



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



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTMENT D'HYDRAULIQUE DE
GENIE CIVIL

Mémoire De Fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Science Technologie

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux Génie Civil

Thème :

*Utilisation des fibres de plastique dans la
formulation du béton*

Présenté par :

Youcef Laib

Oussama Ahmim

Yassin Messa

Abderrezzak Messai Aoun

Supervisé par :

Ilyes Soulimane

2022-2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENTS

*Après avoir rendu grâce à Dieu le Tout-Puissant et le Tout-Miséricordieux, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers le **Dr. Souleiman Ilyes** et **Mr. Rezik Taher** pour leur précieuse assistance dans la préparation de ce travail. Nous remercions tous les membres du comité de révision pour avoir accepté d'examiner notre thèse.*

*Nous souhaitons sincèrement remercier tous ceux qui ont contribué de quelque manière que ce soit à la rédaction de cette thèse, y compris les responsables du laboratoire de génie civil et de travaux publics "Newzelab" ainsi que tous les membres du laboratoire qui ont participé directement ou indirectement à cette recherche et à son objectif. Nous remercions également **chagra Hatem** pour sa contribution à ce travail.*

Enfin, nous ne pouvons oublier de remercier nos chers parents et amies



DÉDICACE

*Nous dédions cet humble travail avec amour, sincérité et fierté
A notre famille, source de tendresse, de noblesse et de
dévouement. Ce mémoire n'aurait pas été possible sans leur
soutien actif, en particulier nos parents, qui nous ont toujours
encouragés moralement et financièrement et que nous tenons à
remercier. Que cette démarche soit une source de satisfaction
pour eux et pour tous nos amis et tous nos professeurs.*

*Enfin, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et
notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont
contribué de près ou de loin à sa réalisation, car le projet ne
peut être le fruit d'une seule personne*

Résumé : L'utilisation de strands plastiques dans la arrangement du béton est une method visant à la dépendance aux plastiques promote en préservant l'environnement et la santé publique. Cette use rest sur l'ajout de strands plastiques recyclées au mélange de mortier, apportant plusieurs avantages tels que le renforcement de la force et de la durabilité, la réduction de la consommation, la préservation de l'environnement et des avantages économiques.

Notre étude expérimentale porte sur l'impact de l'incorporation de strands plastiques (bandes plastiques) dans le mortier ordinaire, afin de comprendre pleinement leur impact sur la résistance mécanique. Nous avons choisi des strands d'une longueur de 2,5 cm et avons varié le pourcentage (dose) de filaments (1 %, 2 %, 3 %).

Cette étude met en lumière le rôle et l'impact de la teneur en strands sur les propriétés du mortier.

Les résultats obtenus montrent que la résistance à la pression et à la flexion du mortier renforcé de strands plastiques augmente avec l'augmentation du pourcentage de filaments. En d'autres termes, in addition to la extent de strands dans le mortier est élevée, in addition to sa résistance à la pression et à la flexion augmente. Il est évident que la masse volumique du béton augmente avec l'augmentation des extents de strands plastiques.

Le mortier renforcé avec 3 % de strands plastiques présente la in addition to haute résistance à la pression parmi toutes les extents étudiées, promote comme la résistance à la flexion.

La différence de résistance à la pression entre le béton témoin (mortier de référence) et le béton renforcé de strands plastiques indique l'efficacité de l'ajout de filaments pour augmenter la résistance à la pression du mortier.

Il apparaît que le mortier renforcé de strands plastiques présente un avantage supplémentaire en termes de résistance à la pression et à la flexion standard compatibility au béton témoin. Cela renforce l'utilisation des strands plastiques pour améliorer les propriétés des matériaux utilisés dans l'infrastructure et la development.

Mots Clefs : Béton renforcé de fibres plastiques, Bandes plastiques, Résistance à la compression.

المخلص: إن استخدام الشرائط البلاستيكية في البناء الخرساني هو أسلوب يهدف إلى الاعتماد على المواد البلاستيكية مع الحفاظ على البيئة والصحة العامة. ويعتمد هذا الاستخدام على إضافة خيوط بلاستيكية معاد تدويرها إلى الخليط الملاطي، مما يحقق العديد من المزايا مثل زيادة القوة والمتانة، وتقليل الاستهلاك، والحفاظ على البيئة، والفوائد الاقتصادية.

تركز دراستنا التجريبية على تأثير دمج الخيوط البلاستيكية (الشرائط البلاستيكية) في الملاط العادي، من أجل فهم تأثيرها بشكل كامل على القوة الميكانيكية. اخترنا خيوطاً بطول 2.5 سم وقمنا بتغيير النسبة المئوية (الجرعة) للخيوط (1%، 2%، 3%).

تسلط هذه الدراسة الضوء على دور وتأثير محتوى الخيوط على خصائص الخرسانة. أظهرت النتائج المتحصل عليها أن مقاومة الضغط والانحناء للملاط المسلح بالشرائط البلاستيكية تزداد مع زيادة نسبة الخيوط. بمعنى آخر، كلما زاد مدى الخيوط في الملاط، زادت مقاومتها للضغط والانحناء. ومن الواضح أن كثافة الملاط تنقص مع زيادة الخيوط البلاستيكية. أظهر الملاط المسلحة بألياف بلاستيكية بنسبة 3% أعلى قوة ضغط بين جميع المستويات التي تمت دراستها، بالإضافة إلى قوة الانحناء.

إن الفرق في مقاومة الضغط بين خرسانة التحكم (الخرسانة المرجعية) والخرسانة المسلحة بخيوط بلاستيكية يدل على فعالية إضافة خيوط لزيادة مقاومة الخرسانة للضغط. يبدو أن الخرسانة المسلحة بالخيوط البلاستيكية تقدم ميزة إضافية من حيث مقاومة الضغط والانحناء والتوافق مع خرسانة التحكم. مما يعزز استخدام الألياف البلاستيكية لتحسين خواص المواد المستخدمة في البنية التحتية والتطوير.

الكلمات المفتاحية : الخرسانة المسلحة بالألياف البلاستيكية، الشرائط البلاستيكية، مقاومة الضغط

Summary: The use of plastic strips in concrete construction is a method aimed at dependence on plastics while preserving the environment and public health. This use rests on the addition of recycled plastic strands to the mud mixture, bringing several advantages such as increased strength and durability, reduced consumption, environmental preservation and economic benefits.

Our experimental study focuses on the impact of incorporating plastic strands (plastic strips) into ordinary mortar, in order to fully understand their impact on mechanical strength. We chose strands with a length of 2.5 cm and varied the percentage (dose) of filaments (1%, 2%, 3%).

This study highlights the role and impact of strand content on mud properties.

The results obtained show that the resistance to pressure and bending of mud reinforced with plastic strands increases with the increase in the percentage of filaments. In other words, the greater the extent of strands in concrete, the greater its resistance to pressure and bending. It is obvious that the density of mud increases with the increase in the extent of plastic strands.

Mud reinforced with 3% plastic fibers exhibits the highest compressive strength of all levels studied, as well as flexural strength.

The difference in pressure resistance between the control mud (reference mud) and the mud reinforced with plastic strands indicates the effectiveness of adding filaments to increase the pressure resistance of the mud.

It appears that mud reinforced with plastic strands presents an additional advantage in terms of resistance to pressure and bending and compatibility with control mud. This reinforces the use of plastic fibers to improve the properties of materials used in infrastructure and development.

Keywords: mud reinforced with plastic fibers, Plastic strips, Compressive strength

CHAPITER I

Introduction Générale1

I.1 Introduction :3

I.2 Définition du mortier :4

I.3 Bref historique :4

I.4 Les composants du mortier :5

4.1 Ciment :5

4.2 Granulats :5

4.3 Eau :6

4.4 Adjuvants :6

4.5 Armature :6

I.5 Différents types de mortier :6

5.1 mortier à résistance normale :7

5.2 mortier à haute résistance :7

5.3 mortier léger :7

5.4 mortier auto nivelant :7

5.5 mortier à fibres :7

5.6 mortier décoratif :8

5.7 mortier préfabriqué :8

5.8 mortier prêt à l'emploi :8

5.9 mortier armé :8

I.6 Les propriétés du mortier :9

6.1 Les propriétés mécaniques du mortier:9

6.1.1 Résistance à la traction :9

6.1.2 Résistance en flexion :10

6.1.3 Résistance au cisaillement :10

6.1.4 Module d'élasticité :10

6.1.5 Coefficient de Poisson :10

6.1.6 Fluage :10

6.1.7 Retrait :11

SOMMAIRE

| | | |
|-------|--|-----|
| 6.1.8 | Résistance à la fatigue | :11 |
| 6.1.9 | Résistance aux chocs | :11 |
| 6.2 | Les propriétés physiques du mortier | :11 |
| 6.2.1 | Densité | :11 |
| 6.2.2 | Porosité | :11 |
| 6.2.3 | Perméabilité | :12 |
| 6.2.3 | Dilatation thermique | :12 |
| 6.2.4 | Conductivité thermique | :12 |
| 6.2.5 | Conductivité électrique | :12 |
| 6.2.6 | Absorption sonore | :12 |
| 6.2.7 | Couleur et apparence | :12 |
| I.7 | Techniques de renforcement du mortier | :13 |
| 7.1 | Armature | :13 |
| 7.2 | Précontrainte | :13 |
| 7.3 | Projection de mortier | :14 |
| 7.4 | Renforcement par fibres | :14 |
| 7.5 | Injection d'époxy | :14 |
| 7.6 | Renforcement par fibre de carbone | :14 |
| 7.7 | post-tension externe | :15 |
| 7.8 | Coulis | :15 |
| I.8 | Applications courantes du mortier dans la construction | :15 |
| 8.1 | Bâtiments et structures | :15 |
| 8.2 | Ponts et autoroutes | :15 |
| 8.3 | Barrages et ouvrages hydrauliques | :16 |
| 8.4 | Structures marines | :16 |
| 8.5 | Tunnels et ouvrages souterrains | :16 |
| 8.6 | Éléments préfabriqués | :16 |
| 8.7 | Applications décoratives et architecturales | :16 |
| 8.8 | Infrastructures et services publics | :16 |
| I.9 | Conclusion | :17 |

SOMMAIRE

CHAPITER II

II.1 Introduction :18

II.2 [Les fibres](#) :19

II.3 Différents types de fibres :19

3.1 Les fibres d'acier :19

3.2 La fibre de verre :20

3.3 Les fibres de carbone :20

3.4 Les fibres plastiques :21

II.4 Les différents types de fibres plastiques :21

4.1 Les fibres de polypropylène :21

4.2 Les fibres de polyester :22

4.3 Les fibres de polyéthylène :22

4.4 Les fibres de polychlorure de vinyle (PVC) :22

4.5 Les fibres de nylon :23

II.5 Propriétés des fibres plastiques pour renforcer les matériaux de construction :23

5.1 Résistance élevée :23

5.2 Légèreté :23

5.3 Résistance à la corrosion :23

5.4 Flexibilité :24

5.5 Facilité d'installation :24

II.6 mortier fibré :24

6.1 mortier armé plastique :24

6.2 Propriétés mécaniques et physiques du mortier armé avec fibres plastiques :24

6.2.1 Les propriétés mécaniques du mortier armé avec des fibres de plastique :24

6.2.2 Les propriétés physiques du mortier armé avec des fibres de plastique:25

II.7 Effet des fibres plastiques sur les extraits renforcés :26

7.1 Amélioration de la résistance et de la rigidité:26

7.2 Réduction de la déformation et de la contraction :26

7.3 Amélioration de la résistance à la corrosion :26

SOMMAIRE

| | |
|--|------|
| 7.4 Amélioration de l'isolation thermique et acoustique | :27 |
| 7.5 Amélioration de la réponse aux séismes | :27 |
| II.8 Les effets environnementaux et durables de l'utilisation du mortier renforcé de fibres plastiques | : 27 |
| 8.1 Réduction de l'utilisation de l'acier | :27 |
| 8.2 Amélioration de la durabilité du mortier | :27 |
| 8.3 Réduction des déchets et recyclage | :27 |
| 8.4 Amélioration de l'efficacité énergétique | :27 |
| 8.5 Amélioration de la qualité de l'air intérieur | :27 |
| II.9 Les applications et les utilisations du mortier armé à fibres plastiques | :28 |
| 9.1 Résistance et durabilité | :28 |
| 9.2 Résistance à la corrosion | :28 |
| 9.3 Amélioration de la résistance aux chocs | :28 |
| 9.4 Réduction des fissures et de la déformation | :28 |
| 9.5 Isolation thermique et acoustique | :28 |
| II.10 Conclusion | :29 |

SOMMAIRE

CHAPITER III

- III.1 Introduction :30
- III.2 Matériaux utilisés :31
 - 2.1 Sables :31
 - 2.1.1 Caractéristiques physiques :31
 - 2.2 Ciment :33
 - 2.3 Fibres plastiques :34
 - 2.4 Eau de gâchage :35
- III.3 Formulations de mortier :35
 - 3.1 Compositions des mortiers :35
 - 3.2 Procédure expérimentale :36
 - 3.2.1 Fabrication du mortier :36
 - 3.2.2 Coulage des éprouvettes :37
 - 3.2.3 Les essais réalisés :40
- III.4 Conclusion :43

CHAPITER IV

- IV.1 Introduction :44
- IV.2 Résultat :44
 - 2.1 Résistance à la compression :44
 - 2.2 Résistance à la flexion :48
 - 2.3 La Masse volumique:52
- IV.3 Conclusion :53
- Conclusion [Générale](#):54**
- Références bibliographique 55

Liste de figure

CHAPITER I

Figure I.1 Ciment utilisé dans la construction5

Figure I.2.:Les constituants du béton6

Figure I.3 : Béton à fibres.8

Figure I.4 : Béton armé.9

Figure I.5 : Barre d'armature.13

Figure I.6 : Vaporiser le béton avec de l'eau14

Figure I.7 : Pompe d'injection de béton.15

CHAPITER II

Figure II.1 :Les fibres d'acier19

Figure II.2 : La fibre de verre.20

Figure II.3 :Les fibres de carbone21

Figure II.4 : Les fibres de polypropylène22

Figure II.5 : Les fibres de polyester22

Figure II.6 : fibres Les de polyéthylène23

Figure II.7 : Les fibres de nylon24

Liste de figure

CHAPITER III

- Figure III .1 : Sable Alluvionnaire Djamaa31
- Figure III.2 : Ciment utilisé.33
- Figure III.3 : fibres blastiques.35
- Figure III. 4 : Eau de gâchage.35
- Figure III.5 :Pesage des composants du mortier36
- Figure III.6 : Matériaux utilisés secs.37
- Figure III.7 : Mélanger les matières sèches.37
- Figure III .8 : Ajouter de l'eau en mélangeant38
- Figure III. 9 : Moule des éprouvettes utilisés.38
- Figure III.10 : Lubrifié de moule39
- Figure III .11 : Verser la moitié de la quantité dans le moule39
- Figure III .12 : Décanter l'échantillon en secouant.39
- Figure III .13 : Remplissage du modèle terminé40
- Figure III .14 : Ouvrir les éprouvettes.40
- Figure III .15 : Essai de de traction par flexion.41
- Figure III .16 : Essai de compression42
- Figure III.17 : Essai d'auscultation dynamique.43

CHAPITER IV

- Figure VI. 1 : Résistance à la pression 7j45
- Figure VI. 2 : Résistance à la pression14j.46
- Figure VI. 3 : Résistance à la pression 28j47
- Figure VI. 4 : Résistance à la flexion 7j.49
- Figure VI. 5 : Résistance à la flexion 14j51
- Figure VI. 6 : Résistance à la flexion 28j.53
- Figure VI. 7 : La masse volumique54

Liste Des Tableaux

CHAPITER III

Tableau III . 1 : Résistance à la compression (NA 234)33

Tableau III . 2 : Analyses chimiques (NA 5042)33

Tableau III . 3 : Composition minéralogique du ciment (CLINKER)34

Tableau III . 4 : Caractéristiques physiques du ciment MATINE34

Tableau III . 5 : Composition des mortiers utilisés36

CHAPITER IV

Tableau III . 1 : La résistance à la pression du mortier44

Tableau III . 2 : La résistance à la flexion du mortier49

Tableau III . 3 : Changer la densité du béton frais53

Liste des abréviations

| | |
|-----|-------------------------------------|
| SA | Sable alluvionnaire |
| E/C | Eau/Ciment |
| BT | béton témoin |
| Bp | Béton renforcé de fibres plastiques |



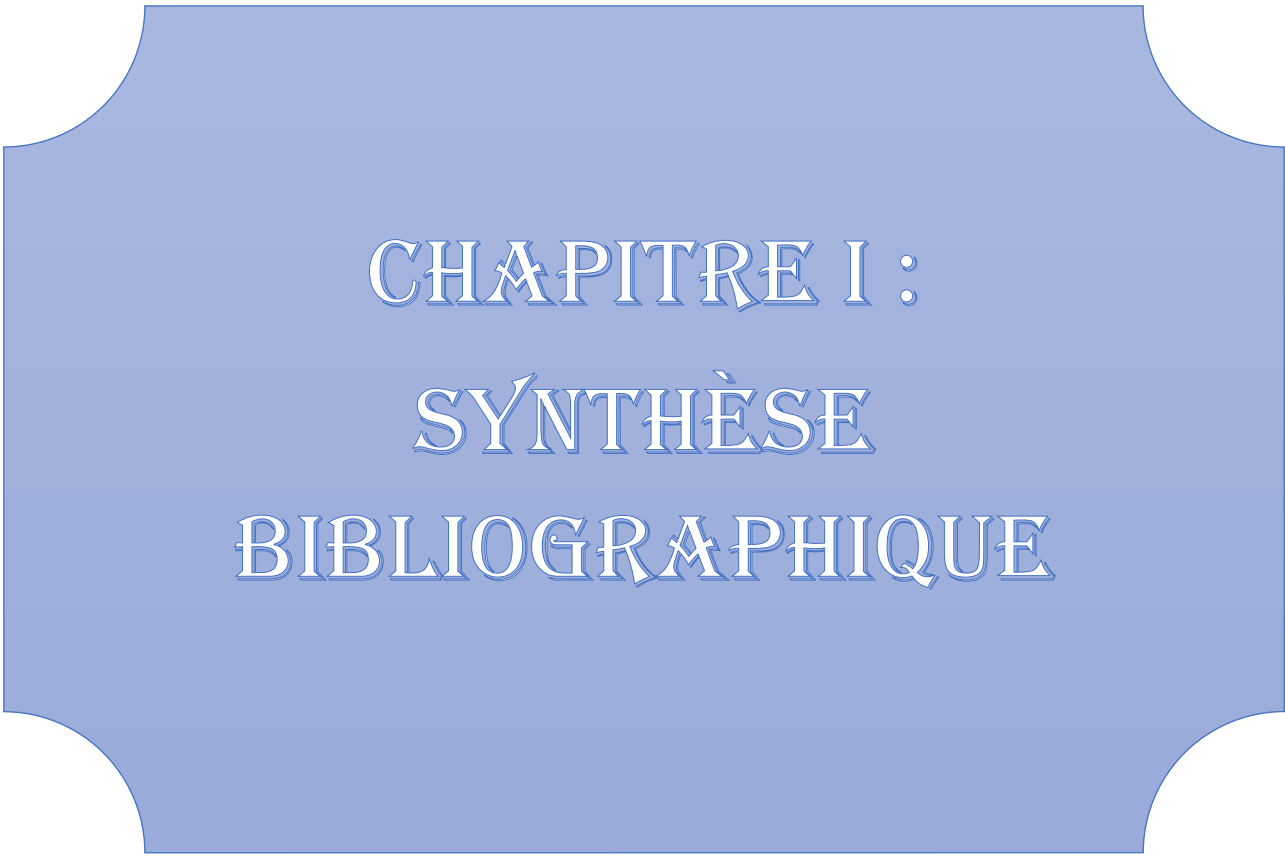
INTRODUCTION
GÉNÉRALE

Introduction générale :

La problématique de la pollution environnementale et de l'accumulation des déchets plastiques représente un défi majeur auquel le monde est actuellement confronté. Des tonnes de plastique sont déversées dans l'environnement chaque jour, entraînant des impacts négatifs sur l'environnement et la santé publique. La résolution de ce problème nécessite l'adoption de stratégies durables pour recycler et exploiter le plastique de manière innovante et efficace.

Parmi ces stratégies environnementales innovantes, l'utilisation de fibres plastiques dans l'industrie du béton se distingue comme une option prometteuse. Ce concept offre l'opportunité de contribuer à résoudre le problème de la pollution environnementale en transformant les déchets plastiques en un matériau utilisé efficacement dans la fabrication de matériaux de construction. Ces fibres plastiques peuvent contribuer à améliorer les propriétés du béton armé, le rendant plus résistant et durable, réduisant ainsi la nécessité de recourir aux matériaux traditionnels et, par conséquent, réduisant les impacts environnementaux négatifs liés à l'extraction et à l'utilisation de ces matériaux.

L'objectif de cette note est d'explorer les possibilités et les avantages de l'utilisation de fibres plastiques pour renforcer le béton, tout en comprenant leur impact sur les propriétés du béton. L'accent sera mis sur l'étude des matériaux plastiques utilisés et leur influence sur les propriétés mécaniques du béton, ainsi que la présentation d'une analyse détaillée des résultats et des conclusions tirées de cette recherche. Ce travail vise à accroître la compréhension de la manière dont les matériaux plastiques recyclés peuvent être durablement exploités dans l'industrie de la construction, ce qui peut jouer un rôle important dans la préservation de l'environnement et l'amélioration de la qualité des matériaux de construction.



CHAPITRE I :
SYNTHÈSE
BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Introduction :

Le mortier est l'un des matériaux de construction les plus importants au monde. Il est utilisé dans la construction de bâtiments, de ponts, de routes, de barrages et de tunnels. Il constitue la base de la construction de nombreux grands projets.

Dans ce chapitre, les généralités du mortier sont étudiées et ses propriétés et utilisations de base sont connues, car la compréhension de cette étude est très importante pour les ingénieurs civils, les architectes et nous, acteurs de l'industrie de la construction.

: I.2 Définition du mortier

Le mortier est un matériau de construction composite composé de ciment (généralement du ciment Portland), d'agrégats fins et grossiers (tels que du sable ou des pierres concassées) et d'eau. C'est l'un des matériaux de construction les plus largement utilisés dans le monde en raison de sa résistance, de sa durabilité et de sa polyvalence. Lorsque le ciment et l'eau se mélangent, une réaction chimique appelée hydratation se produit, ce qui entraîne la formation d'une matrice dure qui lie les agrégats ensemble. Les agrégats fournissent du volume et de la stabilité au mortier, tandis que la pâte de ciment remplit les vides entre les agrégats et lui confère de la résistance[1]. Le mortier peut être moulé et coulé dans différentes formes et tailles, ce qui le rend adapté à une large gamme d'applications dans l'industrie de la construction. Il est couramment utilisé dans la construction de bâtiments, de ponts, de routes, de barrages et d'autres projets d'infrastructures

: I.3 Bref historique

Les origines du mortier ne sont pas précisément connues, mais le mortier la plus ancienne remonte à 7000 av. J.-C. et a été découvert dans le sud palestinien. Ce mélange précoce de mortier se composait de chaux vive, d'eau et de pierre. En Europe de l'Est, des mortiers et du mortier composé de chaux, de sable et datant de 5000 av. J.-C. ont été retrouvés. Des mélanges similaires ont été utilisés ultérieurement par les anciens Égyptiens et les Grecs, environ 4000 ans plus tard

Au II^e siècle av. J.-C., les Romains ont introduit le ciment hydraulique, un amalgame révolutionnaire qui réagissait chimiquement avec l'eau. Cette innovation a révolutionné l'industrie de la construction. Les ingénieurs romains ont utilisé ce nouveau type de mortier de manière extensive dans la construction de leur empire[2], notamment pour les aqueducs, les fondations et les colonnes. Les vestiges durables de la Rome impériale témoignent de leur expertise en ingénierie, et le Panthéon en est un exemple remarquable

Le Panthéon, caractérisé par son apparence monolithique et défini par son coffrage, présente un intérieur illuminé par un oculus central ouvert vers le ciel. Le toit, construit il y a environ 2000 ans, était constitué de mortier de différentes densités et qualités. À mesure que la structure s'élevait, le toit devenait plus léger, la section supérieure utilisant des agrégats plus légers tels que la pierre ponce volcanique et le tuf, au lieu des agrégats plus lourds de travertin et de terre cuite utilisés dans les sections inférieures. On estime que les Romains utilisaient différents mélanges de mortier, disposés en couches horizontales, avec des coffrages conçus pour réduire la charge. La compréhension de la construction par les Romains et leur manipulation du mortier ont mis en évidence sa remarquable polyvalence, notamment dans la construction de coques en mortier. Alors que d'autres civilisations continuaient à utiliser la pierre et le bois pour leurs structures, le mortier commençait à transformer la construction de structures à grande portée. Le mortier s'est affranchi des limites imposées par les matériaux de construction traditionnels, offrant aux concepteurs et aux constructeurs la possibilité de contrôler la résistance à la compression, le poids propre et d'adapter le matériau à des besoins spécifiques, capacité du mortier à être versé dans un moule à l'état liquide puis à se solidifier en

formes porteuses a révolutionné les formes et les possibilités des futurs environnements construits. Il a permis la création de formes fluides sans avoir à tailler le marbre, comme cela était fait dans les sculptures grecques et romaines pour reproduire la fluidité d'un tissu en mouvement. Le mortier pouvait être moulé dans n'importe quelle forme imaginable. La malléabilité et la fluidité de ce matériau amorphe sont parmi ses attributs les plus captivants. Sa forme et son destin dépendaient du moule, du processus de construction et de l'imagination humaine[3]

: I.4 Les composants du Mortier

4.1 Ciment :

Le ciment est une poudre fine qui agit comme l'agent liant dans le mortier. Le type de ciment le plus couramment utilisé est le ciment Portland, qui est obtenu en broyant du clinker (un mélange de calcaire, d'argile et d'autres matériaux) et en y ajoutant du gypse pour contrôler le temps de prise. Lorsque de l'eau est ajoutée au ciment, une réaction chimique appelée hydratation se produit, formant une pâte qui durcit avec le temps et lie les agrégats entre eux[4]



Figure I.1 : Ciment utilisé dans la construction .

4.2 Granulats :

Les granulats sont des matériaux granulaires inertes qui constituent la majeure partie du mortier : les granulats fins et les granulats grossiers. Les granulats fins, tels que le sable, ont des particules de moins de 5 mm, ont des particules de plus de 5 mm. Les granulats occupent environ 60 à 80% du volume total du mortier. Ils fournissent stabilité, résistance et volume au mélange de mortier[5]

4.3 Eau :

L'eau est un composant crucial du mélange de mortier car elle initie la réaction chimique d'hydratation avec le ciment. Elle remplit les espaces entre les particules de ciment et les granulats, leur permettant de se lier et de former une matrice solide. La quantité d'eau utilisée dans le mélange affecte la maniabilité, la résistance et la durabilité du mortier[6]. Le rapport eau-ciment est soigneusement contrôlé pour obtenir les propriétés désirées

: Adjuvants 4.4

Les adjuvants sont des matériaux supplémentaires ajoutés au mélange de mortier pour modifier ses propriétés. Ils sont utilisés pour améliorer la maniabilité, renforcer la résistance, augmenter la durabilité, contrôler le temps de prise et conférer des caractéristiques spéciales au mortier. Les types courants d'adjuvants comprennent les réducteurs d'eau (pour améliorer la maniabilité), les accélérateurs (pour accélérer le temps de prise)[7], les retardateurs (pour retarder le temps de prise), les agents entraîneurs d'air (pour créer des bulles d'air et améliorer la résistance au gel-dégel) et les super plastifiants pour augmenter la fluidité

: Armature 4.5

L'armature est souvent ajoutée aux structures en mortier pour renforcer leur résistance à la traction. Une armature en acier, sous forme de barres ou de treillis, est incorporée dans le mortier pour résister aux forces de traction. Cette combinaison d'acier d'armature et de béton est appelée mortier armé. L'armature aide à répartir les charges, contrôler les fissures et augmenter la résistance et la durabilité globale de la structure[8]



.Figure 1. 2 : Les constituants du mortier

: I.5 Différents types de Mortier

Il existe plusieurs types de mortier, chacun conçu pour des applications spécifiques et des exigences de performance. Voici quelques types courants de mortier avec une explication : détaillée

: Mortier à résistance normale 5.1

Également appelé mortier ordinaire, le mortier à résistance normale est le type de mortier le plus couramment utilisé. Il a une résistance à la compression comprise entre 20 et 40 mégapascals (MPa). Le mortier à résistance normale convient aux travaux de construction généraux tels que les bâtiments, les chaussées et les fondations.

: Mortier à haute résistance 5.2

Le mortier à haute résistance est spécialement formulé pour atteindre une résistance à la compression supérieure à celle du mortier à résistance normale. Il a généralement une résistance à la compression supérieure à 40 MPa et peut atteindre jusqu'à 100 MPa ou plus. Le mortier à haute résistance est couramment utilisé dans les immeubles de grande hauteur, les ponts et les projets d'infrastructure nécessitant une résistance et une durabilité supérieures.

: Mortier léger 5.3

Le mortier léger est produit en incorporant des granulats légers tels que l'argile expansée, le schiste ou la perlite dans le mélange de mortier. Il a une densité inférieure à celle du mortier normal, ce qui se traduit par un poids réduit. Le mortier léger présente des avantages tels qu'une meilleure isolation thermique, une charge morte réduite sur les structures et une résistance accrue au feu. Il est couramment utilisé dans des applications de construction où la réduction du poids est importante, comme les panneaux préfabriqués, les cloisons et les blocs isolants[9].

: Mortier auto nivelant 5.4

Le mortier auto nivelant est un type de mortier hautement fluide et cohésif qui peut remplir des formes complexes et renforcer efficacement les structures sans nécessiter de compactage mécanique. Il présente une excellente aptitude au travail et peut s'écouler sous son propre poids, ce qui lui permet de remplir facilement des formes complexes et des espaces restreints. Il est couramment utilisé dans des applications où des finitions de surface de haute qualité, un renforcement dense et une efficacité de construction accrue sont recherchés, tels que les éléments architecturaux, les composants préfabriqués et les structures fortement armées.

: Mortier à fibres 5.5

Le mortier à fibres est un type de mortier contenant des matériaux fibreux tels que des fibres d'acier, des fibres synthétiques ou des fibres naturelles, afin d'améliorer sa résistance à la traction et sa résilience. Les fibres répartissent plus uniformément les contraintes dans le mortier, offrant une meilleure résistance aux fissures, à l'impact et à la durabilité. Le mortier à fibres est couramment utilisé dans les planchers industriels, les chaussées, les gaines de tunnel et les applications de projection de mortier[10].



Figure I.3: mortier à fibres.

5.6 Mortier décoratif :

Le mortier décoratif désigne le mortier amélioré avec divers traitements esthétiques et finitions pour obtenir des effets décoratifs. Cela comprend des techniques telles que le mortier estampé, le mortier coloré, l'exposition des granulats et le mortier poli. Le mortier décoratif offre une grande polyvalence en termes de design, permettant la création de surfaces visuellement attrayantes dans des applications telles que les patios, les allées, les trottoirs et les sols intérieurs.

5.7 Mortier préfabriqué :

Le mortier préfabriqué désigne des éléments en mortier qui sont coulés et durcis dans un environnement contrôlé avant d'être transportés sur le chantier. Ce type de mortier permet une production efficace et un contrôle de qualité élevé. Les éléments en mortier préfabriqué, tels que les poutres, les colonnes, les murs et les dalles, sont fabriqués dans des installations spécialisées, puis assemblés sur site. Le mortier préfabriqué offre des avantages tels que des délais de construction accélérés, une durabilité améliorée et une rentabilité. Il offre également la flexibilité de créer des composants sur mesure avec une qualité et une précision dimensionnelle constantes[11].

5.8 Mortier prêt à l'emploi :

Le mortier prêt à l'emploi est un type de mortier fabriqué dans des centrales à mortier et livré sur le chantier sous une forme prête à l'emploi. Il est composé de ciment pré-mélangé, d'agrégats, d'eau et comprend souvent des adjuvants. Le mortier prêt à l'emploi offre praticité et cohérence, car il est préparé hors site et peut être rapidement coulé ou pompé en place. Il est couramment utilisé dans les projets de construction de grande envergure, où un volume élevé de mortier est nécessaire dans des délais serrés. Le mortier prêt à l'emploi offre un contrôle de qualité fiable, car le processus de production est étroitement surveillé et le mortier peut être adapté aux exigences spécifiques du projet.

5.9 mortier armé :

Le mortier armé (BA) est un type de mortier qui intègre un renforcement en acier pour améliorer sa résistance à la traction. Des barres d'acier ou des treillis métalliques sont

incorporés dans le mortier pour résister aux forces de traction, tandis que le mortier fournit une résistance à la compression. Le mortier armé combine la résistance et la durabilité du mortier avec la résistance à la traction supplémentaire du renforcement en acier. Il est largement utilisé dans diverses applications de construction, notamment les bâtiments, les ponts, les barrages et les autres structures nécessitant la capacité de supporter à la fois des forces de compression et de traction. Le mortier armé offre une polyvalence en termes de conception, car la disposition et la configuration du renforcement peuvent être adaptée pour répondre aux exigences structurelles spécifiques[12]



Figure I.4 mortier armé.

: I.6 Les propriétés du Mortier

6.1 Les propriétés mécaniques du Mortier :

Résistance à la compression : La résistance à la compression est la propriété mécanique la plus couramment mesurée du mortier. Elle représente la charge maximale ou le stress que le mortier peut supporter avant de se rompre en compression. Elle est généralement exprimée en méga pascals (M Pa) et est déterminée par des essais de compression sur des échantillons de mortier. La résistance à la compression est essentielle pour la conception d'éléments structuraux tels que les colonnes, les poutres et les fondations, car elle garantit leur capacité à supporter des charges lourdes sans s'effondrer[13]

: Résistance à la traction 6.1.1

Le mortier a une faible résistance intrinsèque à la traction, c'est-à-dire qu'il n'est pas très résistant aux forces de traction ou d'étirement. Pour améliorer sa résistance à la traction, on ajoute des armatures en acier ou des fibres au mortier. Cette combinaison de mortier et d'armatures est appelée mortier armé. Les matériaux d'armature supportent les forces de traction, tandis que le mortier fournit la résistance à la compression. La résistance à la traction

du mortier est importante pour résister à la flexion, aux fissures et aux défaillances structurales[14]

Résistance en flexion : 6.1.2

La résistance en flexion, également appelée module de rupture, mesure le moment de flexion maximal que le mortier peut supporter sans se fracturer. Elle représente la capacité du mortier à résister aux forces de flexion. La résistance en flexion est déterminée par des essais de flexion sur des poutres en mortier ou d'autres éléments structuraux soumis à des charges de flexion. Il s'agit d'une propriété importante pour la conception de poutres, de dalles et d'autres éléments soumis à des contraintes de flexion[15]

: Résistance au cisaillement 6.1.3

La résistance au cisaillement est la capacité du mortier à résister aux forces de cisaillement, qui agissent parallèlement dans des directions opposées. Les forces de cisaillement peuvent provoquer le glissement ou le cisaillement du mortier le long de plans à l'intérieur du matériau. La résistance au cisaillement du mortier est essentielle pour les éléments tels que les poutres, les dalles et les fondations soumis à des contraintes de cisaillement. Elle est généralement déterminée par des essais de cisaillement ou en utilisant des formules empiriques basées sur la résistance à la compression du béton[16]

: Module d'élasticité 6.1.4

Le module d'élasticité, également appelé module de Young, représente la rigidité ou la rigidité du mortier. Il définit la relation entre la contrainte et la déformation dans le matériau. Lorsqu'une force est appliquée au mortier, il subit une déformation ou une contrainte. Le module d'élasticité quantifie la quantité de déformation que le matériau subira sous une contrainte donnée. Un module d'élasticité élevé indique un matériau plus rigide. Le module d'élasticité est important pour l'analyse structurale, car il permet de déterminer les déformations et les déformations des éléments en mortier sous charge[17]

: Coefficient de Poisson 6.1.5

Le coefficient de Poisson est une mesure de la déformation latérale ou transversale qui se produit lorsqu'un matériau est soumis à une déformation axiale ou longitudinale. Il décrit les caractéristiques de déformation latérale du mortier lorsqu'il est comprimé ou étiré. Le coefficient de Poisson est une valeur sans dimension qui varie entre -1 et 0,5. Un coefficient de Poisson positif indique que le matériau a tendance à se contracter latéralement lorsqu'il est comprimé, tandis qu'une valeur négative suggère une expansion latérale. Le coefficient de Poisson est utilisé dans l'analyse structurale pour calculer la répartition des contraintes et des déformations dans les éléments en béton[18]

6.1.6 Fluage :

Le fluage est la déformation dans le temps du mortier sous une charge soutenue. Il se produit en raison du comportement viscoélastique du mortier, ce qui signifie qu'il présente à la fois des

propriétés visqueuses (dépendantes du temps) et élastiques (instantanées). Lorsque le mortier est soumis à une charge constante pendant une période prolongée, il se déforme progressivement et présente une déformation croissante. Cela peut entraîner des déflexions à long terme et des déformations structurelles. Le fluage est une considération importante dans la conception de structures en mortier, en particulier celles soumises à des charges soutenues

6.1.7 Retrait :

Le retrait correspond à la réduction de volume du mortier qui se produit lorsqu'il perd de l'humidité pendant le processus de séchage et de durcissement. Lorsque l'eau s'évapore du mortier, les matériaux cimentaires subissent une réaction chimique appelée hydratation, ce qui entraîne une réduction de volume. Le retrait peut provoquer des fissures et des déformations indésirables dans le mortier. Des techniques telles que le contrôle de l'humidité, l'utilisation de joints de retrait et l'ajout d'adjuvants peuvent aider à minimiser le retrait du mortier [19]

Résistance à la fatigue : 6.1.8

La résistance à la fatigue fait référence à la capacité du mortier à résister aux charges répétées ou cycliques sur une période prolongée sans subir de défaillance. Les structures en mortier soumises à des charges fluctuantes ou dynamiques, telles que les ponts, les chaussées et les planchers industriels, sont sujettes à la fatigue. La défaillance par fatigue peut survenir en raison de l'accumulation de microfissures et de la détérioration progressive sous chargement cyclique. La résistance à la fatigue du mortier est évaluée par des essais de fatigue, qui simulent les conditions de chargement attendues et déterminent le nombre de cycles qu'il peut supporter avant la défaillance

Résistance aux chocs : 6.1.9

La résistance aux chocs mesure la capacité du mortier à résister aux charges soudaines ou impulsives sans se fracturer ou se briser. Cela est particulièrement pertinent dans les structures exposées à des forces d'impact ou dynamiques, telles que les murs de soutènement, les structures résistantes aux explosions et les planchers industriels. La résistance aux chocs du mortier dépend de sa résistance, de sa ténacité et de sa capacité à absorber et à dissiper l'énergie. Le mortier ayant une résistance à la compression élevée et de bonnes propriétés de ténacité peut mieux supporter les charges d'impact[20]

: Les propriétés physiques du mortier 6.2

: Densité 6.2.1

La densité fait référence à la masse par unité de volume du mortier. Elle est généralement mesurée en kilogrammes par mètre cube (kg/m^3). La densité du mortier dépend des proportions de ses composants, tels que le ciment, les granulats et l'eau. Le mortier ordinaire a généralement une densité comprise entre 2200 kg/m^3 et 2500 kg/m^3

Porosité 6.2.2

La porosité est une mesure des espaces ouverts ou des vides à l'intérieur de la structure du mortier. Elle indique la quantité d'air ou d'eau pouvant être absorbée par le mortier. La porosité affecte la durabilité et la perméabilité du mortier. Un mortier à faible porosité est souhaitable car il réduit la pénétration de substances nocives, telles que l'eau, les produits chimiques et les gaz.

: Perméabilité 6.2.3

La perméabilité est la capacité du mortier à permettre le passage de fluides, tels que l'eau ou les gaz, à travers ses pores et ses réseaux capillaires. Elle est influencée par la porosité et la connectivité des vides à l'intérieur du mortier. Un mortier à faible perméabilité est souhaitable pour les structures nécessitant une résistance à la pénétration de l'eau, telles que les réservoirs d'eau, les sous-sols et les structures marines[21]

: Dilatation thermique 6.2.3

La dilatation thermique fait référence à l'augmentation des dimensions du mortier due aux variations de température. Le mortier se dilate lorsqu'il est chauffé et se contracte lorsqu'il est refroidi. Le coefficient de dilatation thermique du mortier se situe généralement entre 10 et 14 microdéformations par degré Celsius ($\mu\varepsilon/^\circ\text{C}$). Les propriétés de dilatation thermique du mortier sont importantes à prendre en compte dans les situations où des variations de température sont attendues, car elles peuvent entraîner des fissures et des détériorations structurelles.

: Conductivité thermique 6.2.4

La conductivité thermique est une mesure de la capacité du mortier à conduire la chaleur. Elle représente la capacité du mortier à transférer la chaleur à travers sa masse. La conductivité thermique du mortier est influencée par sa composition, sa densité et sa teneur en humidité. Le mortier est généralement un mauvais conducteur de chaleur, ce qui le rend adapté aux applications nécessitant une isolation thermique, telles que les murs et les planchers des bâtiments[22]

: Conductivité électrique 6.2.5

La conductivité électrique est une mesure de la capacité du mortier à conduire l'électricité. Elle est influencée par la présence de matériaux conducteurs, tels que des composants métalliques ou des additifs à base de carbone, dans le mélange de mortier. Le mortier ordinaire a une faible conductivité électrique, ce qui le rend isolant électrique. Cependant, des mélanges spéciaux de mortier peuvent être conçus avec une conductivité électrique améliorée pour des applications telles que

la mise à la terre ou la protection contre les interférences électromagnétiques.

: Absorption sonore 6.2.6

L'absorption sonore est la capacité du mortier à absorber ou à amortir les ondes sonores. Les surfaces en mortier ont un coefficient d'absorption sonore relativement élevé, notamment

lorsqu'elles sont rugueuses ou poreuses. Cette propriété rend le mortier adapté aux applications nécessitant une isolation acoustique ou une réduction du bruit, telles que les salles de concert, les auditoriums et les barrières sonores[23]

: Couleur et apparence 6.2.7

La couleur et l'apparence du mortier peuvent varier en fonction des types de granulats, des pigments et des finitions de surface utilisés. Le mortier peut être conçu avec une large gamme de couleurs et de textures, notamment lisse, texturé, avec des granulats apparents ou des motifs estampés. Les propriétés esthétiques du mortier sont souvent importantes dans les applications architecturales et décoratives. Ce sont là quelques-unes des principales propriétés physiques du mortier. Il est important de noter que les propriétés du mortier peuvent varier en fonction de la formulation du mélange, des conditions de durcissement et d'autres facteurs

: I.7 Techniques de renforcement du Mortier

Les techniques de renforcement du mortier sont des méthodes utilisées pour améliorer la résistance, la durabilité et les performances des structures en mortier. Voici quelques techniques couramment utilisées

: Armature 7.1

L'armature est l'une des techniques les plus largement utilisées pour renforcer le mortier. Elle consiste à ajouter des armatures en acier, telles que des barres d'armature ou des fibres d'acier, dans le mélange de mortier. Les éléments de renfort augmentent la résistance à la traction et la ductilité du mortier, lui permettant de supporter des charges plus importantes et de résister aux fissures ou aux défaillances[24]



Figure I.5: Barre d'armature.

: Précontrainte 7.2

La précontrainte est une technique qui consiste à appliquer des contraintes de compression sur le mortier avant qu'il ne soit soumis à des charges externes. Cela est généralement réalisé en tendant des câbles ou des tendons en acier à l'intérieur de la structure en mortier. La précontrainte compense les contraintes de traction induites par les charges externes, ce qui améliore la résistance et la résistance aux fissures

: 7.3 Projection de mortier

La projection de mortier, également connue sous le nom de mortier projeté, est une technique où le mortier est projeté pneumatiquement sur une surface. Elle est couramment utilisée pour les réparations structurales, la stabilisation des talus ou la construction d'éléments neufs. La projection de mortier peut améliorer la résistance d'adhérence, la durabilité et l'intégrité structurelle globale du mortier [25]



Figure I.6: Vaporiser le mortier avec de l'eau .

: Renforcement par fibres 7.4

Le renforcement par fibres consiste à ajouter différents types de fibres, telles que des fibres d'acier, de polypropylène ou de verre, dans le mélange de mortier. Ces fibres agissent comme un renforcement secondaire, améliorant la résistance aux chocs, la résistance aux fissures et le contrôle des fissures du mortier

: Injection d'époxy 7.5

L'injection d'époxy est une méthode utilisée pour réparer les fissures dans les structures en mortier. Elle consiste à injecter des résines époxy dans les fissures, qui durcissent ensuite et lient les sections fracturées. L'injection d'époxy permet de restaurer l'intégrité structurale et contribue à prévenir une détérioration ultérieure du mortier

: Renforcement par fibre de carbone 7.6

Le renforcement par fibre de carbone implique l'application de feuilles ou de bandes de fibre de carbone pour renforcer et réparer les structures en mortier. Les composites de fibre de carbone ont une résistance à la traction et une rigidité élevées, et lorsqu'ils sont liés au mortier, ils améliorent sa capacité de charge, sa résistance à la flexion et sa résistance aux forces sismiques.

: post-tension externe 7.7

La post-tension externe est une technique où des tendons en acier à haute résistance sont ancrés à la structure en mortier, puis tendus de manière externe. La force externe crée des contraintes de compression dans le mortier, ce qui augmente la résistance et améliore la résistance aux fissures et à la déflexion.

: Coulis 7.8

Le coulis est une technique utilisée pour remplir les vides ou les espaces dans les structures en mortier. Elle consiste à injecter un coulis fluide, tel qu'un coulis cimentaire ou époxy, dans les vides pour fournir un soutien supplémentaire et améliorer l'intégrité structurale du mortier[7].



Figure I.7: Pompe d'injection de mortier.

: I.8 Applications courantes du mortier dans la construction

Le mortier est un matériau de construction polyvalent utilisé dans de nombreuses applications. Voici quelques exemples courants d'applications du mortier.

: Bâtiments et structures 8.1

Le mortier est largement utilisé dans la construction de différents types de bâtiments et de structures, tels que des maisons résidentielles, des bâtiments commerciaux, des installations industrielles et des projets d'infrastructures. Il est utilisé pour les fondations, les murs, les piliers, les poutres, les dalles et d'autres éléments structuraux.

: 8.2 Ponts et autoroutes

Le mortier est couramment utilisé dans la construction de ponts et d'autoroutes en raison de sa résistance et de sa durabilité. Il est utilisé pour les piles de pont, les culées, les poutres, les revêtements de route et les murs de soutènement. La capacité du mortier à supporter des charges lourdes et à résister aux facteurs environnementaux en fait un choix idéal pour les infrastructures de transport

: Barrages et ouvrages hydrauliques 8.3

Le mortier joue un rôle essentiel dans la construction de barrages, de réservoirs, de canaux et d'autres ouvrages liés à l'eau. Sa capacité à former des barrières étanches à l'eau et à résister aux pressions hydrauliques le rend adapté aux applications nécessitant le stockage de l'eau, le contrôle des inondations, l'irrigation et la production d'énergie hydroélectrique

: Structures marines 8.4

Le mortier est utilisé dans la construction de structures marines telles que les ports, les quais, les brise-lames et les plates-formes offshore. Il offre une résistance aux effets corrosifs de l'eau de mer et assure la stabilité structurelle dans les environnements marins difficiles

: Tunnels et ouvrages souterrains 8.5

Le mortier est largement utilisé dans la construction de tunnels, de parkings souterrains, de systèmes de métro et de réseaux d'utilités souterrains. Sa capacité à fournir un soutien structurel et à résister aux conditions de haute pression en fait un matériau essentiel pour les applications souterraines[26]

: Éléments préfabriqués 8.6

Le mortier peut être préfabriqué en différentes formes et tailles en dehors du chantier, puis transporté sur le site de construction pour l'installation. Cette méthode permet une production et une installation efficaces d'éléments tels que les murs préfabriqués, les poutres, les colonnes, les escaliers et les panneaux de façade

: Applications décoratives et architecturales 8.7

Le mortier est également utilisé à des fins décoratives et architecturales. Il peut être coloré, texturé, estampé ou poli pour créer des surfaces esthétiquement attrayantes pour les sols, les murs, les plans de travail et autres éléments architecturaux intérieurs et extérieurs

: Infrastructures et services publics 8.8

Le mortier est utilisé dans la construction de diverses infrastructures et installations de services publics, notamment les usines de traitement de l'eau et des eaux usées, les centrales électriques, les installations de télécommunications et les centres de transport. Il offre une intégrité structurelle et une durabilité à long terme pour ces installations critiques[27]

I.9 Conclusion :

Pour conclure ce chapitre, le mortier est un matériau de construction incontournable et polyvalent qui offre de nombreuses possibilités dans le domaine de la construction. Sa composition simple, à base de ciment, de granulats et d'eau, lui confère de fortes propriétés mécaniques et physiques, lui permettant d'être utilisé dans une large gamme de .projets, du bâtiment à l'infrastructure

Comprendre les généralités du mortier est essentiel pour les professionnels de la construction, tels que les ingénieurs civils et les architectes, afin de garantir des structures sûres, durables et résilientes. En connaissant les composants de base du mortier, ainsi que les facteurs affectant sa fabrication, son durcissement et ses propriétés finales, des projets .de construction efficaces et de haute qualité peuvent être conçus et mis en œuvre

| | |
|--|-----------|
| I.1 Introduction : | 3 |
| I.2 Définition du mortier : | 4 |
| I.3 Bref historique : | 4 |
| I.4 Les composants du mortier : | 5 |
| 4.1 Ciment : | 5 |
| 4.2 Granulats : | 5 |
| 4.3 Eau : | 6 |
| 4.4 Adjuvants : | 6 |
| 4.5 Armature : | 6 |
| I.5 Différents types de mortier : | 6 |
| 5.1 mortier à résistance normale : | 6 |
| 5.2 mortier à haute résistance : | 7 |
| 5.3 mortier léger : | 7 |
| 5.4 mortier auto nivelant : | 7 |
| 5.5 mortier à fibres : | 7 |
| 5.6 mortier décoratif : | 8 |
| 5.7 mortier préfabriqué : | 8 |
| 5.8 mortier prêt à l'emploi : | 8 |
| 5.9 mortier armé : | 8 |
| I.6 Les propriétés du mortier : | 9 |
| 6.1 Les propriétés mécaniques du mortier: | 9 |
| 6.1.1 Résistance à la traction : | 9 |
| Résistance en flexion : 6.1.2 | 10 |
| 6.1.3 Résistance au cisaillement : | 10 |
| 6.1.4 Module d'élasticité : | 10 |
| 6.1.5 Coefficient de Poisson : | 10 |
| 6.1.6 Fluage : | 10 |
| 6.1.7 Retrait : | 11 |
| 6.1.8 Résistance à la fatigue : | 11 |

| | | |
|-------|--|----|
| 6.1.9 | Résistance aux chocs : | 11 |
| 6.2 | Les propriétés physiques du mortier: | 11 |
| 6.2.1 | Densité : | 11 |
| 6.2.2 | Porosité..... | 11 |
| 6.2.3 | Perméabilité : | 12 |
| 6.2.3 | Dilatation thermique : | 12 |
| 6.2.4 | Conductivité thermique : | 12 |
| 6.2.5 | Conductivité électrique : | 12 |
| 6.2.6 | Absorption sonore : | 12 |
| 6.2.7 | Couleur et apparence : | 12 |
| I.7 | Techniques de renforcement du mortier: | 13 |
| 7.1 | Armature : | 13 |
| 7.2 | Précontrainte : | 13 |
| 7.3 | Projection de mortier: | 14 |
| 7.4 | Renforcement par fibres : | 14 |
| 7.5 | Injection d'époxy : | 14 |
| 7.6 | Renforcement par fibre de carbone : | 14 |
| 7.7 | post-tension externe : | 15 |
| 7.8 | Coulis : | 15 |
| I.8 | Applications courantes du mortier dans la construction : | 15 |
| 8.1 | Bâtiments et structures : | 15 |
| 8.2 | Ponts et autoroutes : | 15 |
| 8.3 | Barrages et ouvrages hydrauliques : | 16 |
| 8.4 | Structures marines : | 16 |
| 8.5 | Tunnels et ouvrages souterrains : | 16 |
| 8.6 | Éléments préfabriqués : | 16 |
| 8.7 | Applications décoratives et architecturales : | 16 |
| 8.8 | Infrastructures et services publics : | 16 |
| I.9 | Conclusion : | 17 |

- BOUZOUAOUI, S., *Confection d'un mortier ordinaire avec des déchets de .1
.céramique sanitaire*. 2022, university of M'sila
- .Augé, É.F., *Liban*. 2018: De Boeck Supérieur .2
- Baudet, N., *Maîtrise de la qualité visuelle des produits-Formalisation du .3
processus d'expertise et proposition d'une approche robuste de contrôle visuel
.humain*. 2012, Université de Grenoble
- Mohamed, B., *INFLUENCE DE L'AJOUT DU LAITIER SUR LES .4
CARACTERISTIQUES PHYSICOCHEMICOCHIMIQUES ET MECANIQUE DU CIMENT
PORTLAND AU LAITIER (CEM II) ET CIMENT DE HAUT FOURNEAU (CEM
.III)*. 2016, Faculte de technologie/UniversiteMohamed Boudiaf-M'sila

- Serifou, M., *mortier à base de recyclats: influence du type de recyclats et rôle de la formulation*. 2013, Bordeaux 1 .5
- Bolduc, L.-S., *Étude des propriétés de transport du mortier projeté*. 2009, Université Laval .6
- DJEBRI, N., *Formulation et caractérisation d'un béton autoplaçant fibré à base de matériaux locaux exposé aux hautes températures*. 2018, Université de M'sila .7
- Yagoub, M., *Evaluation De La Qualite Du Mortier De Fibres In Situ Cas De Mortier Autoplaçant Avec Des Fibres Mixtes*. 2009, Université Mohamed Khider-Biskra .8
- Quirion, M., *Contribution à l'instrumentation des ouvrages en mortier: application des fibres optiques pour la mesure des déformations internes*. 2003: National Library of Canada= Bibliothèque nationale du Canada, Ottawa .9
- KOUICI, A., *Etude de l'effet de l'introduction des fibres végétales sur les propriétés des mortiers autoplaçant (BAP) à l'état frais et durcis*. 2016, Université Mohamed Boudiaf-M'sila .10
- Hardy-Hémery, O., *Eternit et l'amiante 1922-2000: Aux sources du profit, une industrie du risque*. 2005: Presses Univ. Septentrion .11
- Casanova, P., *Mortiers 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*. 1995, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées .12
- Meyrueis, P., A. Cazenave, and R. Zimmermann, *Biomécanique de l'os. Application au traitement des fractures*. EMC-Rhumatologie-Orthopédie, 2004. .13
.1(1): p. 64-93
- Boucher, J., *Développement d'une poutre de mortier armé de bambou préfabriquée pour l'habitat urbain de Hanoi*. 2006, Université Laval .14
- Boussaha, F., *Comportement de fatigue des poutres en mortier armé renforcées en cisaillement à l'aide de matériaux composites avancés*. 2008, École de technologie supérieure .15
- Le Nguyen, K., *Contribution à la compréhension du comportement des structures renforcées par FRP sous séismes*. 2015, Lyon, INSA .16
- Olard, F., *Comportement thermomécanique des enrobés bitumineux à basses températures. Relations entre les propriétés du liant et de l'enrobé*. 2003, INSA de Lyon .17
- St-Georges, É., *Étude expérimentale de colonnes de ponts en mortier armé réhabilitées avec matériaux composites dans un contexte sismique*. 2008: Library and Archives Canada= Bibliothèque et Archives Canada, Ottawa .18
- Sellier, A. and L. Buffo-Lacarrière, *Vers une modélisation simple et unifiée du fluage propre, du retrait et du fluage en dessiccation du mortier* European Journal of Environmental and Civil Engineering, 2009. **13**(10): p. 1161-1182 .19
- Duclos, D., *Eloge de la pluralité. Conversation entre cultures et continuation de l'humanité*, 2013 .20
- Yacine, B.H.-M., *Amélioration de performance d'un mortier compacté au rouleau routier contenant des particules en polymère*. 2014, Faculté des Sciences et Technologies .21
- Laneyrie, C., *Valorisation des déchets de chantiers du BTP: comportement à haute température des béton des granulats recyclés*. 2014, Université de Cergy-Pontoise .22
- Ashby, M., Y. Bréchet, and L. Salvo, *Sélection des matériaux et des procédés de mise en œuvre*. Vol. 20. 2001: PPUR presses polytechniques .23

- Paulus, J., *CONSTRUCTION EN TERRE CRUE: DISPOSITIONS QUALITATIVES, CONSTRUCTIVES ET ARCHITECTURALES*–Application à un cas pratique: Ouagadougou. 2015 .24
- Campus, F., *Le mortier précontraint: principes et propriétés, expériences, premières réalisations*. Université de Liège. Cours de construction du génie civil; .68, 1949 .25
- AMROUNE, S. and S. AMROUNE, *L'exploitation du scanner 3D dans le suivi et le contrôle des ouvrages*. 2020, Univ M'sila .26
- DILMI, A. and R. LAKEHAL, *La numérisation 3D et son exploitation dans la modélisation de l'information du bâtiment*. 2020, Université M'sila .27

CHAPITRE II :
BÉTON RENFORCÉ DE
FIBRES PLASTIQUES

II.1 Introduction :

À l'heure actuelle, l'industrie de la construction est confrontée à de grands défis en ce qui concerne la durabilité environnementale et l'amélioration de l'efficacité des matériaux utilisés. Parmi les matériaux qui suscitent un intérêt croissant dans le domaine de la construction, on trouve le plastique. Le plastique est l'un des matériaux les plus courants et largement disponibles dans le monde, mais sa gestion des déchets pose un défi environnemental majeur[1]

L'industrie du mortier est l'un des plus grands consommateurs de matériaux au monde, et donc l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation des matériaux dans le mortier peut avoir un impact significatif sur la durabilité de l'industrie de la construction dans son ensemble. C'est là que l'utilisation de fibres plastiques en tant que matériaux de renforcement dans le mortier joue un rôle

Cependant, certaines difficultés et préoccupations liées à l'utilisation de fibres plastiques dans le mortier se manifestent. Parmi ces défis figurent l'impact environnemental de la fabrication et de la dégradation du plastique, la durabilité du mortier renforcé de fibres plastiques et sa capacité à supporter les charges et les déformations, ainsi que l'effet des fibres plastiques sur les propriétés mécaniques du mortier et son utilisation générale dans les projets de construction[2]

Par conséquent, une étude complète et une analyse précise des avantages et des défis de l'utilisation de fibres plastiques pour le renforcement du mortier sont nécessaires, ainsi que l'évaluation des aspects économiques et environnementaux qui y sont associés[3]

Les fibres :II 2.

Les fibres sont des objets solides et flexibles ayant une forme cylindrique, avec un diamètre d'environ quelques centimètres et une longueur pouvant atteindre plusieurs milliers de fois ce diamètre. Elles sont utilisées dans divers domaines. On peut classer les fibres en deux principaux types : les fibres courtes, également appelées fibres à courte longueur, dont la longueur varie de 20 à 150 mm, et les filaments continus, ou fibres à longue longueur. Ces fibres peuvent être produites à partir de différents matériaux tels que l'acier, le plastique, le verre ou des matériaux naturels. Les fibres en acier sont souvent utilisées pour renforcer le mortier, tandis que les fibres plastiques et de verre trouvent des applications dans divers secteurs[4], dont l'industrie textile, la construction et l'isolation. Ainsi, les fibres peuvent être considérées comme des éléments constitutifs essentiels des structures textiles, pouvant être fabriquées à partir d'une variété de matériaux et utilisées dans une gamme étendue d'applications industrielles et commerciales[5]

II.3 Différents types de fibres :

Les fibres sont des composants essentiels dans de nombreuses industries et applications. La fibre a des propriétés uniques qui la rendent utile et demandée dans de multiples domaines. Les types de fibres diffèrent selon les matériaux utilisés pour leur fabrication, à savoir[6]

3.1 Les fibres d'acier :

Sont des fibres fabriquées à partir d'acier et utilisées pour renforcer le mortier. Elles se distinguent par leur grande résistance et leur durabilité, ce qui contribue à améliorer les propriétés du mortier en augmentant sa force et sa flexibilité. Les fibres d'acier répartissent mieux les contraintes dans le mortier, renforçant ainsi sa capacité à résister aux fissures et à la corrosion. Elles sont largement utilisées dans des domaines tels que la construction et le génie civil, notamment pour renforcer les infrastructures, les planchers industriels, les dalles et les surfaces en mortier soumises à la corrosion et aux contraintes dynamiques[7]. Les fibres d'acier se distinguent par leur capacité à supporter de fortes contraintes de traction et leur résistance à la corrosion, ce qui les rend idéales pour une utilisation dans des environnements difficiles. En général, les fibres d'acier sont un moyen efficace d'améliorer le mortier et d'en renforcer les propriétés mécaniques



: Les fibres d'acier **Figure II.1**

3.2 La fibre de verre :

Est un matériau de renforcement polyvalent et performant largement utilisé dans l'industrie de la construction pour améliorer les propriétés des matériaux, en particulier le mortier, et pour assurer la durabilité des structures. Il est composé de fins brins de verre et est reconnu pour sa résistance mécanique exceptionnelle, sa capacité à réduire les risques de fissuration et sa résistance à la corrosion. La fibre de verre est utilisée dans la construction de ponts, de structures de génie civil, de structures marines, de planchers et d'éléments préfabriqués, offrant une alternative efficace aux méthodes traditionnelles de renforcement. Par conséquent, la fibre de verre joue un rôle important dans l'amélioration des matériaux de construction et la durabilité des structures[8]



Figuer.II.2 : La fibre de verre.

3.3 Les fibres de carbone :

Les fibres de carbone, également connues sous le nom de fibres de carbone, sont des fibres fabriquées à partir de carbone pur et possédant une résistance élevée. Ces fibres se caractérisent par leur légèreté, leur grande résistance, leur excellente résistance à la corrosion et aux influences environnementales. Les fibres de carbone sont composées de milliers de fibres minces tressées ensemble pour former des fils solides

Les fibres de carbone sont utilisées dans plusieurs industries et applications, notamment dans la construction et le génie civil. Dans l'industrie du béton, les fibres de carbone sont ajoutées en tant qu'additif pour renforcer le mortier et améliorer sa résistance et sa durabilité. Ces fibres contribuent à améliorer les propriétés de compression et de traction du mortier, réduisent les fissures et améliorent sa capacité à supporter des charges dynamiques[9]



: Les fibres de carbone. Figuer.II.3

3.4 Les fibres plastiques :

Les fibres plastiques sont de petites matières fines composées de plastique ou de polymères formés en fils ou en brins fins. Ces fibres sont généralement utilisées dans l'industrie des matériaux et de l'ingénierie pour renforcer les propriétés des matériaux et augmenter leur résistance et leur rigidité. Les fibres plastiques se distinguent par leur flexibilité, leur légèreté, leur résistance à la corrosion et leur résistance aux influences environnementales, ce qui en fait un choix courant dans diverses applications[10]

: II.4 Les différents types de fibres plastiques

Il existe plusieurs types de fibres plastiques utilisées dans divers domaines. Parmi les types courants, on trouve

4.1 Les fibres de polypropylène :

Se caractérisent par leur résistance élevée et leur flexibilité. Le polypropylène est obtenu par craquage du gaz de pétrole ou par craquage pétrolier. Ce type de fibres est généralement utilisé dans le béton armé, les panneaux de ciment et les fibres textiles[11]



.Figure. II.4 Les fibres de polypropylène

4.2 Les fibres de polyester :

Se distinguent par leur résistance à la corrosion et leur grande résistance mécanique. Le polyester est obtenu par réaction chimique entre des acides organiques et des alcools. Ces fibres sont utilisées dans la fabrication de textiles, de fibres isolantes et de textiles techniques[12]



.Figuer.II.5 Les fibres de polyester

4.3 Les fibres de polyéthylène :

Sont légères, résistantes et flexibles. Le polyéthylène est obtenu par craquage du gaz de pétrole ou par craquage pétrolier. Ces fibres sont utilisées dans de nombreuses applications, notamment dans le mortier armé, les panneaux de ciment et les matériaux isolants[11]



fibres Les de polyéthylène. : Figuer.II.7

4.4 Les fibres de polychlorure de vinyle (PVC) :

Se distinguent par leur résistance aux produits chimiques, à la chaleur et aux rayons ultraviolets. Le polychlorure de vinyle est obtenu par polymérisation du chlorure de vinyle, un composé chimique contenant du carbone, de l'hydrogène et du chlore. Ces fibres sont utilisées dans la fabrication de fibres isolantes, de textiles techniques, de fils et de câbles[13]

4.5 Les fibres de nylon :

Se distinguent par leur résistance, leur flexibilité et leur résistance à la corrosion. Le nylon est obtenu à partir de matières premières organiques contenant du carbone, de l'hydrogène et de l'azote. Ces fibres sont utilisées dans la fabrication de textiles, de fibres isolantes et de matériaux plastiques renforcés[14]



.Figuer.II.8 Les fibres de nylon

II.5 Propriétés des fibres plastiques pour renforcer les matériaux de construction :

Les fibres plastiques ont de multiples propriétés, ce qui en fait un choix populaire dans l'industrie de la construction pour renforcer les matériaux, en particulier le mortier, et assurer la durabilité des structures[15]

5.1 Résistance élevée :

Les fibres plastiques présentent une résistance exceptionnelle, ce qui signifie qu'elles peuvent supporter des tensions et des pressions élevées sans se détériorer. Grâce à cette résistance, les fibres plastiques peuvent être utilisées pour renforcer le mortier, améliorant ainsi sa résistance et sa capacité à supporter des charges élevées

5.2 Légèreté :

Les fibres plastiques offrent un renforcement sans ajouter de poids supplémentaire aux matériaux de construction. Cette légèreté facilite le transport et l'installation des fibres plastiques dans différentes structures, tout en réduisant le poids des bâtiments et des structures[16]

5.3 Résistance à la corrosion :

Les fibres plastiques ont une excellente résistance à la corrosion et ne sont pas affectées par les produits chimiques ou les conditions environnementales défavorables. Grâce à cette résistance, les fibres plastiques peuvent être utilisées dans des environnements exigeants nécessitant une résistance élevée à la corrosion, tels que les zones côtières ou les zones humides[17]

5.4 Flexibilité :

Les fibres plastiques sont capables de supporter des contraintes et de se plier sans se casser ou se détériorer. Grâce à cette flexibilité, les fibres plastiques peuvent résister aux vibrations et aux mouvements qui peuvent se produire dans les structures ou les planchers, réduisant ainsi le risque de fissures ou de dommages aux matériaux renforcés.

5.5 Facilité d'installation :

Les fibres plastiques se distinguent par leur facilité d'installation, ce qui signifie qu'elles peuvent être facilement appliquées dans différentes structures et constructions. Les fibres plastiques peuvent être coupées facilement et façonnées selon les besoins pour s'adapter.

. aux conceptions de construction différente[18]

II.6 Mortier fibré :

Le mortier fibré est un type de mortier amélioré qui est renforcé en ajoutant des fibres. L'ajout de fibres vise à améliorer les propriétés du mortier, telles que sa résistance, sa flexibilité et sa résistance aux fissures. Divers types de fibres sont utilisés dans le mortier fibré, notamment des fibres métalliques, des fibres plastiques, des fibres de verre et des fibres naturelles comme le chanvre ou le bois. Ces fibres sont disponibles dans différentes formes et tailles, allant des fibres courtes aux fibres longues[19]. L'incorporation de fibres dans le mortier contribue à la répartition des contraintes, à la résistance à la formation de fissures et à l'amélioration des propriétés mécaniques du matériau. Les fibres agissent comme des inhibiteurs de propagation des fissures en absorbant l'énergie générée par les fissures et en la dissipant sous forme de fissures fines et invisibles. Dans l'ensemble, le mortier fibré représente une option efficace et améliorée pour obtenir un matériau à la fois robuste et durable, utilisé dans diverses applications de construction et de génie civil.

6.1 Mortier armé plastique :

Le mortier armé avec des fibres plastiques fait référence à un type de mortier qui intègre des fibres plastiques comme renforcement supplémentaire pour améliorer ses propriétés mécaniques. Ces fibres sont de fines brins fabriquées à partir de matériaux plastiques tels que les polymères renforcés de fibres (PRF) ou les fibres de carbone.

6.2 Propriétés mécaniques et physiques du mortier armé avec fibres plastiques :

Le mortier armé avec des fibres plastiques est un développement important dans le domaine de l'industrie des matériaux de construction. Cette technique consiste à utiliser des fibres plastiques comme renforcement supplémentaire pour le mortier, en remplacement des armatures métalliques traditionnelles. Les fibres plastiques se caractérisent par des propriétés uniques qui contribuent à renforcer la résistance et les performances du mortier[20].

6.2.1 Les propriétés mécaniques du mortier armé avec des fibres de plastique :

Le mortier armé possède plusieurs propriétés, notamment des propriétés mécaniques, notamment :

6.2.1.1 Résistance à la traction :

Les fibres plastiques renforcent la résistance à la traction du mortier en répartissant les contraintes à travers la matrice de mortier. Lorsque le mortier est soumis à une force de traction, les fibres absorbent une partie de la contrainte et la répartissent, réduisant ainsi la concentration des [21] contraintes et améliorant la répartition dans le matériau. Cela améliore la résistance du mortier aux fissures et à la déformation.

Élasticité :6.2.1.2

Les fibres plastiques augmentent la flexibilité globale du mortier, lui permettant de supporter des charges et de se plier sans dommage ni rupture. La distribution des fibres dans la matrice réduit les points de concentration et guide les forces de manière plus efficace dans le matériau, rendant le mortier plus capable d'absorber les vibrations, les charges dynamiques et de réduire les effets de flexion et de retrait[3].

Résistance à la rupture : 6.2.1.3

Les fibres plastiques augmentent la résistance du mortier à la rupture. Lorsque le mortier est soumis à une force de rupture, les fibres forment une barrière qui limite la propagation des fissures et réduit leur développement. Ainsi, la capacité du mortier à supporter les charges appliquées est améliorée et la propagation des dommages dans les structures armées est réduite.

: Amélioration de la dureté 6.2.1.4

Les fibres plastiques renforcent la dureté du mortier, ce qui le rend plus résistant à la corrosion et aux agressions environnementales nocives[3].

Transfert de force : 6.2.1.5

Les fibres plastiques améliorent la capacité du mortier à transférer les forces entre les zones adjacentes. Les fibres relient les zones adjacentes et améliorent le transfert des forces et des charges entre elles. Cela conduit à la création de structures plus stables et durables, où les forces sont mieux réparties et un meilleur équilibre est atteint dans la structure[22].

6.2 Les propriétés physiques du mortier armé avec des fibres de plastique:

: Les propriétés physiques du FRP comprennent les éléments suivants

6.2.2.1 Densité:

La densité est l'une des propriétés fondamentales du mortier armé avec des fibres de plastique. Elle fait référence à la quantité de matériau présente par unité de volume. La modification des proportions des composants dans le mélange de mortier peut affecter la densité et donc le poids de la structure de construction.

6.2.2.2 Absorption:

Le mortier armé avec des fibres de plastique a généralement une capacité d'absorption d'eau plus faible par rapport au mortier traditionnel. Les fibres de plastique jouent un rôle dans la prévention de l'absorption d'eau et d'humidité dans les structures de construction, améliorant ainsi leur résistance à la corrosion et aux dommages causés par les conditions environnementales humides[23].

6.2.2.3 Dilatation thermique:

Le mortier est sujet à l'expansion et à la contraction en raison des variations de température. Cependant, l'ajout de fibres plastiques peut réduire la capacité du mortier à se dilater thermiquement et à se déformer en raison des différences de température.

6.2.2 Résistance aux variations thermiques:

Le mortier armé avec des fibres de plastique présente une meilleure résistance aux variations thermiques par rapport au mortier traditionnel. L'utilisation de fibres plastiques dans le mélange de mortier renforce sa résistance aux changements thermiques résultant d'une exposition à une chaleur élevée ou à des températures basses[24].

6.2.2.5 Aspect de surface :

Les fibres de plastique influencent l'aspect de surface du mortier armé, permettant d'obtenir différentes finitions de surface adaptées à la conception et à l'utilisation souhaitées. Les caractéristiques esthétiques de surface peuvent être modifiées en choisissant le type et la forme des fibres utilisées.

II.7 Effet des fibres plastiques sur les extraits renforcés :

L'incorporation de fibres plastiques a un impact significatif sur les propriétés de la mortier armé, modifiant les caractéristiques suivantes :

7.1 Amélioration de la résistance et de la rigidité:

Les fibres plastiques renforcent la résistance et la rigidité générales du mortier armé. Elles améliorent la résistance du mortier et sa capacité à supporter les contraintes et les charges, réduisant ainsi les risques de fissuration et de dommages structurels[25].

7.2 Réduction de la déformation et de la contraction :

Les fibres plastiques contribuent à réduire la déformation et la contraction du mortier armé. Elles améliorent la réponse du mortier aux variations thermiques et aux charges, minimisant ainsi les effets d'expansion et de contraction qui pourraient compromettre la stabilité des structures.

7.3 Amélioration de la résistance à la corrosion :

Les fibres plastiques renforcent la résistance du mortier armé à la corrosion. Elles agissent comme une barrière protectrice contre l'infiltration de substances chimiques nocives et de l'humidité, préservant ainsi la qualité du mortier et prolongeant sa durée de vie[26].

7.4 Amélioration de l'isolation thermique et acoustique :

Les fibres plastiques améliorent l'isolation thermique et acoustique du mortier armé. Elles réduisent la transmission de la chaleur et du son à travers les structures, contribuant ainsi à créer un environnement intérieur confortable dans les bâtiments[27]

: Amélioration de la réponse aux séismes 7.5

Les fibres plastiques améliorent la réponse du mortier armé aux séismes. Elles renforcent la résistance et la flexibilité générales du mortier, réduisant ainsi les risques de dommages structurels dus aux vibrations sismiques

II.8 Les effets environnementaux et durables de l'utilisation du mortier renforcé de fibres plastiques :

L'utilisation du mortier armé à fibres plastiques a un impact significatif sur les propriétés environnementales et durables. Voici quelques-uns des effets principaux :

8.1 Réduction de l'utilisation de l'acier :

En utilisant des fibres plastiques comme renfort additionnel dans le mortier, il est possible de réduire la dépendance aux armatures métalliques traditionnelles. Cela entraîne une réduction de la consommation de ressources naturelles limitées et des émissions de carbone liées à la production et à la fabrication de l'acier[28].

8.2 Amélioration de la durabilité du mortier :

Les fibres plastiques contribuent à accroître la durabilité du mortier armé. Elles aident à renforcer la résistance des structures et à réduire les besoins en maintenance et réparations futures, ce qui réduit les coûts environnementaux et économiques associés.

8.3 Réduction des déchets et recyclage :

Les fibres plastiques utilisées dans la fabrication du mortier armé peuvent provenir de sources recyclées, telles que les bouteilles en plastique usagées. Ainsi, ces matériaux sont transformés en un produit valorisé, contribuant à réduire la quantité de déchets renouvelables et renforçant le rôle du recyclage dans la protection de l'environnement[29].

8.4 Amélioration de l'efficacité énergétique :

Le mortier armé à fibres plastiques est plus léger que le mortier traditionnel, ce qui réduit les besoins de transport, de levage et d'installation. Cela contribue à réduire la consommation d'énergie liée aux opérations de construction et à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

8.5 Amélioration de la qualité de l'air intérieur :

Le mortier armé à fibres plastiques peut améliorer la qualité de l'air intérieur des bâtiments. Il est imperméable à l'humidité et réduit la transmission de la poussière et des

émissions nocives, contribuant ainsi à créer un environnement sain et confortable pour les occupant[30]

II.9 Les applications et les utilisations du mortier armé à fibres plastiques :

Le mortier renforcé de fibres plastiques est un matériau de construction polyvalent qui présente de nombreuses applications et utilisations dans divers domaines de la construction et du génie civil.

9.1 Résistance et durabilité :

Le mortier armé à fibres plastiques présente une résistance accrue en raison de la présence des fibres plastiques qui agissent comme un renfort. Ces fibres plastiques peuvent être des fibres de polypropylène ou de polyéthylène, qui sont incorporées dans la matrice de mortier pour améliorer sa résistance à la traction, à la flexion et à la fissuration. Cette amélioration de la résistance et de la durabilité du mortier armé à fibres plastiques est due à l'interaction mécanique entre les fibres et la matrice de mortier, qui résiste aux contraintes appliquées et répartit les charges de manière plus uniforme[24].

9.2 Résistance à la corrosion :

Les fibres plastiques utilisées dans le mortier armé à fibres plastiques sont résistantes à la corrosion, contrairement aux armatures en acier traditionnelles qui sont sujettes à la corrosion en présence d'humidité et de produits chimiques agressifs. Cette résistance à la corrosion des fibres plastiques permet de prolonger la durée de vie des structures en mortier armé à fibres plastiques, en réduisant les coûts de maintenance et de réparation. [17]

9.3 Amélioration de la résistance aux chocs :

Les fibres plastiques dans le mortier armé à fibres plastiques agissent comme des absorbeurs d'énergie, ce qui améliore la résistance aux chocs et la résilience du matériau. Les fibres plastiques absorbent l'énergie générée par les charges dynamiques, telles que les impacts ou les vibrations, réduisant ainsi les risques de dommages structurels[31].

9.4 Réduction des fissures et de la déformation :

Les fibres plastiques agissent comme des micro-armatures dans le mortier armé à fibres plastiques, renforçant ainsi la matrice de mortier et réduisant la formation de fissures[24]. Les fibres plastiques aident également à contrôler la déformation du mortier en minimisant les retraites et les variations dimensionnelles, ce qui est bénéfique pour la stabilité et la durabilité des structures.

9.5 Isolation thermique et acoustique :

Les fibres plastiques dans le mortier armé à fibres plastiques contribuent à améliorer l'isolation thermique et acoustique des structures. Les fibres plastiques réduisent la

conductivité thermique du béton, limitant ainsi les transferts de chaleur à travers la structure. De plus, elles dissipent les vibrations sonores, améliorant ainsi l'isolation acoustique des bâtiments et des infrastructures[32].

II.10 Conclusion:

| | |
|---|----|
| II.1 Introduction : | 18 |
| II.2 Les fibres : | 19 |
| II.3 Différents types de fibres : | 19 |
| 3.1 Les fibres d'acier : | 19 |
| 3.2 La fibre de verre : | 20 |
| 3.3 Les fibres de carbone : | 20 |
| 3.4 Les fibres plastiques : | 21 |
| II.4 Les différents types de fibres plastiques : | 21 |
| 4.1 Les fibres de polypropylène : | 21 |
| 4.2 Les fibres de polyester : | 22 |
| 4.3 Les fibres de polyéthylène : | 22 |
| 4.4 Les fibres de polychlorure de vinyle (PVC) : | 22 |
| 4.5 Les fibres de nylon : | 23 |
| II.5 Propriétés des fibres plastiques pour renforcer les matériaux de construction : | 23 |
| 5.1 Résistance élevée : | 23 |
| 5.2 Légèreté : | 23 |
| 5.3 Résistance à la corrosion : | 23 |
| 5.4 Flexibilité : | 24 |
| 5.5 Facilité d'installation : | 24 |
| II.6 Mortier fibré : | 24 |
| 6.1 Mortier armé plastique : | 24 |
| 6.2 Propriétés mécaniques et physiques du mortier armé avec fibres plastiques : 24 | |
| 6.2.1 Les propriétés mécaniques du mortier armé avec des fibres de plastique: 24 | |
| 6.2.2 Les propriétés physiques du mortier armé avec des fibres de plastique: . 25 | |
| II.7 Effet des fibres plastiques sur les extraits renforcés : | 26 |
| 7.1 Amélioration de la résistance et de la rigidité: | 26 |
| 7.2 Réduction de la déformation et de la contraction : | 26 |
| 7.3 Amélioration de la résistance à la corrosion : | 26 |
| 7.4 Amélioration de l'isolation thermique et acoustique : | 27 |
| 7.5 Amélioration de la réponse aux séismes : | 27 |

| | |
|---|----|
| II.8 Les effets environnementaux et durables de l'utilisation du mortier renforcé de fibres plastiques : | 27 |
| 8.1 Réduction de l'utilisation de l'acier : | 27 |
| 8.2 Amélioration de la durabilité du mortier: | 27 |
| 8.3 Réduction des déchets et recyclage : | 27 |
| 8.4 Amélioration de l'efficacité énergétique : | 27 |
| 8.5 Amélioration de la qualité de l'air intérieur : | 27 |
| II.9 Les applications et les utilisations du mortier armé à fibres plastiques : | 28 |
| 9.1 Résistance et durabilité : | 28 |
| 9.2 Résistance à la corrosion : | 28 |
| 9.3 Amélioration de la résistance aux chocs : | 28 |
| 9.4 Réduction des fissures et de la déformation : | 28 |
| 9.5 Isolation thermique et acoustique : | 28 |
| II.10 Conclusion: | 29 |

| | |
|--|-----|
| .Gendron, C., <i>La gestion environnementale et la norme ISO 14001</i> . 2004: PUM | .1 |
| Dugast, C., et al., <i>Faire sa part. Pouvoir et responsabilité des individus, des entreprises et de l'état face à l'urgence climatique</i> . Carbone, 2019. 4 | .2 |
| Hallonet, A., <i>Développement et caractérisation d'un matériau composite à base de fibres de lin: application au renforcement de structures en béton par collage externe</i> . 2016, Université de Lyon | .3 |
| Reffas, A., E.M. Bencheikh, and L. Duclaux, <i>Étude de l'adsorption de colorants organiques (rouge nylosan et bleu de méthylène) sur des charbons actifs préparés à partir du marc de café</i> . 2010 | .4 |
| Ntenga, R., <i>Modélisation multi-échelle et caractérisation de l'anisotropie élastique de fibres végétales pour le renforcement de matériaux composites</i> . 2007, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II; Université de Yaoundé | .5 |
| Verneuil, J.-L., <i>Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits/s</i> . Université de Limoges, Limoges, 2003: p. 297 | .6 |
| DJERAD, K. and A. CHOUYA, <i>Revue bibliographique sur la durabilité des mortier autoplaçants (BAP) fibrés</i> . 2020 | .7 |
| Hanane, L., <i>Etude du comportement mécanique du mortier polymère renforcé par des fibres végétales et déchets minéraux</i> . 2017, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA | .8 |
| Butschi, P.-Y., <i>Utilisation du chanvre pour la préfabrication d'éléments de construction</i> 2005: Thèse de génie civil, Faculté d'ingénieurs, Université de Moncton, Canada | .9 |
| Koffi, A., <i>Étude des paramètres d'injection des composites de fibres naturelles et de l'amélioration des performances mécaniques du matériau pour l'impression 3D</i> . 2021, Université du Québec à Trois-Rivières | .10 |

| | |
|---|-----|
| Traore, B., <i>Elaboration et caractérisation d'une structure composite (sable et déchets plastiques recyclés): Amélioration de la résistance par des charges en argiles</i> . 2018, Université Bourgogne Franche-Comté; Université Félix Houphouët-Boigny | .11 |
| .Bourahli, M.E.H., <i>Caractérisation d'un composite verre époxy</i> . 2018 | .12 |
| .AUSSEUR, D., <i>Poly (chlorure de vinyle)</i> . Techniques de l'Ingénieur, AM, 1999. 3 : p. 325 | .13 |
| Chaabani, C., <i>Composites à fibres de carbone: récupération des fibres par solvolysé hydrothermale. Impact sur la qualité des fibres et valorisation de la phase liquide</i> . 2017, .Ecole des Mines d'Albi-Carmaux | .14 |
| Yagoub, M., <i>Evaluation De La Qualite Du Beton De Fibres In Situ Cas De mortier Autoplaçant Avec Des Fibres Mixtes</i> . 2009, Université Mohamed Khider-Biskra | .15 |
| Mercader, C., <i>Filage continu de fibres de nanotubes de carbone: de la solidification aux propriétés finales</i> . 2010, Université Sciences et Technologies-Bordeaux I | .16 |
| Speisser, E., <i>Etude sur les proprietes physico-mecaniques des tiges d'armature composites a base de fibres pour les structures en beton</i> . 1998: Universite de .Sherbrooke | .17 |
| Do Thi, V.V.D.T., <i>Matériaux composites à fibres naturelles/polymère biodégradables ou non</i> . 2011, Université de Grenoble; Université des Sciences Naturelles d'Ho Chi Minh .Ville | .18 |
| Mokhtari, A., <i>Influence des ajouts de fines minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcés de fibres végétales de palmier dattier</i> . 2006 | .19 |
| Louhi, A., <i>Intégrité des tours aéroréfrigérantes en béton armé sous sollicitations extrêmes: Vent et séisme</i> . 2015, Lyon, INSA | .20 |
| LAROUCI, B. and L. BENNACER, <i>CONTRIBUTION A L'ETUDE DU COMPORTEMENT MECANIQUE DE BETON DES FIBRES METALLIQUES</i> . 2017 .جامعة أحمد دراية-ادرار. | .21 |
| Lagier, F.E., <i>Étude du comportement de chevauchements d'armatures en traction directe dans du mortier fibré ultra performant</i> . 2015, École Polytechnique de Montréal | .22 |
| Cérézo, V., <i>Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales: approche expérimentale et modélisation théorique</i> . Institut National .des Sciences Appliquées, Lyon, 2005 | .23 |
| Khelifa, M.R., <i>Formulation et caractérisation d'éco-mortiers renforcés aux fibres d'alfa pour des bâtiments verts et durables</i> . 2017, Cergy-Pontoise | .24 |
| .Stoz, B., <i>Aménagements commerciaux: se différencier pour réussir</i> . 2016: EdiPro | .25 |
| Courard, L. and B. Bissonnette, <i>Réparation des ouvrages en mortier armé-Partie 2: Compatibilité et performances</i> . Techniques de l'Ingénieur. Analyse Chimique et .Caractérisation, 2016 | .26 |
| Roulet, C.-A., <i>Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments</i> . Vol. 22. .2004: PPUR presses polytechniques | .27 |
| Benzaïd, R. and N.-E. Chikh, <i>Contribution a l'etude des materiaux composites dans le renforcement et la reparation des elements structuraux lineaires en mortier</i> . 2010 | .28 |
| Serifou, M., <i>mortier à base de recyclats: influence du type de recyclats et rôle de la formulation</i> . 2013, Bordeaux 1 | .29 |
| Blackburn, D., <i>Le développement d'un système constructif de plancher préfabriqué pour l'habitat urbain de Hanoi</i> . 2006, Université Laval | .30 |
| Sirois-Cournoyer, A., <i>La nature du low-tech: un travail conceptuel et exploratoire</i> . 2018: .Mémoire de recherche], Maîtrise, Montréal, HEC Montréal | .31 |
| Soulama, S., <i>Caractérisation mécanique et thermique de biocomposites à matrice polystyrène recyclé renforcée par des coques de cotonnier (Gossypium Hitsutum L.) ou des particules de bois de Kéna (Hibiscus Cannabinus L.)</i> . 2014, Université de Technologie de Belfort-Montbeliard; Institut des sciences | .32 |

CHAPITRE III :
MATÉRIAUX ET
PROCÉDURES
EXPÉRIMENTALES

III.1 Introduction :

Le mortier est un matériau essentiel dans l'industrie de la construction et de la construction, car il est largement utilisé pour créer diverses structures allant des bâtiments, des ponts et des trottoirs. Au fil des décennies, les ingénieurs et les chercheurs ont accru leur intérêt pour le développement de la technologie du mortier afin d'améliorer ses propriétés et ses performances.

Dans leur quête constante de développement de matériaux et de technologies, les fibres plastiques se sont avérées être une excellente option pour améliorer les propriétés du mortier armé. Les fibres de plastique améliorent la résistance du mortier à la rupture et à la fissuration, réduisent l'impact du retrait, augmentent la durabilité environnementale et améliorent le processus de construction lui-même.

Cette étude vise à explorer les avantages de l'utilisation de la fibre plastique comme additif dans la préparation du mortier armé. Nous réaliserons une expérience pratique pour préparer des échantillons de mortier armé de fibres plastiques, et nous analyserons les résultats obtenus à partir de cette expérience

III.2 Matériaux utilisés :

2.1 Sables :

Du sable alluvionnaire a été utilisé dans cette étude, provenant de Du trou du collecteur de l'état de la vallée.

(Voir Figure III.1). Sa densité apparente est de 1,88 g/cm³

et sa masse Volume absolu : 2,72 g/cm³. Ses granules varient en taille de 0 à 5 mm.



Figure III.1: Sable Alluvionnaire Djamaa.

2.1.1 Caractéristiques physiques :

Les caractéristiques physiques sont comme suit

2.1.1.1 Les masses volumiques :

a. La masse volumique apparente :

Cet essai est régi par la norme NF P18-554 [17], elle est définie comme étant la masse de l'unité de volume apparente du corps, c'est-à-dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient

Où:

$$\gamma = \frac{M}{V}$$

γ : Masse volumique apparente

M : Masse du matériau

V : Volume total du matériau

b. La masse volumique absolue

Cet essai est régi par la norme NF P18-301 [18], elle est définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains

$$\gamma_s = \frac{M_s}{V_s}$$

Où :

γ_s : Masse volumique absolu.

M_s : Masse du matériau

V_s : Volume total du matériau solide

2.1.1.2 Module de finesse :

Les granulats doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du mortier tandis que si le granulat est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile. Le caractère plus ou moins fin d'un granulat peut être quantifié par le calcul du module de finesse (MF). Celui-ci correspond à la somme de pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité, pour les tamis de modules 0.16 ; 0.315 ; 0.63 ; 1.25 ; 2.5 et 5.

Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des granulats à mortier.

1.8 et 2.2 : le sable est à majorité de grains fins.

2.2 et 2.8 : on est en présence d'un sable préférentiel.

2.2 Ciment :

Le ciment utilisé pour toutes les expériences est un ciment portland composé CEM II / B-L 42.5N, conforme à la norme NA 442[21]. Ce ciment a été fourni par le Groupe Industriel des Ciments d'Algérie (LAFARGE), basé à Biskra, en Algérie.



Figure. III.2. Ciment utilisé.

Les caractéristiques physico-chimiques du ciment inscrite sur la fiche technique sont données dans les Tableaux . III,3., 4.,5.,6

Tableau III.3. Résistance à la compression (NA 234)

| Age | Jours ² | 28 jours |
|-----------------------------------|---------------------|-------------|
| Résistance à la Compression (MPa) | Différent ≥ 10 | 42.5 \geq |

Tableau III .4. Analyses chimiques (NA 5042)

| Paramètre | Valeur |
|-------------------------------------|-----------------|
| Pert au feu (%) | 2 \pm 10.0 |
| Résidus insoluble (%) | 0.65 \pm 1.35 |
| Teneur sulfates SO ₃ (%) | 0.5 \pm 2.5 |
| Teneur en oxyde de magnésium MgO | 0.5 \pm 1.7 |

| | |
|-----------------------------------|-------------|
| (%) | |
| Teneur chlorures (%) | 0.05 – 0.02 |
| Teneur équivalent en alcalins (%) | 0.75 – 0.3 |

Tableau III .5. Composition minéralogique du ciment (CLINKER)

| Minéraux | Pourcentage |
|-------------------|-------------|
| C ₃ S | 3.0 ± 60 |
| C ₂ S | 3.0 ± 15 |
| C ₂ A | 1.0 ± 7.5 |
| C ₄ AF | 1.0 ± 11 |

Tableau III .6. Caractéristiques physiques du ciment MATINE

| Caractéristique | Valeurs | Unité |
|---------------------------|-------------|--------------------|
| S.S. Blaine (NA 231) | 5200 – 3700 | Cm ² /g |
| Consistance normale | 2.0 ± 26.5 | % |
| Début de prise (NA 230) | 30 ± 150 | Min |
| Fin de prise (NA 230) | 50 ± 230 | Min |
| Retrait à 28 jours | 1000< | µm/m |
| Expansion | 0.3≤ | Mm |
| Masse volumique apparente | 975 | Kg/m ³ |
| Densité spécifique | 3080 | Kg/m ³ |

2.3 Fibres plastiques :

Dans cette expérience, un ruban fabriqué à partir de matières plastiques telles que le polypropylène a été utilisé pour attacher et fixer le yaourt ainsi que d'autres structures structurelles. Ce ruban est communément appelé "ruban d'emballage" ou "ruban de reliure". Il est utilisé dans le but de sécuriser différentes parties des structures et de garantir leur stabilité et leur robustesse. Ce ruban est généralement disponible dans plusieurs couleurs et est fabriqué à partir de plastiques résistants et durables, conçus pour résister aux conditions atmosphériques.



Figure. III.3. fibres blastiques.

2.4 Eau de gâchage :

L'eau de gâchage des mélanges des mortiers confectionnés est issue directement du robinet du réseau public d'eau potable

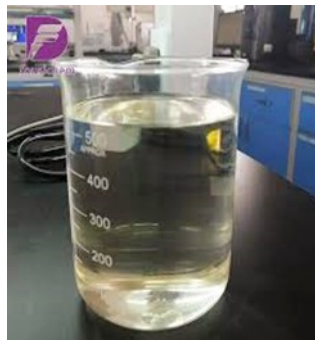


Figure. III.4 Eau de gâchage.

III.3 Formulations de mortier :

Dans le cadre de cette étude, nous avons conduit quatre expérimentations visant à élaborer du mortier armé en utilisant des fibres plastiques en tant qu'élément additionnel. Dans la première expérience, le mélange de contrôle a été préparé sans aucune adjonction de fibres plastiques. Ce mélange impliquait l'utilisation de 5 400 g de sable, 1 800 g de ciment, et 900 g d'eau.

Par la suite, nous avons concocté trois mélanges additionnels avec différentes proportions de fibres plastiques. Dans le deuxième mélange, 1 % du poids du ciment a été ajouté sous forme de fibres plastiques, équivalant à 18 g de fibres. Dans le troisième mélange, 2 % du poids de fibrociment plastique (36 g) ont été intégrés, et dans le quatrième mélange, 3 % du poids de fibrociment plastique (54 g) ont été inclus.

Le rapport eau/ciment (E/c) de 0,6 a été respecté dans l'ensemble des mélanges.

3.1 Compositions des mortiers :

| Désignation du mélange | Ciment (g) | Eau (g) | Sable Alluvionnaire (g) | Fibres plastiques (g) |
|------------------------|------------|---------|-------------------------|-----------------------|
| Formulation 00 | 1800 | 900 | 5400 | 00 |
| Formulation 01 | 1800 | 900 | 5400 | 18 |
| Formulation 02 | 1800 | 900 | 5400 | 36 |
| Formulation 03 | 1800 | 900 | 5400 | 54 |

3.2 Procédure expérimentale :

3.2.1 Fabrication du mortier :

3.2.1.1 Pesage des composants de mortier :

Dans un premier temps nous avons pesé individuellement tous les composants du mortier pour chaque formulation .

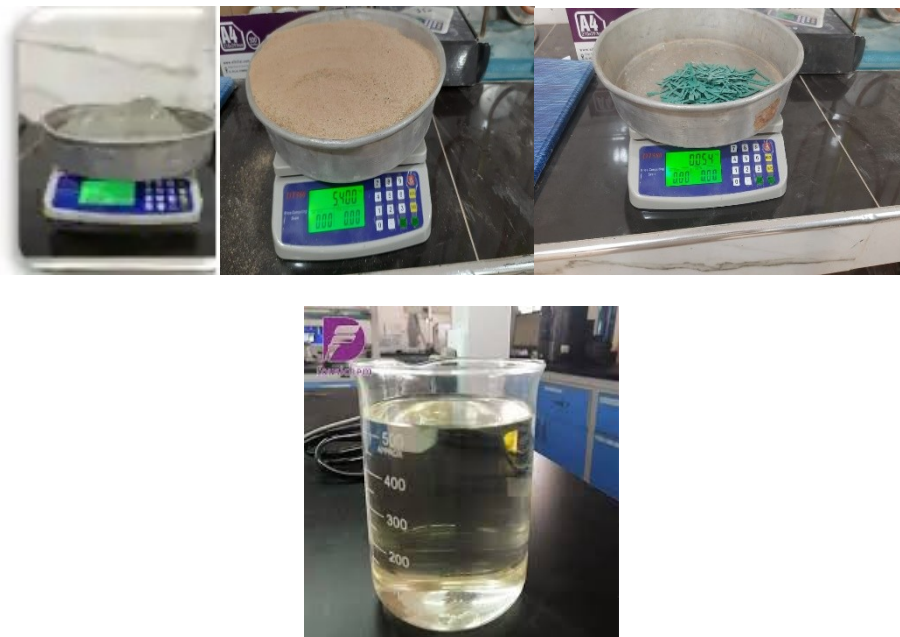


Figure. III .5. Pesage des composants du mortier

3.2.1.2 Malaxage des composants du mortier :

Pour le malaxage des constituants, Le processus de mélange a été fait à la main dans l'ordre suivant.



Figure. III .6 Matériaux utilisés secs.

Ajouter les ingrédients secs. (Ciment, sable limoneux et fibres plastiques)
dans le bol et mélanger jusqu'à ce qu'ils soient homogènes.



Figure. III.7 Mélanger les matières sèches.

Ajouter de l'eau petit à petit tout en mélangeant



Figure. III 8. Ajouter de l'eau en mélangeant

3.2.2 Coulage des éprouvettes :

Dans ce travail nous avons confectionné 14 éprouvettes de dimensions (4 x 4 x 16) cm Voir



Figure. III .9. Moule des éprouvettes utilisés.

➤ **Première étape :**

Lubrifier les moules avec de l'huile moteur brûlée pour que le mortier ne colle pas à ses parois (Voir Figure III.10).



Figure. III.10 Lubrifié de moule

➤ **Deuxième étape :** Versez le mélange dans le moule et remplissez-le au texte.

Comme indiqué sur la 2 Figure III .11



Figure. III.11. Verser la moitié de la quantité dans le moule

➤ **Troisième étape :** Ensuite, nous l'enroulons en frappant le moule 25 coups gauche et à droite comme indiqué sur la Figure. III.12



Figure. III.12. Décanter l'échantillon en secouant.

➤ **Quatrième étape :** Ensuite, nous terminons de le remplir et de le secouer à



Figure. III.13. Remplissage du modèle terminé.

Nouveau de la même manière, puis j'ai nivelé la surface et laissé sécher pendant 24 h

➤ **Cinquième étape :** En effet pour chaque formulation, le démoulage des éprouvettes s'est fait après 24h. nous retirons les échantillons, les nettoyons (Fig.II.18) et y écrivons leur contenu (Fig.II.19). Puis on les met dans l'eau pendant jour 28.



Figure. II.18. Ouvrir les éprouvettes.

3.2.3 Les essais réalisés :

3.2.3.1 Essai de traction par flexion :

Des éprouvettes de dimensions (4 x 4 x 16) cm ont été utilisées pour la détermination de la résistance à la traction. Les mesures sont faites sur une presse qui répond aux normes en vigueur, munie d'un banc de flexion à 3 points. Cet essai permet de déterminer la résistance à la traction par flexion du mortier étudié. C'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion une éprouvette

La valeur de la résistance considérée constitue la moyenne de la contrainte d'écrasement de trois éprouvettes

Les résistances à la traction du mortier durci ont été évaluées à 28 jours en utilisant une machine de résistance à la flexion permettant d'appliquer des charges jusqu'à 20 KN, pourvue d'un dispositif de flexion à 3 points (Figure II.23). La valeur de la résistance considérée constitue la moyenne de la contrainte d'écrasement de trois éprouvettes .



Figure. II.23. Essai de de traction par flexion.

3.2.3.2 Essai de compressio :

La résistance à la flexion d'un mortier est déterminée par chargement en trois points jusqu'à la rupture d'éprouvettes moulées en mortier durci

La résistance à la compression du mortier est déterminée sur les deux parties résultant de l'essai de résistance à la flexion

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression

L'éprouvette étudiée est soumise à une charge croissante jusqu'à la rupture

La charge de rupture est la charge maximale enregistrée au cours de l'essai

La valeur de la résistance considérée constitue la moyenne de la contrainte d'écrasement de trois éprouvettes

Les résistances en compression ont été évaluées à 28 jours en utilisant une machine d'essai en compression hydraulique permettant d'appliquer des charges jusqu'à 1500

KN, pourvue d'un dispositif de compression pour les moules de mortiers

(Figure.II.24.). La valeur de la résistance considérée constitue la moyenne de la contrainte d'écrasement de trois éprouvettes



Figure. II.24. Essai de compression.

3.2.3.3 Essai d'auscultation dynamique :

La vitesse sonique est un paramètre qui permet d'obtenir une information qualitative sur le matériau et sur la structure. La vitesse des ondes ultrasoniques à travers le mortier résulte du temps mis par les ondes pour traverser la pâte de ciment durci et les granulats. Elle dépend énormément du module d'élasticité des granulats et de leur quantité dans le béton et le mortier. Le principe de la méthode des ultra-sons consiste à mesurer le temps de propagation des impulsions ultrasoniques traversant le mortier. Les principales caractéristiques de tous les appareils disponibles sur le marché comprennent un générateur d'impulsion et un récepteur d'impulsion, comme la montre là (Figure II.25).



Figure. II.25. Essai d'auscultation dynamique.

III.4 Conclusion :

Durant toutes les étapes de la réalisation de ce travail, le plan de la thèse ainsi que les normes liées aux différents tests effectués ont été respectés. Cette compréhension du sujet

conduit à diviser cette étude en deux parties distinctes, où la première traite des propriétés physiques des matériaux utilisés dans la composition des types de béton préparés. Tandis que la deuxième partie (dans la deuxième section) aborde l'impact du taux de fibres plastiques (bandes plastiques) sur les propriétés physiques et mécaniques : la densité, la résistance à la flexion et à la compression

CHAPITRE IV :
ANALYSE DES
RÉSULTATS
EXPÉRIMENTAUX

IV.1 Introduction :

Ce chapitre présente les résultats expérimentaux obtenus lors de la mise en œuvre du projet de fin d'études à l'Université E-chahid Hamma Lakhdar à El Oued. Les expériences ont été menées dans les laboratoires de génie civil à des fins éducatives et de recherche "La société Nezolab de surveillance."

Un programme expérimental a été conçu pour résoudre les problèmes posés. Quatre mélanges de mortier ont été préparés : mortier de référence et trois types de mortiers contenant différentes proportions pondérales de fibres plastiques (type ceinture de plastique) de proportion de 1%, 2% et 3% respectivement pour chaque mortier.

Cette étude vise, dans sa première étape, à interpréter les résultats des tests de caractérisation physique et mécanique du mortier afin de caractériser ces matériaux à un stade précoce. Dans la deuxième étape, ces résultats seront utilisés pour tirer des conclusions appropriées. Nous comparerons ensuite le comportement des quatre mortiers à un stade précoce avec les réglementations actuelles en utilisant des corrélations entre leurs propriétés.

IV.2 Résultat :

2.1 Résistance à la compression :

Tableau 1 La résistance à la compression du mortier standard (sans fibres) et du mortier renforcé de fibres plastiques à trois ratios différents (1%, 2%, 3%).

| | | BT 0% | BP %1 | BP %2 | BP %3 |
|--|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Résistance à la compression (MPa) | 7 jours | 13.4 | 16.5 | 18.7 | 23.2 |
| | 14 jours | 19.5 | 21.1 | 21.5 | 22.5 |
| | 28 jours | 20.1 | 21.5 | 21.6 | 22.8 |

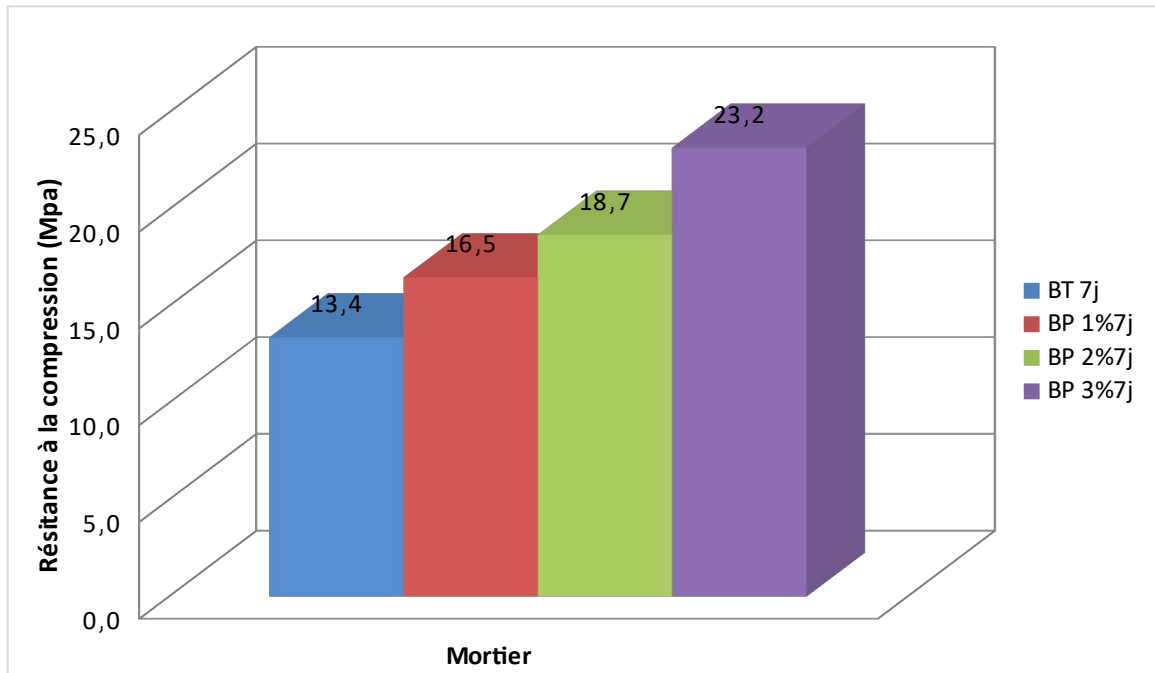


Figure VI.1 : Les graphiques représentent L'évolution de la résistance à la compression du mortier témoin (mortier de référence) et du mortier renforcé de fibres plastiques à trois taux différents (1%, 2%, 3%) après 7 jours."

Analyse des résultats :

L'impact des fibres plastiques sur la résistance du mortier a été étudié après 7 jours de coulage et d'exposition à l'eau. Quatre cas différents ont été testés :

- Sans présence de fibres plastiques : Dans cette situation, la résistance du mortier était de 13,4 (MPa).
- Avec une proportion de 1% de fibres plastiques : La résistance du mortier s'est améliorée pour atteindre 16,5 (MPa).
- Avec une proportion de 2% de fibres plastiques : Nous avons constaté une autre augmentation de la résistance à 18,7 (MPa).
- Avec une proportion de 3% de fibres plastiques : Dans ce cas, la résistance du mortier a nettement augmenté pour atteindre 23,2 (MPa).

Cette expérience montre clairement que l'ajout de fibres plastiques améliore considérablement la résistance du mortier, le rendant plus fort et plus résistant à la charge.

Ces résultats peuvent encourager l'utilisation des fibres plastiques comme moyen d'améliorer les performances du mortier dans diverses applications, telles que les infrastructures et la construction.

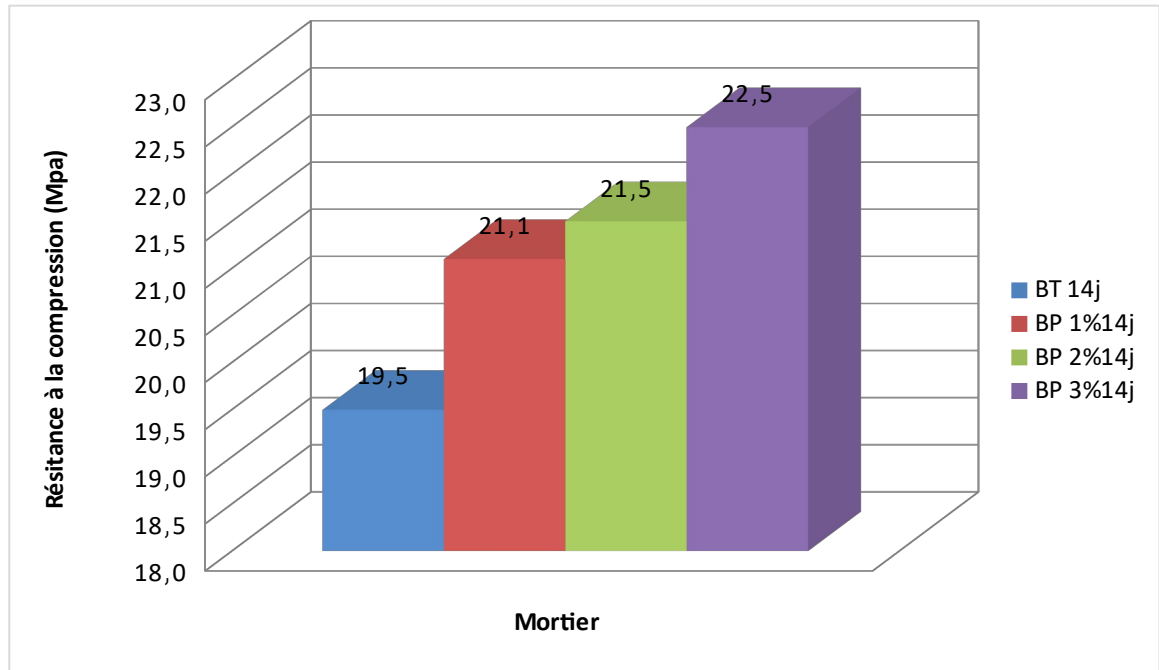


Figure VI.2 : Les graphiques représentent L'évolution de la résistance à la compression du mortier témoin (mortier de référence) et du mortier renforcé de fibres plastiques à trois taux différents (1%, 2%, 3%) après 14 jours."

Analyse des résultats :

L'impact des fibres plastiques sur la résistance du mortier a été étudié après 14 jours de coulage et d'exposition à l'eau. Quatre cas différents ont été testés :

- Sans présence de fibres plastiques (0%) : Résistance du mortier : 19,5 (mpa)
- Avec une proportion de 1% de fibres plastiques :
 - Résistance du mortier : 21,1 (Mpa)
 - Augmentation de la résistance par rapport au mortier sans fibres : 1,6 (Mpa) (augmentation de 8,2%)
- Avec une proportion de 2% de fibres plastiques :
 - Résistance du mortier : 21,5 (Mpa)
 - Augmentation de la résistance par rapport au mortier sans fibres : 1,9 (Mpa) (augmentation de 9,7%)
- Avec une proportion de 3% de fibres plastiques :
 - Résistance du mortier : 22,5 (Mpa)
 - Augmentation de la résistance par rapport au mortier sans fibres : 3 (Mpa) (augmentation de 15,4%)

Il est possible de noter que l'ajout de fibres plastiques augmente considérablement la résistance du mortier, avec un taux d'augmentation qui croît en fonction de la proportion de fibres. La proportion la plus élevée (3%) a entraîné la plus forte augmentation de résistance, soit 15,4% de plus par rapport au mortier sans fibres. Cela indique que l'ajout de fibres plastiques peut être une stratégie efficace pour renforcer la résistance du mortier et améliorer ses performances.

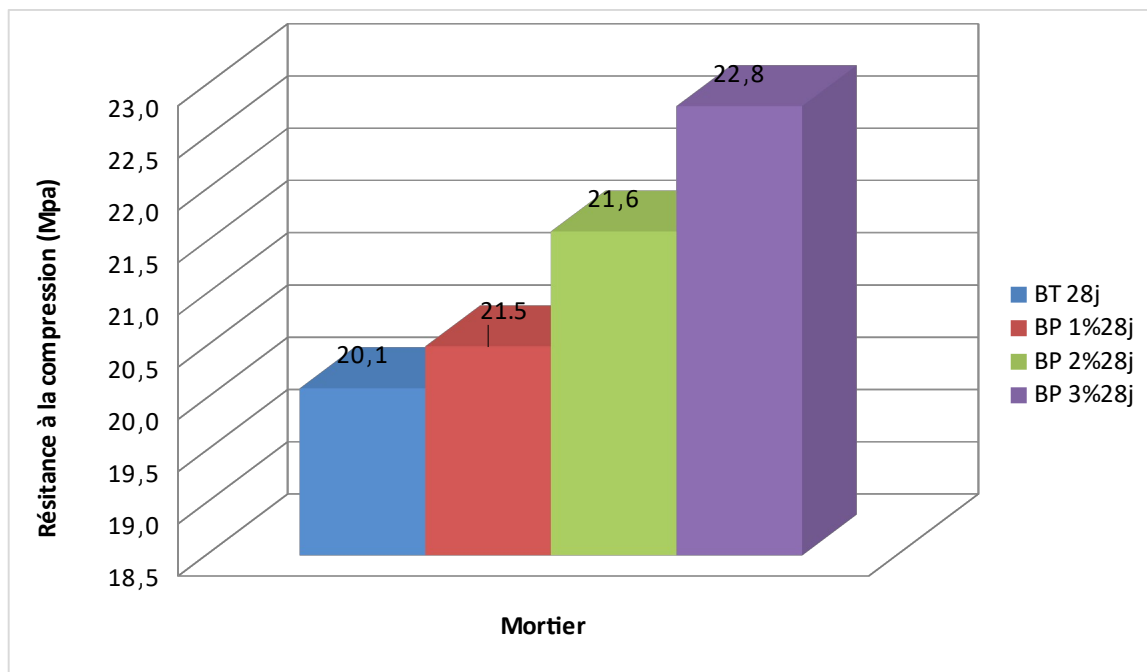


Figure VI.3 : Les graphiques représentent L'évolution de la résistance à la compression du mortier témoin (mortier de référence) et du mortier renforcé de fibres plastiques à trois taux différents (1%, 2%, 3%) après 28 jours."

Analyse des résultats :

L'impact des fibres plastiques sur la résistance du mortier a été étudié après 28 jours de coulage et d'exposition à l'eau. Quatre cas différents ont été testés :

- Avec une proportion de 0% de fibres plastiques :
 - Résistance à la compression : 20,1 (Mpa)
- Avec une proportion de 1% de fibres plastiques :
 - Résistance à la compression : 20,5 (Mpa)
 - Augmentation de la résistance par rapport au mortier sans fibres : 0,4 (Mpa)
 - Proportion de fibres : 1%
- Avec une proportion de 2% de fibres plastiques :
 - Résistance à la compression : 21,6 (Mpa)
 - Augmentation de la résistance par rapport au mortier sans fibres : 1,5 (Mpa)

- Augmentation de la résistance par rapport à 1% de fibres :
1,1 (mpa)
- Proportion de fibres : 2%
- Avec une proportion de 3% de fibres plastiques :
 - Résistance à la compression : 22,8 (mpa)
 - Augmentation de la résistance par rapport au mortier sans fibres :
2,7 (mpa)
 - Augmentation de la résistance par rapport à 1% de fibres :
2,3 (mpa)
 - Augmentation de la résistance par rapport à 2% de fibres :
1,2 (mpa)
 - Proportion de fibres : 3%

Il est ainsi conclu que l'augmentation du pourcentage de fibres plastiques dans le mortier contribue progressivement à augmenter sa résistance à la compression. Chaque augmentation du pourcentage de fibres représente une augmentation de la résistance à la compression, ce qui indique les avantages de l'utilisation de fibres plastiques comme matériau renforteur pour le mortier.

2.2 Résistance à la flexion :

La résistance à la flexion du mortier standard (sans fibres) et du mortier renforcé de fibres plastiques (bandes de plastique) à trois ratios différents (1%, 2%, 3%).

| | | BT 0% | BP %1 | BP %2 | BP %3 |
|-------------------------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| Résistance à la flexion (kn) | 7 jours | 1.4 | 1.5 | 2.3 | 2.7 |
| | 14 jours | 1.8 | 1.9 | 2.3 | 2.5 |
| | 28 jours | 1.8 | 1.2 | 2.5 | 2.7 |

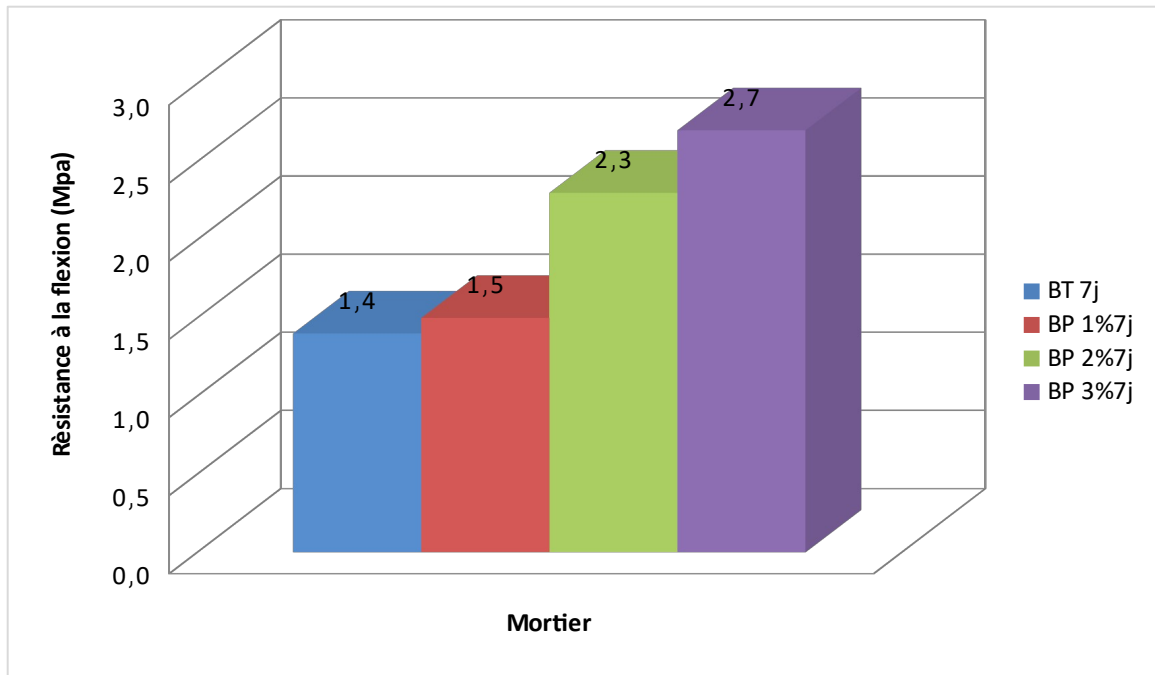


Figure VI.4 : Les graphiques représentent L'évolution de la résistance à la flexion du mortier témoin (mortier de référence) et du mortier renforcé de fibres plastiques à trois taux différents (1%, 2%, 3%) après 7 jours."

L'effet du pourcentage de fibres plastiques dans le mortier sur sa résistance à la flexion après 7 jours de coulage et d'immersion dans l'eau a été étudié comme suit :

Pourcentage de fibres plastiques et son impact sur la résistance du mortier à la flexion :

- Lorsque 0% de fibres plastiques ont été ajoutées au mortier, sa résistance à la flexion était de 1,4 (Mpa).
- Lorsque 1% de fibres plastiques ont été ajoutées au mortier, la résistance à la flexion a augmenté à 1,5 (Mpa).
- Lorsque 2% de fibres plastiques ont été ajoutées au mortier, la résistance à la flexion a augmenté encore plus, atteignant 2,3 (Mpa).
- Lorsque 3% de fibres plastiques ont été ajoutées au mortier, la résistance à la flexion a atteint 2,7 (Mpa).

L'effet progressif de l'augmentation du pourcentage :

- Il est possible de noter qu'il y a un effet positif sur la résistance à la flexion avec l'augmentation du pourcentage de fibres plastiques dans le mortier.
- En augmentant le pourcentage de 0% à 1%, la résistance a augmenté de 0,1 Mpa.
- En augmentant le pourcentage de 1% à 2%, la résistance a augmenté de 0,8 Mpa.
- En augmentant le pourcentage de 2% à 3%, la résistance a augmenté de 0,4 Mpa.

L'effet de la dispersion des résultats :

Il semble y avoir un effet positif plus marqué sur la résistance à la flexion lorsqu'on augmente le pourcentage de fibres de 1% à 2% par rapport à lorsque l'augmentation se fait de 2% à 3%. Cela pourrait être lié à la distribution des fibres sur une plus grande surface dans le mortier.

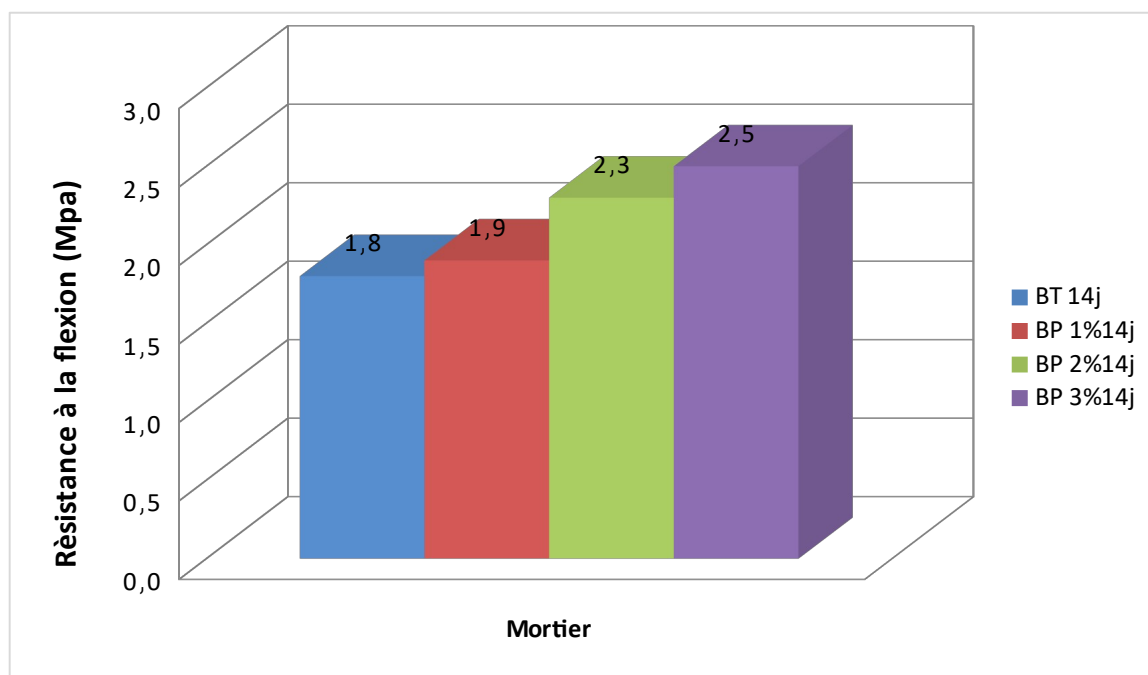


Figure VI.5 : Les graphiques représentent L'évolution de la résistance à la flexion du mortier témoin (mortier de référence) et du mortier renforcé de fibres plastiques à trois taux différents (1%, 2%, 3%) après 14 jours."

L'impact du pourcentage de fibres plastiques dans le mortier sur sa résistance à la flexion après 14 jours de coulage et d'immersion dans l'eau est le suivant :

Augmentation du pourcentage :

Il est clair que l'augmentation du pourcentage de fibres plastiques dans le mortier augmente sa résistance à la flexion. Cela indique que les fibres plastiques renforcent le mortier et le rendent plus solide.

Effet du pourcentage :

L'augmentation de la résistance est plus marquée lorsqu'on augmente le pourcentage de fibres de 0% à 1%, passant de 1,8 Mpa à 1,9 Mpa.

Ensuite, lorsque le pourcentage passe de 1% à 2%, la résistance atteint 2,3 Mpa.

Enfin, lorsque le pourcentage est augmenté de 2% à 3%, la résistance atteint 2,5 Mpa. Cela indique que les augmentations de pourcentage ont un effet progressivement moindre sur la résistance.

Remarque : Cette analyse montre que l'ajout de fibres plastiques au mortier peut augmenter sa résistance et améliorer sa performance en termes de résistance à la flexion.

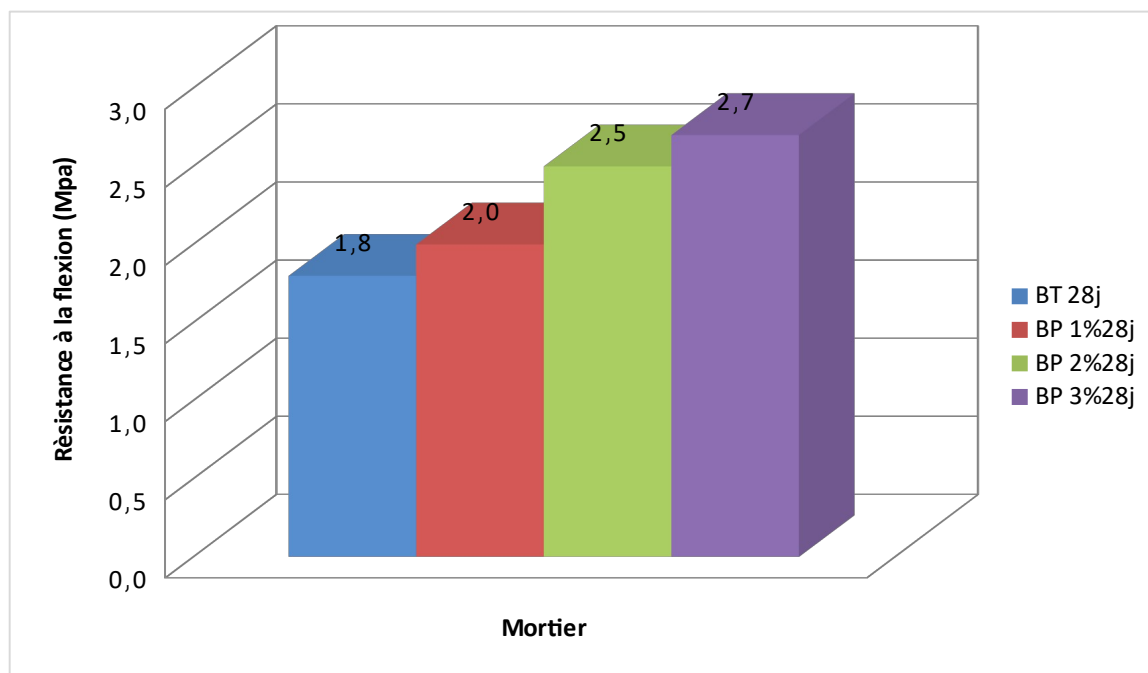


Figure VI.6 : Les graphiques représentent L'évolution de la résistance à la flexion du mortier témoin (mortier de référence) et du mortier renforcé de fibres plastiques à trois taux différents (1%, 2%, 3%) après 28 jours."

L'impact du pourcentage de fibres plastiques sur la résistance à la flexion du béton après 28 jours de durcissement et d'immersion dans l'eau est le suivant :

Pourcentage de 0% de fibres plastiques :

- Résistance à la flexion du mortier : 1,8 Mpa

Pourcentage de 1% de fibres plastiques :

- Résistance à la flexion du mortier : 2 Mpa
- Augmentation de 11,1% de la résistance par rapport au pourcentage de 0%.

Pourcentage de 2% de fibres plastiques :

- Résistance à la flexion du mortier : 2,5 Mpa
- Augmentation de 38,9% de la résistance par rapport au pourcentage de 0%.

Pourcentage de 3% de fibres plastiques :

- Résistance à la flexion du mortier : 2,7 Mpa
- Augmentation de 50% de la résistance par rapport au pourcentage de 0%.

On peut noter que l'augmentation du pourcentage de fibres plastiques dans le béton augmente considérablement sa résistance après 28 jours de durcissement. Cela indique que les fibres plastiques renforcent la résistance du mortier et améliorent sa capacité à supporter la flexion et la pression.

2.3 La Masse volumique :

Tableau 3. Change the density of fresh concrete for plain concrete and fiber- reinforced concrete (1%, 2%, 3%).

| mortier | BT 0% | BP 1% | BP 2% | BP 3% |
|--|----------|----------|----------|----------|
| La Masse volumique (kg/cm ³) | 2100 | 2092 | 2083 | 2075 |

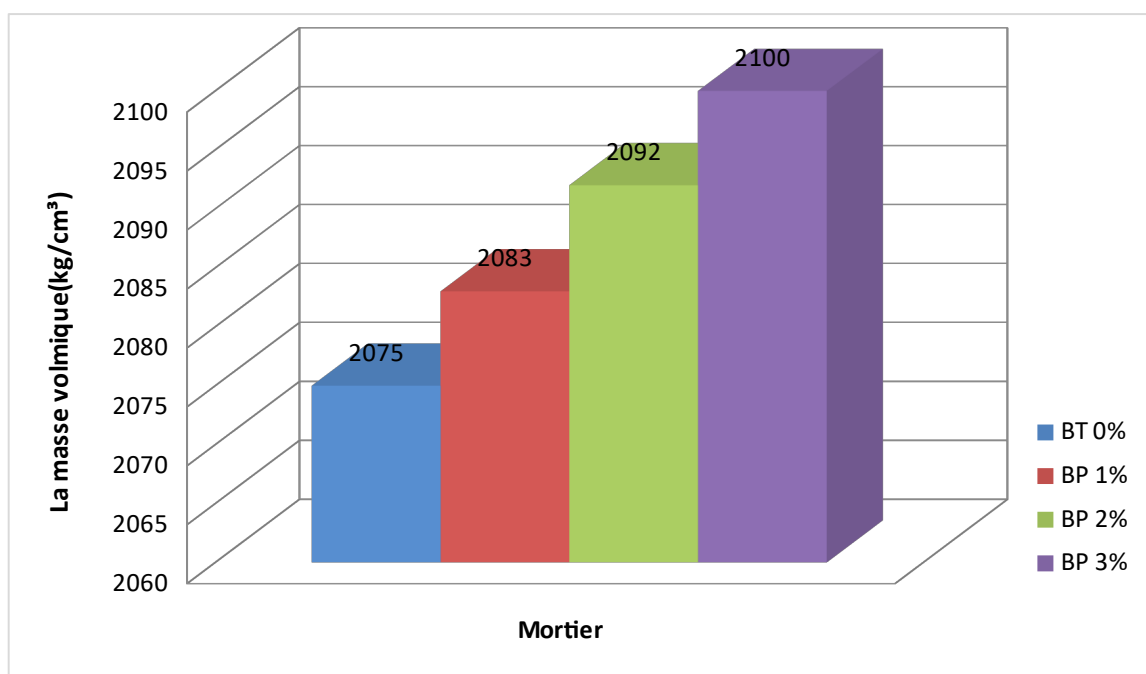


Figure VI.7 : Un graphique représentant la variation de la densité du mortier frais pour le mortier ordinaire et le mortier renforcé de fibres plastiques (1%, 2%, 3%).

- Lorsque la teneur en fibres est de 0% dans le mortier, sa densité volumétrique était de 2100 kg/cm³.
- En augmentant la teneur en fibres à 1% dans le mortier, sa densité volumétrique a légèrement réduction à 2092 kg/cm³.
- Lorsque la teneur en fibres a été augmenter à 2%, la densité du mortier est réduction à 2083 kg/cm³.

- Enfin, lorsque la teneur en fibres a été augmentée à 3%, la densité du mortier a atteint 2075 kg/cm³.

Nous constatons qu'il y a une diminution progressive de la densité volumique avec l'augmentation du pourcentage de fibres plastiques dans le mortier. Cela indique que l'ajout de fibres plastiques contribue à réduire la densité volumique du mortier .

IV.3 Conclusion :

Les résultats obtenus montrent que la résistance à la compression et à la flexion du mortier renforcé de fibres plastiques augmente avec l'augmentation du pourcentage de fibres. En d'autres termes, plus le pourcentage de fibres dans le béton est élevé, plus sa résistance à la compression est élevée. Il est évident que la masse volumique du béton augmente avec l'augmentation du pourcentage de fibres plastiques.

Le mortier renforcé à hauteur de 3 % de fibres plastiques présente la plus grande résistance à la compression et à la flexion parmi toutes les proportions étudiées.

La différence de résistance à la compression entre le béton témoin (mortier de référence) et le mortier renforcé de fibres plastiques indique l'efficacité de l'ajout de fibres pour augmenter la résistance du béton à la compression et à la flexion.

Il est nécessaire de poursuivre les tests et les analyses sur des périodes plus longues pour comprendre l'évolution de la résistance au fil du temps et déterminer si ces tendances persistent ou changent.

Il apparaît que le mortier renforcé de fibres plastiques présente un avantage supplémentaire en termes de résistance à la compression par rapport au mortier témoin (mortier de référence). Cela renforce l'utilisation des fibres plastiques pour améliorer les propriétés des matériaux utilisés dans l'infrastructure et la construction.


Les résultats suggèrent que des améliorations tangibles de la résistance à la compression peuvent être réalisées en ajoutant des fibres plastiques au mortier , ce qui peut être bénéfique pour la conception et la réalisation de projets de construction nécessitant des propriétés spécifiques du mortier.

Il convient également de prendre en compte d'autres facteurs tels que le coût et la facilité de fabrication lors du choix du pourcentage optimal de fibres plastiques pour un projet donné. Un équilibre peut être trouvé entre l'amélioration des performances mécaniques et l'aspect économique.

La recherche continue et les tests répétés peuvent contribuer à améliorer la compréhension de l'impact des fibres plastiques sur le mortier, à améliorer les résultats et à développer de meilleures recommandations pour l'utilisation des fibres dans les applications de construction.

المحتويات

| | |
|--|-----------|
| IV.1 Introduction : | 44 |
| IV.2 Résultat : | 44 |
| 2.1 Résistance à la compression : | 44 |
| 2.2 Résistance à la flexion : | 48 |
| 2.3 La Masse volumique: | 52 |
| IV.3 Conclusion : | 53 |



CONCLUSION
GÉNÉRALE

Conclusion générale :

L'utilisation de fibres plastiques dans la formation du béton représente une technologie importante et innovante dans l'industrie de la construction. Cette technologie offre de nombreux avantages et de nouvelles propriétés qui améliorent la qualité et les performances du béton en général.

L'un des avantages les plus importants est l'augmentation de la résistance du béton et de sa résistance aux fissures et aux influences environnementales. Les fibres plastiques empêchent la formation de fissures et améliorent la répartition de la pression à l'intérieur du béton. De plus, les propriétés d'isolation thermique et acoustique du béton peuvent être améliorées en utilisant ces fibres.

Il convient de noter que l'utilisation de fibres plastiques réduit la nécessité d'utiliser de l'acier d'armature lourd, ce qui réduit les coûts et le temps nécessaires à la construction. De plus, cela réduit le poids des structures et les rend plus flexibles.

Cependant, l'utilisation de fibres plastiques doit être effectuée avec soin conformément aux normes et directives techniques en vigueur. Cela nécessite une étude approfondie de la qualité des fibres utilisées, de leur proportion dans le béton et de leur distribution appropriée.

En fin de compte, l'utilisation de fibres plastiques dans la formation du béton représente une amélioration importante dans l'industrie de la construction en termes de performances, d'économie et de protection de l'environnement. C'est un sujet qui mérite davantage de recherche et d'exploitation.

BIBLIOGRAPHIE

Références bibliographique

1. BOUZOUAOU, S., *Confection d'un béton ordinaire avec des déchets de céramique sanitaire*. 2022, university of M'sila.
2. Augé, É.F., *Liban*. 2018: De Boeck Supérieur.
3. Baudet, N., *Maîtrise de la qualité visuelle des produits-Formalisation du processus d'expertise et proposition d'une approche robuste de contrôle visuel humain*. 2012, Université de Grenoble.
4. Mohamed, B., *INFLUENCE DE L'AJOUT DU LAITIER SUR LES CARACTERISTIQUES PHYSICOCHIMIQUES ET MECANIQUES DU CIMENT PORTLAND AU LAITIER (CEM II) ET CIMENT DE HAUT FOURNEAU (CEM III)*. 2016, Faculte de technologie/UniversiteMohamed Boudiaf-M'sila.
5. Serifou, M., *Béton à base de recyclats: influence du type de recyclats et rôle de la formulation*. 2013, Bordeaux 1.
6. Bolduc, L.-S., *Étude des propriétés de transport du béton projeté*. 2009, Université Laval.
7. DJEBRI, N., *Formulation et caractérisation d'un béton autoplaçant fibré à base de matériaux locaux exposé aux hautes températures*. 2018, Université de M'sila.
8. Yagoub, M., *Evaluation De La Qualite Du Beton De Fibres In Situ Cas De Beton Autoplaçant Avec Des Fibres Mixtes*. 2009, Université Mohamed Khider-Biskra.
9. Quirion, M., *Contribution à l'instrumentation des ouvrages en béton: application des fibres optiques pour la mesure des déformations internes*. 2003: National Library of Canada= Bibliothèque nationale du Canada, Ottawa.
10. KOUICI, A., *Etude de l'effet de l'introduction des fibres végétales sur les propriétés des bétons autoplaçant (BAP) à l'état frais et durcis*. 2016, Université Mohamed Boudiaf-M'sila.
11. Hardy-Hémery, O., *Eternit et l'amiante 1922-2000: Aux sources du profit, une industrie du risque*. 2005: Presses Univ. Septentrion.
12. Casanova, P., *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*. 1995, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
13. Meyrueis, P., A. Cazenave, and R. Zimmermann, *Biomécanique de l'os. Application au traitement des fractures*. EMC-Rhumatologie-Orthopédie, 2004. **1**(1): p. 64-93.

14. Boucher, J., *Développement d'une poutre de béton armé de bambou préfabriquée pour l'habitat urbain de Hanoi*. 2006, Université Laval.
15. Boussaha, F., *Comportement de fatigue des poutres en béton armé renforcées en cisaillement à l'aide de matériaux composites avancés*. 2008, École de technologie supérieure.
16. Le Nguyen, K., *Contribution à la compréhension du comportement des structures renforcées par FRP sous séismes*. 2015, Lyon, INSA.
17. Olard, F., *Comportement thermomécanique des enrobés bitumineux à basses températures. Relations entre les propriétés du liant et de l'enrobé*. 2003, INSA de Lyon.
18. St-Georges, É., *Étude expérimentale de colonnes de ponts en béton armé réhabilitées avec matériaux composites dans un contexte sismique*. 2008: Library and Archives Canada= Bibliothèque et Archives Canada, Ottawa.
19. Sellier, A. and L. Buffo-Lacarrière, *Vers une modélisation simple et unifiée du fluage propre, du retrait et du fluage en dessiccation du béton*. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 2009. **13**(10): p. 1161-1182.
20. Duclos, D., *Eloge de la pluralité*. Conversation entre cultures et continuation de l'humanité, 2013.
21. Yacine, B.H.-M., *Amélioration de performance d'un béton compacté au rouleau routier contenant des particules en polymère*. 2014, Faculté des Sciences et Technologies.
22. Laneyrie, C., *Valorisation des déchets de chantiers du BTP: comportement à haute température des béton des granulats recyclés*. 2014, Université de Cergy Pontoise.
23. Ashby, M., Y. Bréchet, and L. Salvo, *Sélection des matériaux et des procédés de mise en œuvre*. Vol. 20. 2001: PPUR presses polytechniques.
24. Paulus, J., *CONSTRUCTION EN T ERRE C RUE: D ISPOSITIONS QUALITATIVES, CONSTRUCTIVES ET ARCHITECTURALES—Application à un cas pratique: Ouagadougou*. 2015.
25. Campus, F., *Le béton précontraint: principes et propriétés, expériences, premières réalisations*. Université de Liège. Cours de construction du génie civil; 68, 1949.
26. AMROUNE, S. and S. AMROUNE, *L'exploitation du scanner 3D dans le suivi et le contrôle des ouvrages*. 2020, Univ M'sila.
27. DILMI, A. and R. LAKEHAL, *La numérisation 3D et son exploitation dans la modélisation de l'information du bâtiment*. 2020, Université M'sila.
28. Gendron, C., *La gestion environnementale et la norme ISO 14001*. 2004: PUM

- 29 Dugast, C., et al., *Faire sa part. Pouvoir et responsabilité des individus, des entreprises et de l'état face à l'urgence climatique*. Carbone, 2019. 4
- 30 Hallonet, A., *Développement et caractérisation d'un matériau composite à base de fibres de lin: application au renforcement de structures en béton par collage externe*. 2016, Université de Lyon.
- 31 Reffas, A., E.M. Bencheikh, and L. Duclaux, *Étude de l'adsorption de colorants organiques (rouge nylosan et bleu de méthylène) sur des charbons actifs préparés à partir du marc de café*. 2010.
- 32 Ntenga, R., *Modélisation multi-échelle et caractérisation de l'anisotropie élastique de fibres végétales pour le renforcement de matériaux composites*. 2007, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II; Université de Yaoundé.
- 33 Verneuil, J.-L., *Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits/s*. Université de Limoges, Limoges, 2003: p. 297.
- 34 DJERAD, K. and A. CHOUYA, *Revue bibliographique sur la durabilité des bétons autoplaçants (BAP) fibrés*. 2020.
- 35 Hanane, L., *Etude du comportement mécanique du béton polymère renforcé par des fibres végétales et déchets minéraux*. 2017, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA.
- 36 Butschi, P.-Y., *Utilisation du chanvre pour la préfabrication d'éléments de construction*. 2005: Thèse de génie civil, Faculté d'ingénieurs, Université de Moncton, Canada
- 37 Koffi, A., *Étude des paramètres d'injection des composites de fibres naturelles et de l'amélioration des performances mécaniques du matériau pour l'impression 3D*. 2021, Université du Québec à Trois-Rivières.
- 38 Traore, B., *Elaboration et caractérisation d'une structure composite (sable et déchets plastiques recyclés): Amélioration de la résistance par des charges en argiles*. 2018, Université Bourgogne Franche-Comté; Université Félix Houphouët-Boigny
- 39 Bourahli, M.E.H., *Caractérisation d'un composite verre époxy*. 2018.
- 40 AUSSEUR, D., *Poly (chlorure de vinyle)*. Techniques de l'Ingénieur, AM, 1999. 3: p. 325.
- 41 Chaabani, C., *Composites à fibres de carbone: récupération des fibres par solvolysse hydrothermale. Impact sur la qualité des fibres et valorisation de la phase liquide*. 2017, Ecole des Mines d'Albi-Carmaux.
- 42 Yagoub, M., *Evaluation De La Qualite Du Beton De Fibres In Situ Cas De Beton Autoplaçant Avec Des Fibres Mixtes*. 2009, Université Mohamed Khider-Biskra.
- 43 Mercader, C., *Filage continu de fibres de nanotubes de carbone: de la solidification aux propriétés finales*. 2010, Université Sciences et Technologies-Bordeaux I.
- 44 Speisser, E., *Etude sur les propriétés physico-mécaniques des tiges d'armature composites à base de fibres pour les structures en béton*. 1998: Université de Sherbrooke.

- 45 Do Thi, V.V.D.T., *Matériaux composites à fibres naturelles/polymère biodégradables ou non*. 2011, Université de Grenoble; Université des Sciences Naturelles d'Ho Chi Minh Ville
- 46 Mokhtari, A., *Influence des ajouts de fines minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcés de fibres végétales de palmier dattier*. 2006.
47. Louhi, A., *Intégrité des tours aérorefrigérantes en béton armé sous sollicitations extrêmes: Vent et séisme*. 2015, Lyon, INSA.
- 48 LAROUCI, B. and L. BENNACER, *CONTRIBUTION A L'ETUDE DU COMPORTEMENT MECANIQUE DE BETON DES FIBRES METALLIQUES*. 2017, جامعة أحمد دراية-ادرار.
49. Lagier, F.E., *Étude du comportement de chevauchements d'armatures en traction directe dans du béton fibré ultra performant*. 2015, École Polytechnique de Montréal.
- 50 Cérézo, V., *Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales: approche expérimentale et modélisation théorique*. Institut National des Sciences Appliquées, Lyon, 2005.
- 51 Khelifa, M.R., *Formulation et caractérisation d'éco-bétons renforcés aux fibres d'alfa pour des bâtiments verts et durables*. 2017, Cergy-Pontoise.
- 52 Stoz, B., *Aménagements commerciaux: se différencier pour réussir*. 2016: EdiPro.
53. Courard, L. and B. Bissonnette, *Réparation des ouvrages en béton armé-Partie 2: Compatibilité et performances*. Techniques de l'Ingénieur. Analyse Chimique et Caractérisation, 2016.
- 54 Roulet, C.-A., *Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments*. Vol. 22. 2004: PPUR presses polytechniques.
- 55 Benzaid, R. and N.-E. Chikh, *Contribution a l'etude des materiaux composites dans le renforcement et la reparation des elements structuraux lineaires en beton*. 2010.
- 56 Serifou, M., *Béton à base de recyclats: influence du type de recyclats et rôle de la formulation*. 2013, Bordeaux 1.
- 57 Blackburn, D., *Le développement d'un système constructif de plancher préfabriqué pour l'habitat urbain de Hanoi*. 2006, Université Laval.
- 58 Sirois-Cournoyer, A., *La nature du low-tech: un travail conceptuel et exploratoire*. 2018: Mémoire de recherche], Maîtrise, Montréal, HEC Montréal.
- 59 Soulama, S., *Caractérisation mécanique et thermique de biocomposites à matrice polystyrène recyclé renforcée par des coques de cotonnier (*Gossypium Hitsutum L.*) ou des particules de bois de Kéna (*Hibiscus Cannabinus L.*)*. 2014, Université de Technologie de Belfort-Montbeliard; Institut des sciences