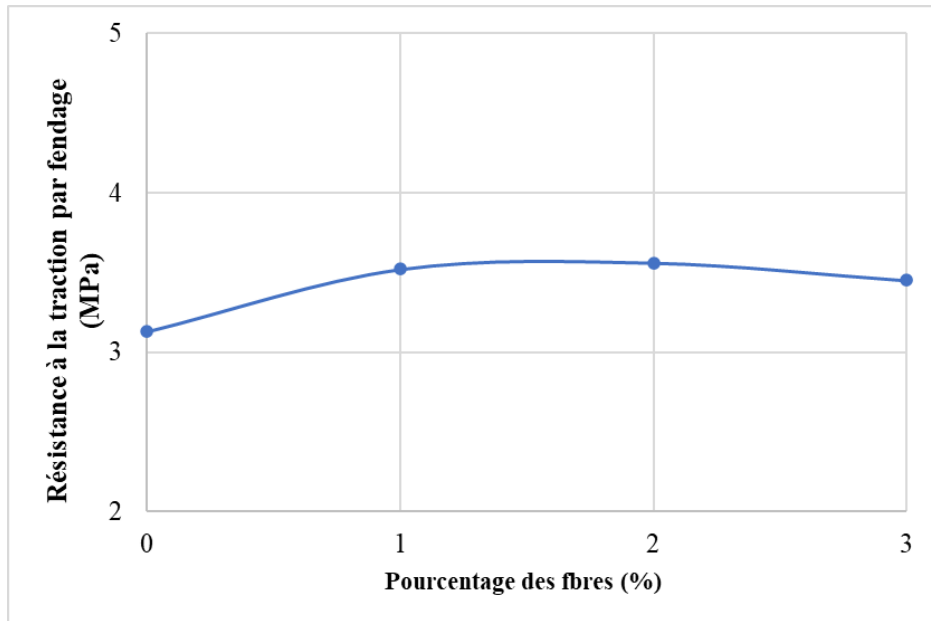


Figure III.12. Résistance à la traction par fendage à 28 jours de différents pourcentages de fibre.

Commentaire

Au niveau des résistances des bétons par fendage à l'âge de 28 jours, on remarque que l'ajout des fibres issues des canettes de boisson coupées s'accompagne d'une augmentation de la résistance à la traction par fendage jusqu'à un pourcentage de 2%, puis elle commence à diminuer pour le pourcentage en fibre de 3%. Malgré la diminution pour le pourcentage de 3%, la résistance à la traction par fendage reste supérieure à celle du béton ordinaire. A l'âge de 28 jours, la résistance à la traction par fendage du béton ordinaire (BO) s'élève à 3.13 MPa contre des résistances de 3.52 MPa ; 3.56 MPa et 3.45 MPa pour les bétons fibrés BF1%, BF2% et BF3%. Donc il y a une augmentation de 12.5% ; 13,7% et 10.2% respectivement.

III.3.2. Evolution de la résistance à la traction par fendage en fonction de l'âge du béton

L'évolution de la résistance à la traction par flexion dans le temps pour les quatre bétons est présentée dans le tableau III.9 et la figure III.13 :

Tableau III.9. Résultats au fendage des différents types du béton à 7, 14 et 28 jours.

Type du béton	Age	Résistance moyenne (MPa)
BO	7 jours	1.45
	14 jours	2.68
BF1%	7 jours	1.52
	14 jours	3.01
BF2%	7 jours	2.05
	14 jours	3.27
BF3%	7 jours	1.75
	14 jours	3.06

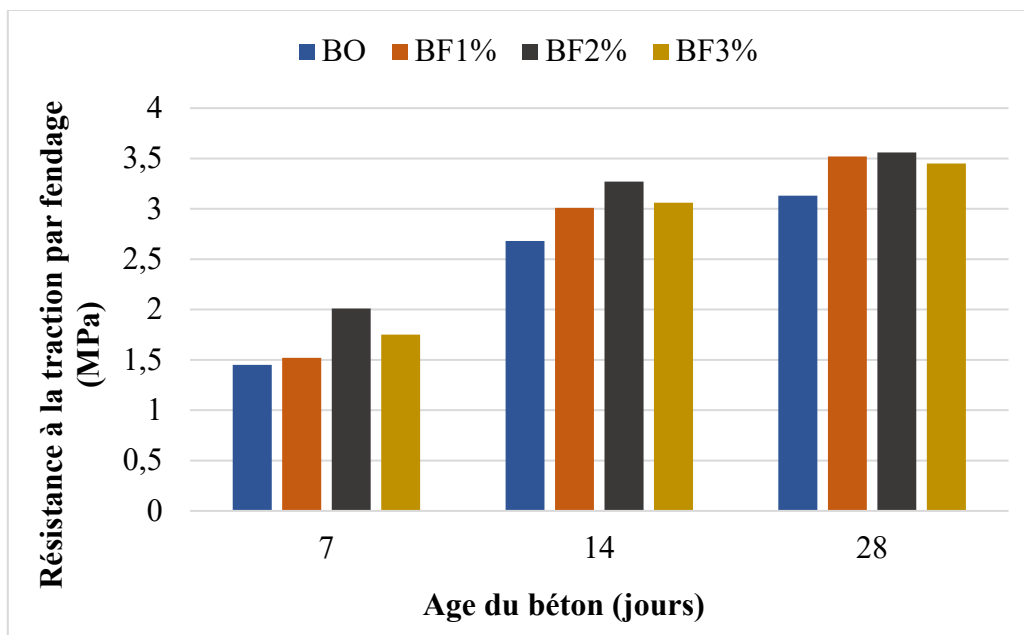


Figure III.13. Variation de la résistance en traction par fendage en fonction de l'âge des éprouvettes et en fonction de dosage des fibres.

Commentaire :

D'après la figure III.13, on remarque que pour les différents âges étudiés, la résistance à la traction par fendage continue à augmenter, et ça pour les quatre bétons étudiés. On remarque aussi que les bétons fibrés donnent des résistances à la traction par fendage au jeune âge supérieure à celle du béton ordinaire. A titre d'exemple, et à l'âge de 7 jours, la résistance à la traction par fendage du béton ordinaire (BO) s'élève à 1.45 MPa contre des résistances de 1.52 MPa ; 2.05 MPa et 1.75 MPa pour les bétons fibrés BF1%, BF2% et BF3%. Donc il y a une

augmentation de 4.8% ; 41,4% et 20.7% pour les bétons fibrés BF1%, BF2% et BF3% respectivement. Et une diminution de la résistance à la traction par fendage de 34.9% pour le béton fibré BF3% par rapport au béton fibré BF2%.

III.2.4. Essai de traction par flexion :

Pour effectuer les essais de traction par flexion, on a procédé à l'essai sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (7 x 7 x 28) cm³ conservées dans l'eau jusqu'au l'âge de l'essai. Les moyennes des résistances mécaniques obtenues à 07 jours et 28 jours pour les différentes formules de bétons testées, sur trois éprouvettes, sont données dans le tableau III.10 et présentées sur la figure III.15.

Tableau III.10. Résultats de la traction par flexion des différents types du béton à 7 et 28 jours.

Type du béton :	L'âge des éprouvettes :	Résistance moyenne (MPa) :
BO	7 jours	2.12
	28 jours	4.53
BF1%	7 jours	3.75
	28 jours	4.92
BF2%	7 jours	3.81
	28 jours	5.39
BF3%	7 jours	3.13
	28 jours	4.17



Figure III.14. Essai de traction par flexion de l'éprouvette

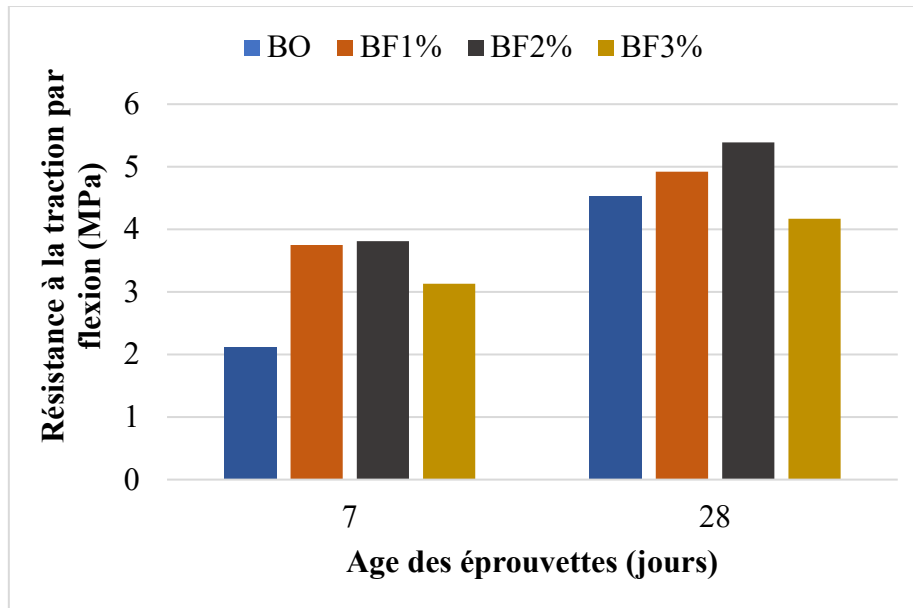


Figure III.15. Variation de la résistance en traction par flexion en fonction de l'âge des éprouvettes et en fonction de dosage des fibres.

Commentaire :

Pour la résistance à la traction par flexion, le constat est le même que pour la résistance à la traction par fendage, une augmentation de la résistance à la traction par flexion des bétons de fibre avec l'augmentation du dosage en fibre jusqu'à un dosage de 2% par rapport au béton ordinaire. Puis elle commence à diminuer pour le pourcentage de 3%.

A titre d'exemple, et à l'âge de 28 jours, la résistance à la traction par flexion du béton ordinaire (BO) s'élève à 4.53 MPa contre des résistances de 4.92 MPa ; 5.93 MPa et 4.17 MPa pour les bétons fibrés BF1%, BF2% et BF3%. Donc il y a une augmentation de 8.6% ; 30,9% pour les bétons fibrés BF1% et BF2% respectivement. Et une diminution de la résistance à la traction par flexion de 7.9% pour le béton fibré BF3%.

III. 2.5. Mode de rupture des éprouvettes soumise à la traction

Les figures III.16 et III.17 présentent les modes de rupture des éprouvettes soumises à la traction par fendage et à la traction par flexion respectivement. On a constaté que pour le béton ordinaire et pour les deux essais, à la rupture, les éprouvettes sont cassées en deux, donc c'est une rupture fragile correspondant à un comportement élastique. Par contre pour les éprouvettes du béton fibré, à la rupture, les éprouvettes sont juste fissurées. Donc, c'est une rupture ductile après une déformation plastique [2]. La densification des fissures diminue avec l'augmentation

du pourcentage de fibre jusqu'à 2%. Ces fissures deviennent plus denses pour les éprouvettes en béton fibré de BF3%.



0%



1%



2%



3%

Figure III.16. Mode de rupture à traction par fendage du 4 pourcentage.



Figure III.17. Mode de rupture à la traction par flexion du 4 pourcentage.

III.6. CONCLUSION :

Les résultats présentés dans ce chapitre montrent l'influence de l'ajout des fibres issues des canettes de boisson sur les propriétés du béton à l'état frais et à l'état durci. L'analyse de ces résultats nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- L'ajout des fibres d'aluminium issue des canettes de boisson diminue l'ouvrabilité, la masse volumique à sec ainsi que l'absorption d'eau par immersion totale du béton.
- Les valeurs des vitesses ultrasoniques obtenues pour les différents bétons fibrés indiquent que ces bétons sont de bonne qualité.
- L'ajout des fibres d'aluminium issue des canettes de boisson a donné des résistances à la compression acceptable.
- L'ajout des fibres d'aluminium issue des canettes de boisson augmente la résistance à la traction par flexion et la résistance de traction par fendage.

REFERENCES

[1] **Aissaoui W.** (2018) : « Etude expérimentale des propriétés mécaniques des bétons élaborés à base de granulats en caoutchouc ». Mémoire de Master, Université 8 Mai 1945, Guelma, Algérie.

[2] **Boukour S.** (2017) : « Caractéristiques physico-mécaniques et durabilité des éco-composites cimentaires à base de granulats de caoutchouc issus de pneus usagés ». Thèse de doctorat, Université 8 Mai 1945, Guelma, Algérie.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Ce travail s'inscrit dans le cadre du recyclage et de la valorisation des déchets solides abondant dans la nature comme fibres pour la production des bétons. Il s'appuie sur une étude expérimentale comparative qui a pour objectif d'intégrer des fibres d'aluminium issues des canettes de boisson sur le comportement du béton. A partir des résultats obtenus, on peut tirer les principales conclusions suivantes :

- L'ajout des fibres diminue l'ouvrabilité du béton, l'utilisation d'adjuvant tel qu'un plastifiant ou un superplastifiant est recommandée.
- La masse volumique à sec du béton diminue avec l'augmentation du pourcentage de fibre.
- L'ajout de fibre diminue l'absorption d'eau par immersion totale. Le pourcentage optimal est de 1%, il présente une diminution de l'absorption de 28.7%.
- L'ajout de fibre diminue la résistance à la compression. Plus le pourcentage de fibre est élevé plus la valeur de la résistance à la compression diminuent. Des pourcentages de moins de 2% ont donné des résistances acceptables
- L'ajout de fibre augmente la résistance à la traction par fendage. Le pourcentage optimal est de 2%, il présente une amélioration de la résistance à la traction par fendage de 13.7%.
- L'ajout de fibre jusqu'à un pourcentage de 2% augmente la résistance à la traction par flexion par 30.9%.
- L'ajout de fibre jusqu'à un pourcentage de 2% augmente la ductilité du béton, c'est-à-dire ses caractéristiques en post-fissuration.

Selon cette étude, on distingue que l'utilisation de fibre d'aluminium issue des canettes de boisson répond aux exigences et conditions d'ajout et d'utilisation des fibres dans le béton. Le pourcentage de 1% est le pourcentage le plus idéal soit pour les propriétés à l'état frais que pour les propriétés à l'état durci. Comme perspectives d'avenir, il serait important de poursuivre et de compléter ce travail par une étude sur l'influence de ces fibres sur la durabilité du béton.