



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET
POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ IBN KHALDOUN DE TIARET.

FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES

DÉPARTEMENT GÉNIE CIVIL

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Travaux Publics

Option : Voies et Ouvrages d'Art

Présenté par :

SENOUCI TAHAR ABDERRAHMANE

&

YOUCEFI ABDELHAK

Sujet du mémoire

Etude d'un mortier à base de fibres d'acier

Soutenu publiquement le 13 juin 2023 devant le jury composé de :

Président :	M. BOUAKKAZ KHALED	Prof.	UNIV. TIARET
Encadreur :	M. BELMAHI SAMIR	MCA	UNIV. TIARET
Examineur :	M. KHILOUN MOKHTAR	Prof.	UNIV. TIARET
Examineur :	M. CHEIKH ABDELBAKI	MCB	UNIV. TIARET

PROMOTION : 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Nous souhaitons adresser nos sincères remerciements en premier lieu à notre Créateur, qui nous guide sur le chemin de l'apprentissage. Nous avons des remerciements professionnels envers notre professeur et superviseur, M. Belmahi Samir, pour son encadrement, son soutien et ses critiques constructives qui ont rendu cette étude possible. Leur engagement scientifique a été inestimable.

Deuxièmement, nous tenons à exprimer notre gratitude envers les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en évaluant ce travail. Leurs commentaires et conseils seront d'une grande valeur pour nos futurs projets.

Enfin, nous avons des tenons à exprimer notre profonde reconnaissance envers tous les ingénieurs et techniciens des laboratoires du département Génie Civil pour leur précieuse assistance. C'est un vrai plaisir de collaborer avec eux.

Dédicace

Nous dédions ce travail à nos parents et chers frères, ainsi qu'à tous les membres précieux de notre famille, pour leur soutien continu et leurs encouragements constants. Nous remercions également notre frère Nabil Madrina et Sahrawi Mohamed, et nous souhaitons exprimer notre gratitude envers toute notre famille.

Nous tenons à remercier spécialement tous ceux qui ont partagé de bons moments avec nous et avec qui nous avons passé du temps ensemble, et nous aimerions exprimer notre reconnaissance envers toutes les personnes que nous avons rencontrées et connues. Nous souhaitons également remercier tous ceux qui ont consacré leur temps et leurs efforts à la science.

Enfin, nous aimerions exprimer notre profonde gratitude envers toutes les personnes qui utilisent la science et les connaissances pour le bien-être et le progrès de l'humanité.

Résumé

Cette étude vise à examiner l'effet de l'ajout de fibres d'acier sur les propriétés mécaniques des mortiers. Pour cela, des mortiers ont été fabriqués, on faisant varier le pourcentage des fibres d'acier de 0.4 à 3 % de la masse de ciment, en se basant sur la fiche technique des fibres d'acier. Les méthodes d'introduction des fibres dans le mortier ont été discutées et une comparaison des résultats de la résistance à la compression et à la traction avec le mortier témoin a été faite.

Les résultats ont montré que l'introduction de fibres d'acier dans un mortier donne des résultats de résistance à la compression et à la traction supérieurs à celle des mortiers témoins et que les meilleurs pourcentages sont compris entre 0.4 et 0.9 % de la masse de ciment.

En effet, une augmentation de la résistance à la compression allant de 15% à 73 % (jusqu'à 76 MPa) et une augmentation de la résistance à la traction allant du 12 à 68% (jusqu'à 10.65Mpa).

Les avantages et les inconvénients de chaque méthode ont été discutés tel que la méthode d'ajout de fibres lors du remplissage des moules (coffrage) s'est avérée être la plus efficace vis-à-vis de la résistance et l'homogénéité.

Mots clés : Mortier, fibres d'acier, résistance, compression, tension.

Abstract

This study aims to examine the effect of adding steel fibers on the mechanical properties of mortars. To do so, mortars were manufactured by varying the percentage of steel fibers from 0.4 to 3% of the cement mass, based on the steel fibbers' technical data sheet. The methods of introducing fibers into the mortar were discussed, and a comparison of the compressive and tensile strength results with the control mortar was made.

The results showed that the introduction of steel fibers in mortar yields higher compressive and tensile strength results compared to the control mortars, with the best percentages ranging from 0.4 to 0.9% of the cement mass. Specifically, there was an increase in compressive strength ranging from 15% to 73% (up to 76 MPa) and an increase in tensile strength ranging from 12% to 68% (up to 10.65 MPa).

The advantages and drawbacks of each method were discussed, and it was found that the method of adding fibers during the filling of the molds (formwork) proved to be the most effective in terms of strength and uniformity.

Key words: mortar, steel fiber, resistance, compression, strength

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى فحص تأثير إضافة الألياف الفولاذية على الخواص الميكانيكية للملاط. لهذا الغرض، تم تصنيع الملاط، مع تغيير النسب المئوية للألياف الفولاذية من 0.4 إلى 3% من كتلة الأسمنت، بناءً على ورقة البيانات التقنية للألياف الفولاذية، تمت مناقشة طرق إدخال الألياف إلى الملاط وتم إجراء مقارنة بين نتائج مقاومة الانضغاط وقوة الشد مع ملاط العادي،

أظهرت النتائج أن إدخال الألياف الفولاذية في الملاط يعطي نتائج مقاومة للضغط و الشد أعلى من تلك الموجودة في ملاط العادي وأن أفضل النسب تتراوح بين 0.4 و 0.9% من كتلة الأسمنت، حيث تتراوح الزيادة في مقاومة الانضغاط من 15% إلى 73% (حتى 76 ميغا باسكال) وزيادة في مقاومة الشد تتراوح من 12 إلى 68% (حتى 10.65 ميغا باسكال).

تمت مناقشة مزايا وسلسلة كل طريقة في وضع الألياف بحيث أثبتت طريقة إضافة الألياف عند ملء القوالب أنها الأكثر فعالية فيما يتعلق بالمقاومة والتجانس الشد الضغط.

الكلمات المفتاحية: الملاط، الألياف الفولاذية، المقاومة، الشد، الضغط.

SOMMAIRE

Remerciement

Dédicace

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction général.....1

CHAPITRE 01 : GENERALITÉ SUR LES FIBRES

1.1 introduction.....	2
1.2 historique des bétons de fibres.....	2
1.3 types de fibres.....	3
1.3.1 les fibres végétales.....	3
1.3.1.1 types de fibres végétales.....	3
1.3.1.2 les fibres de feuilles.....	4
1.3.1.3 les fibres de tiges.....	5
1.3.1.4 les fibres de bois.....	5
1.3.1.5 les fibres d'amiante.....	5
1.3.2 fibres minérales.....	6
1.3.2.1 fibres de verre.....	7
1.3.3 fibres synthétiques.....	8
1.3.4 fibre organique.....	8
1.3.4.1 fibre de carbone.....	8
1.3.4.2 fibre polypropylène.....	10
1.3.5 fibres métalliques.....	11
1.3.5.1 les fibres d'acier.....	13
1.3.5.2 les fibres euro-steele.....	14
1.3.5.3 les fibres bekaert de chez dra mix.....	15

SOMMAIRE

1.3.5.4 les fibres harex.....	16
1 .3.5.5 les fibres ruban e n fonte amorphe de pont-à-mousson.....	16
1.3.5.6 les fibres à tête d’encrage e n acier trfile.....	17
1 .3.5.7 les fibres de beki –shield.....	17
1.4 conclusion.....	18

CHAPITRE0 2 : MATÉRIAUX UTILISÉS

2.1 introduction.....	19
2.2 matériaux.....	19
2.2.1 le ciment.....	19
2.2.2 le sable.....	20
2.2.2.1 essai d’analyse granulometrique.....	21
2.2.2.2 masse volumique du sable.....	23
2.2.2.3 essai d’équivalent de sable.....	24
2.2.3 adjuvant.....	25
2.2.3.1 dosage.....	26
2.2.4 eau de gachage.....	27
2.2.5 fibres d’acier.....	27
2.2.5.1 caracteristiques.....	27
2.2.5.2 domaines d’application.....	28
2.2.5.3 caracteristiques techniques.....	29
2.3 Conclusion.....	29

CHAPITRE03: CONFECTION DES MORTIERS À BASE DE FIBRES D’ACIER

3.1 introduction.....	31
-----------------------	----

SOMMAIRE

3.2 formulation des mortiers	31
3.3 programme expérimental	32
3.3.1 confection des mortiers et programme expérimental	32
3.4 préparation des mortiers et conservation	35
3.5 préparation des éprouvettes :	35
3.6 conservation des éprouvettes	38
3.7 caractéristiques mécaniques des éprouvettes	39
3.7.1 résistance à la traction par flexion	39
3.7.2 résistance à la compression.....	40
3.8 conclusion	41

CHAPITRE 04 : RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

4.1 introduction	42
4.2 résultats	42
4.2.1 le mortier témoin	42
4.2.2 mortiers à base de fibres d'acier.....	44
4.3 conclusion	52

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre 01 :

Tableau 1-1: Caractéristiques mécaniques des fibres d'amiante [3]	6
Tableau 1-2 : Propriétés mécaniques des fibres de carbone [6].....	10

Chapitre 02 :

Tableau 2.1 : Caractéristiques techniques de ciment « AWTED »	20
Tableau2.2 : Résultats de l'analyse granulométrique du « sable »	21
Tableau 2.3 : Résultats des masses volumiques.....	24
Tableau 2. 4 : Résultats d'Essai d'équivalent de sable.....	24
Tableau 2.5 : Caractéristiques.....	26
Tableau2.6 : Composition de l'eau de gâchage (mg/l).....	27

Chapitre 03 :

Tableau 3.1 : compositions des mortiers.....	32
Tableau 3.2 : compositions des mortiers (fibres dans le malaxeur).....	33
Tableau 3.3 : compositions des mortiers (fibres dans les moules).....	34
Tableau 3.4 : La troisième étape.....	34

Chapitre 04 :

Tableaux 4.1 Résultat du mortier témoin.	42
Tableaux 4.2 Résultat méthode 01.....	44
Tableaux 4.3 Résultat méthode 02.....	46
Tableaux 4.4. Résultat méthode 03.....	47

LISTE DES FIGURES

Chapitre 01

Figure 1.1 : Classification des fibres végétales en fonction de leurs origines	4
Figure 1.2 Les Fibres de Feuilles	4
Figure 1.3 : Fibre minérales	6
Figure 1.4 : Fibre de verre	7
Figure 1.5 : Fibre carbone	9
Figure1.6: Fibre polypropylène	11
.Figure1.7: Différentes formes de fibres métalliques	12
Figure1.8 : Géométrie des fibres métalliques	12
Figure 1.9 : fibres d'acier.....	13
Figure1.10 : Les Fibres Euro-Steele.....	15
Figure1.11: Les Fibres Bekaert de Chez Dra mix	15
Figure1.12 : Les Fibres Harex.....	16
Figure1.13 : Les Fibres de Beki –Shield	17

Chapitre02

Figure 2.1 : Le sac de ciment « AWTED »	19
Figure 2.2 : sable d'el Galta Laghouat.....	20
Figure 2.3 : Tamiseuse électrique.....	22
Figure 2.4 : Courbe d'analyse granulométrique	22
Figure 2.5 : Masse volumique. Apparente.....	23
Figure 2.6 : Masse volumique Absolue.....	23
Figure 2.7 : Matériel de l'essai d'équivalent de sable.....	25
Figure 2.8 : MEDAFLOW 145.....	26
Figure 2.9 : Fibres D'acier.....	28

Chapitre03

Figure 3. 1. Fabrication des Mortiers.....	31
Figure3.2: fibres d'acier divisé en deux morceaux.....	33
Figure 3.3 : Préparation des mortiers.....	35

LISTE DES FIGURES

Figure 3.4 : éprouvette.....	36
Figure3.5: Couvrir les côtés intérieurs avec de l'huile de démoulage.....	36
Figure3.6 : La première étape de remplissage du moule.....	37
Figure3.7 : la table vibrante.....	38
Figure3.8 : l'eau à 20°C.....	38
Figure 3.9 : L'essai de flexion.....	39
Figure 3.10 : Matériel pour essai de compression.....	40
Figure 3.11 : résultats de compression.....	41

Chaapitre04

Figure 4.1 : prismes de mortier bien remplis.....	43
Figure 4.2 : Mauvais remplissage des moules.....	43
Figure 4.3 : Résistance à la compression (méthode 01).....	45
Figure 4.4 : Résistance à la traction (méthode 01).....	45
Figure 4.5 : Résistance à la compression (méthode 02).....	46
Figure 4.6 : Résistance à la traction (méthode 02).....	47
Figure 4.7 : Résistance à la compression (méthode 03).....	48
Figure 4.8 : Résistance à la traction (méthode 03).....	48
Figure 4.9 : Rupture d'un Mortier témoin.....	50
Figure 4.10 : Rupture d'un Mortier renforcé.....	51

Introduction Générale

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les mortiers sont généralement composés d'un liant (ciment ou chaux), d'un agrégat (sable) ; d'une eau et d'un adjuvant. Les proportions de ces ingrédients peuvent être variées selon l'application et les exigences de la structure. Ils sont utilisés pour coller un ensemble des éléments de construction tels que des briques, des pierres, des blocs de béton ou des carreaux, remplir les joints et pour lisser les surfaces ou pour créer des formes complexes.

Aujourd'hui, les mortiers sont devenus complexes en introduisant des nouveaux matériaux tels que des ajouts ou des fibres afin de donner une meilleure qualité et empêcher ou remédier des problèmes liés à la résistance, la stabilité et la durabilité.

L'une des innovations récentes dans ce domaine est l'utilisation de fibres d'acier pour renforcer la matrice d'un mortier ou d'un béton, améliorer sa résistance mécanique, sa durabilité et réduire les risques de fissures ou de déformations.

Ce mémoire se concentre sur l'étude d'un mortier à base de fibres d'acier afin de proposer une solution innovante et durable pour renforcer les structures en béton. Il est structuré en quatre chapitres rédigés comme suit

Chapitre 01 : Généralité sur les fibres

Chapitre 2 : Matériaux utilisés

Chapitre 3 : confection des mortiers à base de fibres d'acier

Chapitre 4 : résultats et interprétation.

Ce travail se termine par une conclusion générale et des perspectives pour des futurs travaux.

Chapitre 01

1.1 Introduction

Les fibres se rapportent à un corps solide flexible, de forme sensiblement cylindrique, d'un diamètre de quelques millimètres dont la longueur égale à dix fois, voir plus de ce diamètre. Ce terme est généralement aussi utilisé pour définir le constituant élémentaire des structures textiles.

Aujourd'hui, le béton fibré est une nouvelle approche dans le domaine des matériaux composites et son champ d'application est très large. Les fibres jouent un rôle de renforcement qui compense la fragilité du béton par couture de la microfissuration et de la macro fissuration. le renforcement du béton avec des fibres constitue un bon moyen pour leur conférer une meilleure ductilité , réduit le retrait et s'oppose bien à l'apparition des fissures en les limitant au maximum. Dans ce chapitre, nous présentons l'intérêt des fibres dans la fabrication du béton, ainsi qu'une présentation des caractéristiques géométriques, mécaniques, avantages, inconvénients et domaines d'application des différents types de fibres existants.

1.2 Historique des bétons de fibres

Historiquement, il n'y a pas une confirmation quant est-ce le concept du béton par des fibres a été connu en premier lieu. Une analyse profonde de ce concept nous indique que cette idée est très ancienne et date depuis l'antiquité. C'est ainsi qu'au cours de l'histoire, la technologie des matériaux a été jalonnée par l'apparition de composite de texture de plus en plus complexe.

Les égyptiens ont utilisé la paille pour renforcer les briques de boue. Il y a aussi une certitude que les fibres d'amiante ont été utilisées dans le renforcement des poteries en argile, en Finlande, il y'a de cela 5000 années. D'autres sources ont indiqué que la paille a été utilisée pour renforcer les briques chez les anciens, tandis que les poils d'animaux et les fibres d'amiantes ont été introduits pour renforcer le plâtre et la pâte du ciment portland. On peut noter aussi la réalisation au milieu du XX è siècle, d'alliages métalliques avec les fibres de carbone [1].

Cette réalité a été confirmée par M. Braun avec d'autres chercheurs qui ont rapporté que la première matière renforcée par des fibres a été fabriquée par l'homme en introduisant la paille et d'autres produits semblables dans des matériaux de construction tel que le

mortier, le plâtre etc. . Le professeur Alberto Fava de l'université de Planta en Argentine a écrit que l'hornero qui est un petit oiseau vivant en Argentine,

Au Chili et en Bolivie, avait construit avec soin son nid en utilisant bien l'argile renforcée par de la paille depuis des siècles bien avant l'homme [1].

À la fin du 19^{ème} siècle, les matériaux fibreux ont commencé à devenir courants et plusieurs domaines ont commencé à exploiter ce nouveau matériau [1].

1.3 Types de fibres

Nous citons ci-dessous les différents types de fibres existants :

1.3.1 Les fibres végétales

L'industrie des matériaux composites ne cesse d'évoluer en mettant en place de nouveaux matériaux et de nouvelles technologies. La substitution des matériaux d'origine fossile par des matériaux d'origine naturelles (et surtout végétales) commencent à voir le jour.. (Ringuette 2011) mentionne que les fibres naturelles ont sans aucun doute été les premières à être utilisées par l'homme. Leurs impacts environnementaux sont beaucoup moindres que les fibres artificielles.

Ces fibres sont biodégradables et renouvelables. De plus, il est important de valoriser une ressource locale dans certains pays. Ces fibres naturelles peuvent également permettre d'atteindre des propriétés mécaniques intéressantes, tout en réduisant de façon significative le coût des composites [2].

1.3.1.1 Types de fibres végétales

Les fibres végétales peuvent être issues de différentes parties de la plante : des graines (poils séminaux), de la tige ou du tronc (fibres libériennes), des fruits (enveloppe) ou des feuilles. Le bois est un cas particulier (composition, structure, etc.) qui doit être traité séparément.

La figure 1.1 donne une classification des fibres végétales en fonction de leurs origines:

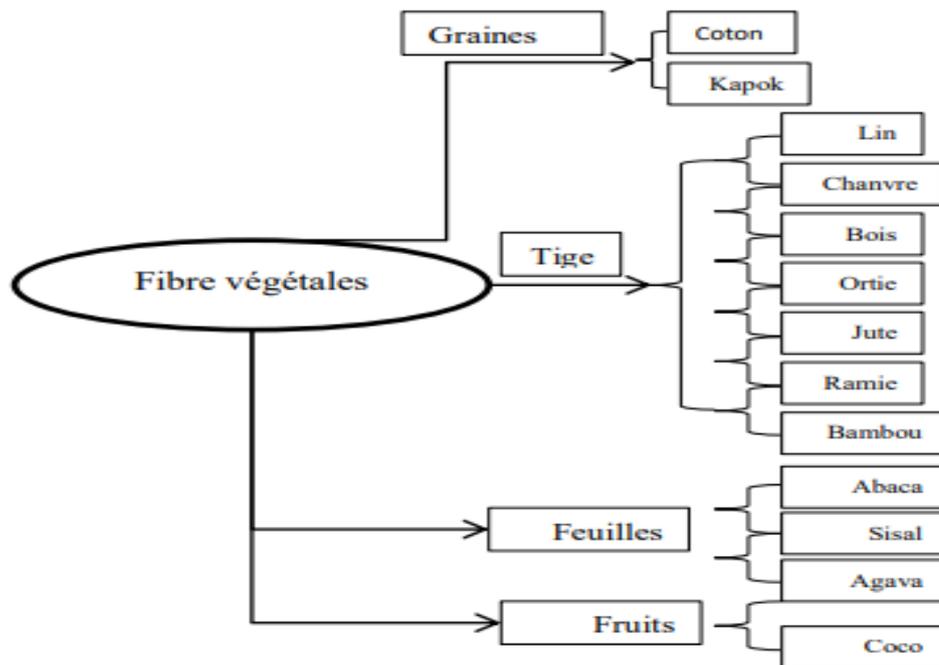


Figure 1.1 : Classification des fibres végétales en fonction de leurs origines [2].

1.3.1.2 Les Fibres de Feuilles

Ces fibres sont obtenues grâce au rejet des plantes monocotylédones. Les fibres sont fabriquées par chevauchement de paquet qui entoure le long des feuilles pour les renforcer ces fibres sont dures et rigides.



Figure 1.2 : Les Fibres de Feuilles [17].

Les types de fibres de feuilles les plus cultivées sont la fibre de sisal, de Henequen et d'abaca

De ces fait, plusieurs chercheurs tel que : NILSSON, AYYAR et al ont montré l'efficacité du renforcement du ciment par les fibres de feuilles [3].

1.3.1.3 Les Fibres de Tiges

Les fibres de tige sont obtenues dans les tiges des plantes dicotylédones. Elles ont pour rôle de donner une bonne rigidité aux tiges de plantes.

Les fibres de tige sont commercialisées sous forme de paquet de cor et en toute longueur. Elles sont par la suite séparées individuellement par un processus de défilage. Les fibres, une fois séparées, sont utilisées dans la fabrication des cordes ou de textile ou bien dans le renforcement du ciment et béton.

Les fibres de tige les plus utilisées sont les fibres de jute, de lin, de ramie de sunn, de kennaf, de urena et de chanvre.

les fibres de tige, les plus utilisées dans le renforcement du ciment, sont celles de sunn, de chanvre et de jute [3].

1.3.1.4 Les Fibres de Bois

Les fibres de bois proviennent du broyage des arbres tels que les bambous ou les roseaux. Elles sont généralement courtes. Plusieurs chercheurs ont montré l'efficacité de ces fibres dans le renforcement des ciments [3].

1.3.1.5 Les Fibres d'Amiante

Les fibres d'amiante sont constituées de silicates de magnésium hydratés parfaitement compatible avec la pâte de ciment, elles possèdent une bonne résistance à la traction et un module d'élasticité élevé. Ce sont des fibres très commercialisées. Les fibres d'amiante ne conviennent pas pour armer les mortiers ou les bétons car leur répartition est très difficile et elles nécessitent beaucoup d'eau de gâchage. En plus, leur utilisation

dans le renforcement des ciments est de plus en plus délaissée et même interdite par le règlement dans beaucoup d'applications à cause du danger qu'elle représente pour la santé humaine.

Le tableau 1-1 présente les propriétés mécaniques des fibres d'amiante [3].

Tableau 1-1: Caractéristiques mécaniques des fibres d'amiante [3].

Type de Fibre	Amiante
Diamètre D (mm)	0.0002 - 0.002
Longueur (mm)	5
Mass volumique (g/cm ³)	2.6 – 3
Resistance a la rupture s_{fu} (MPA)	100 – 300
Module d'Young E (Gpa)	80 – 150

1.3.2 Fibres minérales

Elles regroupent plusieurs sortes de fibres (amiante, alumine...etc.) et sont utilisées en grande quantité dans plusieurs applications traditionnelles. Les fibres d'amiante autrefois utilisées pour l'isolation et l'ignifugée, se sont aujourd'hui révélées cancérogènes [1].



Figure 1.3 : Fibres minérales [1].

1.3.2.1 Fibres de verre

Ces fibres sont fabriquées à partir de verre fondu qui passe dans une filière, chauffé par effet Joule, qui comporte 50 à 800 tours d'un diamètre de l'ordre de 10 à 100µm. Elles sont disponibles dans le commerce sous forme de bobines (découpage à la demande) ou sous

forme de morceaux prédécoupés de 3, 6, 12 et 50 mm de long. Ils sont regroupés en trois types : les fibres de verre classique (silice, soude, chaux), la fibre de verre au zirconium et la fibre au borosilicate [4].

La résistance à la traction de ces fibres atteint 3000 MPa pour. Il faut également souligner leur excellente résistance au feu (jusqu'à 800 C) ce critère ajouté a un coefficient de dilatation du même ordre que celui de la pâte de ciment confère aux bétons de fibres de verre une bonne résistance au feu [5].



Figure 1.4: Fibre de verre [10].

1.3.3 Fibres synthétiques

Cette famille regroupe plusieurs types de fibres comme (nylon, polypropylène, polyester ...etc.). Elles sont apparues à la fin du XIXème siècle sous le nom de rayonne. Elles sont dérivées de la cellulose naturelle. Aujourd'hui, la plupart des fibres synthétiques proviennent des produits dérivés du pétrole et de polymères géants dont la structure ressemble à celle des matières plastiques.

La première fibre plastique commercialisée avec succès, le Nylon, daté de 1938. Depuis, de nombreux synthétiques, dont les fibres acrylique, l'aramide, l'oléfine et le polystyrène sont apparus. Ces fibres ont également été étudiées à des fins industrielles très précises, telles que la fabrication des matériaux d'isolation, t'issus pare-balle, les fuselages et ailes d'avion [6].

1.3.4 Fibre organique

Les fibres organiques, quant à elles, améliorent le comportement du béton au jeune âge. Le treillis anti-fissuration devient inutile, le béton est plus homogène et les retraits de dessiccation pendant la phase de prise sont limités.

Les fibres sont intégrées dans le béton afin de l'améliorer. Mais il est bon de savoir que ces fibres lui confèrent également d'autres caractéristiques qu'on ne retrouve pas chez les autres bétons.

Les fibres de polymères sont d'origine plastique, on distingue trois familles principales de ces fibres à savoir : Le polyamide, Le polychlorure de vinyle (PVC), Le polypropylène (PP) [7].

1.3.4.1 Fibre de carbone

Un béton armé dans lequel un treillis en fibres de carbone remplace l'armature d'acier, traditionnellement utilisée a été mis au point dans le cadre du projet C3 (carbone concrète composite). Le dispositif a reçu le Prix allemand de l'avenir le 30 novembre 2016, relaie le Portail pour la Science de l'Ambassade de France en Allemagne. Le carbone béton est un béton armé dans lequel l'armature d'acier est remplacée par des fibres de carbone

Un béton armé dans lequel un treillis en fibres de carbone remplace l'armature d'acier, traditionnellement utilisée a été mis au point dans le cadre du projet C3 (carbone concrète composite).

Le dispositif a reçu le Prix allemand de l'avenir le 30 novembre 2016, relaie le Portail pour la Science de l'Ambassade de France en Allemagne. Le carbone béton est un béton armé dans lequel l'armature d'acier est remplacée par des fibres de carbone



Figure 1.5 : fibres de carbone [11].

Extrêmement solides. Les armatures en fibres de carbone sont produites par un procédé textile jusqu'à cinquante mille fibres de carbone sont combinées pour former un fil.

Les fils sont, à leur tour, transformés dans une machine textile et pourvus d'un revêtement de stabilisation. Les fibres peuvent être orientées de telle sorte qu'elles fournissent les meilleurs Résultats dans le béton.

Les fibres de carbone ainsi produites sont plus légères que l'acier tout en offrant plus de résistance à la charge. En outre, elles ne souffrent pas de la corrosion. Ces différents avantages permettent de réduire significativement l'épaisseur des parois. Les fibres de carbone étant flexibles, les constructions peuvent aussi bien suivre des lignes courbes que droites et donc aussi permettre des innovations architecturales. 160 millions de tonnes d'acier

sont destinées à être incorporées dans du béton armé dans le monde. La diffusion du Carbone béton à large échelle permettrait de réduire la quantité de ciment et d'acier nécessaire, dont la production est fortement émettrice de CO₂. Les premiers essais réalisés avec ce nouveau type de béton montrent que le procédé pourrait remplacer le béton armé traditionnel dans tous les types de construction, selon le site dédié au matériau. La construction d'un bâtiment prototype – le « Cube » - destiné à abriter des bureaux, et entièrement construit de la sorte, commencera en 2017 [8].

Tableau 1.2 : Propriétés mécaniques des fibres de carbone [6].

Type de carbone	H.R.	H.M
Diamètre D (mm)	8	8
Mass volumique (g/cm ³)	1.75	1.81
Resistance a la rupture s_{fu} (MPA)	3000.5000	2800
Module d'Young E (Gpa)	220	4000

1.3.4.2 Fibre polypropylène

Les fibres de polypropylène sont spécialement conçues afin d'être utilisées dans les cas où des fissures sont créées en raison du retrait ou des déformations plastiques, par exemple en cas de grandes dalles de béton, des éléments préfabriqués en béton, des planchers chauffants, etc. Ils sont utilisés là où la cohésion des chapes ou du béton est nécessaire lors de la mise en place, par exemple en cas de dalles inclinées, etc. Les fibres de polypropylène sont également utilisées dans des applications de béton projeté (gunite) afin d'augmenter le compactage et la densité du béton projeté.

Matériel: polypropylène modifié

Couleur: blanc

Diamètre: 25 (±10%) µm

Longueur: 12 (±10%) mm

Densité: 0,91 g/cm³

Point de fusion: 160-170°C

Point d'ignition: 570°C

Nombre de fibres par kg: 120×10⁶

Module d'élasticité: 1,6 GPa

Résistance à la traction: 400 (±10%) N/mm²

Allongement à la traction: 25 (±10%) [9].

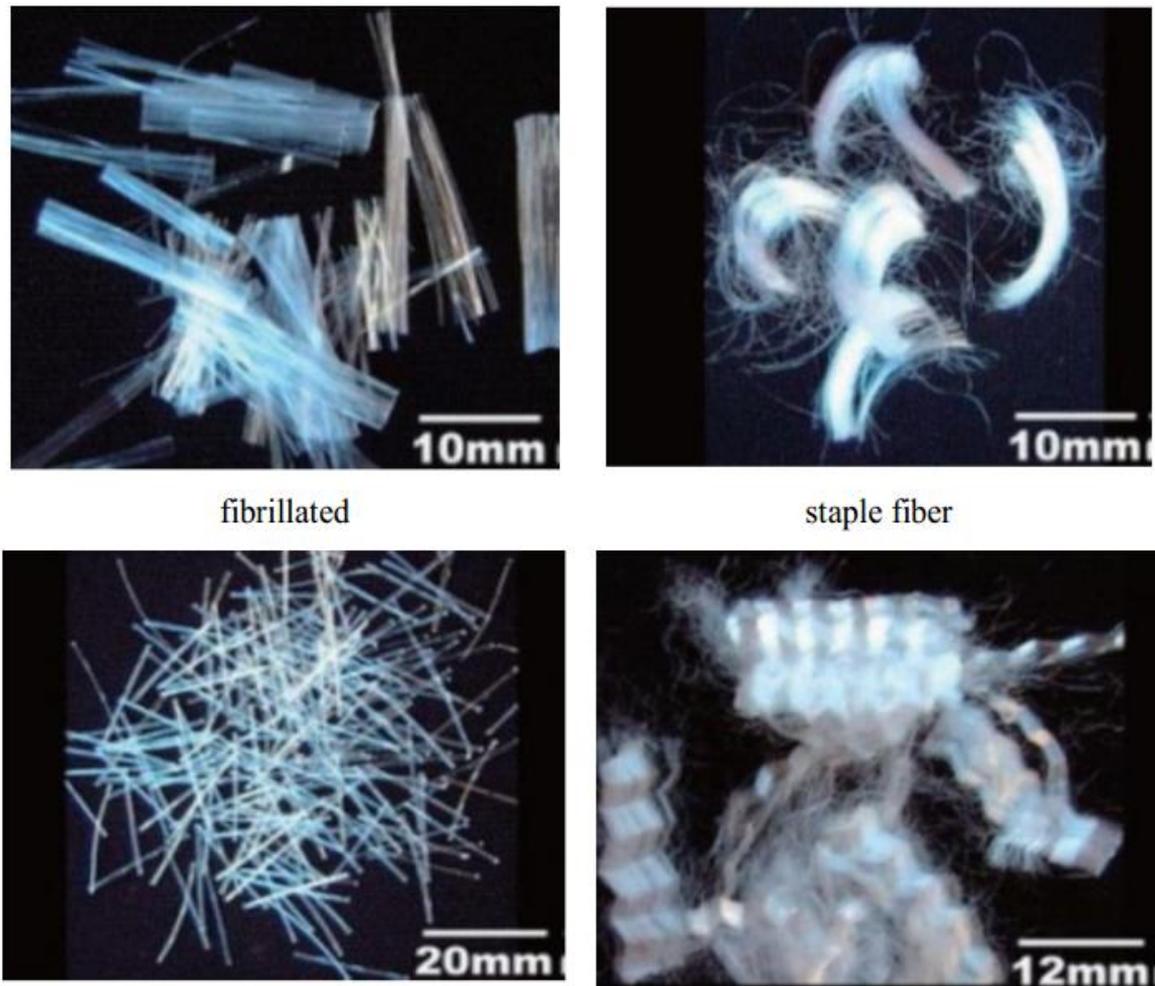


Figure1.6 : fibres polypropylène [12].

1.3.5 Fibres métalliques

Ce type de fibres qui regroupe les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe a été et reste encore l'objet de recherches très importantes dans le monde. On se limite aux fibres d'acier qui sont sans doute les plus utilisées dans le domaine du génie civil. En effet, les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion inter faciale entre fibre et matrice.

Les fabricants des fibres d'acier ont essayé par tous les moyens d'améliorer l'adhérence en jouant sur l'irrégularité de la surface de la fibre, ce qui les conduit aux nombreuses variétés de fibres qui se différencient les unes des autres par leur diamètre, leur section (ronde, carrée, rectangulaire), leur longueur et leurs modes d'opération. Les diamètres des fibres d'acier varient généralement entre 0.1 et 0.7 mm, avec des longueurs de 10 à 70 mm.



Figure1.7 : Différentes formes de fibres métalliques [6].

<u>Bouts ondulés</u> 	<u>Bouts plats</u> 	<u>Bouts en crochets</u>
<u>Crêpé</u> 	<u>Tôle ondulée déformée</u> 	<u>Tôle ondulée déformée</u>
<u>Tôle ondulée déformée</u> 	<u>Amorphe</u> 	<u>Autre machinage</u>

Figure1.8 : Géométrie des fibres métalliques [6].

Les fibres métalliques utilisées en dallage industriel sont le plus souvent des fibres tréfilées comportant généralement des fils de 1 mm de diamètre. Les différentes fibres existantes se différencient les unes des autres par le type d'ancrage actif dans la matrice du béton. Il existe des fibres fabriquées avec un ancrage dit déformable, par exemple des fibres à crochets telles que celles commercialisées par la société Bekaert sous la marque "Dra mix" ou des fibres ondulées telles que celles commercialisées par la société Trefil Arbed. Cette société fabrique également une fibre commercialisée sous la marque "Twin-set" qui possède un cône indéformable à chacune de ses extrémités.

Ce type d'ancrage est beaucoup plus rigide que l'ancrage obtenu par des crochets ou des ondulations [6].

1.3.5.1 Les fibres d'acier

Les fibres d'acier sont les plus utilisées. Aujourd'hui Elles ont fait l'objet de plusieurs recherches. A l'origine, ces fibres rectilignes et de section circulaire (d'un type analogue à celle servant à armer les pneumatiques) ont évolués vers les fibres d'acier en tôle cisailée. Il existe de nombreuses variétés de fibres qui se différencient les unes des autres par leur diamètre, leur section (ronde, carrée, rectangulaire.....), leur longueur et leur mode d'élaboration. Elles peuvent être rectilignes, ondulées, ou présenter des élargissements aux extrémités, soit coudées ou en crochets pour améliorer l'accrochage. Dans le même but, elles peuvent présenter des aspérités, des crans surfaces.



Figure 1.9 : fibres d'acier.

La dispersion des fibres d'acier dans le malaxeur s'opérant aisément et rapidement en évitant la formation d'oursin (ou boules de fibres), due au fait que les fibres ont naturellement tendance à s'agglomérer pendant le malaxage par suite des frottements réciproques, d'où la nécessité de prendre des précautions pour bien les répartir dans toute la masse du béton en évitant de la déverser d'un seul coup.

Les avantages de ce type de fibres sont :

- Ces fibres ne forment pas d'oursins et peuvent être introduites directement dans le malaxeur.
- S'individualisent lors du malaxage (la colle est soluble dans l'eau) se répartissent bien dans la masse et reprennent leur fort élan d'origine favorable aux résistances.
- Les fibres qui présentent des crochets aux extrémités ont une meilleure adhérence que les fibres droites. Leurs diamètres s'échelonnent de 0,4 à 0,8 mm et leurs longueurs de 25 à 60mm.
- L'augmentation des résistances en traction et en flexion et surtout la résistance à l'usure, aux chocs et à la fatigue.
- Réduire l'épaisseur des pièces, par exemple: l'épaisseur d'un dallage prévue à l'origine de 15cm pourra être réduite à 12 cm avec l'ajout de fibres (30 à 50 kg/m³) et les joints seront plus espacés (jusqu'à 100 m² sans joint).

Leurs applications sont très nombreuses ; les principales sont les suivantes :

1. Sols industriels et sol de parkings.
2. Éléments de toiture en béton cellulaire.
3. Tabliers de pont.
4. Tuyaux en béton.
5. Réservoirs sous pression
6. Structures résistantes aux explosions
7. Revêtements de chaussée.
8. Produits réfractaires
9. Pistes d'atterrissage [1].

1.3.5.2 Les Fibres Euro-Steele

Ce sont des fibres ondulées en acier à haute résistance, tréfilé, dur, à teneur en carbone inférieur à 0.15%. La contrainte limite de rupture en traction est de 1400 MPa [10].

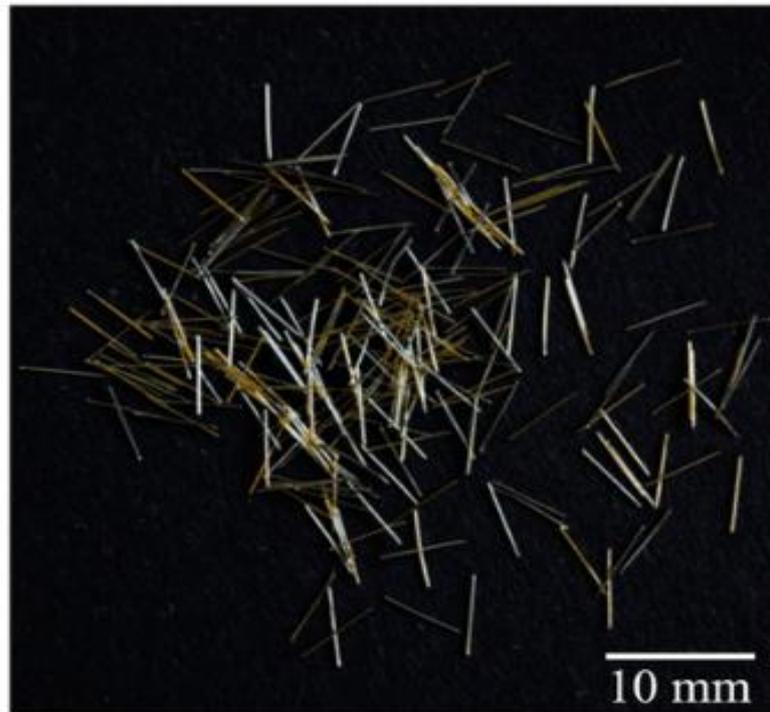


Figure1.10 : Les Fibres Euro-Steel [13].

1.3.5.3 Les Fibres Bekaert de Chez Dramix

Ces fibres en acier tréfilé sont fabriquées par Bekaert. Elles se présentent sous forme de plaquettes collées, ce qui facilite leur introduction dans le béton et évitent la formation d'oursins. En effet, la colle se dissout facilement dans l'eau de gâchage.

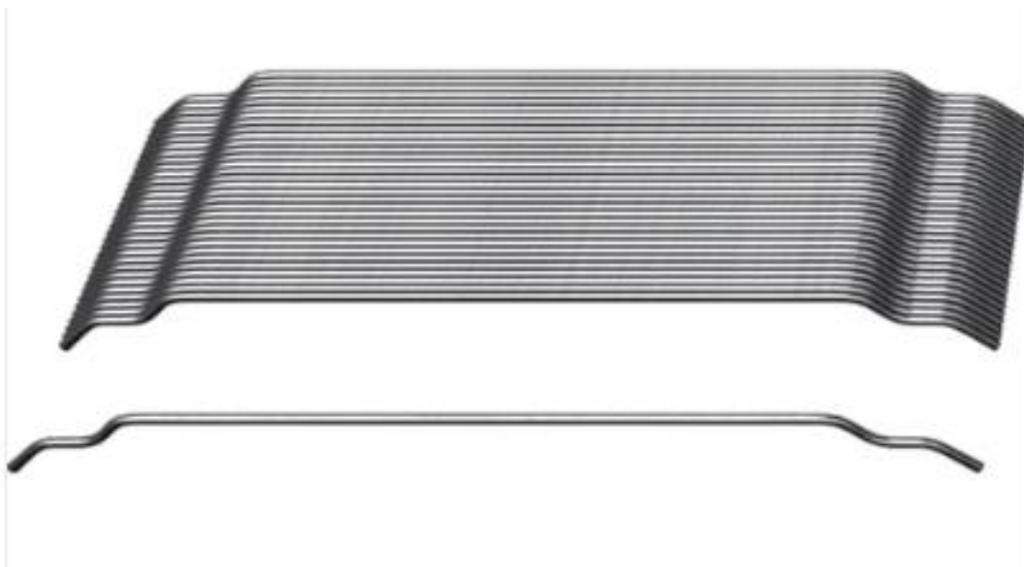


Figure1.11 : Les Fibres Bekaert de Chez Dra mix [14].

Les fibres les plus courtes sont actuellement utilisées en béton projeté. Elles ont une résistance à la traction minimale de 1100 MPa. Leur diamètre varie de 0.4 à 0.8 mm et leur longueur de 25 à 60 mm [10].

1.3.5.4 Les Fibres Harex

La fibre Harex est obtenue par fraisage. Les copeaux, produits légèrement enroulés sur eux mêmes, possèdent une résistance à la traction d'environ 700 MPa [10].



Figure 1.12 : Les Fibres Harex [15].

1.3.5.5 Les fibres Ruban en Fonte Amorphe de Pont-à-Mousson

AÏT AMEUR rapporte que ces fibres sont développées par SEVA (Pont-à-Mousson), sont des rubans de fonte amorphe obtenue par refroidissement brutal. Cette trempe crée une structure vitreuse qui est en partie à l'origine de sa résistance à la corrosion.

Les longueurs commercialisées de ces fibres sont de 15, 30, 45 et 60 mm. Une de leurs caractéristiques importantes est leur grande résistance à la corrosion. La résistance à la traction de ces rubans est d'environ 200 MPa [10].

1.3.5.6 Les Fibres à Tête d'encrage en Acier Trfile

Ces fibres sont développées par EURO-STEEL, elles se distinguent par leur capacité à développer très tôt un bon ancrage, donc à limiter la chute d'effort post-fissuration. L'angle d'inclinaison des têtes a été choisi pour permettre un confinement du béton [10].

1.3.5.7 Les Fibres de Beki –Shield

Ce sont des fibres métalliques spéciales, fabriquées et commercialisées sous le nom de Beki-Shield, présentent des caractéristiques intéressantes, elles sont très minces et moins abrasives, moins irritantes au toucher que les fibres de verre. Ces fibres sont fabriquées à partir d'un acier inoxydable qui offre de très grande résistance à la corrosion. D'autre part, DEBICKI résume sur le tableau 1-6 quelques propriétés de fibres industrielles. Il met en évidence la nature très variée de ces fibres [10].



Figure 1.13 : Les Fibres de Beki –Shield [16].

1.4 Conclusion

D'après ce chapitre on peut retirer les conclusions suivantes :

L'utilisation de fibres de toutes sortes dans plusieurs domaines de la construction est devenue plus pratique, la nature de la fibre utilisée est liée à ses applications et méthodes de mise en œuvre, le choix de la fibre dépend du rôle que vous souhaitez jouer. Un rôle structurel assez élevé est associé à une durabilité élevée. L'utilisation économique nécessite l'utilisation de fibres à haut module non modifiables disponibles sur le marché local à des prix acceptables. Actuellement, les types de fibres les plus largement utilisés dans le renforcement du béton sont les fibres d'acier.

Chapitre 02

2.1 Introduction

Dans ce chapitre nous présenterons les caractéristiques de différents matériaux utilisés pour confectionner les différents mortiers selon le programme expérimental.

2.2 Matériaux

Les matériaux utilisés sont définis ci-dessous :

2.2.1 Le ciment

Le ciment utilisé est un ciment composé CEM II /A-L de résistance 42.5, fabriqué à l'usine AMOUDA à « EL BAYDHA » C'est un ciment gris conforme à la norme algérienne NA 442 ainsi que la norme européenne EN 197-1.



Figure 2.1 : Le sac de ciment « AWTED »

Ce ciment convient parfaitement pour :

- Le coulage par temps chaud ainsi que le transport du béton prêt à l'emploi.
- Pour les fondations (béton de propreté et béton de semelle en milieux non agressifs).
- Pour les ouvrages en béton armé (Murs, Linteaux, Poteaux et dalle de compressions)

- Pour les dallages en béton, montage de mure et maçonnerie et scellements de carrelage (dalles, pierres et carrelage), chape (mortier de ciment).

Les caractéristiques techniques de ce ciment sont résumées dans le tableau 2.1 ci-dessou :

Tableau2.1 Caractéristiques techniques du ciment « AWTED »

Caractéristiques techniques	AWTAD
Analyse chimique	
S03	≤ 3,5 %
Chlorure	≤ 0,1 %
Expansion (mm)	≤ 10
Temps de prise à 20 C	
Début de prise (min)	> 60
Fin de prise (min)	> 240
Résistance à la compression	
2 jours (MPa)	> 10
28 jours (MPa)	> 42,5

2.2.2 Le sable

Le sable utilisé est un sable naturel, provenant de la carrière d'el Galta Laghouat, ses caractéristiques sont résumés dans (figure 2.2)



Figure 2.2 : sable d'el Galta Laghouat.

2.2.2.1 Essai d'analyse granulométrique

L'analyse granulométrique correspond à la détermination de la granularité, c'est-à-dire la détermination de la distribution dimensionnelle des grains (exprimé en pourcentage en masse) qui composent l'échantillon. Le résultat de cet essai est résumé dans le tableau 2.2.

Tableau.2.2 Résultats de l'analyse granulométrique du « sable ».

Ouverture des tamis (mm)	Masse des refus Mi (g)	Masse des refus cumules Mc (g)	Pourcentage des refus cumules $pr=(Mc/M)100$	Pourcentage des tamisâtes cumulent $pt= 100-pr$
6,3	0	0	0	0
5	0	0	0	0
4	0	0	0	0
3,15	0	0	0	0
2,5	14	14	0,706	99,29
2	27	41	2,06	97,94
1,6	19	60	3,02	96,98
1,25	34	94	4,74	95,26
1	23	117	5,90	94,10
0,8	69	186	9,38	90,62
0,63	60	246	12,41	87,59
0,5	90	336	16,96	83,04
0,315	1145	1481	74,76	25,24
0,2	196	1677	84,65	15,35
0,16	147	1822	92,07	7,93
0,125	86	1910	96,41	3,59
0,1	23	1933	97,57	2,43
0,080	25	1958	98,83	1,17
0,063	15	1973	99,59	0,41
Fond	08	1981	100	0



Figure 2.3 Tamiseuse électrique.

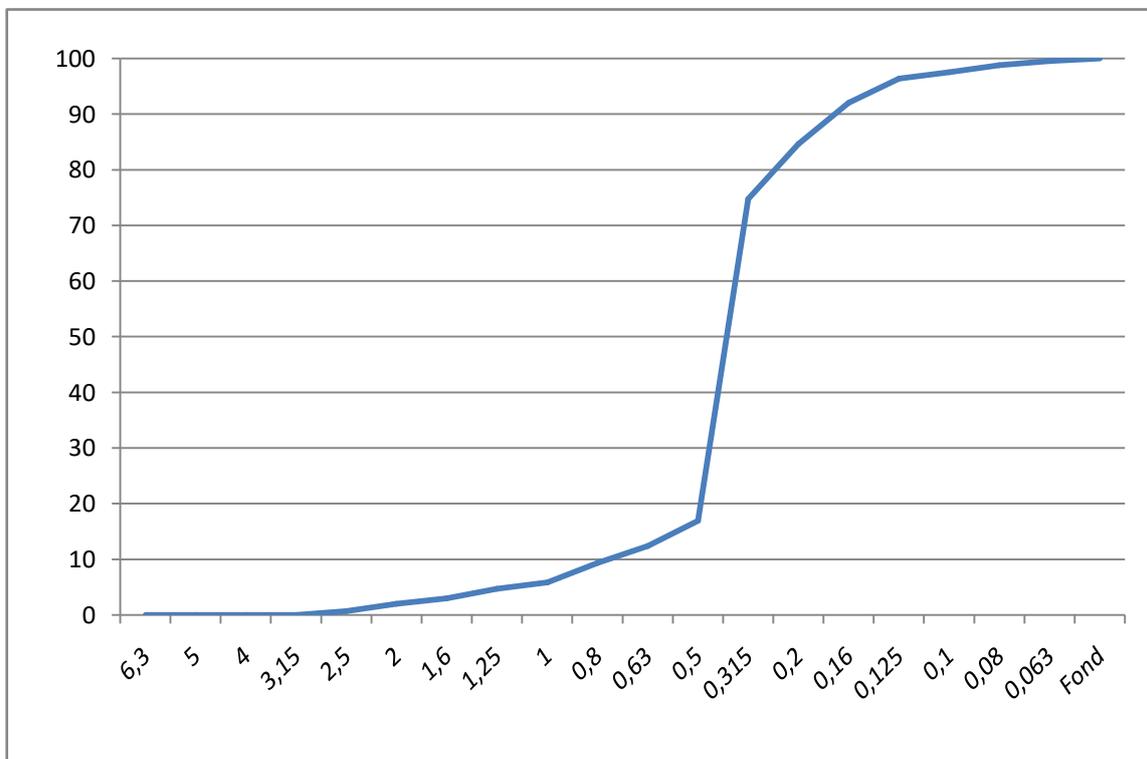


Figure 2.4 Courbe d'analyse granulométrique.

2.2.2.2 Masse volumique du sable



Figure 2.5 : Masse volumique. Apparente



Figure 2.6 : Masse volumique Absolue

Les résultats de la masse volumique sont représentés dans le tableau 2.3:

Tableau 2.3 : Résultats des masses volumiques.

Masse Volumique	Mesures	Essai1	Essai2
Absolue	Volume d'eau $V1$ (ml)	170	170
	Masse de l'échantillon $M1$ (g)	300	300
	Volume d'échantillon $V2$ (ml)	285	284
	Masse volumique absolu	2608	2631
	M/V_{aps} (kg/ m3)	2619	
Apparente	Masse de l'échantillon $M1$ (g)	1510	1500
	Volume d'échantillon V (litre)	01	01
	Masse volumique apparente	1510	1500
	M/V_{aps} (kg/m3)	1505	

2.2.2.3 Essai d'équivalent de sable

Le sable utilisé pour fabriquer du béton ou du mortier de ciment devrait être composé des grains de sable propres et exempts de poussière de boue. Cette expérience vise à évaluer la propriété du sable, qui peut être déterminée en mesurant le rapport les fines sont dans ce sable.

Tableau 2. 4 : Résultats d'Essai d'équivalent de sable

	Essai1	Essai 2	Essai 3
H1	10,90	12,5	11,7
H2	9,2	10,7	9,9
H3	8,6	8,7	8,7
ES visuel	84,40	85,6	84,62
ES au piston	78,90	69,60	74,35



Figure 2.7 : Matériel de l'essai d'équivalent de sable.

Le résultat montre que c'est un sable propre à faible proportion de fine argileuse convenant parfaitement pour les bétons de hautes qualités.

2.2.3 Adjuvant

L'emploi de l'adjuvant dans ce travail a pour but de minimiser la quantité d'eau pour avoir un rapport E/C faible ou moyen. Nous avons utilisé le MEDAFLOW 145. C'est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la nouvelle génération d'adjuvants. Il est conçu à base de poly carboxylates d'éther modifiés et son utilisation dans le béton permet l'obtention d'un long maintien d'ouvrabilité. Le MEDAFLOW 145 permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité. Le MEDAFLOW 145 ne présente pas d'effet retardateur

Grace à ses propriétés Le MEDAFLOW 145 permet :

- Sur béton frais
- L'obtention d'un rapport E/C.
- Béton plastiques à fluides.
- Une très bonne maniabilité.
- Un long maintien de l'ouvrabilité.
- De faciliter la mise en œuvre du béton



Figure 2.8 : MEDAFLOW 145

- Sur béton durci
- Bonne résistance initiale et finales.
- De diminuer la porosité.
- Bel aspect de parement au décoffrage.
- De diminuer le retrait.

Tableau 2.5: Caractéristiques

Forme	Liquide
Couleur	Brai clair
PH	1,065 ± 0,015
Teneur en chlore	1,17 ± 0,02
Extrait sec	30% ± 1,5%

2.2.3.1 Dosage

Plage de dosage recommandée :

0,3 à 2.0% du poids de ciment soit 0,33L à 1,8L pour 100 kg de ciment

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

2.2.4 Eau de gâchage

Dans cette étude l'eau utilisée pour les différents mélanges de mortier est issu directement de robinet, distribuée par le réseau du service public de la ville de Tiaret (Algérie). Les résultats de l'analyse chimique de cette eau ont été représentés dans le tableau 2.6. Elle répond aux prescriptions de la norme XP P 18-303 et NF EN 1008 (IDC P 18-211, 2003).

Tableau 2.6. Composition de l'eau de gâchage (mg/l).

Cl ⁻	NO ₃ ⁻	PH	ZN ⁺²	SO ₃ ⁻²
75	0	7	0	0

2.2.5 Fibres D'acier

Les fibres FIBERTEK A sont obtenues par étirage à froid de fil d'acier de haute résistance avec mise en forme spéciale pour obtenir le meilleur ancrage sur toute leur longueur. Les fibres FIBERTEK A sont destinées pour le renforcement structurel. Les caractéristiques du fil d'acier, à partir duquel les fibres FIBERTEK A sont formées, répondent aux normes de référence relatives au type d'utilisation et peuvent également être fournies dans le type galvanisé.

2.2.5.1 Caractéristiques

FIBERTEK A, réalisé en acier haute résistance, permet d'obtenir un béton et de mortier à haute résistance aux : - Chocs et vibrations. - Charges concentrées. La distribution uniforme des fibres dans le mélange rend l'utilisation du FIBERTEK A possible pour remplacer l'armature secondaire et le confinement de la propagation des fissures. Les fibres FIBERTEK A sont disponibles (sur demande) en différents diamètres et longueurs selon les exigences d'utilisation



Figure 2.9 : Fibres D'acier

2.2.5.2 DOMAINES D'APPLICATION

Les fibres FIBERTEK A sont utilisées pour réaliser une armure de renfort diffuse dans les structures en béton soumises aux sollicitations particulièrement élevées, les chocs, le trafic lourd, vibrations. En particulier, ils trouvent une utilisation dans : - Sols industriels, comme alternative au renforcement traditionnel avec maille électro-soudé. - Tabliers et aires de stationnement. - Joints bordures de la route. - Béton projeté (spritze béton) de tunnels, murs, pentes.

- Réparations structurelles.
- Revêtement des tuyaux de métal.
- Eléments préfabriqués.
- Déversoirs, évacuateurs de crues, barrages hydrauliques.
- Bunkers, voûtes, coffres-forts.
- Plaques de fondation.
- Renforcement d'effort au cisaillement dans des éléments précontraints.

2.2.5.3 CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES



Longueur (mm) :(L) $50 \pm 10 \%$

Diamètre fil (mm) :(de) $1 \pm 10 \%$

Rapport d'aspect :(L/de) 50

Format :à crochet

Section transversale :Circulaire

Tension à la rupture à la traction (N/mm^2): 1100-2700

Allongement à la rupture : < 4 %

2.3 Conclusion

L'étude nous a permis de nous familiariser avec les composants du mortier, et de choisir les composants appropriés pour nos expériences et d'obtenir les résultats souhaités. Après avoir connu les composants, nous passons directement au formage et à la fabrication des Moules à mortier.

Chapitre 03

CHAPITRE 03 : CONFECTION DES MORTIERS Á BASE DE FIBRES D'ACIER

3.1 Introduction

Le présent chapitre expose une introduction à la formulation et à la connaissance d'un programme de fabrication de mortier, avec un accent particulier sur les expériences mécaniques associées. Les expériences visent à évaluer les propriétés mécaniques du mortier, notamment la résistance à la compression, la résistance à la flexion et l'adhérence. La formulation est abordée à travers une approche basée sur la théorie des mélanges, où les propriétés des ingrédients individuels sont analysées pour optimiser les propriétés globales du mortier. Les résultats des expériences sont soumis à des méthodes statistiques pour évaluer leur précision et déterminer les relations entre les propriétés mécaniques et les ingrédients. Cette analyse approfondie fournit une base solide pour la formulation de programmes de fabrication de mortier à haute performance.

3.2 Formulation des mortiers

Les mortiers confectionnés sont de type 1/2 (la masse du sable est égale à deux fois la masse du ciment CEM II /A-L de résistance 42.5) mélangé avec de l'eau et un adjuvant. Les éprouvettes fabriquées sont des éprouvettes prismatiques de dimension (4x4x16) cm³.



Figure 3. 1. Fabrication des Mortiers.

CHAPITRE 03 : CONFECTION DES MORTIERS Á BASE DE FIBRES D'ACIER

3.3 Programme expérimental

3.3.1 Confection des mortiers et programme expérimental

Pour atteindre l'objectif visé par l'étude, nous avons confectionné en première étape un mortier de référence (sans additions) dont la quantité d'eau a été ajustée expérimentalement afin d'obtenir une consistance normale. Deuxièmement, nous avons introduit un adjuvant afin de réduire le rapport eau E/C, obtenir une bonne consistance et une meilleure résistance. Le tableau 3.1 résume les différents mortiers confectionnés pour cette étape.

Tableau 3.1 : compositions des mortiers

Type De mortiers	Ciment (g)	Sable (g)	Eau		L'adjuvant (% du ciment)	
			E/C	MI	%	G
1	675	1350	0,5	337,5	0	0
2	675	1350	0,4	270	0,6	4,05
3	675	1350	0,4	270	0,7	4,725
4	675	1350	0,4	270	0,8	5,40
5	675	1350	0,35	236,2	0,6	4,05
6	675	1350	0,35	236,2	0,7	4,725
7	675	1350	0,35	236,2	0,8	5,40

Après une série d'environ de 7 'échantillons et essais, le mortier numéro 6 nous a donné une bonne consistance avec une quantité d'eau bien réduite ($E/C = 0,35$) et une quantité d'adjuvant qui correspond bien à la fiche technique de ce dernier.

Par la suite nous avons introduire les fibres d'acier, pour cela trois méthodes ont été utilisées :

Dans la première méthode recommandée par la fiche technique, nous mettons les quantités des fibres mesurées directement dans le malaxeur (au moment de malaxage avec les autres ingrédients).

Dans la deuxième méthode proposé dans ce travail, nous ajoutons et étalons les fibres d'acier au moment de remplissage et de compactage des moules en deux couches dans la table à chocs.

CHAPITRE 03 : CONFECTION DES MORTIERS Á BASE DE FIBRES D'ACIER

Une troisième méthode a été proposée afin d'avoir une bonne répartition des fibres, tel que ces derniers ont été divisés en deux morceaux (figure 3.1) et ont été ajoutés dans le malaxeur avec les autres ingrédients.

Ce travail a été réalisé pour différents pourcentages massiques d'ajout de fibres d'acier selon les tableaux 3.2 et 3.3 et 3.4 ci-dessous.



Figure 3.2 fibres d'acier divisé en deux morceaux.

Tableau 3.2 : compositions des mortiers méthode 01 (fibres dans le malaxeur)

Type De mortiers	Ciment (g)	Sable (g)	Eau		L'adjuvant (% du ciment)		fibres d'acier	
			E/C	Ml	%	(g)	(g)	% Massiques
8	675	1350	0,35	236,2	0,7	4,725	2,5	0,4
9	675	1350	0,35	236,2	0,7	4,725	5	0,7
10	675	1350	0,35	236,2	0,7	4,725	7,5	1,1
11	675	1350	0,35	236,2	0,7	4,725	10	1,5
12	675	1350	0,35	236,2	0,7	4,725	12,5	1,9
13	675	1350	0,35	236,2	0,7	4,725	15	2,2
14	675	1350	0,35	236,2	0,7	4,725	17,5	2,6
15	675	1350	0,35	236,2	0,7	4,725	20	3,0

CHAPITRE 03 : CONFECTION DES MORTIERS Á BASE DE FIBRES D'ACIER

Tableau 3.3 : compositions des mortiers méthode 02 (fibres dans les moules)

Type De mortiers	Ciment (g)	Sable (g)	Eau		L'adjuvant (% du ciment)		fibres d'acier	
			E/C	MI	%	(g)	(g)	% massiques
16	675	1350	0,35	236,2	0,7	4,725	2,5	0,4
17	675	1350	0,35	236,2	0,7	4,725	5	0,7
18	675	1350	0,35	236,2	0,7	4,725	7,5	1,1
19	675	1350	0,35	236,2	0,7	4,725	10	1,5
20	675	1350	0,35	236,2	0,7	4,725	12,5	1,9
21	675	1350	0,35	236,2	0,7	4,725	15	2,2
22	675	1350	0,35	236,2	0,7	4,725	17,5	2,6
23	675	1350	0,35	236,2	0,7	4,725	20	3,0

Tableau 3.4 :: compositions des mortiers méthode 03 (fibres devises en deux)

Type De mortiers	Ciment (g)	Sable (g)	Eau		L'adjuvant (% du ciment)		fibres d'acier	
			E/C	MI	%	(g)	(g)	% massiques
24	675	1350	0,35	236,2	0,7	4,725	2,5	0,4
25	675	1350	0,35	236,2	0,7	4,725	5	0,7
26	675	1350	0,35	236,2	0,7	4,725	7,5	1,1
27	675	1350	0,35	236,2	0,7	4,725	10	1,5
28	675	1350	0,35	236,2	0,7	4,725	12,5	1,9
29	675	1350	0,35	236,2	0,7	4,725	15	2,2
30	675	1350	0,35	236,2	0,7	4,725	17,5	2,6
31	675	1350	0,35	236,2	0,7	4,725	20	3,0

CHAPITRE 03 : CONFECTION DES MORTIERS Á BASE DE FIBRES D'ACIER

3.4 Préparation des mortiers et conservation

- Nettoyage et séchage parfait des instruments (malaxeur)
- Introduire l'eau en premier dans la cuve du malaxeur.
- Ensuite le ciment ; aussitôt après, mettre le malaxeur en marche à vitesse lente.
- Après 30 s de malaxage introduire régulièrement le sable pendant les 30s suivantes.
- Mettre alors le malaxeur à sa vitesse rapide et continuer le malaxage pendant 30s supplémentaires.
- Arrêter le malaxeur enlevé au moyen d'une raclette tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu.
- Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 30 s.



Figure 3.3 Préparation des mortiers.

3.5 Préparation des éprouvettes

Les éprouvettes utilisées sont de forme prismatique de section carrée (40 x 40 x 160) mm, (figure 3.4).

CHAPITRE 03 : CONFECTION DES MORTIERS À BASE DE FIBRES D'ACIER



Figure 3.4 : moules prismatiques

La norme EN 196-1 décrit de manière détaillée le mode opératoire concernant cet essai :

- Enduire les faces latérales intérieures et le fond du moule d'une légère couche d'huile de décoffrage.

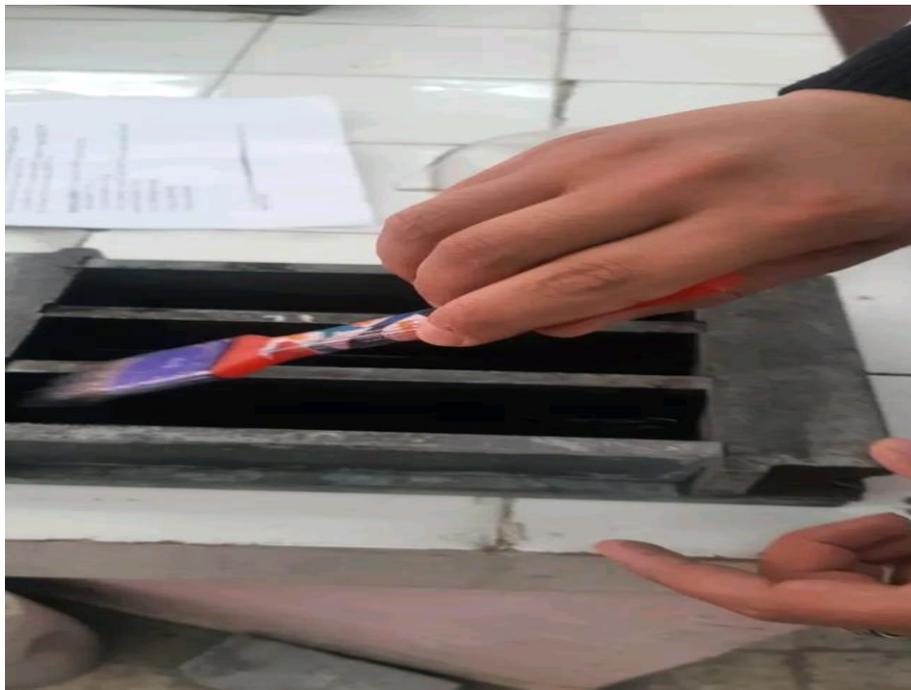


Figure3.5 Couvrir les côtés intérieurs avec de l'huile de démoulage.

CHAPITRE 03 : CONFECTION DES MORTIERS Á BASE DE FIBRES D'ACIER

- Fixer le moule et la hausse sur la table à vibrante ;
- Remplir le moule (4 x 4 x 16) (figure 3.6), le serrage du mortier dans ce moule est obtenu en introduisant le mortier en deux fois et en mettre la table a chocs en ;

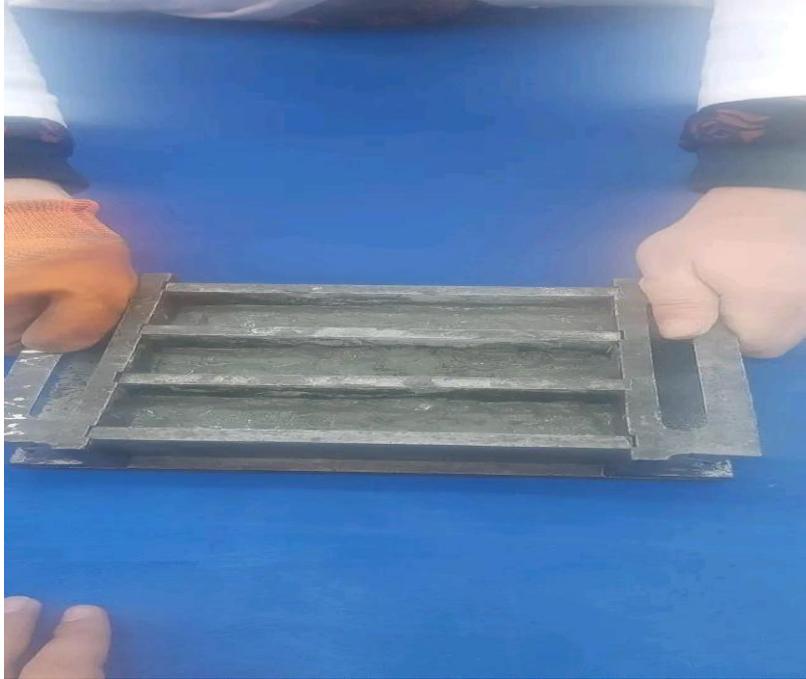


Figure3.6 : remplissage du moule par couches

- Arasé la surface du moule avec la règle plate à araser ;
- Etiqueter les moules (date/groupe...etc.) et couvrir la surface par une plaque de verre ;
- Après 24 heure ces éprouvettes sont démoulées et entreposées dans de l'eau à $20\text{ C}^{\circ} \pm 1\text{ C}^{\circ}$ jusqu'au moment de l'essai de rupture (noter les informations de l'étiquète sur les éprouvettes) ;
- Au jour prévu, les 3 éprouvettes sont rompues en flexion et en compression. Les normes ENV 197-1 et NFP 15-301 définissent les classes de résistance des ciments d'après leur résistance à 28 jours ;

CHAPITRE 03 : CONFECTION DES MORTIERS À BASE DE FIBRES D'ACIER



Figure 3.7 : table a chocs

3.6 Conservation des éprouvettes

- Laisser sécher le moule pendant 24 heures.
- Démouler ensuite les expériences avec précautions et marquer les expériences.
- Conserver le matériel dans l'eau à 20°C (figure)



Figure 3.8 : conservation des éprouvettes d'as l'eau

CHAPITRE 03 : CONFECTION DES MORTIERS Á BASE DE FIBRES D'ACIER

3.7 Caractéristiques mécaniques des éprouvettes

Les caractéristiques mécaniques mesurées sont la résistance à la traction et la résistance à la compression.

3.7.1 Résistance à la traction par flexion

On place le prisme dans le dispositif de flexion avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculaire à ceux-ci. Appliquer la charge verticalement par le rouleau de chargement sur la face latérale opposée du prisme et l'augmenter de $50 \text{ N/s} \pm 10 \text{ N/s}$, jusqu'à rupture.

Conservé les demi-prismes humides jusqu'au moment des essais en compression. La résistance en flexion.



Figure 3.9 L'essai de flexion

Rf (en N/mm^2) est calculée au moyen de la formule :

CHAPITRE 03 : CONFECTION DES MORTIERS Á BASE DE FIBRES D'ACIER

$$RF = \frac{1,5 * P * L}{b^3}$$

Rf : est la résistance en flexion, en newtons par millimètre carré ou en MPa.

b : est le côté de la section carrée du prisme, en millimètres.

P : est la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture, en newtons.

L : est la distance entre les appuis, en millimètres.

3.7.2 Résistance à la compression

La machine utilisée est la machine de compression, conforme à la norme EN 12390-4 avec un dispositif de surface 4x4 cm²

Centrer chaque demi-prisme latéralement par rapport aux plateaux de la machine à ±0.5 mm en utilisant le dispositif comportant la surface d'application de 4x4 cm² (figure 2.15), puis la charge sera appliquer en augmentation avec une vitesse providence jusqu'à la rupture.



Figure 3.10 : essai de compression

CHAPITRE 03 : CONFECTION DES MORTIERS Á BASE DE FIBRES D'ACIER



Figure 3.11 résultats de compression

La résistance en compression R_c (en N/mm^2) est calculée au moyen de la formule

$$RC = \frac{Fc}{b^2}$$

Avec :

R_c : Résistance à la compression en (MPa).

F_c : Charge de rupture en (N).

b : Côte de l'éprouvette est égale à 40mm.

3.8 Conclusion

La partie expérimentale que nous avons présentée dans ce chapitre représente en grande partie la qualité de ce travail, en effet, les résultats qui seront discutés dans le prochain chapitre dépendront du programme expérimental discuté ici.

Chapitre 04

CHAPITRE 04 RESULTATS ET INTERPRETATION

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter, commenter et interprétés les résultats expérimentaux obtenues relatifs aux mortiers fabriqués dont le but est de déterminer la variante la plus performante en termes de résistance, en se basant sur les résultats d'essais de compression et de traction par flexion.

Les résultats sont fidèlement reportés sur des tableaux et des courbes afin de faciliter leur interprétation.

4.2 Résultats

Les mortiers ont été soumis à des tests de résistance à la traction et à la compression à l'âge de 28 jours.

4.2.1 Le mortier témoin

Les mortiers fabriqués doivent avoir une consistance plastique à très plastique à l'état frais et présente à l'état durci des résistances à la traction et à la compression à un âge de 28 jours correspondantes au type de ciment utilisé (classe de résistance égale à 42,5 MPa).

Dans le tableau 4.1 nous présentant les différents mortiers fabriqués afin de déterminer et de sélectionner le mortier témoin.

Tableaux 4.1 Résultat du mortier témoin.

Type De mortier	Résistance à la traction (MPa)	Résistance à la compression (MPa)
1	6,71	43,93
2	7,10	48,42
3	7,35	45,64
4	6,83	45,90
5	6,90	45,21
6	6,32	44,23
7	7,12	44,49

CHAPITRE 04 RESULTATS ET INTERPRETATION

Après la fabrication de sept mortiers nous avons choisi le mortier numéro six qui a répondu aux conditions ci-dessus (consistance plastique et résistance à la compression égale à 43,93 MPa supérieur à 42,5 MPa, figure 4.1).



Figure 4.1 : prismes de mortier bien remplis

Les autres mortiers sont toujours de bonne qualité néanmoins un compromis entre la résistance et la consistance du mortier doit être justifié : les mortiers de 1 à 5 sont plus résistant mais leurs consistance est un peu ferme ce qui a donné un mauvais remplissage des moules (photo, figure 4.2), par contre, le mortier numéro 07 n'est pas économique vu que le mortier 06 a donnée une consistance suffisante avec moins d'adjuvant.



Figure 4.2 : Mauvais remplissage des moules.

CHAPITRE 04 RESULTATS ET INTERPRETATION

4.2.2 Mortiers à base de fibres d'acier

Comme déjà indiqué dans le chapitre 03, nous avons ajouté à la composition du mortier témoin une quantité de fibres d'acier selon trois méthodes :

- la première méthode recommandée dans la fiche technique consiste à ajouter directement les quantités mesurées de fibres d'acier dans le malaxeur, résultats représentés dans le tableau 4.2 et les figures 4.3 et 4.4.
- la deuxième méthode proposée consiste à ajouter d'une façon homogène les fibres d'acier au moment du remplissage et du compactage des moules en deux couches, résultats représentés dans le tableau 4.3 et les figures 4.5 et 4.6.
- la troisième méthode a été proposée pour obtenir une bonne répartition des fibres d'acier, en les divisant en deux morceaux et en les ajoutant dans le malaxeur avec les autres ingrédients. Résultats représentés dans le tableau 4.4 et les figures 4.7 et 4.8.

Tableaux 4.2 Résultat méthode 01

Fibres		Résistance à la traction (MPa)	Résistance à la compression (MPa)
(g)	%		
0	0	6,32	44,23
2,5	0,4	9,36	55,78
5	0,7	9,48	65,00
7,5	1,1	9,95	68,17
10	1,5	9,83	68,32
12,5	1,9	9,13	61,56
15	2,2	8,93	59,42
17,5	2,6	8,78	55,61
20	3,0	8,19	51,10

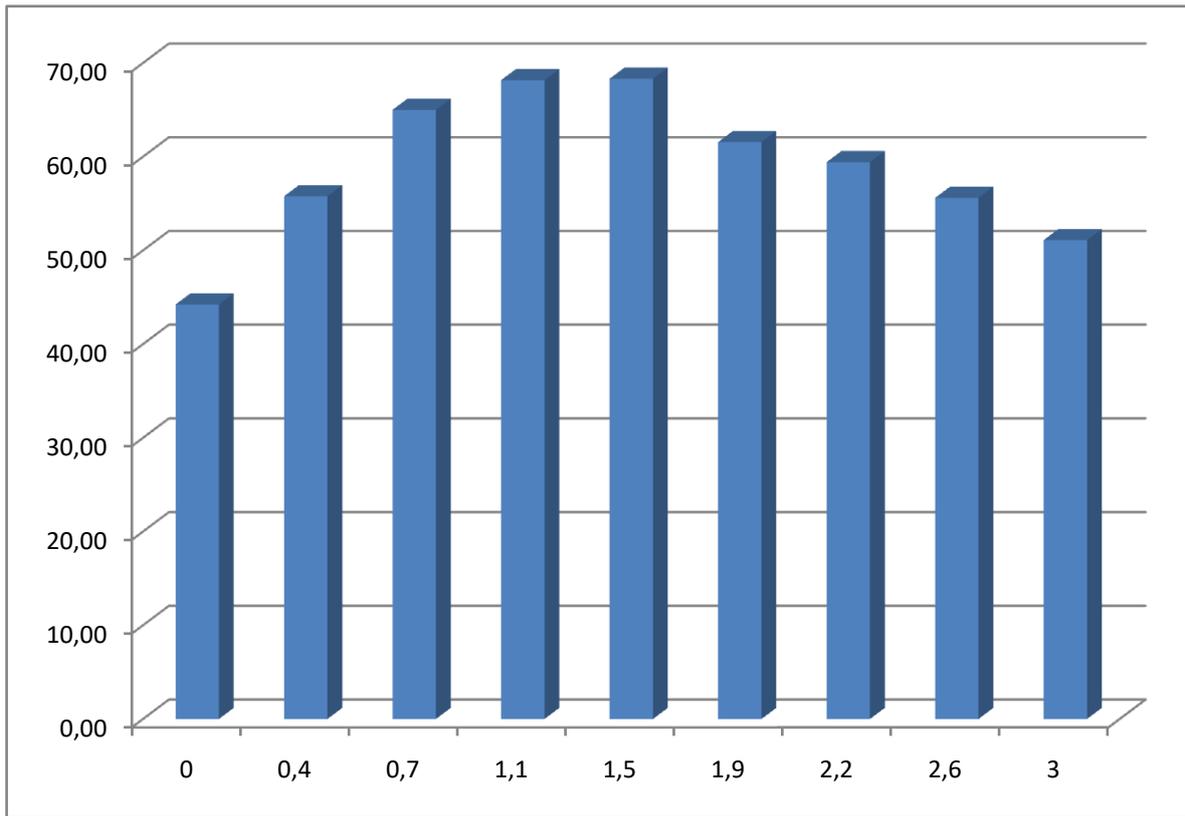


Figure 4.3 Résistance à la compression (méthode 01).

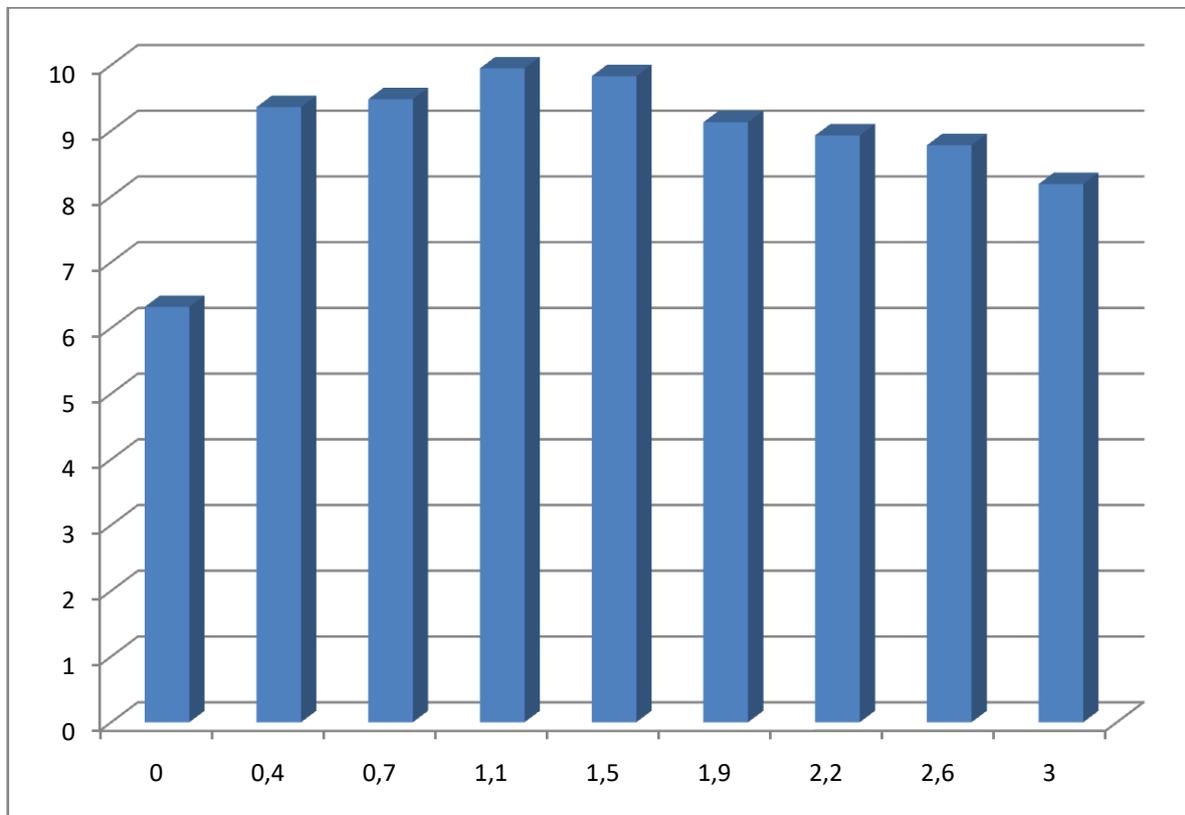


Figure 4.4 Résistance à la traction (méthode 01).

CHAPITRE 04 RESULTATS ET INTERPRETATION

Tableaux 4.3 Résultat méthode 02.

	% fibre	Résistance à la traction (MPa)	Résistance à la compression (MPa)
0	0	6,23	44,23
2,5	0,4	9,13	63,03
5	0,7	9,13	64,47
7,5	1,1	10,53	69,02
10	1,5	10,41	70,61
12,5	1,9	10,06	71,75
15	2,2	9,77	68,31
17,5	2,6	9,71	68,22
20	3,0	//	//

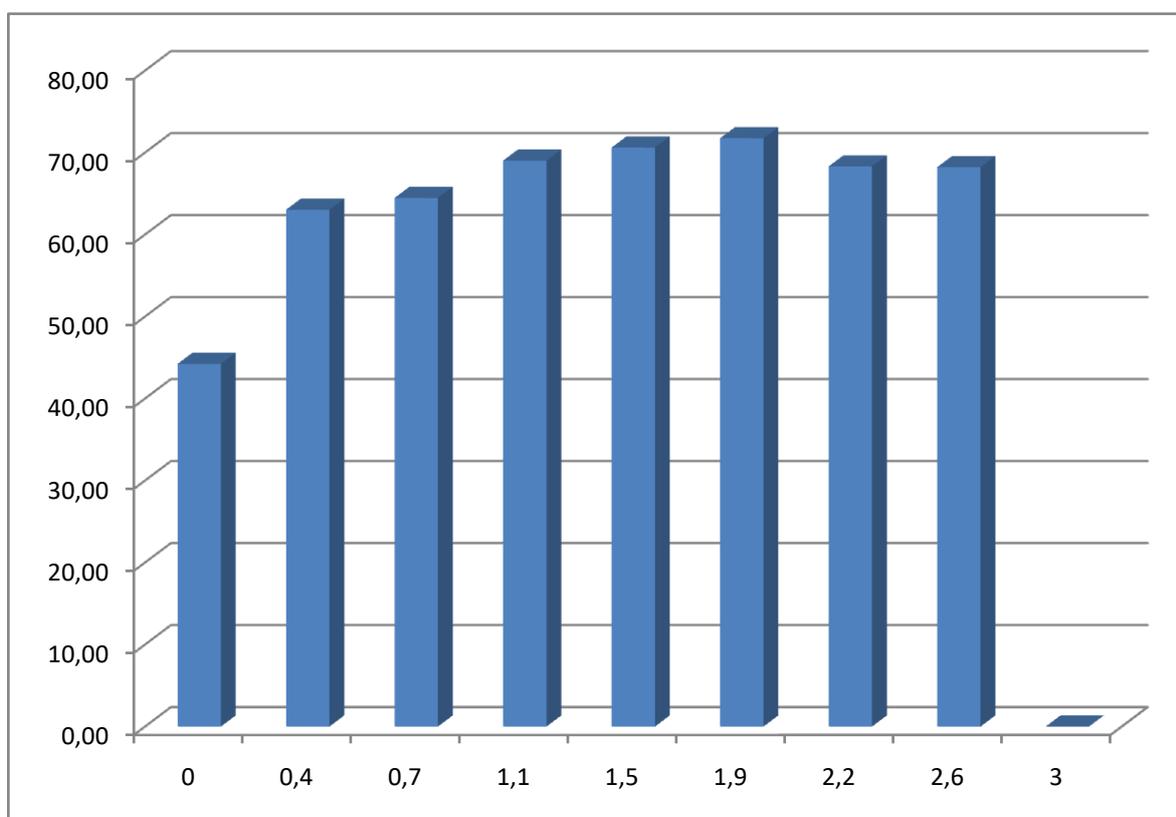


Figure 4.5 Résistance à la compression (méthode 02).

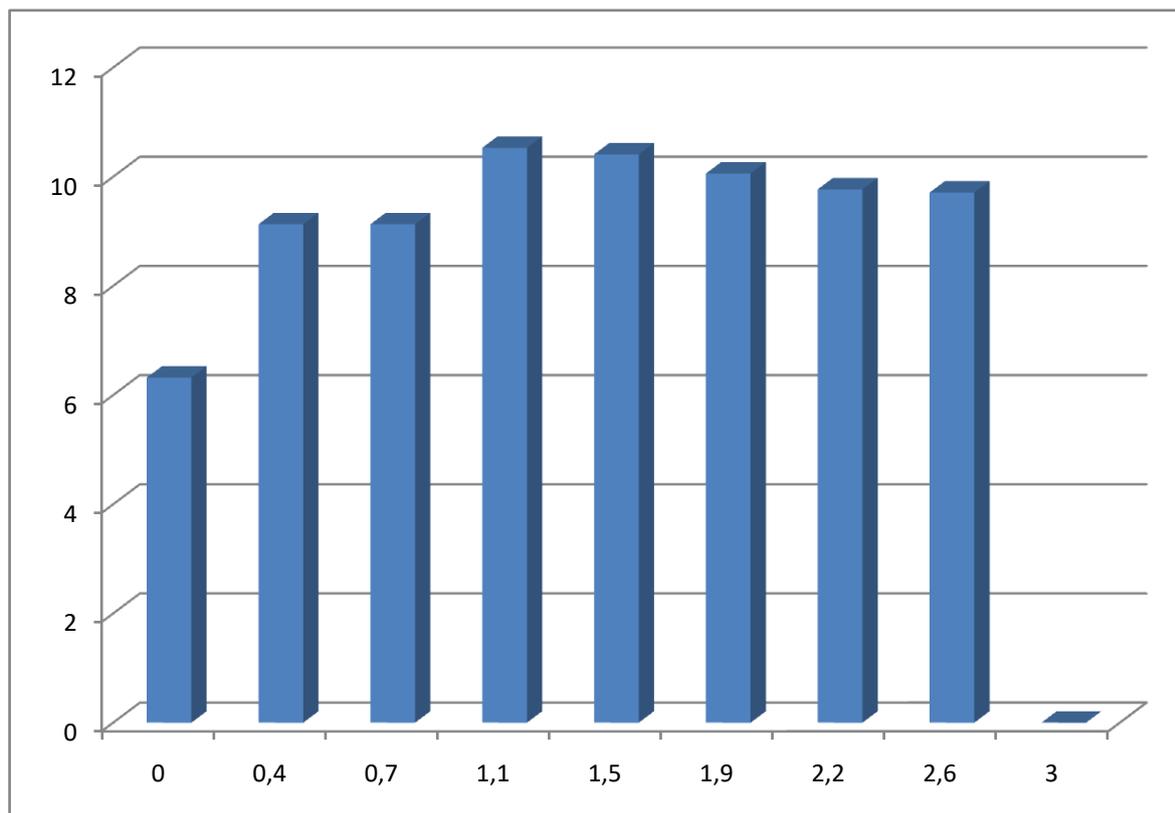


Figure 4.6 Résistance à la traction (méthode 02).

Tableaux 4.4. Résultat méthode 03.

fibres		Résistance à la traction (MPa)	Résistance à la compression (MPa)
(g)	%		
0	0	6,32	44,23
2,5	0,4	10,12	67,01
5	0,7	10,53	71,92
7,5	1,1	10,65	74,66
10	1,5	10,10	76,4
12,5	1,9	9,01	75,23
15	2,2	8,78	74,07
17,5	2,6	7,64	73,43
20	3,0	7,08	72,99

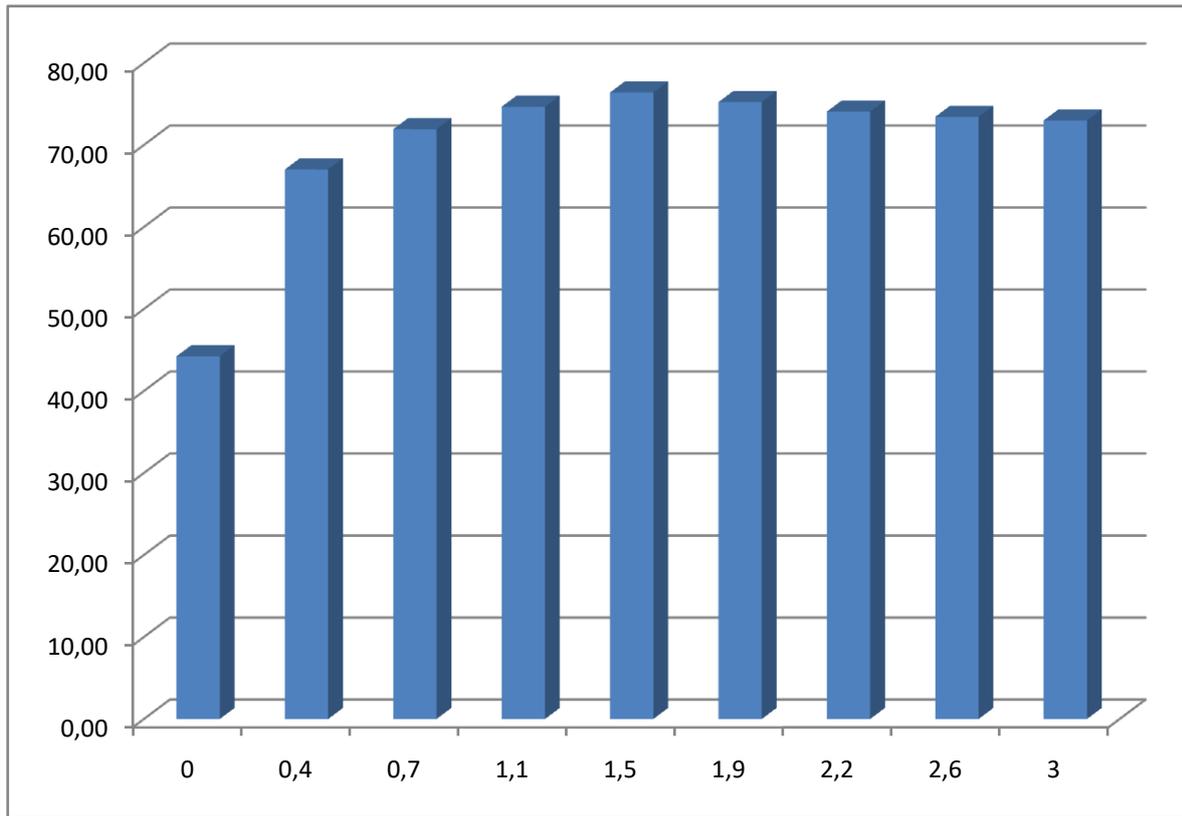


Figure 4.7 Résistance à la compression (méthode 03).

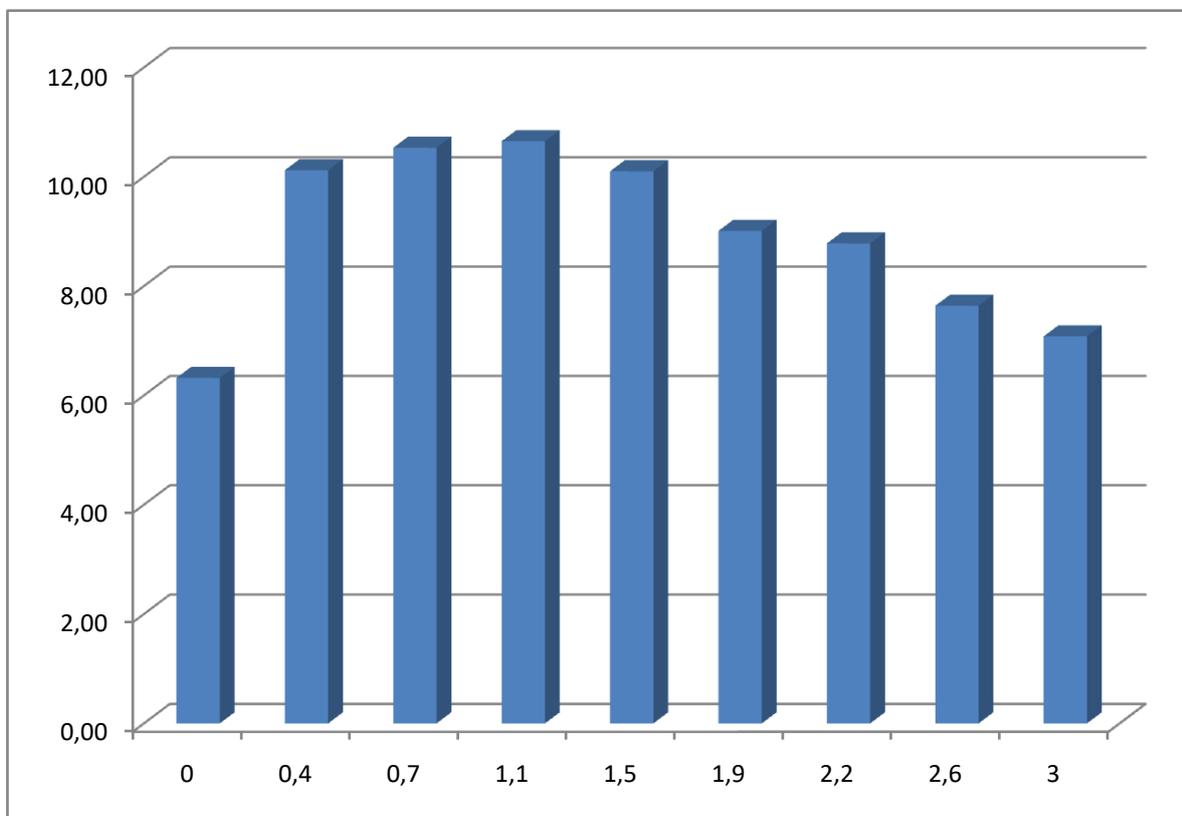


Figure 4.8 Résistance à la traction (méthode 03).

CHAPITRE 04 RESULTATS ET INTERPRETATION

D'après les résultats ci-dessus nous avons constaté en général des bonnes résistances mécaniques, l'ensemble des valeurs sont supérieures à celle du mortier témoin :

Méthode 01 :

- Des résistances à la compression comprises entre 51 et 68 MPa ce qui correspond à une augmentation d'environ de 15 à 54 % par rapport au mortier témoin.
- Des résistances à la traction comprises entre 8,18 et 9,95 MPa ce qui correspond à une augmentation de 29 à 57 % par rapport au mortier témoin.

Méthode 02 :

- Des résistances à la compression comprises entre 63,03 et 71,75 MPa ce qui correspond à une augmentation de 42 à 62 % par rapport au mortier témoin.
- Des résistances à la traction comprises entre 9,0 et 10,53 MPa ce qui correspond à une augmentation d'environ de 44 à 68 % par rapport au mortier témoin.

Méthode 03 :

- Des résistances à la compression comprises entre 67 et 76,4 MPa ce qui correspond à une augmentation d'environ de 51 à 73 % par rapport au mortier témoin.
- Des résistances à la traction comprises entre 7,08 et 10,65 MPa ce qui correspond à une augmentation d'environ de 12,0 à 68,0 % par rapport au mortier témoin.

Il convient de noter que tous les résultats obtenus dans cette étude sont bons par rapport aux résultats du mortier standard ou ordinaire et que les valeurs maximales sont obtenues par la méthode 03 puis la méthode 02 et enfin la méthode 01. Ainsi, les meilleurs dosages en fibres d'acier sont compris entre 0,4 et 2,2 % de la masse de ciment.

Nous avons observé à travers l'expérience, que les fibres d'acier renforcent la cohésion du mortier. Ainsi, après l'application d'une force de traction sur un échantillon de mortier ordinaire, celui-ci se divise en deux parties, comme indiqué dans la figure 4.9 tandis que le mortier renforcé par des fibres d'acier se brise et que les deux parties restent connectées et liées entre elles par les fibres d'acier comme indiqué dans la figure 4.10, ce qui améliore la stabilité et la sécurité pendant la phase après-fissures.

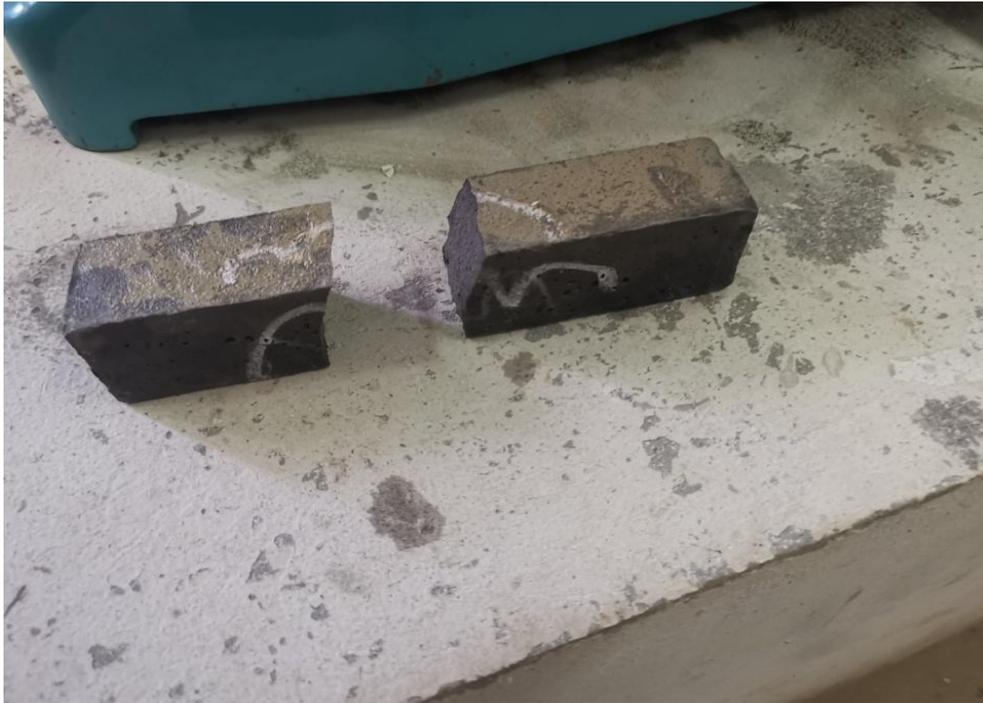


Figure 4, 9. Rupture d'un Mortier témoin.



Figure 4.10 Rupture d'un Mortier renforcé.

En plus, la répartition des fibres d'acier dans le mélange est importante, il est clair que la répartition des fibres d'acier d'une façon attentive au moment de coulage ou de remplissage (méthode 2) permis de déposer les fibres dans les zones les plus soumises au sollicitations et d'obtenir un matériaux très homogène. L'inconvénient peut résider dans la mise en oeuvre de ces fibres dans le chantier. Par contre, le dépôt de fibres d'acier dans la cuve (bétonnière) au moment de malaxage peut entrainer la formation d'oursin ou boules de

CHAPITRE 04 RESULTATS ET INTERPRETATION

fibres : concentration de fibres d'acier dans des zones non précises et non étudiées, (voir chapitre 01).

La troisième méthode proposée reste efficace dans le cas d'utiliser des petits malaxeurs ou dans le cas de renfoncer des éléments de faibles dimensions dans la structure (une partie de poutre, linteau...etc.). La division des fibres d'acier de façon à obtenir des fibres courtes peut empêcher la formation d'oursin (ou boules de fibres) ou tout simplement de réduire leurs concentration, néanmoins nous avons constaté une large diminution de résistances à partir du dosage 1,9%.

On peut alors dire que l'ajout de fibres d'acier a amélioré considérablement la résistance des mortiers par rapport au mortier standard ou ordinaire. Par conséquent, l'utilisation de cette technique dans la fabrication des éléments en béton et en mortier peut aider à absorber l'énergie, améliorer l'efficacité des éléments de l'ouvrage, leurs stabilité, leurs ductilité et leur durabilité en s'opposant à la propagation des fissures.

4.3 Conclusion

Il est conclu que le dosage excessif en fibre n'est pas toujours le bon choix. Les fractions proposés dans ce travail ont prouvé que ce dernier doit être compris entre 0,4 et 1,1 % de la masse de ciment, ainsi les façons d'introduire les fibres métalliques dans le mélange sont très importantes et dépendent du volume du béton, la mise en oeuvre et les objectif attendus.

Conclusion Générale

CONCLUSION GÉNÉRALE

Il est clair d'après la recherche bibliographique de ce mémoire que l'intégration de fibres d'acier dans des matériaux en béton présente de nombreux avantages dans divers domaines de la construction. Il existe une variété de fibres, telles que les fibres métalliques, les fibres végétales, les fibres synthétiques et les fibres organiques. Elles jouent un rôle prépondérant en renforçant ou en remplaçant les armatures traditionnelles et agissant comme des agents empêchant la propagation des microfissures.

Les résultats expérimentaux concernant les performances du mortier ordinaire ainsi que la résistance de différents types de mortiers fibrés ont été présentés. Ils étaient soumis à des tests de résistance à la traction et à la compression à 28 jours.

Nous avons constaté que la résistance à la compression obtenue à partir du mortier ordinaire était de 43,93 ce qui est une valeur acceptable compte tenu du type de ciment utilisé de classe de résistance égale à 42,5. Cette valeur a été obtenue après avoir ajusté le dosage en eau et en adjuvant.

Une amélioration de la résistance à la flexion a été observée, allant de 12 à 68 %, ainsi qu'une amélioration de la résistance à la compression, allant de 15 à 73 % lors de l'ajout des fibres selon les méthodes utilisées et avec un meilleur dosage limité entre 0.4 et 1.9 % de la masse de ciment.

Les résultats obtenus dans cette étude montrent clairement que l'ajout de fibres d'acier améliore significativement les résistances par rapport aux mortiers ordinaires, renforçant ainsi la cohésion du matériau. Par conséquent, l'application de cette technologie dans l'industrie de béton peut contribuer à accroître son efficacité et sa durabilité. Il est important de souligner que tous les résultats obtenus dans le cadre de cette étude étaient satisfaisants par rapport aux performances des mortiers standards.

Alors, l'utilisation particulière des fibres d'acier, s'est avérée être une approche efficace et pratique dans les domaines de la construction et du génie civil. Cependant, l'efficacité de cette utilisation dépend de la nature des fibres utilisées, de leurs applications spécifiques et des méthodes de mise en œuvre.

En fin, espérons que cette étude sera une référence pour les futurs travaux de recherches dans le domaine de renforcement et d'adaptation des structures.

CONCLUSION GÉNÉRALE

En perspectives, il est recommandé de faire des études complémentaires tel que :

L'étude de l'interaction entre les fibrilles et le ciment à l'aide d'observations microscopiques pour mieux comprendre le mécanisme de renforcement.

Effectuer des tests supplémentaires sur le comportement des éléments matériels soumis à des températures élevées et des cycles de chauffage-refroidissement pour obtenir des informations détaillées sur la résistance et la durabilité.

Examiner l'utilisation d'autres types de fibres plus résistantes afin d'évaluer leur efficacité et leur résistance aux contraintes thermiques.

Analyser la microstructure des fibres et des coulis fibrés pour comprendre leur impact sur les propriétés mécaniques et thermiques.

Étudier le comportement mécanique des mortiers fibrés à haute température à travers des tests spécifiques.

Effectuer des simulations numériques du comportement du coulis fibré à des températures élevées pour prédire le comportement et optimiser la conception.

En explorant ces perspectives de recherche, nous pourrions approfondir notre compréhension des mortiers fibrés renforcés et améliorer leurs performances dans des conditions thermiques exigeantes

Références Bibliographiques

[1] BELARIBI HASSIBA l'évaluation de la qualite du beton de fibres in situ par les essais non destructifs, memoire de magister, universite mohamed khider – biskra 2007

[2] AHMED ABDERRAOUF BELKAD Contribution à l'étude de la durabilité et les performances des bétons autoplaçants (fibres végétales, milieu agressif, formulation, modélisation) ,Mémoire en vue de l'obtention Du diplôme de Doctorat en , Université Mohamed Khider – Biskra : 25 novembre 2018

[3] MOKHTARI ABDESSAMED influence des ajouts de fines minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcés de fibres végétales de palmier dattier, memoire de magister, université de kasdi merbah ouargla 2006

[4] REMIDINI HADJER Contribution à l'étude des propriétés mécaniques d'un béton de fibres, Mémoire de Master, Université Mohamed khider –Biskra 2020

[5] YAGOUB MOHAMED evaluation de la qualite du beton de fibres in situ cas de beton autoplaçant avec des fibres mixtes, memoire de magister, universite mohamed khider – biskra 2009

[6]MR. ABDELMADJID BILAL étude du comportement mécanique d'un béton à base de fibres métallique, mémoire de master, universite mouloud mammeri detizi-ouzou 2021

[7] Djelil Farida Abidet Sihem Etude parametrique sur la ductilite locale des poutres en beton renforce par differents types de fibres , memoire de magister, UNIVERSITÉ ibn khaldoun de Tiaret 2022

[8] USINENOUVELLE Des fibres de carbone remplacent l'acier dans le béton armé, <https://www.usinenouvelle.com/>

[9] ISOMAT S.A. fibres de polypropylène, fiche technique,2023, <https://www.isomat.fr/product/polypropylene-fibres-2-fr/>

[10] MOKHTARI ABDESSAMED, influence des ajouts de fines minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcés de fibres végétales de palmier dattier,

memoire de magister , université de kasdi merbah ouargla 2006[10] made-in-china Ar de fibre de verre pour la GRC, fr.made-in-china.com 2018

[11] STAGNOLIGEARS matières plastiques renforcées de fibre de carbone ,
www.stagnoligears.com 2023

[12] BOUTELDJA Djahida MADHKOUR Saliha Etude en laboratoire du comportement mécanique d'un sable limoneux renforcé par des fibres de polypropylène: Influence de la teneur en eau de préparation, , mémoire de master , université ibn khaldoun de tiaret 2019.

[13] RESEARCHGATE uploaded by Lukas Gebhard Content may be subject to copyright
<https://www.researchgate.net> 23

[14] ShreeganesHPlywoodconstructionchemicals Bekaert 3D Dramix Steel Fiber, For Construction.<https://www.indiamart.com/shreeganesHPlywoodconstructionchemicals/steel-fiber.html>
2023

[15] shharex Fraisage de fibre d'acier <http://www.shharex.com/en/list/32/15.htm> 2023

[16] bekaert Beki-Shield® GR <https://www.bekaert.com/>

[17] YAHY Fatima Zahra Caractérisation physique d'une fibre végétale (le DISS) , mémoire de master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila Faculté des Sciences Département de Physique 2016

[18] fiche technique ciment awtad CEM II /A-L de résistance 42.5.
<http://amoudaciment.com/produits/awted/>

[19] fiche technique adjuvant Le MEDAFLOW 145

<https://silex-dz.com/wp-content/uploads/2020/04/MEDAFLOW-145HR.pdf>

[20] fiche technique Les fibres FIBERTEK A