

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

**Université Mouloud MAMMERY Tizi-Ouzou Faculté du Génie de la
Construction Département de génie civil**

Mémoire de fin d'études

Spécialité : Génie civil

Option : Structure



**Thème : Etude expérimentale d'un mortier
à base de dune, armé de textile de fibres de
verre avec ajout de fibres courtes.**

Réalisé par :

- M^{elle} Mazeghrane Djedjiga.
- M^{elle} Arab Yasmine.

Dirigé par :

M^{me} F. Bouzeboudja.

2022/2023

Remerciements

Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude envers Dieu le Tout-Puissant, qui nous a accordé la santé, le courage, la patience et la volonté nécessaires pour mener à bien ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à :

Nos PARENTS pour leur soutien constant tout au long de notre parcours académique.

*Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance envers notre promotrice Mme **BOUZEBODJA** pour sa disponibilité infaillible, ses orientations précieuses, son savoir exceptionnel, sa modestie exemplaire, et son soutien indéfectible tout au long de la réalisation de ce travail. Nous sommes également reconnaissants d'avoir bénéficié de tous les moyens qu'elle a mis à notre disposition, ce qui nous a permis de travailler dans les meilleures conditions.*

*Nous souhaitons également exprimer notre gratitude envers les responsables et le personnel du laboratoire de Génie Civil de l'Université Mouloud MAMMER de TIZI OUZOU, en particulier à Monsieur **BOUHERRAOUA Rachid** et Madame **FADILA**, pour leur précieuse contribution à la réalisation de la partie expérimentale de ce travail. Leur soutien et leur expertise ont grandement facilité nos démarches et nous les en remercions sincèrement.*

A l'ensemble des enseignants du département de Génie civil.

*Nos vifs remerciements aux membres du jury, la présidente **Mme F. KHELOUI** et l'examineur **Mr A. SI SALEM** pour l'intérêt qu'ils ont accordé à notre recherche en acceptant d'examiner ce travail et en contribuant à son enrichissement par leurs précieuses propositions. Leur expertise et leur engagement ont été essentiels pour améliorer la qualité de notre travail, et nous leur sommes profondément reconnaissants.*

A tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin dans la réalisation de ce projet de fin d'études.

MAZEGHRANE Djedjiga et ARAB Yasmine



Dédicace

En ce moment solennel où je conclus cette étape significative de ma vie, je dédie humblement ce mémoire :

A mes très chers parents, votre soutien inconditionnel, vos encouragements constants et votre confiance en moi ont été les fondements essentiels de ma réussite.

*A mes deux petites sœurs **Lydia** et **Thanina**.*

*A mes meilleurs amis depuis le lycée, **A. Wassila** et **A. Yahia**.*

*Aux nouvelles rencontres de cette dernière année, **M. Randa**, **T. Mariam**, **M. Brahim**, **I. Hamadoune**.*

*Bien sûr, à mon binôme, **A. Yasmine**.*

A cette personne qui a su m'encourager, me soutenir et me tenir la main quand il le fallait.



M. Djedjiga



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

La mémoire de ma mère chérie, mon très cher père,

*Ma grande sœur Sabrina et son mari et ma sœur
Kamila, mon frère Hanine et sa femme, sans oublier la
petite princesse Nelya et ma copine Aouam wassila.*

Toute ma famille.

*A mes amis: Mariam, Randa, Hamadoune, Brahim,
Soraya, Samir, Yacine, Juju, Abdou, Ghiles, Rabah,
Lylia, Abdou.*

*Bien sûr, à mon binôme, **M. Djedjiga***

A. Yasmine

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1 : Classification des sables en fonction de leur composition granulométrique.	9
Tableau I-2 : Composition chimique type de laitiers de haut fourneau	16
Tableau II-1 : Caractéristiques mécaniques des fibres de carbone	19
Tableau II-2 : Caractéristiques mécaniques des fibres de verre	21
Tableau III-1 : Caractéristiques mécaniques moyennes des résines époxy	33
Tableau IV-1 : Les caractéristiques physiques du ciment	37
Tableau IV-2 : Résistance du ciment	38
Tableau IV-3 : Analyse chimiques du ciment	38
Tableau IV.4 : Composition du Clinker.....	38
Tableau IV.5 : Valeurs du temps de prise en minute	38
Tableau IV-6 : Quelques caractéristiques des fibres de verre.....	41
Tableau IV-7 : Caractéristiques physiques et mécaniques de fibre polypropylène	42
Tableau IV-8 : Caractéristiques du super plastifiant	44
Tableau IV-9 : Analyse granulométrique par tamisage du sable de rivière (SR).....	46
Tableau IV-10 : Analyse granulométrique par tamisage du sable de dune Touggourt (SDT)	46
Tableau IV-11 : Module de finesse du sable.....	48
Tableau IV-12 : Les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable.	50
Tableau IV-13 : Composition d'un mortier pour 1m ³	51
Tableau IV-14 : Composition du mortier	52
Tableau V- 1 : Nomenclature des éprouvettes testées	58
Tableau V-2 : Vitesse de propagation longitudinale des ultrasons dans les cubes à différents âges	60
Tableau V-3 : Vitesses de propagation longitudinale des ultrasons à travers les plaques à 28J	61
Tableau V-4 : Vitesse de propagation des ondes ultrasonores à travers les plaques à 28J..	63
Tableau V-5 : Résultats de l'effet du nombre de couches sur la résistance à la flexion.....	66
Tableau V-6 : L'effet de fibres courtes pour deux couches de verre.....	68
Tableau V-7 : L'effet des fibres courtes pour 3 couches de verre.....	69
Tableau V-8 : L'effet des fibres courtes pour 4 couches de verre.....	71
Tableau V-9 : Résultats de la flexion pour les deux types de sables à 28J	72

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : Mortiers de ciment portland.....	4
Figure I-2 : Mortiers de chaux.....	5
Figure I-3 : Mortiers bâtards	5
Figure I-4 : Mortiers réfractaires	6
Figure I-5 : Mortiers gras	6
Figure I-6 : Mortiers maigres	7
Figure I-8 : Sable de rivière.....	10
Figure I-9 : Sable de mer.....	10
Figure I-10 : Sable de dune	10
Figure I-11 : La pouzzolane	15
Figure II-1 : Fibre de carbone	19
Figure II-2 : Fibre d’amiante.....	19
Figure II-3 : Coupe sur un ensemble de fils de verre de 10 à 12 microns de diamètre unitaire.....	20
Figure II-4 : Fibre de verre	20
Figure II-5 : Fibre de polypropylène	21
Figure II-6 : Fibre d’aramide ou kevlar	22
Figure II-7 : Fibre d’acier	23
Figure II-8 : Comportement du mortier avec et sans fibres.....	24
Figure III-1 : Visualisation des filaments d’un fil de textile en robé dans une matrice cimentaire Kruger	27
Figure III-2 : Technique de moulage au contact.....	28
Figure III-3 : Schéma procédé de pultrusion utilisé par Promis	29
Figure III-4 : Unité de compactage mécanique mise en place par WASTIELS.....	30
Figure III-5 : Procédé de pompage et injection mis en place par BROCKMANE.....	30
Figure III-6 : Direction du textile tricoté et comportement du composite TRC	33
Figure III-7 : Renforcement avec bandes CFRP	34
Figure III-8 : Renforcer les structures béton avec des textiles	34
Figure IV-1 : le ciment utilisé (CEM II/A 42.5R)	39
Figure IV-2 : Sable de rivière tamisé après avoir été lavé et séché l’étuve	39
Figure IV-3 : Sable du dune de Tougourt après avoir lavé et séché et tamisé.....	40
Figure IV-4 : L’eau de robinet	40

Figure IV-5 : Tissu de fibre de verre.....	41
Figure IV-6 : Fibres courtes (FPP).....	42
Figure IV-7 : Laitier haut fourneau fournit par la société GRANITEX (Algérie)	43
Figure IV-8 : Super plastifiant (GRANITEX).....	43
Figure IV-9 : La machine à tamiser	45
Figure IV-10 : Courbe granulométrique pour les deux sables.....	47
Figure IV-11 : Essai d'équivalent de sable.....	49
Figure IV-12 : Essai d'équivalent de sable.....	49
Figure IV.13 : Moules utilisés pour la confection des éprouvettes.....	51
Figure IV-14 : malaxeur électrique utilisé dans la fabrication du mortier	52
Figure IV-15 : préparation des mélanges	53
Figure IV-16 : Tissu de verre découpé (10x40).	54
Figure IV-17 : Coulage des éprouvettes.....	54
Figure IV-18 : Conservation des éprouvettes dans l'eau	55
Figure IV-19 : Machine de compression AUTOTEST	56
Figure IV-20 : Machine IBERTEST	57
Figure V-1 : Mesure en transmission directe.....	59
Figure V-2 : Essai ultrason sur les éprouvettes au niveau du Laboratoire de Béton-Génie civil UMMTO.....	59
Figure V-3 : Evolution de la vitesse de propagation en fonction de l'âge pour les différentes éprouvettes.....	60
Figure V-4 : Vitesse de propagation des ondes ultrasonores à travers les plaques à 28J ...	61
Figure V-5 : Presse hydraulique IBERTEST de l'essai de compression au niveau du laboratoire Béton-UMMTO	63
Figure V-6 : Eprouvette cubiques après essai de compression à différents âges 7, 14 et 28J.	63
Figure V-7 : Résistance à la compression des mortiers à différents âges.....	64
Figure V-8 : Courbe de résistance à la compression des éprouvettes avec et sans Fibres courtes à différents âges	65
Figure V-9 : L'essai mécanique de flexion quatre points au niveau du laboratoire de béton [UMMTO]	66
Figure V-10 : Flèche max en flexion à 28J.....	67
Figure V-11 : Force max en flexion à 28J	67
Figure V-12 : Radar des résistances à la compression à 28J	67
Figure V-13 : Flèche max en flexion à 28J.....	68

Figure V-14 : Force max en flexion à 28J	68
Figure V-15 : Radar des contraintes sous l'effet de fibres courtes sur 2 couches de verre.	69
Figure V-16 : Flèche max en flexion à 28J	70
Figure V-17 : Force max en flexion à 28J	70
Figure V-18 : Radar des contraintes sous l'effet de fibres courtes sur 3 couches de verre.	70
Figure V-19 : Flèche max en flexion à 28J.....	71
Figure V-20 : Force max en flexion à 28J	71
Figure V-21 : Radar des contraintes sous l'effet de fibres courtes sur 4 couches de verre..	71
Figure V-22 : Flèche max en flexion à 28J.....	73
Figure V-23 : Force max en flexion à 28J	73
Figure V-24 : Radar des contraintes à 28J.....	73
Figure V-25 : Mode de rupture de l'éprouvette témoin (SD)	74
Figure V-26 : Mode de rupture de l'éprouvette témoin (SR)	74
Figure V-27 : Mode de rupture de plaques renforcées par différentes couches de tissus de verre avec différents pourcentages de fibres courtes	75

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

PARTIE I : BIBLIOGRAPHIE

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES MORTIERS

I. Introduction	4
I.1. Mortiers.....	4
I.1.1. Types de mortiers.....	4
I.1.2. Les différents constituant du mortier	7
I.1.3. Caractéristiques des mortiers	8
I.2. Sable.....	9
I.2.1. Définition	9
I.2.2. Les différents types de sables selon leurs provenances	10
I.3. Caractéristique du sable	11
I.4. Utilisation des sables	11
I.5. Sable de dune	11
I.5.1. Utilisation de sable de dune.....	11
I.5.2. Mécanismes de formation des dunes.....	12
I.5.3. Caractéristique de sable de dune	13
I.5.4. Propriétés	14
I.6. Les ajouts minéraux	14
Conclusion	16

CHAPITRE II : TYPES DE TEXTILES ET FIBRES UTILISEES DANS LA CONSTRUCTION.

II.1. Introduction	17
II.2. Les fibres courtes.....	17
II.3. Les différents types de fibres	17
II.3.1. Fibres minérales	18
II.3.2. Fibres végétales	18
II.3.3. Fibres synthétiques	18

II.3.4. Fibres de carbone	18
II.3.5. Fibre d'amiante	19
II.3.6. Fibre de verre	20
II.3.7. Fibres de polypropylène.....	21
II.3.8. Les fibres aramides (Kevlar)	22
II.3.9. Les fibres d'acier	23
II.4. Rôles des fibres dans le béton	23
II.5. Les textiles	24
II.6. Technologie des textiles	25

CHAPITRE III : DEFINITION ET COMPOSITION DES TRC

III. Introduction.....	26
III.1. Définition	26
III.2. Utilisation des TRC	26
III.3. Mécanique des TRC	27
III.4. Procédés de production des TRC	28
.....	28
III.4.1. Procédés de mise en œuvre in-situ	28
III.4.2. Procédé de mise en œuvre par préfabrication	29
III.5. Paramètres influençant le comportement en flexion du composite TRC	31
III.6. Techniques de renforcement des structures.....	33
1. Renforcement par la composite PRF	33
2. Renforcement par la composite TRC	34
III.7. Les fonctions ou performances qui motivent l'usage des matériaux textiles dans la construction	35
III.8. REVUS DE QUELQUES TRAVAUX ANTÉRIEURS SUR LES TRC.....	35
Conclusion	36

PARTIE II : EXPERIMENTALE

CHAPITRE IV : MATERIAUX ET PROCEDURES EXPERIMENTALES.

IV.1. Introduction	37
--------------------------	----

IV.2. Normes	37
IV.2.1. Préparation des matériaux	37
IV.2.2. Normes utilisées à l'état durci	37
IV.3. Matériaux utilisés	37
IV.3.1. Le ciment	37
IV.3.2. Le sable	39
IV.3.3. L'eau de gâchage	40
IV.3.4. Textiles	40
IV.3.5. Laitiers haut fourneau	42
IV.3.6. Les adjuvants	43
IV.4. Caractérisation des mortiers	44
IV.4.1. Essais sur le sable	44
IV.4.1.1. Analyse granulométrique	44
IV.4.1.1.1. Mode opératoire	44
IV.4.1.2. Module de finesse	47
IV.4.4. Equivalent de sable (E.S)	48
IV.4.4.1. Mode opératoire	48
IV.4.5. Equivalent de sable visuel (ESV)	49
IV.5. Formulation des mortiers	51
IV.5.1. Composition d'un mortier témoin	51
IV.5.2. Le malaxage	52
IV.5.3. Préparation des éprouvettes	54
IV.6. Les propriétés mécaniques	55
IV.6.1. Essai sur les éprouvettes cubiques	55
IV.6.2 Essai sur les éprouvettes prismatiques	56
IV.7. Conclusion	57

CHAPITRE V : RESULTATS ET DISCUSSION.

V.1. Introduction	58
V.2. Vitesse de propagation d'ondes ultrasonores	59
V.2.1. Résultats des essais d'auscultation sonore (ultra-son)	59
V.2.2. Interprétation des résultats et discussion	62
V.3.1. Essai de compression à différents âges (ND P 18-406)	62
V.4.1. Essai de flexion quatre points (ND P 18-407)	65

V.4.2. Résultats et discussions	66
V.4.2.1. Effet du nombre de couches de textile de verre	66
V.4.2.2. Effet de l'utilisation des fibres courtes.....	68
1. Effet de variation du pourcentage de fibres courtes.....	68
1.1- Deux couches de textile.....	68
1.2- Trois couches de textile	69
1.3- Quatre couches de textile	71
1.3.1- Effet du type de sable	72
V.5. Mode de rupture des éprouvettes	74
V.6. Conclusion	76
CONCLUSION GENERALE	77

Introduction Générale

Les nouvelles techniques utilisant des matériaux composites sont de plus en plus étudiées et adoptées dans la construction. Ces matériaux offrent des avantages significatifs par rapport aux matériaux traditionnels, tels que leur légèreté, leur résistance mécanique et à la corrosion, leur liberté de forme et leur durée de vie prolongée. Les textiles de fibres de verre, d'aramide ou de carbone, qui présentent des propriétés mécaniques exceptionnelles, sont largement utilisés dans le génie civil. Leurs excellentes caractéristiques mécaniques et physiques offrent aux ingénieurs une flexibilité dans la conception des structures.

Dans le domaine du génie civil, les matériaux composites sont largement utilisés pour le renforcement interne ou externe des éléments de structures. Le renforcement externe est principalement utilisé lors de la réhabilitation des structures existantes afin d'améliorer leur résistance. Les TRC, sont utilisés sous forme de tissus appliqués par moulage au contact. Les fibres peuvent être orientées dans différentes directions pour optimiser leur utilisation. Les TRC sont utilisés pour renforcer divers éléments structurels tels que les dalles, les poutres ou les colonnes lors des travaux de réadaptation. Grâce à leur haute résistance à la traction et leur résistance à la corrosion, les TRC permettent d'appliquer des couches beaucoup plus minces que le béton armé, réduisant ainsi le poids total de la structure réhabilitée.

Le renforcement interne des structures à l'aide de matériaux composites tels que le TRC présente de nombreux avantages. Ce concept innovant utilise des fibres résistantes aux alcalis, telles que le verre AR, le carbone et l'aramide, pour remplacer l'acier dans la construction de parois fines et de structures complexes. Le TRC offre des propriétés améliorées, telles que la résistance à la corrosion, permettant ainsi de concevoir des structures plus minces et plus légères par rapport aux méthodes traditionnelles utilisant le béton armé. Ces avantages offrent de nouvelles possibilités de conception dans le domaine de la construction, améliorant ainsi l'efficacité et la durabilité des nouvelles constructions.

Le sable de dune est un matériau abondant en Algérie, pourtant il est largement sous-exploité malgré son potentiel. Les vastes dunes offrent une source abondante de sable fin de haute qualité, qui pourrait être utilisé dans le secteur de la construction. Cependant, jusqu'à présent, l'exploitation de cette ressource n'a pas été pleinement réalisée, ce qui limite les opportunités de développement économique et d'emploi dans le pays. Il est crucial de mettre en place des stratégies efficaces pour une utilisation durable du sable de dune en préservant les écosystèmes désertiques fragiles.

Dans le contexte du développement durable et de la recherche de substituts aux matériaux coûteux et surexploités tel que le sable de rivière, nous avons exploré l'utilisation du sable de dune et le sable de rivière dans la matrice des TRC. Notre étude expérimentale s'est focalisée sur le comportement de ce matériau sous sollicitations de flexion quatre points.

Objectifs de l'étude :

Cette étude a pour but d'effectuer une caractérisation expérimentale de la résistance mécanique, tant en compression qu'en flexion quatre points. Pour ce faire, nous avons abordé quatre aspects principaux lors de nos expérimentations :

- L'effet du type de sable utilisé sur la résistance à la compression et la vitesse des ondes ultrasonores aux âges de 7, 14 et 28 J.
- L'effet de l'incorporation des fibres courtes dans la matrice sur la résistance à la compression et à la flexion.
- L'effet de la variation du nombre de couches de textile de fibres de verre sur le comportement à la flexion quatre points du TRC.
- Comparaison entre l'utilisation du sable de dune et le sable de rivière dans le mortier du TRC.

Ce travail est organisé en deux parties principales. La première partie constituée d'une synthèse bibliographique sur les mortiers, les textiles et fibres courtes ainsi que les TRC. La seconde partie présente le travail expérimental réalisé, les résultats obtenus et leurs interprétations. La structure de notre travail est la suivante :

Le chapitre I : présente une introduction générale sur les mortiers et les sables, en abordant leurs définitions, compositions, différents types, caractéristiques, ainsi que le comportement d'un mortier. Ces informations sont essentielles pour comprendre l'utilisation et les propriétés de ces matériaux dans la construction et l'industrie du bâtiment.

Le chapitre II : se concentre sur les types de fibres et les textiles utilisés dans le domaine de la construction. Il aborde les différentes fibres utilisées. Chaque type de fibre a ses propres caractéristiques mécaniques et physiques. Ces textiles sont conçus pour répondre à des exigences spécifiques dans la construction.

Chapitre III : Est consacré à la définition et composition des TRC, leurs utilisations dans la réhabilitation des structures et la construction de nouvelles structures de géométries particulières, ainsi que les paramètres influençant leur comportement mécanique.

Chapitre IV : Matériaux et procédure expérimentale, dans lequel nous abordons les techniques expérimentales utilisées et la caractérisation des matériaux, la formulation des mortiers et la présentation des essais réalisés.

Chapitre V : présente les résultats obtenus pour les différentes variantes testées en compression à différents âges et en flexion quatre points. À 28 jours ; ainsi que leurs discussions et interprétations et se termine par les modes de rupture et conclusion du chapitre.

En fin, une conclusion générale dans laquelle nous allons récapituler les principaux résultats obtenus au cours de cette étude et mettre en évidence les implications pratiques qui en découlent.

Introduction

Le mortier est un matériau de construction incontournable et largement utilisé dans une variété de travaux. Il existe différents types de mortiers, tels que ceux à base de ciment, de chaux ou de résine, qui ont des utilisations spécifiques. Le mortier est utilisé pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité des structures et combler les espaces entre les blocs de construction. En règle générale, il est composé d'un mélange de sable, d'un liant (ciment ou chaux) et d'eau, dans des proportions spécifiques qui varient en fonction de l'application et des additifs utilisés. Dans ce chapitre, nous examinerons les caractéristiques principales et les aspects généraux du mortier, tels que sa structure et sa formulation, en vérifiant sa composition. Nous présenterons également les différents types de mortiers disponibles, et quelques généralités sur le sable.

I.1. Mortiers

I.1.1. Types de mortiers

Parmi les divers types de mortiers, on peut mentionner :

a. Les mortiers de ciments portland

Le ciment Portland est utilisé dans la composition du mortier de maçonnerie pour conférer une résistance mécanique, en particulier une résistance initiale importante. Cela est crucial lors de la construction à grande vitesse, où il est nécessaire d'avoir un mur capable de supporter une charge significative dès le lendemain de sa construction. Cependant, le mortier à base de ciment Portland présente certaines limitations. Il manque de plasticité, ce qui signifie qu'il est moins malléable et facile à travailler. De plus, il a une capacité de rétention d'eau relativement faible, ce qui peut rendre son utilisation plus difficile.

Le rapport typique entre la quantité de ciment et de sable dans le mortier est de 1 :3 en volume, ce qui signifie une proportion plus élevée de sable par rapport au ciment. Le rapport eau-ciment est généralement d'environ 0,35. De plus, l'ajout d'une quantité appropriée de ciment confère au mortier une quasi-imperméabilité à l'eau. [6]



Figure I-1 : mortiers de ciment portland. [6]

b. Les mortiers de chaux

La chaux est un ingrédient traditionnel dans la composition du mortier. Elle présente une excellente plasticité et une rétention d'eau élevée, mais une faible résistance mécanique et un durcissement lent. Après l'extinction de la chaux vive, elle devient un produit de haute qualité qui est gras. Cependant, le processus de vieillissement nécessite beaucoup de temps et de travail, et la chaux grasse peut être salissante. Par conséquent, l'utilisation de chaux hydratée sèche est plus pratique.

Le mortier de chaux durcit lentement par carbonatation, un processus qui est stimulé par la présence de dioxyde de carbone dans l'air. Ce processus peut être considérablement ralenti par temps froid et humide. [7]



Figure I-2 : mortiers de chaux. [7]

c. Les mortiers bâtards

Les mortiers à base d'un mélange de ciment et de chaux sont couramment utilisés. Habituellement, on utilise des quantités égales de chaux et de ciment (50/50). Cependant, dans certains cas, on peut ajuster les proportions de l'un ou l'autre selon l'application spécifique et la qualité recherchée. [4]



Figure I-3 : mortiers bâtards. [3]

d. Les mortiers réfractaires

Il est composé de ciment fondu, un matériau qui présente une résistance élevée aux températures élevées. Ce type de mortier est spécifiquement utilisé dans la construction de cheminées et de barbecues. [4]

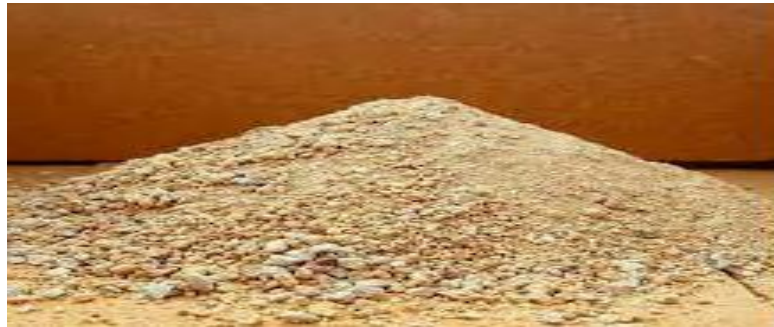


Figure I-4 : mortiers réfractaires. [4]

e. Les mortiers gras

Le mortier gras, qui présente un dosage plus élevé en ciment (1/3 de liant pour 2/3 de sable), possède une structure très dense qui limite considérablement la perméabilité à l'eau. Il est pratiquement imperméable. Ce type de mortier est couramment utilisé pour réaliser des joints et des enduits. [3]



Figure I-5 : Mortiers gras. [3]

f. Les mortiers maigres

Le mortier maigre, qui présente un dosage moins élevé en ciment (1/4 de liant pour 3/4 de sable), est plus facile à manipuler. Cependant, il est légèrement perméable. Ce type de mortier est utilisé pour la maçonnerie d'éléments tels que les agglos et la pierre. [4]



Figure I-6 : mortiers maigres. [4]

I.1.2. Les différents constituant du mortier

Les mortiers sont en fait des micros - bétons et leurs principes de compositions sont les mêmes. Ils sont composés de ciment, de sable, d'eau et éventuellement d'adjuvants.

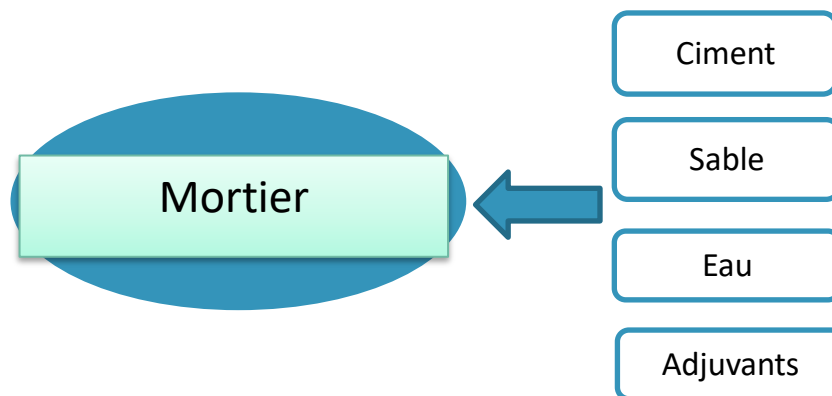


Figure I-7 : Composition du mortier.

1. Ciment

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire capable de faire prise dans l'eau. Il se présente sous l'aspect d'une poudre très fine, mélangée avec de l'eau, forme d'une pâte faisant prise et durcissant progressivement dans le temps. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium, la proportion de chaux et de silice réactive devant être au moins de 50% de la masse du ciment. [5]

2. Sable

Le sable, est une roche sédimentaire meuble, constitué de petites particules provenant de la désagrégation d'autres roches dont la dimension est comprise entre 0,063 et 5 mm Ils proviennent de sources : Naturels et roulés : Mer, Oued, Sahara de nature siliceuse ou silico-calcaire.

Ce cas représente la quasi-totalité des constructions.

- Spéciaux (lourds, réfractaires, légers) : Sable de laitier, Sable d'oxydes de fer.
- Industrielle : issu du concassage des granulats de carrière, et plus rarement du recyclage des déchets de construction. [5]

3. L'eau

Le choix de l'eau de gâchage a aussi une grande importance car elle remplit un double rôle : elle sert à hydrater le ciment et ce qui est plus important, elle contribue à l'ouvrabilité. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale. L'eau devrait être propre et ne pas contenir de produits nocifs tels que des acides, des alcalis ou des matières organiques. Lorsqu'elle est potable, on peut l'utiliser [5].

4. Les adjuvants

Les adjuvants sont des substances ajoutées en petites quantités aux mélanges de mortier ou de béton pour améliorer leurs propriétés. Ils peuvent modifier le temps de prise, la plasticité, la résistance, l'adhérence, la durabilité ou la résistance aux intempéries du matériau. Les adjuvants les plus courants sont les plastifiants, les super plastifiants, les accélérateurs, les retardateurs, les agents de rétention d'eau et les agents de renforcement. Leur utilisation permet d'optimiser les performances du mortier ou du béton selon les besoins spécifiques de chaque projet de construction.

I.1.3. Caractéristiques des mortiers

D'après leurs propriétés, les mortiers se subdivisent en deux catégories : les mortiers plastiques et les mortiers durcis.

1. Mortier à l'état frais « état plastique »

La propriété la plus importante du mortier plastique est son ouvrabilité. On peut la définir comme la propriété du mortier à s'étaler à la truelle pour colmater toutes les fentes et fissures de l'élément de maçonnerie. En réalité, c'est une combinaison de plusieurs propriétés, comprenant la plasticité, la compacité et la cohérence. Bien que la classe des sables et la proportion des matériaux jouent un rôle important, c'est la teneur en eau qui détermine les valeurs finales de l'ouvrabilité du mortier. [3]

2. Le mortier durci

Possède un certain nombre de propriétés de résistance mécanique d'importance majeure. La solidité du rejointoiment entre le mortier et l'élément est très importante, ainsi que la bonne ouvrabilité et un bon pouvoir de rétention d'eau donnent au rejointoiment une force maximale et par le fait même ces qualités sont plus importantes que la résistance du mortier à la compression. La résistance à la flexion est également importante, parce qu'elle détermine la capacité d'un mortier à résister à la fissuration. Les mortiers devraient toujours avoir moins de résistance que les éléments de maçonnerie pour que les fissures se produisent dans les joints, où elles peuvent être facilement colmatées. Les résistances du mortier sont mesurées sur des éprouvettes fabriquées à partir des moules normalisées de différentes dimensions et matériaux (plastique ou, métal). [3]

I.2. Sable

I.2.1. Définition

Le sable est une matière solide granulaire constituée de petites particules provenant de la désagrégation de matériaux d'origine minérale. C'est un élément essentiel entrant dans la composition du béton. Il est généralement issu de la dégradation des roches, son utilisation permet d'assurer une continuité granulaire nécessaire entre le ciment et le gravier pour une meilleure cohésion du béton. [9]

Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros.

- Sable fin : composé de grains de 0.08 à 0.5 mm
- Sable moyen : composé de grains de 0.5 à 2 mm
- Sable grossier : composé de grains de 2 à 5 mm

Tableau I-1 : classification des sables en fonction de leur composition granulométrique. [12]

Types de sables	Dimensions maximum des grains en (mm)
Fines	0.1
Sable fin	0.5
Sable moyen	2
Sable gros	5

I.2.2. Les différents types de sables selon leurs provenances

a. Sable de rivière

Il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons. [10]



Figure I-8 : Sable de rivière.

b. Sable de mer

Il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel. [10]



Figure I-9 : Sable de mer. [10]

c. Sable de dune

C'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne. Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara. [11]



Figure I-10 : Sable de dune. [11]

I.3. Caractéristique du sable :

Le sable se caractérise par sa capacité à s'écouler. Plus les grains sont ronds, plus le sable s'écoule facilement. Le sable artificiel, obtenu par découpage ou broyage mécanique de roches, est principalement composé de grains aux aspérités marquées. [4].

I.4. Utilisation des sables :

La principale utilisation du sable concerne bien entendu la construction : le béton, le mortier, le remblai mais on l'utilise également dans de nombreux domaines tels que le sablage, le drainage de terrains de sport, les abrasifs. Les sables siliceux, sont notamment une des principales matières premières du verre. [4]

I.5. Sable de dune :

Le sable de dune est un matériau propre avec un équivalent de sable supérieur de 80%, à granulométrie étalée avec un module de finesse admissible, sa composition est pauvre en matières organiques et autres matières indésirables telles que les sulfates, sulfures ou carbonates.

Le sable de dune est un matériau qui se présente sous forme tamisée dans la nature et par conséquent ne nécessite aucun tamisage, Plus de 80% de la composition chimique du sable de dune est la silice (SiO_2).

Les dunes se forment dans des zones où le sable est abondant et non fixé par la végétation (désert, plage, ...). Le sable est érodé et pris en charge par le vent. Il est transporté aux ras du sol par saltation, puis s'accumule quand la compétence du vent chute. Une dune peut se déplacer par érosion du versant au vent et accumulation sur le versant opposé. [8]

I.5.1. Utilisation de sable de dune :

Les sables sont un élément essentiel du processus sédimentaire et représentent une ressource très importante du point de vue économique : remblais, granulats pour béton, matériaux de construction, sables siliceux pour l'industrie. Ces derniers (appelés autrefois sables industriels) constituent l'essentiel de la matière première de l'industrie du verre, des moules, des noyaux de fonderie ; ils entrent aussi dans la fabrication des céramiques et des mortiers spéciaux. Le sable est aussi le milieu naturel où s'accumulent les minéraux lourds alluvionnaires ; ces concentrations minéralisées sableuses sont dénommées placers (un mot espagnol) et l'on y extrait de l'or, des diamants, de la cassitérite (minerai d'étain), de la magnétite (oxyde de fer), de l'ilménite (oxyde de titane et de fer), etc. Les placers d'ilménite, ou « sables noirs », sont importants économiquement pour la fabrication des pigments de la

peinture blanche (gisements côtiers en Australie) et comme source du titane-métal. Les sables jouent également un grand rôle comme réservoirs potentiels pour les nappes d'eau (aquifères) ou les hydrocarbures. Il importe que l'exploitation du sable, souvent anarchique, soit réglementée pour éviter de perturber de fragiles équilibres naturels : érosion des plages dont l'alimentation naturelle en sable a été coupée ; destruction à terre de la nappe phréatique, etc. [8]

I.5.2. Mécanismes de formation des dunes

Les dunes se forment dans des régions où il y a une grande quantité de sable et où la végétation ne le retient pas (comme les déserts, les plages ou les lits fluviaux asséchés). Le sable est érodé et soulevé par le vent (processus appelé déflation). Il est ensuite transporté près du sol par des sauts successifs (saltation) et s'accumule lorsque la force du vent diminue (sur la pente sous le vent). Les dunes se déplacent par érosion du côté exposé au vent et accumulation de sable sur le côté opposé. [8]

1. Les avant-dunes

Qui sont des bourrelets plus ou moins fixés par la végétation (oyats par exemples), parallèles au trait de côte et solidaire de la plage, c'est à dire échangeant du sable avec elle, dans un même système sédimentaire. À ne pas confondre avec une ancienne arrière-dune en cours d'érosion, ou avec une dune formée par du sable venant de terre sur un secteur ou une avant-dune active ne pourrait pas se former. En Espagne et en Tunisie, ces avant-dunes sont systématiquement considérées comme faisant partie du domaine public maritime, ce qui facilite leur protection. L'avant-dune se forme à partir de fixation du sable en haut de plage, par des plantes pionnières psammophiles.

2. Les falaises dunaires

La falaise dunaire n'est pas une vraie dune mais un profil résultant de l'érosion marine d'une dune ancienne fixée par une pelouse ou un boisement qui ont été à l'origine de la formation d'une couche d'humus ou de sol sableux.

3. Les dunes perchées

Qui apparaissent au sommet d'une falaise vive ; alimentée en sable par le vent à partir de l'estran, voire à partir du profil de pente, quand il s'agit d'une falaise dunaire.

4. Les cordons dunaires artificiels

Sont construits de main d'homme, généralement comme élément de protection contre la mer ou d'une zone cultivée et/ou construite. Ils nécessitent un entretien permanent, sans lequel ils se désintègrent en quelques décennies. Certains cordons sont semi-naturels (ex :

avant-dunes plus ou moins dégradés rectifiées par des engins et fixées par des oyats à Sangatte dans le nord de la France.). [8]

I.5.3. Caractéristique de sable de dune

Voici quelques caractéristiques du sable de dune :

1- Granulométrie

Le sable de dune est généralement composé de grains fins et moyens, avec des tailles de particules allant de 0,0625 mm (63 micromètres) à 2 mm. Les grains peuvent être arrondis ou anguleux en fonction de l'érosion et de la composition minérale locale.

2- Couleur

La couleur du sable de dune dépend de sa composition minérale. Il peut varier du blanc pur au beige, au jaune ou même à des teintes plus sombres en fonction des minéraux présents, tels que le quartz, le feldspath, le mica et les oxydes de fer.

3- Texture

Le sable de dune a généralement une texture lâche et légère, ce qui le rend facilement transportable par le vent ou l'eau. Il peut être doux au toucher et glisser facilement entre les doigts.

4- Formation de dunes

Le sable de dune est souvent associé à la formation de dunes en raison de sa mobilité. Les grains de sable sont déplacés par le vent et s'accumulent pour former des dunes caractéristiques, avec des pentes douces du côté du vent et des pentes plus abruptes du côté à l'abri du vent.

5- Propriétés thermiques

Le sable de dune a une faible conductivité thermique, ce qui signifie qu'il ne transmet pas bien la chaleur. Cela permet au sable de dune de rester relativement frais pendant la journée et de se réchauffer lentement la nuit.

6- Faible teneur en matière organique

Le sable de dune a généralement une faible teneur en matière organique en raison des conditions arides dans lesquelles il se forme. Cependant, il peut contenir des traces de matière organique provenant de la végétation environnante.

7- Mobilité

Le sable de dune est très mobile en raison de sa granulométrie et de sa texture lâche. Il peut être facilement transporté par le vent, ce qui contribue à la formation et à la migration des dunes. [8]

I.5.4. Propriétés

Le sable possède des propriétés intéressantes qui le rendent utile dans divers domaines. Il forme naturellement des pentes stables jusqu'à un angle d'environ 30 degrés. Au-delà de cet angle, il s'écoule en avalanches successives pour retrouver cette pente stable. Cette caractéristique peut être exploitée pour créer des formes parfaites en étudiant l'écoulement du sable sur des surfaces de formes différentes. Par exemple, en versant du sable sur une base carrée, on obtient une pyramide parfaitement formée avec des pentes de 30 degrés.

Le sable a de nombreuses utilisations pratiques. Il est utilisé dans la fabrication du béton et comme matière première pour la production du verre. Il peut également servir de filtre pour les liquides. En raison de sa facilité de manipulation, il est souvent utilisé pour le transport de matériaux divers, que ce soit comme lestage ou pour la protection (par exemple, les sacs de sable utilisés pour se protéger contre les éclats d'explosion ou les balles).

Le sable est également utilisé comme abrasif dans les usines, permettant de nettoyer les pièces métalliques. Dans l'industrie touristique, il joue un rôle important sur les plages et les dunes, tout en étant un élément essentiel dans la protection des côtes. [8]

I.6. Les ajouts minéraux

I.6.1. Définition

Les additions minérales sont des matériaux finement broyés et souvent utilisés comme compléments au ciment dans la fabrication du béton. Elles constituent une solution durable et efficace pour améliorer les propriétés des matériaux à base de ciment. Elles sont généralement issues de sous-produits industriels.

I.6.2. Les ajouts minéraux actifs

Les plus couramment utilisés :

a. La pouzzolane

En tant que matériau volcanique naturel, permet de réduire la production de clinker, peut être utilisée comme agrégat dans le mortier, tout en améliorant la maniabilité du mortier, réduit sa rétractabilité et contribue à accroître sa durabilité.



Figure I-11 : La pouzzolane.

b. Les cendres volantes

Les cendres volantes sont des particules fines qui sont produites lors de la combustion du charbon dans les centrales thermiques au charbon. Ce sont des sous-produits qui sont récupérés à partir des gaz de combustion et qui sont souvent utilisés comme ajout cimentaire dans la fabrication du béton. Les cendres volantes sont riches en silice, alumine et oxydes de fer, ce qui leur confère des propriétés pouzzolaniques. Lorsqu'elles sont mélangées avec du ciment, les cendres volantes réagissent chimiquement et forment des produits d'hydratation supplémentaires, ce qui améliore la résistance, la durabilité et la plasticité du béton. De plus, les cendres volantes permettent de réduire la quantité de ciment nécessaire, ce qui peut contribuer à des avantages économiques et environnementaux en réduisant l'empreinte carbone de la construction.

c. Laitier de haut fourneau

Le laitier de haut fourneau est un sous-produit solide de la production de fonte dans les hauts-fourneaux de l'industrie sidérurgique. Il est utilisé comme ajout cimentaire dans le béton. Le laitier de haut fourneau réagit chimiquement avec le ciment Portland, améliorant ainsi les propriétés du béton, telles que la résistance, la durabilité et la résistance à la corrosion. Il réduit également la chaleur d'hydratation du béton et permet de réduire la quantité de ciment nécessaire. Le laitier de haut fourneau est donc un matériau recyclé et durable qui améliore les performances du béton tout en contribuant à une approche plus respectueuse de l'environnement.

La composition chimique des laitiers est généralement stable et constitue un aspect important pour les métallurgistes.

Tableau I-2 : Composition chimique type de laitiers de haut fourneau. [13]

Oxydes (%)	Laitier français	Laitier Nord USA	Laitier Algérien
SiO ₂	29 à 36	33 à 42	38 à 42
Al ₂ O ₃	13 à 19	10 à 16	8 à 12
CaO	40 à 43	36 à 45	48 à 52
Fe ₂ O ₃	4	0.3 à 20	2.0
MgO	6	3 à 12	4.7

d. La fumée de silice

Elle est largement utilisée comme ajout cimentaire dans l'industrie du béton, présente des propriétés pouzzolaniques, réagissant chimiquement avec le ciment pour former des composés hydratés supplémentaires. Cela améliore la résistance, la durabilité et la résistance aux agressions du béton. De plus, elle réduit la perméabilité du béton, le rendant plus résistant à l'eau et aux substances corrosives. La fumée de silice est couramment utilisée dans les bétons à haute résistance, à faible perméabilité et durables, réduisant également la quantité de ciment nécessaire.

Conclusion

Dans cette section, nous avons abordé les divers types de mortiers, qui se distinguent par leur composition et leur consistance, et qui sont constitués de ciment, de sable, d'eau et d'adjuvants. Nous avons examiné les caractéristiques mécaniques des mortiers, notamment leur résistance en compression et en flexion, ainsi que leur comportement en termes de retrait, de gonflement et de temps de prise. Nous avons également abordé la question des sables, en particulier le sable de dune et ses caractéristiques.

II.1. Introduction

Beaucoup de recherches ont été faites depuis longtemps de façon à obtenir le renforcement des matériaux de construction fragiles à l'aide de fibres de différentes natures, qu'actuellement on peut citer par exemple, le ciment renforcé de fibres d'amiantes, etc. En rappelant que l'état fragile des matériaux correspond à une faible résistance à la traction, une faible plasticité en compression ou en traction. Des fibres de toute nature ont été expérimentées dans le renforcement des matériaux. L'utilisation de fibres permet de renforcer la structure. [3]

En général, les fibres permettent une meilleure répartition des contraintes mécaniques. Les textiles sont de plus en plus présents dans la construction, où ils rivalisent ou complètent les matériaux traditionnels tels que l'acier, grâce à leurs mécaniques, leur résilience à la corrosion, leur légèreté.

Le chanvre, par exemple, sert à fabriquer des matériaux de construction deux fois plus résistants que le bois et le ciment. Ces nouveaux textiles servent déjà à compléter ou à remplacer certains matériaux traditionnels dans les constructions :

Pare-air, pare-vapeur, pare-soleil, renfort de membranes bitumineuses, ...etc. [4]

II.2. Les fibres courtes

Une fibre peut être décrite comme un élément irrégulier, de forme essentiellement cylindrique, dont les propriétés varient. Elle présente des diamètres et des longueurs variables. Les fibres sont réparties de manière aléatoire ou peuvent suivre une orientation préférentielle au sein de la matrice.

Les fibres jouent généralement un rôle essentiel dans la composition fondamentale des textiles. De plus, on distingue les fibres de longueur réduite, également appelées fibres courtes, des fibres de grande longueur ou filaments continus.

Les fibres jouent un rôle crucial dans les matériaux composites en apportant certaines propriétés, telles que la modification du comportement à la rupture. En présence de fibres, le matériau devient plus ductile et peut subir un allongement plus important avant de se rompre. [5]

II.3. Les différents types de fibres

Les fibres sont catégorisées en fonction de leur source (naturelle, synthétique ou artificielle), de leur structure (droite, ondulée, aiguille, etc.), de leur taille (macro ou microfibrés) et de leurs propriétés mécaniques. Les fibres les plus couramment utilisées sont les suivantes :

II.3.1. Fibres minérales

Elles englobent divers types de fibres telles que l'amiante, l'alumine, etc., et sont largement utilisées dans de nombreuses applications traditionnelles. Les fibres d'amiante, autrefois utilisées pour l'isolation et la résistance au feu, se sont avérées être cancérogènes. [4]

II.3.2. Fibres végétales

La cellulose est la principale fibre végétale, caractérisée par sa résistance aux alcalis. Les fibres végétales présentent également une résistance à la plupart des acides organiques, mais elles sont vulnérables aux acides minéraux forts qui peuvent les dégrader. On distingue quatre types de fibres végétales : les fibres issues des poils, les fibres du liber, et les fibres extraites des troncs de certaines graminées. Elles sont fréquemment utilisées dans la fabrication du papier et dans la production de panneaux de construction. [2]

II.3.3. Fibres synthétiques

Ces fibres sont dérivées de la cellulose naturelle. De nos jours, la plupart des fibres synthétiques proviennent de produits dérivés du pétrole et de polymères géants qui présentent une structure similaire à celle des matières plastiques. Le Nylon, la première fibre plastique à connaître un succès commercial, a été introduit en 1938.

Depuis lors, de nombreuses fibres synthétiques, telles que les fibres acryliques, l'aramide, l'oléfine et le polystyrène, ont fait leur apparition. Ces fibres ont également été développées pour des applications industrielles spécifiques, telles que la fabrication de matériaux d'isolation, de tissus pare-balles, de fuselages et d'ailes d'avion. [4]

II.3.4. Fibres de carbone

En raison de son coût élevé, le carbone est moins populaire que le verre sur le marché, mais les fibres de carbone sont reconnues comme étant les fibres les plus performantes. Les différents types de fibres de carbone sont classés en fonction de leurs propriétés mécaniques, qui dépendent des cycles de pyrolyse et de la nature du précurseur.

Les fibres de carbone sont très fragiles, ce qui rend leur mélange avec le béton très difficile. Par conséquent, elles sont généralement ajoutées au béton par projection. De plus, l'incorporation de ces fibres dans le béton confère des caractéristiques de durabilité très intéressantes. [5]



Figure II-1 : Fibre de carbone. [16]

Tableau I-1 : Caractéristiques mécaniques des fibres de carbone [5]

Type de Carbone	E	R
Diamètre D (μm)	8	8
Masse volumique ρ (g/m^3)	1.75	1.81
Résistance à la rupture σ_{fu} (MPa)	3000-5000	2800
Module de Young E (GPa)	200	400

II.3.5. Fibre d'amiante

Les fibres d'amiante sont des silicates hydratés de magnésium extrait de roches appartenant aux familles de serpentine (chrysotile) et des amphiboles (crocidolites).

Elles sont en fait des buchettes de microfibrilles extrêmement fines, difficilement fusibles (vers 1500°C) et parfaitement compatibles avec la pâte de ciment. Elles possèdent une bonne résistance à la traction et un module d'élasticité élevé. [15]



Figure II-2 : Fibre d'amiante. [15]

II.3.6. Fibre de verre

Pour fabriquer des fibres de verre, on utilise du verre fondu qui est extrudé à travers une filière comportant entre 50 et 800 petits trous. La filière est chauffée par l'effet joule.

Les fibres obtenues ont un diamètre d'environ 10 à 100 microns. La section transversale des fils est elliptique, avec une largeur d'environ 0,6 mm et une épaisseur d'environ 0,08 mm.[6]

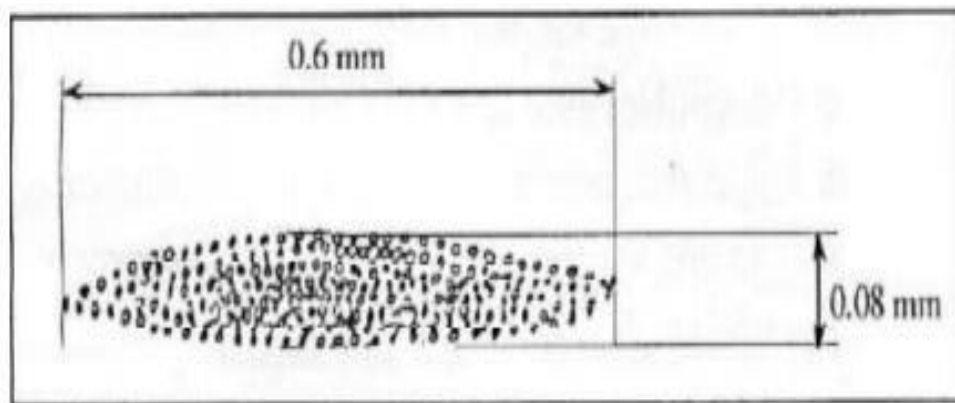


Figure II-3 : Coupe sur un ensemble de fils de verre de 10 à 12 microns de diamètre unitaire.

[6]

La fibre de verre est une fibre chimique inorganique produite en mélangeant de la silice, de l'argile et du calcaire, puis en les exposant à une température allant de 1250 °C à 1350 °C. Elle est couramment utilisée sous forme de textile pour renforcer ou réparer des structures. [7]

La fibre de verre présente un excellent rapport qualité-prix et est largement utilisée comme renfort dans la construction de structures composites. On peut distinguer trois types de fibres de verre :

- Verre E : pour les composites à grande diffusion.
- Verre S : pour les applications d'électricité.
- Verre R : pour les composites à haute performance.



Figure II-4 : Fibre de verre. [16]

Tableau II-2 : Caractéristiques mécaniques des fibres de verre. [5]

Types de verre	E	R	S
Résistance à la rupture σ_{fu} (MPa)	3400	4400	4900
Module de Yong E (GPa)	73	86	87
Masse Volumique ρ (g/cm ³)	2.54	2.55	2.54

II.3.7. Fibres de polypropylène

Le polypropylène est un polymère cristallisable de la famille des polyoléfines, ce matériau de synthèse a connu une extension croissante dans l'industrie de textile où il apporte les avantages suivants :

- ✓ Bonne résistance.
- ✓ Déformabilité élevée.
- ✓ Imputrescibilité.

Les fibres de polypropylène sont obtenues suivant le processus d'extrusion, étirage qui confère une orientation prépondérante aux molécules et qui engendre des propriétés mécaniques élevées. [15]



Figure II-5 : Fibre de polypropylène. [16]

Ces divers types de fibres se présentent sous différentes formes : coupées ou continues. Les qualités recherchées pour ces fibres sont les suivantes :

- ✓ Bonne adhérence à la matrice.
- ✓ Module d'élasticité adapté (il est parfois très supérieur à celui de la matrice).
- ✓ Comptabilité avec le liant, elles ne doivent être ni attaquées, ni détruites à terme.
- ✓ Être d'un prix abordable compte tenu des dosages ; utiliser.
- ✓ Être assez courtes, fines et flexibles pour permettre un bon malaxage et une mise en forme facile (cas de matériaux mis en forme par extrusion).
- ✓ Être assez longues, non fragiles pour ne pas être cassées lors du malaxage (utilisation pour le béton). [15].

II.3.8. Les fibres aramides (Kevlar)

La fibre aramide renforce de matériaux composites à hautes performances.

Les polyamides aromatiques, ou aramides, sont une classe de matériaux résistant à la chaleur et/ou présentant de bonnes propriétés mécaniques. Ils ne peuvent être utilisés que comme fibres, qui servent surtout à la fabrication de matériaux composites, en renfort de matrices.

Les fibres d'aramide sont constituées de filaments jaunes d'une dizaine de microns de diamètre assemblés en fils. Le diamètre des fibres d'aramide est compris entre 12 et 15 μ m. Les aramides sont d'une grande légèreté et ont des propriétés mécaniques et thermiques exceptionnelles. Certains types d'aramides présentent une excellente résistance à la traction, la chaleur et la rupture.

Les fils de verre de polyester de carbone et d'aramide sont les fibres les plus fréquemment utilisées pour le renforcement des plastiques soit sous forme de mèches soit diversement tissés, on l'obtient par chimie du carbone. [11]



Figure II-6 : Fibre d'aramide ou kevlar. [11]

II.3.9. Les fibres d'acier

Actuellement, les fibres d'acier sont de plus en plus utilisées dans le renforcement du béton ou mortier. En effet, ces fibres présentent un module d'élasticité et une résistance à la traction très élevés. [15]. Parmi les fibres les plus utilisées nous citons :

- Les fibres Euro-Stell (F.E.S.)
- Les fibres Bekaert (F.B.)
- Les fibres Harex (F.H.)
- Les fibres de ruban en Fonte de Pont-à-Mousson (F.R.F.A.)
- Les fibres à têtes d'ancrage en Acier trillé (F.T.A.)



Figure II-7 : Fibre d'acier. [15]

II.4. Rôles des fibres dans le béton

Les fibres ont généralement pour rôle de renforcer ou remplacer l'action des armatures traditionnelles en s'opposant à la propagation des microfissures. Au début, les chercheurs ont essayé, par l'addition de fibres, d'augmenter les caractéristiques mécaniques du béton comme la résistance à la compression et la résistance à la flexion, mais le résultat obtenu était limité.

Il été constaté que le rôle principal des fibres dans un matériau cimentaire peut- être apprécié sous deux volets transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes le contrôle de la propagation d'une fissure dans un matériau en état de service en réduisant l'ouverture des fissures.

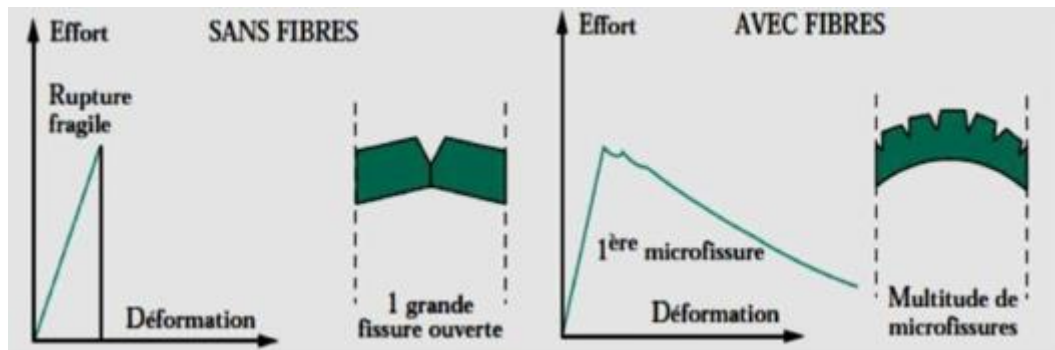


Figure II.8 : Comportement mécanique du mortier avec et sans fibres. [10]

Selon le type, le dosage et les éléments en béton dans lesquels elles sont insérées, les fibres permettent l'amélioration de la cohésion du béton frais ; par exemple, les fibres rigides changent la structure du squelette granulaire l'augmentation de la ductilité et le comportement post-fissuration la réduction de la microfissuration due aux variations dimensionnelles notamment au jeune âge la réduction de la fissuration d'origine mécanique (chargement extérieur) l'augmentation de la résistance à la traction par flexion l'amélioration de la tenue au feu et de la résistance aux chocs, à la fatigue, à l'usure, et à l'abrasion. [10]

II.5. Les textiles

Les renforts textiles doivent posséder des caractéristiques mécaniques, géométriques et physicochimiques qui conviennent au type de matrice utilisé. Cela permet de faciliter leur intégration et leur imprégnation, favorisant ainsi une interaction optimale entre le textile et le mortier. Grâce à divers procédés et technologies de fabrication, il est possible de créer des motifs spécifiques dans les textiles, adaptés aux performances recherchées.

Le renfort textile est composé de fibres ou de filaments, constituant l'unité de base à l'échelle microscopique, avec un diamètre de 5 à 30 μm . Ces filaments sont liés les uns aux autres par un procédé d'ensimage et parfois de retordage pour former des fils. Le poids linéaire d'un fil, mesuré en Tex (gramme par mètre), dépend de la nature et du diamètre moyen des filaments, du nombre de filaments par fil, ainsi que de la nature et du volume de l'ensimage.

Grâce à différentes technologies telles que le tricotage, le tissage, le tressage ou le collage, ces fils sont utilisés pour créer des armatures textiles à l'échelle macroscopique, suffisamment résistantes pour être utilisées dans des applications structurelles. Les principales technologies textiles utilisées comme armature dans les composites textile-mortier sont le canevas, le tricotage à maille jetée, le tricotage à maille jetée en 3 dimensions et le tissage. [11]

II.6. Technologie des textiles

L'objectif premier des textiles est généralement de garantir une position relative des fils entre eux. Le textile doit ainsi posséder sa propre stabilité géométrique : il doit être en mesure de conserver sa géométrie initiale lors des manipulations diverses y compris lors de sa mise en œuvre dans le cadre des TRC (manipulation, découpe, enrobage dans le mortier au rouleau d'ébulleur.

Les technologies de textile peuvent être divisée en 2 familles : bidimensionnelle et tridimensionnelle. **La figure II.9** (qui reprend et complète une figure issue de [EL HAGE_06], classifie les technologies de textile les plus répandues dans le domaine des composites destinées à des applications structurales. Les renforts textiles bidimensionnels permettent uniquement de reprendre des efforts dans les 2 direction du plan. Les préformes bidimensionnelles incluent les unidirectionnelles qui sont, en fait, dés préformes dans lesquels l'ensemble des fils, à l'exception des fils nécessaires au maintien du textile, sont orientés dans la même direction. Les composites constitués de renforts bidimensionnels se composent d'un empilement de textile bidirectionnels (de plis) indépendants les uns des autres.

Les efforts hors plan sont ainsi exclusivement repris par la matrice ce qui limite la résistance du composite perpendiculairement à son plan, et le rend des lors très sensible au délaminage. C'est principalement pour éviter ce mode de rupture que des textiles tridimensionnels ont été mis au point. En effet, les préformes tridimensionnels permettent d'assurer un transfert de charge selon les 3 directions de l'espace. De plus, ils permettent de gagner du temps lors de la mise en œuvre du composite en positionnant un pli unique de textile. Enfin, les textiles tridimensionnels permettent d'assurer un positionnement plus précis des fils dans l'épaisseur du composite. [11]

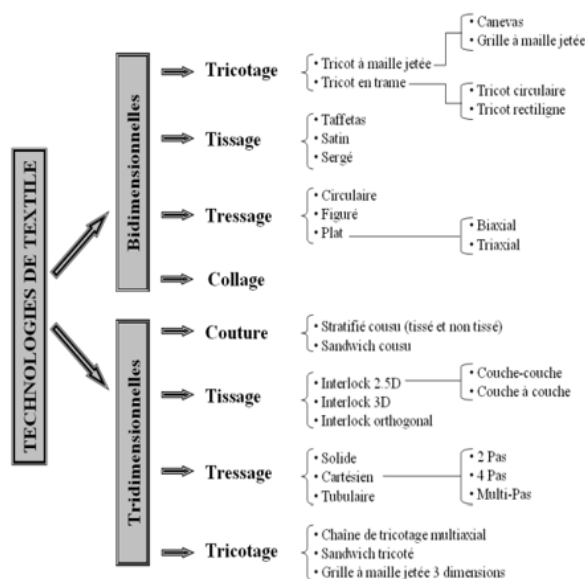


Figure II.9 : Principales technologies de mise en œuvre de renforts textiles. [11]

Introduction

Le TRC (Textile Reinforced Concrete) offre de nouvelles perspectives dans la construction des structures durables et légères, il est un matériau novateur qui se distingue par l'utilisation d'une matrice de béton à grain fin, associée à des fils multi-filaments haute performance résistant à la corrosion. Ce chapitre explore l'utilisation des textiles dans le domaine de la construction ainsi que les méthodes de préservation et la réhabilitation des structures composites.

L'objectif est de fournir une compréhension approfondie du comportement mécanique du TRC et d'explorer ses applications dans la construction.

III.1. Définition

Le béton armé de textile est une technique de renforcement du béton qui utilise des textiles de fibres comme matériau de renforcement au lieu des barres d'acier traditionnelles. Les fibres les plus couramment utilisées sont la fibre de carbone et la fibre de verre, les textiles sont intégrés dans le béton pour augmenter sa résistance et sa durabilité. [25]

Cette technique présente plusieurs avantages par rapport à l'utilisation de l'acier traditionnel comme matériau de renforcement. Le béton armé de textile est plus léger que le béton armé d'acier, ce qui facilite la manipulation et le transport des éléments préfabriqués. De plus, il est plus résistant à la corrosion, car les textiles en fibres ne se rouillent pas comme l'acier. Il offre également une meilleure flexibilité de conception, car les textiles peuvent être façonnés pour s'adapter à des formes complexes et des géométries non conventionnelles. [25]

III.2. Utilisation des TRC

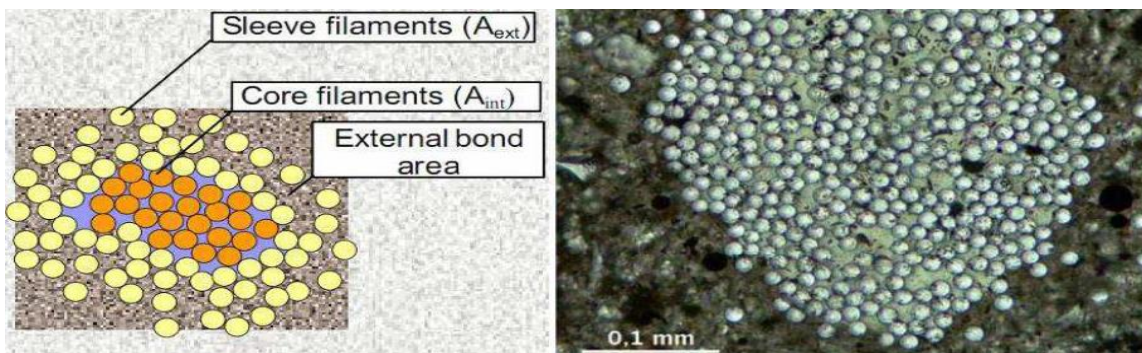
Les composites en TRC sont utilisés actuellement avec une large gamme d'application :

- Éléments de façade.
- Éléments la protection environnementale et porteurs de structure.
- En raison de leur résistance vis-à-vis de la corrosion et des diverses attaques chimiques (acide sulfurique), les composites TRC sont employés dans la réalisation d'éléments utilisés dans le traitement décentralisé d'eaux usées.
- Dans l'objectif d'obtenir des gains concernant plusieurs aspects, notamment la protection contre le rayonnement solaire ou électromagnétique, l'électricité statique, ainsi que l'esthétique.
- Dans le renforcement ou la réparation de structures en béton.
- Permet de réaliser des éléments en béton minces. [26].

III.3. Mécanique des TRC

La section des fils de reprise d'efforts est constituée de quelques milliers de filaments. En fonction du type de textile, de l'ensimage ainsi que de la technique de mise en œuvre, les filaments sont plus ou moins resserrés entre eux. Néanmoins, l'espacement entre filaments reste beaucoup trop faible (de l'ordre du μm) pour que la matrice puisse pénétrer à l'intérieur des filaments de cœur du fil. La pénétration du mortier à l'intérieur du fil reste donc limitée à cause de la rhéologie de la matrice, les filaments extérieurs bénéficieront donc d'une surface enrobée de matrice beaucoup plus élevée que les filaments intérieurs. La surface de contact 'matrice/textile' s'amointrira donc à mesure que l'on s'approchera des filaments de cœur (voir **figure III-1**).

Les performances mécaniques des composites TRC ne dépendent pas seulement des caractéristiques intrinsèques du renfort textile et de la matrice mais également de la qualité d'interaction 'textile/matrice' qui joue un rôle primordial dans le transfert de charge de la matrice fissurée sous sollicitation mécanique vers le renfort textile. Dans le cas des composites TRC et si l'on considère une modélisation simplifiée, l'adhérence 'matrice/textile' est restreinte aux filaments situés au pourtour des fils du textile. Les efforts sont ainsi transmis de la matrice vers les filaments extérieurs (de pourtour) via l'interface 'matrice/filament extérieurs' (adhérence 'matrice/filament'), les filaments extérieurs retransmettent ensuite les efforts aux filaments intérieurs par contact frictionnel (adhérence filament/filament). La bonne compréhension des mécanismes d'adhérence est donc primordiale afin d'analyser le comportement des TRC. Dans cette optique, l'étude de la mécanique des composites TRC prendra en compte deux volets essentiels qui sont l'étude à l'échelle de l'interface et l'étude à l'échelle du composite TRC. [25]



A-Modélisation simplifiée de l'interface 'matrice/textile' [25].

B-Visualisation au microscope d'une interface d'interaction 'matrice/textile'. [25]

Figure III-1 : Visualisation des filaments d'un fil de textile enrobé dans une matrice cimentaire Kruger. [25]

III.4. Procédés de production des TRC

Les techniques de production des composites TRC diffèrent en fonction du renfort textile, de la matrice ainsi que l'utilisation du TRC. A cet effet les procédés sont divisés en deux grandes familles :

III.4.1. Procédés de mise en œuvre in-situ

Le composite TRC peut directement être mis en œuvre sur son lieu de destination finale à travers :

a. Technique du moulage au contact

Aussi appelée stratification manuelle, cette technique est l'une des plus accessibles et moins onéreuses. Elle consiste à appliquer une fine couche de la matrice dans un moule conçu au préalable en fonction des dimensions du TRC. Ensuite, le renfort textile est soigneusement imprégné par la matrice par l'intermédiaire d'une truelle ou d'un rouleau débouleur. Une seconde couche de matrice est appliquée et une autre couche de renfort est imprégnée de la même manière (**figure III-2**). Ce procédé est répété jusqu'à atteindre le taux de renfort ciblé. Un film en polyane est placé sur le mortier de la dernière couche afin de limiter le retrait différentiel entre la face du composite en contact direct avec le moule et celle en contact avec l'air ambiant. Bien que relativement aisée à mettre en place, cette technique nécessite une vigilance accrue de l'utilisateur afin de limiter les défauts excessifs susceptibles de créer une dispersion importante entre les échantillons réalisés. [30].

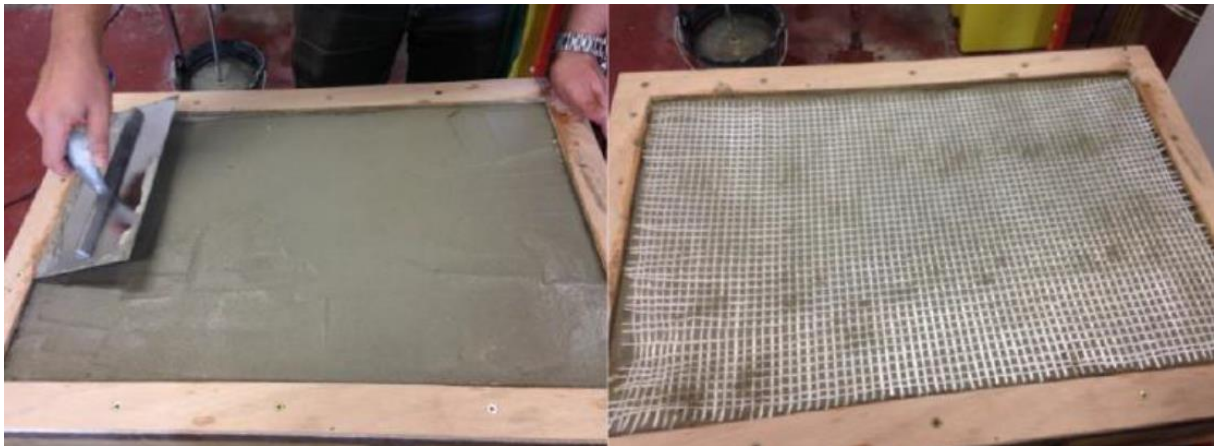


Figure III-2 : Technique de moulage au contact. [30].

b. Technique de projection In-situ

Cette technique est voisine de la mise en œuvre par moulage au contact, cependant la matrice est appliquée dans le cas d'espèce par projection sur le renfort textile. Cette technique est bien adaptée à la production de « masse ». Elle est souvent utilisée pour la réparation structurelle. Bien que cette technique permette d'augmenter les taux de production, elle peut

engendrer des défauts d'imprégnation du renfort textile. Pour limiter voire éviter ces inconvénients les matrices utilisées pour la projection doivent présenter une consistance très fluide mais thixotropique ainsi qu'une très bonne compatibilité avec le renfort textile. [30].

III.4.2. Procédé de mise en œuvre par préfabrication

Les techniques de préfabrication ont pour objectif de produire des composites TRC à destination industrielle. Elles ont pour avantage par rapport aux procédés de mise en œuvre in-situ de garantir une faible dispersion des propriétés mécaniques et physiques des composites TRC produits ainsi qu'une possibilité d'optimiser leurs performances mécaniques.

Diverses techniques de préfabrication existent, les plus connues sont :

a. Pultrusion

Lors de ce procédé, les renforts textiles sont conditionnés en bobines, ils sont façonnés à la forme souhaitée par passage au travers de filières régulées en température, puis imprégnés par la matrice après leurs passages dans des bains ou sont stockées les matrices des composites TRC désirés (voir **figure III-3**). [30].

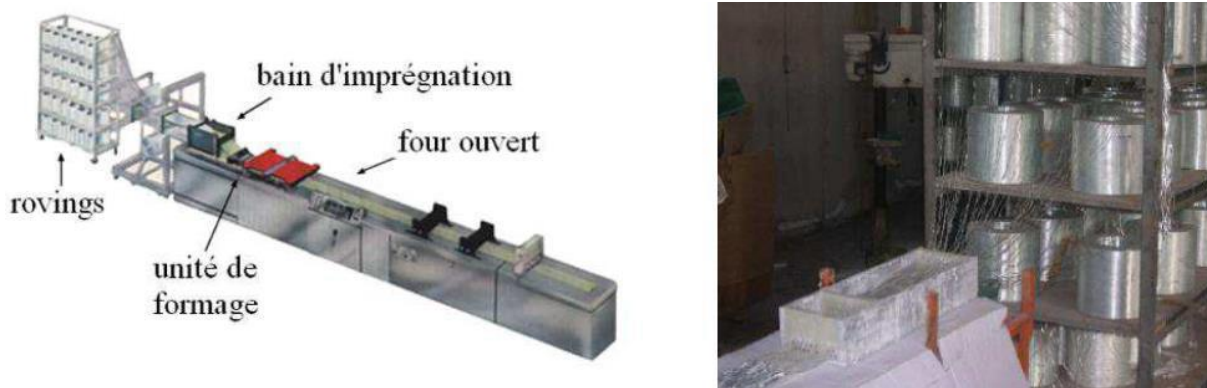


Figure III-3 : Schéma procédé de pultrusion utilisé par Promis. [30]

b. Pultrusion et Compactage

Les composites TRC pultrudés peuvent être comprimés par compactage à la sortie du bain d'imprégnation afin d'augmenter le taux de renfort et améliorer les performances mécaniques des composites,

Un taux de renfort maximum de 27% d'un composite TRC à matrice de type VUBONITE a pu être atteint par pultrusion et compactage contre 21% par simple pultrusion lors des travaux de Promis.

MOBASHER et al ont également fait ressortir l'impact de la pression de compactage après pultrusion sur les performances mécaniques des composites TRC. En effet, les auteurs ont testé en traction directe la même configuration de TRC pultrudé puis compacté aux pressions respectives de 1.7 et 15.3 KPa. Ils ont constaté que le composite ayant été compacté

avec la plus grande pression après pultrusion présente une résistance plus élevée de 40%, un espacement de fissures plus resserré ainsi qu'une plus grande rigidité. [30].

c. Imprégnation mécanique

WASTIELS a mis en place une unité de compactage composée de deux cylindriques qui permettent l'imprégnation de textile de renfort juste après sortie du bain d'imprégnation contenant la matrice (**figure III-4**). Cette technique a permis d'atteindre des taux de renfort de 25% pour des matrices de type VUBONITE.

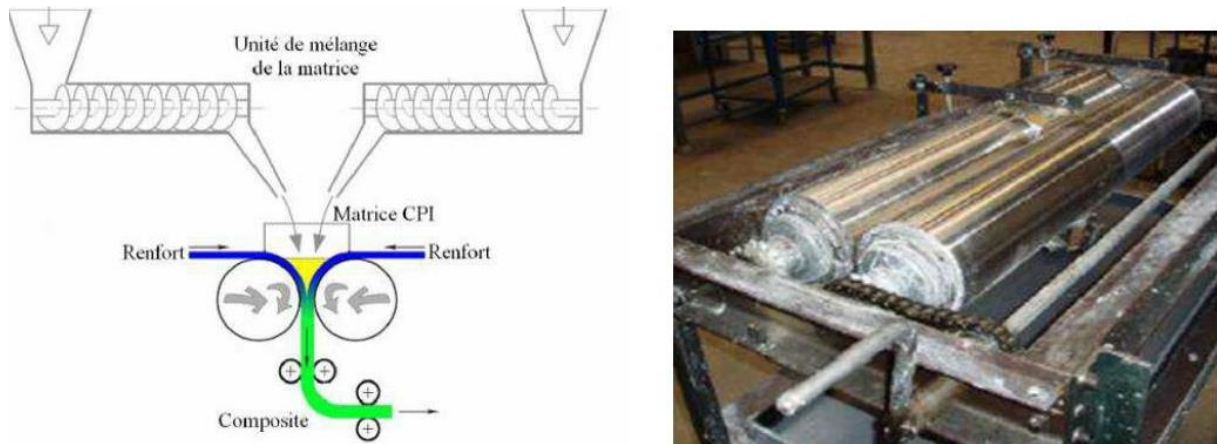


Figure III-4 : Unité de compactage mécanique mise en place par WASTIELS. [8]

d. Pompage et injection

Ce procédé de mise en œuvre développé par BROCKMANE consiste à injecter du mortier par pompage dans un moule dans lequel aura été placé au préalable le renfort textile (**figure III-5**). Cette technique nécessite une étude préliminaire afin de déterminer les points d'injections de mortier. Elle permet la mise en œuvre de pièces de formes complexes en TRC, cependant elle ne permet pas d'atteindre des taux volumiques de renfort aussi élevés que les trois techniques de mise en œuvre par préfabrication précédentes. [30]

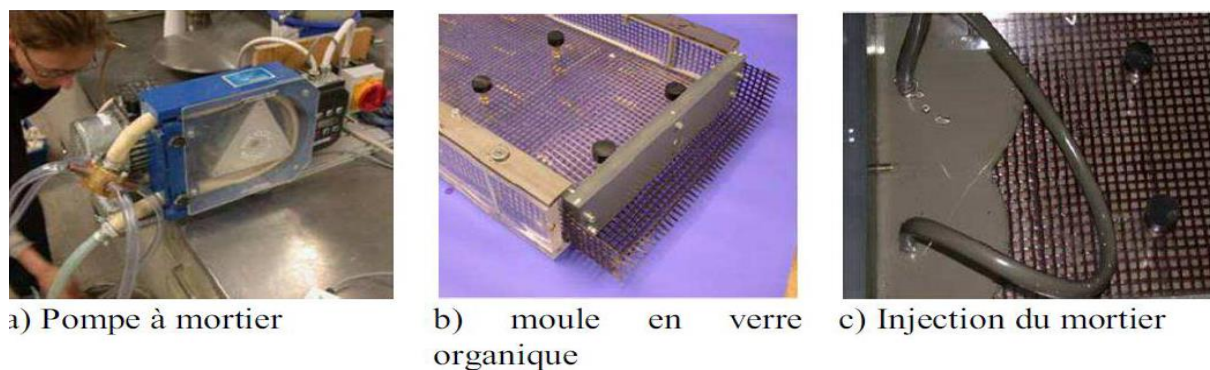


Figure III-5 : Procédé de pompage et injection mis en place par BROCKMANE. [28]

III.5. Paramètres influençant le comportement en flexion du composite TRC

L'identification et la quantification de l'influence des paramètres prédominants par rapport au comportement mécanique du composite TRC sont nécessaires car d'importance. De nombreuses études disponibles dans la littérature ont été menées pour identifier ces paramètres. Cependant les résultats obtenus restent limités. Dans cette partie, nous présentons les analyses paramétriques qui ont été abordées pour contribuer à mettre en lumière leurs influences sur le comportement global en traction du composite. [32]

a. Nature de la matrice

En principe, la nature de la matrice détermine son influence sur le comportement de la phase élastique du TRC, ainsi que sur l'imprégnation du renfort textile par le mortier, ce qui joue un rôle prépondérant dans l'adhérence entre le renfort textile et la matrice. [32]

Les matrices facilitent la mise en œuvre du renfort textile, assurent un enrobage optimal et permettent un transfert de charge acceptable. La compatibilité physique et chimique entre la matrice et le textile est cruciale pour garantir la durabilité des composites TRC. La finesse et la composition de la matrice de ciment doivent être en harmonie avec le système textile destiné à être enveloppé par la matrice. [32]

b. Nature des filaments

La composition des filaments a un impact sur le comportement dans la phase post-fissuration, ainsi que sur l'adhérence entre le renfort textile et la matrice. Plusieurs types de fibres ont été examinés, mais jusqu'à présent, aucune étude paramétrique spécifique n'a été proposée où seule la composition des fibres est modifiée. De plus, les informations insuffisantes concernant la quantité ou la qualité des différentes variables empêchent de parvenir à des conclusions précises sur l'influence de la composition des filaments. [32]

c. Taux de renfort

Le taux de renfort joue un rôle crucial dans l'analyse du comportement des composites TRC. Pour étudier l'impact du taux de renfort, on procède en variant le nombre de couches de renfort dans un élément composite de même épaisseur. Plusieurs études, telles que celles de Contamine et al, KOK et al, Colombo et al, ont examiné l'effet de l'augmentation du nombre de couches de renfort sur la résistance à la traction et la résistance à la flexion du composite. Une augmentation du taux de renfort peut entraîner un rapprochement des couches textiles, ce qui peut influencer l'adhérence entre le textile et le mortier. [32]

d. Mode de conservation du composite

Les conditions de conservation influencent l'évolution des propriétés physico-chimiques de la matrice. Le retrait ou l'hydratation de la matrice en cours de conservation peuvent conduire à une modification de l'adhérence matrice-textile. [32]

e. Pré-imprégnation du renfort textile

La pré-imprégnation du renfort textile peut entraîner une augmentation de la liaison entre les filaments, ce qui se traduit par un comportement plus homogène au sein d'un fil. Cela permet d'obtenir une meilleure résistance à la friction à la surface du fil. L'étude de l'impact de la pré-imprégnation du textile sur le comportement en traction du composite est essentielle et vise à améliorer considérablement les performances du TRC. La nature du produit de pré-imprégnation joue un rôle important dans le comportement du TRC. Selon la nature du produit, les performances mécaniques et le taux de travail du fil peuvent être totalement différents. [32]

f. Orientation des fils

Lorsque les fils du textile de renfort en fibres sont inclinés par rapport à la direction de la sollicitation, on observe une diminution de leur résistance. Cette diminution varie entre 50% (Hegger, Jesse et al) et 70% (Proctor et al) pour un angle de 45° par rapport à la direction de traction. Pour un angle de 12°, la plupart des auteurs (Proctor et al, Mashima et al, Jesse et al) ont constaté une réduction d'environ 20%. Cette diminution de la résistance en traction peut s'expliquer par deux raisons. Premièrement, les fils présentent une faible résistance au cisaillement et en flexion. Deuxièmement, les filaments internes se plient davantage que les filaments externes, ce qui entraîne une diminution de la capacité de charge d'un fil. [32]

g. Direction du textile tricoté

Le textile tricoté se caractérise par deux directions principales : la direction chaîne (0° - direction sur la Figure III-6) et la direction trame (90° - direction sur la Figure 10). Selon les études de Hegger et al. Dans le cas d'un textile tricoté présentant la même configuration de fils et le même espacement entre les fils dans la direction chaîne et trame, le composite est plus résistant lorsque le textile est orienté dans le sens trame. Selon l'auteur, cela s'explique par une diminution du taux d'imprégnation des fils de chaîne par rapport aux fils de trame, en raison de l'obstruction à l'imprégnation des fils de chaîne par les fils de chaînettes qui les entourent. Voir la Figure pour plus de détails. [32]

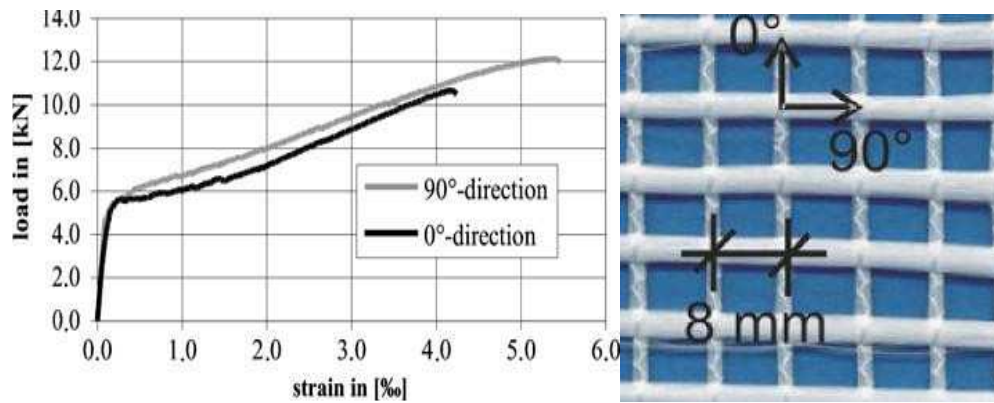


Figure III-6 : Direction du textile tricoté et comportement du composite TRC. [32]

III.6. Techniques de renforcement des structures

1. Renforcement par la composite PRF

Les FRP « fibre renforce polymère » représentent de fibres à haute résistance imprégnés par une matrice polymérique (époxy, polyester, ...). Les fibres de FRP utilisées dans le renforcement en génie civil sont des fibres en carbone (CFRP), verre (GFRP), et aramide (AFRP).

Le FRP utilisé pour le renforcement des structures se trouve sous forme de tissus, de composite en lamelle ou en barre. L'application de tissus de FRP s'effectue par collage sur la surface extérieure de l'élément.

Le choix de la matrice polymère doit offrir la possibilité que le FRP ait une déformation maximale aussi importante que la déformation ultime des fibres. [25].

Tableau III-1 : Caractéristiques mécaniques moyennes des résines époxy.

Propriétés	Valeurs moyennes
Résistance à la traction	20 à 90 MPA
Allongement a rupture en traction	1 à 3 %
Module d'élasticité	3 à 10 GPA selon le taux de charges
Résistance à la compression	140 à 150 MPA

Le **Tableau III-1** représente des valeurs moyennes qui caractérisent des résines époxy utilisées dans les structures de génie civil et présentées dans le travail de Nguyen, 2008.



Figure III-7 : Renforcement avec bandes de CFRP. [25]

2. Renforcement par la composite TRC

Le terme TRC (Béton armé textile) sont largement rencontrés dans la littérature. Les supports de mortier béton sont à base de ciment et d'agrégat très fin, de 1 à 2 mm de diamètre. Le textile est introduit selon des plis qui peuvent atteindre 6 niveaux.

Au moins une couche textile devrait être placée près de chacune des deux surfaces extrêmes de la structure qui en résulte. Les textiles peuvent être de différentes nature : polymère Synthétiques, métalliques, organiques ou d'autres matériaux appropriés.

L'avènement de ces matériaux a donné naissance signe la naissance à une nouvelle génération de composites qui s'avère être une solution potentielle aux problèmes de renforcement de structures. Ils peuvent être utilisés aussi bien pour de nouvelles structures que pour réparer des éléments structurels existants.

Ils permettent d'avoir des résistances élevées à la traction en conférant à l'élément renforcé leurs caractéristiques mécaniques élevées. Ils présentent également l'avantage de la légèreté en plus et de la non-corrosivité des textiles. Les fissures sont plus fines que celles qui surviennent dans le béton, ce qui permet au TRC de produire une surface durable et imperméable, adapté à la réparation de la structure du bâtiment. [26].

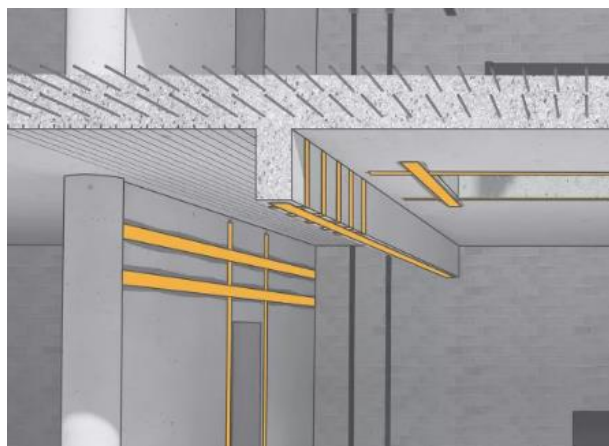


Figure III-8 : Renforcer les structures béton avec des textiles. [26]

III.7. Les fonctions ou performances qui motivent l'usage des matériaux textiles dans la construction

Les matériaux textiles sont ici appréciés pour leurs qualités propres :

- Propriétés mécaniques : résistance (certains sont plus résistants que l'acier), renfort, flexibilité
- Adaptabilité
- Légèreté
- Facilité de mise en œuvre (résilience)
- Durabilité et résistance aux intempéries
- Isolation thermique, acoustique
- Protection solaire, électromagnétique, électrostatique, anti-corrosion
- Confort et qualité des ambiances
- Proximité des matériaux (ce qui est un atout pour une profession héritière de savoir-faire régionaux)
- Esthétique architecturale et design
- Construction innovante, intérieur ou extérieur intelligent
- Dimension économique (filère courte et faible coût pour les non tissés)

On notera que les produits en fibres naturelles végétales sont souvent plus denses que la laine de verre. Quant au béton chanvre, il est beaucoup plus léger que le béton classique.

Les éco matériaux ont de nombreux atouts, mais il s'avère nécessaire de structurer les filières pour avoir des coûts plus compétitifs. [29].

III.8. REVUS DE QUELQUES TRAVAUX ANTÉRIEURS SUR LES TRC :

Certains auteurs ont étudié l'effet des TRC sur des structures en béton. Quelques-uns de ces travaux sont décrits ci-après.

Z. MESTICOU, L.BUI, A.JUNES.A. Si Larbi (en 2017).

Ont fait une étude expérimentale sur le comportement de durabilité d'un béton armé de textile (TRC) soumis à la fois à des charges de traction et de flexion pour comparer sa caractérisation macroscopique.

Les composites sont produits en tant que matériau stratifié en utilisant 2 et 6 couches de mat de fibre de verre comme renforts. Les propriétés instantanées et à long terme (durabilité) du composite TRC sont identifiées par des essais de traction et de flexion avec des échantillons fabriqués à partir du même mortier frais. Les essais à long terme sont menés dans deux environnements vieillissants : le vieillissement naturel, effectué sous atmosphère de laboratoire

(20 °C et 50% HR), et le vieillissement accéléré, qui consiste en une immersion des échantillons dans de l'eau chaude à 50°C. La performance de durabilité de TRC est évaluée par les mécanismes réduits de performance et d'endommagement à l'échelle macroscopique.

Les effets du rapport de renforcement, les conditions d'essai et les conditions thermiques sur la réponse à long terme du TRC sont étudiés et la microstructure de la matrice et de la fibre est observée et discutée après les tests par microscopie électronique à balayage (MEB). L'ajout de couches de fibre de verre (rapport de renforcement) a augmenté la capacité de résistance et la première résistance aux fissures de la TRC lors des essais de traction et de flexion. La valeur de résistance ultime des composites TRC obtenue à partir de l'essai de traction est inférieure à celle de l'essai de flexion sur les mêmes jours testés en raison des différents mécanismes de redistribution. Une augmentation de la résistance à la traction et à la flexion au cours du vieillissement est observée avant 90 jours de vieillissement.

Cependant, après 90 jours, les résultats du test ont montré une perte de ductilité des spécimens vieilliss accélérés. [24].

MOJDEH ZORGARAN (en 2017) a étudié la performance des (TRC) avec une variation des paramètres du tissu tels que le type de fil, la taille de la maille et le diamètre du fil. Le tissu a été fait de fils de nylon spéciaux appelés « fils de corde de pneu ». En outre, il a étudié les effets du rapport d'épaisseur et de renfort sur la performance en flexion et la capacité finale du TRC. Il a testé soixante-cinq échantillons en flexion à quatre points avec un taux de renforcement minimum le comportement de l'échantillon montre que la résistance ultime des composites TRC avec le même rapport de renforcement augmente avec l'augmentation du Tex. La grille améliore les performances de l'échantillon. [24].

Conclusion

Ce chapitre a examiné différentes techniques de renforcement des structures, notamment le renforcement par FPR (fibre renforce polymère) et le renforcement par TRC. On a également exploré les méthodes de conservation des composites et l'utilisation des textiles dans le domaine de la construction.

L'utilisation du TRC offre des avantages tels que le renforcement structurel, la légèreté, la durabilité, la flexibilité de conception et les propriétés d'isolation. Ces caractéristiques en font un matériau attractif pour de nombreuses applications dans le domaine de la construction.

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons les diverses caractéristiques des matériaux utilisés dans la confection des éprouvettes testées, qui sont exclusivement d'origine locale ainsi que les différentes compositions utilisées.

Tous les essais ont été réalisés au laboratoire de constructions des matériaux de l'université MOULOU MAMMERI TIZI-OUZOU.

IV.2. Normes

IV.2.1. Préparation des matériaux

- Analyse granulométrique : EN 933-1.
- Equivalent de sable : NFP 18-597.
- Confection des mortiers : EN 196-1.

IV.2.2. Normes utilisées à l'état durci

- Essai de compression : NFP 18-406.
- Essai de traction par flexion : NFP 18-407.
- Essai du l'ultrason : Essai non normalisé.

IV.3. Matériaux utilisés

Les échantillons d'essai dans notre étude, ont été préparés en utilisant des mortiers contenant des sables, ciment, renfort, laitier et adjuvant associés.

IV.3.1. Le ciment

Nous avons utilisé dans nos essais un ciment portland au calcaire, de type CEM II de classe de résistance 42,5, il provient du SPA BISKARIA CIMENT (NA442-2013). Il contient donc environ un tiers d'additions minérales autres que le clinker. Ce ciment gris pour béton de haute performance destiné à la construction des Ouvrages d'art infrastructure et superstructure pour bâtiments.

Les caractéristiques techniques du ciment utilisé sont présentées dans les tableaux suivants :

- a) Caractéristiques physiques du ciment :

Tableau IV-1 : Les caractéristiques physiques du ciment.

Propriétés physiques	Valeur
Consistance normale (%)	25.4 - 26
Expansion à chaud (mm)	< 1 mm

Tableau IV.2 : Résistance du ciment

Résistances à la compression	Valeur
2 jours (MPa)	23 - 26
28 jours (MPa)	45 - 50

b) Analyses chimiques du ciment :

L'analyse chimique du ciment sont données dans le **tableau (IV.3)**.

Tableau IV.3 : Analyse chimiques du ciment.

Analyses chimiques (%)	Valeur
Perte au feu	6 - 8
Teneur en sulfates (SO ₃)	2.5 – 2.9
Teneur en Oxyde de Magnésium (MgO)	< 3.5
Teneur en Chlorures (Cl.)	< 0.08
Résidu insoluble	NA

c) Composition du clinker :

Tableau IV.4 : Composition du Clinker.

Composition potentielle du clinker (selon bogue) (%)	Valeur
C3S	60 – 65
C3A	6 - 10

Tableau IV.5 : Valeurs du temps de prise en minute.

Temps de prise (min)	Valeur
Début de prise	150 min
Fin de prise	260 min



Figure IV-1 : Le ciment utilisé (CEM II/A 42.5R).

IV.3.2. Le sable

Nous avons utilisé deux types de sables. Un sable local de Rivière (SR) provenant d'OUED-AISSI de la région de Tizi-Ouzou, de classe 0/1.25, et un sable siliceux de Dune (SD) de la région de Touggourt de classe 0/1.25, Avant utilisation, ces sables ont été lavés afin de réduire les impuretés et ne pas contenir d'éléments chimiques nocifs, puis séchés à l'étuve à température 105 °C pendant 24heures puis passés à la tamiseuse pour une analyse granulométrique.



Figure IV-2: Sable de rivière tamisé après avoir été lavé et séché à l'étuve.



Figure IV-3: Sable du dune de Tougourt après avoir lavé et séché et tamisé.

IV.3.3. L'eau de gâchage

Il est essentiel de ne pas utiliser n'importe quelle eau lors du mélange du mortier, car un excès d'impuretés peut avoir un impact sur les propriétés du mortier à l'état frais et durci. Pour l'ensemble de nos essais, nous avons utilisé de l'eau potable provenant du réseau de la ville de Tizi-Ouzou, sans aucun traitement supplémentaire.

Nous supposons qu'elle respecte toutes les exigences de la norme (EN 1008) concernant le béton.



Figure IV-4 : L'eau du robinet.

IV.3.4. Textiles :

Nous avons utilisé deux types de renfort dans cette étude, dont le textile de fibre de verre et la fibre courte.

- **Tissu de verre :**

Le tissu de verre est de type AR (alcali résistante), de couleur blanche (**Figure IV-5**), d'une longueur et largeur de (0.33/1 x 50) m et des mailles de (4x4) mm.

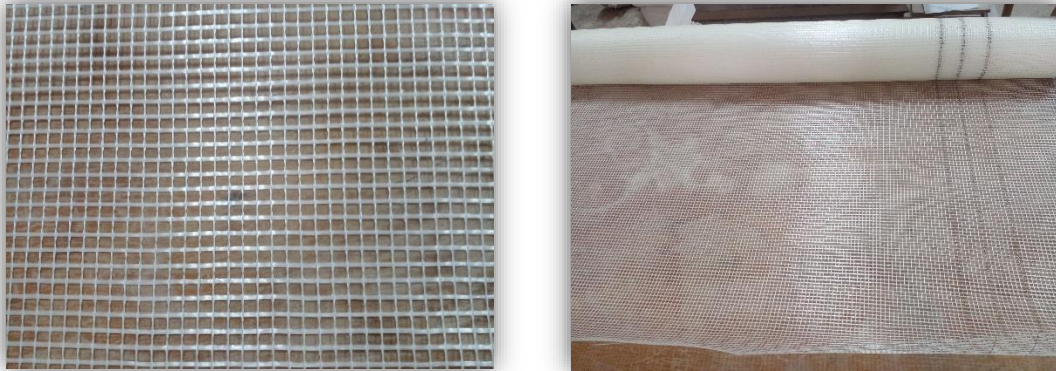


Figure IV-5 : Tissu de fibre de verre

Tableau IV-6 : Quelques caractéristiques des fibres de verre

Caractéristiques	Description
Couleur	Blanche
Longueur / largeur	(1xL) 0.33/1x50 m
Épaisseur	0.45 mm (maille 4x4 mm)
Poids	160 g/m ²
Résistance à la traction	Entre 1800 N/5 et 2000 N/5

- **Fibre courte :**

Les fibres utilisées ce sont des fibres polypropylènes (**Figure IV-6**), dont quelques caractéristiques physiques et mécaniques sont représentées dans le **Tableau IV-7**.



Figure IV-6 : Fibres courtes (FPP)

Tableau IV-7 : Caractéristiques physiques et mécaniques de fibre polypropylène.

Caractéristiques	Description
Longueur	6 mm à 50 mm
Diamètre	0,1 mm à 0,3 mm
Masse volumique	0,91 g/cm ³ à 0,93 g/cm ³
Module d'élasticité	1 GPa à 4 GPa
Résistance à la traction	300 MPa à 700 MPa
Résistance à l'abrasion	Relativement faible
Résistance à la corrosion	Résistantes à la corrosion chimique
Effets sur la durabilité	Réduction du retrait plastique, amélioration de la résistance au gel-dégel, réduction de la fissuration due au retrait, etc.

IV.3.5. Laitiers haut fourneau :

Addition minérale issue du processus de production de l'acier, peut être utilisé comme addition minérale dans le mortier pour améliorer ses caractéristiques. Il renforce la résistance du mortier, augmente sa résistance à l'usure, améliore sa résistance face aux produits chimiques et contribue à accroître sa durabilité.



Figure IV-7 : Laitier haut fourneau fournit par la société GRANITEX (Algérie).

Dans notre étude, nous avons exclusivement utilisé le laitier de haut fourneau comme addition minérale.

IV.3.6. Les adjuvants :

Pour notre étude, nous avons utilisé un super plastifiant haut réducteur d'eau fourni par la société GRANITEX (Algérie). Selon la fiche technique fournie en annexe, ce super plastifiant haut réducteur d'eau permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité. Il permet également de réduire significativement la quantité d'eau nécessaire pour le béton.



Figure IV-8: Super plastifiant (GRANITEX).

Tableau IV-8 : Caractéristiques du super plastifiant

Caractéristiques	Description
Couleur	Brun clair
Ph	6 -6.5
Densité	1, 07 ± 0,01
Teneur en chlore	< 0,1 g/l
Pourcentage d'extrait sec en masse	30 %

IV.4. Caractérisation des mortiers

La connaissance de la nature des composants est essentielle pour caractériser les matériaux de construction tels que la matrice cimentaire. De plus, afin de déterminer les dosages optimaux et de fournir des interprétations pertinentes, il est nécessaire de bien caractériser les différents constituants en utilisant des essais normalisés réalisés en laboratoire.

IV.4.1. Essais sur le sable

IV.4.1.1. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat.

L'analyse se fait par tamisage mais avant l'essai, l'échantillon doit être séché à l'étuve à une température maximale de 105 °C.

IV.4.1.1.1. Mode opératoire

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes, Les dimensions de mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue. Nous avons utilisé des mailles de dimensions : 1.25 ; 0.63 ; 0.315 ; 0.2 ; 0.16 ; 0.125 ; 0.08. La séparation des grains s'obtient par vibration de la colonne des tamis.

On appelle :

- **REFUS** : la quantité de matériau qui est retenue sur le tamis.
- **TAMISAT** : la quantité de matériau qui passe à travers le tamis.

Les masses des différentes fractions retenues et des tamis sont exprimées en proportion de la masse initiale du matériau, puis ces pourcentages sont utilisés pour générer une représentation graphique.

Matériels nécessaires :

- Une machine à tamiser.
- Une série de tamis conforme à la Norme NF EN 933-1 et NF X 11-504.
- Un couvercle qui évite la perte de matériau pendant le tamisage et un réceptacle de Fond pour recueillir le dernier tamisât.



Figure IV-9: La machine à tamiser.

Les résultats de l'analyse granulométrique effectuée sur les deux types de sable sont présentés dans les tableaux IV-9, IV-10.

Tableau IV-9 : Analyse granulométrique par tamisage du sable de rivière (SR).

Tamis ouverture (mm)	Masse des refus cumulés Ri (g)	Pourcentage des refus cumulés (%)	Pourcentage tamisas cumulés (%)
1.25	2500	100	100
0.63	955	38.20	61.80
0.315	730	29.20	32.00
0.20	340	13.60	18.40
0.16	140	05.60	12.80
0.125	130	05.20	07.60
0.08	130	05.20	0.24
Fond du tamis	00	00	00

Tableau IV-10 : Analyse granulométrique par tamisage du sable de dune Touggourt (SDT).

Tamis ouverture (mm)	Masse des refus cumulés Ri (g)	Pourcentage des refus cumulés (%)	Pourcentage tamisas cumulés (%)
1.25	2500	100	100
0.63	380	15.20	84.80
0.315	1625	65	19.80
0.20	320	12.80	07
0.16	70	02.80	04.20
0.125	40	01.60	02.60
0.08	25	01	1.60
Fond du tamis	00	00	00

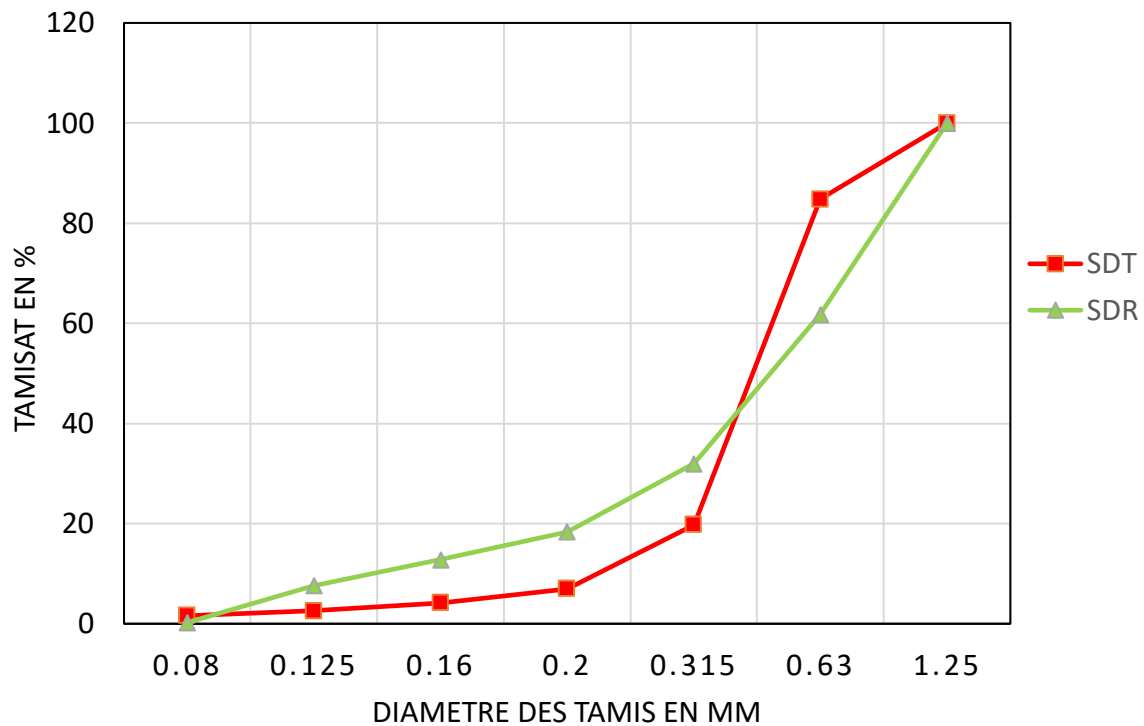


Figure IV-10 : Courbe granulométrique pour les deux sables.

La courbe granulométrique exprime les pourcentages cumulés, en poids, de grains passant dans les tamis successifs.

- On constate que le sable de dune d'origine de Touggourt est le plus fin. On remarque aussi une grande différence en pourcentage de particules fines entre celui-là et le sable de rivière.

IV.4.1.2. Module de finesse

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion.

Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (MF). Le module de finesse est d'autant plus petit que le granulat est riche en éléments fins. Le module de finesse est égal au 1/100e de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm (selon la Norme Française [NFP 18-540]).

$$Mf = \frac{1}{100} \sum (\text{Refus cumulés en } \%).$$

Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons.

Tableau IV-11 : Module de finesse du sable.

Granulats	Spécifications
Module de finesse MF	2.8 < Mf < 3.2 Sable grossier
	2.2 < Mf < 2.8 Sable moyen
	1.8 < Mf < 2.2 Sable fin

$$MF(SDT) = \frac{100 + 15.20 + 65 + 12.80 + 2.80 + 1.60 + 1 + 0}{100} = 1.98$$

$$MF(SR) = \frac{100 + 61.80 + 32 + 18.40 + 12.80 + 7.60 + 0.24 + 0}{100} = 2.33$$

- Le sable de dune (Touggourt) a un module de finesse de **1.98** compris entre 1.8 et 2.2 ce qui fait qu'il est classé comme sable fin.
- Le sable de rivière a un module de finesse de **2.33** compris entre 2.2 et 2.8 ce qui fait qu'il est classé comme sable moyen.

IV.4.4. Equivalent de sable (E.S)

Cet essai est un essai de propreté, la valeur de l'E.S. exprime le pourcentage de fines contenues dans le sable. L'objectif principal de cet essai est de déterminer la proportion d'éléments indésirables dans le sable.

L'absence de fines ne permet pas d'obtenir un béton ou un mortier compact et leurs excès est défavorable dans la mesure où il augmente la demande en eau, donc le rapport E/C donc une faible valeur de la résistance.

IV.4.4.1. Mode opératoire

Cette méthode nécessite une éprouvette graduée, ou à défaut un récipient à fond bien plat ; en remplit l'éprouvette sur environs un tiers de la hauteur avec de l'eau, en mesure 120g de sable et en l'introduit dedans, en attend quelques minutes puis en bouche bien le récipient, en brasse l'éprouvette de façon horizontale en théorie 90 fois en 1min, en finit par remplir l'éprouvette de l'eau, en brasse un dernier coup, en attend 20 min.



Figure IV-11: Essai d'équivalent de sable.

A l'issue de ce délai, on mesure la hauteur totale (sable + fines) qu'on appellera **h₁** et la hauteur du sable seul sans fine qu'on appellera **h₂**.

IV.4.5. Equivalent de sable visuel (ESV) :

Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur **h₁** du niveau supérieur du flocculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règlette.

Mesurer également avec la règle la hauteur **h₂** comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

L'équivalent de sable est alors calculé par la formule suivante :

$$Es = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

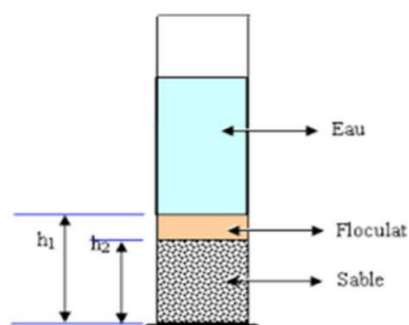


Figure IV-12 : Essai d'équivalent de sable.

Dans notre cas, nous avons :

Essai n° 01 :

$h_1 = 10.8 \text{ cm}$ et $h_2 = 10.5 \text{ cm}$.

⇒ $E_s = 0.97 = 97 \%$.

Essai n° 02 :

$h_1 = 10.4 \text{ cm}$ et $h_2 = 10 \text{ cm}$.

⇒ $E_s = 0.96 = 96 \%$.

Tableau IV-12 : les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable.

Es au piston	Nature et qualité du sable
$E_s < 60\%$	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité ou vérification plus précise de la nature des fines par un essai au bleu de Méthylènes.
$60\% \leq E_s < 70\%$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.
$70\% \leq E_s < 80\%$	Sable propre à faible proportion de fines argileuse convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
$E_s \geq 80\%$	Sable très propre. L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

Dans notre cas, on a eu :

$E_s \text{ (SDT)} = 97 \% > 80 \%$, le sable est très propre, l'absence presque totale de fines.

IV.5. Formulation des mortiers

IV.5.1. Composition d'un mortier témoin

Le tableau suivant présente la composition du mortier :

Tableau IV-13 : Composition d'un mortier pour 1m^3

Composants	Ciment	Sable	Eau	L'adjuvant	Laitier haut fourneau
Le poids (kg/m^3)	640	1380	262	8	35

Pour garantir une reproductibilité dans les manipulations toutes les éprouvettes ont été fabriquées de manière identique, dans cette étude on va confectionner des éprouvettes prismatiques de dimensions $(20 \times 100 \times 400)\text{ mm}^3$, cubiques de dimensions $(50 \times 50 \times 50)\text{ cm}^3$.

Nous avons utilisé les prismatiques pour la flexion et les cubiques pour la compression, ci -dessous la présentation des moules utilisés pour les éprouvettes :



a) Moule cubique $(5 \times 5 \times 5)\text{ cm}^3$ b) Moule prismatique $(2 \times 10 \times 40)\text{ cm}^3$

Figure IV.13 : Moules utilisés pour la confection des éprouvettes

Tableau IV-14 : Composition du mortier

	Sable (g)	Ciment (g)	Fibre courte (FPP) (g)	Tissus de verre
SD/SR	1380	640	0%	0
SD 1V	1380	640	0%	1
SD 2V	1380	640	0%	2
SD 2V 0.5fc	1380	640	0.5%	2
SD 2V 1fc	1380	640	1%	2
SD 3V 0.5fc	1380	640	0.5%	3
SD 3V 1fc	1380	640	1%	3
SD 4V 0.5fc	1380	640	0.5%	4
SD 4V 1fc	1380	640	1%	4
SR 4V 0.5fc	1380	640	0.5%	4

IV.5.2. Le malaxage

Dans le cadre de notre étude, nous avons employé un malaxeur de laboratoire à axe vertical pour mélanger les composants des mortiers afin d'obtenir un matériau uniforme. Ce malaxeur est composé d'une cuve et d'une palette centrale tournante à deux vitesses, une lente et une rapide, avec une capacité de 5 litres.



Figure IV-14 : Malaxeur électrique utilisé dans la fabrication du mortier.

➤ **Procédure du malaxage :**

La procédure de malaxage comprend les étapes suivantes : d'abord, le ciment et le sable sont introduits dans la cuve du malaxeur. Ensuite, le malaxeur est mis en marche à une vitesse lente pendant 30 secondes pour un malaxage à sec. Après cela, l'eau est ajoutée et le malaxage se poursuit pendant 2 minutes.

Ensuite, une pause de 15 secondes est effectuée pour racler rapidement le mortier et le replacer au centre de la cuve.

Enfin, on rajoute le super plastifiant avec une petite quantité d'eau, et le malaxeur est réglé sur une vitesse rapide et le malaxage se poursuit jusqu'à atteindre les 4 minutes requis.



Figure IV-15 : Préparation des mélanges.

Nous devons nous assurer de la propreté du malaxeur, et tout le matériel qui va avec (balance, récipient, spatules, truelles...)

IV.5.3. Préparation des éprouvettes :

- Le tissu est découpé aux dimensions des éprouvettes (10x40) cm².
- Nettoyage de moules en utilisant une brosse métallique, puis ils sont enduits d'huile pour faciliter le démoulage.
- Après le malaxage, d'abord on verse une partie du mortier dans 3 cubes, puis l'autre partie on prend la moitié du mortier dans les moules prismatiques puis on ajoute le textile de verre enduit en résine puis on rajoute l'autre moitié du mortier.



Figure IV-16 : Tissu de verre découpé (10x40).



Figure IV-17 : Coulage des éprouvettes.

Une fois coulées, les éprouvettes sont soumises à des vibrations afin d'éliminer les vides. Ensuite, elles sont recouvertes d'un film plastique pour éviter le retrait et sont stockées dans le laboratoire. Après 24 heures, les éprouvettes sont démoulées et conservées dans de l'eau à température ambiante jusqu'à l'âge de l'essai, 7, 14 et 28 jours pour les cubiques et 28 jours pour les prismatiques.



Figure IV-18 : Conservation des éprouvettes dans l'eau

A l'âge de 28 jours, les éprouvettes sont sorties de l'eau la veille des essais pour qu'elles acquièrent l'état normal d'humidité.

IV.6. Les propriétés mécaniques :

IV.6.1. Essai sur les éprouvettes cubiques :

Pour chaque formulation de mortier normalisé, sont confectionnées des éprouvettes cubiques de dimensions $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}^3$. Au différents âges 7,14 et 28 jours, avant écrasement, les éprouvettes sont retirées de l'eau, puis soumises à l'essai non destructif de mesure de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores, puis essais destructifs de de compression.

Les essais de compression sur les cubiques ont été réalisés avec la machine de compression AUTOTEST (NF P 18-406) au niveau du laboratoire de béton [UMMTO] (voir **Figure IV-19**).



Figure IV-19 : Machine de compression AUTOTEST

IV.6.2 Essai sur les éprouvettes prismatiques :

Pour chaque formulation de mortier normalisé, sont confectionnées des éprouvettes de dimensions $20 \times 100 \times 400 \text{ mm}^3$ à 28 jours, avant écrasement, les éprouvettes sont retirées de l'eau, puis soumises à l'essai non destructif de mesure d'Ultrasons, puis enfin aux essais destructifs de Flexion a 4 points.

Les essais de flexions 4 points ont été réalisés avec la machine IBERTEST (NF P 18-407) au niveau du laboratoire de béton [UMMTO] (voir la figure IV-20).



Figure IV-20 : Machine IBERTEST

IV.7. Conclusion

Ce chapitre détaille les différentes étapes que nous avons suivies pour créer les échantillons d'essai. Les échantillons comprennent des cubes de dimensions $(50 \times 50 \times 50) \text{ mm}^3$, et les prismatiques $(20 \times 100 \times 400) \text{ cm}^3$.

Nous avons débuté par caractériser les différents composants et formuler les mélanges, puis nous avons procédé à la fabrication des éprouvettes selon un mode opératoire spécifique. Les résultats des divers essais mécaniques réalisés dans le cadre de cette étude seront exposés et illustrés dans le chapitre suivant.

V.1. Introduction

Dans le présent chapitre, on marque une étape essentielle de cette étude, en présentant et interprétant les différents résultats obtenus avec les essais de compression sur les mortiers et flexion des plaques en TRC :

- L'essai de compression sur des éprouvettes cubiques de dimension (50x50x50) mm³ à 7, 14 et 28 jours.
- L'essai de flexion 4 points sur des plaques (20x100x400) cm³ à 28 jours.
- L'essai ultrason sur les plaques à 28 jours, et sur les cubes à 7, 14 et 28 jours.

Nous rappelons que dans notre étude, trois paramètres essentiels ont été étudiés, à savoir l'effet du nombre de couches de textile de verre, l'effet de l'incorporation de fibres courtes de polypropylène (FPP) dans le mortier, ainsi que l'effet du sable utilisé (sable de dune et sable de rivière). Les différentes variantes de l'étude sont présentées dans **le tableau V-1** :

Tableau V- 1 : Nomenclature des éprouvettes testées.

Les éprouvettes	Sables	Tissu de verre	Fibres courtes (Polypropylène) %
SD	D	/	/
SR	R	/	/
SD 1V	D	1	/
SD 2V 0.5fc	D	2	0.5
SD 2V 1fc	D	2	1
SR 2V	R	2	/
SD 3V 0.5fc	D	3	0.5
SD 3V 1fc	D	3	1
SD 4V 0.5fc	D	4	0.5
SD 4V 1fc	D	4	1
SR 4V 0.5fc	R	4	0.5
SR 4V 1fc	R	4	1

V.2. Vitesse de propagation d'ondes ultrasonores

En utilisant un testeur ultrasonique EN 12504-4 Réf 10.0497 de marque **Proceq**, appareil de PUNDIT, comprenant un transducteur de transmission et un transducteur de réception calé à une fréquence de 150 kHz. Les mesures ont été réalisées en mode de transmission directe.

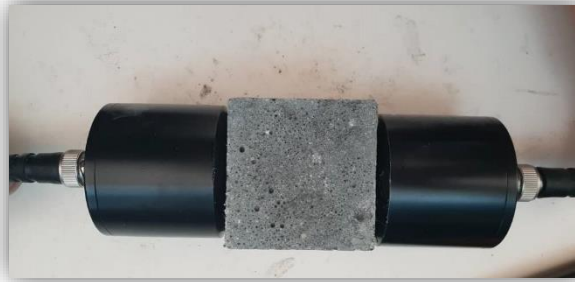


Figure V-1 : Mesure en transmission directe

V.2.1. Résultats des essais d'auscultation sonore (ultra-son)

On a testé à l'ultrason les éprouvettes cubiques à différents âges 7, 14 et 28j. en ce qui concerne les plaques, elles ont été testées à 28j. le test a été reliés à trois reprises pour chaque éprouvette, par la suite on a calculé la moyenne des mesures obtenues pour chaque éprouvette, pour une meilleure précision.

La vitesse des ultrasons est déterminée par mesure du temps que mettent les ondes ultrasonores pour traverser l'éprouvette.

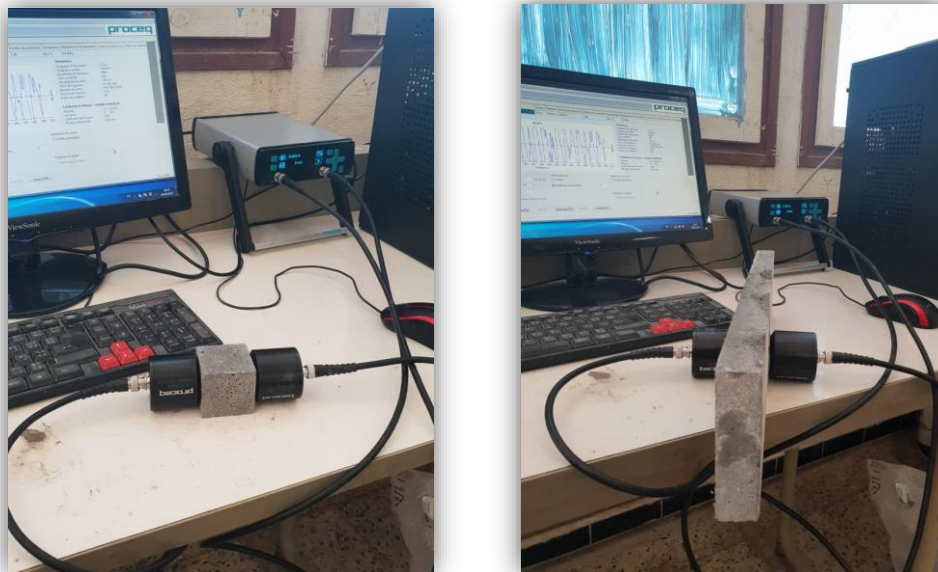


Figure V-2 : Essai ultrason sur les éprouvettes au niveau du Laboratoire de Béton-Génie civil

UMMTO

- *Eprouvettes cubiques* :

Les résultats des essais ultrasons effectués sur les cubes sont donnés dans le **tableau V-2**, et reportés sur histogrammes présentés sur la **figure V-3** :

Tableau V-2 : Vitesse de propagation longitudinale des ultrasons dans les cubes à différents âges.

Eprouvettes	Vitesse à 7j (m/s)	Vitesse à 14j (m/s)	Vitesse à 28j (m/s)
SD	4200	3969	4809
SR	4202	4202	4587
SD 0,5Fc	4808	4587	4500
SR 0,5Fc	3704	3714	3704
SD 1Fc	4717	4273	4425
SR 1Fc	3759	3059	4202

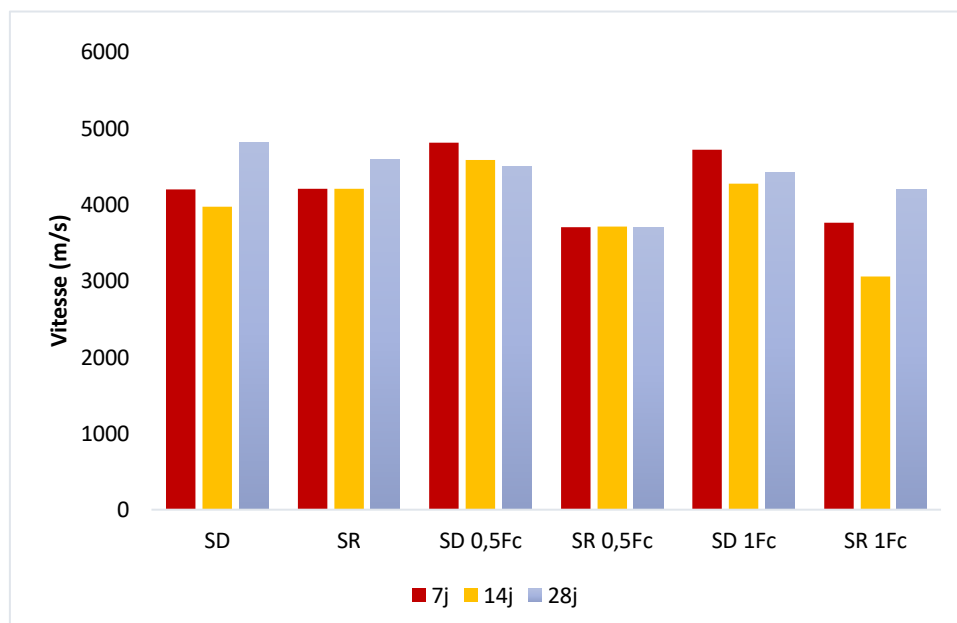


Figure V-3 : Evolution de la vitesse de propagation en fonction de l'âge pour les différentes éprouvettes.

- *Plaques* :

Les résultats des essais effectués sur les rectangles sont donnés dans le **tableau V-3**, et reportés sur histogrammes présentés sur la **figure V-4** :

Tableau V-3 : Vitesses de propagation longitudinale des ultrasons à travers les plaques à 28J.

Eprouvettes	Vitesse des ondes ultrasoniques (m/s)
SD	5333
SR	4630
SD 1V	5480
SD 2V	5682
SD 2V 0.5Fc	5778
SD 2V 1Fc	5200
SD 3V	6250
SD 3V 0.5Fc	6300
SD 3V 1Fc	6025
SD 4V	6600
SD 4V 0.5Fc	6650
SD 4V 1Fc	6452
SR 4V 1Fc	4054

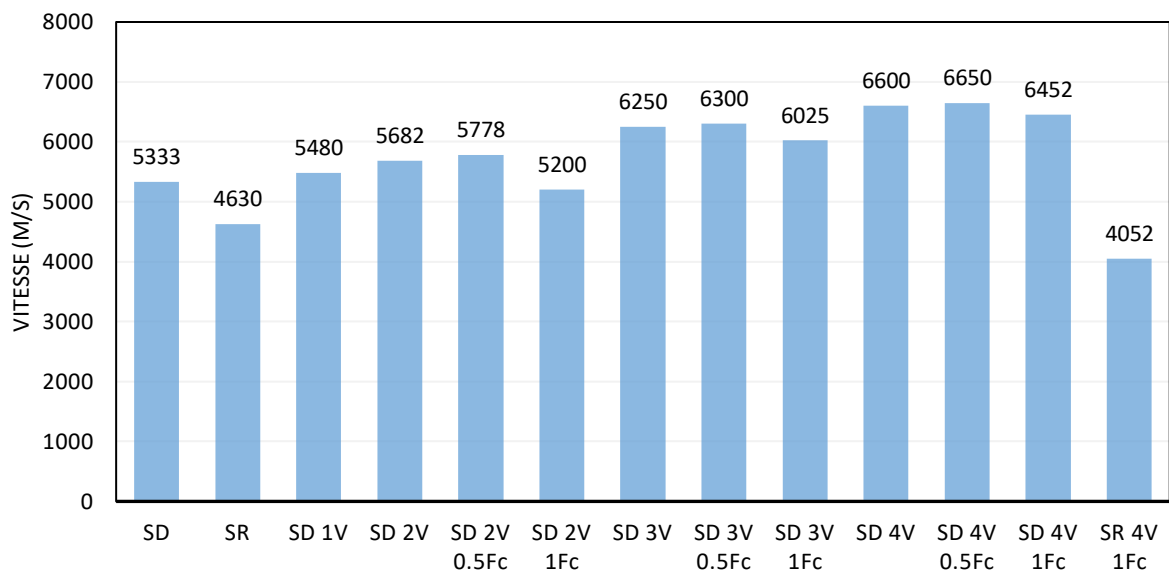


Figure V-4 : Vitesse de propagation des ondes ultrasonores à travers les plaques à 28J.

V.2.2. Interprétation des résultats et discussion

➤ Cubiques :

D'après ces résultats, on remarque que la présence de fibres courtes dans les échantillons de confectionnés avec le sable de dune et de sable de rivière peut influencer la vitesse de propagation des ondes ultrasonores. N'empêche qu'avec les deux pourcentages des fibres courtes ajoutés, on observe que la vitesse avec 0.5% et 1% pour le mortier à base de sable de dune est plus élevée que la vitesse du sable de rivière.

➤ Plaques :

D'après les résultats obtenus, Les mortiers ont tous une très haute résistance, on peut noter que les vitesses obtenues pour les éprouvettes à base de sable de rivière sont inférieures à celles des éprouvettes à base de sable de dune. Les meilleurs résultats ont été obtenus pour les éprouvettes renforcées par 3 et 4 couches de textile de fibres de verre, avec ajout de fibres courtes (0.5% et 1%).

Classement qualitatifs :

- $2500 \text{ m/s} \leq V < 3200 \text{ m/s}$ béton de faible résistance,
- $3200 \text{ m/s} \leq V < 3700 \text{ m/s}$ béton de moyenne résistance,
- $3700 \text{ m/s} \leq V < 4200 \text{ m/s}$ béton à haute résistance,
- $V \geq 4200 \text{ m/s}$ béton à très haute résistance.

En conclusion, on peut dire que tous les mortiers qu'on a testés ont une haute résistance.

V.3.1. Essai de compression à différents âges (ND P 18-406)

La résistance à la compression est calculée selon l'équation suivante :

$$R = \frac{F}{S}$$

Avec :

R : Résistance à la compression en [MPa]

F : Charge de rupture en [N]

S : Section de l'éprouvette qui est égale à (50x50) mm²

Les essais de compressions sont couramment utilisés pour évaluer les propriétés mécaniques des mortiers, y compris leur résistance à la compression. La résistance à la compression est déterminée par la charge maximale enregistrée lors de l'essai de compression, où l'échantillon est soumis à une force axiale continue jusqu'à sa rupture, (Voir la **Figure V-5**).



Figure V-5 : Presse hydraulique **IBERTEST** de l'essai de compression au niveau du laboratoire Béton-UMMTO



Figure V-6 : Eprouvette cubiques après essai de compression à différents âges 7, 14 et 28J.

Le tableau suivant représente les résultats de l'écrasement des éprouvettes cubiques testées à différents âges pour différentes compositions :

Tableau V-4 : Résultats de résistance à la compression à différents âges.

Eprouvettes	7 j	14j	28j
SD	38,92	48,16	53,83
SR	29,11	32,15	36,4
SD 0,5Fc	32,16	34,78	44,1
SR 0,5Fc	30,22	35,14	38,67
SD 1Fc	35,88	64,63	67,78
SR 1Fc	32,1	45,38	49,78

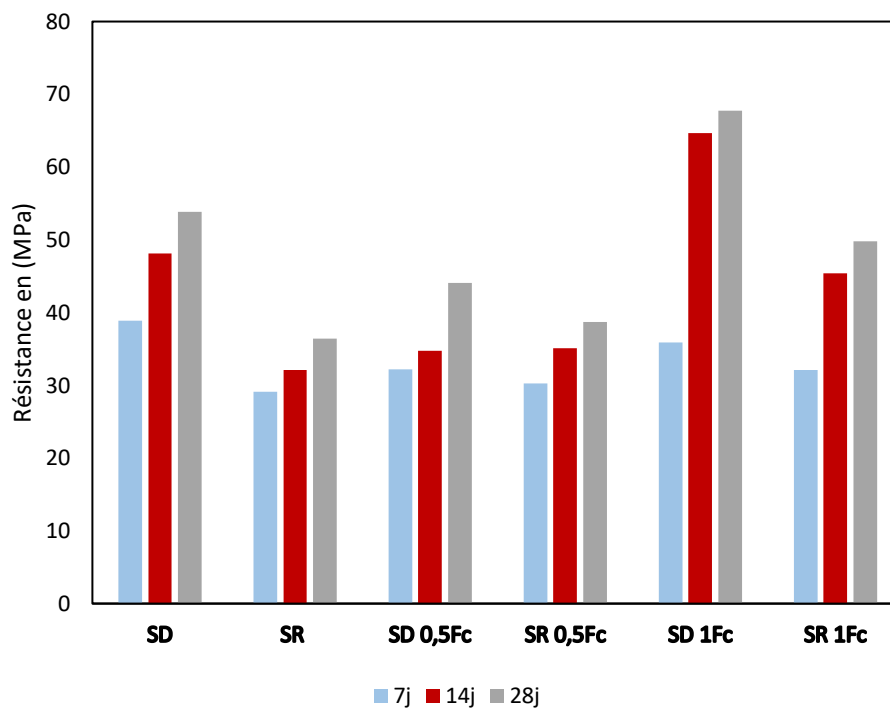


Figure V-7 : Résistance à la compression des mortiers à différents âges.

D'après la **Figure V-7**, il est observé que la résistance à la compression augmente avec le temps pour les deux types de sables mais le sable de dune présente de meilleurs résultats à différents âges par rapport au sable de rivière.

En ce qui concerne l'utilisation des fibres courtes, le sable de dune présente une résistance à la compression plus élevée avec les deux pourcentages (0.5% et 1%), de manière similaire les éprouvettes à base de sable de rivière présentent également une résistance plus importante avec les fibres courtes.

On constate que les résultats les plus élevés sont obtenus à l'âge de 28J pour le cas de l'échantillon à base de sable de dune contenant 1% de fibres courtes avec une valeur de **67.78**.

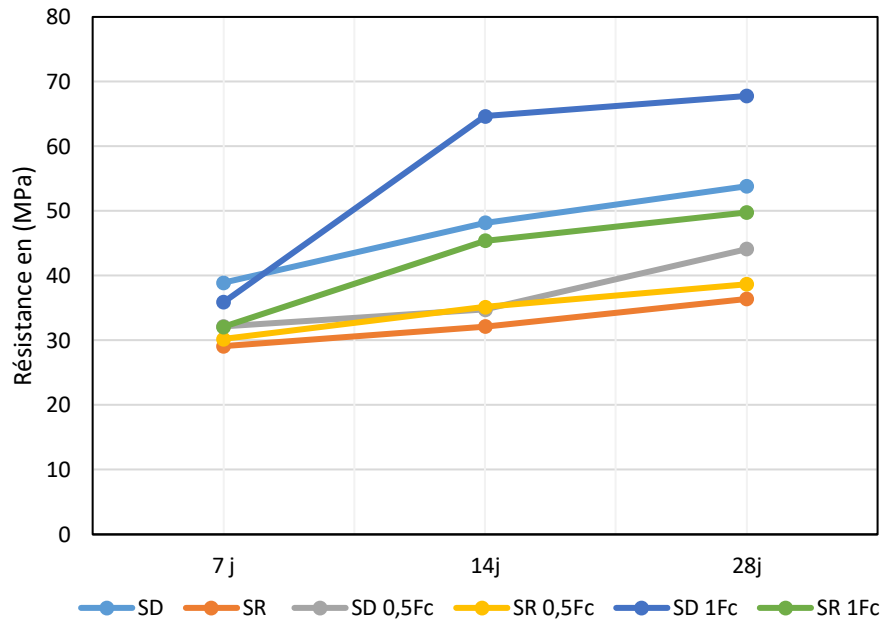


Figure V-8 : Courbe de résistance à la compression des éprouvettes avec et sans Fibres courtes à différents âges

- Les résultats démontrent de manière concluante que l'ajout de fibres courtes aux mortiers composés de sable de dune et de sable de rivière conduit à une nette amélioration de leur résistance à la compression.

V.4.1. Essai de flexion quatre points (ND P 18-407)

Vu que les meilleurs résultats en compression sont obtenus avec l'utilisation du sable de dune, la majeure partie de l'essai de flexion est consacrée pour le sable de dune, et les meilleurs résultats seront confrontés à des résultats obtenus en utilisant du sable de rivière avec le même nombre de couches de textile et le même taux de fibres courtes.

La figure ci-dessous montre une éprouvette sous chargement de flexion quatre points.

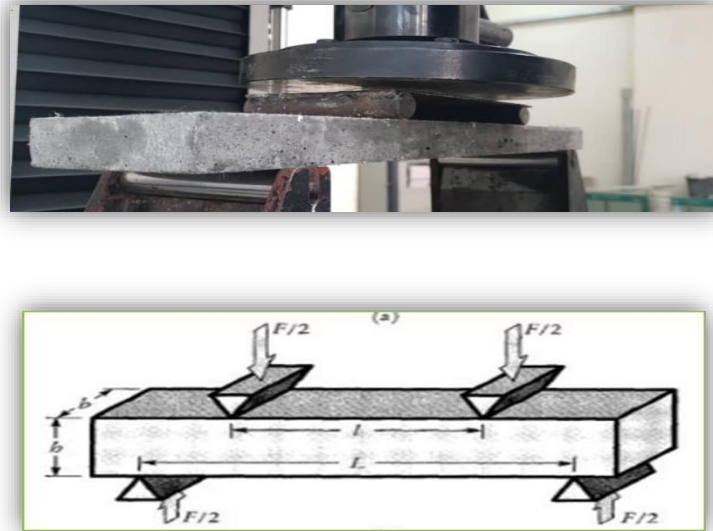


Figure V-9 : Essai mécanique de flexion quatre points au niveau du laboratoire de béton [UMMTO]

V.4.2. Résultats et discussions

La principale différence entre la flexion trois points et la flexion quatre points réside dans le nombre de charges appliquées. La flexion trois points utilise une charge centrale, tandis que la flexion quatre points utilise deux charges équidistantes entre les extrémités de la poutre. Cette différence dans la répartition des charges entraîne des courbures différentes dans la poutre et peut avoir des implications sur la distribution des contraintes et des déformations. La flexion à quatre points permet de générer des moments de flexion plus uniformes sur la plaque, ce qui peut être utile pour caractériser les matériaux de structures dans des conditions plus réalistes.

V.4.2.1. Effet du nombre de couches de textile de verre

Nous rappelons que les éprouvettes ont été confectionnées avec le sable de dune renforcés par 1,2 ,3 et 4 couches de fibres de verre.

Les résultats de l'essai de flexion sont présentés dans les tableaux **V-5**, **V-6**, **V-7**, **V-8** et **V-9** et sont reportés dans les figures ci-dessous :

Tableau V-5 : Résultats de l'effet du nombre de couches sur la résistance à la flexion

	SDT	SD 1V	SD 2V	SD 3V	SD 4V
Contrainte (MPa)	10,72	15,4	17,65	21.64	28,49
Flèche (mm)	2,31	4,97	6.85	10.53	10.68
Force (KN)	1,072	1,54	1,785	2.164	2,849

Les résultats du **tableau V-5** sont repris dans **les figures V-10, V-11 et V-12** qui représentent les histogrammes de flèche et la force ainsi que le radar des contraintes :

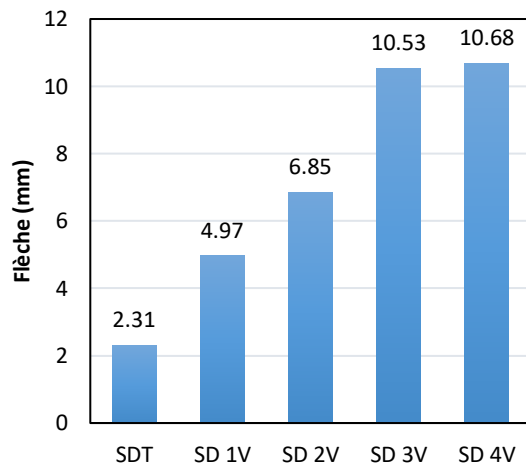


Figure V-10 : Flèche max en flexion à 28J

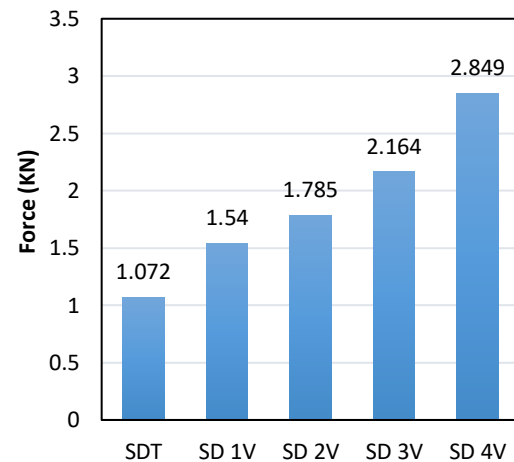


Figure V-11: Force max en flexion à 28J

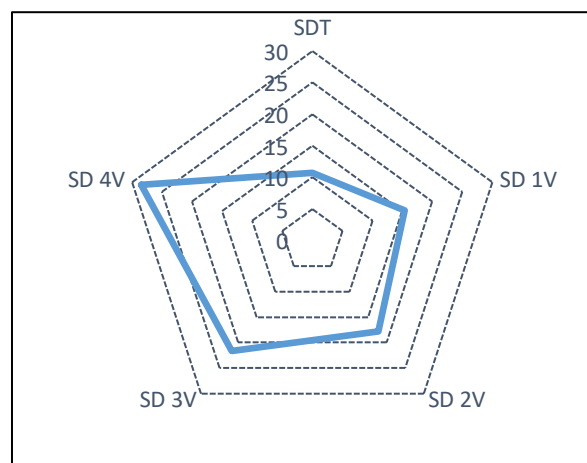


Figure V-12 : Radar des résistances à la compression à 28J.

- Selon les données de **la figure V-10**, on observe clairement une augmentation progressive de la flèche à mesure que le nombre de couches de textile est ajouté, en effet la variante SDT est de **2.31 mm** qui a largement augmenté jusqu'à **10.68 mm** de la variante SD 4V. Le gain obtenu pour la variante SD 1V est **115%** qui a augmenté jusqu'à **362%** pour SD 4V.
- En observant **la figure V-11**, on constate une légère augmentation de la force pour la variante SDT (**1.072 KN**) jusqu'à la valeur la plus élevée de **2.849 KN** pour la variante SD 4V. Et un gain de **44%** pour la variante SD 1V relativement au cas sans renfort (SDT) qui a augmenté jusqu'à **166%** pour SD 4V.

- D'après **la figure V-12**, on constate que plus le nombre de couches utilisées augmente, plus la résistance à la flexion du TRC augmente avec. En effet, le gain obtenu pour la variante SD 1V est de **43.66%** et il a augmenté jusqu'à **166%** pour la variante SD 4V.
- D'après ces résultats obtenus, on constate que malgré la faible épaisseur des éprouvettes qui est de 2 cm, avec l'augmentation du nombre de couches de textile de verre, la force la flèche et la contrainte maximale ont augmenté.

V.4.2.2. Effet de l'utilisation des fibres courtes

1. Effet de variation du pourcentage de fibres courtes :

1.1. Deux couches de textile :

Nous rappelons les caractéristiques des éprouvettes : confectionnées avec le sable de dune renforcées par deux couches de fibres de verre et différents taux de fibres courtes (0.5% ;1%).

Tableau V-6 : L'effet de fibres courtes pour deux couches de verre

	SD 2V	SD 2V 0,5Fc	SD 2V 1Fc
Contrainte (Mpa)	17,85	18,21	23,6
Flèche (mm)	6,85	7.51	9.67
Force (KN)	1,785	1,821	2,36

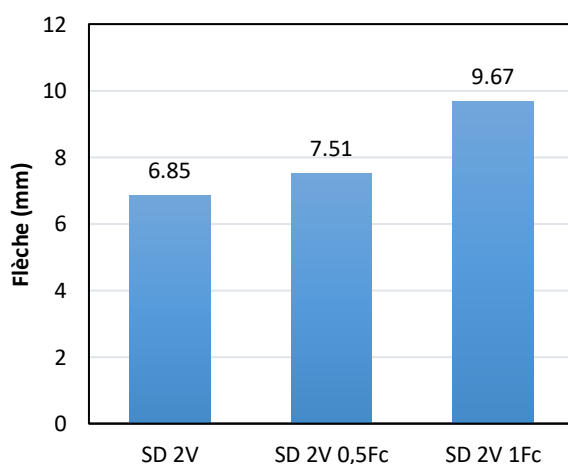


Figure V-13 : Flèche max en flexion à 28J

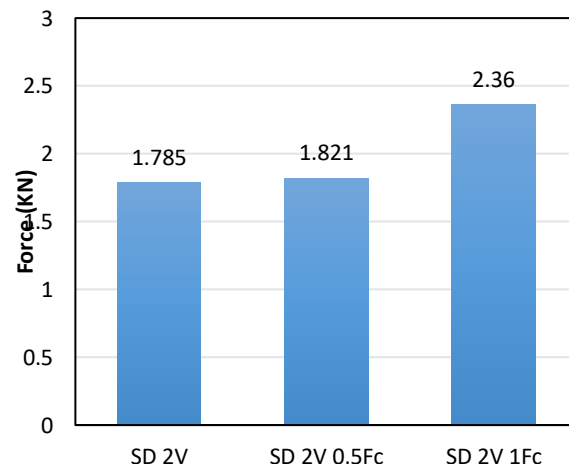


Figure V-14 : Force max en flexion à 28J

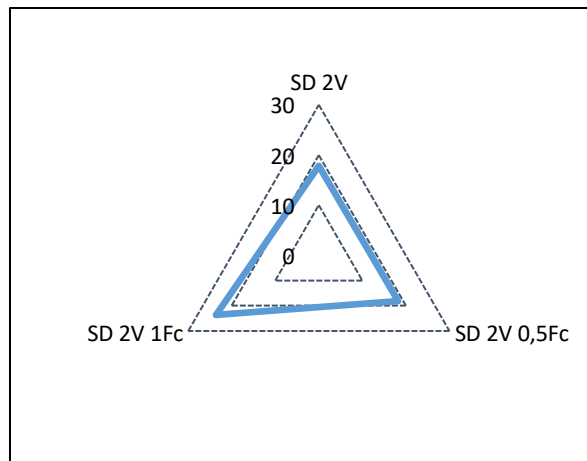


Figure V-15 : Radar des contraintes sous l'effet de fibres courtes sur 2 couches de verre.

- D'après les observations des **figures V-13** et **V-14**, on constate une augmentation progressive de la flèche avec l'ajout de fibres courtes. La variante SD 2V 1Fc présente la plus grande valeur de la flèche, atteignant **9.67 mm**, avec un gain de **41%**. En ce qui concerne la force, on note également une augmentation, bien que légère, allant de **1.785 KN** à **2.36 KN**, soit un gain de **32%**.
- En observant **la figure V-15**, on constate une légère augmentation de la contrainte pour la variante SD 2V à SD 2V 0.5Fc relativement à SD2V. La plus grande valeur est de **23.6 MPa** pour la variante SD 4V 1Fc avec un gain de **34.70 %**.
- En résumé, l'ajout de fibres courtes dans la configuration SD 2V conduit à une augmentation significative de la flèche, la force et la contrainte.

1.2.Trois couches de textile :

Nous rappelons que les éprouvettes sont confectionnées avec le sable de dune, renforcées par trois couches de fibres de verre et différents taux de fibres courtes (0.5%;1%).

Tableau V-7 : L'effet des fibres courtes pour 3 couches de verre

	SD 3V	SD 3V 0,5Fc	SD 3V 1Fc
Contrainte (MPa)	21.64	26,51	28.63
Flèche (mm)	10.53	19,56	23,11
Force (KN)	2.164	2,651	2.863

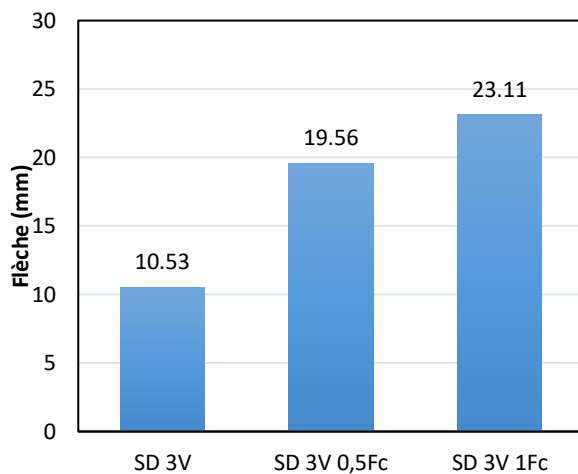


Figure V-16 : Flèche max en flexion à 28J

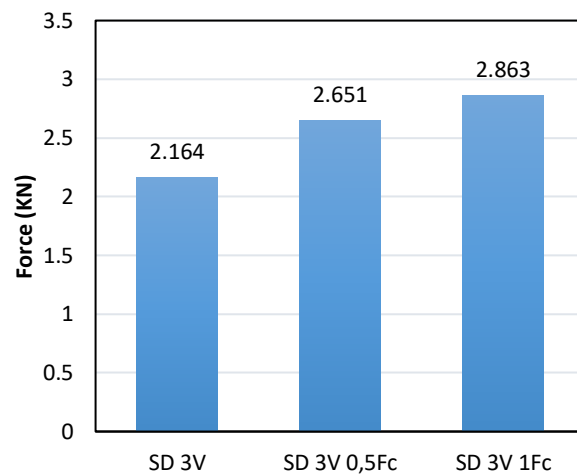


Figure V-17 : Force max en flexion à 28J

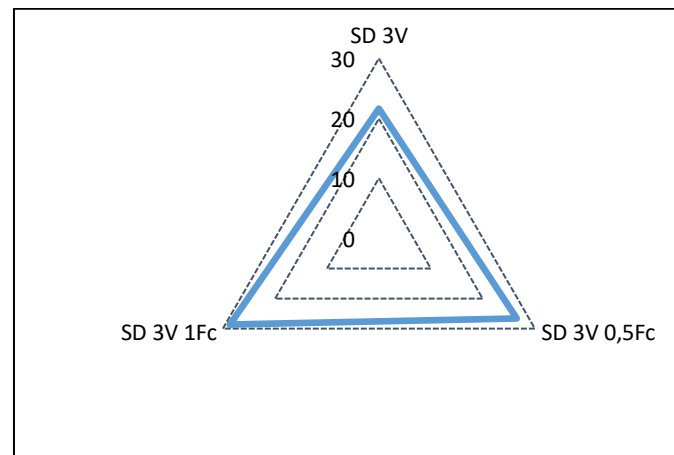


Figure V-18 : Radar des contraintes sous l'effet de fibres courtes avec 3 couches de verre.

- Après l'observation des figures V-16 et V-17, la variante SD 3V présente une valeur de **10.53 mm**, qui a significativement augmenté jusqu'à **23.11 mm** pour SD 3V 1Fc. En effet le gain de SD 3V est de **356%**.
 - D'après la figure V-18, on remarque que les contraintes des variantes SD 3V, SD3V 0.5Fc et SD 3V 1Fc augmente d'une façon régulière respectivement de : **21.64 MPa** à **28.63 MPa**.
- En résumé, l'ajout de fibres courtes dans la configuration SD 3V conduit également à une augmentation significative de la flèche, la force et la contrainte.

1.3. Quatre couches de textile :

Les éprouvettes sont renforcées par quatre couches de verre et différents taux de fibres courtes (0.5% ; 1%).

Tableau V-8 : L'effet des fibres courtes pour 4 couches de verre

	SD 4V	SD 4V 0,5Fc	SD 4V 1Fc
Contrainte (MPa)	28,49	29,5	31,79
Flèche (mm)	10.68	13,92	15,69
Force (KN)	2,849	2,95	3,179

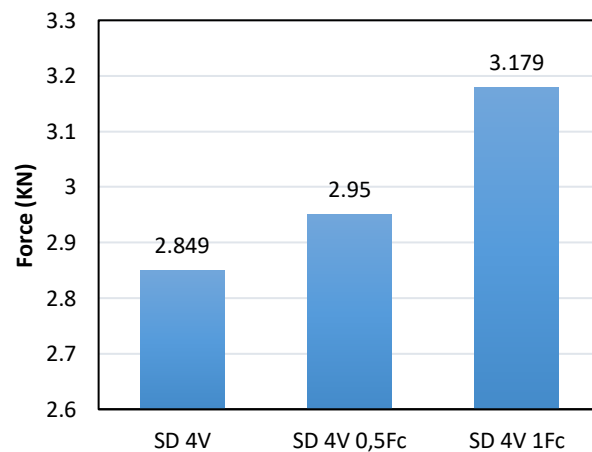
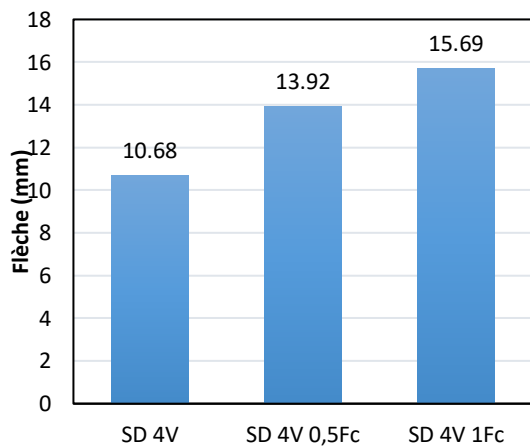


Figure V-19 : Flèche max en flexion à 28J

Figure V-20 : Force max en flexion à 28J

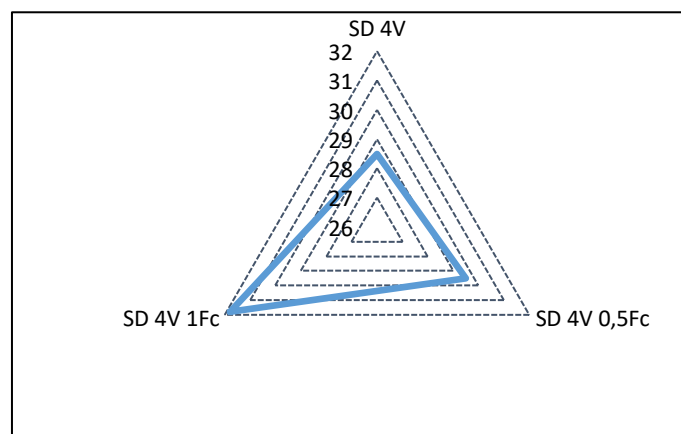


Figure V-21 : Radar des contraintes sous l'effet de fibres courtes sur 4 couches de verre.

- D'après **la figure V-19**, on observe une augmentation progressive en fonction du pourcentage de fibres courtes. La variante SD 4V 1Fc présente la plus grande flèche avec **15,69 mm** et un gain de **47%**, suivie de la variante SD 4V 0,5Fc avec **13,92 mm**. La variante SD 4V a la plus petite flèche avec **10.68 mm**.
 - **Figure V-20** : La force suit une augmentation progressive en fonction du renforcement par les fibres de verre et les fibres courtes. La variante SD 4V 1Fc présente la plus grande force avec **3,179 kN**, suivie de près par la variante SD 4V 0,5Fc avec **2,95 kN**. La variante SD 4V sans fibres courtes à la plus petite force avec **2,849 kN**.
 - D'après **la figure V-21**, on constate que la variante SD 4V 1Fc présente la plus grande valeur de contrainte avec **31,79 MPa**, suivie de près par la variante SD 4V 0,5Fc avec **29,5 MPa**. Ces valeurs sont plus élevées que celle de la variante SD 4V sans fibres courtes qui est de **28,49 MPa**.
- Ces résultats indiquent que l'augmentation du taux de fibres courtes améliore la résistance et la ductilité du TRC, avec une augmentation significative de la contrainte, de la flèche et de la force.

1.3.1. Effet du type de sable :

La meilleure variante en terme de nombre de couches de textile de verre et de taux de fibres courtes, obtenue avec le sable de dune a été utilisée dans cette partie. En effet on a effectué une comparaison entre l'utilisation du sable de dune et celle du sable de rivière pour le même taux de renfort.

Le tableau suivant présente les résultats obtenus :

Tableau V-9 : Résultats de la flexion pour les deux types de sables à 28J.

	SDT	SRT	SD 4V 1Fc	SR 4V 1Fc
Contrainte (MPa)	10,72	16,13	31,79	32,26
Flèche (mm)	2,31	1,51	15,69	14,50
Force (KN)	1,072	1,613	3,179	3,226

Les résultats sont reportés dans les figures V-22, V-23, V-24 ci-dessous.

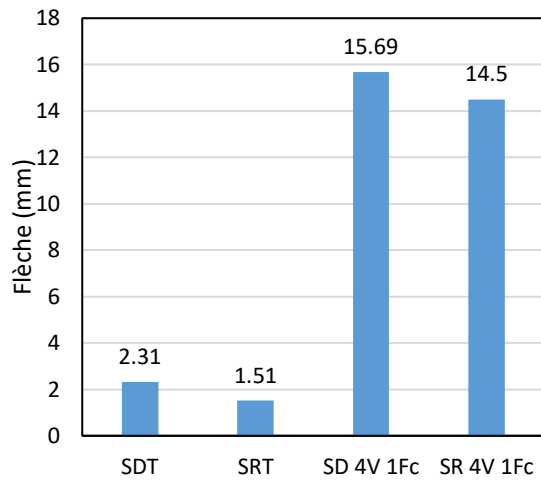


Figure V-22 : Flèche max en flexion à 28J.

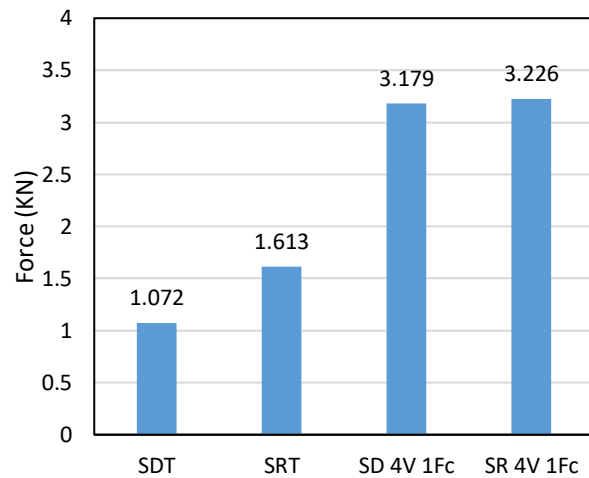


Figure V-23 : Force max en flexion à 28J.

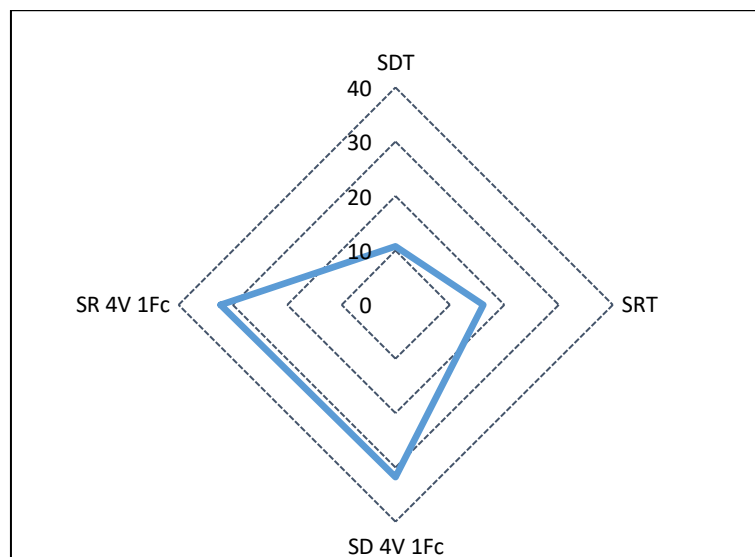


Figure V-24 : Radar des contraintes à 28J.

- D'après la figure V-22, V-23 et V-24, l'ajout de 4 couches de verre et 1% de fibres courtes au mortier, qu'il soit à base de sable de dune ou de sable de rivière, entraîne une nette augmentation de la contrainte. La variante SR 4V 1Fc semble très légèrement supérieure en termes de contrainte par rapport à la variante avec SD 4V 1Fc, mais les différences sont relativement minimales. Cependant, en terme de ductilité (figure V-19) on constate que la variante SD 4V 1Fc a base de sable de dune présente

une meilleure flèche par rapport au cas de la variante SR4V1Fc à base de sable de rivière.

V.5. Mode de rupture des éprouvettes

Une fois les essais de flexion et de compression réalisés sur les différentes éprouvettes, les modes de rupture observés pour tous les échantillons testés sont représentés sur les figures suivantes :

Les éprouvettes présentent deux modes de rupture prédominants : la rupture par flexion, où elles se cassent sous l'effet d'une flexion excessive, et la rupture par cisaillement, où elles se séparent en raison de forces de cisaillement appliquées. En revanche, lorsque le renfort présente des propriétés mécaniques de qualité, on constate une répartition optimale des contraintes, ce qui retarde la défaillance de l'éprouvette et favorise la formation d'un plus grand nombre de fissures.



Figure V-25 : Mode de rupture de l'éprouvette témoin (SD)



Figure V-26 : Mode de rupture de l'éprouvette témoin (SR)



SD 2V



SD 2V 0.5Fc



SD 2V 1Fc



SD 3V 1Fc



SD 4V 1Fc

Figure V-27 : Mode de rupture de plaques renforcées par différentes couches de tissu de verre avec différents pourcentages de fibres courtes.

- Les figures **V-22** et **V-23**, illustrent clairement l'apparition d'une fissure importante se développant au milieu de la plaque pour les éprouvettes témoins (sans renfort). En revanche, les éprouvettes renforcées avec des textiles de verre et des fibres courtes présentent une fissure à proximité d'un des points d'application de la charge (voir la **Figure V-24**). Le mortier renforcé avec quatre couches de textile de verre et 1% de fibres courtes, représenté par l'éprouvette SD 4V 1Fc, présente plusieurs fissurations, témoignant de l'effet du renforcement à la fois par quatre couches de par textile et fibres courtes ce qui a empêché la rupture totale de l'éprouvette, ce qui contraste avec l'éprouvette témoin sans renfort.

- En conclusion, les résultats indiquent que l'augmentation du nombre de couches du renfort améliore la distribution des fissurations, réduisant ainsi la fragilité de la matrice en cas de flexion. Les plaques renforcées avec des textiles, en particulier celles armées de textile de verre et de fibres courtes (FPP), présentent un comportement ductile. Ces observations ont des implications significatives en matière de stabilité des éléments de construction.

V.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réalisé une comparaison de l'effet des deux types de sable (dune et rivière) sur la résistance à la compression du mortier et à la flexion des plaques. Nous avons également étudié l'impact du nombre de couches de textile de verre sur la résistance, ainsi que l'effet de l'incorporation de fibres courtes dans les mortiers.

- En ce qui concerne la compression, nous avons constaté que le mortier à base de sable de dune, avec les deux pourcentages de fibres courtes 0.5% et 1%, présentait de meilleurs résultats que le mortier à base de sable de rivière avec les mêmes pourcentages de fibres courtes, en effet les meilleurs résultats sont pour 1% de fibres courtes, à différents stades de durcissement.
- Pour ce qui est de la flexion, nous avons observé qu'à 28 jours, plus le nombre de couches de tissu de verre augmente, plus la résistance à la flexion augmente également. L'ajout de 0,5% de fibres courtes a entraîné une augmentation significative des résultats, tant au niveau de la force que de la flèche du TRC. En effet, avec 1% de fibres courtes, on a obtenu de meilleurs résultats notamment en termes de résistance de fibres courtes, la résistance a connu une augmentation significative.
- L'utilisation des fibres courtes améliore la capacité portante et la ductilité du TRC à base de sable de dune.
- Pour l'ultrason, le mortier à base de sable de dune a donné de meilleurs résultats que le mortier à base de sable de rivière, que ce soit avec l'ajout de 0,5% ou 1% de fibres courtes. De plus, il est important de noter que l'augmentation du nombre de couches de textile de verre a également eu une influence positive sur la vitesse de propagation des ondes ultrasonores.

En conclusion, les résultats obtenus démontrent l'efficacité de l'utilisation du sable de dune par rapport au sable de rivière, ainsi que l'effet positif de l'augmentation du nombre de couches de tissu de verre et de l'augmentation du pourcentage de fibres courtes sur la résistance et la ductilité du TRC à base de sable de dune.

Conclusion générale

L'objectif de cette étude à caractère expérimental est de contribuer à l'identification des paramètres influençant le comportement des composites TRC en flexion quatre points, en utilisant le sable de dune de Touggourt disponible en quantités inépuisables au sud de l'Algérie, à la place du sable de rivière surexploité. Les principaux paramètres étudiés sont l'effet de la variation du nombre de couches de renfort et le second est l'effet de l'incorporation des fibres courtes de polypropylène dans le mortier du TRC, les principales conclusions issues de notre étude sont :

- ✦ La substitution du sable de rivière par le sable de dune dans la formulation des mortiers testés a conduit à des résultats très favorables en termes de résistance à la compression et à la flexion.
- ✦ Malgré la faible épaisseur les éprouvettes l'augmentation du nombre de couches de fibres de verre jusqu'à quatre couches améliore la résistance et la ductilité du TRC à base de sable de dune, en effet un gain de l'ordre 85% en terme de résistance, et 115 % en terme de flèche ont été obtenus par rapport à l'utilisation d'une seule couche de renfort.
- ✦ L'incorporation de fibres courtes dans le mortier entraîne une augmentation de sa résistance mécanique, tant en compression qu'en flexion et de sa ductilité. Ces résultats démontrent l'effet bénéfique des fibres courtes sur les performances mécaniques du TRC. En effet avec quatre couches de textile de verre, on a obtenu un gain de 11,58 % en termes de résistance et de 47% en termes de flèche pour le taux de 1% de fibres courtes
- ✦ L'augmentation du nombre de couches de textile de fibres de verre, jusqu'à un maximum de 4 couches, associée à l'ajout de 1% de fibres courtes, a conduit aux meilleurs résultats en termes de résistance à la flexion. La meilleure résistance à la flexion (31,79 MPa) a été obtenue pour la variante contenant 4 couches de verre et 1% de fibres courtes de polypropylène
- ✦ comparativement à l'utilisation du sable de rivière avec 4 couches de verre et 1% de fibres courtes de polypropylène, il a été observé que le mortier à base de sable de dune présentait une meilleure ductilité et une capacité portante très proche.

En résumé, ce travail suggère que l'utilisation de mortiers à base de sable de dune présente des avantages significatifs en termes de comportement global et de capacité portante du matériau TRC.

Conclusion générale

Le nombre de couches de textile de fibres de verre et la présence de fibres courtes ont un impact significatif sur la résistance à la flexion du matériau.

Cette recherche fournit des informations précieuses pour optimiser la conception de structures utilisant le mortier armé de fibres et ouvre des perspectives pour de futures études sur l'utilisation d'autres types de fibres et de renforts. Cependant, certaines questions restent en suspens et pourraient constituer une continuation logique de cette étude telles que :

- L'élargissement des méthodes expérimentales pour inclure la sollicitation de cisaillement.
- Analyse des mécanismes d'endommagement liés à la réparation des structures.

Références bibliographiques

- [1] : K. Ait tahar and F. Bouzeboudja, “Dalles en béton renforcées par des grilles composites,” *Matériaux Tech.*, vol. 99, no. 3, pp. 281–289, Aug. 2011, doi: 10.1051/mattech/2011022
- [2] : F. Bouzeboudja and C. Ali Ahmed, “Modeling of the interface between the concrete and the fibers grid in concrete slab,” *J. Build. Mater. Struct.*, vol. 5, no. 1, pp. 137–146, 2018, doi: 10.34118/jbms.v5i1.52.
- [3] : RADI Abdelfattah - HACHEMI Abdelouahed « L’effet de la température sur les propriétés de mortier adjuvante » Master Académique. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M’SILA 17 juin 2018.
- [4] : N. MAAFI, A. ZEMMIT. Etude de l’effet du type d’agrégats sur comportement mécanique d’un béton, Thèse de master, Université Elbahir El Ibrahimi de Bordj Bou Arreridj, 2013.
- [5] : Mémoire des Effets des fibres végétales sur les propriétés physico-mécaniques du béton.
- [6] : BRIKI Leila. Mr. BELAGRAA Larbi, « Contribution à l’étude expérimentale et théorique des mortiers confectionnés avec un sable local et préparé à base d’addition minérales ». Université Mohamed Boudiaf - M’sila 2018/2019.
- [7] : BENCHIHEUB Djihen « Contributions à l’étude de la compréhension des phénomènes et mécanismes d’action des effets des additions sur le comportement des matrices cimentaires » thèse de doctorat, Université 20 Août 1955-Skikda, Année 2018/2019.
- [8] : AZZOUZ Hocine, étude des bétons a base des sables de dune, 03/05/2009.
- [9] : SADHOURI, F, GOUFI, N, & GUEZZOULI, A. Valorisation de l’utilisation des sables concassés par analyse des propriétés des mortiers et des bétons. SBEIDCO-1st. In : International conférence on sustainable bruits environnement infrastructures in developing countries, ENSET Oran (Alegria).2009.
- [10] : BEDERINA.M (2000) « caractéristiques mécaniques et micro structure de béton de sable » mémoire de magistère université de Laghwat.
- [11] : SABLOCRETE (1994) « Béton de sable » Pressent de l’école nationale des ponts et Chaussées, Paris, France.
- [12] : Zilmar R. KNIKOWSKI Rapport de Recherche LPCN°110 « Influence des argiles sur les propriétés des mortiers de ciment », Février 1982.
- [13] : B. Gérard. “ Contribution des couplages mécanique –chimie-transfert dans la tenue à long terme des ouvrages de stockage des déchets radioactifs. ” Thèse de doctorat, Ecole Normale Supérieure de Cachan, France et Université Laval, Québec, Canada-1996.

- [14] : SACI.R; Présent compte de l'orientation des fibres dans une poutre continue à matrice de béton, mémoire de magistère, Université Mohamed Boudiaf M'sila, 2004.
- [15] : Mme MAKHLOUFI Née CHERGUI Nadia : « caractérisation en statique du comportement en traction direct du béton armé de fibres en copeaux » thèse magister, université mouloud MAMRI de Tizi-Ouzou le 30/11/2010.
- [16] : AIT AMEUR, M.M. Contribution à l'étude expérimentale des bétons renforcés de fibres d'acier locales Mémoire de magister, U Tiaret, 1998.
- [17] : MOSTEFA.MIMOUN « Les refond fibreux utilisés dans les matériaux de Construction » .1984.
- [18] : SEGHILANI ASMANE M'ZYENE, SAID : « <https://dl.ummo.dz/handle/ummo/4052>.
- [19] : BERTHELOT Jean-Marie : « comportement mécaniques des structures.
- [20]: SEGHILANI ASMANE M'ZYENE, SAID : « <https://dl.ummo.dz/handle/ummo/4052>.
- [21] : FETNI Fatima Zahra / GOUBI Hanane. (Contribution à l'étude des caractéristiques Mécaniques des mortiers renforcées par les fibres de polypropylène (issues des déchets industriels). 2018/2019.
- [22] : RAPHAEL. Contamine. Contribution à l'étude du comportement mécanique de Composites textile-mortier : application à la réparation et /ou renforcement de poutre en béton Armé vis-à vis de l'effort tranchant (2011).
- [23] : F. ZAoudja Mimoun / M. Mimoune / M. Laquerbe. (Étude expérimentale sur les bétons à base de résidus du bois).
- [24]: Kalaimathi, Ravi Prakash Thangaraj, Ballai Shanmugam, < A review paper on mechanical properties of flexural and impact test on textile reinforced engineered cementitious composites<
- [25] : Raphael contamaine, (contribution à l'étude du comportement mécanique de composites textile-mortier. Application a la réparation et/ou renforcement de poutres en béton armé vis-à-vis de l'effort tranchant. 06/12/2011.
- [26] : Hadjih Chahira, (renforcement interne en double hélice avec TRC de cylindres en béton armé), 2019/2020.
- [27] : <https://fcmq.qc.ca> < files< fibre carbone-Tech janvier2017.pdf.
- [28] : Maizi Ibtissam, Benjoudi Mouslam, mémoire de master II « réhabilitation de structures en béton armé », université 08 Mai 1945 Guelma, Année 2013.

[29] : Dr. Ouzaa Kheira « réhabilitation des structures », Université MOHAMED BOUDIAF Oran, Année 2014/2015.

[30] : ZAKARIA ILYES DJAMAI (contribution à la caractérisation multi-échelle de composites textile mortier a inertie thermique renforcé par matériaux a changement de phase (composite MCP-TRC) : application au bâtiment. Le 13/12/2018.

[31] : Christine BROWAEYS (les matériaux textiles dans la rénovation du bâtiment, atouts et performances), 02/14 /12.

[32] : Ba Tam TRUONG (formulation, performances mécaniques, et applications, d'un matériau TRC pour le renforcement et la réparation de structures en béton / et béton armé. 2019/2020.

RESUME

Depuis plusieurs décennies, le TRC s'est imposé comme un matériau de construction révolutionnaire, et trouve son utilité dans un large éventail d'applications innovantes, notamment les panneaux sandwich, les toits et les meubles d'extérieur [1,2]. Le TRC est un nouveau matériau de construction, caractérisé par une matrice de béton à grain fin combinée à des fils multi filament haute performance qui résistent à la corrosion. Ces fils englobent toute une série de matériaux, tels que le verre alcalis résistant (verre AR), le carbone et le basalte. Dans notre pays, les ressources du sable alluvionnaire deviennent de plus en plus rares, ce qui rend plus que nécessaires, les recherches valorisant sa substitution par des matériaux locaux et plus disponibles. Ce mémoire à caractère expérimental est consacré à l'étude du comportement mécanique d'un mortier armé de textile, en particulier l'effet de l'utilisation du textile de verre et de fibres courtes de polypropylène. Les paramètres étudiés sont le type de sable utilisé, le nombre de couches de textile de verre (1, 2, 3 et 4), ainsi que le pourcentage de fibres courtes (0.5% et 1%). Les résultats ont montré que l'utilisation du sable de dune de Touggourt améliore la résistance à la compression et le comportement en flexion à quatre points du TRC.

***Mot clés :** Mortier armé de textile, compression, flexion, textile de verre, fibres courtes.*

ABSTRACT

Over the past few decades, TRC has established itself as a revolutionary building material, finding use in a wide range of innovative applications, including sandwich panels, roofs and outdoor furniture [1,2]. TRC is a new building material featuring a fine-grained concrete matrix combined with high-performance, corrosion-resistant multi-filament yarns. These wires encompass a whole range of materials, such as alkali-resistant glass (AR glass), carbon and basalt. In our country, alluvial sand resources are becoming increasingly scarce, making research into its substitution by more readily available local materials all the more necessary. This experimental thesis is devoted to the study of the mechanical behavior of a textile-reinforced mortar, in particular the effect of using glass textile and polypropylene short fibers. The parameters studied were the type of sand used, the number of layers of glass fabric (1, 2, 3 and 4), and the percentage of short fibers (0.5% and 1%). The results showed that the use of Touggourt dune sand improves the compressive strength and four-point bending behavior of TRC.

***Key words:** Textile-reinforced mortar, compression, bending, glass textile, short fibers.*