

Ordre...../F.S.S.A/UAMOB/2024

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHESCIENTIFIQUE
UNIVERSITEAKLIMOHANDOUHADJ-BOUIRA



Faculté des Sciences et des sciences appliquées

Département Génie Civil

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

BOUGUERRA LOUNAS

KHABER YOUBA

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

Filière : **Génie Civil**

Option : Matériaux en Génie Civil

Thème :

Etude du comportement des cylindres multicouches en béton renforcé de fibres métalliques à taux variable.

Devant le jury composé de :

Pr. GLAOUI B.	Pr	UAMOB/GENIE CIVIL	PRESIDENT
Dr. LAOUCHEDI D.	MCB	UAMOB/GENIE CIVIL	PROMOTERICE
Pr. AIT TAHAR K.	Pr	UAMOB/GENIE CIVIL	CO-PROMOTEUR
Dr. KENNOUCHE S.	MCA	UAMOB/GENIE CIVIL	EXAMINATEUR

Année Universitaire 2023/2024



REMERCIEMENT

En guise de reconnaissance, nous tenons à témoigner nos sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribués de près ou de loin au bon déroulement de notre projet de fin d'étude et à l'élaboration de ce modeste travail.

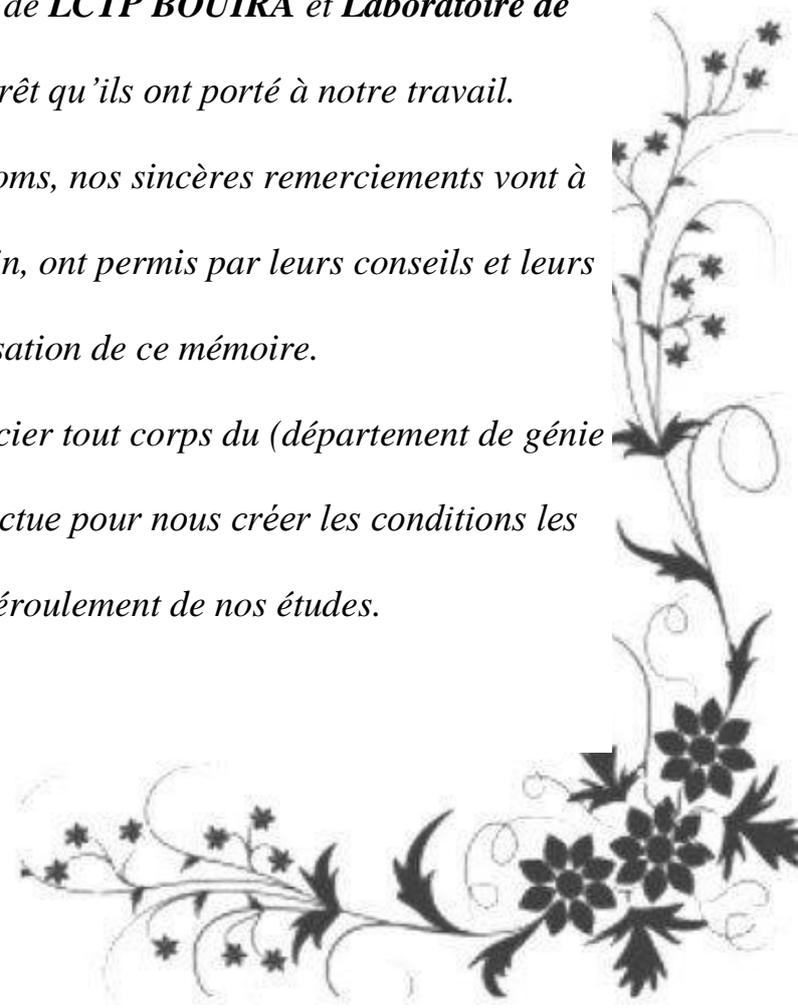
*Nos sincères gratitudee à notre promotrice **Dr LAOUCHEDI.D** et Co-promoteur **Pr AIT TAHAR.K** d'avoir proposé et dirigé notre projet de fin d'études.*

Nous remercions les membres de jury, pour avoir accepté d'examiner ce mémoire et juger notre travail, nous leurs exprimons toute notre gratitude pour l'intérêt qu'ils ont accordé à ce travail

*Sans oublier l'ensemble du personnel de **LCTP BOUIRA** et **Laboratoire de département** pour le suivi et l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail.*

Dans l'impossibilité de citer tous les noms, nos sincères remerciements vont à tous ceux et celles, qui de près ou de loin, ont permis par leurs conseils et leurs compétences la réalisation de ce mémoire.

Enfin, nous n'oserions oublier de remercier tout corps du (département de génie civil), pour le travail énorme qu'il effectue pour nous créer les conditions les plus favorables pour le déroulement de nos études.





DÉDICACE

Je dédie ce projet :

A ma chère mère,

A mon cher père,

Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir

Et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes sœurs, Lydia, Lina

A mon frère, Loussif

A mon beau-frère Mohamed et sa famille

Qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail.

A mon chers binom YOUNA

Pour son entente et sa sympathie.

Pour son indéfectible soutien et sa patience infinie.

A mes cher(e)s ami (e)s, D. Sohaib, T. rayan, M.Nacer, B. Sliman et O. Hocine

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.

A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

Merci !

Lounas



DÉDICACE

Je dédie ce projet :

A ma chère mère,

A mon cher père,

Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir

Et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A ma sœur, Kenza

A mes frères, Brahim, Ayoub

Qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail.

A mon cher binom LOUNAS

Pour son entente et sa sympathie.

Pour son indéfectible soutien et sa patience infinie.

*A mes chers amis, T.Rayane, B. Sliman, D. Sohaib, KH. Farhat et KH. Wail Pour
leurs aides et supports dans les moments difficiles.*

*A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la
vivacité.*

*A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de
succès.*

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

Merci !

Youba

RÉSUMÉ

Le renforcement des matériaux de construction, en particulier le béton, par des fibres métalliques, est une technique de plus en plus utilisée pour améliorer leurs caractéristiques mécaniques.

Ce travail, présenté dans ce mémoire, a pour objectif principal d'étudier le comportement de cylindres multicouches en béton renforcé de fibres métalliques à des taux variables (1.5% et 2%), ainsi que l'influence de la répartition de ces fibres dans le béton. Différentes variantes ont été étudiées, avec des fibres métalliques réparties aléatoirement et selon des configurations spécifiques : C-BF-RA, C-BF-R-(0.5-0.5-0.5), C-BF-R-(0.25-1-0.25), C-BF-R-(1-0.25-0.25), C-BF-R-(0.25-0.25-1), C-BF-R-(0.66-0.66-0.66), C-BF-R-(0.5-1-0.5), C-BF-R-(1-0.5-0.5), C-BF-R-(0.5-0.5-1).

Les résultats confirment l'effet bénéfique de l'incorporation de 1.5% de fibres métalliques sur les propriétés physico-mécaniques du béton, et révèlent que la répartition structurée des fibres améliore la résistance mécanique en compression. L'étude conclut que le dosage de 1.5% de fibres métalliques joue un rôle important dans l'amélioration des propriétés mécaniques des cylindres en béton, tandis que la répartition des fibres a une influence encore plus significative. En effet, la disposition stratégique des fibres est cruciale pour maximiser les propriétés mécaniques du béton.

Mots clés : Béton fibré, fibre métallique, cylindre en béton, taux, répartition, cylindre multicouche.

ABSTRACT

The reinforcement of construction materials, in particular concrete, with metallic fibers, is a technique increasingly used to improve their mechanical characteristics. This work, presented in this dissertation, has the main objective of studying the behavior of multilayer concrete cylinders reinforced with metallic fibers at variable rates (1.5% and 2%), as well as the influence of the distribution of these fibers in concrete. Different variants were studied, with metal fibers distributed randomly and according to specific configurations: C-BF-RA, C-BF-R-(0.5-0.5-0.5), C-BF-R-(0.25-1-0.25), C-BF-R-(1-0.25-0.25), C-BF-R-(0.25-0.25-1), C-BF-R-(0.66-0.66-0.66), C-BF-R- (0.5-1-0.5), C-BF-R-(1-0.5-0.5), C-BF-R-(0.5-0.5-1).

The results confirm the beneficial effect of the incorporation of 1.5% of metallic fibers on the physico-mechanical properties of concrete, and reveal that the structured distribution of fibers improves the mechanical resistance in compression.

The study concludes that the dosage of 1.5% of metal fibers plays an important role in improving the mechanical properties of concrete cylinders, while the distribution of fibers has an even more significant influence. Indeed, the strategic arrangement of fibers is crucial to maximize the mechanical properties of concrete.

Keywords: Fiber-reinforced concrete, metal fiber, concrete cylinder, rate, distribution, multi-layer cylinder.

ملخص

أصبح استخدام الألياف المعدنية لتعزيز مواد البناء، وخاصة الخرسانة، تقنية شائعة لتعزيز خصائصها الميكانيكية. يهدف هذا العمل المقدم في هذه الأطروحة إلى دراسة سلوك الأسطوانات الخرسانية متعددة الطبقات المسلحة بالألياف المعدنية بنسب متغيرة (1.5% و 2%)، وكذلك تأثير توزيع هذه الألياف في الخرسانة. تمت دراسة متغيرات مختلفة، حيث تم توزيع الألياف المعدنية بشكل عشوائي و وفقًا لتكوينات محددة: (0.5-0.5-0.5)، (0.25-0.25-0.25)، (1-0.25-0.25)، (0.25-0.25-0.25)، (1-0.25-0.25)، (0.5-0.5-1)، (0.5-1-0.5)، (-0.66-0.66-0.66)، (1-0.25-0.25).

أثبتت الدراسة أن التوزيع المنظم للألياف يعزز قوة الضغط وأن نسبة 1.5% من الألياف المعدنية تساهم بشكل كبير في تحسين الخواص الميكانيكية للأسطوانات الخرسانية، حيث يلعب توزيع الألياف دورًا حاسمًا. في الواقع، يعد الترتيب الاستراتيجي للألياف أمرًا ضروريًا لرفع الخواص الميكانيكية للخرسانة.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة المسلحة بالألياف، الألياف المعدنية، الأسطوانة الخرسانية، التوزيع، الأسطوانة متعددة الطبقات.

Nomenclature

K : Clinker

S : Laitier de haut fourneau

D : Fumée de silice

P : Pouzzolanes naturelles

Q : Pouzzolanes naturelles calcinées

V : Cendres volantes siliceuses

W : Cendres volantes calciques

T : Schiste calcinée

L et LL : Calcaire

MF : module de finesse

μ_f : La fraction volumique des fibres

BF : Béton fibré

BT : Béton témoin

C-B-Ref : Cylindre en béton - référence

C-BF-RA : cylindre en béton fibré répartition aléatoire

SOMMAIRE

RÉSUMÉ	5
ABSTRACT	6
ملخص.....	7
Nomenclature	8
Introduction générale.....	15
Chapitre I. Les bétons de fibres	17
I.1 Introduction	18
I.2 Historique de béton fibrés :	18
I.3 Définition de béton fibrés :	19
I.4 Les constituants de base de béton fibré :	19
I.4.1 Le béton :	19
I.4.1.1 Le ciment :	20
I.4.1.2 Les granulats :	21
I.4.1.3 Eau de gâchage :	22
I.4.2 Les fibres :	22
I.4.2.1 Types de fibres utilisées dans le béton :	22
I.4.2.1.1 Les fibres métalliques :	23
I.4.2.1.2 Les fibres de polypropylène :	24
I.4.2.1.3 Fibre de verre :	24
I.4.2.1.4 Les fibres de carbone :	25
I.4.2.2 Les critères de choix du type des fibres :	25
I.4.2.3 Le rôle des fibres :	26
I.5 Formulation et caractérisation :	27
I.5.1 Formulation du béton de fibre renforcé :	27
I.5.2 Caractérisation mécaniques et physiques du béton de fibre :	27
I.6 Comportement mécanique :	28
I.6.1 Comportement en compression :	28
I.6.2 Comportement en traction :	28
I.7 Domaines d'utilisation du béton renforcé de fibres :	29
I.8 Avantage de béton de fibres :	30
Conclusion du chapitre	31
Chapitre II. Revue de littérature sur les bétons de fibres	32
II.1 Introduction du chapitre	33

II.2	Travaux antérieurs sur les bétons de fibre :	33
	Ali Ellouze et al.	33
	Julian Carrillo et al .	34
	Xijun Shi et al .	37
	Muhammad Usmanet al. .	39
	Özer Zeybek et al .	40
	Muhammad Haris et al. .	42
	MALEK A et LAMRI .	43
	KHINECHE M. .	44
	ARABA et RAFAIH .	46
	ABDEL MADJID B. .	48
	GHERAI BIAL. .	50
	FERDJALI A et SOUFI M. .	51
	Chenafi H et Bourokba A. .	52
	Conclusion du chapitre .	54
Chapitre III.	Investigations expérimentales .	55
III.1	Introduction .	56
III.2	Matériaux utilisés :	56
III.2.1	Ciment :	56
III.2.1.1	Caractéristique physique et chimique :	56
III.2.1.2	Caractéristique mécanique :	56
III.2.2	Sable :	57
III.2.2.1	Masse volumique apparente et spécifique :	57
III.2.2.2	Equivalent de sable :	58
III.2.2.3	Blue de méthylène :	58
III.2.2.4	Analyse granulométrique :	59
III.2.2.5	Module de finesse :	60
III.2.3	Gravier (3/8) et (8/15) :	61
III.2.3.1	Masse volumique apparente et spécifique :	61
III.2.3.2	Micro Deval :	61
III.2.3.3	Los Angeles :	61
III.2.3.4	Aplatissement :	62
III.2.3.5	Porosité :	63
III.2.3.6	Absorption :	64
III.2.3.7	Analyse granulométrique :	64

III.2.4	Fibre métallique :	65
III.3	Formulation :	66
III.3.1	Présentation des variantes d'études :	66
III.3.2	Composition de béton :	67
III.3.3	Réalisation des éprouvettes :	67
III.4	Caractérisation de béton :	69
III.4.1	Caractérisation de béton à l'état frais : Masse volumique	69
III.4.2	Caractérisation de béton à l'état durci :	70
III.4.2.1	Masse volumique	70
III.4.2.2	Essai à la compression :	70
	Conclusion du chapitre	71
CHAPITRE IV.	Résultats et discussion	72
IV.1	Introduction	73
IV.2	Résultats :	73
IV.2.1	La résistance à 7 jours variante de 1.5% des fibres :	74
IV.2.2	La résistance à 7 jours variante de 2% des fibres :	75
IV.2.3	La résistance à 28 jours variante de 1.5% des fibres :	76
IV.2.4	La résistance à 28 jours variante de 2% des fibres :	77
IV.2.5	La résistance maximale des différentes variantes :	78
IV.3	Discussion des résultats et conclusion	78
	Conclusion générale	80
	Référence bibliographique.	82

LISTE DES FIGURES

<i>Figure I.1. Le ciment</i>	21
<i>Figure I.2. Les granulats</i>	22
<i>Figure I.3. Fibres métalliques</i>	23
<i>Figure I.4. Fibre de polypropylène</i>	24
<i>Figure I.5. Fibre de verre</i>	24
<i>Figure I.6. Fibre de carbone</i>	25
<i>Figure I.7. Fissuration dans le béton sans et avec fibres</i>	26
<i>Figure I.8. Courbe d'évolution de la contrainte à la compression en fonction de la déformation avec différent pourcentage des fibres (Bencardino. 2008).</i>	28
<i>Figure I.9. Diagramme représente comportement de charge-déformation de béton avec fibres et béton sans fibres.</i>	29
<i>Figure I.10. Verrouillage de fissure par les fibres.</i>	30
<i>Figure I.11. Diagramme contrainte déformation pour un béton sans et avec des fibres</i>	31
<i>Figure II.1. Contrainte-déformation sous compression axiale des différents bétons témoins (BT1, BT2, BT3)</i>	35
<i>Figure II.2. Contrainte-déformation lors des essais de compression pour différentes valeurs de fibre D_f en kg/m^3 BRFI: (b) 12.7, (c) 31.5, (d) 65.2, BRFR: (e) 18.6, (f) 34.0, (g) 65.1</i>	35
<i>Figure II.3. Contrainte-déformation lors des essais de traction par fendage pour différentes valeurs de fibre D_f en kg/m^3 BRFI: (b) 12.7, (c) 31.5, (d) 65.2, BRFR: (e) 18.6, (f) 34.0, (g) 65.1.</i>	36
<i>Figure II.4. Modes de ruptures des essais de traction par fendage (a) : BT, (b) : BRFR, (c) : BRFI</i>	36
<i>Figure II.5. Types des fibres (Crochet et Droite)</i>	37
<i>Figure II.6. L'affaissement en fonction de taux des fibres</i>	37
<i>Figure II.7. Rupture par compression du béton ordinaire et béton fibré</i>	38
<i>Figure II.8. Compression en fonction de taux des fibres</i>	38
<i>Figure II.9. Traction par flexion en fonction de taux des fibres</i>	39
<i>Figure II.10. Essai de compression du béton fibré non confiné</i>	39
<i>Figure II.11. Essai de compression du béton fibré confiné avec 3 couches</i>	40
<i>Figure II.12. Fibre d'acier recyclé</i>	41
<i>Figure II.13. Contrainte-déformation des différents bétons</i>	41
<i>Figure II.14. Contrainte de compression en fonction de pourcentage des fibres</i>	42
<i>Figure II.15. Déchet d'acier</i>	43
<i>Figure II.16. Histogramme de BFA compression 7,14j,28j</i>	43
<i>Figure II.17. Histogramme des résistances de compression des BT, BFA, BFE à 7,14j et 28j</i>	44
<i>Figure II.18. Evolution de la résistance de compression avec température.</i>	45
<i>Figure II.19. Evolution de la résistance de traction par flexion avec température.</i>	46
<i>Figure II.20. Effet de l'ajout de fibres métalliques sur la détrition sous compression des BUHP.</i>	46
<i>Figure II.21. Histogramme représentant l'évolution des résistances à la compression des différentes formulations</i>	47
<i>Figure II.22. Variante de fibre</i>	49
<i>Figure II.23. La liste des abréviations utilisé</i>	51
<i>Figure II.24. Histogramme type de béton-résistance à la traction par flexion</i>	53

<i>Figure II.25. Influence de la géométrie des fibres sur résistances en compression des bétons d'étude a 28 jours.</i>	54
<i>Figure III.1. Caractéristiques du ciment</i>	56
<i>Figure III.2. Masse volumique apparente</i>	57
<i>Figure III.3. Masse volumique spécifique</i>	58
<i>Figure III.4. Essai équivalent de sable</i>	58
<i>Figure III.5. Essai de bleu de méthylène</i>	59
<i>Figure III.6. Série des tamis pour l'essai analyse granulométrique</i>	59
<i>Figure III.7. Essai Micro-Deval</i>	61
<i>Figure III.8. Essai Los Angeles</i>	62
<i>Figure III.9. Essai d'aplatissement</i>	62
<i>Figure III.10. Courbe d'analyse granulométrique</i>	65
<i>Figure III.11. Fibre métallique</i>	66
<i>Figure III.12. Malaxeur 180 L</i>	67
<i>Figure III.13. Moule (11-22) cm</i>	68
<i>Figure III.14. Remplissage par couche des éprouvettes</i>	68
<i>Figure III.15. Réalisation des éprouvettes</i>	68
<i>Figure III.16. Conservation des éprouvettes dans l'eau</i>	69
<i>Figure III.17. La variation de la masse volumique BT, BF à l'état frais</i>	69
<i>Figure III.18. La variation de la masse volumique BT, BF à l'état durci</i>	70
<i>Figure III.19. Appareille d'essai</i>	70
<i>Figure III.20. L'écrasement des éprouvettes</i>	71
<i>Figure IV.1. Mode de rupture des éprouvettes avec une répartition de (0.25-0.25-1)</i>	73
<i>Figure IV.2. Mode de rupture des éprouvettes avec une répartition de (1-0.5-0.5)</i>	73
<i>Figure IV.3 La courbe d'évolution à 7 jours pour une variante de 1.5 % de fibres</i>	74
<i>Figure IV.4 Histogramme des contraintes en fonction de type de béton 1,5 7 J</i>	74
<i>Figure IV.5. La courbe d'évolution à 7 jours pour une variante de 2 % de fibres</i>	75
<i>Figure IV.6. Histogramme des contraintes en fonction de type de béton 2% 7J</i>	75
<i>Figure IV.7. La courbe d'évolution à 28 jours pour une variante de 1.5 % de fibres</i>	76
<i>Figure IV.8. Histogramme des contraintes en fonction de type de béton 1,5 28 J</i>	76
<i>Figure IV.9. La courbe d'évolution à 28 jours pour une variante de 2 % de fibres</i>	77
<i>Figure IV.10. Histogramme des contraintes en fonction de type de béton 2% 28 J</i>	77
<i>Figure IV.11. Histogramme résistance maximale à 28 jours pour les différentes variantes</i>	78
<i>Figure IV.12. Courbe de résistance maximale à 28 jours pour les différentes variantes</i>	78

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau I.1. Compositions des ciments courants</i>	20
<i>Tableau I.2. Caractéristiques des fibres couramment utilisées [9]</i>	23
<i>Tableau II.1. Résultats des essais de compression et de traction (par fendage) en MPa</i>	33
<i>Tableau II.2. Résultats des essais de compression et le module de Young des BFM</i>	34
<i>Tableau II.3. Résistances à la compression et forces maximal de béton a 1% de fibres</i>	49
<i>Tableau II.4. Résistances à la compression et forces maximal de béton a 0.3% de fibres</i>	49
<i>Tableau II.5. Résistance à la compression des bétons témoins et des bétons fibrés (fibres d'acier plates et ondulées) avec deux pourcentages (1 % et 2 %)</i>	50
<i>Tableau II.6. Résistance à la traction des éprouvettes en béton témoin et bétons fibrés (fibres d'acier plates et ondulées) avec deux pourcentages (1 % et 2 %)</i>	50
<i>Tableau II.7. Résultats des propriétés mécaniques des BAP et BAPF</i>	52
<i>Tableau II.8. Résultats de résistance en compression</i>	53
<i>Tableau III.1. Caractéristiques mécaniques</i>	56
<i>Tableau III.2. Analyse granulométrique du sable</i>	59
<i>Tableau III.3. Caractéristiques du sable oued souf</i>	60
<i>Tableau III.4. Les masses volumiques de gravier</i>	61
<i>Tableau III.5. Valeurs de coefficient Micro Deval</i>	61
<i>Tableau III.6. Valeurs de coefficient LA</i>	62
<i>Tableau III.7. Coefficient d'aplatissement pour le gravier 3/8</i>	63
<i>Tableau III.8. Coefficient d'aplatissement pour le gravier 8/15</i>	63
<i>Tableau III.9. Valeurs de la porosité</i>	64
<i>Tableau III.10. Valeurs de l'absorption</i>	64
<i>Tableau III.11. Analyse granulométrique du gravier 3/8</i>	64
<i>Tableau III.12. Analyse granulométrique de gravier 8/15 :</i>	65
<i>Tableau III.13. Caractéristiques des fibres</i>	66
<i>Tableaux III.14. Présentation des variétés d'étude</i>	67
<i>Tableau III.15. Compositions des bétons étudiés</i>	67
<i>Tableau III.16. Variation de la masse volumique à l'état frais de différents bétons</i>	69
<i>Tableau III.17. Variation de la masse volumique à l'état durci de différents bétons</i>	70
<i>Tableau IV.1 La résistance à 7 jours variante de 1.5% des fibres</i>	74
<i>Tableau IV.2. La résistance à 7 jours variante de 2% des fibres</i>	75
<i>Tableau IV.3. La résistance à 28 jours variante de 1.5% des fibres</i>	76
<i>Tableau IV.4. La résistance à 28 jours variante de 2% des fibres</i>	77

Introduction générale

L'inconvénient du béton réside dans sa faible résistance à la traction comparativement à sa résistance à la compression. Pour remédier à cela, le béton a été renforcé en y ajoutant des armatures en acier, donnant naissance au béton armé. Cependant, ce dernier présente également des inconvénients majeurs : une hétérogénéité ainsi que des difficultés de mise en œuvre en raison du ferrailage complexe.

Depuis les années soixante, les chercheurs ont entrepris divers travaux visant à améliorer les propriétés du béton frais et durci. Pour les structures d'épaisseur mince, des approches qui consistent à remplacer les armatures longues par des fibres courtes, afin de créer un matériau composite qui présente une ductilité en traction, sont proposées par différents auteurs.

Les fibres sont incorporées de manière aléatoire dans la matrice de béton, conférant une meilleure résistance à la traction et un comportement post-rupture amélioré. Les fibres les plus utilisées pour le renforcement du béton sont les fibres d'acier, de verre, de fonte, et de polypropylène,

Les bétons renforcés de fibres ont trouvé diverses applications, notamment dans les dallages industriels, la réparation de canalisations d'assainissement, la projection dans les tunnels et la construction de chaussées autoroutières et de parkings.

Notre travail vise à explorer les possibilités de renforcement du béton par les fibres métalliques et à contribuer à l'avancement des connaissances dans ce domaine.

L'incorporation des fibres dans le béton se fait généralement d'une manière aléatoire ou orientée. Dans notre travail, on a introduit un nouveau paramètre qui tient compte du mode de répartition des fibres par couches du béton fonction de la hauteur, telle que la quantité de fibres reste constante. L'objectif consiste à trouver une meilleure répartition des fibres dans notre béton (optimisation) qui confèrera au béton une meilleure résistances et des performances mécaniques intéressantes. L'effet de la variance de la fraction volumique des fibres sur la résistance à la compression est également considéré.

Le projet commence par une section introductive qui donne un aperçu du sujet exploré et décrit l'organisation de sujet de recherche.

Le premier chapitre se base sur les constituants de béton ainsi que les fibres couramment utilisées dans le domaine du génie civil, leurs propriétés mécaniques. De plus, ce chapitre examine le domaine d'application et le comportement des bétons fibrés.

Dans le deuxième chapitre, une revue complète de la littérature est présentée, mettant en évidence des études antérieures menées sur le béton renforcé de fibres métalliques.

Le troisième chapitre est entièrement consacré à l'analyse physico-mécaniques des constituants de béton fibré, à savoir, le ciment, les granulats et les fibres métalliques. la réalisation des différentes variantes de cylindres multicouches en béton fibré est présentée dans cette partie.

Enfin, le quatrième chapitre est dédié à la présentation des résultats des essais mécaniques illustrés dans des tableaux, des graphes et des histogrammes, en se concentrant spécifiquement sur l'impact du taux et la répartition de fibres dans les couches des cylindres sur la résistance mécanique et les modes de rupture. Une discussion des résultats est aussi conduite pour mieux comprendre l'influence des fibres métalliques sur la capacité portante et surtout mettre en exergue la pertinence de notre proposition de répartition optimisée par couches du cylindre de béton.

Ce travail est terminé par des conclusions formulées, qui mettent en évidence les principales améliorations obtenues en termes de résistances et justifie le recours à cette approche de répartition des fibres dans la matrice béton du cylindre soumis à une charge axiale de compression.



Chapitre I. Les bétons de fibres

Chapitre I. Les bétons de fibres

I.1 Introduction

Les bétons fibrés sont des matériaux composites qui combinent un béton traditionnel avec des fibres de différentes natures. Pour améliorer les différentes caractéristiques notamment la résistance la durabilité le comportement mécanique. Parmi ces fibres on trouve les fibres métalliques qui sont les plus couramment utilisées raison de leur compatibilité avec le béton.

I.2 Historique de béton fibrés :

L'histoire du béton fibré remonte à l'Antiquité. Depuis son invention, de nombreuses études ont été menées. Les grandes tâches accomplies comprennent :

ANTOINE, E.N. et le comité ACI ont souligné l'utilisation de techniques telles que l'incorporation de pailles pour renforcer les briques, ainsi que l'emploi de poils d'animaux et de fibres pour renforcer le plâtre et la pâte de ciment. Au milieu du XXe siècle, des alliages métalliques contenant des fibres de carbone ont également été développés. [1,2]

En 1910, J. PORTER a mené une série d'essais visant à améliorer la résistance du béton. Il a conclu que l'ajout de fibres courtes au béton augmentait sa résistance.

Un an plus tard, GRAHAM a obtenu avec succès le premier brevet aux États-Unis pour le béton à base de fibres, décrivant l'incorporation de bandes d'acier comme renfort dans les matériaux de construction. Un autre brevet relatif à ce sujet a été déposé par WEAKLEY.

L'année suivante, une méthode alternative impliquait l'utilisation de bandes de fils d'acier, constituées de deux fils reliés par un anneau, pour établir une connexion durable avec le béton.[3]

L'année qui suit, une autre approche consistait à utiliser des bandes de fils d'acier, fabriquées à partir de deux fils et reliées par un anneau, pour assurer une adhérence durable avec le béton.

Le premier brevet allemand pour la production de béton infusé d'une quantité importante de particules de fer, donnant lieu à un matériau malléable proche de l'acier, a été déposé par A. KLEINLOGEL.

En 1938, N. ZITEVIC a obtenu un brevet en Grande-Bretagne. Sa méthode consistait à mélanger de petits composants en fer, mesurant environ 100 mm de longueur et 1,00 mm de diamètre, avec le béton. Ces éléments métalliques présentent une ressemblance frappante avec les fibres utilisées aujourd'hui pour renforcer les structures en béton. Il a conclu que cette intégration améliorerait considérablement la résistance du béton.

À partir de 1940, différents pays ont commencé à mettre en œuvre différentes méthodes pour améliorer la qualité du béton en intégrant des fibres d'acier. Parmi ces méthodes, une se démarque particulièrement : l'approche de G. CONSTANTINESCO, développée d'abord en Angleterre en 1943 puis aux États-Unis en 1954. Cette méthode mérite une reconnaissance particulière pour son impact significatif.

LANKARD et SHEETS. Ils ont confirmé que l'ajout de 1 % à 2 % de fibres au béton réfractaire entraîne une amélioration significative de sa résistance. [4]

Dès 1970, un réveil s'opère dans le domaine du béton fibré. Des nouvelles approches ont été mises en travail pour améliorer les propriétés des bétons fibrés.

I.3 Définition de béton fibrés :

Le béton fibré est un matériau composite d'une matrice cimentaire mortier ou béton et d'un renfort de fibres. Il combine les propriétés du béton traditionnel avec celles des fibres incorporées. Ils peuvent être classés en fonction de leur provenance : naturelle, synthétique ou artificielle. Ces fibres se dispersent aléatoirement dans la matrice de béton. Ils confèrent au béton fibré des caractéristiques particulières qui le rendent adapté à diverses applications.[5]

I.4 Les constituants de base de béton fibré :

Le béton fibré est un matériau composé d'une matrice qui est le béton combiné avec un renfort de fibres.

I.4.1 Le béton :

Le béton est matériau de construction essentiel, composé du mélange de granulats, de sable et d'eau, liés par un liant hydraulique (généralement du ciment). Ses origines remontent à plus de 3 000 ans avant J.C., lorsque l'argile, le sable et le gravier étaient combinés pour former ce qu'on appelait alors le béton de terre. L'invention du « ciment romain » en 1796. Aujourd'hui, il est le matériau de construction le plus répandu à l'échelle mondiale, avec une

production estimée à environ une tonne par habitant sur la planète. Le béton trouve principalement sa place dans le bâtiment, la voirie et les ouvrages d'art. [6]

I.4.1.1 Le ciment :

Le ciment est liant hydraulique utilisé dans l'industrie de la construction pour créer des structures solides et durables. Il est fabriqué à partir d'un mélange de matières premières, principalement du calcaire et de l'argile, qui sont broyées et chauffées à des températures élevées dans un four. Ce processus de chauffage, appelé clinkérisation, transforme les matières premières en une substance dure appelée clinker. Le clinker est mélangé avec 5% de gypse, ensuite finement broyé pour obtenir une poudre fine, qui est le ciment proprement dit. Sa composition principale est : le C₂S, C₃S représentent environ 73 à 80 % du ciment tandis que le C₃A et le C₄AF entre 13 à 19 %, il existe aussi d'autres éléments en faible quantité telle que Le soufre, alcalin, MgO, chlorure, la chaux libre.[7]

Il peut également contenir d'autres ajouts minéraux, tels que des cendres volantes, du laitier de haut fourneau ou du calcaire, pour améliorer certaines propriétés du ciment. Lorsque le ciment est mélangé avec de l'eau, une réaction chimique appelée hydratation se produit. Cette réaction produit des composés chimiques, notamment des silicates de calcium hydratés CSH et des hydroxydes de calcium CAH, qui forment des cristaux solides, qui sont le responsable de la résistance de ciment.

Les ciments courants sont décrits dans la norme européenne NF EN 197-1 : 2012, ainsi que leur composition, leurs spécifications et leurs critères de conformité.

Tableau.I.1.Compositions des ciments courants

TYPE DE CIMENT	CLINKER K %	AUTRE CONSTITUANTS PRINCIPAUX S/D/P/Q/V/W/T/L/LL %	CONSTITUANTS SECONDAIRES %
CEM I CIMENT PORTLAND	95 à 100	0	0 à 5
CEM II CIMENT PORTLAND COMPOSÉ	65 à 94	6 à 35 S/D/P/Q/V/W/T/L/LL	0 à 5
CEM III CIMENT DEHAUT FOURNEAU	5 à 64	LAITIER : 36 à 95	0 à 5
CEM IV CIMENT POUZZOLANIQUE	45 à 89	D/P/Q/V/W : 11 à 55	0 à 5
CEM V CIMENT COMPOSÉ	20 à 64	26 à 80 S/P/Q/V	0 à 5



Figure I.1.Le ciment

I.4.1.2 Les granulats :

Selon la norme NF EN 12620, les granulats englobent toutes les particules non réactives, notamment le sable, les graviers et les cailloux. Ces matériaux peuvent être d'origine naturelle, artificielle ou recyclée. Les granulats, qui sont essentiellement des roches concassées, jouent un rôle primordial dans la formation des bétons et mortiers. Ils constituent la charpente structurelle du béton et représentent environ 80 % de son poids total.

- a. Granulats naturels : Représentent des particules minérales provenant de roches solides ou meubles qui n'ont subi aucune transformation autre que mécanique.
- b. Granulats artificiels : Sont des particules minérales qui sont produites par une méthode industrielle qui implique des transformations thermiques ou autres.
- c. Granulats recyclés : Ces granulats sont fabriqués à partir du recyclage de matériaux de construction, comme le béton concassé ou les déchets de chantier. Ils jouent un rôle dans la diminution des déchets et la préservation des éléments naturels.

Ils sont généralement désignés en fonction de leurs dimensions les plus petites et les plus grandes, comme suit : le granulat d/D est composé de sable ou de gravier. La dimension minimale des grains est d. La dimension la plus grande des grains est D

Il existe 5 classes granulaires :

- Les fines 0/D avec $D \leq 0.08\text{mm}$
- Les sables 0/D avec $D \leq 6.3\text{mm}$
- Les gravillons d/D avec $d \geq 2\text{mm}$ et $D \leq 31.5\text{mm}$
- Les cailloux d/D avec $d \geq 20\text{ mm}$ et $D \leq 80\text{mm}$

- Les graves d/D avec $d \geq 6.3\text{mm}$ et $D \leq 31.5\text{mm}$

Parmi ces granulats, on trouve souvent : le sable 0/3, sable 0/6.5, gravier 3/8, gravier 8/15, gravier 15/25.



Figure I.2.Les granulats

I.4.1.3 Eau de gâchage :

L'eau de gâchage est un composant essentiel du béton. Elle représente la quantité d'eau exacte ajoutée lors du mélange afin d'assurer les réactions d'hydratation du ciment et permet de lier les constituants du béton entre eux. L'eau rend également le mélange bien plus maniable et facilite sa mise en œuvre.

I.4.2 Les fibres :

Les fibres sont caractérisées par leur caractère discontinu, leur nature variable, leur forme cylindrique et leur diamètre et leur longueur variable. Ces éléments ont été répartis dans la matrice de manière aléatoire ou avec une orientation préférentielle. De plus, il existe deux catégories de fibres : la fibre de longueur réduite ou fibre courte, mesurant de 20 à 150 mm, et la fibre de grande longueur ou filament complet. L'origine des fibres (naturelles, artificielles et synthétiques), leur forme (droite, ondulée, aiguille... etc.), leur dimension (macro ou micro-fibre) et leurs caractéristiques mécaniques sont nombreuses. Les fibres sont un élément clé pour créer un béton plus résistant, durable et adapté à diverses applications. Le choix des fibres doit tenir compte de leur compatibilité avec la matrice et du comportement souhaité du composite final.

I.4.2.1 Types de fibres utilisées dans le béton :

Il existe différents types de fibres disponibles sur le marché, qui peuvent être classés par familles. Les fibres sont définies en fonction de leurs particularités, qui varient selon qu'elles soient naturelles, artificielles ou synthétiques. Les fibres les plus couramment utilisées dans le

béton comprennent les fibres métalliques, les fibres de polypropylène, fibre de verre, et les fibres de carbone

I.4.2.1.1 Les fibres métalliques :

Les recherches sur ce type de fibre, qui comprend les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, ont été et restent encore d'une grande importance à travers le monde. Les fibres d'acier sont probablement les plus couramment employées dans le domaine du génie civil.

Les fabricants de fibres d'acier ont cherché à améliorer l'adhérence en exploitant les irrégularités de la surface de la fibre, ce qui a donné naissance à de nombreuses variétés de fibres qui se distinguent les unes des autres par leurs diamètres, leurs formes (rondes, carrées, rectangulaires), leurs longueurs et leurs méthodes d'utilisation.

En règle générale, les fibres d'acier ont des diamètres variant de 0,1 à 0,7 mm, avec des longueurs allant de 10 à 70 mm. La résistance de ces fibres varie principalement entre 700 et 2000 Mpa.[8]



Figure I.3. Fibres métalliques

Tableau I.2. Caractéristiques des fibres couramment utilisées [9]

Type de fibre	Forme/ géométrie	Matière constituante	R _t X10 ² [MPa]	E X10 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

I.4.2.1.2 Les fibres de polypropylène :

Depuis 1954, l'industrie textile produit des fibres de polypropylène. La famille des polyoléfines des produits chimiques comprend un polymère cristallisable appelé polypropylène. Il s'est développé dans ce domaine, où il présente les avantages suivants : déformabilité élevée, imputrescibilité et bonne résistance en traction. Ces fibres sont utilisées dans les bâtiments pour fabriquer des revêtements de façades dans plusieurs constructions, des panneaux décoratifs d'une épaisseur de 33 cm et des canalisations et des pieux.

Les fibres de polypropylène sont légères, assez longues (3 à 6 cm) et insensibles au ciment. Ils ont un module d'élasticité inférieur à la pâte durcie. Les pièces minces doivent être utilisées de préférence pour résister soit à l'action corrosive de certaines ambiances où l'acier peut se corroder rapidement, soit aux chocs mécaniques.[10]



Figure I.4. Fibre de polypropylène

I.4.2.1.3 Fibre de verre :

Les fibres de verre se présentent sous forme de filaments extrêmement fins, qu'ils soient simples, tressés ou tissés, ayant des diamètres allant de 2 à 13×10^{-6} m. Comme les fibres de verre sont considérées comme des matériaux isotropes et ont des coefficients de dilatation thermique inférieurs à ceux de l'acier, leur résistance et leur module peuvent diminuer avec l'augmentation de la température.[11]



Figure I.5. Fibre de verre

I.4.2.1.4 Les fibres de carbone :

Les fibres de carbone sont un ajout innovant qui transforme le béton traditionnel en un matériau plus résistant et durable. Elles sont plus fréquemment utilisées dans les applications qui nécessitent des performances élevées. [12]



Figure I.6.Fibre de carbone

I.4.2.2 Les critères de choix du type des fibres :

Les critères des fibres choisies, à savoir leur nature, leur forme, ainsi que leurs propriétés chimiques, physiques et mécaniques, dépendent des éléments suivants :

- La qualité attribuée à la matrice cimentaire.
- La compatibilité avec les composants de la matrice "ciment-granulats".
- Une bonne adhérence avec la matrice.
- La préservation de leurs propriétés à travers le temps.

Les fibres d'amiante mélangées au ciment ont démontré une excellente résistance et durabilité du matériau composite dans le temps. En revanche, les fibres de verre voient leur performance mécanique diminuer en raison de la réaction entre le ciment et le verre (effet des alcalins)., l'usage des fibres de verre reste limité.

Les fibres de polypropylène sont sensibles aux rayons ultraviolets et doivent donc être protégées. Enfin, la technologie du béton armé a démontré que l'acier est très compatible avec le béton.

Les fibres métalliques sont largement préférées et utilisées en association avec le béton en raison de leurs caractéristiques et atouts tels que :

- La protection offerte par le ciment.
- Une bonne adhérence.
- Un coefficient de dilatation presque identique.
- Une grande résistance.

Les fibres métalliques sont les plus adaptables et les plus utilisées avec la matrice de béton en raison de leurs propriétés et de leurs qualités.[13]

En incorporant des fibres dans le béton, il devient possible d'améliorer sa résistance à la traction par divers moyens, notamment la résistance à la flexion, à la torsion, au cisaillement, aux chocs et à la fatigue. De plus, l'inclusion de fibres améliore la ductilité du béton, notamment ses caractéristiques après fissuration.

Ces propriétés mécaniques englobent des facteurs tels que la résistance, la plasticité et la déformation. La propagation de la rupture est limitée par le coefficient de dilatation, qui renforce les microfissures des fibres.

I.4.2.3 Le rôle des fibres :

En améliorant des fibres, il était possible d'améliorer les caractéristiques mécaniques du béton ou du mortier, telles que la résistance à la compression et la résistance à la flexion, mais les résultats obtenus étaient restreints. Ils ont remarqué que la fonction principale des fibres dans un matériau cimentaire peut être analysée sous deux aspects :

- En limitant l'ouverture des fissures dans un matériau en état de service, on peut gérer la propagation d'une fissure.
- La transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité, renforçant ainsi la sécurité aux niveaux de charge extrêmes.

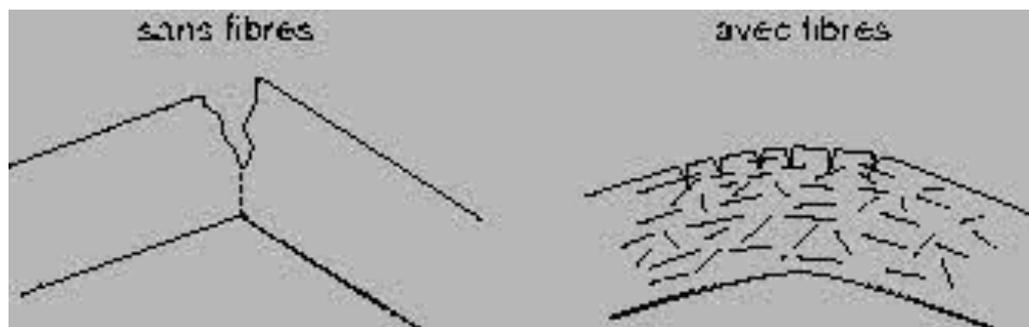


Figure I.7. Fissuration dans le béton sans et avec fibres

Le rôle principal des fibres est de renforcer la structure globale en empêchant la formation et la propagation des fissures. L'efficacité des fibres dépend de facteurs tels que leur type, leur dosage et les composants spécifiques du béton dans lequel elles sont incorporées. [14]

I.5 Formulation et caractérisation :

I.5.1 Formulation du béton de fibre renforcé :

La formulation du béton de fibre renforcé est une étape cruciale dans la réalisation d'un matériau durable et résistant. Le choix des fibres doit être fait en fonction des exigences de renforcement, de la disponibilité et de la facilité de mise en œuvre. Différents types de fibres peuvent être utilisés, tels que les fibres d'acier, les fibres de verre ou les fibres de polypropylène. Le dosage des fibres doit être déterminé en fonction des performances souhaitées et des propriétés des fibres sélectionnées. Il est important de trouver le bon équilibre entre la quantité de fibres ajoutée et les autres composants du béton, afin d'obtenir un bon comportement mécanique et une bonne résistance à la fissuration. La sélection des granulats joue également un rôle crucial dans la formulation du béton de fibre renforcé. Les granulats doivent être choisis en fonction de leur résistance, de leur forme et de leur taille afin de garantir une bonne adhérence entre les granulats et la matrice de béton.[15]

- Choix des fibres
- Dosage des fibres
- Sélection des granulats

I.5.2 Caractérisation mécaniques et physiques du béton de fibre :

La caractérisation détaillée des propriétés mécaniques et physiques du béton de fibre comprend plusieurs essais visant à évaluer sa résistance et sa durabilité. Les essais de résistance mécanique sont réalisés pour mesurer la résistance à la compression, la résistance en flexion et la résistance en traction du béton de fibre. Ces essais permettent de déterminer les performances mécaniques du matériau et sa capacité à supporter les charges. Les essais de durabilité analysent les propriétés du béton de fibre face à différents facteurs tels que l'humidité, la carbonatation et le gel/dégel. Ces essais évaluent notamment la résistance aux sollicitations environnementales et la durée de vie du matériau.[15]

- Essais de résistance mécanique.
- Essais de durabilité.

I.6 Comportement mécanique :

Les fibres dans le béton freinant la propagation des fissures et en augmentant sa capacité à se déformer sans se rompre. Plusieurs chercheurs ont étudié les propriétés de ces fibres en analysant leur comportement sous diverses sollicitations, telles que la compression et la traction.

I.6.1 Comportement en compression :

De nombreuses recherches approfondies ont mis en lumière une légère modification des propriétés de compression du béton fibré par rapport au béton ordinaire. La résistance à la compression du béton fibré, contrairement au béton témoin, présente des variations en fonction du pourcentage de fibres. Il convient de noter que tous les chercheurs ont systématiquement observé la présence de ductilité.[16]

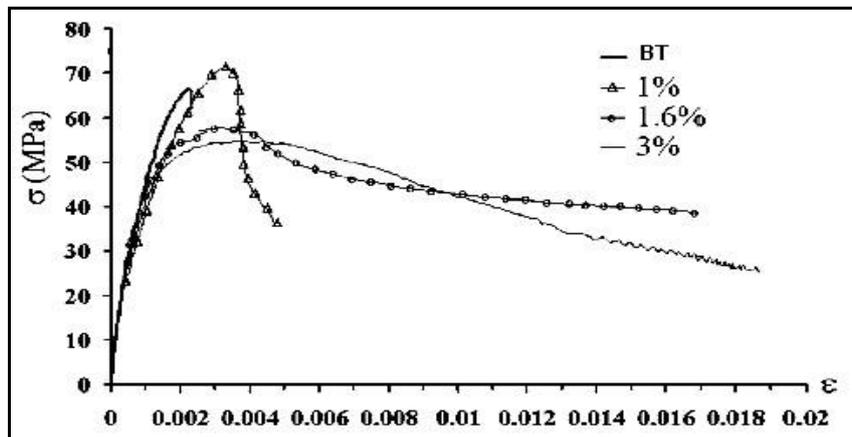


Figure I.8. Courbe d'évolution de la contrainte à la compression en fonction de la déformation avec différent pourcentage des fibres (*Bencardino. 2008*).

I.6.2 Comportement en traction :

Due à l'incorporation des fibres dans le béton, il est possible d'améliorer considérablement la résistance de béton en traction. Ces fibres incorporer empêchent la propagation des fissures en réduisant le risque de la rupture direct de béton. Des études approfondies révèlent que le béton renforcé de fibres présente des propriétés de traction, de ductilité et de déformation nettement améliorées par rapport au béton conventionnel. L'amélioration des ces caractéristiques dépend de différents paramètres, tels que la formulation du béton, sa qualité, la quantité de fibres utilisée, ainsi que le type, la forme et l'orientation des fibres.[16]

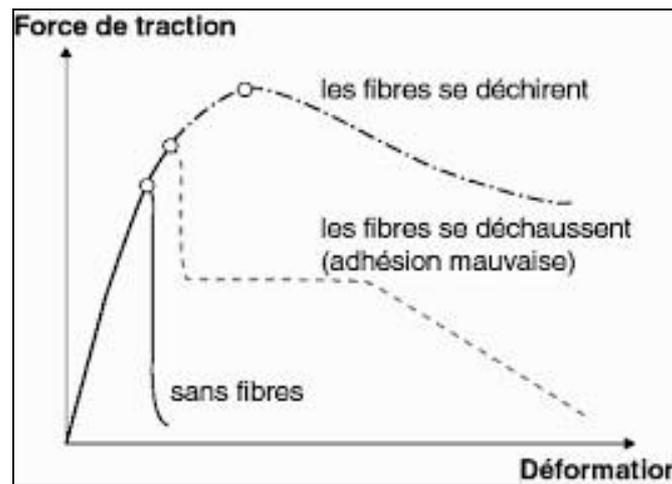


Figure I.9. Diagramme représente comportement de charge-déformation de béton avec fibres et béton sans fibres.

Diverses études et essais ont été menés sur les divers comportements du béton renforcé par des fibres métalliques.

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

En conclusion, les études montrent que les contraintes du béton fibré sont étroitement liées à plusieurs facteurs et paramètres, qui dépendent essentiellement de :[16]

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

I.7 Domaines d'utilisation du béton renforcé de fibres :

Les applications des bétons fibrés sont vastes et englobent un large éventail d'utilisations dans le bâtiment, les travaux routiers, l'aménagement urbain et le génie civil.[17]

Une large gamme d'applications du béton existe, notamment pour les dalles agricoles, industrielles et commerciales, ainsi que pour les zones de stockage, les chaussées aéronautiques et les parkings. Le béton fibré est également utilisé dans la construction de quais portuaires, de planchers en dalles, de chapes, de planchers chauffants et de dalles sans joints.

De plus, il est utilisé dans les dalles de fondation, les dalles de distribution, les semelles filantes et les planchers. Pour les maisons individuelles, le béton est couramment utilisé pour les chapes flottantes et les dallages. Des éléments architecturaux, les canalisations, les regards, les cuves, les réservoirs.

Le béton projeté fibré, qu'il soit humide ou sec, est utilisé pour la réparation et le renforcement des structures, le revêtement des tunnels, les murs cloués, la stabilisation des pentes et l'excavation.

I.8 Avantage de béton de fibres :

- Résistance améliorée aux fissures : L'inclusion de fibres dans le béton empêche la propagation des microfissures en s'encastrant solidement dans le matériau.[18]

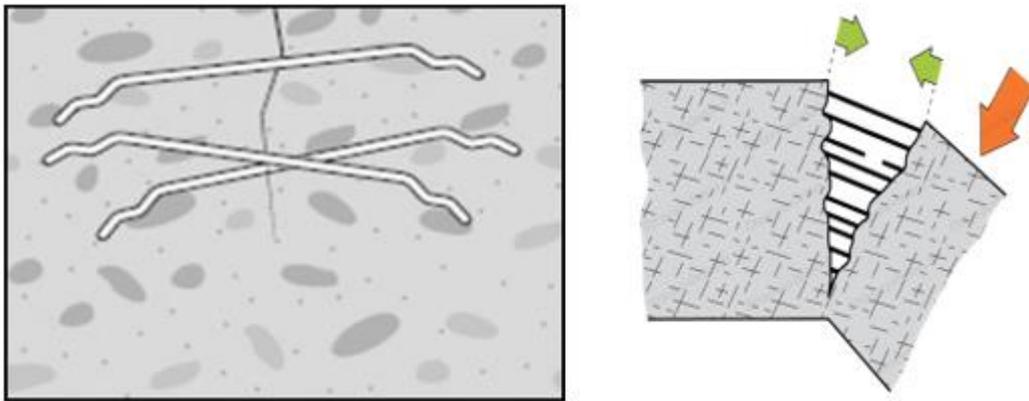


Figure I.10. Verrouillage de fissure par les fibres.

- Flexibilité améliorée : L'ajout de fibres métalliques au béton n'améliore pas directement sa résistance à la flexion. Néanmoins, ces fibres ont une fonction cruciale dans la redistribution des forces de traction au sein du béton une fois les fissures formées. Cette caractéristique permet d'éviter une rupture soudaine du béton. En fin de compte, l'inclusion de fibres métalliques confère une qualité ductile au béton.

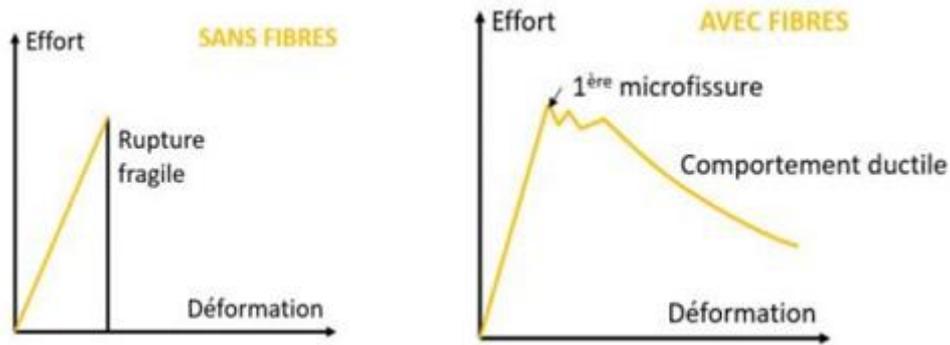


Figure I.11. Diagramme contrainte déformation pour un béton sans et avec des fibres

- Améliorer la capacité du béton à résister aux chocs.
- Augmenter la durabilité du béton contre la fatigue.
- Améliorer la durabilité du béton en améliorant sa résistance à la traction.
- Améliorer les propriétés liées du béton fraîchement mélangé.

Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre, nous avons effectué une recherche sur l'incorporation de fibres dans les mélanges de béton pour améliorer ses propriétés mécaniques. Cette amélioration vise principalement à augmenter à la fois la résistance à la compression et la capacité de flexion grâce au renforcement fourni par les fibres. L'efficacité de cette amélioration dépend du type, de la quantité et de l'efficacité des fibres utilisées. En atténuant la fissuration induite par le retrait plastique, l'utilisation de fibres dans le béton offre des avantages significatifs. Ces avantages ont été discutés en termes de considérations techniques et économiques.



Chapitre II. Revue de littérature sur les bétons de fibres

Chapitre II. Revue de littérature sur les bétons de fibres

II.1 Introduction du chapitre

Cette revue de littérature vise à explorer en globalement les différentes études, recherches récentes dans le domaine des bétons de fibres, en mettant en lumière sur le renforcement par des fibres métalliques, leurs effets sur les propriétés des bétons. L'analyse des différentes sources bibliographiques permettra de dresser un état de l'art complet sur les bétons de fibres, en mettant en évidence les avantages et les limites de ces matériaux innovants.

De plus, elle s'attachera à identifier les points faibles actuelles dans les connaissances pour améliorer la compréhension et l'application des bétons de fibres dans le domaine de la construction.

La revue de littérature sur les bétons de fibres s'inscrit dans une démarche sur ces matériaux et à encourager le développement de nouvelles solutions durables et performantes pour les infrastructures du futur.

II.2 Travaux antérieurs sur les bétons de fibre :

Dans ce chapitre, nous présentons un résumé de quelques recherches menées par divers auteurs sur les bétons de fibres :

Ali Ellouze et al [20] ont exploré une nouvelle méthode pour améliorer les propriétés du béton, en incorporant des fibres métalliques au mélange. L'objectif des chercheurs a consisté à renforcer le matériau d'une manière unique. L'application conventionnelle de fibres métalliques apporte de nombreux avantages, tels qu'une meilleure résistance du matériau, une minimisation des fissures magistrales avec une meilleure répartition des fissures dans la matrice béton, ce qui permet d'augmenter la capacité portance et le temps de rupture. Les résultats de l'étude soulignent de nombreuses avancées notables dans les caractéristiques mécaniques du béton, telles que la résistance à la compression a été considérablement améliorée, permettant au béton de supporter des charges plus lourdes.

Les résultats dans le tableau montrent qu'un dosage de fibres de 50kg/m³ a un effet négatif car il diminue la résistance du béton par rapport au dosage de 10 et 30 kg/m³ à cause de fibres qui touchent l'arrangement granulaire.

Tableau II.1. Résultats des essais de compression et de traction (par fendage) en MPa

Essais	âge	Béton témoin	Dosage de FL : RC 80/50-BN			Dosage de FC : RC 65/35-BN		
			10 kg/m ³	30 kg/m ³	50 kg/m ³	10 kg/m ³	30 kg/m ³	50 kg/m ³
compression	3 jours	15,7	30,7	37,9	26,4	29,0	31,5	32,8
	7 jours	33,9	37,5	41,9	40,6	35,3	41,3	40,3
	28 jours	49,8	52,8	55,3	46,9	50,1	53,9	49,6
traction par fendage	7 jours	3,0	3,5	5,2	5,0	3,4	4,7	5,3
	28 jours	3,6	4	6	4,9	4	5,2	5,1

Selon l'expérience trouvée : les quatre types de bétons traités ont été testés en compression à l'aide des éprouvettes de 16 x 32 cm. Ils ont mesuré la résistance à la compression et le module de Young pour chaque éprouvette. Les tests de compression révèlent une augmentation du module d'Young du béton de fibre longue et courte par rapport au béton de référence. Les résultats sont rassemblés dans le tableau suivant :

Tableau II.2. Résultats des essais de compression et le module de Young des BFM

Essais	BA	BFC	BFL	BFC + L
Résistance f_{c28} (Mpa)	48,2	53,8	53,2	58,9
Module E (MPa)	33025	46275	45862	49000

Julian Carrillo et al [21] ont travaillé sur l'utilisation de fibres d'acier, tant industrielles que recyclées, dans le renforcement du béton. Ils ont comparé les propriétés mécaniques du béton renforcé de fibres d'acier industrielles à celles renforcées de fibres d'acier recyclées, en se concentrant particulièrement sur la résistance à la compression, le module d'élasticité, le coefficient de Poisson, la résistance à la traction et les propriétés de flexion. La recherche suggère que même si les fibres industrielles surpassent généralement les fibres recyclées en termes de contrôle des fissures et de comportement après fissuration, un mélange hybride des deux types pourrait améliorer les performances du béton.

Le comportement du béton renforcé par des fibres recyclées (BRFR), comme l'indiquent sa résistance à la compression, son module d'élasticité et son coefficient de Poisson, ressemble beaucoup à celui du béton renforcé par des fibres industriels (BRFI). L'inclusion de fibres d'acier recyclées dans le BRFR contribue à son support structurel.

Le Béton ordinaire présente des niveaux plus élevés de déformation en compression lorsqu'il est exposé à des contraintes axiales par rapport aux échantillons BRFI. De plus, le matériau recyclé présente également cette caractéristique.

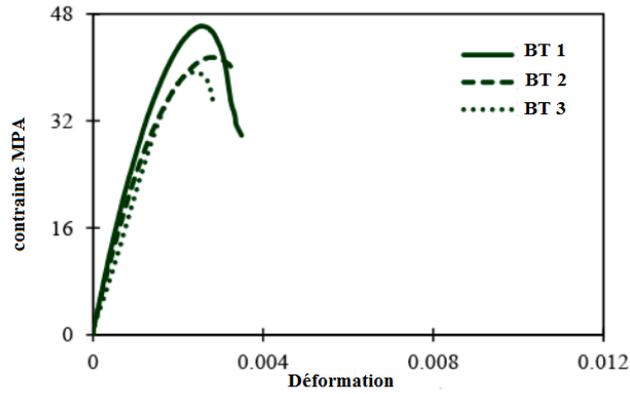


Figure II.1. Contrainte-déformation sous compression axiale des différents bétons témoins (BT1, BT2, BT3)

En résistant aux contraintes de compression, les fibres d'acier préservent efficacement l'intégrité structurelle des composants en béton, empêchant ainsi la propagation des fissures. Par conséquent, les fibres d'acier recyclées peuvent être plus performantes par rapport fibres industrielles, à condition que leur application soit appropriée.

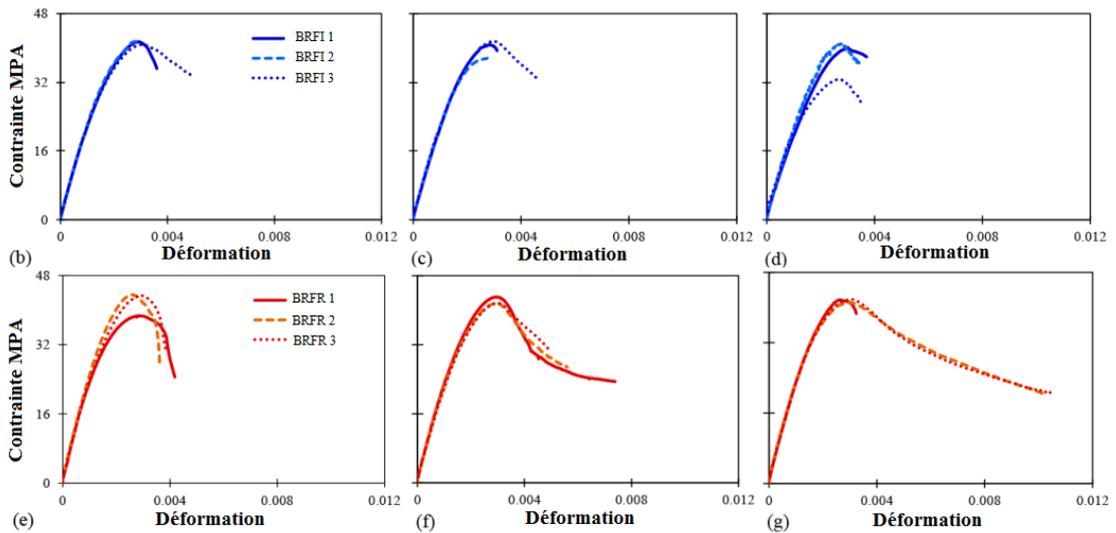


Figure II.2. Contrainte-déformation lors des essais de compression pour différentes valeurs de fibre D_f en kg/m^3 BRFI: (b) 12.7, (c) 31.5, (d) 65.2, BRFR: (e) 18.6, (f) 34.0, (g) 65.1

Le BRFR sert de renfort pour le béton sous des charges de compression axiales, présentant des caractéristiques mécaniques de traction et de fendage comparables à celles du BRFI.

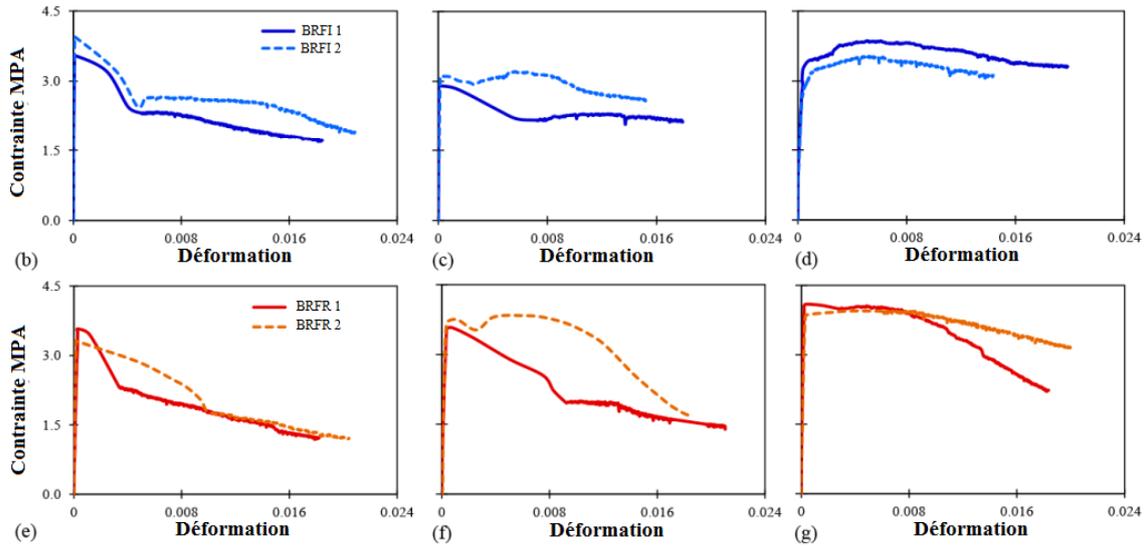


Figure II.3. Contrainte-déformation lors des essais de traction par fendage pour différentes valeurs de fibre D_f en kg/m^3 BRFI: (b) 12.7, (c) 31.5, (d) 65.2, BRFR: (e) 18.6, (f) 34.0, (g) 65.1.

Lors des tests, ils ont constaté que le béton pouvait être efficacement renforcé par des fibres d'acier industrielles, alors que les échantillons du BRFR étaient complètement fracturés en deux.

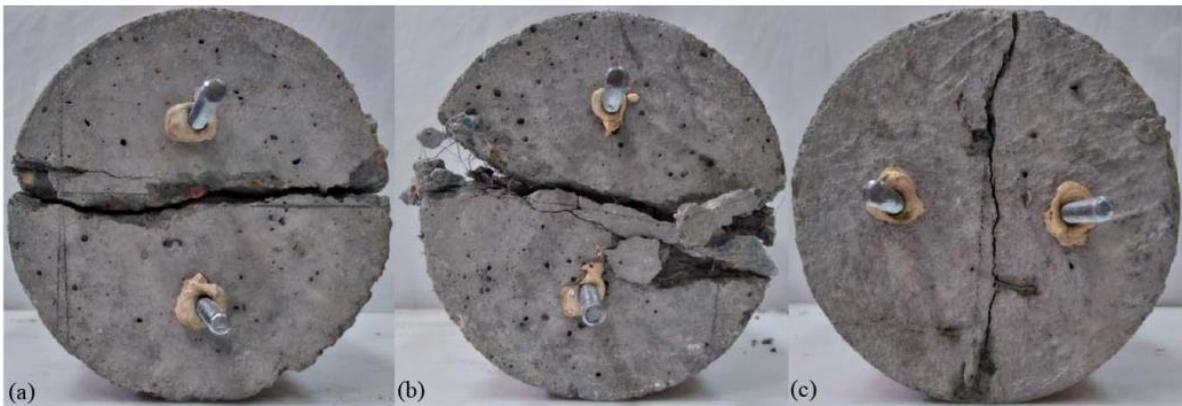


Figure II.4. Modes de ruptures des essais de traction par fendage (a) : BT, (b) : BRFR, (c) : BRFI

L'absence de ce crochet peut être constatée dans le cas de fibres recyclées, entraînant un caractère irrégulier et variable. Assembler le béton devient un défi en raison de la géométrie complexe des fibres. Il existe cependant une solution potentielle. Afin d'améliorer la qualité du béton, une solution potentielle pourrait consister à combiner deux types différents de fibres d'acier pour créer un mélange hybride performance.

Xijun Shi et al [22], ont utilisé deux types de fibres d'acier (droites et crochets) incorporées au béton à des niveaux de teneur en fibres variables allant jusqu'à 3,0 %.



Figure II.5. Types des fibres (Crochet et Droite)

L'objectif initial était d'évaluer la qualité du mélange et les propriétés fraîches du BRFM. Par la suite, les courbes de pression sur toute la portée du BRFM ont été enregistrées dans des conditions de compression uniaxiale et de traction.

En fin de compte, l'étude a proposé les relations constitutives idéales du BRFM. Les principales conclusions de cette recherche sont les suivantes : L'inclusion de fibres d'acier a eu un effet négatif significatif sur l'ouvrabilité du béton. Lorsque la teneur en fibres dépassait 2,0 %, des problèmes notables de mélange et de consolidation étaient observés.

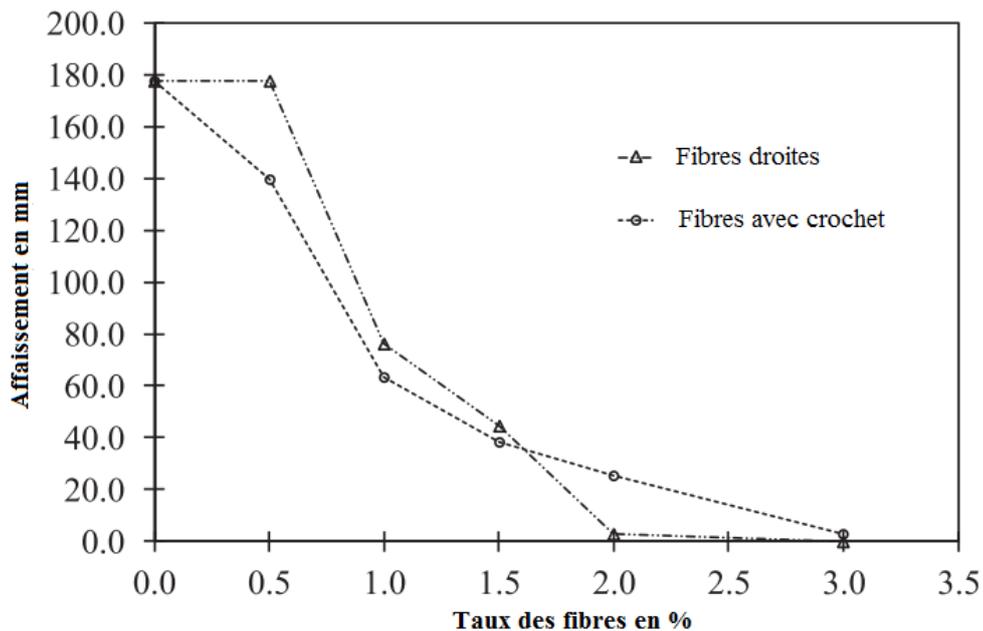


Figure II.6. L'affaissement en fonction de taux des fibres

L'ajout de fibres n'a pas eu d'impact significatif sur la résistance à la compression du béton, mais a amélioré son comportement post-éclatement sous compression.



Figure II.7. Rupture par compression du béton ordinaire et béton fibré

Il existe une différence de module d'élasticité entre la traction et la compression. Dans le cas du béton témoin, le module d'élasticité en compression était 2,2 fois supérieur à celui en traction, tandis que pour le BRFM, le rapport était d'environ 1,5.

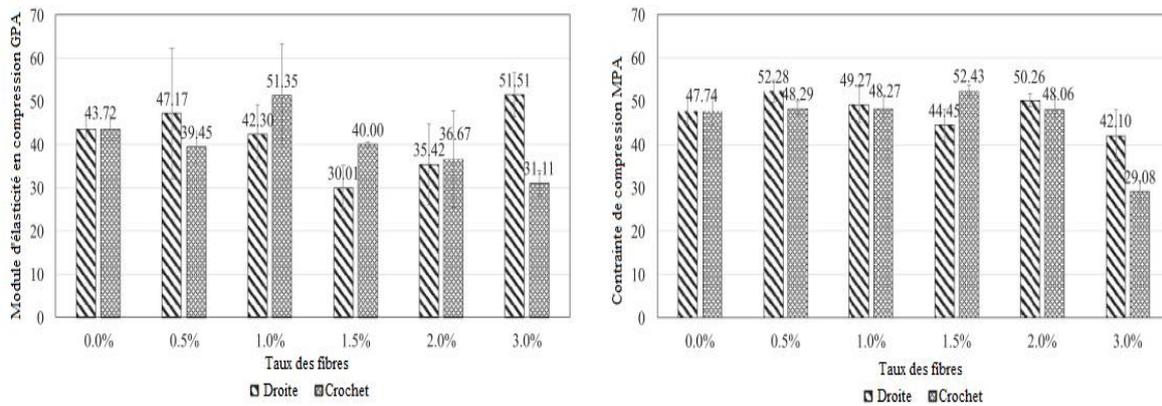


Figure II.8. Compression en fonction de taux des fibres

Cependant, l'amélioration du comportement en traction est beaucoup plus prononcée. Les fibres métalliques droites présentait une résistance à la traction plus élevée que les fibres avec crochet, probablement en raison du nombre accumulé d'interfaces entre la matrice ciment-fibre.

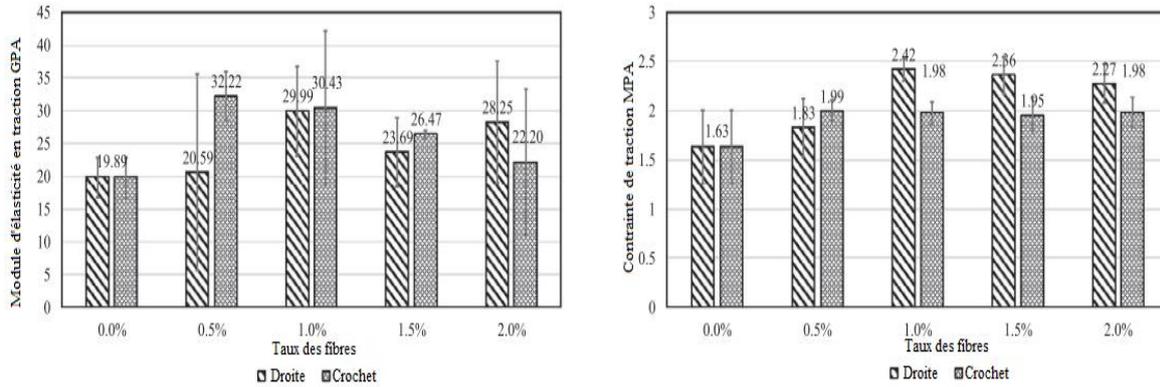


Figure II.9. Traction par flexion en fonction de taux des fibres

Muhammad Usman et al [23] dans le but de diminuer la fragilité du béton, des matériaux alternatifs ont été utilisés dans leur étude expérimentale portant sur l'influence combinée des fibres d'acier et du confinement sur le béton à haute résistance, en examinant spécifiquement la résistance au pic du béton fibré.

Au total, 39 cylindres en béton à haute résistance ont été créés, incorporant différentes quantités de fibres d'acier. La fraction volumique de fibres d'acier (V_f) variait de 0,5 % à 2,5 %. Parmi ceux-ci, 18 échantillons ont été soumis à un confinement à l'aide d'une feuille de polymère renforcé de fibres de carbone (BRFC), tandis que 9 échantillons ont été coulés dans un confinement de tuyaux en acier. De plus, 12 échantillons témoins ont été préparés sans aucun confinement. Les échantillons ont subi des tests de compression.

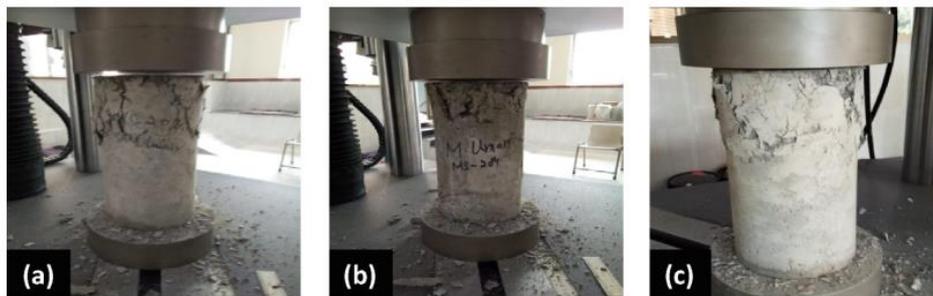


Figure II.10. Essai de compression du béton fibré non confiné

Les résultats ont révélé que l'inclusion de fibres d'acier avait un impact minime sur la résistance à la compression l'emballage en BRFC à trois couches est efficace pour contenir le béton, au moment d'écrasement, mais l'emballage ne se brise pas. Il augmente la résistance dans la direction axiale de 70 à 80 % par rapport à la résistance non confinée.

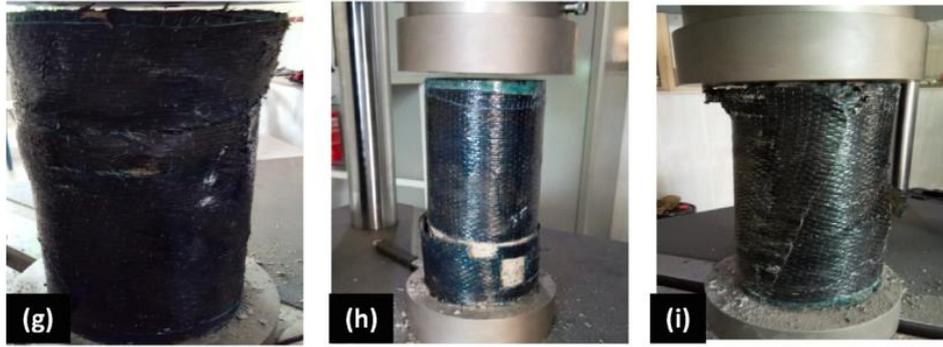


Figure II.11. Essai de compression du béton fibré confiné avec 3 couches

De plus, le confinement du BRF monocouche a un effet bénéfique sur la déformation, mais n'augmente que marginalement la résistance du matériau (20 à 25 %). Tout en améliorant la ductilité et le comportement après pic du béton. Le confinement a un effet significatif sur l'augmentation de la résistance à la compression. La combinaison de fibres d'acier et de béton confiné dans les colonnes peut être considérée comme présentant un avantage significatif, car elle augmente non seulement la résistance à la compression du béton, mais résout également dans une large mesure le problème de la rupture fragile.

Au fur et à mesure de temps le nombre de véhicules dans le monde continue d'augmenter, l'accumulation de pneus usagés augmente également. L'élimination de ces pneus périmés constitue une menace importante pour l'environnement. Cependant, ces dernières années, on a observé une tendance vers le recyclage des déchets de pneus pour créer du béton renforcé de fibres métalliques, plutôt que de simplement les jeter.

Özer Zeybek et al [24] ont fait une étude qui utilise des fibres d'acier extraites de pneus usagés comme alternative rentable et respectueuse de l'environnement aux fibres d'acier industrielles. Pour étudier l'impact de la teneur en fibres sur les propriétés du béton, une étude expérimentale a été menée. Cette étude impliquait de soumettre des échantillons de béton contenant différents taux de fibre d'acier recyclée (1 %, 2 % et 3 %) à des tests de compression, de traction et de flexion pour évaluer leurs performances à l'état frais et durci. Cependant, une perte importante d'ouvrabilité a été enregistrée après ajout de 2% de fibres d'acier.



Figure II.12. Fibre d'acier recyclé

D'après, les résultats expérimentaux sur le béton contenant des fibres d'acier recyclées ils ont constaté que l'inclusion de fibres de fil d'acier dans le béton améliore considérablement sa résistance à la compression, comme le démontrent les résultats des tests de compression. Par rapport au béton témoin, l'ajout de 1 % de fibres de fil d'acier a entraîné une augmentation de 17 % de la résistance à la compression, tandis que 2 % de fibres de fil d'acier ont entraîné une augmentation de 30 % et 3 % de fibres de fil d'acier ont entraîné une augmentation remarquable de 46 %.

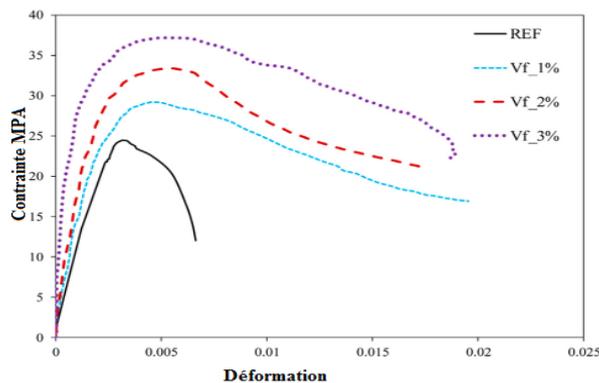


Figure II.13. Contrainte-déformation des différents bétons

De même, dans des échantillons cylindriques, la résistance à la compression du béton s'est également améliorée grâce à l'incorporation de fibres de fil d'acier. La résistance à la compression a augmenté de 18 % avec 1 % d'additif de fibres de fil d'acier, de 45 % avec 2 % de fibres de fil d'acier et un impressionnant 58 % avec 3 % d'additif de fibres de fil d'acier. De plus, les essais de traction menés sur des échantillons cylindriques ont révélé une augmentation proportionnelle de la résistance avec l'inclusion de fibres d'acier. L'inclusion de fibres de fil d'acier à des concentrations de 1 %, 2 % et 3 % a conduit à des améliorations significatives de la résistance à la traction du béton, entraînant des augmentations de 15 %, 25 % et 36 % respectivement par rapport au béton standard. Les résultats ont également révélé une augmentation proportionnelle de la résistance à la flexion avec une teneur plus élevée en fibres,

indiquant que l'ajout de fibres métalliques donne des résultats positifs en termes de résistance à la flexion. Plus précisément, l'inclusion de 1 %, 2 % et 3 % de fibres de fil d'acier a entraîné des améliorations de la résistance à la flexion de 77 %, 272 % et 795 % respectivement, par rapport à l'échantillon de référence.

Muhammad Haris et al [25] sur l'utilisation de fibres d'acier recyclées (FAR) extraites de pneus mis au rebut dans du béton renforcé de fibres s'est reconnu d'être une solution très rentable pour diverses applications d'ingénierie.

Cependant, déterminer la longueur et les fractions volumiques appropriées du FAR reste un défi crucial qui nécessite des recherches plus approfondies. Cette étude expérimentale vise à étudier l'impact de différentes longueurs (7,62 et 10,16 cm) et dosages (1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5 et 4 %) de FAR sur les propriétés mécaniques et la durabilité du béton. Les résultats des tests démontrent que les propriétés mécaniques du béton sont influencées de manière significative par différentes longueurs et doses de FAR.

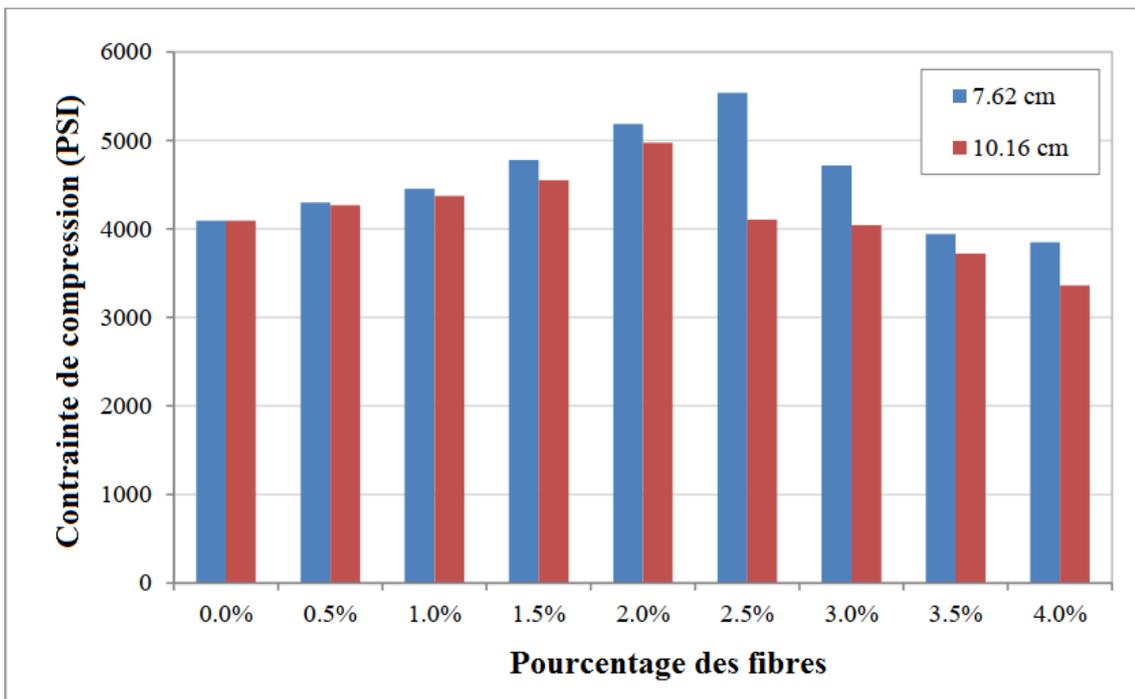


Figure II.14. Contrainte de compression en fonction de pourcentage des fibres

Sur la base des résultats de cette étude, il est recommandé d'utiliser des doses optimales de fibre d'acier recyclé à 2,5 % et 2 % pour des longueurs de 7,62 cm et 10,16 cm respectivement, afin de produire du béton structural. Les propriétés mécaniques de la présente étude ont été affectées à des degrés divers par les longueurs et les pourcentages de FAR utilisés dans BRF. Dans le cas du FAR de 7,62 cm de long, le dosage d'environ 2,5 % a montré une

augmentation maximale d'environ 26 % de la résistance à la compression du BRF, tandis que le FAR de 10,16 cm de long a montré une amélioration maximale d'environ 18 % de la résistance à la compression avec un dosage de 2 % ; Sur la base des preuves expérimentales de ce travail de recherche, le FAR extrait des pneus usagés peut être utilisé dans le béton structurel avec une longueur de 7,62 cm et un dosage de 2,5 % du poids du béton.

MALEK A et LAMRI K [26] ont mené des essais pour mettre en évidence les avantages économiques et écologiques potentiels associés à l'utilisation des déchets des fibres d'usage (copeaux métalliques), dans le but de promouvoir leur réutilisation.



Figure II.15. Déchet d'acier

Après analyse des résultats, il devient évident que la dose de 1,5 % donne des résultats supérieurs par rapport aux autres doses (BF 1%.BF 2%).

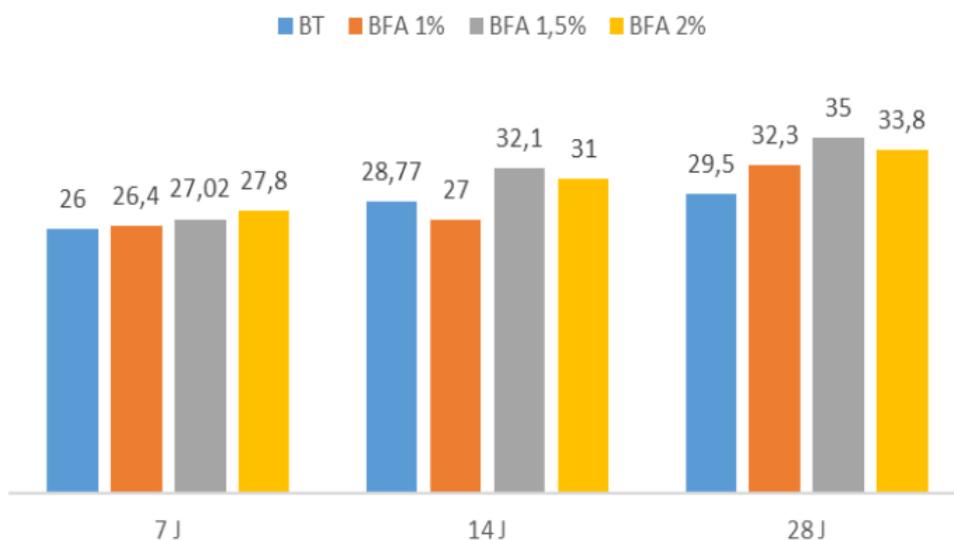


Figure II.16. Histogramme de BFA compression 7,14j,28j

En termes de résistance mécanique, le béton infusé de fibres de boue calcinée présente une résistance remarquable lorsqu'il est mis côte à côte à la fois au béton témoin et au béton constitué

avec d'autres pourcentages de fibres. Notamment, le béton contenant 1,5% de fibres présente les résultats les plus favorables parmi les différentes compositions de béton.

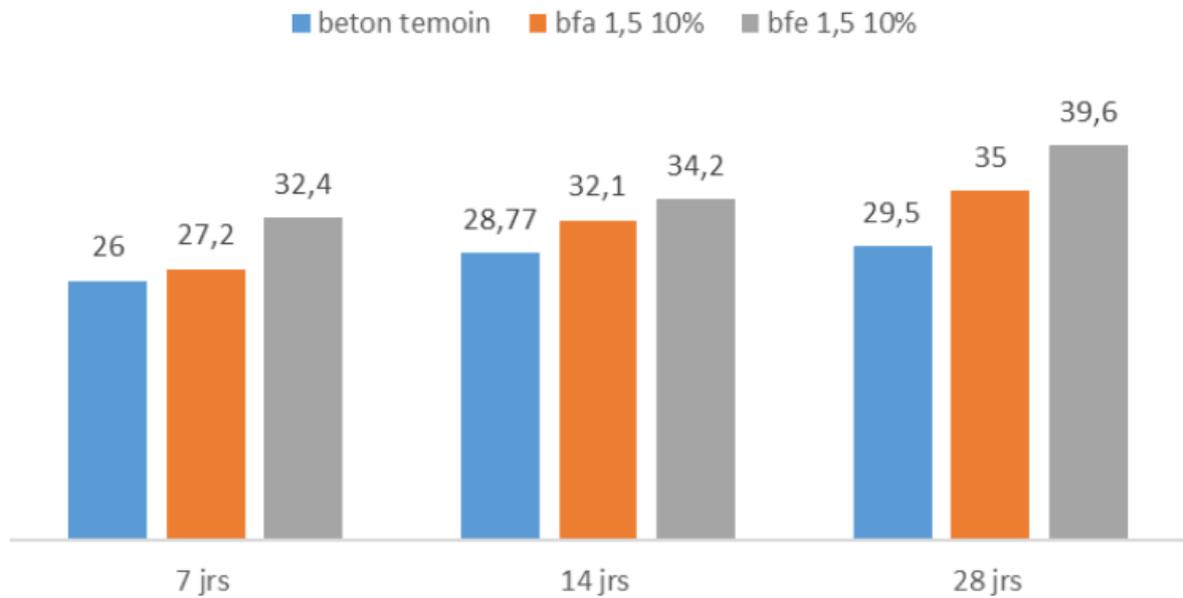


Figure II.17. Histogramme des résistances de compression des BT, BFA, BFE à 7,14j et 28j

Les fibres, bien qu'elles n'interviennent qu'une fois la matrice dégradée, ont un impact limité sur la résistance à la compression du béton du fait de l'influence importante de la matrice en compression.

KHINECHE M [27] visait à étudier les propriétés physiques et mécaniques des BPR à base de composants et d'additifs riches en silice. Renforcer de fibres d'acier (2%) Lorsqu'il est soumis à des températures élevées. La résistance à la compression, flexion, la masse perdue et la porosité du matériau ont été évaluées après Exposition des échantillons à différents niveaux de chaleur allant de 200, 500 à 800 °C. Les propriétés mécaniques du BPR ont été déterminées sur des échantillons séchés pendant 24 heures.

La résistance à la compression du béton témoin est sensiblement inférieure à celle du BPRF. Cette amélioration peut être attribuée à l'utilisation d'additifs et à l'intégration de fibres.

Au fur et à mesure, la température augmente, la résistance à la compression du BPRF montre initialement une augmentation progressive jusqu'à 200°C. Cependant, au-delà de ce point, la résistance à la compression commence à diminuer. Notamment, l'inclusion de 2 % de fibres d'acier dans les échantillons entraîne une amélioration de la résistance.

La résistance à la compression de ces matériaux est particulièrement élevée à 200°C, mais leur résistance à la compression diminue progressivement à mesure que les températures s'élèvent jusqu'à 500°C.

La dégradation du béton est une préoccupation importante lorsqu'il s'agit d'échantillons soumis à des températures supérieures à 500°C. La décomposition complète du béton se produit à la suite de la décomposition du gel de Ca (OH) 2 et C-S-H, en particulier lorsqu'il est exposé à des températures pouvant atteindre 800°C. Ce résultat n'est qu'une des conséquences de la réduction de la résistance à la température.

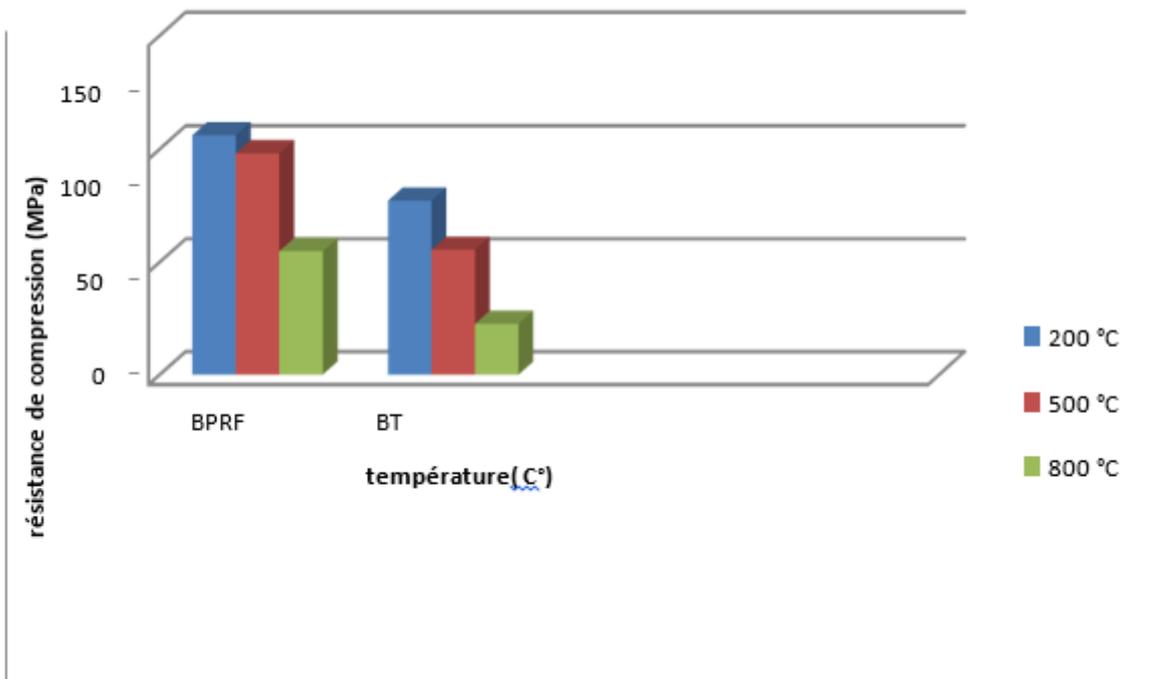


Figure II.18. Evolution de la résistance de compression avec température.

Des fibres métalliques sont incorporées au béton pour contrôler la propagation des fissures et créer un matériau plus flexible. L'inclusion de fibres métalliques dans le béton contribue à améliorer sa ductilité.

Le BPRF présente une résistance à la flexion plus élevée que le BT témoin, indiquant une augmentation significative de la résistance à la compression. Les performances améliorées du BPRF, par rapport au béton conventionnel, peuvent être attribuées à sa microstructure supérieure et au renforcement efficace fourni par les fibres.

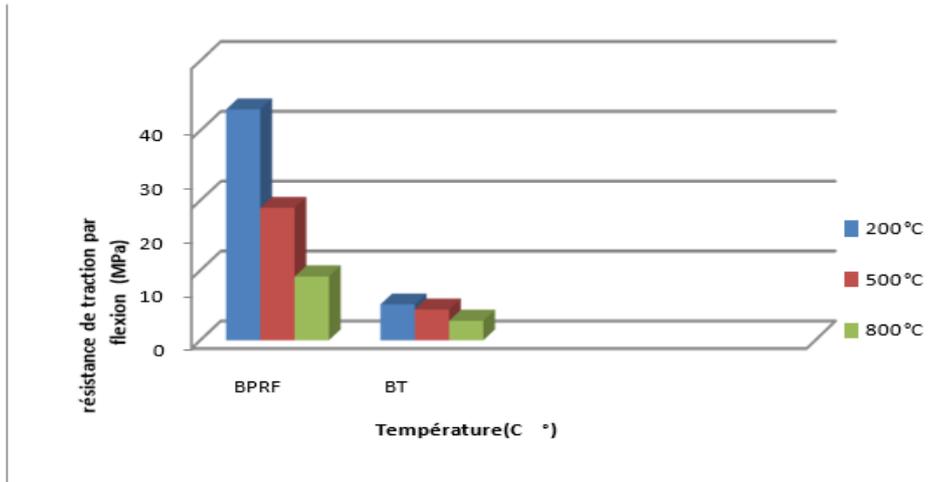


Figure II.19. Evolution de la résistance de traction par flexion avec température.

L'importance du renfort en fibres métalliques est bien plus grande en traction qu'en compression due aux fibres utilisées, leurs forme spécifiques et leurs géométries globales.

Les Bétons Fibrés Ultra Performance sont réputés pour leurs performances exceptionnelles en tant que matériaux cimentaires. Ces matériaux présentent des résistances remarquables à la compression et à la traction, dépassant respectivement 150 et 6 MPa à 28 jours.



Figure II.20. Effet de l'ajout de fibres métalliques sur la détrition sous compression des BUHP.

ARABA et RAFAIH [28] ont pensé à répondre au problème de la formulations actuelles utilisées pour les bétons ultra haute performance qui sont coûteuses et peu respectueuses de l'environnement, ce qui freine leur utilisation et leur croissance à grande

échelle. Une étude comparative a été menée pour développer quatre compositions alternatives sans nécessiter le traitement thermique. Ces compositions ont ensuite été minutieusement caractérisées à la fois dans leurs états frais et durcis afin de fournir une compréhension globale de leurs propriétés et d'offrir une alternative à l'utilisation de fumées de silice dans les bétons fibrés à ultra-hautes performances (BFUP). La pouzzolane naturelle, lorsqu'elle est combinée avec la chaux, subit une réaction qui produit des cristaux C-S-H et C-A-H. Cette réaction contribue au processus de prise et confère des propriétés hydrauliques au béton, faisant de la pouzzolane naturelle un substitut prometteur à la fumée de silice sous forme de poudre réactive ou ultrafine.

Le but de ce projet était de contribuer aux efforts de recherche approfondis visant à réduire les coûts de production du BFUP, dans le but ultime de faciliter son industrialisation. L'objectif était de remplacer un composant clé du béton haute performance par une alternative plus abordable et plus facilement disponible. De plus, nous avons procédé à un examen approfondi des propriétés physico-mécaniques des BFUP fabriqués. Sur la base des résultats que nous avons obtenus, nous avons pu déduire les principales conclusions suivantes :

- Lorsque des fibres métalliques sont ajoutées aux BFUP, elles présentent une capacité accrue à absorber l'eau, ce qui se traduit par une masse plus élevée par rapport aux bétons non fibrés. L'ajout de fumée de silice entraîne une augmentation de masse d'environ 2,5 %, tandis que l'inclusion de pouzzolane naturelle entraîne une augmentation de masse d'environ 2,76 %.

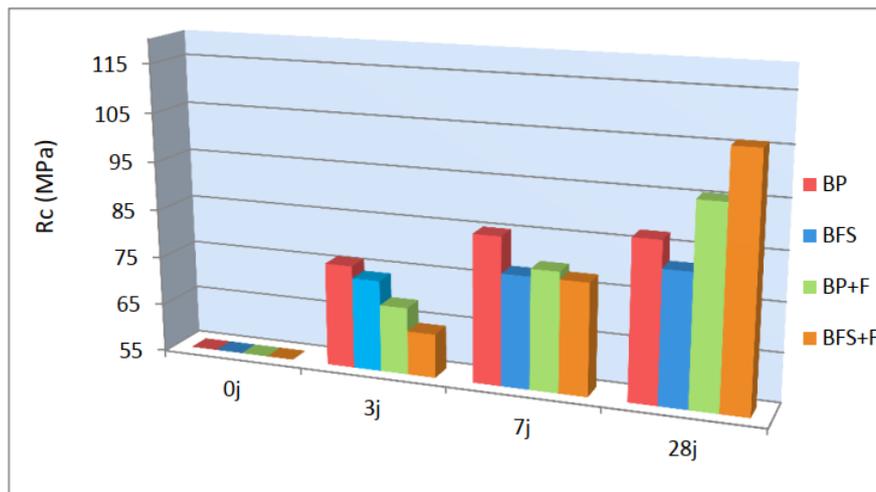


Figure II.21. Histogramme représentant l'évolution des résistances à la compression des différentes formulations

- Ces bétons spécialement formulés démontrent des résistances à la compression remarquables dès un stade précoce, allant de 64 à 76 MPa en seulement 3 jours. La liaison entre la fibre et la

matrice s'améliore avec l'augmentation de la finesse des ajouts, ce qui entraîne une adhérence accrue.

Finalement, il est conclu qu'il existe des bénéfices à l'utilisation de la pouzzolane, tant sur les caractéristiques du BFUP que sur le coût de production.

Afin d'élargir la compréhension des bétons renforcés de fibres issues de déchets recyclés, l'objectif principal de cette étude était d'approfondir le comportement de ces bétons. Plus précisément, l'attention s'est portée sur l'examen des propriétés mécaniques de ces matériaux à envisager l'utilisation de fibres métalliques.

ABDEL MADJID B [29] a analysé le comportement de différents types de fibres, y compris différentes longueurs (3 cm et 5 cm) et formes (droites et ondulées), ainsi que différents pourcentages, tant dans le béton témoin (0% de fibres) que dans le béton avec 1% et 0,3% de fibres. Ces échantillons ont ensuite été soigneusement conservés dans des conditions spécifiques. L'étude s'est concentrée sur les propriétés mécaniques telles que la résistance à la compression et à la traction. Les résultats ont révélé une diminution des propriétés mécaniques lorsque 1 % de fibres étaient introduites dans le béton, ce qui était cohérent avec les recherches précédentes menées sur le béton fibré et le béton témoin.

La réduction du pourcentage à seulement 0,3 %, les résultats obtenus comparables au béton témoin. L'inclusion de fibres, même en faible quantité, préserve efficacement la résistance du béton. Cependant, lorsque le pourcentage de fibres dépasse un certain seuil, la résistance a tendance à diminuer, ce qui est particulièrement évident lors des essais de traction. Cette diminution est probablement attribuée à la création de porosité au sein du matériau, ce qui compromet son intégrité. Quant à la comparaison entre différentes variables telles que les longueurs des fibres (3 cm et 5 cm) et les formes des fibres (droites et ondulées), les résultats sont largement similaires. Cependant, une légère amélioration de la résistance à la compression est observée dans les bétons à fibres ondulées par rapport aux bétons à fibres droites. La forme ondulée des fibres permet une couture précoce des fissures, empêchant ainsi la formation de dommages importants pendant un certain temps. Ce comportement retarde efficacement l'apparition de la détérioration.

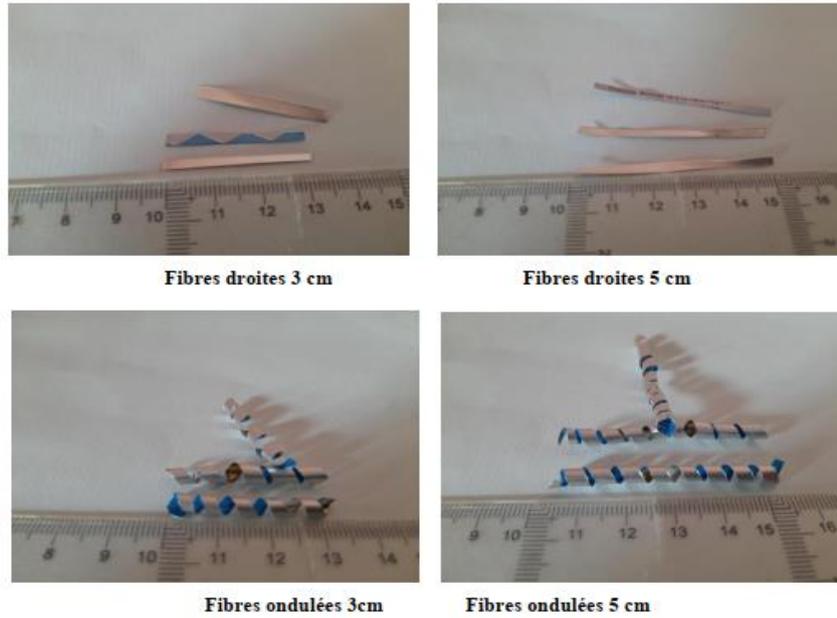


Figure II.22. Variante de fibre

Les résultats de cette étude ont également démontré la forte adhésion entre les fibres et la matrice. Cela était évident puisque les fibres restaient fermement attachées à la matrice jusqu'à leur rupture complète, sans se détacher. Ce résultat particulier revêt une valeur significative dans les scénarios où une structure renforcée avec ces fibres subit un effondrement. Même après rupture, les différents composants de la structure restent interconnectés.

Tableau II.3. Résistances à la compression et forces maximal de béton a 1% de fibres

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

Tableau II.4. Résistances à la compression et forces maximal de béton a 0.3% de fibres

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

L'incorporation de ces fibres présente un avantage écologique. En récupérant ces canettes dans l'environnement et en les intégrant dans la construction, la prolifération de ce type particulier de déchets est grandement diminuée. D'après les résultats de cette recherche, incorporer 0,3 % de ces fibres dans 1 m³ de béton équivaut à valoriser 537 canettes. Compte tenu de la rareté des installations de recyclage en Algérie, cette approche présente une solution viable pour lutter contre la pollution.

GHERAI BIAL [30] a utilisé des fibres pour renforcer le béton qui est une approche technique viable pour améliorer les propriétés spécifiques du matériau. L'objectif de l'étude est d'évaluer l'impact de l'inclusion de fibres métalliques sur la résistance mécanique du béton fibré.

De plus, cette recherche offre des informations précieuses sur les différents types de fibres utilisées pour renforcer le béton.

L'incorporation de fibres dans le béton permet d'obtenir des améliorations satisfaisantes sous divers aspects, notamment l'ouvrabilité du béton frais, ainsi que sa résistance à la compression et à la traction.

Tableau II.5. Résistance à la compression des bétons témoins et des bétons fibrés (fibres d'acier plates et ondulées) avec deux pourcentages (1 % et 2 %)

Béton	Caractéristiques	
	Résistance à la compression (MPa)	
	28 jours	
	1 %	2 %
BT	25.50	
BFP	23.7	33.34
BFO	26	34

Tableau II.6. Résistance à la traction des éprouvettes en béton témoin et bétons fibrés (fibres d'acier plates et ondulées) avec deux pourcentages (1 % et 2 %)

Béton	Caractéristiques	
	Résistance à la traction (MPa)	
	28 jours	
	1 %	2 %
BT	1.52	
BFP	2.12	2.29
BFO	2.17	3

Les éprouvettes testées ont présenté une diminution significative de la largeur des fissures. L'amélioration de la résistance mécanique du béton peut être obtenue en augmentant la proportion de fibres incorporées. L'impact de la géométrie des fibres métalliques (qu'elles

soient plaques ou droites, ondulées ou frisées) sur l'ouvrabilité, ainsi que sur la résistance à la compression et à la traction, ne présente pas de différence significative. Les raisons du succès limité sont probablement les causes suivantes :

- Les fibres présentent une surface très lisse et les bouts de fibres sont simples (sans crochets)
- La répartition aléatoire et non homogène des fibres dans les échantillons testés.
- La position des fibres dans le béton en fonction du sens de fissuration.

FERDJALI A et SOUFI M [31] ont pensé de développer et d'analyser les propriétés mécaniques des bétons autoplacants intégrant des additifs locaux et renforcés de fibres métalliques. L'ajout de fibres à ce type de béton offre la possibilité d'améliorer sa résistance mécanique.

Les résultats expérimentaux ont révélé que l'inclusion des fibres dans le BAP changera le comportement des bétons autoplacants de fragile à ductile, contrairement aux bétons autoplacants témoins. Les deux types de bétons autoplacants fibrés (à base de marbre et à base de tuf) ont présenté une augmentation substantielle de leur ductilité.

Le comportement en compression du BAPF incorporant du marbre n'a pas été affecté par la présence de fibres. L'inclusion de fibres dans la composition d'un BAP à base de tuf augmente sa capacité à être compressif. Ils ont observé que les résistances des bétons BAPFT1-BAPFT2-BAPFT3 ont augmenté respectivement de 7,38 % et 8,77 % et 11,97%, suite à l'ajout de 0,2%-0,3%-0,4% de fibres dans leur composition. La composition qui apporte la plus grande résistance est de 0,5% de fibres (BAPFT4), ce pourcentage augmente la résistance du béton de 18,54% par rapport au béton témoin à 28 jours.

BAPMT : béton autoplacant à base d'ajout de marbre témoin (sans fibre).

BAPFM1 : béton autoplacant à base d'ajout de marbre avec 0.2% de fibre métallique.

BAPFM2 : béton autoplacant à base d'ajout de marbre avec 0.3% de fibre métallique.

BAPFM3 : béton autoplacant à base d'ajout de marbre avec 0.4% de fibre métallique

BAPFM4 : béton autoplacant à base d'ajout de marbre avec 0.5% de fibre métallique.

BAPTT : béton autoplacant à base d'ajout de marbre témoin (sans fibre).

BAPFT1 : béton autoplacant à base d'ajout de marbre avec 0.2% de fibre métallique.

BAPFT2 : béton autoplacant à base d'ajout de marbre avec 0.3% de fibre métallique

BAPFT3 : béton autoplacant à base d'ajout de marbre avec 0.4% de fibre

BAPFT4 : béton autoplacant à base d'ajout de marbre avec 0.5% de fibre métallique

Figure II.23. La liste des abréviations utilisé

Les résultats des essais sont montrés dans le tableau suivant :

Tableau II.7. Résultats des propriétés mécaniques des BAP et BAPF

	Rf(MPa)	RC(MPa)
BAPMT	6.2	25
BAPFM1	6.5	26
BAPFM2	6.2	25
BAPFM3	6	25
BAPFM4	5.9	24.5
BAPTT	5.7	22
BAPFT1	5.8	24
BAPFT2	6	24
BAPFT3	6.2	25
BAPFT4	6.9	26

Après 28 jours, la résistance à la flexion d'un BAP contenant un ajout de 0,5% de fibre de tuf (BAPFT4) a augmenté d'environ 21,67% par rapport au béton témoin.

Chenafi H et Bourokba A [32] ont pour but d'examiner l'effet de l'ajout des fibres métalliques sur l'impact des propriétés mécaniques des bétons à haute performance. L'enquête implique la réalisation d'essais de compression, d'essais de flexion en trois points et l'analyse des courbes charge-déplacement et charge-ouverture de fissure pour évaluer la déformation. Ces expériences font partie d'un programme expérimental plus vaste axé sur l'étude de la manière dont la géométrie des fibres métalliques influence le comportement mécanique du béton à haute performance. Deux types de fibres de géométries différentes sont utilisés dans l'étude. Les résultats obtenus confirment que l'incorporation de fibres d'acier améliore la ductilité et réduit la fragilité du béton, quelle que soit la forme des fibres. De plus, les résultats mettent en évidence le rôle important joué par les caractéristiques géométriques, telles que la forme et l'élanement (rapport L/D), dans l'amélioration du comportement mécanique du béton fibré.

Lors de la formulation des BHP à fibres, il est important de prendre en compte l'impact de l'ajout de fibres métalliques sur l'ouvrabilité et la densité du béton frais. L'inclusion de ces fibres assure la cohésion du béton, mais elle a également des implications sur ses performances globales.

En incorporant des fibres métalliques au béton, on observe un impact favorable sur ses caractéristiques mécaniques. Cela se traduit notamment par une des propriétés mécaniques et de la ductilité. En introduisant des fibres métalliques, la résistance en traction par flexion augmente.

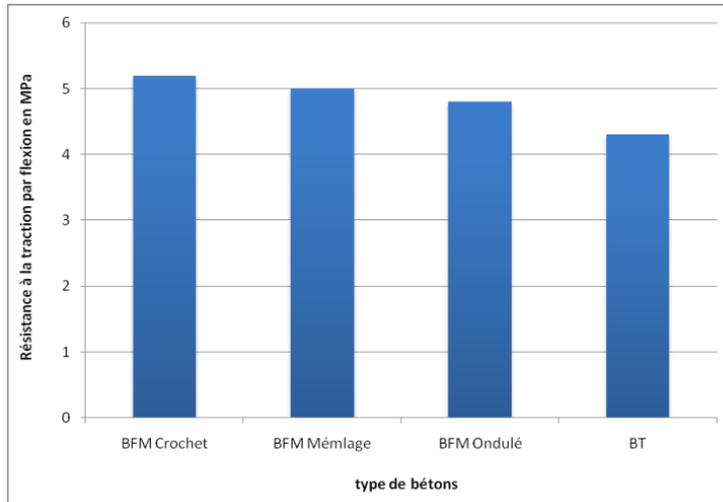


Figure II.24. Histogramme type de béton-résistance à la traction par flexion

L'ajout de fibres métalliques à un léger impact sur la résistance à la compression du béton, en l'augmentant ou en la diminuant selon la géométrie de la fibre. Cela peut être attribué au mécanisme d'accrochage, d'adhésion et d'orientation. Les résultats de ces recherches valident l'influence positive des fibres sur les propriétés mécaniques du béton, notamment en termes d'amélioration de la résistance à la traction et de prévention de la propagation des microfissures. De plus, les attributs géométriques des fibres sont cruciaux pour déterminer leur efficacité à améliorer le comportement du béton.

Tableau II.8. Résultats de résistance en compression

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

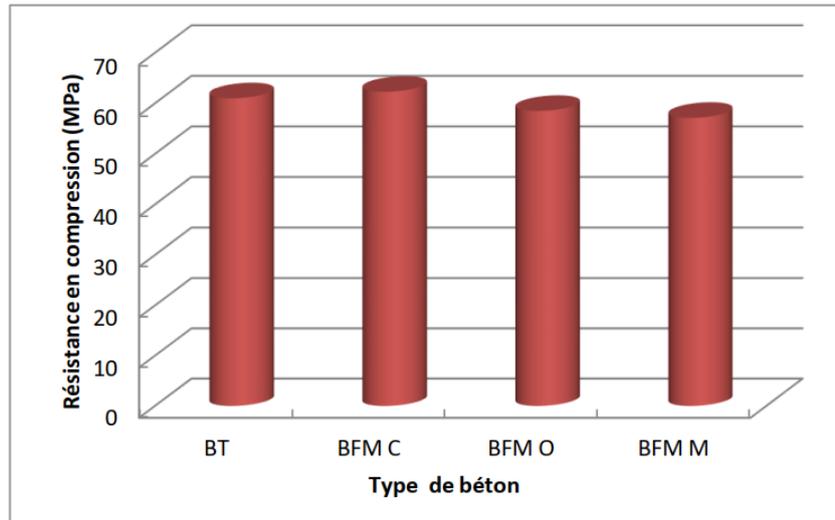


Figure II.25. Influence de la géométrie des fibres sur résistances en compression des bétons d'étude a 28 jours.

D'autre part les bétons avec les fibres de forme crochet présente le meilleur comportement mécanique en termes de résistance en flexion et en terme du processus de déformation et de fissuration.

Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre, une revue de la littérature est présentée, en rappelant un large éventail d'études sur les bétons renforcés de fibres, en particulier sur le renforcement fourni par les fibres métalliques et leurs effets sur les propriétés du béton. Des recherches approfondies ont montré que l'inclusion de fibres métalliques entraîne des améliorations significatives de la résistance à la compression, à la traction et à la ductilité du béton. Diverses études ont comparé les performances des bétons renforcés de fibres d'acier industrielles et recyclées, et les résultats ont été prometteurs pour les deux types de fibres. Des analyses détaillées ont souligné l'influence positive des fibres d'acier sur les propriétés mécaniques du béton, notamment en termes d'amélioration de sa résistance à la traction. De plus, des expériences ont été réalisées pour explorer l'impact combiné des fibres d'acier et du confinement sur le béton à haute résistance, et ces expériences ont démontré des augmentations notables de la résistance à la compression ainsi que des améliorations de la ductilité du matériau.



Chapitre III. Investigations expérimentales

Chapitre III. Investigations expérimentales

III.1 Introduction

L'investigation expérimentale constitue l'objectif essentiel de notre travail. Nous présenterons dans ce chapitre les différentes étapes de notre démarche expérimentale, en commençant par la description des matériaux, puis la caractérisation physico-mécanique des constituants ainsi que la présentation des variantes d'étude puis formulation de béton utilisé dans ce travail, ainsi que l'élaboration des spécimens.

III.2 Matériaux utilisés :

Les matériaux utilisés dans notre étude sont des matériaux locaux, tels que le ciment, le sable, le gravier et les fibres métalliques. Les essais de caractérisation de différents matériaux utilisés ont été réalisés au sein de LCTP du BOUIRA

III.2.1 Ciment :

III.2.1.1 Caractéristique physique et chimique :

Dans cette étude, nous avons utilisé un ciment Portland qui est composé de CEM II/AL 42,5N. Il est originaire de la cimenterie GIKA avec sa fiche technique montrer ci-dessous :

Analyse chimique ciment :				Caractéristiques physico-mécaniques :			
Analyse Chimique %	MIN	MAX	Norme NA 442	Essais physico-mécanique	MIN	MAX	Norme NA 442
SiO ₂	16,00	21,00	-	SS Blaine Cm ² /g	2960	4200	-
AL ₂ O ₃	4,50	5,20	-	Consistance %	25,5	26,8	-
Fe ₂ O ₃	2,70	3,50	-	Début de prise (mn)	80	160	≥ 60 mn
CaO	58,00	64,00	-	Résistance à la compression 02 jours (N/mm ²)	10	19,5	≥ 10.0
MgO	0,80	1,20	-	Résistance à la compression 28 jours (N/mm ²)	42,5	52,5	≥ 42.5
K ₂ O	0,20	0,45	-	Expansion à chaud sur pale (mm)	0	10	≤ 10 mm
Na ₂ O	0,25	0,50	-	Les constituants de Ciment en % *			
SO ₃	1,20	3,50	-	CLINKER	80 - 95		
PF	5,00	10,00	-	CALCAIRE	06 - 20		
Chlorures	0,02	0,10	≤ 0,1	POUZZOLANE	00 - 05		
RI	2,00	6,00	-	GYPSE	00 - 05		
CaO libre	0,20	1,50	-	* Ces valeurs font référence au noyau du ciment à l'exclusion du sulfate de calcium (gypse) et de tout autre additifs.			

Figure III.1. Caractéristiques du ciment

III.2.1.2 Caractéristique mécanique :

Les caractéristiques mécaniques, selon la norme NF EN 12390-3[33]

Tableau III.1. Caractéristiques mécaniques

Résistance (MPA)	Age (Jours)	
	7 J	28 J
Compression	38.256	49.876
Flexion	8.223	12.931

III.2.2 Sable :

Le sable utilisé dans cette étude est le sable d'Oued-Souf (0/5)

Méthodes d'essais :

III.2.2.1 Masse volumique apparente et spécifique :

a) Masse volumique apparente :

Selon la norme **NF EN 1097-3[34]** la masse volumique apparente ou la densité apparente est une mesure qui permet de déterminer la masse de matériau contenue dans un volume donné, y compris le volume d'air interstitiel.

En d'autres termes, elle représente le rapport de la masse d'un matériau sur le volume total qu'il occupe, en tenant compte de l'espace vide entre les particules. L'unité de mesure couramment utilisée pour exprimer cette masse volumique est le gramme par centimètre cube (g/cm^3).



Figure III.2. Masse volumique apparente

b) Masse volumique spécifique :

D'après la norme : **NF EN 1097-6[35]** la masse volumique spécifique est une mesure de la quantité de matière contenue dans un volume donné, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains.

Elle est donc le rapport de la masse du matériau sur le volume réel, auquel on a soustrait le volume des pores (ouverts et fermés). L'unité de mesure couramment utilisée pour la masse volumique absolue est le kilogramme par mètre cube (kg/m^3) ou le gramme par centimètre cube (g/cm^3).



Figure III.3. Masse volumique spécifique

III.2.2.2 Equivalent de sable :

L'équivalent de sable est un indicateur utilisé pour caractériser la propreté d'un sable. Il mesure la teneur en éléments fins, principalement d'origine argileuse, végétale ou organique, qui se trouvent à la surface des grains de sable.

L'essai consiste à séparer les particules fines du sable en utilisant une solution floculante. Après agitation et repos, les particules fines remontent au-dessus du sable dans une éprouvette graduée. La mesure des hauteurs respectives permet de calculer l'équivalent de sable. La norme qui définit l'essai d'équivalent de sable est :**NF EN 933-8**[36]



Figure III.4. Essai équivalent de sable

III.2.2.3 Blue de méthylène :

L'essai du bleu de méthylène est une méthode utilisée dans le but d'évaluer la propreté d'un sable ou d'un granulat. L'essai vise à déterminer la présence et la quantité de fines particules argileuses ou organiques dans les sables. On mesure la quantité de colorant bleu de méthylène qui est adsorbée par les particules fines du matériau testé.

Une valeur de bleu faible indique un sable propre avec peu de particules fines nuisibles. Une valeur élevée peut signaler une quantité importante de fines argileuses ou organiques, ce qui peut affecter la qualité du béton.

Cet essai complète l'équivalent de sable pour fournir une évaluation plus complète de la propreté des granulats utilisés dans la construction. **NF EN 933-9[37]**.



Figure III.5. Essai de bleu de méthylène

III.2.2.4 Analyse granulométrique :

Pour caractériser les granulats l'analyse granulométrique est une méthode essentielle. Elle permet de déterminer la distribution des tailles de grains et d'évaluer la qualité des matériaux pour diverses utilisations, notamment dans la composition du béton. Son objectif est d'évaluer la répartition des tailles de grains dans un échantillon de granulats. L'essai permet de fractionner les granulats en différentes classes granulaires à l'aide d'une série de tamis de tailles décroissantes. Les granulats sont passés à travers une colonne de tamis, et on mesure les proportions de grains retenus (refus) et ceux qui passent à travers (tamisât). Les pourcentages de refus cumulés sont utilisés pour tracer la courbe granulométrique, qui représente graphiquement la distribution des tailles de grains. La courbe granulométrique permet de déduire les dimensions caractéristiques du granulat, la proportion d'éléments fins, et la continuité ou discontinuité de la granularité.

Dans le cas de sable on a utilisé la série des tamis suivants qui convient à la norme **NF EN 933 – 1[38]** : (Fond de tamis - 0.063 – 0.125 – 0.250 – 0.500 – 1 – 2 – 4 – 5 – 6.3 – 8) mm.



Figure III.6. Série des tamis pour l'essai analyse granulométrique

Tableau III.2. Analyse granulométrique du sable

Ouverture des tamis	Masses(g)	Teneurs (%)		Mf
		Refus cumulés	Refus cumulés		Tamisat cumulés
8	0	0	100	2.47
6.3	0	0	100	
5	0	0	100	
4	1.56	0.13	99.87	
2	31.20	2.60	97.4	
1	167.04	13.92	86.08	
0.500	577.44	48.12	51.88	
0.250	1008.0	84	16	
0.125	1180.32	98.36	1.64	
0,063	1198.92	99.91	0.09	
Fond tamis	1199.4	99.95	0.05	

III.2.2.5 Module de finesse :

Le Module de finesse (Mf) est un facteur important pour les sables. Il est calculé à partir des pourcentages pondéraux des grains passant à travers une série de tamis normalisés.

$$MF = 1/100 \sum \text{Refus cumulés en \% (0.125 - 0.25 - 0.5 - 1 - 2 - 4)} \text{ NF EN 12620 [39].}$$

Présentation des résultats :

Tableau III.3. Caractéristiques du sable oued souf

Caractéristiques	Résultats
Masse volumique apparente (KG/M ³)	1812.05
Masse volumique spécifique (KG/M ³)	2514
Teneur en eau (%)	0.4
ESP (%)	67.3
ESV (%)	69.7
Le bleu de méthylène (ml/g)	0.77
Absorption	0.48
Porosité	27.9

III.2.3 Gravier (3/8) et (8/15) :

III.2.3.1 Masse volumique apparente et spécifique :

Tableau III.4. Les masses volumiques de gravier

Types de gravier	Masse volumique apparente	Masse volumique spécifique
Gravier 3/8	1386.12	2650
Gravier 8/15	1469.59	2730

III.2.3.2 Micro Deval :

Essai Micro-Deval est une méthode utilisée pour évaluer la résistance à l'usure des granulats. Le coefficient Micro-Deval (MDE) est calculé en fonction de la masse des éléments usés par rapport à la masse initiale de l'échantillon. Le coefficient Micro-Deval obtenu permet d'évaluer la qualité des granulats en termes de leur résistance à l'usure. Des valeurs plus faibles indiquent une meilleure résistance à l'usure. **NF EN 1097-1 [40]**



Figure III.7. Essai Micro-Deval

Les résultats obtenus sont montrés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.5. Valeurs de coefficient Micro Deval

Types de gravier	Coefficient Micro Deval
Gravier 3/8	22.7
Gravier 8/15	10.79

III.2.3.3 Los Angeles :

La résistance des granulats à la fragmentation sous l'effet des chocs et de l'abrasion est évaluée par l'essai Los Angeles. On calcule le coefficient Los Angeles (LA) en comparant la masse des éléments usés à la masse initiale de l'échantillon. L'obtention du coefficient LA

permet d'évaluer la qualité des granulats en ce qui concerne leur capacité à supporter la fragmentation.NF EN 1097-2[41].



Figure III.8. Essai Los Angeles

Tableau III.6. Valeurs de coefficient LA

Types de gravier	Coefficient Los Angeles
Gravier 3/8	21.91
Gravier 8/15	19.59

III.2.3.4 Aplatissement :

Le coefficient d'aplatissement est une mesure qui permet de caractériser la forme des granulats, comme les graviers, en termes de leur degré d'aplatissement. En génie civil, cette mesure est importante car elle influence la maniabilité et la compacité du béton. Le coefficient d'aplatissement est déterminé par un test normalisé selon la norme NF EN 933-3[42] et fait partie de l'analyse granulométrique des matériaux.



Figure III.9. Essai d'aplatissement

Le résultat obtenu permet de classer les granulats selon leur forme.

Tableau III.7. Coefficient d'aplatissement pour le gravier 3/8

Masse de la prise d'essai $M_0=753.5g$		Somme des masses éliminées =66.8g	
Tamisage sur tamis d'essai		Tamisage sur grilles à fentes	
Granulat élémentaire $d_i/D_i(mm)$	Masse (R_i) du granulat élémentaire $d_i/D_i(g)$	Ecartement nominal des fentes(mm)	Passant sur une grille à fente(m_i)(g)
10	0	6.3	0
8	0	5	0
6.3	53.9	4	14.8
5	421.9	3.15	93.5
4	210.8	2.5	49.2
$M_1=\sum R_i$	686.6	/	157.5
C.A3/8 =22.93%			

Tableau III.8. Coefficient d'aplatissement pour le gravier 8/15

Masse de la prise d'essai $M_0=3224g$		Somme des masses éliminées =39.4g	
Tamisage sur tamis d'essai		Tamisage sur grilles à fentes	
Granulat élémentaire $d_i/D_i(mm)$	Masse (R_i) du granulat élémentaire $d_i/D_i(g)$	Ecartement nominal des fentes(mm)	Passant sur une grille à fente(m_i)(g)
20	0	12.5	00
16	181.6	10	5.1
12.5	1440.5	8	109.5
10	848.3	6.3	93.5
8	446	5	64.2
6.3	268	4	38
$M_1=\sum R_i$	3184.4	/	310.3
C.A 8/15 =9.74 %			

III.2.3.5 Porosité :

Espace remplis d'air entre les granulats du conteneur, la norme **NF EN 1097-3[43]** qui définit l'essai de la porosité des granulats :

Tableau III.9. Valeurs de la porosité

Types de gravier	Porosité %
Gravier 3/8	47.49
Gravier 8/15	47.17

III.2.3.6 Absorption :

Est l'absorption de masse d'un échantillon de graine de granulat sec due à la pénétration d'eau dans les vides des granulats. **NF EN 1097-6[44]**

Tableau III.10. Valeurs de l'absorption

Types de gravier	Absorption %
Gravier 3/8	0.29
Gravier 8/15	0.25

III.2.3.7 Analyse granulométrique :

Pour le gravie 3/8 on a utilisé la série des tamis suivants : (Fond de tamis – 0.063 – 0.25 – 0.5 – 1 – 2 – 4 – 6.3 – 8 – 10 – 12.5) mm

Tableau III.11. Analyse granulométrique du gravier 3/8

Ouverture des tamis(mm)	Masses(g)	Teneurs (%)	
	Refus cumulés	Refus cumulés	Tamisé cumulés
12.5	0	0	100
10	0	0	100
8	0	0	100
6.3	97.495	5.27	94.73
4	1694.6	91.60	8.4
2	1811.52	97.92	2.08
1	1830.02	98.92	1.08
0.5	1832.05	99.03	0.97
0.250	1832.98	99.08	0.92
0.063	1884.89	99.94	0.06
Fond tamis	1849.63	99.98	0.02

Le gravier 8/15 : (Fond de tamis – 0.063 – 2 – 4 – 6.3 – 8 – 10 – 12.5 – 14 – 16 – 20) mm

Tableau III.12. Analyse granulométrique de gravier 8/15 :

Ouverture des tamis(mm)	Masses(g)	Teneurs (%)	
	Refus cumulés	Refus cumulés	Tamisats cumulés
20	0	0	100
16	311	6.22	93.78
14	2176	43.52	56.48
12.5	3336	66.72	33.28
10	4113.5	82.27	17.73
8	4872	97.44	2.55
6.3	5000	100	0
Fondtamis	/	/	/

La courbe de d’analyse granulométrique montrée ci-dessous :

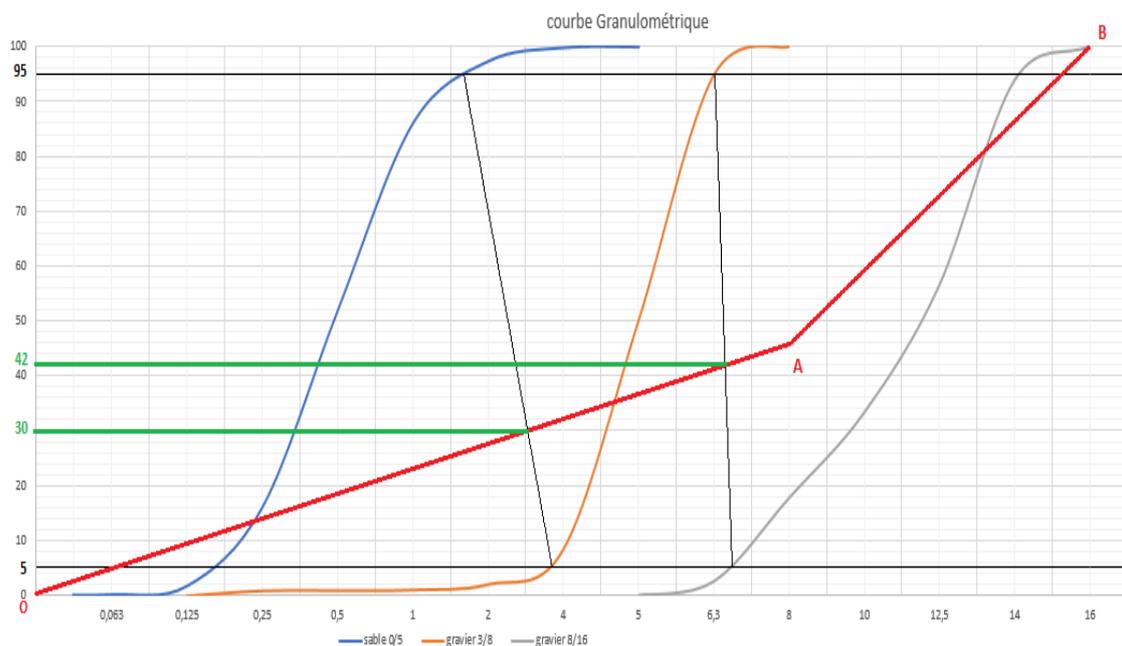


Figure III.10. Courbe d’analyse granulométrique

III.2.4 Fibre métallique :

Pour notre projet de recherche, nous avons choisi d'utiliser des fibres métalliques accrochées produites localement à base des fils d’acier provenant d'El-Hadjar.



Figure III.11. Fibre métallique

Ces fibres ont été spécifiquement choisies pour améliorer la résistance mécanique du béton. Non seulement ces fibres possèdent une excellente résistance à la traction, mais elles présentent également une forme régulière et une capacité d'allongement remarquable lorsqu'elles atteignent leur point de rupture.

Selon la fiche technique de constructeur les caractéristiques des fibres sont montrées dans le tableau suivant :

Tableau III.13. Caractéristiques des fibres

Dimensions	Caractéristiques
Forme	Accrochée de section circulaire
Longueur	50.7 ± 0.9 mm
Longueur développée	52.3 ± 0.7 mm
Diamètre équivalent	0.99 ± 0.01 mm
Resistance à la traction	552 ± 43 MPA
Masse volumique	7800 kg/m ³

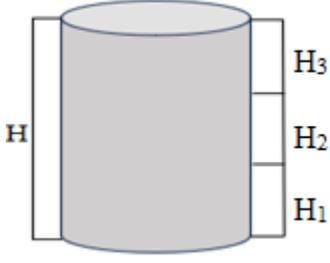
III.3 Formulation :

III.3.1 Présentation des variantes d'études :

Pour souligner l'influence du taux et la répartition des fibres dans le béton fibré, différentes variétés ont été prises en compte, âgé de 7 et 28 jours. Avec une répartition montrait ci-dessous.

Les variétés considérées dans ce travail sont montrées dans le tableau ci-dessous :

Tableaux III.14. Présentation des variétés d'étude

Variétés	μ_f	Disposition : (H ₁ -H ₂ -H ₃)	
Béton témoin	0 %	C-B-Ref	
Variété 1	1.5 %	C-BF-RA	
		C-BF-R-(0.5-0.5-0.5)	
		C-BF-R-(0.25-1-0.25)	
		C-BF-R-(1-0.25-0.25)	
		C-BF-R-(0.25-0.25-1)	
Variété 2	2 %	C-BF-R-(0.66-0.66-66)	
		C-BF-R-(0.5-1-0.5)	
		C-BF-R-(1-0.5-0.5)	
		C-BF-R-(0.5-0.5-1)	
		C-BF-R(H ₁ -H ₂ -H ₃)	

Avec : H₁, H₂ et H₃ : hauteur d'éprouvette divisé par trois et μ_f : la fraction volumique des fibres.

III.3.2 Composition de béton :

Nous avons utilisé la méthode DREUX - GORISSE pour la formulation de notre béton. Qui permet de déterminer les quantités optimales de matériaux (eau E, ciment C, sable S, gravillon g et gravier G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton.

Tableau III.15. Compositions des bétons étudiés

Type du béton	Ciment (Kg/m ³)	Eau (l/m ³)	Sable de Oudesouf (kg/m ³)	Gravier 3/8 (kg/m ³)	Gravier 8/16 (kg/m ³)	Fibres (kg/m ³)	E/C
BT	400	218.94	503.8	212.42	1057.71	/	0,54
BF 1.5%	400	218.94	503.8	212.42	1057.71	117	0,54
BF 2%	400	218.94	503.8	212.42	1057.71	156	0,54

III.3.3 Réalisation des éprouvettes :

À l'aide d'un malaxeur d'une capacité de 180 litres, le mélange de béton a été préparé en fonction de la composition déterminée des constituants.



Figure III.12. Malaxeur 180 L

Des moules de dimensions (11-22) cm ont été sélectionnées.



Figure III.13. Moule (11-22) cm

Pour le béton de fibres, l'ajout des fibres métalliques est effectué par petites quantités en cours du malaxage. Les moules ont été soigneusement nettoyés et humidifiés.

La mise en place du béton fibré dans les moules qui ont été divisé en trois parties pour assurer la répartition et le dosage des fibres selon la variante considérée.



Figure III.14. Remplissage par couche des éprouvettes

Après le remplissage des moules avec le béton, les surfaces des éprouvettes sont nivelées, puis celles-ci sont laissées 24 heures (± 1 heure) à une température de $20\text{ C} \pm 2\text{ C}$ avant démoulage.



Figure III.15. Réalisation des éprouvettes

Pour assurer le cure des éprouvettes, celles-ci sont conservées à l'eau avec une température de 20°C après la démolition.



Figure III.16. Conservation des éprouvettes dans l’eau

III.4 Caractérisation de béton :

III.4.1 Caractérisation de béton à l’état frais : Masse volumique (NF EN 12350 – 6) : [45]

Est le rapport entre la masse du béton frais sur le volume, calculer par la formule

suivante : $\rho = \frac{M}{V}$ Avec : M : la masse en KG et V : le volume en M³

Tableau III.16. Variation de la masse volumique à l’état frais de différents bétons

Type du béton	BT	BFA-1.5%	BFA-2%
MV du béton frais (Kg/m ³)	2383.61	2502.26	2543.12

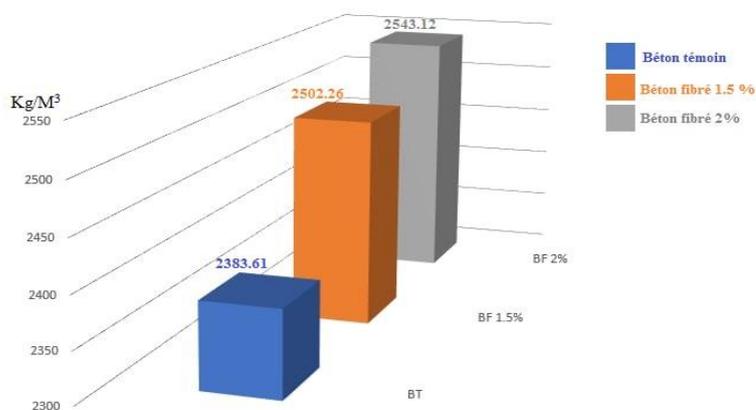


Figure III.17. La variation de la masse volumique BT, BF à l’état frais

D’après les résultats on remarque que la masse volumique de béton augmente avec l’augmentation du dosage des fibrés incorporées par rapport au béton témoin.

On remarque que pour un dosage de 1.5% de fibre la masse volumique a augmenté de 118.65 Kg/m³, soit une augmentation de 4.98%, et pour 2% de fibre la masse volumique a augmenté de 159.51 Kg/m³, soit une augmentation de 6.69%.

Ces résultats montrent une relation positive entre la proportion des fibres incorporées et la masse volumique du béton frais. Plus la proportion des fibres est élevée, plus la masse

volumique augmente, cela peut indiquer que les adjuvants améliorent la compacité du béton, ce qui pourrait avoir des implications sur les propriétés mécaniques et la durabilité du béton une fois durci.

III.4.2 Caractérisation de béton à l'état durci :

III.4.2.1 Masse volumique (NF EN 12350 – 6) : [47]

Tableau III.17. Variation de la masse volumique à l'état durci de différents bétons

Type du béton	La masse volumique Kg/M ³	
	7j	28j
BT	2549.44	2554.94
BF 1.5%	2611.41	2619.07
BF 2%	2632.95	2664.05

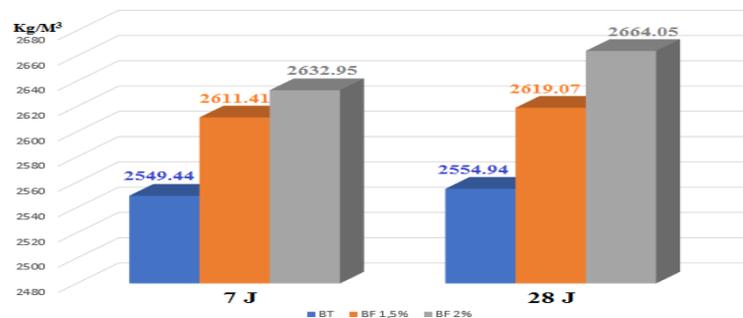


Figure III.18. La variation de la masse volumique BT, BF à l'état durci

L'incorporation des fibres au béton augmente la masse volumique par rapport au béton témoin à la fois à 7 jours et à 28 jours. Plus le dosage des fibres est élevée, plus la masse volumique augmente.

III.4.2.2 Essai à la compression :

L'essai consiste à exercer une force sur l'éprouvette jusqu'à l'apparition de fissures afin de déterminer la résistance à la compression. Ce test est effectué à l'aide de machines à compression ou de presses à éprouvettes.

On a utilisé la presse de marque RP 3000 XP avec une charge maximale de 3000 KN.



Figure III.19. Appareille d'essai

Les éprouvettes mesurant chacune (11x22) cm ont été créées puis démoulées après une période de 24 heures. Ces éprouvettes ont ensuite été placées dans l'eau, en maintenant une plage de température de 20 à 23°C, jusqu'à atteindre la durée souhaitée. Elles ont été soumises à un écrasement à différents intervalles (7 et 28 jours), avec l'aide d'une presse d'une capacité de charge maximale de 3 000 KN. La force et la contrainte ont subi par l'éprouvette sont affichés sur l'écran.



Figure III.20. L'écrasement des éprouvettes

Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre, nous avons fourni une analyse complète des composants fondamentaux du béton, notamment le ciment, le sable, le gravier et les fibres, ainsi que divers tests physico-mécaniques réalisés en laboratoire. Notre recherche impliquait de mener plusieurs variantes d'études pour évaluer l'impact de la distribution des fibres dans le béton dans des cylindres multicouches. De plus, nous avons détaillé sur l'essai de compression effectué sur les différents types de bétons examinés.



CHAPITRE IV. Résultats et discussion

CHAPITRE IV. Résultats et discussion

IV.1 Introduction

Le béton renforcé de fibre métallique a un but d'améliorer et renforcer la matrice traditionnelle. Cependant les recherches qui ont été déjà faites se basent sur l'influence de dosage des fibres dans le béton. Par conséquent nous s'intéressons sur l'influence de dosage et la répartition des fibres dans la matrice. Dans ce chapitre on mettra en évidence l'impact de ces deux facteurs grâce à des résultats obtenus par des essais mécaniques sur des cylindres multicouches en béton renforcé de fibres métalliques. Les essais mécaniques réalisés et les résultats obtenus sont présentés et analysés pour une meilleure compréhension du comportement des cylindres multicouches en béton de fibres.

IV.2 Résultats :

Les essais de compression sont faits au niveau de laboratoire de génie civil.



Figure IV.1. Mode de rupture des éprouvettes avec une répartition de (0.25-0.25-1)



Figure IV.2. Mode de rupture des éprouvettes avec une répartition de (1-0.5-0.5)

IV.2.1 La résistance à 7 jours variante de 1.5% des fibres :

Tableau IV.1 La résistance à 7 jours variante de 1.5% des fibres

Types de béton	Contrainte (MPa)
BF 1.5% Répartition aléatoire	16.06
BF 1.5% (0.5-0.5-0.5)	17.3
BF 1.5% (0.25-1-0.25)	17.56
BF 1.5% (1-0.25-0.25)	19.3
BF 1.5% (0.25-0.25-1)	20.43

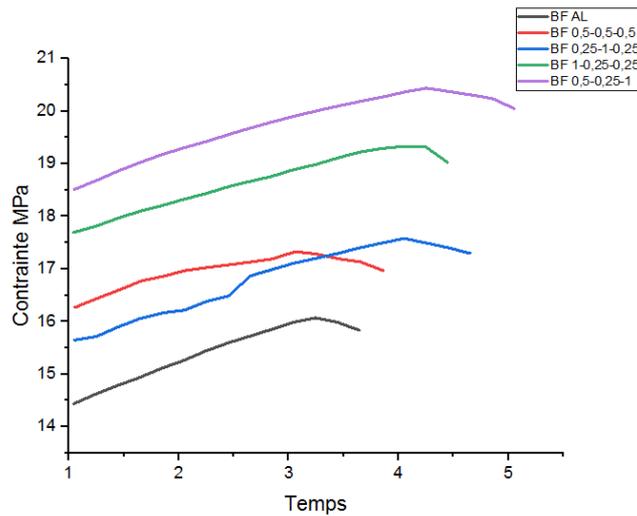


Figure IV.3 La courbe d'évolution à 7 jours pour une variante de 1.5 % de fibres

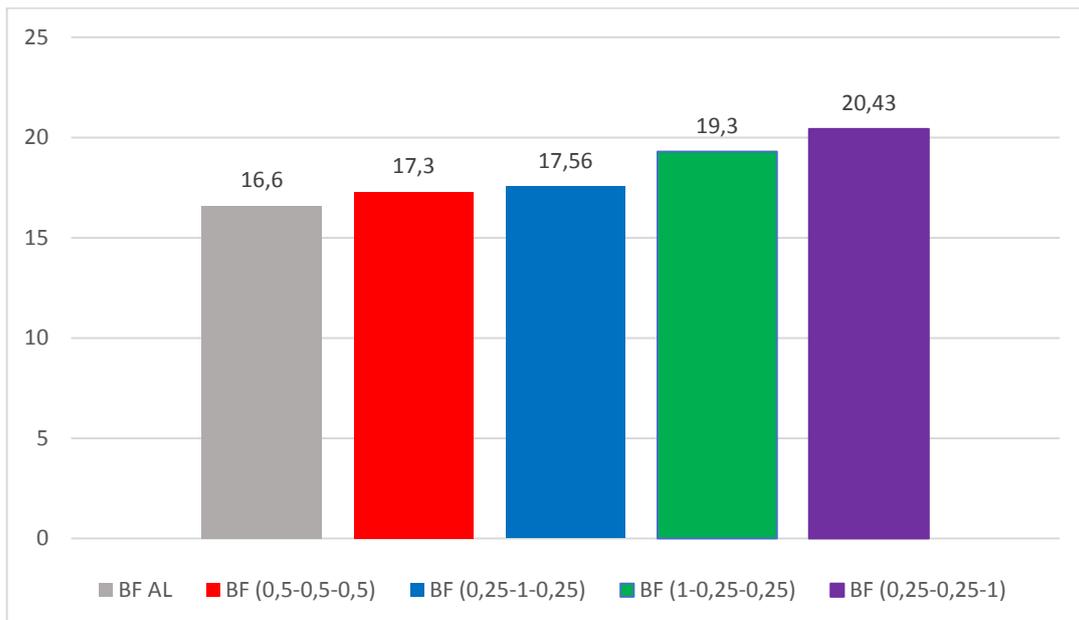


Figure IV.4 Histogramme des contraintes en fonction de type de béton 1,5 7 J

IV.2.2 La résistance à 7 jours variante de 2% des fibres :

Tableau IV.2. La résistance à 7 jours variante de 2% des fibres

Types de béton	Contrainte (MPa)
BF 2% (0.66-0.66-0.66)	19.6
BF 2% (0.5-1-0.5)	21.5
BF 2% (1-0.5-0.5)	21.7
BF 2% (0.5-0.5-1)	21.93

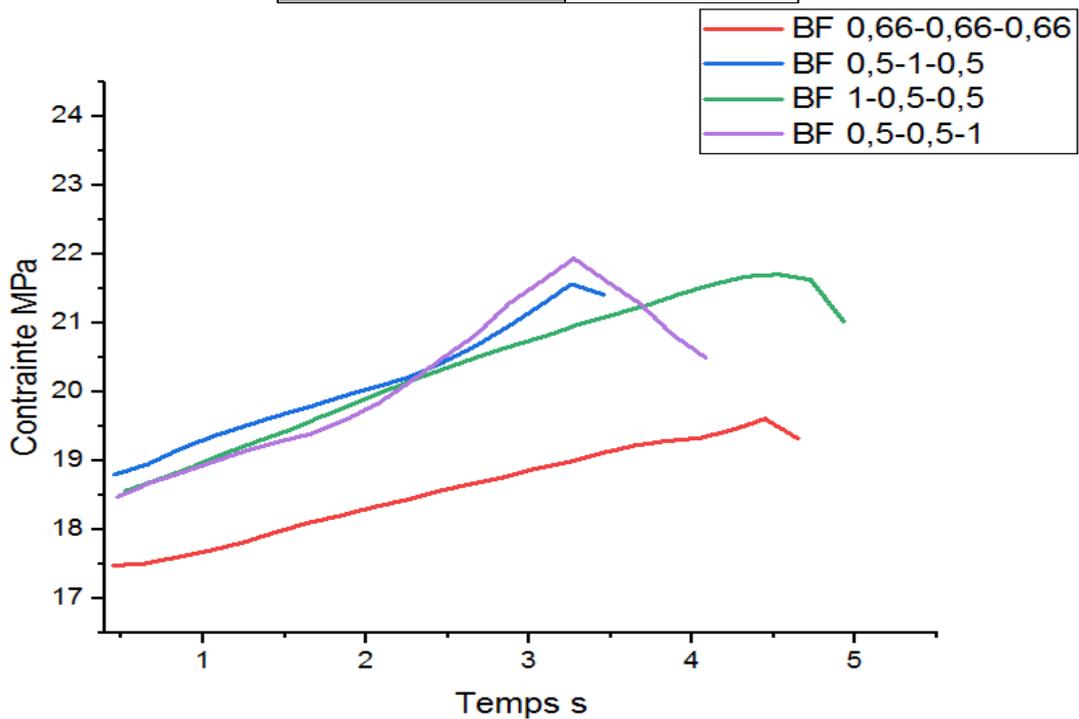


Figure IV.5. La courbe d'évolution à 7 jours pour une variante de 2 % de fibres

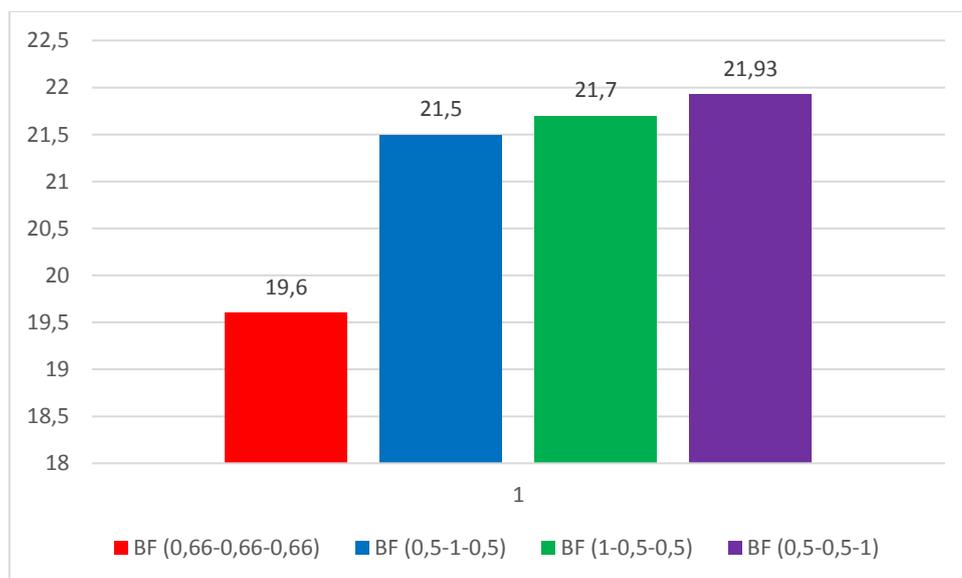


Figure IV.6. Histogramme des contraintes en fonction de type de béton 2% 7J

IV.2.3 La résistance à 28 jours variante de 1.5% des fibres :

Tableau IV.3. La résistance à 28 jours variante de 1.5% des fibres

Types de béton	Contrainte (MPa)
Béton témoin	25.36
BF 1.5% Répartition aléatoire	24.43
BF 1.5% (0.5-0.5-0.5)	27.5
BF 1.5% (0.25-1-0.25)	27.26
BF 1.5% (1-0.25-0.25)	28.16
BF 1.5% (0.25-0.25-1)	28.66

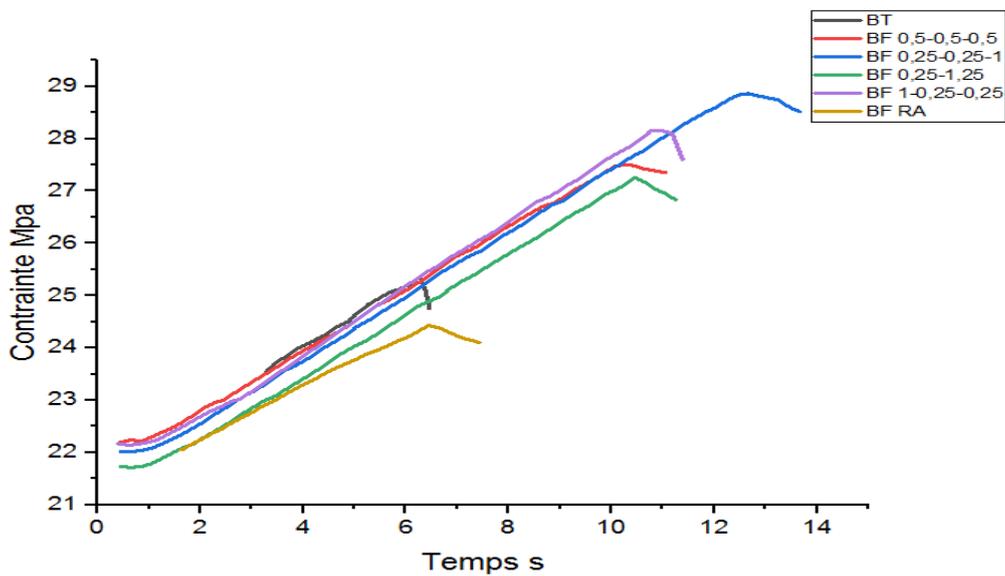


Figure IV.7. La courbe d'évolution à 28 jours pour une variante de 1.5 % de fibres

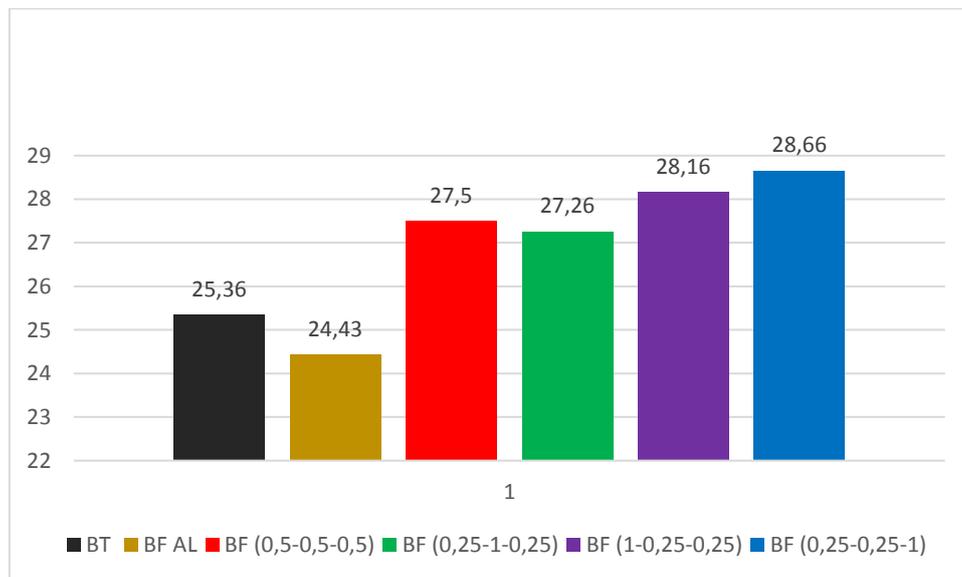


Figure IV.8. Histogramme des contraintes en fonction de type de béton 1,5 28 J

IV.2.4 La résistance à 28 jours variante de 2% des fibres :

Tableau IV.4. La résistance à 28 jours variante de 2% des fibres

Types de béton	Contrainte (MPa)
Béton témoin	25.36
BF 2% (0.66-0.66-0.66)	23
BF 2% (0.5-1-0.5)	23.43
BF 2% (1-0.5-0.5)	26.53
BF 2% (0.5-0.5-1)	23.8

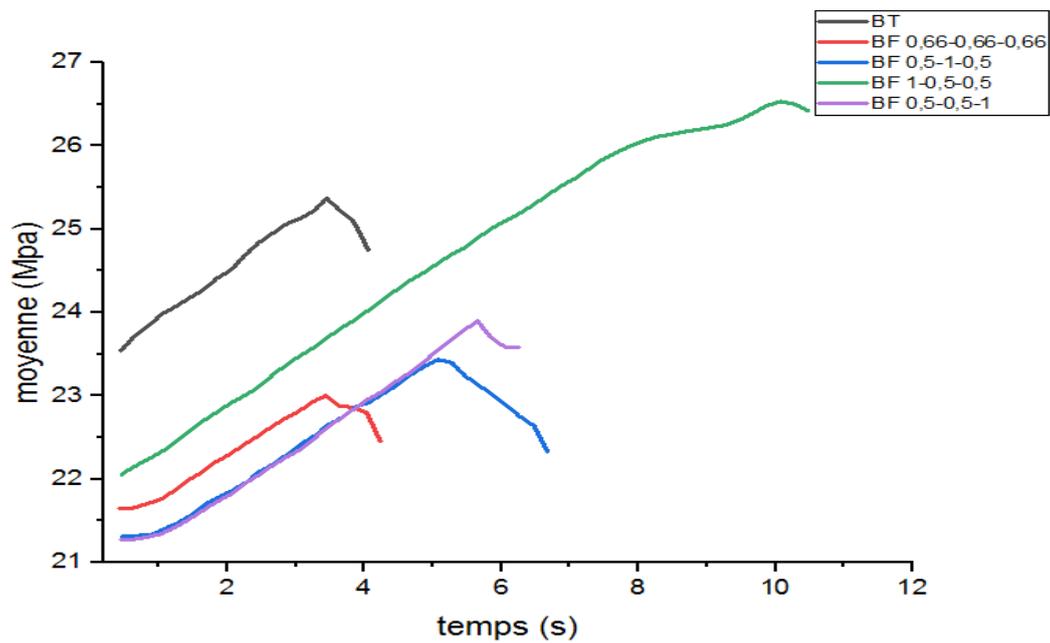


Figure IV.9. La courbe d'évolution à 28 jours pour une variante de 2 % de fibres

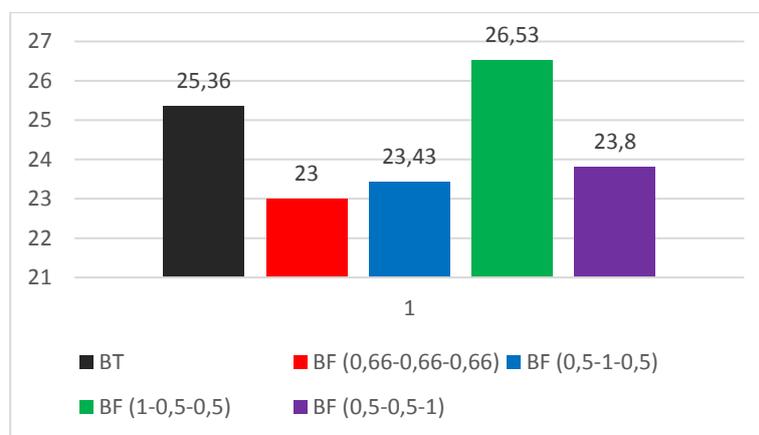


Figure IV.10. Histogramme des contraintes en fonction de type de béton 2% 28 J

IV.2.5 La résistance maximale des différentes variantes :

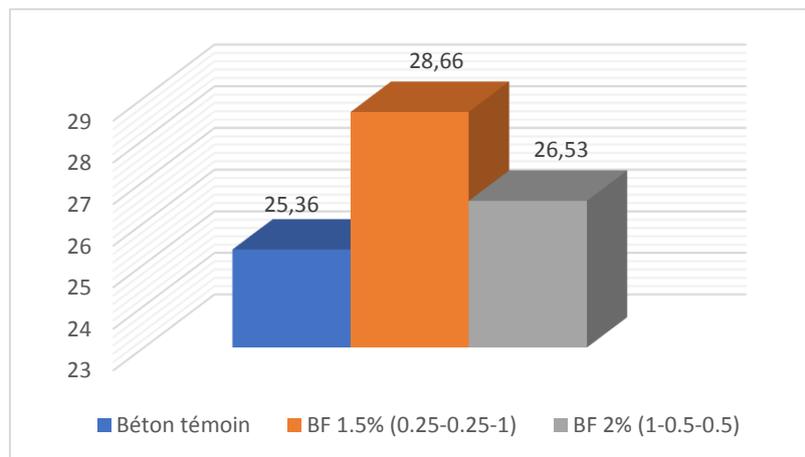


Figure IV.11. Histogramme résistance maximale à 28 jours pour les différentes variantes

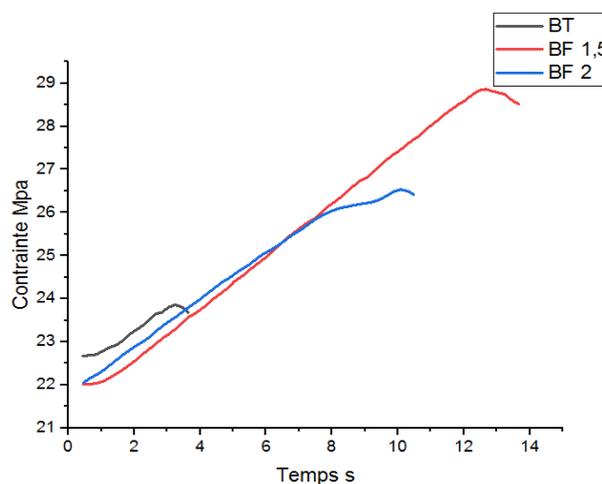


Figure IV.12. Courbe de résistance maximale à 28 jours pour les différentes variantes

IV.3 Discussion des résultats et conclusion

D’après les courbes des évolutions à 7j et à 28j, pour une fraction volumique de fibres métalliques, on constate que la variante (0.25-0.25-1) donne le meilleur résultat en termes de contrainte égale à 20.43 MPa à 7 j et 28.66 MPa à 28j. Aussi, pour le même temps d’application de la charge, la résistance augmente presque linéairement.

Le comportements des spécimens ne suit pas la même allure à 7j et à 28j, en effet à 7j les courbes sont éloignées les unes des autres, alors que à 28j on obtient des courbes très rapprochées et suivent la même loi d’évolution.

Concernant la fraction volumique de 2 % d’après les résultats des essais de compression uni axiale menés sur les différents spécimens cylindriques, on constate qu’à 7j la résistance maximale a une valeur 21.93 MPa et à 28 j, elle est de 26.53MPa. Les évolutions des contraintes ont presque la même allure que celle des courbes précédentes, sauf que pour la variante avec

une fraction de 1.5% (0.25-0.25-1) on obtient une résistance de 28.66 MPa à 28 j, alors qu'avec 2% de fibres elle est de 26.53 MPa donnée par la meilleure variante (1-0.5-0.5).

Ces résultats confirment amplement que le paramètre considéré dans ce travail de recherche est assez significatif par rapport à l'augmentation de la résistance, en utilisant la même quantité des fibres dans la matrice béton.

Soit, une disposition optimisée des fibres dans les différentes couches peut certainement améliorer la résistance et qu'avec une fraction de 1.5% on obtient le meilleur résultat comparativement à la variante avec 2% de fibres, ce qui est un avantage économique avéré.

En conclusion, les résultats confirment que l'incorporation des fibres métalliques dans les cylindres multicouches en béton avec un taux variable améliore la capacité portante et le comportement mécanique en généra

Conclusion générale

Les diverses études menées sur les bétons fabriqués à partir de fibres métalliques démontrent une tendance à l'augmentation de la résistance de compression comparativement à celle de béton ordinaire. Cette augmentation dépend de la présence des fibres dans la matrice béton, la fraction des fibres, l'orientation, la nature des fibres, etc.

L'objectif principal de ce travail consiste à mettre en évidence, à travers une investigation expérimentale, l'influence de la variation de la fraction volumique des fibres dans les différentes couches considérées du cylindre sur la résistance et la ductilité des cylindres vis-à-vis du chargement de compression axiale. Le but consiste à trouver la meilleure répartition des fibres dans le béton, en renforçant d'une manière précise les zones où les charges sont plus grandes.

Les résultats démontrent une association positive entre le pourcentage de fibres incorporées et la densité du béton. Plus le pourcentage de fibres est élevé, plus la densité est élevée et donc plus il est possible que les adjuvants améliorent la consistance du béton, ce qui aurait un effet sur les propriétés mécaniques et la longévité du béton une fois formé.

Les résultats valident l'amélioration de la capacité portante et des performances mécaniques globales des cylindres en béton multicouche grâce à l'intégration de fibres métalliques à des taux variables. Dans notre travail on a trouvé qu'une variante (0.25-0.25-1) avec une fraction volumique de 1.5% donne le meilleur résultat en termes de contrainte égale à 28.66 MPa à 28 jours. De plus, la fraction volumique de 2 % donne une valeur maximale de 26.53MPa à 28 jours avec une répartition optimisée de (1-0.5-0.5) dans les couches du cylindre.

Plus précisément, une répartition optimisée des fibres sur différentes couches améliore considérablement la résistance, le résultat le plus favorable étant obtenu avec une fraction de fibres de 1,5 %, par rapport à la variante de 2 %. Cet avantage économique a été avéré dans la partie pratique.

Les résultats de cette étude fournissent des preuves substantielles à l'appui de l'importance du paramètre étudié en termes d'amélioration de la résistance. Ceci est

obtenu tout en conservant la même quantité de fibres dans la matrice de béton. Les résultats valident fortement l'importance du paramètre dans l'amélioration de la résistance, comme le démontre cette recherche.

Le paramètre considéré pour décrire le comportement du béton armé de fibres métalliques permet de lier l'endommagement à la fraction volumique des fibres et la répartition par couches du cylindre. Ainsi, pour une même quantité de fibres, et selon la manière de répartition adoptée ; on peut améliorer la résistance ultime de compression et modifier le comportement du béton renforcé, à la compression axiale, ce qui est avantageux de point de vue économie.

Référence bibliographique.

- [1]- E.N.ANTOINE(1985), « fibre reinforced for concret », concret international design and construction , Vol 7, N° 3, March 1985,pp.21-25.
- [2] -ACI COMMITTEE (1984),« state of the art report on fibre reinforced concrete », journal American . concrete Institute.March- April 1984,pp.140-146.
- [3]- H.F.PORTER, « préparation of concrete from selection of materials to final disposition ». Journal American Concrete . Institute. VOL 6, 1910,296p.
- [4] -D.R. LANKARD & H.D. SHEETS (1971) ; « use of steel wire fibre in refractory castables». Am.ser. Soc., vol 63, No .7,1971
- [5] -MEDDAHI. K., et al (2016), « Comportements des bétons renforcés par des fibres métalliques, méthodologie et hypothèse de recherche ». Mémoire master en Ingénierie des Matériaux de Construction. Univ Bouira.
- [6] -CÉLINE DELUZARCHE (2018), FUTURA -26 août 2018. <https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/batiment-beton-5834/> [en ligne] consulté le 04 mars 2024.
- [7] -Deaux, O. (2018). « Optimisation de bétons fibrés à ultra-hautes performances et caractérisation de leurs propriétés en contexte industriel » [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie
- [8] -SETTLF (2021). « Contribution à l'étude de l'effet d'échelle sur les propriétés d'un béton fibré». Doctorat en sciences spécialité en Génie Civil. Univ Chlef
- [9] -AMMARKHODJA. W., et BOUCHERIGUENE.M (2019). « Comportement des poutres en beton-bfm». Mémoire master en matériaux de Construction. Univ Bouira.
- [10] -BENHAMIDA. R., et BOULIFA.R (2020). « Contribution à l'étude des caractéristiques mécaniques des mortiers fibres par des fibres plastiques (issues des déchets industriels) », Mémoire master structure en génie civil. Univ Ouargla.
- [11] -BOUMEHRAZ. M (2021). « Contribution à l'Etude de la Durabilité du Béton Renforcé par Matériaux Composites (Fibres de Verre AR) et de PRV sous l'Effet des Sulfates ». Doctorat spécialité matériaux en Génie Civil. Univ Biskra.

- [12] -TAMA.C (2023). « Etude de l'Effet des Paramètres d'Elaboration sur les Propriétés Mécaniques des Composites Renforcés de Fibres et de Particules ». Mémoire master en génie mécanique spécialité fabrication mécanique et productique. Univ Ouargla.
- [13] -BERRADIA.M (2012). « Impact de L'ajout des fibres métalliques sur la résistance des structures en béton à haute performance ». Mémoire master structure et géotechnique en génie civil. Univ Chlef.
- [14] -GHERAIBIA.L (2020). « Etude des caractéristiques mécaniques du béton avec l'ajout des fibres ». Mémoire master structure en génie civil. Univ Tébessa.
- [15] -PATRICK GUIRAUD (2018), « Les bétons fibrés : un vaste choix de solutions constructives », INFOCUMENTS- avril 2018.
- [16] -LAROUCI.B (2017), « contribution à l'étude du comportement mécanique de béton des fibres métalliques », Mémoire master structure et géo-matériaux en génie civil. Univ ADRAR.
- [17] -PATRICK GUIRAUD (2018), « Les bétons fibrés : un vaste choix de solutions constructives », INFOCUMENTS- avril 2018.
- [18] -Tout sur le béton. <https://www.toutsurlebeton.fr/le-ba-ba-du-beton/quest-ce-que-le-beton-fibre/> [en ligne] consulté le 04 mars 2024
- [19] -MEDDAHI. K., et al (2016), « Comportements des bétons renforcés par des fibres métalliques, méthodologie et hypothèse de recherche ». Mémoire master en Ingénierie des Matériaux de Construction. Univ Bouira.
- [20]- Mongi Ben Ouezdou, Ali Ellouze, (2005), «Etude des Bétons à Fibres renforcés par des Fibres Métalliques à Base de Matériaux Locaux», Colloque CMEDIMAT 2005, TUNISIE
- [21]-Julian.C., et al, (2020), «Properties of Steel Fiber Reinforced Concrete Using Either Industrial or Recycled Fibers from Waste Tires», Fibers and Polymers, vol 21, pages 2055–2067
- [22]- Xijun.S., et al, (2020), «Constitutive behaviors of steel fiber reinforced concrete under uniaxial compression and tension», construction and building Materials ,vol 233.
- [23]-USMAN.M., et al (2019), «Axial compressive behavior of confined steel fiber reinforced high strength concrete», construction and building Materials ,vol 230.

- [24]- ÖZER.Z., et al (2022),«Performance evaluation of fiber-reinforced concrete produced with steel fibers extracted from waste tire»,Frontiers in materials ,vol 9.
- [25]- Gul., et al (2021),«Impact of length and percent dosage of recycled steel fibers on the mechanical properties of concrete»,Civil Engineering Journal, vol 7.
- [26]- MALEK.A et LAMRI.K (2022), «Propriétés des bétons fibrés avec l’ajout de la boue de dragage». Mémoire master matériaux en génie civil. Univ Bouira.
- [27]- KHINECHE.M (2020), «Etude de l’influence des fibres métalliques sur le comportement du béton de poudre réactive soumis à des températures élevées». Mémoire master matériaux en génie civil. Univ Biskra.
- [28]- ARAB.A et RAFAI.H (2017), «Elaboration et étude des caractéristiques physico-mécaniques des Bétons fibrés à ultra hautes performances avec ajouts de pouzzolane naturelle et de fumées de silice». Mémoire master contrôle qualité des matériaux en génie des matériaux.Univ Boumerdas.
- [29]- ABDELMADJID.B (2021), «étude du comportement mécanique d’un béton à base de fibres métallique». Mémoire master structure en génie civil .Univ Tizi Ouzou.
- [30]- GHERAIBIA.L (2020). « Etude des caractéristiques mécaniques du béton avec l’ajout des fibres ». Mémoire master structure en génie civil. Univ Tébessa.
- [31]- FERDJALIA et SOUFIM (2018), «Formulation et caractérisation expérimentale d’un béton autoplaçant fibré à base d’ajouts cimentaires locaux ». Mémoire master matériaux en génie civil. Univ Boumerdas
- [32]- CHENAFI.H et BOUROKBA.A (2021), «Influence de la géométrie des fibres métalliques sur le comportement mécanique des bétons à hautes performances». Mémoire master matériaux en génie civil. Univ Annaba
- [33] - EN 12390-3: Essais pour béton durci Partie 3 :Résistance à la compression des éprouvettes.
- [34] - EN 1097-3 : granulats, Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 3 : Méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité inter granulaire.
- [35] - EN 1097-6 : granulats, Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats : Méthode pour la détermination de la masse volumique spécifique

[36] - NF EN 933-8 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats.
Equivalent de sable.

[37] -NF EN 933-9 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats.
Essai au bleu de méthylène.

[38] -NF EN 933-1 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats,
Analyse granulométrique par tamisage

[39] -NF EN 12620 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats,
module de finesse

[40] - NF EN 1097-1 : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des
granulats : Détermination de la résistance à l'usure (Micro-Deval).

[41] -NF EN 1097-2 : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des
granulats : Méthodes pour la détermination de la résistance à la fragmentation (Los Angles).

[42] - NF EN 933-3 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats –
Coefficient d'aplatissement".

[43] -NF EN 1097-3 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats
Partie 4 porosité intergranulaire.

[44] -NF EN 1097-3 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats
Partie 6 absorption intergranulaire.

[45] -NF EN 12350-6 : Essais pour béton frais : Partie 6 la masse volumique.

[46] -NF EN 12350-2 : Essais pour béton frais : Partie 2 essai d'affaissement.

[47] -NF EN 12390-3 : Essais pour béton durci : Partie 3 résistance à la compression des
éprouvettes.