

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



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département de Génie Civil

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

HAMANI MOHAMED

ABDELLA MOHAMED MAHMOUD

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 2:**

Filière : Génie Civil

Option : Matériaux en Génie Civil

Thème :

**Étude comparative entre un mortier hydraulique et de résine
renforcés par des fibres polypropylènes.**

Devant le jury composé de :

Mr Ait Tahar Kamal
Mr HAMI BRAHIM
Mr Kennouche Salim

Pr
Dr
Dr

UAMOB
UAMOB
UAMOB

Président
Encadreur
Examineur

Année Universitaire 2020/2021



Tout d'abord

*Nous remercions le Dieu pour toute puissance, santé, volonté, courage, qui nous a
donné cette*

Année pour élaborer ce travail

A notre enseignant et directeur de mémoire Monsieur HAMM BRAHIM

Pour ses précieux conseils,

Ses encouragements tout au long de la rédaction de ce mémoire.

On adresse nos sincères remerciements à Mm La cheffe de département :

Mm. SADIKA MOHAMADI

*Et Tous les enseignants de de La Faculté des Sciences et des sciences appliquées
(Département Génie Civil) de l'université de Bouira qui nous ont apporté leurs aides*

*Dans la documentation, la rédaction et qui nous ont guidés durant toute notre
Formation. SURTOUT :*

*M. KENNOUCHE SALIM pour les conseils et les orientations qu'il nous a
apportées.*

Nous remercions M. MESBOUA pour son soutien et ses conseils.

*Nous tenons à remercier sincèrement les employés du laboratoire de génie civil à
l'université de BOUIRA pour nous avoir aidés à faire nos essais pratiques et de maitre*

À notre disposition les moyens nécessaires pour réaliser ces essais

Et en fin on veut adresser tous nos remerciements aux personnes avec lesquelles

On a pu échanger nos idées, qui ont participé de près ou de loin à nos recherches

Et À l'élaboration de ce mémoire professionnel.

Je dédie ce modeste travail :

A mes soutiens moraux, mes sources de joie et de bonheur,

Ceux qui ont toujours sacrifié pour me voir réussir

« Mes chères parents » TAHER et CHENINA MESSOUDA

A mes chers frères

A mon adorable sœur qui est toujours auprès de moi tous le temps

« NOUR ELHOUDA »

A mon adorable femme, ma joie, mon bonheur et l'amour de ma vie « WIDAD»

A l'âme de mes grands-pères, mes grands-mères et toute ma grande famille :

« HAMANI et CHENINA »

A M le directeur de SEM (Kamal Joumblatt) « M. NOUI » qui a changé ma vie

A mon binôme « ABDELLA »

A toutes mes amis surtout « AYOUB, MIMOUN, AHMED, AMINE »

A ma promotion 2020-2021

MOHAMED

Aucun mot ne pourrait exprimer des sentiments comme la gratitude, l'amour, le respect ou la reconnaissance

. Je dédie ce

mémoire ... A toute la famille ABDELLA

A tous mes amis Et a tous mes collègues

MOHAMED MAHMOUD

Résumé

L'objectif de notre travail est d'apporter des éléments de réponse permettant de comprendre le comportement mécanique des mortiers non renforcés et renforcés par des fibres de polypropylène sous l'effet des sollicitations mécaniques (compression et flexion).

La première partie du mémoire est consacrée aux connaissances actuelles sur les différents types de mortiers à savoir ces constituants (ciment, sable, adjuvants et les fibres) ainsi qu'aux travaux déjà réalisés.

La seconde partie est une étude expérimentale, qui consiste à caractériser tous les matériaux utilisés dans le cadre de notre étude (ciment, sable, fibres et mortiers) et les essais effectués au niveau de laboratoire. Trois types de mortier ont été élaborés, un mortier témoins sans fibres, un mortier hydraulique et un mortier de résine, ses deux derniers sont renforcés par des fibres de polypropylène.

L'analyse des résultats des différents essais effectués et l'interprétation des résultats obtenus montrent que le mortier de résine présente les résistances mécaniques les plus élevées par rapport au mortier hydraulique et mortier témoin.

Mot clés : Mortier hydraulique, Mortier de résine, comportement mécanique, fibres de polypropylène.

Abstract

The objective of our work is to provide answers to understand the mechanical behavior of unreinforced and reinforced mortar with polypropylene fibers under compression and bending laid.

The first part of the thesis is devoted to current knowledge on the different types of mortars, namely these constituents (cement, sand, admixtures and fibers) as well as to the work already carried out on our research theme.

The second part is an experimental study, which consists in characterizing all the materials used in the framework of our study (cement, sand, fibers and mortars) and the tests carried out at the laboratory level. Three types of mortar were developed, a control mortar without fibers, a hydraulic mortar and a resin mortar, the last two are reinforced with polypropylene fibers.

The analysis of the results of the various tests carried out and the interpretation of the results obtained show that the resin mortar has the highest mechanical strengths compared to the hydraulic mortar and control mortar.

Keywords: Hydraulic mortar, Resin mortar, mechanical behavior, polypropylene fibers.

ملخص

لفهم السلوك الميكانيكي للملاط غير المدعم بألياف البولي بروبيلين تحت تأثير الضغوط الميكانيكية (الضغط والانحناء). تم تخصيص الجزء الأول من الأطروحة للمعرفة الحالية حول الأنواع المختلفة من الملاط، وبالتحديد هذه المكونات (الأسمنت والرمل والمواد المضافة والألياف) بالإضافة إلى الأعمال التي تم تنفيذها بالفعل حول موضوع البحث الخاص بنا.

الجزء الثاني دراسة تجريبية تتكون من توصيف جميع المواد المستخدمة في إطار دراستنا (الأسمنت والرمل والألياف والملاط) والاختبارات التي أجريت على مستوى المختبر. تم تطوير ثلاثة أنواع من الملاط، ملاط تحكم بدون ألياف، ملاط هيدروليكي وملاط راتينج، النوعان الأخيران مدعومان بألياف البولي بروبيلين. يوضح تحليل نتائج الاختبارات المختلفة التي تم إجراؤها وتفسير النتائج التي تم الحصول عليها أن ملاط الراتينج لديه أعلى قوة ميكانيكية مقارنة بالملاط الهيدروليكي وملاط التحكم.

الكلمات المفتاحية: مونة هيدروليكية، مونة راتينجية، سلوك ميكانيكي، ألياف بولي بروبيلين.

Sommaire

Table des matières

Introduction générale.....	1
I.1. Introduction.....	3
I.2. Mortier	3
I.3. Compositions des mortiers.....	3
I.3.1. Les liants	3
I.3.1.1. Les différentes catégories de liants.....	4
I.3.1.2. Les liants hydrauliques	4
I.3.1.3. Les liants aériens	4
I.3.1.4. Utilisation des différents liants.....	4
I.3.2. Les sables.....	5
I.3.2.1. Sable normalisé	5
I.3.3. Les adjuvants	5
I.3.4. Les ajouts.....	5
I.4. Les différents types de mortiers	6
I.4.1. Les mortiers de ciment	6
I.4.2. Les mortiers de chaux.....	6
I.4.3. Les mortiers bâtards.....	6
I.4.4. Les mortiers fabriqués sur chantier.....	6
I.4.5. Le mortier industriel	6
I.4.5.1. Mortier hydraulique	7
I.4.5.1. Mortier Résineux.....	7
I.5. Le rôle d'utilisation de mortier.....	7
I.6. Les principales caractéristiques des mortiers	8
I.6.1. Ouvrabilité	8
I.6.2. La table à secousses	9
I.6.3. Le Maniabilimètre du LCPC	9
I.6.4. L'écoulement au cône	10
I.6.5. La prise	10
I.6.6. Résistances mécaniques.....	10
I.6.7. Retraits et gonflements.....	11
1.7. Béton fibré.....	11

I.7.1. Définition de béton fibré	11
I.7.2. Généralités sur le béton armé	11
I.7.3. Les caractéristiques et les propriétés des fibres	13
• Remarque	13
I.7.4. Rôles des fibres dans le béton.....	14
I.7.5. Les bétons renforcés de fibres	14
I.7.6. Composition des bétons de fibres et leurs comportements	15
I.7.6.1. Béton Ordinaire	15
I.7.6.2. Béton Fibré Ordinaire (BFO)	16
I.7.6.3. Béton à Hautes Performances (BHP).....	16
I.7.6.4. Béton Fibré à Hautes Performances (BFHP).....	16
I.7.6.5. Béton Fibré à Ultra Haute Performance (BFUP).....	16
I.7.7. Durabilité des bétons de fibres	17
I.7.7.1. Réparation par matériaux composites	18
I.7.7.2. Utilisations des fibres dans les structures	20
I.7.7.3. Influence des fibres métalliques sur le comportement mécanique du béton.....	20
I.8. Conclusion	23
II. Recherche bibliographique sur mortiers fibrés.....	23
II.1. Etude réalisée par A. Kheyroddin et al	23
II.1.1 Matériaux utilisés	23
II.1.1.1. Polymères renforcés de fibres de verre (GFRP)	23
II.1.1.2. Fibres de polypropylène	23
II.1.1.3. Caractéristiques de l'échantillon	24
II.1.1.4. Dispositif expérimental	24
II.1.2. Résultats des essais	25
II.1.2.1. Comportement d'impact.....	Erreur ! Signet non défini.
II.1.2.2. Mécanisme de défaillance.....	26
II.1.3. Conclusion	27
II.1.4. Commentaire sur l'étude réalisée par A. Kheyroddin et al	28
II.2. Etude réalisée par Sadoun faouzi et Djebri lakhal.....	28
II.2.1. Matériaux utilisés	28
II.2.1.1. Le ciment	28
II.2.1.2. Sable	28
II.2.1.3. L'adjuvant.....	28

II.2.1.4. Eau de gâchage.....	29
II.2.1.5. Caractéristique et propriétés des fibres.....	29
II.2.2. Résultats des essais	30
II.2.2.1. La masse volumique	30
• Interprétations des résultats de la masse volumique	31
II.2.2.2. Essais de flexion trois points	31
II.2.2.3. Essais de compression	32
• Interprétations des résultats des essais mécaniques	33
II.2.3. Conclusion	34
II.2.4. Commentaire sur l'étude réalisée par Sadoun faouzi et Djebri lakhal.....	35
II.3. Etude réalisée Ouaret safia et Bounceur nabil.....	35
II.3.1. Matériaux utilisés	35
II.3.1.1. Le ciment	35
II.3.1.2. Granulats	35
II.3.1.3. Les Adjuvants.....	36
II.3.1.4. L'eau de gâchage	36
II.3.1.5. Définition de l'unité BCR	36
II.3.2. Résultats et discussion	37
II.3.2.1 Mesure des masses volumiques.....	37
II.3.2.2. Essai de compression (NF P 18 – 406)	38
II.3.3.3. Conclusion	40
II.3.3.4. Commentaire sur les résultats obtenus par Ouaret safia et Bounceur nabil.....	40
II.4. Etude réalisée par Benati redha	40
II.4.1. Matériaux utiliser	40
II.4.1.1. Le Laitier	40
II.4.1.2. Le Ciment portland	41
II.4.1.3. Les fillers calcaires	41
II.4.1.4. Le sable	42
II.4.1.5. Les Graviers	42
II. 4.1.6. Fibres métalliques	43
II. 4.1.7. Fibres polypropylènes	43
II.4.2. Résultats des essais	44
II.4.2.1. Etude du mortier	44
II.4.2.2. Comportement mécanique	44

II.4.3. Commentaire sur les résultats obtenus par Benati redha	45
III. Etude expérimentale	46
III.1. Matériaux et méthodes de caractérisation	46
III.1.1. Introduction.....	46
III.1.2. Les matériaux utilisés	46
III.1.2.1. Le ciment	46
III.1.2.2. Le sable	49
III.1.2.3. Fibre de polypropylène	49
III.1.2.4. L'eau de gâchage	50
III.1.2.5. Sikadur-41EM	51
III.1.2.6 Sika dur Mono-top –634.....	51
III.1.3. Les essais réalisés sur les matériaux.....	51
III.1.3.1. Les essais réalisés sur le ciment	51
III.1.3.2. Les essais sur le sable	53
III.1.4. Préparations des mortiers	54
III.1.4.1. Elaboration des mortiers	54
III.1.4.2. Préparation des éprouvettes.....	56
III.1.4.3. Démoulage et conservation des éprouvettes	56
III.1.5. Les essais mécaniques réalisés sur les mortiers.....	56
Les essais mécaniques ont été réalisés justes après le prélèvement des éprouvettes de l'eau.	56
III.1.5.1. La résistance à la flexion 3 points.....	56
III.1.5.2. La résistance à la compression	57
III.2. Résultats sur le ciment	58
III.2.1. Temps de prise	58
III.2.1.1. Interprétation des résultats	58
III.2.2. Résultats sur le sable	59
III.2.2.1. Module de finesse du sable.....	59
III.2.2.2. Interprétation des résultats	60
III.2.3 La résistance à la flexion.....	60
III.2.3.1. Mortiers fibrés de polypropylène.....	60
III.2.3.2. Interprétation des résultats	62
III.2.3.2. La résistance à la compression	62
III.2.3.2.1. Interprétation des résultats	64

Liste des figures

Figure I.1. Table à secousses	Erreur ! Signet non défini.
Figure I.2. Principe de fonctionnement du Maniabilimètre.	Erreur ! Signet non défini.
Figure I.3. Appareil de Vicat muni de l'aiguille avec une surcharge	Erreur ! Signet non défini.
Figure I.4. Moule pour moulage des éprouvettes de mortier.	Erreur ! Signet non défini.
Figure I.5. Illustration de l'apport du renfort par des fibres.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure I.6. Conception du système multicouche.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure I.7. Application de plats métalliques selon le procédé l'Hermite...	Erreur ! Signet non défini.
Figure I.8. Courbe d'évolution de la contrainte à la compression en fonction de la déformation avec différent pourcentage des fibres	Erreur ! Signet non défini.
Figure I.9. Diagramme représente comportement de charge-déformation de béton avec fibres et béton sans fibres	Erreur ! Signet non défini.
Figure I.10. Influence de la direction du carottage sur le comportement en traction d'un béton fibré	Erreur ! Signet non défini.
Figure.II.1. (a) Feuilles de GFRP, et (b) Emballage de GFRP	23
Figure.II.2 Polypropylène fibres	24
Figure.II.3 Installation du laboratoire	25
Figure.II.4 Nombre d'impact d'échantillons avec du polypropylène et du PRFC sous : (a) 46,7 kg avec perte de poids, et (b) 66,8 kg avec perte de poids	26
Figure.II.5 Les dommages de l'échantillon C20-GFRP: a) avant les impacts, b) après le 11e impact, et c) après le 15e impact	26
Figure.II.6 Les dommages de l'échantillon C20-GFRP-PP1,5% : (a) avant les impacts, et (b) après le 4ème impact [.....	27
Figure.II.7 Fibres métalliques et de verre.	29
Figure.II.8 Variation des masses volumiques des différentes variantes en fonction du temps	30
Figure.II.9 représente les résistances en flexion des variantes étudiées en fonction des âges 7, 14 et 28 jours	32
Figure.II.10 représente les résistances en compression des variantes étudiées en fonction des âges 7, 14 et 28 jours	33
Figure.II.11 Evolution des masses volumiques en fonction du temps	37
Figure.II.12 Ruptures des éprouvettes	39
Figure.II.13 Presse de compression	39
Figure.II.14 Résistance à la compression en fonction de différentes séries du béton	39
Figure.II.15 Résistance à la compression du béton avec différent pourcentage de fibre propylène et 15%S en fonction du temps ($E/C=0.45$)	44
Figure.II.16 Résistance à la compression du béton avec différent pourcentage de fibre d'acier et 15%S en fonction du temps ($E/C=0.45$)	45
Figure.III.17 Diagramme circulaire de la composition chimique du ciment.....	47
Figure.III.18 Fibre de polypropylène.....	50
Figure.III.19 L'appareil de Vicat.....	53
Figure.III.20 L'analyse granulométrique par tamisage	54
Figure.III.21 Malaxeur.....	55
Figure.III.22 Les éprouvettes élaborées.....	56
Figure.III.23 Essai de flexion trois points.	57
Figure.III.24 Essai de compression.	58
Figure.III.25 Essais de flexion.....	60
Figure.III.26 Résistances à la flexion des différents mortiers avec fibre pp.	61

Figure.III.27 Compression des éprouvettes.	63
Figure.III.28 Résistances à la compression des différents mortiers avec fibre pp.	64

Liste des tableaux

Tableau.I.1 Les caractéristiques et les propriétés des fibres	13
Tableau.I.2 Les compositions et les propriétés mécaniques des bétons présentés précédemment	17
Tableau.II.1 Caractéristiques physico-chimiques du super plastifiant SIKA VISCOCRET 665 .	29
Tableau.II.2 caractéristique et propriétés des fibres .	29
Tableau.II.3 Les masses volumiques des différentes variantes en fonction des âges	30
Tableau.II.4 Les résistances en flexion trois points des variantes étudiées en fonction du temps	31
Tableau.II.5 Les résistances en compression des variantes étudiées en fonction du temps. [.	32
Tableau.II.6 Composition chimique et minéralogique de ciment	41
Tableau.II.7 Composition chimique des fillers calcaire. [Laboratoire de la cimenterie d'Ain-Touta.....	41
Tableau.II.8 Analyse granulométrique du sable	42
Tableau.II.9 Analyse granulométrique du gravier 7/15	42
Tableau.II.10 Analyse granulométrique du gravier 3/7	43
Tableau.II.11 Les propriétés géométriques des fibres métalliques	43
Tableau.II.12 Les propriétés géométriques des fibres polypropylènes .	43
Tableau.II.13 Résistance à la compression du béton avec différent pourcentage de fibre propylène et 15%S en fonction du temps (E/C=0.45)	45
Tableau.II.14 Résistance à la compression du béton avec différent pourcentage de fibre d'acier et 15%S en fonction du temps (E/C=0.45)	46
Tableau.III.1 La composition chimique du ciment CEM II/A 42,5.	46
Tableau.III.2 Composition minéralogique de ciment CEM II/A 42.5.	477
Tableau.III.3 Représente les Caractéristiques mécaniques du ciment CEM II/A 42.5	48
Tableau.III.4 Caractéristiques physiques du ciment CEM II/A 42.5.	48
Tableau.III.5 Quantité de sable dans les tamis	49
Tableau.III.6 Procédure expérimentale pour la détermination du temps de prise.....	52
Tableau.III.7 Temps de prise.....	58
Tableau.III.8 Analyse granulométrique du sable	59
Tableau.III.9 Résistance à la flexion à 07 jours et 28jours des mortiers fibrés avec du polypropylène.....	60
Tableau.III.10 Résistance à la compression à 07 jours et 28jours des mortiers fibrés avec du polypropylène.....	62

Introduction générale

Le mortier fibré est principalement utilisé dans l'industrie de la construction. L'incorporation de fibres dans le mortier permet de mieux contrôler le développement de la fissuration. Le mortier fibré présente des propriétés intéressantes en termes de résistance mécanique, d'adhérence, de compacité, de retrait et de durabilité. Il est composé de sable siliceux, de ciment hydraulique, de fibres synthétiques et de plastifiants.

Le mortier hydraulique est fabriqué à partir de calcaires argileux. Il fait sa prise même sans contact avec l'air, sous l'eau par exemple. Ce mortier est employé dans la maçonnerie traditionnelle de pierres ou de briques. Deux avantages sont il reste plus flexible que le mortier de ciment et est perméable à la vapeur d'eau, donc régule l'humidité ambiante. En revanche, il est plus technique et lent à mettre en œuvre, et demande des conditions de température et hygrométrie plus étroites (néanmoins courantes en zone tempérée) [1].

Les mortiers de résine sont des produits performants pour effectuer des travaux de réparation et de protection des structures en béton. Les mortiers de résine sont des produits industriels mono ou bicomposants prêts à l'emploi, dont la formulation est à base de méthacrylate, polyuréthane, époxy... varie en fonction de leur utilisation [1].

Les fibres artificielles dans le mortier ou le béton résistent à la fissuration pendant le durcissement, améliorant ainsi la résistance et l'imperméabilité de la surface. Les fibres à base de polypropylène se dispersent facilement dans le béton et forment un réseau de fibres à haute densité, améliorant ainsi la cohésion du mortier ou du béton frais, limitant le retrait et la fissuration, augmentant la résistance aux chocs et améliorant le durcissement et l'imperméabilité.

Le but de notre étude est essentiellement expérimental, il a pour objet d'analyser le comportement mécanique, la résistance à la flexion et à la compression de trois types de mortiers ; l'un non fibré utilisé comme un mortier témoin, le deuxième est un mortier hydraulique (prêt à l'emploi) renforcé avec des fibres de polypropylène et le dernier est un mortier de résine renforcé par des fibres de polypropylène.

Notre mémoire se compose de trois chapitres, **le premier chapitre** est une étude théorique sur les mortiers dont lequel nous avons présenté une définition du mortier, la composition des différents mortiers, les principales caractéristiques des mortiers et une étude sur les bétons fibrés.

Le second chapitre présente une recherche bibliographique sur mortiers fibrés, quatre travaux de recherche sur les mortiers fibrés ont été présenté dans ce chapitre avec des commentaires sur les résultats obtenus.

Le troisième chapitre est consacré pour l'étude expérimentale, cette dernière est divisée en deux parties, dans la première partie nous présentons les matériaux utilisés ainsi que les méthodes de caractérisation de ces matériaux ; la deuxième partie est dédiée pour la présentation et l'analyse des différents résultats obtenus dans le cadre de cette étude.

Enfin, on termine notre travail par une conclusion générale.

I.1. Introduction

Divers types des mortiers sont utilisés dans la construction et la restauration des monuments. Le choix du mortier s'appuie sur deux critères : esthétique, et économique.

Par principe, les acteurs de ce domaine pensent qu'on doit utiliser des mortiers qui répondent à un ensemble de spécifications très précises qui sont particulièrement la résistance et la durabilité.

I.2. Mortier

Le mortier est obtenu par le mélange d'un liant (chaux ou ciment), de sable, d'eau et éventuellement d'additions. Des compositions multiples de mortier peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables ; leur choix et le dosage sont fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement [2].

La durée de malaxage doit être dans les normes, afin d'obtenir un mélange homogène et régulier.

Les mortiers peuvent être :

- Préparés sur le chantier en dosant et en mélangeant les différents constituants y compris les adjuvants.
- Préparés sur le chantier à partir de mortiers industriels secs prés dosés et avant l'utilisation, il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire.
- Livrés par une centrale : ce sont des mortiers prêts à l'emploi.

Les mortiers industriels se sont beaucoup développés ces dernières années ; permettant d'éviter le stockage et le mélange des constituants sur des chantiers [2].

I.3. Compositions des mortiers

Les mortiers sont constitués par des mélanges de [2] :

- Liant (ciment ou chaux) ;
- Eau ;
- Sable ;
- Adjuvants.

I.3.1. Les liants

Les liants sont des liquides, des poudres ou des pâtes permettant d'associer les éléments constitutifs des mortiers et des bétons tels que les sables et les granulats.

Les liants permettent d'assembler et de souder les matériaux lors de la prise et du durcissement [3].

I.3.1.1. Les différentes catégories de liants

On distingue principalement 2 catégories de liants.

I.3.1.2. Les liants hydrauliques

Les liants hydrauliques sont les plus employés dans le bâtiment. Les liants hydrauliques sont d'origine minérale. Ces derniers forment une pâte qui fait prise au contact de l'eau et durcit lors de la phase d'hydratation. Les trois principaux liants hydrauliques sont le ciment, la chaux et le plâtre.

Le ciment est obtenu suite au broyage et à la cuisson de roches calcaires (environ 80 %) et d'argile permettant d'obtenir le clinker. D'autres composants tels que des constituants minéraux et des additifs sont ajoutés pour la fabrication de différents types de ciments. Les ciments sont classés en fonction de leur composition et de leur résistance. Ainsi, on distingue principalement 5 types de ciments : le ciment de haut-fourneau, le ciment pouzzolanique, le ciment Portland, le ciment Portland composé et le ciment au laitier et aux cendres. D'autres ciments spéciaux tels que le ciment prompt à prise rapide ou le ciment alumineux fondu peuvent être utilisés [3].

I.3.1.3. Les liants aériens

Les liants aériens font prise lorsqu'ils sont en contact avec l'air. La chaux aérienne est obtenue par la cuisson de calcaire très pur (de 95 % à 99 %). [3]

I.3.1.4. Utilisation des différents liants

La chaux est utilisée dans le mortier pour enduire, jointoyer ou bâtir. On l'utilise pour la réalisation de dalles dans le bâti ancien, la confection des joints de carrelages en terre cuite, les enduits de matériaux poreux comme les pierres naturelles ou les galets, etc.

Quant aux ciments, ils sont employés pour la réalisation de fondations, de scellements, de dallages en béton, de constructions en béton armé. Le ciment alumineux fondu est employé lors de températures froides ou pour les bétons soumis à des chocs thermiques importants, les travaux maritimes etc. Le ciment prompt est utilisé pour les ouvrages nécessitant une prise rapide tels que les blocages ou lors de réalisation d'ouvrages en milieux agressifs (eaux de mer...).

La chaux aérienne est préconisée pour les enduits fins, les peintures ou les finitions intérieures, en particulier sur les supports anciens en pierre ou en terre.

Enfin, le plâtre est employé pour réaliser des rebouchages, des enduits, pour sceller ou pour confectionner des éléments purement décoratifs. [3]

I.3.2. Les sables

I.3.2.1. Sable normalisé

Les sables utilisés sont les sables appelés « sable normalisé ». Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important : Ils réduisent les variations volumiques, les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide [2].

Généralement les sables peuvent être :

- Naturels roulés (de rivières, de sablières, de plage...), de nature siliceuse ou silico-calcaire ;
- Naturels concassés (roches de carrières), comme des basaltes, porphyres, quartzites. Ils sont anguleux et durs.
- Spéciaux (lourds, réfractaires, légers) :
 - Sable de laitier ;
 - Sable d'oxydes de fer, de chromite ;
 - Sable de briques concassés ; etc.

Le diamètre maximum des grains de sable utilisés pour les mortiers est :

- Extra-fins : jusqu'à 0,8 mm (en tamis), soit 1 mm (en passoire) ;
- Fins : jusqu'à 1,6 mm ;
- Moyens : jusqu'à 3,15 mm ;
- Gros : jusqu'à 5 mm.

I.3.3. Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons. Ils modifient les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (environ de 5% du poids de ciment). Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants : [2]

Les plastifiants (réducteurs d'eau) ;

- Les entraîneurs d'air ;
- Les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs) ;
- Les hydrofuges.

I.3.4. Les ajouts

Les ajouts que l'on utilise dans les mortiers sont [2] :

- Poudres fines pouzzolaniques (cendres volante, fumée de silice...) ;
- Fibres de différentes natures ;
- Colorants (naturels ou synthétiques) ;
- Polymères.

I.4. Les différents types de mortiers

Dans les travaux publics on utilise différents types de mortier :

I.4.1. Les mortiers de ciment

Les mortiers de ciments sont très résistants, prennent et durcissent rapidement. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1/3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 1/2. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables [4].

I.4.2. Les mortiers de chaux

Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment (gras et onctueux). La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments [4].

I.4.3. Les mortiers bâtards

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales, mais des fois on prend une quantité plus ou moins grande de l'un ou l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée [4].

I.4.4. Les mortiers fabriqués sur chantier

Ils sont préparés avec le ciment et le sable du chantier. Le ciment est un ciment courant CPA ou CPJ et parfois des ciments spéciaux comme le ciment alumineux fondu.

On emploie également des chaux hydrauliques et parfois des liants à maçonner. Le sable est le plus souvent roulé (nature silico-calcaires) parfois concassé et le gâchage s'effectue à la pelle ou à l'aide d'une petite bétonnière. Ces mortiers ne sont donc pas très réguliers et les sables peuvent être différents d'une livraison à l'autre, mais de toute façon ils doivent être propre et de bonne granulométrie.

Le sable est généralement dosé en poids (ce qui est préférable), soit en volume (cas des petits chantiers). Dans ce dernier cas, il est très important de tenir compte du phénomène de foisonnement des sables [4].

I.4.5. Le mortier industriel

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien

sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers.

Pour utiliser ce type de mortiers, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre. Les mortiers peuvent contenir des liants et des sables variés ainsi que certains adjuvants et éventuellement des colorants [4].

I.4.5.1. Mortier hydraulique

➤ Définition

Le mortier de chaux hydraulique est fabriqué à partir de calcaires argileux. Il fait sa prise même sans contact avec l'air, sous l'eau par exemple. Ce mortier est employé dans la maçonnerie traditionnelle de pierres ou de briques.

Deux avantages sont qu'il reste plus flexible que le mortier de ciment et est perméable à la vapeur d'eau, donc régule l'humidité ambiante. En revanche, il est plus technique et lent à mettre en œuvre, et demande des conditions de température et hygrométrie plus étroites (néanmoins courantes en zone tempérée).

I.4.5.1. Mortier Résineux

➤ Définition

Les mortiers de résine sont des produits performants pour effectuer des travaux de réparation et de protection des structures en béton. À condition de respecter les dispositions techniques de la norme NF EN 1504-9, ils ont un rôle important à jouer pour garantir la pérennité des ouvrages de bâtiment et de génie civil [5].

Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins :

- ✓ Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié,
- ✓ Mortiers d'imperméabilisation,
- ✓ Mortier d'isolation thermique,
- ✓ Mortier de jointoiement,
- ✓ Mortier de ragréage,
- ✓ Mortier de scellement, mortier pour chapes,
- ✓ Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment, etc.,
- ✓ Mortier de réparation.

I.5. Le rôle d'utilisation de mortier

La pâte plastique obtenue peut jouer plusieurs rôles essentiels

- ✓ Assurer la liaison, la cohésion des éléments de maçonnerie entre eux, c'est-à-dire la solidité de l'ouvrage, le rendre

monolithique.

- ✓ Protéger les constructions contre l'humidité due aux intempéries ou remontant du sol.
- ✓ Sous forme d'enduits aériens.
- ✓ Sous forme d'écrans étanches.
- ✓ Constituer des chapes d'usure, un pour dallages en béton.
- ✓ Devenir la matière première dans la fabrication de blocs manufacturés, carreaux, tuyaux et divers éléments moulés.
- ✓ Être le constituant essentiel du béton
- ✓ Consolide certains sols de fondations sous forme d'injection [4].

I.6. Les principales caractéristiques des mortiers

I.6.1. Ouvrabilité

L'ouvrabilité caractérise l'aptitude d'un béton frais à remplir les coffrages, et à enrober convenablement les armatures. Elle doit être donc telle, que le béton soit maniable et qu'il conserve son homogénéité.

L'ouvrabilité est caractérisée par une grandeur représentative de la consistance du béton frais. Dans le cas de bétons classiques, elle est principalement influencée par :

- la nature et le dosage du liant,
- la forme des granulats,
- la granularité, la granulométrie,
- le dosage en eau.

Le rôle de l'eau est prépondérant pour l'ouvrabilité du béton frais et sur les propriétés du béton durci :

- L'eau donne au béton sa maniabilité, d'une part par son action lubrifiante sur les différents grains, d'autre part par la cohésion due à la pâte provoquée par l'association des grains fins (ciment et fines) avec elle.
- L'eau permet l'hydratation du ciment et donc le durcissement du béton. Rappelons qu'un ciment Portland demande environ 25% de son poids en eau pour s'hydrater complètement. Toute variation de la quantité d'eau entraîne des modifications de la vitesse de durcissement et des performances mécaniques.

Le dosage en eau ne peut pas être augmenté au-delà d'une certaine valeur afin d'améliorer l'ouvrabilité sans entraîner des inconvénients. Les conséquences d'un excès d'eau sont :

- risque de ressuage,
- augmentation du retrait,

- augmentation de la porosité,
- défectuosité du parement : bullage,
- risque de ségrégation des constituants du béton,
- diminution de la compacité et corrélativement des résistances [6].

L'ouvrabilité d'un mortier se mesure à l'aide de divers appareils. Les plus connus sont :

I.6.2. La table à secousses

Le mortier, après avoir été mis en place et démoulé d'un moule tronconique, reçoit 15 chocs en 15 secondes. On mesure le diamètre de la galette ainsi obtenue. L'étalement en % est donné par la formule :

$$E\% = 100 \frac{D_r - D_i}{D_i}$$

Avec D_r = diamètre final et D_i = diamètre initial.

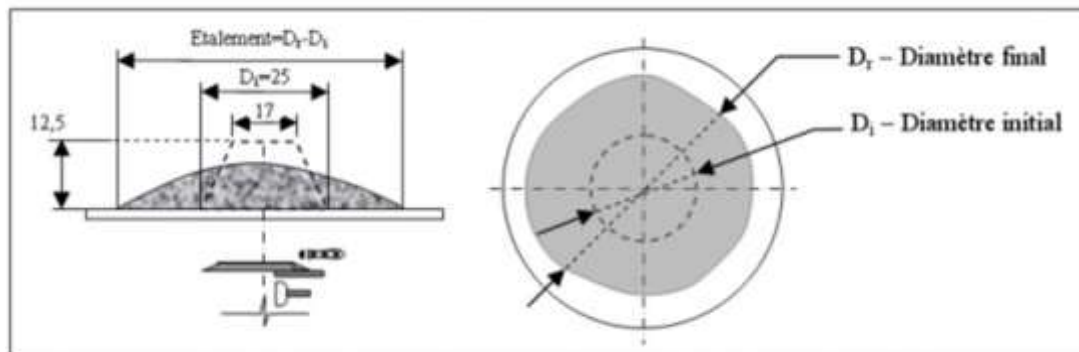


Figure. I 1 Table à secousses [2].

I.6.3. Le Maniabilimètre du LCPC

Il est constitué d'un moule parallélépipédique comportant une paroi mobile et un vibreur. Le principe de l'essai consiste, après avoir enlevé la paroi mobile, à mesurer le temps mis par le mortier sous vibrations pour atteindre un repère gravé sur la face intérieure du moule.

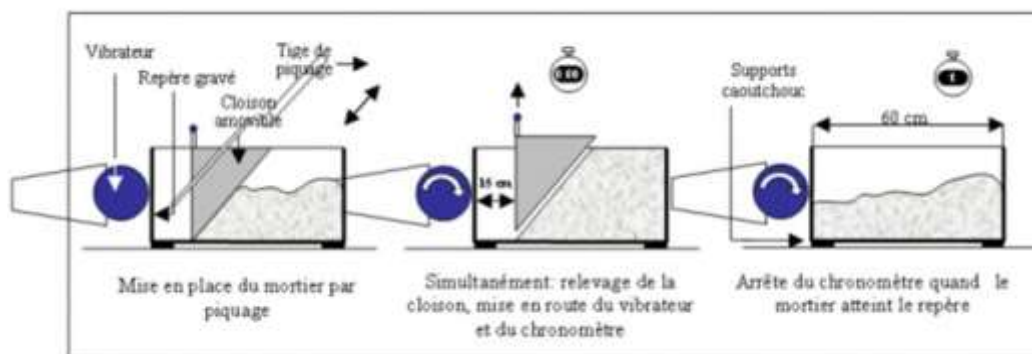


Figure.I.2 Principe de fonctionnement du Maniabilimètre [2].

I.6.4. L'écoulement au cône

Dans le cas d'un mortier fluide, on peut mesurer le temps d'écoulement d'une certaine quantité de mortier au travers d'un ajustage calibré situé à la partie inférieure d'un cône. Le cône peut aussi être muni d'un vibreur.

I.6.5. La prise

Le temps de prise se mesure habituellement sur une pâte pure de ciment de consistance normale (24 à 30% d'eau) et conformément à la norme concernée (à l'aide de l'appareil de Vicat). Il est possible d'obtenir (hors norme) le temps de prise d'un mortier avec le même appareillage mais en plaçant une surcharge de 700 grammes sur le plateau supérieur. Le poids de l'aiguille pénétrant dans le mortier est de 1000 grammes.

Le début de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 5 ± 1 mm du fond (taille des plus gros grains de sable) et la fin de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 0.5 mm du niveau supérieur.

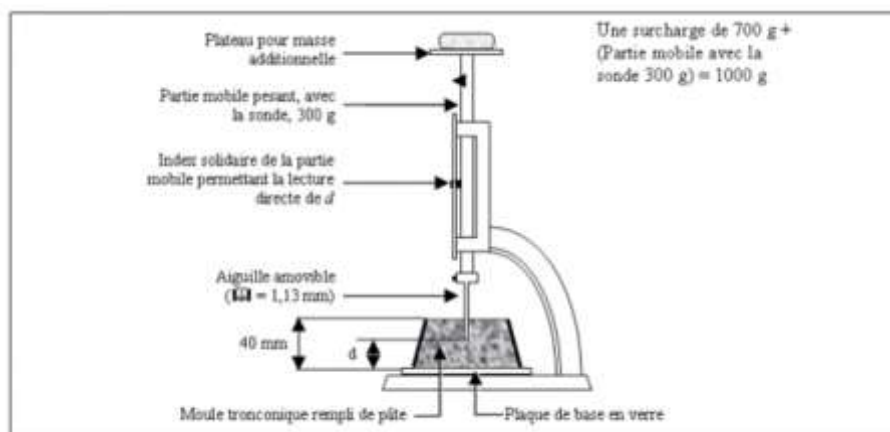


Figure.I.3 Appareil de Vicat muni de l'aiguille avec une surcharge [2].

I.6.6. Résistances mécaniques

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4 x 4 x 16 cm conservés dans l'eau à 20 °C.

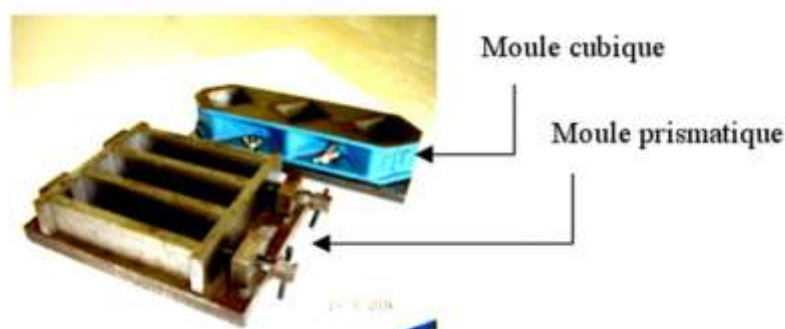


Figure.I.4 Moule pour moulage des éprouvettes de mortier [2].

Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours).

Les résistances des mortiers (comme dans le cas des bétons) dépendent de très nombreux facteurs :

- Nature et dosage en ciment ;
- Rapport E/C ;
- Granulométrie et nature du sable ;
- Énergie de malaxage et mise en œuvre ;
- Protection les tous premiers jours ;

I.6.7. Retraits et gonflements

Les retraits se mesurent sur des prismes 4 x 4 x 16 cm en mortier 1/3, munis de plots à leurs extrémités et conservés, après démoulage, dans une enceinte à 20 °C et à 90 % d'humidité relative. Ce retrait progresse à peu près comme le logarithme entre 1 et 28 jours [2].

Le mortier prend son retrait plus rapidement que la pâte pure. Le rapport du retrait de la pâte pure sur le retrait du mortier croît avec le temps. Il est de l'ordre de 1,5 à 2,5 les premiers jours, puis augmente pour atteindre 2,5 à 3,5 en un an. En moyenne, le retrait sur mortier est 2 à 3 fois plus faible que celui de la pâte pure (avec le même ciment).

Le gonflement des mortiers (qui se produisent lorsqu'ils sont conservés dans l'eau) se mesure sur les mêmes éprouvettes de 4 x 4 x 16 cm conservées dans l'eau à 20 °C. Ils sont en général assez faibles (cas de ciment stable ayant une expansion aux aiguilles de le Chatelier inférieure sur pâte pure à 10 mm).

1.7. Béton fibré

I.7.1. Définition de béton fibré

On appelle béton de fibre, un béton dans lequel on a incorporé une armature par inclusion direct de fibres isolées au moment du gâchage ou de la projection. Les fibres sont assimilables à un granulat spécial de forme très allongée et de forte résistance à la traction, susceptible d'améliorer légèrement la résistance à la traction du matériau et de ralentir la propagation des fissures. En pontant les fissures, les fibres améliorent le comportement post fissuration de la matrice en maintenant une forte portance pendant l'accroissement des déformations [7].

I.7.2. Généralités sur le béton armé

La mise en œuvre du béton armé est généralement attribuée à Joseph Lambot, qui, en 1848, fit flotter une barque en ciment armé et à Joseph Monier, qui construisait indépendamment

grâce à ce matériau, des bacs à fleurs en 1849.

L'emploi du béton armé dans les structures s'étend dès lors rapidement en France sous l'impulsion de Joseph Monier, mais aussi de Coignet, de François Hennebique et de Armand Gabriel qui considèrent dès 1906, une circulaire ministérielle fixe des instructions relatives à l'emploi du béton armé, codifiant ainsi pour la première fois la conception et le calcul des ponts et des bâtiments avec ce matériau.

Un nouvel essor est apporté par l'invention vers 1930, du béton précontraint par Eugène Freyssinet.

Un pas conceptuel important est alors franchi, qui a constitué une véritable révolution dans l'art de construire, tant par la mise en pratique de la notion de précontrainte que par l'approfondissement de la compréhension du comportement mécanique et rhéologique du béton [8]. L'idée de renforcer le béton avec des éléments courts en acier de type fibres n'est pas récente, elle date depuis l'antiquité. D'après le chercheur Exode les Egyptiens ont utilisé les pailles pour renforcer la brique de boue. Il y a aussi une certitude que les fibres d'amiante ont été utilisées dans le renforcement des poteries en argile en Finlande, il y a de cela 5000 ans [8].

Dans d'autres sources il a été indiqué que les pailles ont été utilisées pour renforcer les briques, tandis que les poils d'animaux et les fibres d'amiante ont été introduits pour renforcer le plâtre et la pâte de ciment Portland. On peut noter aussi la réalisation au milieu du XV^e siècle d'alliages métalliques avec des fibres de carbone [8].

En 1963, un article a été publiés Sous le titre, "*The mechanics of crack arrest in concrete*" Dans cet article, une analyse théorique des résultats donnés par les brevets de *Battelle Development Corporation* a été validée avec des données expérimentales obtenues à partir de l'essai de flexion [9].

Par la suite, les recherches sur les bétons de fibres ont connu un réel développement grâce aux travaux de [9]. Dans ces travaux, qu'on peut qualifier comme des essais pilotes en déformation, les chercheurs sont arrivés à mettre en évidence les propriétés nouvelles de ce composite. Ils ont décrit les mécanismes de propagation et d'arrêt d'une fissure au sein d'une matrice fragile [8].

La fin des années soixante a connu la participation d'un grand nombre de chercheurs afin d'orienter les axes de recherche vers l'application, avec toute la fiabilité du béton de fibres dans les domaines de construction. Les travaux se multiplient et une multitude de types de fibres a été introduite dans le commerce comme étant de nouvelles applications.

Le plus grand progrès dans ce domaine a commencé dans les années soixante-dix avec

l'incorporation des fibres d'acier dans l'industrie réfractaire [8].

A partir de l'année 1970, il s'est produit une sorte de réveil dans le domaine de la technologie des bétons renforcés de fibres. L'amélioration de certaines propriétés spécifiques des bétons renforcés de fibres a permis leur utilisation de façon permanente dans des applications industrielles. Mais aujourd'hui, avec le développement des moyens expérimentaux, l'utilisation de ce type de matériaux s'est orientée vers les structures présentant des phénomènes de fissuration avec des bétons traditionnels [8].

I.7.3. Les caractéristiques et les propriétés des fibres

Chaque famille de fibres présente des caractéristiques et des propriétés spécifiques

Tableau.I.1 Les caractéristiques et les propriétés des fibres [10].

	Masse volumique (g/cm ³)	Diamètre moyen (μm)	Résistance à la traction (N/mm ²)	Module d'élasticité (Gpa)	Allongement à la rupture (%)
Fibres métalliques	7,85	50-1000	1000-2500	150-200	3-4
Fibres de verre	2,6	9-15	2000-3000	80	2-3,5
Fibres polypropylène	0,9	>4	500-750	5-10	10-20

Pour faciliter leur utilisation, les fibres doivent être faciles à incorporer dans le béton et ne pas perturber le malaxage (leur dispersion dans le béton doit être rapide) ; se répartir de manière homogène lors du malaxage au sein du béton (pas d'agglomération de fibres) lors du bétonnage.

- **Remarque**

L'influence des fibres sur la maniabilité du béton dépend de leur dimension et de leur dosage.

Pour améliorer les performances mécaniques des bétons (ductilité, résistance en flexion, résistance aux chocs, etc.), elles doivent :

- ✓ Être déformables sans être fragiles ;
- ✓ Être relativement longues et fines et présenter une grande surface spécifique ; offrir une bonne capacité de déformation ;
- ✓ Posséder un module d'élasticité plus élevé que celui de la matrice cimentaire ;
- ✓ Présenter une bonne adhérence avec la pâte de ciment [10].

I.7.4. Rôles des fibres dans le béton

Au début, les chercheurs ont essayé par l'addition de fibres dans le béton, d'augmenter ses caractéristiques mécaniques comme la résistance à la compression ou la résistance à la flexion. Le but est uniquement une résistance très élevée du béton [10].

Elles peuvent également, dans certaines applications, remplacer les armatures passives.

Selon les fibres utilisées (forme et nature) et les ouvrages auxquels elles sont incorporées [10] ; ce rôle se traduit par des améliorations relatives a :

- ✓ La cohésion du béton frais.
- ✓ La déformabilité avant rupture.
- ✓ La résistance à la traction par flexion.
- ✓ La ductilité et la résistance post fissuration.
- ✓ La résistance aux chocs.
- ✓ La résistance à la fatigue.
- ✓ La résistance à l'usure.
- ✓ La résistance mécanique du béton aux jeunes âges.
- ✓ La réduction des conséquences du retrait par effet de couture des microfissures.
- ✓ La tenue au feu.

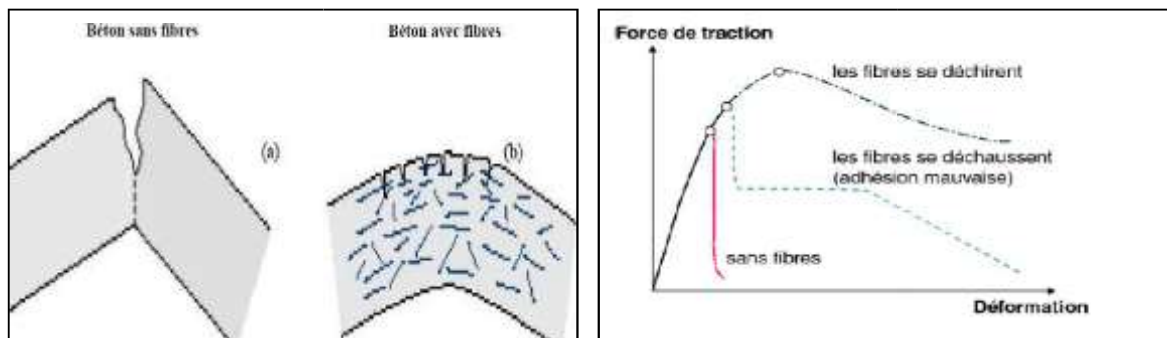


Figure.I.5. Illustration de l'apport du renfort par des fibres [10].

- ✓ La résistance à l'abrasion

Le contrôle de la propagation d'une fissure dans un matériau en état de service en réduisant l'ouverture des fissures, comme il est indiqué dans la Figure I.5 (a) [10].

I.7.5. Les bétons renforcés de fibres

L'incorporation de fibres dans le béton permet de mieux contrôler le développement de la fissuration car les fibres pontent les fissures et ont un effet de re-fermeture sur celles-ci.

Par ailleurs les fibres permettent de transférer des efforts significatifs à travers les fissures,

ce qui conduit à une hausse de la résistance post-fissuration en traction et en compression à l'échelle du matériau. Cela conduit aussi à une augmentation de la résistance ultime en traction, de la ductilité en flexion, de la ductilité en cisaillement à l'échelle du matériau et de la structure [11].

La contribution mécanique des fibres permet donc le remplacement partiel des barres d'armatures, réduisant les délais et coûts de mains-d'œuvre liés au ferrailage tout en facilitant la mise en place du béton. Cependant, les bénéfices engendrés par l'ajout de fibres diffèrent en fonction du pourcentage, du type de fibres ajoutées et de la matrice des bétons. Il est donc important de différencier différentes catégories de bétons fibrés. Cette section reprend le rapport de [12].

I.7.6. Composition des bétons de fibres et leurs comportements

Les bétons renforcés de fibres ont fait l'objet depuis maintenant une cinquantaine d'années d'efforts de recherche importants.

Le développement depuis une dizaine d'années de matrices cimentaires performantes a relancé l'intérêt pour l'utilisation des composites cimentaires renforcés de fibres. L'utilisation de fibres augmente la ductilité du béton, c'est-à-dire ses caractéristiques en post fissuration. De plus, l'utilisation de fibres peut apporter une amélioration en flexion, en tension, en torsion et en cisaillement ainsi qu'à la résistance aux impacts et à la fatigue. Un béton fibré continue donc à supporter des charges après la formation de fissures.

L'augmentation de la capacité en flexion est obtenue grâce à l'augmentation de la résistance résiduelle par l'utilisation des fibres. Cette propriété est aussi fonction de la nature, de la quantité et de l'efficacité des fibres utilisées. Il est important de se rappeler que la distribution uniforme des fibres dans le mélange est la condition essentielle pour obtenir une amélioration des caractéristiques mécaniques du béton fibré.

Il faut combiner tout apport de fibres dans le béton à des techniques d'insertion des fibres permettant d'éviter la formation « d'oursins ».

La recherche d'une composition optimale du béton de fibre est assez difficile, car l'ouvrabilité et l'homogénéité du composite dépend de trois facteurs essentiels à savoir :

La géométrie des fibres définit par l'élancement, le volume de fibres ajoutées dans le béton et la forme d'ancrage des fibres [13].

I.7.6.1. Béton Ordinaire

C'est le béton de composition traditionnelle, ayant une résistance à la compression qui varie entre 20 et 40 MPa à 28 jours. Il peut dans certains cas contenir des ajouts minéraux. Sa matrice présente une densité moyenne et un rapport eau/liant (E/L) égal ou supérieur à

0,40.

I.7.6.2. Béton Fibré Ordinaire (BFO)

Ce béton est de composition et de caractéristique similaire à un béton ordinaire à l'exception de l'ajout d'une quantité modérée de fibres souvent autour de 0,5%, lui donnant une certaine ductilité et un meilleur contrôle de la fissuration.

I.7.6.3. Béton à Hautes Performances (BHP)

Ce béton de composition traditionnelle possède une résistance à la compression qui varie entre 50 et 90 MPa à 28 jours. Ces bétons ont un rapport E/L entre 0,30 et 0,40, ils comprennent des ajouts minéraux. La matrice est d'une densité élevée et peu perméable à l'état non fissuré.

I.7.6.4. Béton Fibré à Hautes Performances (BFHP)

Ce béton est de composition et de caractéristique similaires à un béton à hautes performances à l'exception de l'ajout d'une quantité modérée de fibres comprise entre 0,5% et 1,5%. Ce béton offre un très bon contrôle des macro-fissures, car sa résistance post fissuration en traction est nettement supérieure à son homologue sans fibre.

I.7.6.5. Béton Fibré à Ultra Haute Performance (BFUP)

Ce béton a une composition granulaire très fine et un rapport E/L variant entre 0,15 et 0,25. Ce béton présente une résistance à la compression qui varie entre 120 et 180 MPa à 28 jours. Il comporte une grande quantité d'ajouts minéraux et d'un dosage en fibres variant entre 2 et 6%.

Les fibres entrent en action dès la création de microfissures donnant lieu à la formation d'une phase écrouissant en traction avant d'atteindre la résistance ultime en traction, de même qu'une résistance post-fissuration très élevée [11].

Tableau.I.2 Les compositions et les propriétés mécaniques des bétons présentés précédemment [11].

Composition	BO	BFO*	BHP	BFHP*	BFUP
Rapport E/C	>0.40	>0.40	0.30 a 0.40	0.30 a 0.40	0.15 a 0.25
Liants (kg/m ³)	300-400	300-400	350-450	400-700	800-1000
Ajouts minéraux	Parfois	Parfois	Oui	Oui	Oui
Sable	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Pierre	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
Fibres	Non	(0.25 à 1%-vol)	Non	(0.5 à 1.5%-vol)	(2 à 6%-vol)

Propriétés	BO	BFO*	BHP	BFHP*	BFUP
Compression(MPa)	20 a 40	20 a 40	50 a 90	50 a 90	120 a 180
Traction(MPa)	1.5 a 2.5	1.5 a 2.5	3.0 a 4.5	3.0 a 4.5	7 a 15
Module (GPa)	20 a 25	20 a 25	25 a 35	25 a 35	30 a 50

Remarque : Dosage en fibre minimal de 0.5% pour réduction de perméabilité et apport structural significatifs [11].

La composition des fibres incorporées dans le béton peut être métallique, synthétique, naturelle ou en verre. Leur géométrie (longueur et forme) diffère selon le type de béton à renforcer. En effet plus le béton aura une résistance à la compression faible, plus la fibre sera longue (macro-fibre) et devra avoir un élanement (longueur/diamètre de la fibre) important. Ceci permet d'avoir une longueur d'ancrage adéquate de la fibre dans la matrice du béton. À l'inverse, plus la résistance en compression du béton est élevée, plus sa matrice sera dense et résistante. Ceci permettra d'utiliser des fibres plus courtes (mésos et microfibrés) et en plus grand pourcentage [11].

I.7.7. Durabilité des bétons de fibres

Pour ce qui concerne les fibres synthétiques, à l'exception de certaines fibres d'aramide, il n'y a pas de problème de durabilité de la fibre dans le béton. Pour ce qui concerne les fibres métalliques, la corrosion des fibres peut bien évidemment survenir.

Le retour d'expérience et la recherche concluent sur deux points : la corrosion superficielle des fibres peut provoquer des salissures à la surface des structures exposées et ne génère aucune pathologie, ni perturbation dans le fonctionnement mécanique des structures les utilisant. Cette corrosion potentielle des fibres métalliques peut être minimisée dans la pratique en :

- En optimisant la formulation du béton fibré ;
- En utilisant des coffrages non métalliques ou munis d'une "peau interne" (tissu synthétique, par exemple) ;
- En utilisant des fibres galvanisées.

Le second aspect relatif à la durabilité des bétons fibrés concerne la tenue au feu des structures. Les fibres métalliques n'apportent pas plus de déterminant dans la tenue au feu des structures. Ce que l'on peut simplement souligner est qu'une structure en béton de fibres métalliques se comporte plutôt mieux vis-à-vis du feu qu'une structure en béton armé classique (moins d'éclatements). Au contraire, certaines fibres synthétiques, notamment les microfibrés de polypropylène, ont un effet positif très significatif vis-à-vis de cette

problématique. Cette efficacité constatée est liée à un phénomène très simple : lors d'un feu, les fibres de polypropylène disparaissent (elles ont atteint leur point de fusion) pour laisser la place à un réseau important de fines "canalisations" (capillaires) réparties dans tout le volume de la structure. Ces canalisations servent de vases d'expansion pour la vapeur d'eau sous pression générée par le feu (évaporation de l'eau présente dans le béton).

Pour ce qui concerne la durabilité des structures en béton fibré, un dernier point important concerne le maintien dans le temps d'une fonction demandée à une structure donnée à l'exemple d'un revêtement quelconque en béton fibré à qui on demande d'assurer une fonction d'étanchéité (vis-à-vis des infiltrations d'eau, par exemple).

Du fait du fluage des fibres synthétiques, évoqué précédemment, cette fonction assurée par une structure en béton de fibres synthétiques, peut ne plus l'être quelque temps plus tard. Il s'agit d'un problème pour lequel les bétons de fibres métalliques ne sont pas concernés.

Enfin, dans le cas d'éléments préfabriqués manu portables, ou dans celui des structures susceptibles d'être en contact direct avec les usagers, des problèmes de sécurité peuvent se poser, s'agissant de bétons de fibres métalliques. Ce phénomène concerne surtout les bétons de fibres dont les fibres sont de petits diamètres, c'est-à-dire inférieures ou égaux à 0,25 mm.

En effet, on ne peut jamais garantir à 100 % qu'aucune fibre métallique n'affleurerà à la surface de la structure, ce qui peut occasionner des blessures. Des solutions techniques existent pour pallier cet inconvénient, solutions dont il ne faut pas faire l'impasse. Ces problèmes de blessure occasionnés par des fibres n'existent pas avec les fibres synthétiques [14].

I.7.7.1. Réparation par matériaux composites

De nos jours, bon nombre de structures en béton armé ayant été exposées à des environnements agressifs présentent des problèmes de durabilité et risquent de ne pas atteindre leur durée de vie utile théorique. La corrosion induite par les chlorures et/ou la carbonatation est la principale cause de détérioration des structures de béton armé. Les coûts des réparations et des restaurations effectuées aux USA, au Canada et dans la plupart des pays européens représentent un fort pourcentage des dépenses reliées aux infrastructures.

En Europe par exemple, le coût annuel des réparations dues à la corrosion des barres d'acier d'armature est estimé à un milliard d'Euros [14].

Depuis que le béton armé existe, la présence et l'ouverture de fissures de flexion sont

considérées comme préjudiciables vis-à-vis de la corrosion, car elles sont des chemins d'accès préférentiels aux ions agressifs [14].

L'utilisation de matériaux composites FRP associée à des colles sur des surfaces tendues ou sur des surfaces latérales est un moyen très forcé et en diminuant la flèche des structures, il augmente également leur raideur et limitant ainsi la propagation des fissures. Ce phénomène permet de diminuer la corrosion des armatures et d'améliorer la durabilité des structures. Différentes technologies de réparation et de maintenance des ouvrages sont couramment utilisées depuis de nombreuses années.

Le traitement du béton peut faire l'objet d'opérations de ragréage par application de couches de peinture ou de mortier hydraulique ou polymérique après traitement de la poutre dégradée. Les zones fissurées font l'objet d'injection de polymères (Figure I.6). Les différentes techniques de renforcement structurel correspondent soit à la projection de béton fibré ou non fibré, soit au collage de tôles d'acier suivant le procédé l'Hermite (Figure. I.7), soit à l'application d'une précontrainte additionnelle par câbles métalliques ou composites [14].

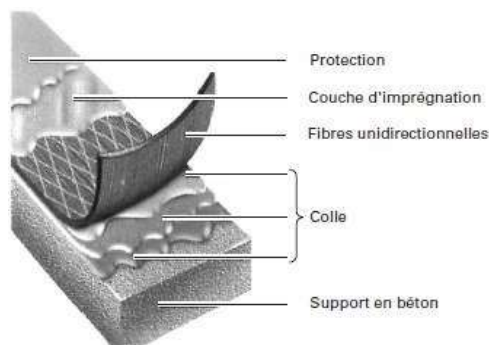


Figure I.6. Conception du système multicouche [13].

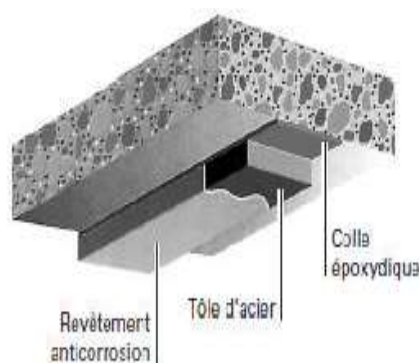


Figure I.7. Application de plats métalliques selon le procédé l'Hermite [13].

I.7.7.2. Utilisations des fibres dans les structures

Les premières applications industrielles des BFM se sont imposées pour des raisons technologiques. Une deuxième famille d'applications, qui est le produit de réflexions et de modélisations rendues possibles par la recherche, commence à apparaître. Dans la première catégorie, on trouve généralement des structures peu sollicitées : les dallages industriels, le béton projeté, les pieux forés et certains produits préfabriqués. Les dallages industriels consomment la majeure partie des fibres métalliques utilisées à travers le monde [15].

Les fibres se sont imposées à la place d'un treillis soudé forfaitaire, souvent mal posé et gênant la mise en œuvre. Dans le même type d'applications, on peut citer les voies de roulement des aéroports ainsi que les réparations de chaussées ou de trottoirs. Dans le cas de voies de roulement hautement sollicitées en fatigue, on n'hésite pas à utiliser des quantités élevées de fibres [15].

Pour le béton projeté en tunnel, la technique traditionnelle consiste à mettre en place un treillis dont la pose est longue et coûteuse [16].

De plus, les armatures créent une "ombre" lors de la mise en place du béton et génère des "hors profils" qui augmentent la quantité de béton à mettre en place. En effet, il est difficile de descendre des cages d'armatures dans un pieu de grande profondeur et cela prend du temps. L'emploi dans les produits préfabriqués se justifie lui aussi par une facilité de mise en œuvre par rapport à la solution en béton armé. Parmi les applications, on peut citer les abris de transformateurs. Parmi les applications en bâtiment, on peut citer les panneaux de façade. La deuxième catégorie de produits est en plein développement. Citons par exemple les dalles champignons. Les fibres paraissent particulièrement adaptées pour remplacer les ferraillements tridimensionnels complexes [15].

Dans le cas des tunnels, on est parvenu à une optimisation du creusement qui met en avant l'intérêt des fibres. On a en effet conçu un tunnelier qui coule le béton de fibres sous pression à l'avancement, le tunnelier servant de coffrage glissant, ce qui permet de diminuer le temps de fabrication et d'augmenter la sécurité. Un nombre important de recherches ont été effectuées sur des éléments de structure. Des poutres ont ainsi été testées en flexion, à l'effort tranchant et en torsion [15].

I.7.7.3. Influence des fibres métalliques sur le comportement mécanique du béton

Les fibres ont généralement pour rôle le renforcement du béton en s'opposant à la propagation des fissures et en améliorant sa ductilité. Ses propriétés ont été analysées par plusieurs

chercheurs à travers les études sur le comportement des BFM sous la compression, la traction, la torsion et le cisaillement [17].

Comportement en compression

Des nombreuses études et recherches montrent que le comportement à la compression des BFM a légèrement changé par rapport au béton témoin. La résistance à la compression des BFM par rapport au BT varie selon le pourcentage des fibres. Tous les chercheurs ont montré la présence d'une ductilité.

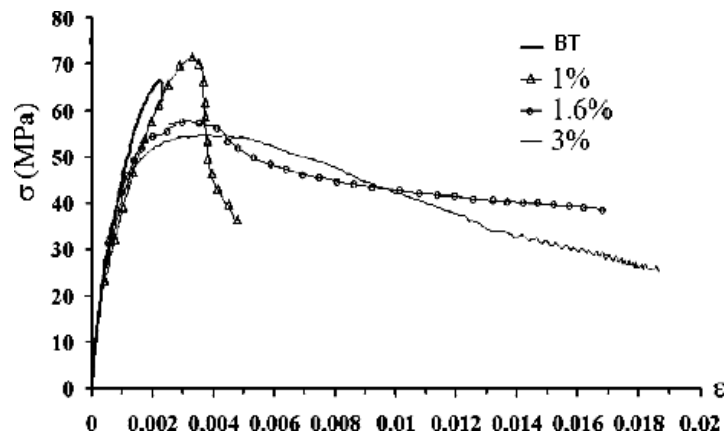


Figure I.8. Courbe d'évolution de la contrainte à la compression en fonction de la déformation avec différent pourcentage des fibres [16].

Comportement en traction

La faible résistance à la traction du béton peut être compensée par l'ajout des fibres. Les fibres sont introduites dans le béton pour compenser la fragilité du matériau en traction par une couture de la macro-fissuration. Le bon comportement en traction des bétons de fibres est donc la propriété majeure. Les études réalisent montrer que le comportement à la traction, la ductilité et la déformation des BFM sont nettement améliorées par rapport au béton de référence. Cette amélioration est influencée par la formulation, la qualité du béton, le dosage en fibres, le type, la géométrie et l'orientation des fibres.

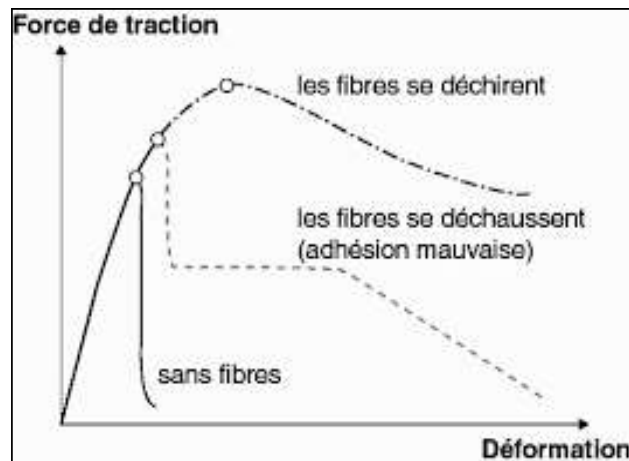


Figure.I.9 Diagramme représente comportement de charge-déformation de béton avec fibres et béton sans fibres [17].

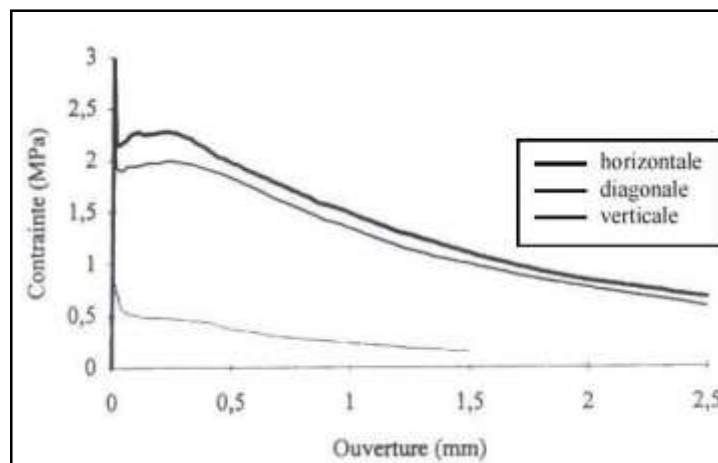


Figure.I.10 Influence de la direction du carottage sur le comportement en traction d'un béton fibré [17].

D'autres et plusieurs études et essais ont été réalisés sur différents comportements de béton renforcé par fibre métallique :

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

Comme conclusion les études montrent que les contraintes de béton fibré sont liées aux plusieurs facteurs et paramètres dépendent essentiellement aux :

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

Ces paramètres influent essentiellement sur l'adhérence béton-fibres dans la matrice [17].

I.8. Conclusion

L'histoire de l'utilisation de la fibre dans la construction remonte à plusieurs siècles. Au cours des 30 dernières années, l'intérêt pour leur utilisation n'a cessé d'augmenter pour la fabrication et le renforcement du béton prêt à l'emploi, du béton préfabriqué, du béton projeté et du béton auto compactant. Le paramètre numérique le plus élémentaire décrivant la fibre est la finesse de la fibre, qui est définie comme le rapport de la longueur de la fibre au diamètre (l / d). C'est l'un des paramètres les plus importants de la technologie du béton fibré car il joue un rôle majeur dans l'ouvrabilité du béton. Par conséquent, la fonction principale des fibres dans le béton est de réduire la propagation des fissures en cours d'utilisation et de transformer la fragilité du béton en ductilité.

II. Recherche bibliographique sur mortiers fibrés

II.1. Etude réalisée par A. Kheyroddin et al

En 2021, une étude est réalisée par A. Kheyroddin et al, sur le thème : La résistance aux chocs du béton renforcé avec des fibres de polypropylène et un enrobage en PRFV ; Dans cette campagne expérimentale, 52 échantillons de béton avec différentes résistances à la compression (20, 30 et 40 MPa à 28 jours) et avec différents rapports de fibres (0%, 1%, 1,5% et 2%) ont été élaborés. La moitié des échantillons de béton ont été enveloppés par des échantillons de PRFV. Ensuite, ils ont été soumis à une perte de poids (46,7 kg et 66,8 kg) [18].

II.1.1 Matériaux utilisés

II.1.1.1. Polymères renforcés de fibres de verre (GFRP)

Des feuilles de GFRP bidirectionnelles ont été attachées sur la circonférence des 26 échantillons au moyen de la résine époxy. Les figures II.1 (a) et (b) montrent les feuilles de GFRP et le processus d'emballage du GFRP.

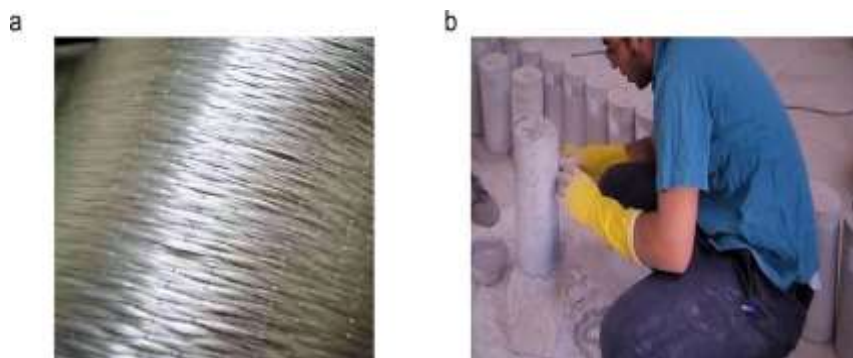


Figure.II.1. (a) Feuilles de GFRP, et (b) Emballage de GFRP [18].

II.1.1.2. Fibres de polypropylène

Dans cette recherche, des fibres de polypropylène avec des rapports de 0%, 1%, 1,5% et 2% ont été utilisées. Les fibres de polypropylène (également connues sous le nom de polypropylène) sont des polymères thermoplastiques ayant plusieurs usages. Le polypropylène est fait avec un propylène monomère en utilisant la procédure de polymérisation. Il faut ajouter que le polypropylène est rattaché à la catégorie des polyoléfines. La couleur du polypropylène est blanche et est la deuxième fibre la plus utilisée dans les fibres de renforcement des structures en bétons. La figure II.2 montre les fibres de polypropylène utilisées [18].



Figure.II.2 Polypropylène fibres [18].

II.1.1.3. Caractéristiques de l'échantillon

Dans cette recherche, 52 échantillons ont été faits de béton de classe de résistance : C20, C30 et C40. Les échantillons de béton avaient des formes cylindriques de dimensions 150×300 mm². Le béton a été compacté au moyen d'une tige en acier pour extraire l'air du béton en trois couches séparées, 25 impacts ont été appliquées après remplissage de chaque couche du béton. Il faut ajouter que le béton avait des agrégats de poids normal d'une taille maximale nominale de 10 mm. De plus, le béton a été construit avec du ciment Portland de type 2 avec un rapport E/C de 0,5. Ces échantillons concrets étaient symbolisés par une règle spécifique dans laquelle la première lettre (C) montrant la qualité du béton, le deuxième mot (PP) polypropylène, et le numéro suivant montre son rapport de teneur. Le troisième mot (GFRP) représente la catégorie d'emballage [18].

II.1.1.4. Dispositif expérimental

La figure 3 montre le montage expérimental. Un dispositif de chargement par impact (posé sur un sol solide) a été utilisé pour infliger des impacts sur les spécimens. Les poids ont été fixés sur le dessus des spécimens (à une hauteur de 1,6 m) au moyen de cordes traversant une bobine reliée à la mi-portée de la poutre supérieure de cet appareil. Les poids étaient de forme carrée en fonte avec des dimensions de 300×300 mm². Les poids ont été placés sur le dessus des spécimens de manière à ce que les centres des poids et des spécimens modèles coïncident les uns avec les autres en utilisant un plomb laser, puis les cordes ont été coupées. Après que les spécimens en béton ont été placés sur le sol solide sous les poids (46,7 kg et 66,8 kg). Les poids ont été libérés en coupant les cordes sur les spécimens en béton.

Après collision des poids aux spécimens, le poids des spécimens a été mesuré et comparé à leurs poids initiaux.

Cette procédure a duré jusqu'à ce que la dégradation des spécimens (30% de perte de poids) soit observée. Le nombre de chutes de poids nécessitées jusqu'à 30 % de perte de poids (représentatif de la résistance aux chocs) a été enregistré [18].

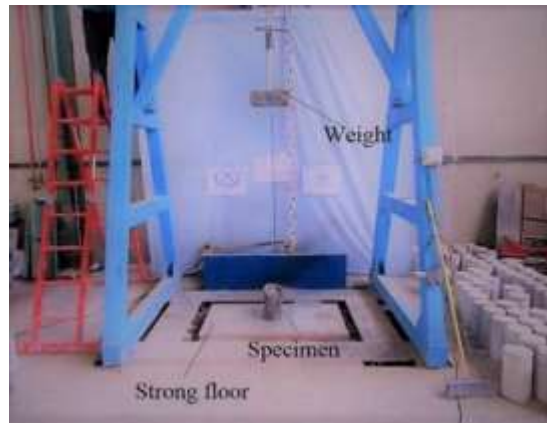


Figure.II.3 Installation du laboratoire [18].

II.1.2. Résultats des essais

La figure II.4 présente les nombres d'impact de chaque échantillon obtenu à partir des expériences. Premièrement, il a été observé que la résistance aux chocs des échantillons augmentait en utilisant du béton à plus haute résistance. Les augmentations du nombre d'impact des échantillons en C30 et C40 étaient de 33,3% et 66,6% sous un projectile de 46,7 kg et de 50 % et 50% sous 66,8 kg. Les observations expérimentales ont montré que le rapport de teneur en fibres de 2% fonctionnait mieux dans les échantillons confinés et non confinés C30 et C40 sous un projectile de 46,7 kg. Ce rapport était de 1,5% pour les échantillons avec béton C20 de moins de 46,7 kg de poids. Quant au poids de 66,8 kg, la teneur optimale était de 1,5 % pour les échantillons confinés C20 et C30, et de 2 % pour les échantillons confinés C40. Le rapport de fibre optimal pour les échantillons de C20 non confinés était de 1,5%, et pour les échantillons de C30 et C40 non confinés était de 2%. Les résultats ont indiqué que l'utilisation du confinement GFRP avait un impact considérable sur l'amélioration de la résistance aux chocs des échantillons. Leurs effets étaient encore plus importants que la résistance à la compression du béton et des fibres de polypropylène. Ensuite, l'utilisation d'un enrobage en PRFV en termes d'amélioration de la résistance aux chocs et de considérations économiques était le meilleur choix parmi l'utilisation de fibres de béton ou de polypropylène à plus haute résistance.

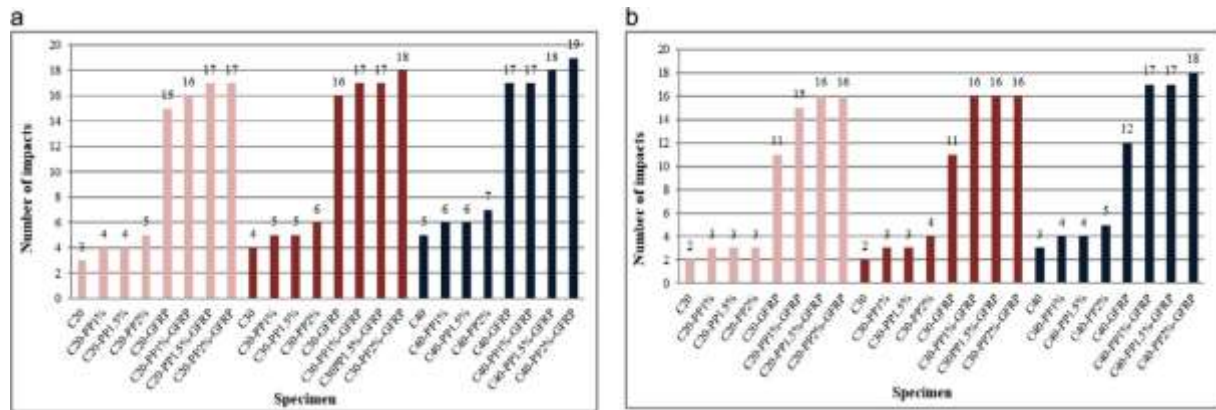


Figure.II.4 Nombre d'impact d'échantillons avec du polypropylène et du PRFC sous : (a) 46,7 kg avec perte de poids, et (b) 66,8 kg avec perte de poids [18].

II.1.2.1. interprétation des résultats

Les observations expérimentales ont démontré que les échantillons non emballés présentaient plus de fissures dans leur corps et leurs parties inférieures en plus des fissures sur leurs parties supérieures sur lesquelles les impacts étaient directement infligés. Dans les échantillons emballés, les fissures n'ont été observées que dans les parties supérieures. Les observations ont montré que l'application de rapports de fibres plus élevés réduisait la fissuration dans les échantillons. Les Figues.II.5 et II.6 montrent les fissures et les dommages des échantillons C20-GFRP et C20-PP1,5% -GFRP après avoir imposé des impacts. Ce phénomène a démontré que le mode de défaillance des échantillons enveloppés était le décollement GFRP. Contrairement aux échantillons non confinés, il n'y a eu aucun dommage, tel que la destruction de l'ensemble de l'échantillon, la ségrégation d'un grand morceau d'échantillons [18].



Figure.II.5 Les dommages de l'échantillon C20-GFRP: a) avant les impacts, b) après le 11e impact, et c) après le 15e impact [18].

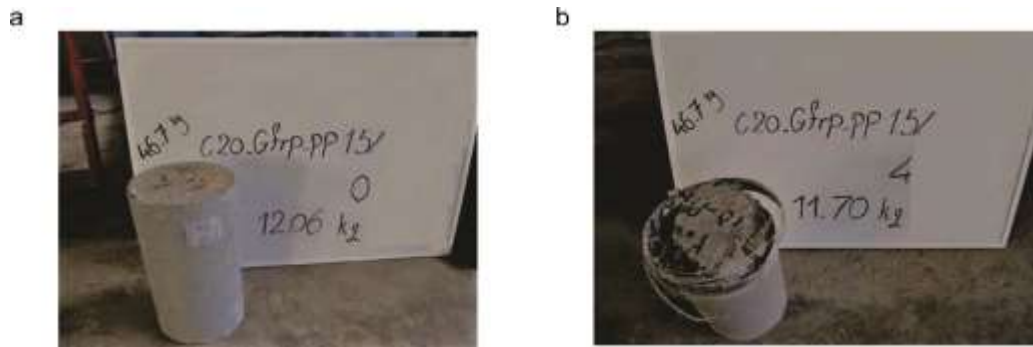


Figure.II.6 Les dommages de l'échantillon C20-GFRP-PP1,5% : (a) avant les impacts, et (b) après le 4ème impact [18].

II.1.2. Conclusion

Dans cette recherche, les influences des fibres de polypropylène et du GFRP bidirectionnel sur la résistance aux chocs d'échantillons de béton ont été étudiées expérimentalement. À cet effet, 52 échantillons de béton avec les différentes résistances à la compression de 20, 30 et 40 MPa et avec des taux de fibres de 0%, 1%, 1,5% et 2% ont été exposés à des chocs (perte de poids). Il faut ajouter que seulement la moitié de ces échantillons étaient emballés avec du GFRP et l'autre moitié sans GFRP. Les nombres de chutes de poids nécessaires à 30 % de perte de masse (représentatifs de la résistance aux chocs) ont été enregistrés. Sur la base des observations expérimentales, on peut conclure que :

- La résistance aux chocs des échantillons a été améliorée grâce à l'utilisation de béton à plus haute résistance.
- La résistance aux chocs des échantillons de béton a été augmentée en utilisant séparément des fibres de polypropylène ou un emballage en GFRP.
- L'effet de l'emballage en GFRP sur l'augmentation de la résistance aux chocs était supérieur à celui des fibres de polypropylène (environ 150%).
- Bien que les effets de l'utilisation conjointe du GFRP enveloppé et du polypropylène sur la résistance aux chocs aient été supérieurs à ceux de l'application du polypropylène seul, ces effets n'étaient pas assez considérables. Ensuite, utiliser uniquement l'application GFRP était la meilleure stratégie pour améliorer la résistance aux chocs en ce qui concerne les considérations économiques
- Les résultats ont montré que l'utilisation de GFRP enveloppé réduisait considérablement le nombre de fissures et l'intensité des dommages des échantillons.

II.1.4. Commentaire sur l'étude réalisée par A. Kheyroddin et al

Il est souhaitable de compléter cette étude avec des essais de mécaniques de compression et de flexion pour avoir plus de résultats sur l'effet de l'enveloppement GFRP sur les échantillons à différentes classes de résistance mécanique : 20, 30 et 40 MPa.

Pour avoir une bonne comparaison entre les fibres de polypropylène seul et l'enveloppement GFRP, il est conseillé d'étudier des échantillons renforcer avec l'enveloppement GFRP sans fibres de polypropylène.

II.2. Etude réalisée par Sadoun faouzi et Djebri lakhal

En 18 novembre 2019 une étude réalisée par SADOUD faouzi et DJEBRI lakhal sur le thème : étude comparative entre les mortiers renforcés avec la fibre métallique et verre , Ce travail a pour principal objectif de faire une étude comparative sur plusieurs variantes de mortier, renforcé avec deux types de fibres à savoir les fibres métalliques et celles de verre, ses dernières sont additionnées séparément et simultanées à des taux qui varient de 0,5 %, 1 % et 2 %, pour évaluer les caractéristiques mécaniques des échantillons issus de chaque variante, une campagne d'essais mécaniques à travers des essais de flexion trois points et de compression est réalisée, afin d'estimer l'effet d'addition des fibres sur les propriétés mécaniques essentielles des mortiers fibrés par rapport aux échantillons témoins.

Les résultats obtenus permettent de confirmer l'amélioration des propriétés mécaniques, notamment les résistances mécaniques en flexion et compression dans le cas d'addition avec les fibres métalliques au taux de 2 %, par comparaison aux échantillons témoins et ceux élaborés avec les fibres de verre [19].

II.2.1. Matériaux utilisés

II.2.1.1. Le ciment

Le ciment utilisé de type Portland composé CEM II/A de classe 42.5 provenant de la cimenterie de Sour El –Ghozlane, CEM II/A 42.5 conformément à la norme NA 442 éditions 2000 [18].

II.2.1.2. Sable

Il peut être naturel, artificiel. Les caractéristiques principales requises pour un bon sable pour la fabrication d'un béton, sont la propreté définie par l'essai d'équivalent de sable et la granularité déterminée par l'analyse granulométrique [19].

II.2.1.3. L'adjuvant

Les adjuvants sont des produits chimiques incorporés au mortier frais en faible quantité (inférieur à 5%) ils améliorent les propriétés physico-mécaniques des mortiers auxquels ils sont ajoutés.

Au cours de la préparation de notre mortier ; on a incorporé un super plastifiant SIKA VISCOCRET 665 est un super plastifiant/Haut réducteur d'eau formulé à partir d'un mélange de poly carboxylates confère au béton/mortier des longs maintiens de rhéologie conforme à la norme [NF EN 934-2].

La fourchette de dosage recommandée est de 0.2 à 3% du poids de ciment. Le dosage optimal doit être déterminé en fonction du type de ciment et des effets recherchés [19].

II.2.1.4. Eau de gâchage

L'eau utilisée dans ce présent travail est l'eau potable ; donc elle ne nécessite aucun essai. Elle est conforme aux exigences de la norme (NF EN 1008).

Tableau.II.1 Caractéristiques physico-chimiques du super plastifiant SIKA VISCOCRET 665 [19].

Aspect	Liquide
Couleur	Marron
Conservation	12 mois dans son emballage
Densité	1,08±0,015
PH	5±1
Extrait sec	33 ± 1,1% (méthode halogène selon NF 085)

II.2.1.5. Caractéristique et propriétés des fibres

Dans notre travail on a utilisé deux types de fibres à savoir les fibres métalliques et fibre de verre (figure II.4), leurs propriétés physicomécaniques sont présentées dans le tableau II.6



Figure.II.7 Fibres métalliques et de verre [19].

Tableau.II.2 caractéristique et propriétés des fibres [19].

Caractéristique et propriétés	Fibre métallique	Fibre de verre
Masse volumique (g/cm ³)	7,85	2,6
Φ moyen (µm)	50-1000	5-15
Résistance à la traction (MPa)	1000-2500	2000-3000
Module d'élasticité (GPa)	150-200	80
Longueur (mm)	30	----
Diamètre (mm)	0,55	----
Elancement	55	----

II.2.2. Résultats des essais

II.2.2.1. La masse volumique

Le tableau II.3 résume les résultats des essais physiques, à savoir les masses volumiques à l'état durci de chaque variante élaborée aux âges (7, 14 et 28 jours), il y'a lieu de signaler que les résultats représentent la moyenne de trois mesures dans chaque cas.

Tableau.II.3 Les masses volumiques des différentes variantes en fonction des âges [19].

Réf Age	Masses Volumiques (g/cm ³)		
	7 Jours	14 Jours	28 Jours
Témoins	2,29	2,31	2,33
0,5 % FM	2,32	2,36	2,40
1 % FM	2,35	2,38	2,42
2 % FM	2,39	2,42	2,51
0,5 % FV	2,32	2,32	2,30
1 % FV	2,23	2,23	2,25
2 % FV	1,96	2,15	2,11
0,5 % (FV+FM)	2,18	2,22	2,28
1 % (FV+FM)	2,24	2,28	2,38
2 % (FV+FM)	2,25	2,23	2,23

L'histogramme de la figure II.2 représente les variations des masses volumiques des variantes étudiées, en fonction du temps à savoir 7, 14 et 28 jours.

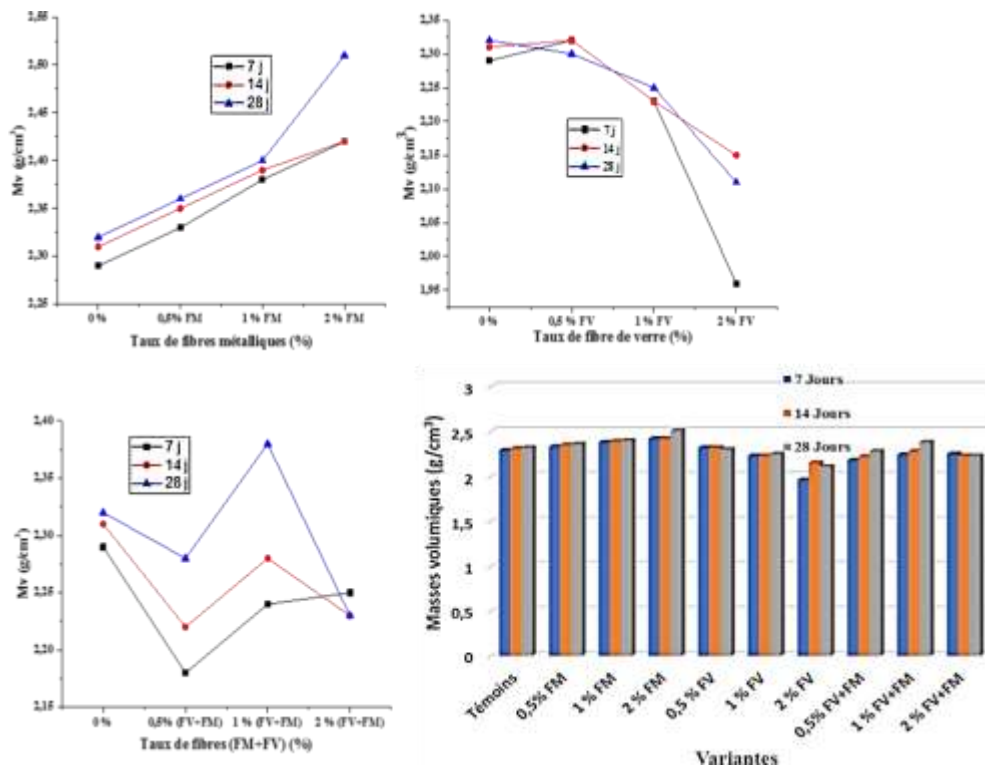


Figure.II.8 Variation des masses volumiques des différentes variantes en fonction du temps [19].

- **Interprétations des résultats de la masse volumique**

La masse volumique des variantes étudiées est affectée par la nature de la fibre, l'âge et le pourcentage d'introduction des fibres. La masse volumique augmente de manière proportionnelle en fonction de l'âge (7, 14 et 28 jours) respectivement. La masse volumique augmente en fonction des taux d'introduction des pourcentages des fibres métalliques, on a noté des valeurs : (2,36 - 2,4 et 2,51) g/cm³, aux pourcentages d'introduction (0,5 %, 1 % et 2 %) respectivement. La masse volumique diminue en fonction de l'augmentation des pourcentages des fibres de verre et le mélange FM+FV (0,5 %, 1 % et 2 %) [19].

II.2.2.2. Essais de flexion trois points

Le tableau II.4 résume les résultats des essais mécaniques en flexion trois points, à savoir les contraintes de ruptures en flexion des éprouvettes des différentes variantes élaborées aux âges (7, 14 et 28 jours), les résultats représentent la moyenne de trois essais dans chaque variante étudiée.

Tableau.II.4 Les résistances en flexion trois points des variantes étudiées en fonction du temps [19].

Réf	Résistance en Flexion (MPa)		
Age	7 Jours	14 Jours	28 Jours
Témoins	7,15	8,60	7,74
0,5% FM	7,83	9,63	13,13
1 % FM	11,65	17,04	15,07
2 % FM	15,10	14,24	18,90
0,5 % FV	7,32	8,39	7,40
1 % FV	7,79	7,66	6,30
2 % FV	8,68	8,55	7,77
0,5% FV+FM	7,14	7,16	7,62
1 % FV+FM	7,13	8,44	10,01
2 % FV+FM	7,59	7,54	13,36

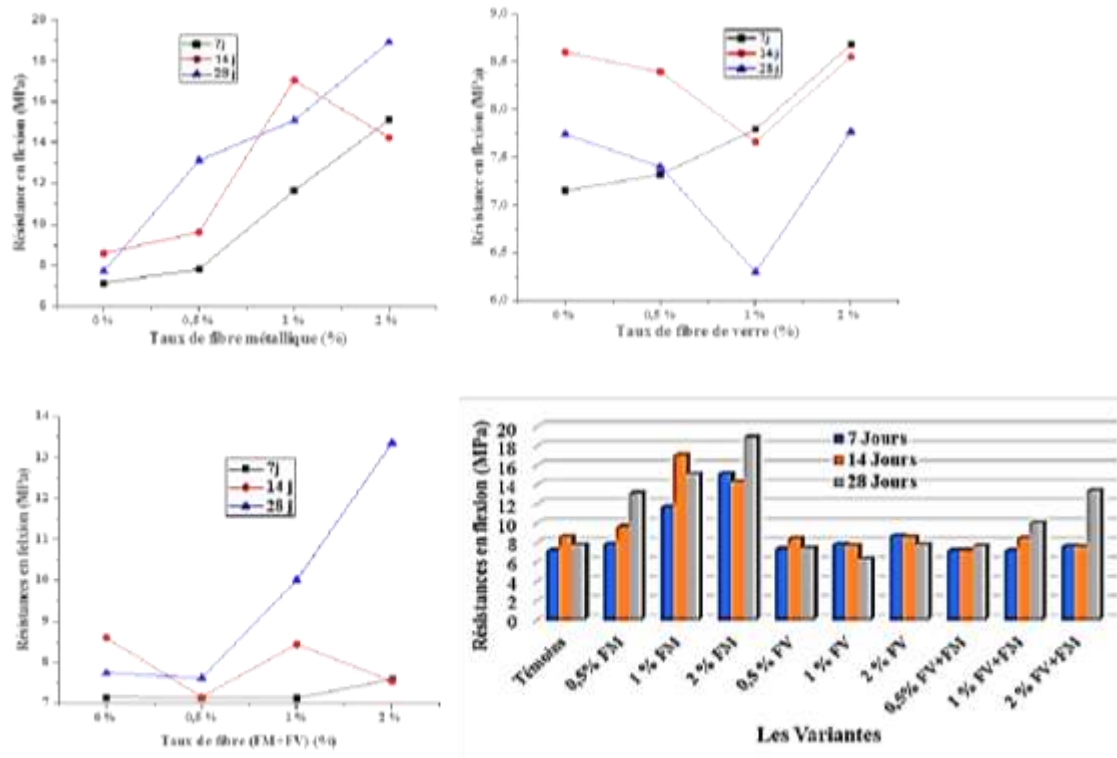


Figure.II.9 représente les résistances en flexion des variantes étudiées en fonction des âges 7, 14 et 28 jours [19].

II.2.2.3. Essais de compression

Le tableau II.5 résume les résultats des essais mécaniques en compression à savoir les contraintes de ruptures en compression des éprouvettes des différentes variantes élaborées aux âges (7, 14 et 28 jours), les résultats représentent la moyenne de trois essais dans chaque variante.

Tableau.II.5 Les résistances en compression des variantes étudiées en fonction du temps. [19].

Réf	Résistance en compression (MPa)		
Agés	7 jours	14 jours	28 jours
Témoins	28,45	31,16	41,22
0,5% FM	29,28	32,16	34,65
1 % FM	29,45	34,61	38,18
2 % FM	31,37	36,01	43,42
0,5 % FV	26,75	26,37	27,18
1 % FV	22,24	24	22,25
2 % FV	23,21	29,38	25,24
0,5% FV+FM	28,31	31,92	26,95
1 % FV+FM	29,91	25,68	32,64
2 % FV+FM	27,35	28,89	30,2

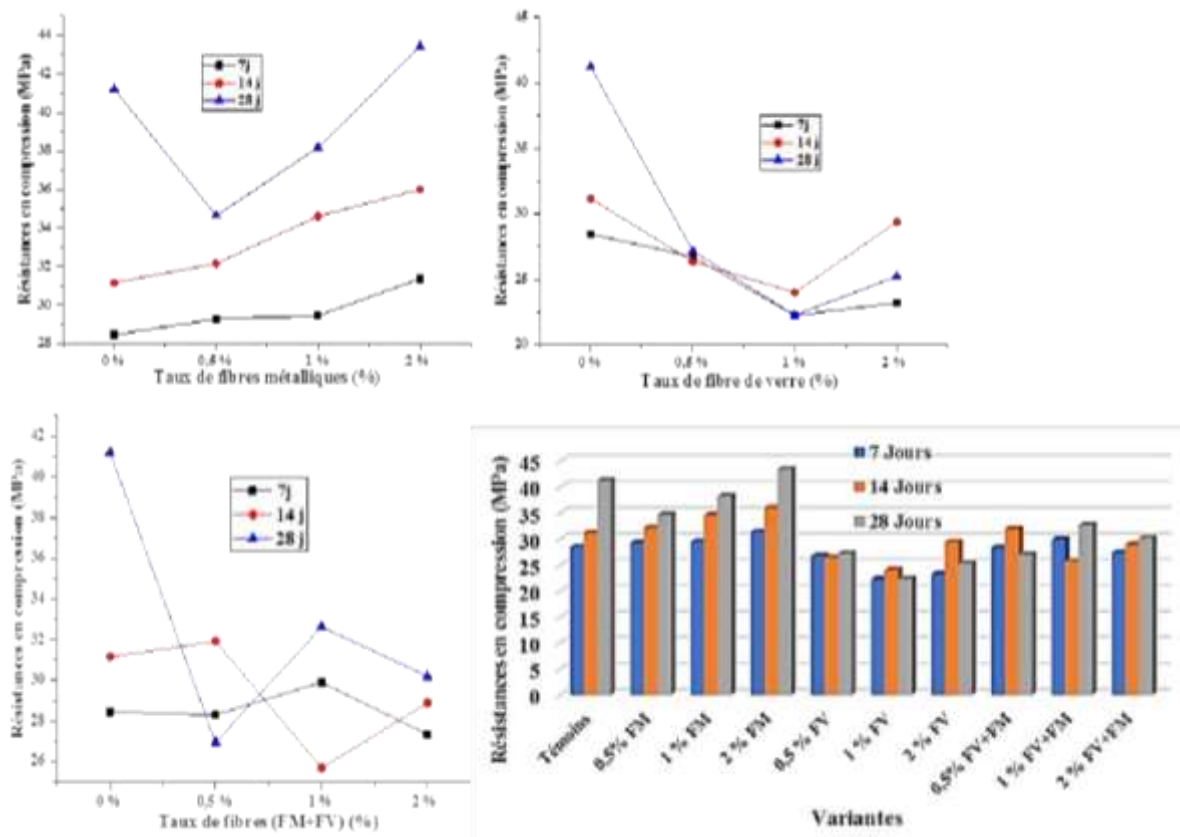


Figure.II.10 représente les résistances en compression des variantes étudiées en fonction des âges 7, 14 et 28 jours [19].

• Interprétations des résultats des essais mécaniques

D'après les résultats des essais mécaniques illustrés dans les figures II.9 et II.10 de résistance en flexion et en compression de différentes variantes étudiées on remarque que :

- La résistance en flexion et en compression des variantes étudiées est affectée par : la nature des fibres, ainsi leur pourcentages et l'âge (7, 14 et 28 jours).
- Les résistances mécaniques en flexion augmentent, les valeurs obtenues de ses essais ((7,13 à 15,1) MPa, (7,16 à 17,04) MPa, et (6,3 à 18,9) MPa), aux âges (7, 14 et 28 jours).
- Les résistances mécaniques en compression augmentent, les résultats obtenus sont : ((22,24 à 31,37) MPa, (24 à 36,01) MPa, et (22,5 à 43,42) MPa), aux âges (7, 14 et 28 jours).
- La résistance en flexion et en compression évolue d'une manière proportionnelle avec l'augmentation des pourcentages des fibres métalliques et le mélange (FM+FV) à des taux d'introduction (0,5 %, 1 % et 2 %).

- Les résistances en flexion sont influencées d’une manière non significative (légère diminution) de 7,83 à 7,14 MPa à (7 jours), de 9,63 MPa à 7,16 MPa (14 jours) et 13,13 MPa à 7,62 MPa à 28 jours.

Dans les variantes élaborées avec un pourcentage de 0,5 %, notamment de 11,65 à 7,13 MPa à (7 jours), de 17,04 MPa à 8,44 MPa (14 jours) et 15,07 MPa à 10,01 MPa à 28 jours dans les variantes élaborées avec le taux de 1 %, et aussi de 15,1 à 7,59 MPa à (7 jours), de 14,24 MPa à 7,54 MPa (14 jours) et 18,9 MPa à 13,36 MPa à 28 jours dans les variantes élaborées avec le pourcentage de 2 %.

- En fonction des pourcentages d’introduction des différentes fibres, les résultats les plus importants sont obtenus dans le cas des fibres métalliques par rapport aux deux types de fibres utilisés.
- Les résistances en compression sont influencées d’une manière significative par l’augmentation du taux de fibre de verre en fonction de l’âge, notamment : de 29,28 à 26,75 MPa à (7 jours), de 32,16 MPa à 26,37 MPa (14 jours) et 34,65 MPa à 18 MPa à 28 jours, dans les variantes élaborées avec un pourcentage de 0,5 %, notamment de 29,45 MPa à 22,24 MPa à (7 jours), de 34,61 MPa à 24 MPa (14 jours) et 38,18 MPa à 22,25 MPa à 28 jours dans les variantes élaborées avec le taux de 1 %, et aussi de 31,37 MPa à 23,21 MPa à (7 jours), de 36,01 MPa à 29,38 MPa (14 jours) et 43,42 MPa à 25,24 MPa à 28 jours dans les variantes élaborées avec le pourcentage de 2 % [19].

II.2.3. Conclusion

Les résultats de cette étude expérimentale sur les mortiers fibrés, nous a permis de faire les conclusions suivantes :

- L’introduction des fibres métallique permet d’améliorer d’une manière très significative la résistance en flexion, l’augmentation notée lors de l’introduction de 2 % est estimée à 111,18 % et 144,18 % aux âges de 7 et 28 jours respectivement.
- L’introduction des fibres métallique permet d’améliorer les résistances en compression, nous avons noté une amélioration de 15,56 % à 14 jours au taux de 2 %.
- Les propriétés physiques des variantes à base de fibre métalliques, à savoir la masse volumique a été augmentée de 7,72 %.
- L’introduction de la fibre de verre nous permet de noter, un effet négatif sur les propriétés des mortiers à l’état frais et durci, notamment avec la difficulté de mise en œuvre, et la chute des résistances en flexion aux différents âges, néanmoins un effet

d'allègement a été observé dans cette variante étudiée.

- L'ajout simultané des fibres métalliques et celle de verre, dans le cas de la troisième variante élaborée, nous a permis de remarquer une amélioration des propriétés à l'état frais et durci, par rapport à la variante renforcée par des fibres de verre seules [19].

II.2.4. Commentaire sur l'étude réalisée par Sadoun faouzi et Djebri lakhal

Une étude sur l'amélioration des propriétés rhéologique des mortiers fibrés et l'effet de l'introduction des fibres sur la porosité des mortiers est souhaitable pour enrichir cette étude.

II.3. Etude réalisée Ouaret safia et Bounceur nabil

En 2013 une étude était réaliser par Ouaret safia et Bounceur nabil sur le thème : valorisation des fibres métalliques (fibres bcr) dans les bétons, c'est un travail pour étudier l'unité BCR (boulonnerie, coutellerie et robinetterie) de Bordj-Menaïel qui s'occupe de la fabrication des outillages ménagers, rejet à la fins de l'opération d'argentage de ces derniers un déchet qui contient des quantités en métaux lourds, ce déchet est stocké dans des sacs en plastique qui sont préservés dans des conteneurs en métal. Dans le but de proposer un mode de traitement pour que ce déchet soit revalorisé ou stocké d'une façon définitive, ils s'intéresserons dans leur étude à la caractérisation des propriétés physico-chimique du déchet concerné car les contraintes d'ordre économique et écologique de ces dernières années ont rendu nécessaire la valorisation et le recyclage des déchets. Le besoin universel de conserver les ressources, de protéger l'environnement et de bien utiliser l'énergie doit nécessairement se faire ressentir dans le domaine de la technologie du béton [20].

II.3.1. Matériaux utilisés

II.3.1.1. Le ciment

Le ciment est une matière pulvérulente (en d'autres termes c'est une poudre), formant avec l'eau une pâte plastique liante, capable d'agglomérer, en durcissant, des substances variées comme par exemple du mortier en le mélangeant a du sable ou bien du béton en le mélangeant a du sable et du gravier [20].

II.3.1.2. Granulats

Les granulats sont un ensemble de grains minéraux de tailles comprises entre 0 et 125 mm et classés par « dimensions » croissantes, en plusieurs familles : fillers, sables, graves, gravillons et ballasts.

Les granulats utilisés dans le béton ont plusieurs origines : ils peuvent être naturels, artificiels ou recyclés (à partir de bétons de démolition concassés). Quelles que soient leurs origines, les

granulats doivent répondre à des normes spécifiques (NF EN 12620 et XP P 18-545 notamment) qui définissent leurs caractéristiques chimiques, géométriques, mécaniques, physiques et physico-chimiques [20].

II.3.1.3. Les Adjuvants

Ainsi que le définit la norme NF EN 934-2, un adjuvant est un produit dont l'incorporation à faible dose (inférieure à 5% de la masse du ciment) aux bétons, mortiers ou coulis lors du malaxage ou de la mise en œuvre provoque les modifications recherchées de telle ou telle de leurs propriétés, à l'état frais ou à l'état durci.

La norme NF EN 934-2 classe ces adjuvants suivant leur fonction principale, en trois grands types :

- Ceux qui modifient l'ouvrabilité du béton : plastifiants-réducteurs d'eau, super plastifiants ;
- Ceux qui modifient la prise et le durcissement : accélérateurs de prise, accélérateurs de durcissement et retardateurs de prise ;
- Ceux qui modifient certaines propriétés particulières : entraîneurs d'air, générateurs de gaz, hydrofuges de masse [20].

II.3.1.4. L'eau de gâchage

Toutes les eaux ne peuvent pas être utilisées pour gâcher du béton parce qu'elles contiennent, dans certains cas, un excès d'impuretés qui détériore les propriétés du béton, notamment les propriétés physiques et mécaniques (prise et résistance), les propriétés esthétiques (taches, efflorescences), la durabilité (corrosion des armatures, stabilité du béton). Ces impuretés, éventuellement contenues dans l'eau de gâchage, sont soit des composés chimiques qui peuvent être actifs vis-à-vis du ciment, des granulats ou des armatures, soit des particules en suspension qui, du fait de leur quantité ou de leur qualité, sont indésirables [20].

II.3.1.5. Définition de l'unité BCR

L'unité de coutellerie de Bordj-menaiel est une filiale de groupe BCR, a été créé en 1977 suite à un accord entre l'état algérien et son homologue suisse.

II.3.1.5.1. Présentation de la filiale

Le groupe BCR (**boulonnerie, coutellerie, robinetterie**) est l'unique entreprise nationale utilisatrice de l'acier inoxydable.

L'unité coutellerie de Bordj-Menaiel (ORFEE) fait partie du groupe BCR. Ses objectifs ont naturellement pour :

- Satisfaction progressive d'une part importante de la demande nationale en produits finis

dans le secteur de la mécanique ;

- Dégager une rentabilité satisfaisante à partir de l'ensemble des moyens d'exploitation ;
- Valoriser au mieux et veiller au développement des ressources humaines disponibles sur le marché national [20].

II.3.2. Résultats et discussion

II.3.2.1 Mesure des masses volumiques

- On détermine les masses des bétons à l'âge de 0 h, 24 h, 7, 14, 21 et 28 jours et cela pour chaque série d'éprouvettes.
- La détermination de la masse volumique est simple :
- On pèse l'éprouvette après nettoyage, soit M sa masse en (kg).
- Puis on détermine le volume du récipient, soit V son volume en (m³).
- La masse volumique sera alors calculée par l'équation suivante :

$$P_{BD} = M/V (\text{kg/m}^3)$$

II.3.2.1.1 présentation des résultats

L'évolution de la masse volumique en fonction de temps est représentée dans la figure suivante

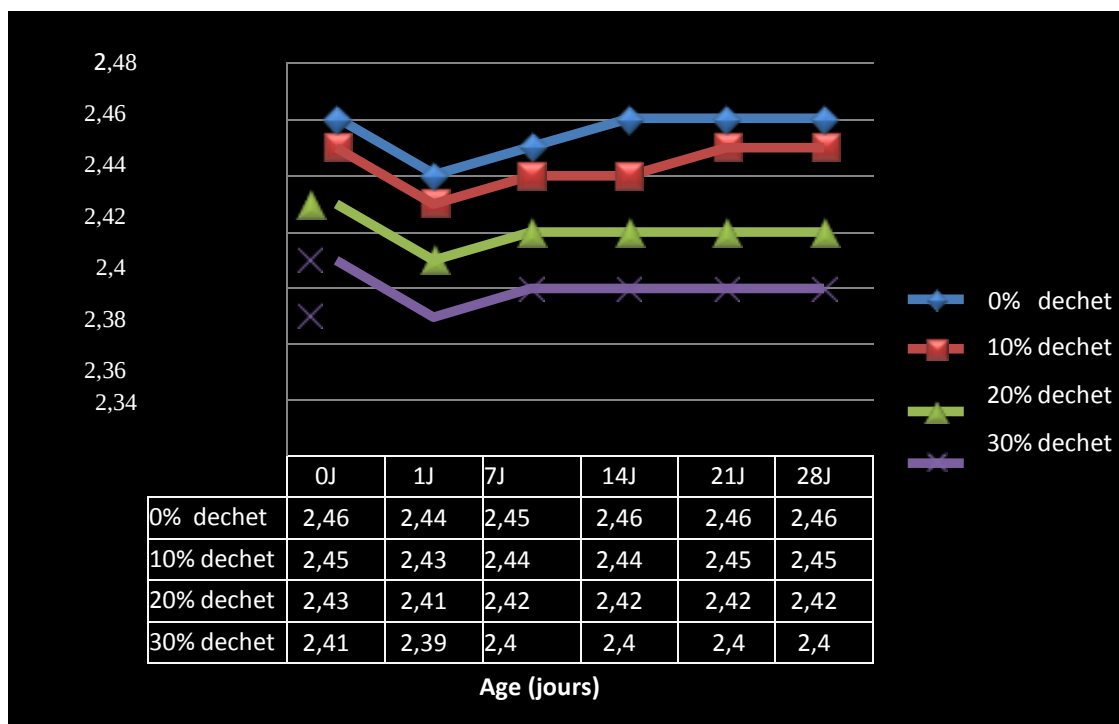


Figure.II.11 Evolution des masses volumiques en fonction du temps [20].

➤ **Interprétation des résultats**

A partir des courbes tracées, nous avons remarqué que :

Entre le jour de confection (0 jour) et 1 jour, on remarque une forte diminution de la masse volumique de tous les bétons et cela revient à l'exposition des éprouvettes à l'air ambiant, ce qui dit le séchage du béton et l'évaporation de l'eau.

A partir du 1er jour jusqu'aux 7eme jours, on observe une augmentation des masses volumiques des bétons, qui s'explique par l'hydratation continue des grains de ciment, sachant que les éprouvettes de bétons ont été conservées dans l'eau (absorption de l'eau).

Nous remarquons qu'à partir du 14 ème jour la masse reste constante pour tous les bétons (se stabilises), donc pas d'absorption d'eau (saturation).

L'hydratation qui est de plus en plus lente n'est jamais entièrement achevée, une petite partie de ciment reste non hydratée.

A chaque fois qu'on diminue le ciment en le remplaçant par les fibres métalliques, la masse volumique diminue et cela revient aux masses volumiques (apparente et absolue) des fibres métalliques qui sont plus léger que le ciment [20].

II.3.2.2. Essai de compression (NF P 18 – 406)

C'est l'essai le plus couramment utilisé sur béton durci. Les résultats de l'essai de résistance à la compression sont affectés par plusieurs paramètres : le type de l'éprouvette et ses dimensions, la préparation des faces d'essai etc.

Actuellement, cet essai est le plus révélateur des décisions à prendre pour juger de la qualité d'un béton durci. [19].

Conduite de l'essai

L'éprouvette, une fois rectifiée elle doit être centrée sur la presse d'essai.

Appliquer le chargement jusqu'à la rupture de l'éprouvette (figure II.12).

Soit (S) la section orthogonale de l'éprouvette, la résistance f_{cj} , est exprimée en MPa et a pour expression : $f = P / S$

Avec :

P : charge de rupture exprimée en MN.

S : surface de l'éprouvette exprimée en m^2 .



Figure.II.13 Presse de compression [20].



Figure.II.12 Ruptures des échantillons [20].compression

II.3.2.2.1. Expression des résultats

Les résultats sont représentés par la courbe suivante (**Figure II.14**)

- Série 1 pour le septième jour (7j) et Série 2 pour le vingt-huitième jour (28j).

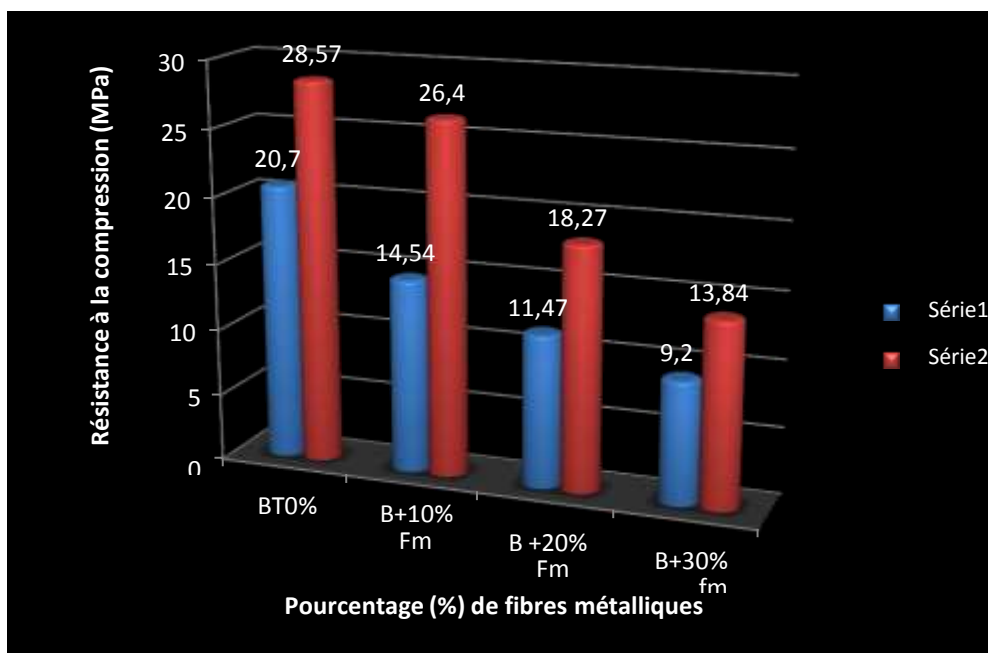


Figure.II.14 Résistance à la compression en fonction de différentes séries du béton [20].

II.3.3.2.2. Interprétation des résultats

On remarque que le dosage à 0% de fibres métalliques « Béton Témoin » a donné une meilleure résistance à la compression.

Pour le dosage à 10% de fibres métalliques on remarque une légère diminution de résistance par rapport au béton témoin et cela revient à la quantité de ciment qui est remplacé par les fibres métalliques.

Donc en présence de F.M à grandes quantités, la compacité des bétons diminue, ce qui cause une chute de la résistance mécanique et c'est le cas pour les dosages à 20% et 30% de fibres métalliques, d'après le spectre DRX obtenu pour les fibres métalliques on a déterminé la présence de Zn et le Ni qui sont des éléments susceptibles de retarder l'hydratation [20].

II.3.3.3. Conclusion

Les fibres métalliques peuvent être utilisées comme remplaçant du ciment à 10%, après avoir enregistré une résistance à la compression acceptable (> 25 MPa), c'est un gain économique concernant le ciment, et un plus environnemental permettant de dégager des espaces de stockage au niveau de l'usine. En ce qui concerne les orientations futures, nous pensons qu'il serait intéressant de :

Faire une étude de la résistance à la compression pour une période d'hydratation du ciment plus longue, allant jusqu'à 90 jours.

Faire la même étude mais avec de nouvelles analyses basées cette fois sur des fibres métalliques réduites en poudre.

Diminuer les sections d'armatures en béton armé, et de les remplacer par les fibres métalliques.

Analyser la répartition des fibres métalliques après l'ajout de ces dernières dans le béton [20].

II.3.3.4. Commentaire sur les résultats obtenus par Ouaret safia et Bounceur nabil

Dans cette étude il est intéressant d'étudier la résistance mécanique en traction par flexion pour voir l'effet des fibres métalliques sur l'amélioration de la résistance mécanique en flexion ; parce que nous savons tous que le béton présente de bonnes résistances mécaniques en compression, mais il présente des résistances faibles en traction et en compression.

II.4. Etude réalisée par Benati redha

En 2010 une étude réalisée par Benati redha sur le thème : étude du comportement mécanique et rhéologique de la pâte du ciment, mortier et béton avec différentes fibres, Dans cette recherche on doit étudier d'une part le comportement rhéologique les caractéristiques mécaniques du mortier et béton avec différents ajouts (laitier et filler), d'autre part et afin d'assurer la durabilité et la pérennité des ouvrages sous l'effet des différentes sollicitations, on doit améliorer les performances mécaniques du mortier et du béton avec l'incorporation des différentes fibres (propylène et acier) [21].

II.4.1. Matériaux utilisés

II.4.1.1. Le Laitier

Dans notre étude on a utilisé le laitier granulé de haut fourneau de complexe sidérurgique d'El-Hadjar, Les analyses chimiques sont effectuées au niveau de laboratoire de la cimenterie

de AIN-TOUTA. [20].

- **Propriétés physiques de laitier**

- Masse volumique apparente = 1080 kg/m³.
- Masse volumique absolue = 2733 kg/m³.
- Surface spécifique = 3500 cm²/g.

II.4.1.2. Le Ciment portland

Le ciment qu'on a utilisé est un ciment portland composé, provenant de la cimenterie d'AIN-TOUTA, dont la composition chimique et minéralogique est représentée ci-dessous [21].

- **Analyse chimique et minéralogique du ciment**

Tableau.II.6 Composition chimique et minéralogique de ciment [21].

Composition chimique (%)						Composition minéralogique (%)					
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Chaux libre	Résidu insoluble	Perte au feu	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
20,34	5,37	3,00	61,69	1,8	0,97	1,12	5,03	58,09	23,32	8,32	10,27

- **Propriétés physiques de ciment**

- Masse volumique apparente = 1215 kg/m³.
- Masse volumique absolue = 3150 kg/m³.
- Surface spécifique = 3371 cm²/g.

II.4.1.3. Les fillers calcaires

Les fillers proviennent de la carrière géante (E.N.G) d'El Khroub, près de Constantine. Ils sont de nature calcaire. La composition chimique est représentée au-dessous [21].

Tableau.II.7 Composition chimique des fillers calcaire. [Laboratoire de la cimenterie d'Ain-Touta [21].

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	NaCl	PF
0.58	0.02	0.06	55.80	0.06	0.08	0.56	43.53

- **Propriétés physiques de filler calcaire**

- Masse volumique apparente = 1530kg/m³.
- Masse volumique absolue = 2720 kg/m³.
- Surface spécifique = 3000 cm²/g.

II.4.1.4. Le sable

Le sable qu'ils ont utilisé dans cette étude provient de la région de Biskra (rivière d'Oued-Djedi) [21].

II.4.1.4.1. Analyse granulométrique

Le tableau II.8 représente l'analyse granulométrique du sable de la région de Biskra (rivière d'Oued-Djedi).

Tableau.II.8 Analyse granulométrique du sable [21].

Ouvertures de mailles (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
5,000	0,00	0,00	0,00	100,00
2,500	190.0	190.00	9.5	90,50
1,250	210.00	400.00	20.00	80,00
0,630	480.0	880.00	44.00	56,00
0,315	610.00	1490.00	74.5	25,50
0,160	290.0	1780.00	89.00	11.00
0,080	120.00	1900.00	95.00	5
Le fond	98	1998	99,9	0,10

II.4.1.5. Les Graviers

Ils ont utilisé des pierres concassées de la région de Biskra, le tableau suivant représente l'analyse granulométrique du gravier 7/15 [21].

Tableau.II.9 Analyse granulométrique du gravier 7/15 [21].

Ouvertures des mailles (mm)	Refus partiel (%)	Refus cumule (%)	Tamisât (%)
	7/15	7/15	7/15
25.00	0.00	0.00	100
20.00	0.00	0.00	100
16.00	1.24	1.24	98.76
12.50	48.16	49.4	50.60
10.00	31.36	80.76	19.24
8.00	13.32	94.08	5.92
6.30	5.2	99.28	0.72
5.00	0.24	99.52	0.48
Le font	0.48	100	0.00

Le tableau II.10 représente l'analyse granulométrique du gravier 3/7.

Tableau.II.10 Analyse granulométrique du gravier 3/7 [21].

Ouvertures des mailles (mm)	Refus partiel (%)	Refus cumule (%)	Tamisât (%)
	3/7	3/7	3/7
10.00	0.00	0.00	100
8.00	18.74	18.74	81.26
6.30	38.36	56.10	43.90
5.00	35.45	91.55	8.45
4.00	1.79	96.34	3.66
3.15	0.65	98.05	1.95
2.50	1.30	98.70	1.30
Le font	3.71	100	0.00

II. 4.1.6. Fibres métalliques

Les propriétés géométriques des fibres métalliques sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau.II.11 Les propriétés géométriques des fibres métalliques [21].

Type defibre	Longueur mm	Largeur mm	Epaisseur mm	Diamètre mm	Masse volumique (kg/m ³)
Fibres D'acier	50	-	-	0.62	7800

II. 4.1.7. Fibres polypropylènes

Les propriétés géométriques des fibres polypropylènes sont présentées dans le tableau II.12.

Tableau.II.12 Les propriétés géométriques des fibres polypropylènes [21].

Type de fibre	Longueur mm	Largeur mm	Epaisseur mm	Diamètre mm	Masse volumique (kg/m ³)
Fibres polypropylène	0,5 à 4	5 à 75	-	-	900

II.4.2. Résultats des essais

II.4.2.1. Etude du mortier

Le sable utilisé pour la confection du mortier est un sable d'oued. Les essais sont à raison de six éprouvettes par essai effectués sur des éprouvettes en mortier de dimensions $[4 \times 4 \times 16]$ cm³. Dans tous les essais le rapport E/C a été variable entre [0.45-0.5] pour tous les mortiers avec et sans ajout. Concernant les conditions de durcissement, dans cette partie on a procédé à un durcissement naturel (conservation à l'eau, T=20°C) des éprouvettes jusqu'à leur test [21].

II.4.2.2. Comportement mécanique

II.4.2.2.1. Influence de la teneur en fibres de polypropylène et métalliques sur le comportement mécanique de béton.

La détermination de la composition du mélange de béton n'est qu'une première approche de préparation de mélange d'essais qui permettent de corriger expérimentalement la composition calculée pour aboutir au béton désiré. Les différentes compositions préparées sont présentées comme suit :

- Béton témoin avec un rapport E/C de 0.45.
- Béton avec différents pourcentages de fibre d'acier et polypropylène de (0,5-1,5) %.

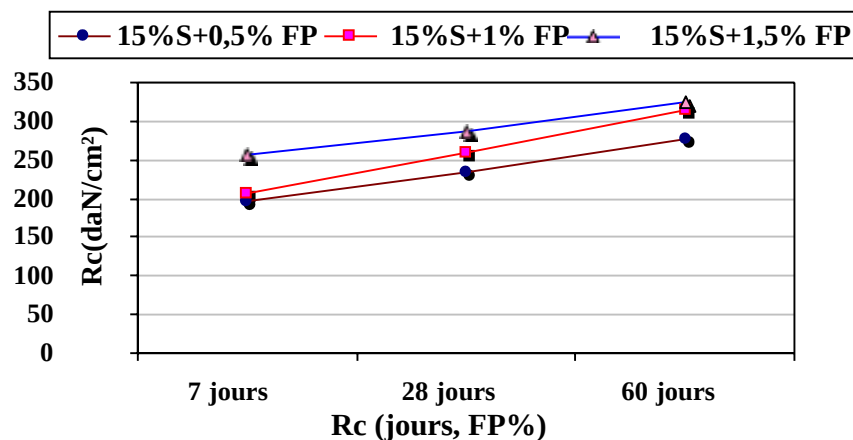


Figure.II.15 Résistance à la compression du béton avec différent pourcentage de fibre polypropylène et 15%S en fonction du temps (E/C=0.45) [21].

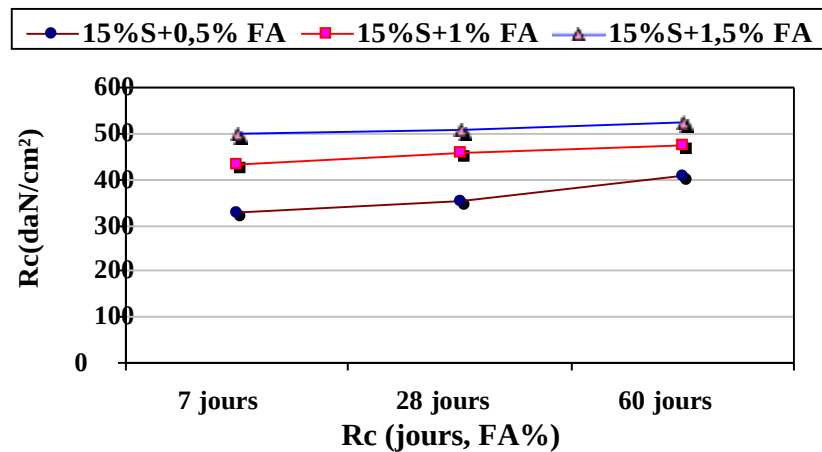


Figure.II.16 Résistance à la compression du béton avec différent pourcentage de fibre d'acier et 15%S en fonction du temps ($E/C=0.45$) [21].

II.4.2.2.2. Interprétation des résultats

Les résultats des essais de compression pour les mélanges des bétons et bétons de fibres montrent que les bétons contenant l'ajout (0.5%, 1% à 1,5 %) de fibres polypropylène présentent une résistance à la compression légèrement plus améliorée que celle des bétons contenant des fibres d'acier.

Pour le dosage de 1% de fibres d'acier, on constate une légère diminution de la résistance à la compression. D'après [Rossi et al. 1996] les fibres perturbent l'arrangement granulaire.

Les représentations graphiques nous permettent une bonne interprétation des différents résultats. Néanmoins, il est très important de se référer aux figures quand il s'agit de constater des différences de valeurs ou pour des proportions.

II.4.3. Commentaire sur les résultats obtenus par Benati redha

Dans cette étude l'auteur a étudié l'effet de la variation du dosage des fibres de polypropylène et des fibres métalliques sur la résistance mécanique en compression des bétons fibrés, il a constaté une diminution de la résistance mécanique à la compression des bétons renforcés par les fibres métallique par rapport au bétons renforcés par des fibres de polypropylène, mais il est souhaitable d'étudier l'effet de l'incorporation des fibres métalliques et polypropylène sur la résistance mécanique à la traction par flexion et aussi sur les propriétés à l'état frais des bétons fibrés.

III. Etude expérimentale

III.1. Matériaux et méthodes de caractérisation

III.1.1. Introduction

Dans cette partie on va définir nos matériaux et les essais réaliser sur ces matériaux, ainsi que la préparation des mortiers

III.1.2. Les matériaux utilisés

Les matériaux utilisés pour la confection des mortiers sont :

- Ciment.
- Sable.
- Fibre polypropylène.
- Eau.
- Sikadur-41EM
 - Composant A
 - Composant B
 - Composant C
- Sika dur Mono top –634

III.1.2.1. Le ciment

Le ciment utilisé de type Portland composé CEM II/A de la classe 42,5 provenant de la cimenterie de Sour El Ghoulane, le ciment CEM II/A 42,5 est conforme à la norme NA 442 éditions 2000 [22].

III.1.2.1.1. Caractérisation du ciment

Les tableaux suivants présentent la composition chimique, les caractéristiques mécaniques, Physiques et minéralogiques du ciment utilisé :

III.1.2.1.2. Composition chimique

Tableau.III.1 La composition chimique du ciment CEM II/A 42,5.

Eléments	%
CAO	61,79
SiO ₂	17,46
Al ₂ O ₃	4,41
Fe ₂ O ₃	3,22
Mg O	2,02
SO ₃	2,12
K ₂ O	0,73

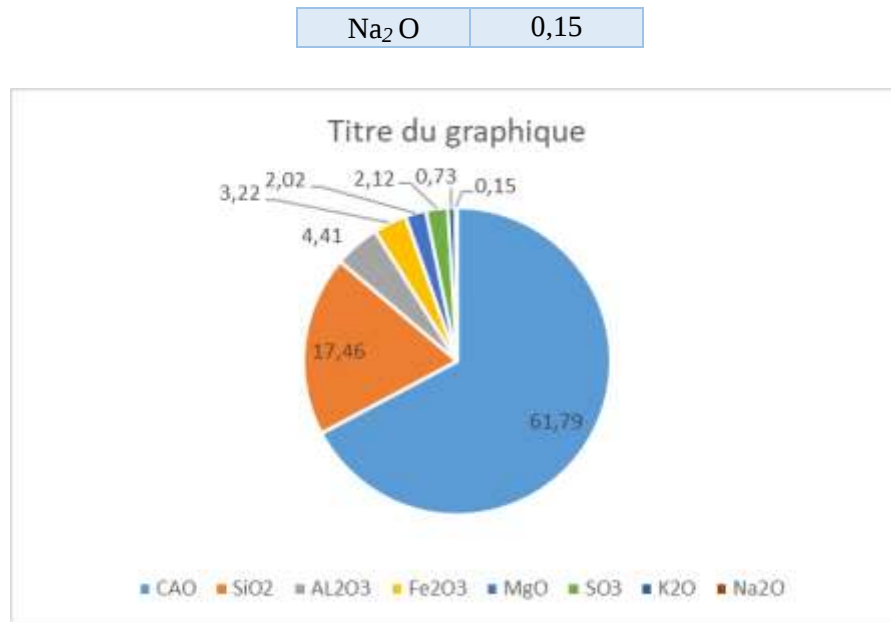


Figure.III.1. Diagramme circulaire de la composition chimique du ciment

- **Commentaire**

D'après les résultats du tableau III.1 on remarque que la teneur la plus élevée est celle de CaO qui est de 61,79 %, parce que le mélange de matière première utilisé pour la fabrication du ciment est constitué de 80% de calcaire et 20% d'argile.

III.1.2.1.3. Composition minéralogique

Tableau.III.2 Composition minéralogique de ciment CEM II/A 42.5.

Elément	%
Silicate tricalcique C ₃ S	68.08
Silicate bi calcique C ₂ S	12.75
Aluminates tricalciques C ₃ A	5.75
Alumino- ferrite titra –calcique C ₄ AF	11.66

- **Commentaire**

D'après les résultats du tableau III.2 on constate que la teneur en C₃S est de 68,08 %, ce qui signifie que notre ciment est alitique.

III.1.2.1.4. Caractérisation mécanique

Tableau.III.3 Représente les Caractéristiques mécaniques du ciment CEM II/A 42.5

Résistance (MPa)	Age	
	07 jours	28 jours
Compression	30	34
Flexion	4	4.29

- **Commentaire**

D'après les résultats du tableau III.3 on constate que la résistance à la compression est de 30 MPA à 7 jours et de 34 MPA à 28 jours, cette dernière est inférieure à la norme qui doit être supérieure ou égale à 42,5 MPa, cette diminution de résistance mécanique est peut-être due à l'utilisation d'un sable qui n'est pas normalisé.

III.1.2.1.5. Caractéristiques physiques

Le tableau III-4 représente les caractéristiques physiques du ciment.

Tableau.III.4 Caractéristiques physiques du ciment CEM II/A 42.5.

Désignations		Moyenne	Unités
Surface spécifique(SSB) (NA231)		3961	cm ² /g
Poids spécifique		3,2	g/cm ³
Consistance normale (NA 229)		26	% H ₂ O
Temps (NA 230)	Début de prise	150	mn
	Fin de prise	252	mn
Retrait à 28 jours		731	µm/m
Expansion à chaud		0,5	mm
Refus sur tamis 45µ		20	%

- **Commentaire**

Le tableau III.4 représente les résultats des caractéristiques physique du ciment, on constate ces résultats sont conforme à la fiche technique du ciment.

III.1.2.2. Le sable

Le sable utilisé est de la région de (BOUIRA), avec ce dernier on a préparé par la suite un sable normalisé.

Le tableau suivant représente la quantité de sable en gramme dans chaque tamis de la série pour préparer un sac de sable normalisé (tableau III.5).

Tableau.III.5 Quantité de sable dans les tamis

Tamis (mm)	M(g)	%
2	0	0
1.6	94.5	7
1	351	26
0.5	459	34
0.16	270	20
0.08	162	12
FT	13.5	1

- **Commentaire**

D'après les résultats du tableau III.5 on constate que la granulométrie du sable utilisé dans notre étude est comprise entre 0 et 2 mm.

III.1.2.3. Fibre de polypropylène

III.1.2.3.1. Description

GRANIFIBRES sont les fibres en polypropylène qui ajoutées au béton et au mortier réduisent les fissurations et le faïençage. Les chapes réalisées avec l'addition du GRANIFIBRES présentent de meilleures résistances à l'abrasion et aux chocs.



Figure.III.2 Fibre de polypropylène

III.1.2.3.2. Propriétés

- ✓ Meilleur comportement du béton frais;
- ✓ Meilleure résistance mécanique au jeune âge ;
- ✓ Résistent aux milieux alcalins ;
- ✓ Réduisent les fissurations de retrait.

III.1.2.3.3. Les caractéristiques

T° transition vitreuse10°C ;
 T° fusion1450 à 175 °C ;
 Masse volumique.....09 g/cm³ ;
 Module de Young.....3KN/mm²;
 Section de la fibre.....30 micros ;
 Longueur de fibre12 mm

III.1.2.3.4. Les applications privilégiées des bétons de fibres de polypropylène sont les Suivantes :

- Dallages et aménagements urbains ;
- Produits préfabriqués (parements) ;
- Mortiers projetés ;
- Enduits ;
- Sculptures.

III.1.2.4. L'eau de gâchage

On a utilisé l'eau de robinet classée comme une eau potable.

III.1.2.5. Sikadur-41EM

Est un kit prédosé, après mélange, on obtient un mortier thixotrope de couleur grise, conforme exigences de la norme NF EN 15046-3, classe R4, produit de réparation structurale, et de la norme NF EN 1504-6, produit de scellement.

Composant A : Résine époxydique

Composant B : durcisseur

Composant C : charge fine de silice

III.1.2.6 Sika dur Mono-top –634

Est un produit mono composant, à base de ciment et matières synthétique, à consistance plastique pour la réparation en épaisseur des sols et élément en béton ainsi que la reconstruction ou l'augmentation de section de structures. La consistance du mortier peut être modifiée en modifiant la quantité d'eau de gâchage selon les prescriptions.

III.1.3. Les essais réalisés sur les matériaux

Les essais ils ont fait au niveau de laboratoire de (l'Université de Bouira)

III.1.3.1. Les essais réalisés sur le ciment**III.1.3.1.1. Temps de prise**

- **Définition et but de l'essai**

La présence de régulateur de prise dans la masse des liants hydrauliques offre à ces derniers, après gâchage, une prise qui commence après quelques heures. Il est donc nécessaire de connaître le temps de début de prise des liants hydrauliques en vue de déterminer le temps disponible pour la mise en œuvre in situ des mortiers et des bétons dont ils sont confectionnés. Les essais se font à l'aide de l'aiguille de Vicat qui donne deux repères pratiques : le début de prise et la fin de prise

- **Principe**

L'essai consiste à suivre la transformation d'état d'un matériau visqueux, facile à travailler à l'état d'un matériau durci (plus difficile voire impossible à travailler). Le temps de début de prise est déterminé à l'instant où l'aiguille de Vicat ($S = 1 \text{ mm}^2$, masse = 300 g) ne s'enfonce plus jusqu'au fond d'une pastille de pâte pure de ciment à consistance normalisée.

En effet, pour chaque liant utilisé, il y'a une teneur en eau nécessaire qui donne à la pâte une consistance dite "normale". La détermination de cette teneur en eau est en fait un préalable à la mesure de la prise. L'appareil de Vicat est utilisé la fois pour la détermination de la consistance normale ainsi qu'à la mesure du temps de début de prise.

➤ Matériel utilisé

L'essai doit se dérouler dans une salle, dont la température est de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ et dont l'humidité relative est supérieure à 90%. A défaut d'une telle humidité relative, l'échantillon testé pourra, entre deux mesures, être entreposé dans de l'eau maintenue à $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

- Malaxeur normalisé : avec une cuve de 5 litres de contenance et d'une pale de malaxage pouvant tourner à 2 vitesses (dites lente 140 tr/mn et rapide 285 tr/mn) ;
- Appareil de VICAT (du nom de l'ingénieur français). L'appareil est composé d'un moule tronconique ($h=40$ mm $d_1= 70$ mm et $d_2= 80$ mm) et d'une tige coulissante équipée à son extrémité d'une sonde de $\Phi=10$ mm, •Balance précise à 0,1 g près ;
- Chronomètre précise à 0,1 s près.

➤ Mode opératoire

On procède par tâtonnements : •préparer 0.5 kg de ciment, une pâte pure de rapport $E/C=0,26$. Verser l'eau dans la cuve du malaxeur contenant le ciment, •mettre le malaxeur en marche (voir le tableau qui suit pour la marche à suivre) et déclencher le chronomètre.

Tableau.III.6 Procédure expérimentale pour la détermination du temps de prise.

Opérations	Introduction du ciment	Introduction de l'eau	Mettre en route	Raclage de la cuve	Mettre en route
Durée des opérations		5 à 10 s	90 s	15 s	90 s
Etat du malaxeur	Arrête		Vitesse lente	Arrête	Vitesse lente

Après avoir préparé notre pâte dans le malaxeur en suivant la procédure expérimentale décrite dans le tableau III.6, la pâte est alors rapidement introduite dans le moule tronconique posé sur une plaque de verre, sans tassement ni vibration excessive. Il faut enlever l'excès de pâte par un mouvement de va-et-vient effectué avec une truelle maintenue perpendiculairement à la surface supérieure du moule. Puis l'ensemble est placé sur la platine de l'appareil de Vicat.



Figure.III.3 L'appareil de Vicat

III.1.3.2. Les essais sur le sable

III.1.3.2.1. L'analyse granulométrique par tamisage

L'analyse granulométrique sert à déterminer la grosseur et le pourcentage en poids de différentes formes de granulats, et la classe granulaire d'un granulat, faire l'analyse en suivant la norme NF EN 933-1 [23].

- **Préparation de l'échantillon**

- Prenant une quantité de sable en son état humide naturel ($M'1$).
- Séché le sable à l'étuve pendant 24h à une température de 100° ($M1$).
- Lavé le sable après le séchage dans le tamis 0.2mm et on va le sécher ($M2$).

Comme ça on détermine la teneur en eau W .

$$W = \frac{M'1 - M1}{M'1}$$

- **Mode opératoire de l'analyse granulométrique**

- On choisit une série de tamis d'ouvertures décroissantes de haut vers le bas tel que le tamis supérieur de cette colonne laisse passer les plus petites particules ;
- On a utilisé des tamis d'ouverture : (2mm – 1.6mm -1.25mm –1mm- 0.630 mm – 0.5mm 0.315mm – 0.25mm 0.16mm)
- L'échantillon pour l'essai est versé sur le tamis supérieur
- Mettre la colonne complète (tamis + fond plein + couvercle) sur la tamiseuse.
- Lancer le tamisage.
- Peser le refus cumulé pour le tamis considéré : le refus étant égal à la quantité de grains recueilli sur celui-ci plus le refus recueilli les tamis de dimension supérieure.

Après l'analyse granulométrique on calcule le module de finesse MF, qui nous permet de juger la qualité du sable, il est donné par la relation suivant :

$$MF = \frac{\sum \% \text{refus cumulés}}{100}$$

-Pour : $1,8 < MF < 2,2$ sables fins.

$2,2 < MF < 2,8$ sable normale.

$2,8 < MF < 3,2$ sable grossier.



Figure.III.4 L'analyse granulométrique par tamisage

III.1.4. Préparations des mortiers

Cette partie est consacrée à la formulation d'un mortier normal, un mortier de résine fibré et un mortier hydraulique fibré avec des différents pourcentages des fibres polypropylène (2g et 4g), par la suite nous avons caractériser les différents types de mortiers élaborés avec des essais mécaniques (la résistance à la compression et la résistance à la flexion à différents âges).

III.1.4.1. Elaboration des mortiers

Après avoir présenté les différentes caractéristiques des constituants des mortiers, nous présentons les principaux essais faits dans laboratoire de l'Université de Bouira sur les propriétés des mortiers de résine fibré et mortier hydraulique fibré avec deux pourcentages (2 et 4%) de fibres de polypropylène.

❖ Les différents mortiers étudiés sont notés comme suit :

- MN : mortier normal sans fibre (Témoin).
- MN: mortier normal avec (2%) de fibre polypropylène.

- MN: mortier normal avec (4%) de fibre polypropylène.
- MR : mortier résine sans fibre (Témoin).
- MR : mortier résine avec (2%) de fibre polypropylène.
- MR : mortier résine avec (4%) de fibre polypropylène.
- MH: mortier hydraulique sans fibre (Témoin).
- MH : mortier hydraulique avec (2%) de fibre polypropylène.
- MH: mortier hydraulique avec (4%) de fibre polypropylène.

III.1.4.1.1. Mortier normal (Témoin)

- Pour préparer un mortier normal ; on pèse les constituants suivants :
- Sable normalisé : $1350 \pm 5g$;
 - Ciment : $450 \pm 2g$;
 - Eau de gâchage : 225g (le rapport E/C est égal 0.5).

III.1.4.1.2. Malaxage du mortier

On introduit le ciment et le sable dans la cuve de malaxeur, on met le malaxeur en marche à vitesse lente, après 15s de malaxage sec on introduit l'eau et avec un malaxage pendant 1,30 min, on arrête le malaxeur 15s pour racle le mortier rapidement et le placer au milieu de la cuve, puis on redémarre le malaxeur à une vitesse rapide jusqu'à terminer les (04) minutes de malaxage.



Figure.III.5 Malaxeur

III.1.4.1.3. Préparation de mortier résine

Vider le composant B dans le composant A (grand emballage).

Mélanger les deux composants pendant 3 à 5 minutes avec un agitateur électrique pneumatique à faible vitesse de rotation (au moins 300 tours /minute).

Verser ensuite complètement le mélange A+B dans le composant C mélanger avec l'agitateur jusqu'à obtenir une pâte onctueuse de couleur uniforme.

III.1.4.1.4. Préparation de mortier hydraulique

Verser progressivement sika mono top-634 dans l'eau de gâchage bien mélanger pendant moins trois minutes, jusqu'à ce que le mortier soit complètement homogène. Le mélange doit être effectué à l'aide d'un malaxeur. Sac complet de sika mono top - 634 pour chaque mélange ; éviter le mélange partiel, qui pourrait entraîner une distribution imparfaite de la taille des grains du produit en place.

III.1.4.2. Préparation des éprouvettes

- ✓ On utilise des moules de dimension $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$;
- ✓ On doit nettoyer les moules à l'aide d'une brosse métallique puis on les étale avec l'huile pour faciliter le démoulage ;
- ✓ On verse le mortier dans les moules ;
- ✓ On remplit les moules puis on les vibre pour éliminer les bulles d'air.



Figure.III.6 Les éprouvettes élaborées.

III.1.4.3. Démoulage et conservation des éprouvettes

Après 24 heures on fait un démoulage et conservation des éprouvettes dans la Chambre de conservation à une température de $20 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant 7 jours et 28 jours.

III.1.5. Les essais mécaniques réalisés sur les mortiers

Les essais mécaniques ont été réalisés justes après le prélèvement des éprouvettes de l'eau.

III.1.5.1. La résistance à la flexion 3 points

L'éprouvette utilisée dans l'essai de flexion est une éprouvette $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$ en mortier, la

rupture est effectuée sous charge concentrée dans une machine munie d'un dispositif à trois rouleaux, l'essai de flexion trois points est réalisé conformément à la norme NF EN 12390-5 [24].

Le dispositif de flexion comporte deux appuis à rouleau de 10 mm de diamètre, distant de 100 mm, sur lesquels repose l'éprouvette prismatique suivant une face latérale de moulage, et un troisième rouleau de même diamètre, équidistant des deux premiers, et transmettant la charge F , les valeurs obtenues correspondent à la moyenne de trois essais.

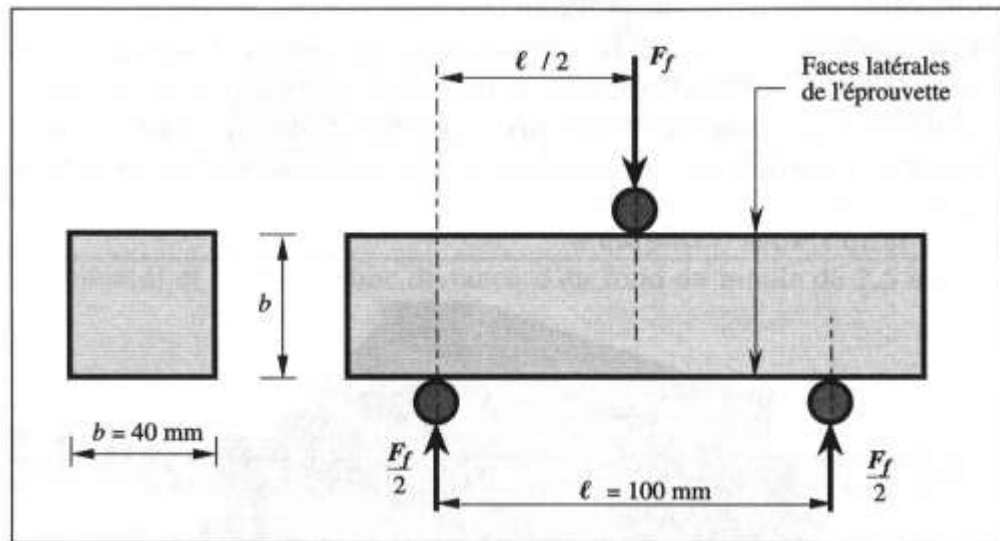


Figure.III.7 Essai de flexion trois points.

Calcul de la résistance à la flexion = $R_f = \frac{1.5 \cdot F \cdot l}{b^3}$

Avec : R_f : la résistance a flexion en MPA.

F : la charge appliquée au milieu du prisme a la rupture en N.

l : la distance entre les appuis en mm.

b : côté de la section carrée du prisme en mm.

III.1.5.2. La résistance à la compression

L'essai a pour but de déterminer la contrainte de rupture par compression sur les demi-prismes obtenus par l'essai de traction par flexion. La valeur retenue pour chacune des épreuves est la moyenne arithmétique des valeurs obtenues, l'essai de compression est réalisé conformément à la norme NF EN 12390-3 Février 2003 [25].

Chaque demi-prisme est essayé en compression sur ses faces de moulage, sous une section de $(40 \times 40) \text{ mm}^2$, entre deux plaques de métal dur d'au moins 10mm d'épaisseur, de 40 mm de largeur, de longueur supérieure à 40mm, ces plaques sont en acier dur, le demi-prisme est placé entre elles de manière que son extrémité intacte dépasse d'environ 1cm.

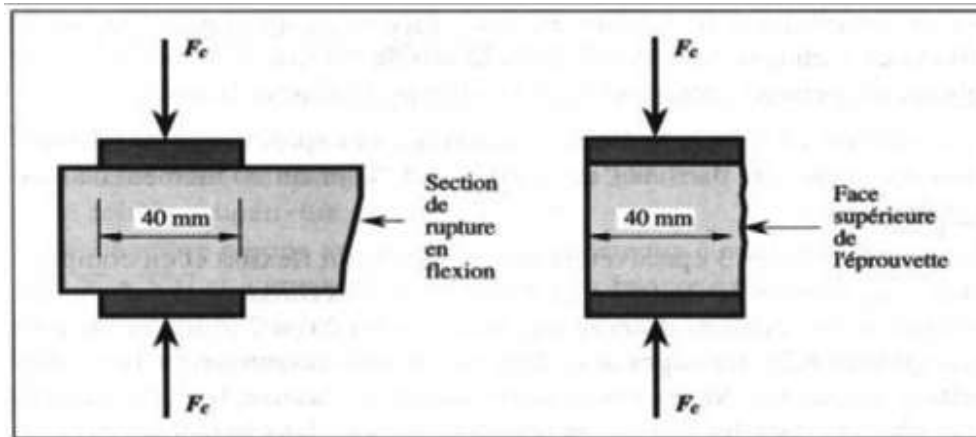


Figure.III.8 Essai de compression.

Calcul de la résistance à la compression = $RC = \frac{Fc}{b^2}$

Avec : RC : la résistance à la compression en MPA.

FC : la charge maximale à la rupture en N.

b : côté de la section carrée du prisme en mm

III.2. Résultats sur le ciment

III.2.1. Temps de prise

Les résultats de l'essai de temps de prise sont dans le tableau suivants

Tableau.III.7 Temps

Début de prise	3 h 5 minutes
Fin de prise	6 h 15 minutes

de prise.

III.2.1.1. Interprétation des résultats

Les résultats de l'essai de début et fin de prise représenté dans le tableau III.7 sont un peu plus élevés par rapport à la fiche technique du ciment utilisé, cette augmentation peut être expliquée par la qualité de ciment (formation de petits grains à l'intérieur du sac).

III.2.2. Résultats sur le sable

III.2.2.1. Module de finesse du sable

Le tableau III.8 représente l'analyse granulométrique de sable utilisé.

Tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulé (%)	MF
2	0	0	100	2,49
1.6	98.7	7.39	92.69	
1.25	318.4	23.58	76.42	
1	439.73	32.57	67.43	
0.63	749.63	55.52	44.48	
0.5	856.63	63.45	36.55	
0.315	990.93	73.40	26.6	
0.25	1037.13	76.82	23.18	
0.16	1309.33	96.98	3.02	
0.08	1325.7	98.2	1.8	

Tableau.III.8 Analyse granulométrique du sable

FT	1344	99.5	0.5
----	------	------	-----

III.2.2.2. Interprétation des résultats

D'après les résultats du tableau III.8 on remarque que le module de finesse de sable utilisé dans le cadre de cette étude est de 2,49, donc notre sable est un sable normal (qui n'est pas fin ni grossier).

III.2.3 La résistance à la flexion

La figure ci-dessous représente l'essai de flexion trois points.



Figure.III.9 Essais de flexion

III.2.3.1. Mortiers fibrés de polypropylène

Le tableau III.9 représente les résultats des essais de flexion 3 points à 7 et 28 jours.

Tableau.III.9 Résistance à la flexion à 07 jours et 28jours des mortiers fibrés avec du polypropylène

	Résistance à flexion en MPA	
	7 jours	28 jours
MN	4	4.4
MN + 2g pp	4.25	4.6
MN + 4g pp	3.8	4.3
MR	24.6	26.8
MR 2g pp	27.8	31.8
MR + 4g pp	27.1	30.2
MH	6.6	7.5
MH + 2g pp	7.4	8.9
MH + 4g pp	6.4	6.7

La Figure III.10 représente les résultats des résistances à la flexion des différents mortiers avec des différents dosages de fibre de polypropylène.

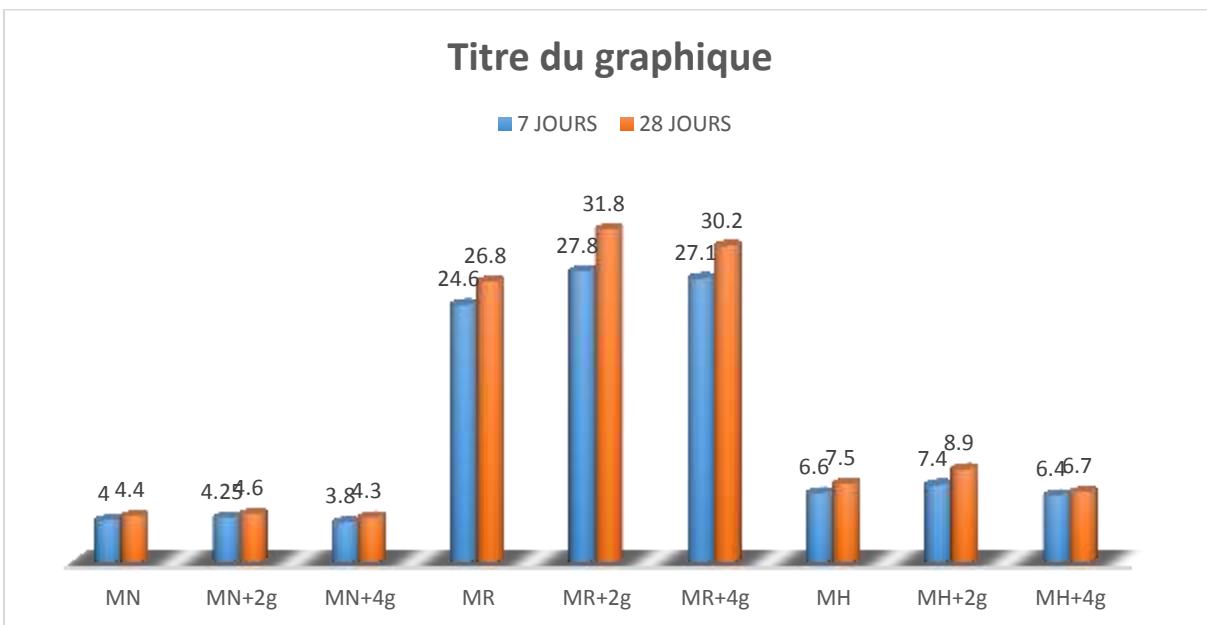


Figure.III.10 Résistances à la flexion des différents mortiers avec fibre pp.

III.2.3.2. Interprétation des résultats

Ces résultats montrent qu'à 7 jours et 28 jours les fibres polypropylène apportent une légère augmentation de la résistance à la traction par flexion des différents mortiers avec des dosages (0g, 2g et 4g) de fibres de polypropylène. Le mortier de résine dosé avec 2 et 4 g de fibre de polypropylène donne les meilleures résistances à la flexion trois points (31,8 et 30,2 respectivement) par rapport aux deux autres mortiers (témoin et mortier hydraulique).

L'augmentation du dosage des fibres polypropylène fait augmenter la résistance mécanique à la flexion par rapport au mortier sans fibre, le meilleur dosage de fibres polypropylène qui donne la résistance la plus élevée est de 2g.

III.2.3.2. La résistance à la compression

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture en flexion seront rompus en compression comme le montre la figure suivante :



Figure.III.11 Compression des éprouvettes.

La résistance à la compression à 07 jours et 28jours

Tableau.III.10 Résistance à la compression à 07 jours et 28jours des mortiers fibrés avec du polypropylène

	Résistance à compression en MPA	
	7 jours	28 jours
MN	29.5	33.2
MN + 2g pp	31.3	39.4
MN + 4g pp	30.1	38.1
MR	43.7	79.2
MR 2g pp	47.3	81.4
MR + 4g pp	46.2	80.1
MH	32.3	39.8
MH + 2g pp	36.2	46.5
MH + 4g pp	35.8	45.2

La Figure III.12 représente les résultats des résistances à la compression des différents mortiers avec des différents dosages de fibre de polypropylène.

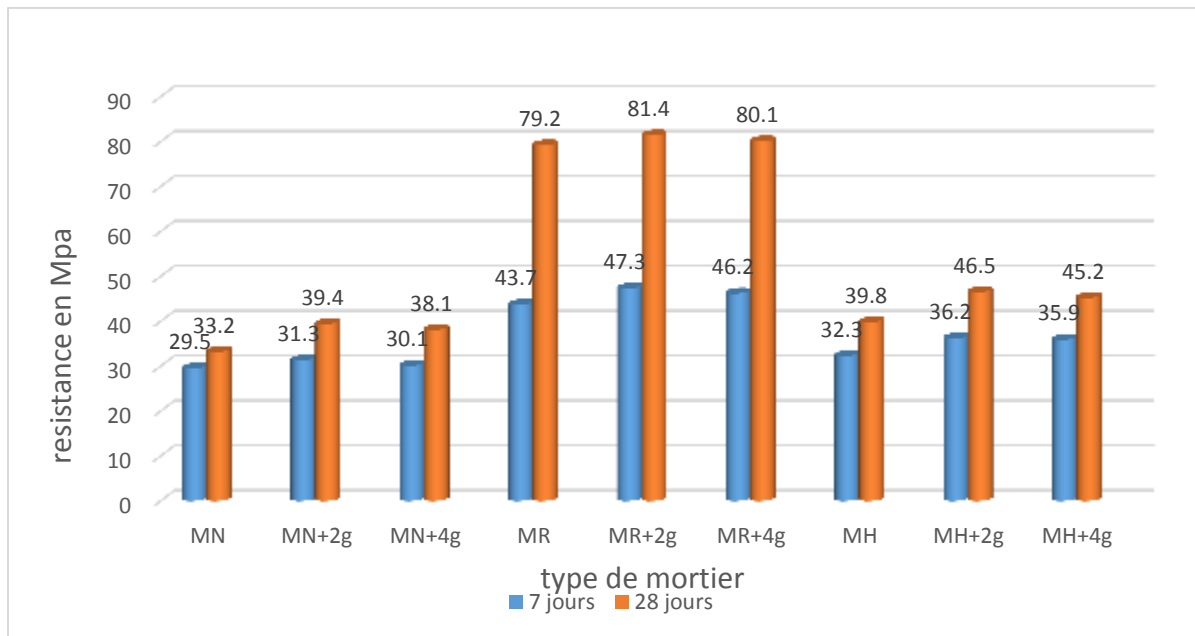


Figure.III.12 Résistances à la compression des différents mortiers avec fibre pp.

III.2.3.2.1. Interprétation des résultats

La résistance à la compression à 07 jours et 28 jours des mortiers élaborés avec la fibre polypropylène est supérieure à celle des mortiers sans fibres. L'incorporation de la fibre de polypropylène dans les trois types de mortiers à un effet positif sur la résistance à la compression des mortiers.

Le dosage optimal des fibres de polypropylène dans les mortiers est obtenu pour les variantes (MN+2g), (MR+2g), (MH+2g) qui donne des résistances à la compression de l'ordre de 31,3 MPa, 47,3 MPa et 36,2 MPa respectivement pour 07 jours, de 39,4 MPa, 81,4 MPa et 46,5 MPa respectivement pour 28 jours.

Conclusion

D'après les résultats présentés dans ce chapitre on peut conclure que l'incorporation des fibres polypropylène augmente la résistance mécanique en compression et en flexion et que parmi les différents mortiers celles de résine présente la résistance la plus élevée, on peut conclure aussi que d'après nos essais ; le dosage le plus résistant est celui de 2g pour les trois mortiers.

Conclusion générale

L'objectif de ce travail expérimental est l'étude du comportement mécanique de trois types de mortiers sous l'effet des sollicitations mécaniques, ainsi que de l'influence des fibres de polypropylène sur la variation de la résistance mécanique des différents types de mortiers.

A cet effet, des prismes de mortier ont été confectionnés et conservés dans des conditions normalisées en un nombre suffisant pour l'étude prévues dans le protocole expérimental qui sont le mortier témoin sans fibre, le mortier hydraulique renforcé avec des fibres de polypropylène et le mortier de résine renforcé avec des fibres de polypropylène.

En examinant les résultats de la campagne des essais effectués, on peut conclure que :

- L'augmentation du dosage des fibres polypropylène fait augmenter la résistance mécanique à la flexion par rapport au mortier sans fibre, le meilleur dosage de fibres polypropylène qui donne la résistance la plus élevée est de 2g.
- L'incorporation de la fibre de polypropylène dans les trois types de mortiers a un effet positif sur la résistance à la compression des mortiers. Le dosage optimal des fibres de polypropylène dans les mortiers est obtenu pour les variantes (MN+2g), (MR+2g), (MH+2g) qui donne des résistances à la compression de l'ordre de 31,3 MPa, 47,3 MPa et 36,2 MPa respectivement pour 07 jours, de 39,4 MPa, 81,4 MPa et 46,5 MPa respectivement pour 28 jours.
- Le mortier de résine présente les résistances mécaniques les plus élevées par rapport au mortier hydraulique et mortier témoins.
- Le dosage en fibres de polypropylène qui présente la meilleure performance en termes de résistance mécanique est 2g.

Références bibliographiques

- [1] <http://www.batiweb.com,consultee> en ligne le 25-06-2021.
- [2] MADI Katia et FARCHOULI razika , “Etude des caractéristiques mécaniques et la durabilité des bétons et mortiers a base de fibres métalliques , mémoire de fin d’étude master , Université A. MIRA - Bejaïa :” 2014.
- [3] <http://www.construction-maison-ooreka.fr,consultee> en ligne le 12-05-2021.
- [4] SAIDI khadija “ Etude d’un mortier au laitier granulé renforcé par des fibres de jute, mémoire de fin d’étude master, Université Mohamed Boudiaf – M’sila ; 2017.
- [5] <http://www.ffbatiment.ft,consultee> en ligne le 30-05-2021
- [6] DALIDA Nassah , “Influence de la quantité de fibres naturelles (alfa) et commerciales (polypropylène) sur les propriétés physico- mécaniques des mortiers fibrés. Mémoire de fin d’étude master, université m’hamed bouguera – boumerdes ” 2017.
- [7] DALILA Chabane, “caractérisation en statique du comportement en traction directe du béton armé de fibres en copeaux, mémoire de magister ”université mouloud Mammeri- Tizi Ouzou 2012.
- [8] JAMES P. Romualdi et al, The mechanics of crack arrest in concrete”, new york : vol 89 n 3 ,1963.
- [9] DJELOUACHI Hayet, “Influence des fibres végétales sur les propriétés physico-mécaniques d’un béton, mémoire de fin d’étude master, université m’Hamed bouguera – boumerdes ” 2017.
- [10] LAROUCI Belkhir, “contribution à l’étude du comportement mécanique de béton des fibres métalliques [copeaux de récupération] ; mémoire de fin d’étude master ;’ Université Ahmed DRAIA d’ADRAR ; 2017.
- [11] JEAN- PHILIPPE Charron, “ utilisation de béton renforcé de fibre (BRF) pour les glissières en béton pour chantier (GBC), ” mémoire fin d’étude ; ’ école polytechnique de Montréal,2016
- [12] MEDDAHI kamel et MEDDAHI nacira “ comportements des bétons renforcés par des fibres métalliques, méthodologie et hypothèse de recherche. ; Mémoire de fin d’étude master, U. A. M. Oulhadje-bouira ” 2016.

- [14] BOULHENDI Meriem ; “ Etude expérimentale et théorique du comportement mécanique des mortiers et bétons fibrés ; mémoire de Magister ; Université Mohamed Khider – Biskra 2013.
- [15] PASCAL Casanova, “Bétons renforcés de fibres métalliques : du matériau à la structure. Etude expérimentale et analyse du comportement de poutres soumises à la flexion et à l’effort tranchant,” thèse de doctorat ; 'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées ; 1995.
- [16] JULIE Armengaud, “ optimisation des propriétés des bétons projetés par voie sèche ; thèse de doctorat ; 'Université fédérale Midi-Pyrénées de Toulouse ; 2016.
- [17] THIBAUT Plagué, “ influence de l’orientation et de type de fibres sur le comportement mécanique et la perméabilité des bétons renforcés de fibres ; Mémoire de maîtrise, “ université de Montréal, 2016.
- [18] A. kheyroddin et al, “ The impact resistance of Fiber-Reinforced concrete with polypropylene fibers and GFRP wrapping ; article ; université de samman, Iran,2021.
- [19] SADOON Faouzi et DJEBRI lkhail, “ étude comparative entre les mortiers avec la fibre métallique et verre ; Mémoire de master, “ université de bouira, 2019.
- [20] OUARET Safia et BOUNCEUR Nabil, “ Valorisation des fibres métalliques (fibres bcr) les bétons ; Mémoire de master, Université A. MIRA, Bejaïa, 2013.
- [21] BENALI redha, “ Etude du comportement mécanique et rhéologique de la pâte du ciment, mortier et béton avec différentes fibres ; Mémoire de magister, Université Mohamed khider, Biskra, 2010
- [22] NA 442, Norme Algérienne, Ciments : composition, spécification et critères de conformité des ciments courants, éditions 2000.
- [23] NF EN 933-1, Norme européenne, Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 1 : détermination de la granularité - Analyse granulométrique par tamisage, Mai 2012.
- [24] NF EN 12390-5, Essai pour béton durci - Partie 5 : résistance à la flexion sur éprouvettes, Octobre 2001.
- [25] NF EN 12390-3, Essai pour béton durci - Partie 3 : résistance à la compression des éprouvettes, Février 2003.