

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique  
UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMARI DE TIZI OUZOU  
Faculté de génie de la construction  
Département de génie civil  
Mémoire de fin d'études  
En vue de l'obtention du diplôme de MASTER Académique  
Option : Structure



## **Thème**

*Caractérisation mécanique d'un mortier à  
base de sable de dune, armé de textile et fibres  
courtes.*

Réalisé par : AIT MENGUELLET Jugurtha

FERHANI Yacine

Dirigé par : Dr BOUZEBODJA .F.

MCB.UMMTO

Soutenu publiquement le 12-10-2023, devant le jury composé de :

Mme KHELOUI .F. Professeure. UMMTO

Présidente

Mr SI SALEM .M. Docteur. UMMTO

Examineur

# *Remerciements*

**Nous remercions dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce travail.**

**Nos remerciements vont a ma promotrice Mme BOUZEBODJA qui a su nous aider à réaliser notre souhait d'un travail de recherche à but environnemental , nous orienter et faire en sorte qu'il soit bien élaboré. Nous la remercions pour son suivi et pour son énorme soutien, qu'elle n'a cessé de nous prodiguer durant toute la période de préparation de ce mémoire.**

**Nos sincères remerciements vont aussi aux membres du jury, Mr SI SALEM, et Mme kheloui, pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs remarques.**

**Nos remerciements à tous les enseignants qui nous ont enrichis de connaissances et de savoir, et tout le personnel du laboratoire de Génie civil de l'université MOULOU MAMMERI de TIZI OUZOU.**

**Nous remercions particulièrement Mme MEDJBAR FADILA et Mr BOUHERRAOUA RACHID.**

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à*

*Mes chers parents, la prunelle de mes yeux qui se sont longtemps sacrifiés pour mon bonheur et ma réussite, une vie entière ne suffira pour leur montrer mon infinie gratitude.*

*A mes frères **Said, Djaffer, Nour** qui ravivent ma vie par leurs joies et présences.*

*A mes amis : Yasmine, Hanane, Soraya, dyhia, Lynda, Zaineb, Sonia, Lydia, Ali, Samir.*

*Mes sentiments les plus sincères d'amitié s'adressent à mon cher copain et binôme **Yacine** pour sa présence, son soutien et tous les moments inoubliables que nous avons passés ensemble.*

*Et à toutes les personnes qui m'ont soutenu jusqu'à la fin.*

## *Jugurtha*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à*

*Mes chers parents, la prunelle de mes yeux qui se sont longtemps sacrifiés pour mon bonheur et ma réussite, Une vie entière ne suffirait pas pour vous montrer l'ampleur de ma gratitude.*

*A mes frères **Nadjib, Amine**, qui ravivent ma vie par leurs joies et présences.*

*A mes amis : Samir, Said, Nouredine, Gaya, mohamed, Abdou, Aghiles, Hocine, Yazid, Kenza, Nabila, Célia, Fouad, Yacine, Sabrina Yasmine, Hanane, Soraya, Lynda, Zaineb, Sonia, Katia, dyhia, Wali, Hanane, wissam, Ahmed, Fouad, Hocine, Nadia, Nassima, Mahiedine, Naim.*

*Je tiens à exprimer mes sentiments d'amitié les plus sincères envers mon cher ami et binôme, **Jugurtha**, pour sa constante présence, son soutien, et les moments inoubliables que nous avons partagés.*

*Ainsi qu'à toute ma famille et à toutes les personnes qui m'ont soutenu jusqu'à la fin.*

*Yacine*

**Liste des figures**

<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Types de textiles et fibres utilisées dans la construction</b>	
I.1. Introduction .....	3
I.2. Les types de textiles dans la construction .....	3
I.2.1. Géotextiles .....	3
I.2.2. Membranes architecturales .....	3
I.2.3. Tissus de renforcement en béton .....	4
I.2.4. Textiles ignifuges .....	4
I.2.5. Textiles isolants .....	4
I.3. Les fibres .....	4
I.3.1. Les fibres de carbone .....	4
I.3.1.1. Avantages et inconvénients de la fibre de carbone .....	5
I.3.1.2. Caractérisation de la fibre de carbone .....	5
I.3.2. Les Fibres d'aramide (Kevlar) .....	6
I.3.2.1. Avantages de la fibre d'aramide .....	7
I.3.3. Fibres de verre .....	8
I.3.3.1. La fibre de verre dans la construction .....	9
I.3.3.2. Avantages de la fibre de verre .....	9
I.4. Technologie des textiles .....	10
I.5. Avantage de l'utilisation des textiles dans la construction .....	11
I.5.1. Isolation thermique .....	11
I.5.2. Isolation acoustique .....	12
I.5.3. Légèreté .....	12
I.5.4. Résistance aux intempéries .....	12
I.5.5. Résistance mécanique .....	12
I.5.6. Protection contre le feu .....	12
I.5.7. Facilité d'installation et de maintenance .....	12
I.5.8. Propriétés écologiques .....	12
I.6. Les coffrages textiles .....	13
I.7. Les fibres courtes .....	13
I.7.1. Les fibres courtes utilisées dans les matériaux de construction.....	14
I.7.1.1. Fibres naturelles .....	14
I.7.1.2. Fibres d'acier .....	14

I.7.1.3. Fibres organiques .....	15
I.7.1.4. Les fibres de polypropylène .....	15
1.7.2. Propriétés de la fibre de polypropylène.....	15
1.7.3. Avantages de la fibre de polypropylène .....	16
I.8. Conclusion .....	16

## **Chapitre II : Types de mortiers et types de sables**

II.1. Introduction .....	18
II.2. Définition d'un mortier .....	18
II.2.1. Composition .....	18
II.2.2. L'eau .....	19
II.2.3. Caractéristiques principales .....	19
II.2.4. Distinction béton, mortier .....	20
II.2.5. Qu'est ce qui augmente la durabilité des mortiers ?.....	20
II.3. Les différents types de mortiers, caractéristiques et usage .....	20
II.3.1. Mortier de ciment .....	20
II.3.2. Mortier de chaux .....	21
II.3.3. Mortier de ciment modifié aux polymères .....	21
II.3.4. Mortier époxy .....	22
II.3.5. Mortier de résine .....	22
II.3.6. Mortier de brique réfractaire .....	22
II.3.7. Mortier d'isolation.....	23
II.4. Les adjuvants .....	23
II.4.1. Définition .....	23
II.4.2. Mode d'action.....	24
II.4.3. Caractères généraux .....	24
II.4.4. Avantages .....	25
II.4.4.1. Avantages économiques .....	25
II.4.4.2. Avantages écologiques .....	25
II.4.4.3. Avantages architecturaux .....	25
II.5. Les ajouts .....	26
II.5.1. Définition.....	26
II.5.2. Classification des ajouts .....	26
II.5.3. Bénéfices de l'utilisation des ajouts minéraux .....	27
II.5.3.1. Bénéfices fonctionnels .....	27

II.5.3.2. Bénéfices économiques .....	28
II.5.3.3. Bénéfices écologiques et environnementaux .....	28
II.6. La pouzolanne .....	28
II.7. Le laitier .....	28
II.8. Les cendres volantes .....	29
II.9. Les fillers .....	29
II.10. Fumée de silice .....	30
II.10.1. Effet de la fumée de silice .....	30
II.11. Les sables .....	31
II.11.1. Classification des sables .....	32
II.11.2. La granularité.....	32
II.11.3. La propreté et la teneur en fines .....	32
II.11.4. La nature minéralogique .....	32
II.12. Sable de dune .....	33
II.12.1. Mécanismes de formation .....	33
II.12.2. Type des dunes .....	33
II.12.3. Les falaises dunaires .....	33
II.12.4. Les dunes perchées .....	33
II.12.5. Les cordons dunaires artificiels .....	33
II.12.6. Physique des dunes .....	34
II.13. Conclusion .....	35

### **Chapitre III : Les TRC et leurs utilisations dans la construction**

III.1. Introduction .....	36
III.2. Définition du Matériau composite TRC (Textile Reinforced Concrete).....	36
III.3. Propriétés matérielles du TRC .....	36
III.3.1. Fibre textile .....	36
III.3.2. La matrice cimentaire .....	37
III.4. Caractéristiques du béton armé textile .....	38
III.5. Production de béton armé textile .....	39
III.5.1. Moulage.....	39
III.5.2. Stratification .....	39
III.5.3. Pultrusion .....	40
III.6. Avantages du béton armé textile(TRC) .....	40
III.7. Applications du béton armé textile (TRC) .....	40

**Figure V.18** : la résistance des plaques selon le taux de la fibre courte.....93

**Figure V.19** :Modes de rupture de la plaque selon le taux de la fibre courte .....95

<b>Tableau I.1</b> : Caractéristiques mécaniques de fibre de carbone.....	6
<b>Tableau I.2</b> : Caractéristiques mécaniques de fibre de Kevlar.....	7
<b>Tableau I.3</b> : caractéristiques mécaniques de la fibre de verre .....	9
<b>Tableau III.1</b> : les trois types de matériaux qui sont principalement utilisés comme renfort textile.....	37
<b>Tableau IV.1</b> : Analyses chimiques (NA 5042).....	48
<b>Tableau IV.2</b> : Composition minéralogique du clinker ( <b>Bogue</b> ).....	49
<b>Tableau IV.3</b> : propriétés physiques .....	49
<b>Tableau IV.4</b> : temps de prise à20° (NA 230) .....	49
<b>Tableau IV.5</b> : résistance a la compression.....	49
<b>Tableau IV.6</b> : caractéristiques physiques et mécaniques des fibres de carbone.....	52
<b>Tableau IV.7</b> : Caractéristiques du super plastifiant.....	56
<b>Tableau IV.8</b> :Analyse granulométrique pour le sable de dune.....	58
<b>Tableau IV.9</b> :Analyse granulométrique pour le sable de rivière .....	59
<b>Tableau IV.10</b> : Module de finesse du sable.....	61
<b>Tableau IV.11</b> :Masse volumique absolue pour le sable de rivière et sable de dune .....	62
<b>Tableau IV.12</b> :Formulation d'un mortier .....	63
<b>Tableau IV.13</b> : Tableau illustrant les différentes abréviations des éprouvettes rectangulaires .....	64
<b>Tableau IV.14</b> : Tableau illustrant les différentes abréviations des éprouvettes cubiques	65
<b>Tableau IV.15</b> : La vitesse de propagation des ondes et la qualité du béton .....	72
<b>Tableau V.1</b> : Vitesse de propagation longitudinale des ultrasons dans les plaques .....	77
<b>Tableau V.2</b> : Vitesse de propagation longitudinale des ultrasons à travers les cubes .....	78
<b>Tableau V.3</b> : Résultats selon le sable utilisé.....	80
<b>Tableau V.4</b> : Résultats selon le taux de la fibre courte utilisé.....	82
<b>Tableau V.5</b> : Résultats selon le sable utilisé.....	85
<b>Tableau V.6</b> : Résultats selon le nombre de couches de textile .....	88
<b>Tableau V.7</b> : Résultats selon le taux de la fibre courte utilisé.....	92

Aujourd'hui, les matériaux composites connaissent un essor significatif grâce à leurs avantages par rapport aux matériaux traditionnels, notamment leur légèreté, leur résistance mécanique et chimique, leur flexibilité de conception et leur durée de vie prolongée. [20]. Les textiles en fibres de verre, d'aramide et de carbone, en particulier, se distinguent par leurs propriétés mécaniques exceptionnelles, les rendant idéaux pour diverses applications en génie civil. [18].

Dans le domaine du génie civil, les matériaux composites sont utilisés de diverses manières. Ils servent à renforcer les éléments de structures, que ce soit en interne ou en externe. Le renforcement externe est couramment employé dans la réhabilitation des structures existantes pour accroître leur résistance. Les textiles composites, tels que les TRC (Textile Reinforced Concrete), sont utilisés pour cette tâche, permettant une flexibilité dans la conception et une réduction significative du poids global de la structure rénovée, grâce à leur haute résistance à la traction et à la corrosion.

Le renforcement interne est employé pour de nouvelles constructions, en particulier pour des structures à parois fines et une architecture complexe, en remplaçant l'acier par des fibres résistantes aux alcalis comme le verre AR, le carbone et l'aramide. Cela a conduit à la création du TRC, qui présente des avantages tels que la résistance à la corrosion et la possibilité de concevoir des structures plus fines et plus légères par rapport aux méthodes traditionnelles en béton armé, contribuant ainsi à l'amélioration de la conception globale des nouvelles constructions.

Dans le contexte du développement durable et de la recherche de matériaux plus abondants et moins coûteux, l'utilisation du sable de dune dans la composition des TRC a été explorée. Une étude expérimentale a été menée pour étudier le comportement mécanique du TRC à base de sable de dune. Cette démarche s'inscrit dans la quête de solutions durables et économiques pour l'industrie de la construction.

### **Objectifs de l'étude :**

Cette étude a pour but d'effectuer une caractérisation expérimentale comparative de la résistance mécanique, tant en compression qu'en flexion quatre points de TRC à base de sable de dune et à base de sable de rivière. Pour ce faire, nous avons abordé trois 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
- L'effet de la variation du nombre de couches du renfort textile sur le comportement en flexion de plaques armées de textile.
- L'influence de l'incorporation des fibres courtes de polypropylène dans la matrice.

### **Méthodologie de travail :**

Ce travail se divise en deux parties principales, la première partie représente la synthèse bibliographique menée en amont des essais en laboratoire. La seconde partie est l'exposition du travail expérimental effectué, la présentation des résultats obtenus, ainsi que leurs interprétations, structurés comme suit.

**Le chapitre I :** Présente 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.

**Le chapitre II :** Présente les mortiers et les sables, en abordant leurs définitions, compositions, différents types, caractéristiques, ainsi que le comportement d'un mortier.

**Chapitre III :** Consacré à la définition et composition des TRC, leurs utilisations dans la construction de géométries particulières, ainsi que les paramètres influençant leur comportement mécaniques.

**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.

## **I.1. INTRODUCTION :**

Le textile est considéré comme le cinquième matériau dans l'industrie de la construction, aux côtés du bois, du verre, du béton et de l'acier. Ce matériau polyvalent a gagné sa place dans le secteur de la construction en raison de ses caractéristiques uniques, telles que sa légèreté, sa résilience et sa flexibilité, qui ouvrent la voie à une multitude d'applications novatrices.

L'introduction souligne également l'opportunité que représente l'adoption de la construction textile dans le domaine du bâtiment. Cette approche novatrice offre la possibilité de créer de nouveaux types de coffrages en tissu flexibles, ainsi qu'un système de fibres spécialement conçues pour renforcer les éléments de construction. Ces fibres sont élaborées avec des propriétés précises visant à améliorer les performances structurelles, à accroître la résistance des structures, à élargir la portée des conceptions architecturales, et à permettre la réalisation de nouvelles structures audacieuses. [4]

Les techniques textiles ont toujours joué un rôle essentiel dans divers domaines, mais elles ont également trouvé leur place dans le secteur de la construction. Grâce à leurs propriétés uniques, les textiles sont utilisés pour une variété d'applications, allant des structures de renforcement aux matériaux de revêtement. Ce chapitre explorera l'utilisation croissante des textiles dans l'industrie de la construction, mis en évidence leurs avantages, leurs applications et leur potentiel futur. [11]

## **I.2. Les types de textiles dans la construction :**

**I.2.1. Géotextiles :** Les géotextiles sont des textiles techniques utilisés dans les applications géotechniques. Ils sont fabriqués à partir de fibres synthétiques ou naturelles et sont conçus pour être résistants à la dégradation chimique, à la pourriture et aux dommages causés par les micro-organismes. Les géotextiles sont utilisés pour renforcer les sols, filtrer l'eau, prévenir l'érosion des sols, protéger les fondations et faciliter la croissance des plantes.

**I.2.2. Membranes architecturales :** Les membranes architecturales sont des tissus légers et flexibles utilisés pour créer des structures tendues dans l'architecture moderne. Elles sont généralement fabriquées à partir de polymères enduits de PVC ou de matériaux composites. Les membranes architecturales offrent une excellente résistance aux intempéries, une bonne translucidité, une durabilité élevée et une grande capacité de formage, ce qui permet la création de structures esthétiques et fonctionnelles telles que les toits tendus, les façades tendues et les structures de protection solaire.

**I.2.3. Tissus de renforcement en béton :** Ces textiles sont utilisés pour renforcer le béton et améliorer ses performances en termes de résistance à la traction et à la flexion. Les tissus de renforcement en béton sont généralement fabriqués à partir de fibres de verre ou de fibres de carbone. Ils sont légers, faciles à manipuler, résistants à la corrosion et peuvent être intégrés de manière transparente dans la structure du béton pour augmenter sa résistance et sa durabilité.

**I.2.4. Textiles ignifuges :** Les textiles ignifuges sont utilisés pour améliorer la sécurité incendie dans les bâtiments. Ils sont traités chimiquement pour résister à l'inflammation, à la propagation des flammes et à la génération de fumée toxique. Ces textiles sont utilisés dans les rideaux de scène, les tentures, les revêtements muraux et d'autres applications où la résistance au feu est essentielle.

**I.2.5. Textiles isolants :** Les textiles isolants sont utilisés pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments en réduisant les pertes de chaleur ou de froid. Ils sont utilisés dans les isolants thermiques, les couvertures isolantes pour les tuyaux et les systèmes de chauffage, ventilation et climatisation (CVC). Ces textiles sont conçus pour avoir une faible conductivité thermique et une bonne résistance à la diffusion de l'air, ce qui contribue à réduire la consommation d'énergie des bâtiments.

Ces exemples montrent comment les textiles sont utilisés dans la construction pour améliorer les performances, la durabilité et la fonctionnalité des structures. Les caractéristiques spécifiques des textiles peuvent varier en fonction de leur utilisation prévue, de leur composition et des traitements auxquels ils sont soumis.

Ces exemples montrent comment les textiles sont utilisés dans la construction pour améliorer les performances, la durabilité et la fonctionnalité des structures. Les caractéristiques spécifiques des textiles peuvent varier en fonction de leur utilisation prévue, de leur composition et des traitements auxquels ils sont soumis. [5]

### **I.3. Les fibres :**

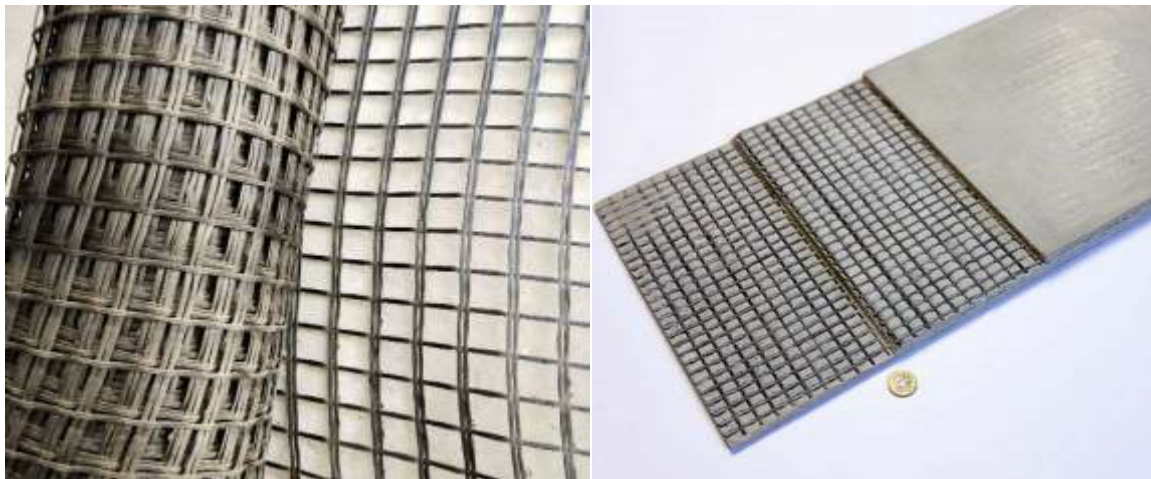
Voici quelques exemples de types de fibres couramment utilisées dans diverses applications, y compris dans le domaine de construction :

#### **I.3.1. Les fibres de carbone :**

Les fibres de carbone sont très résistantes et légères. Elles sont utilisées dans des applications nécessitant une résistance mécanique élevée, telles que la construction d'aéronefs, les

équipements sportifs, les structures en béton précontraint et les éléments de renforcement. Elles ont de très fortes propriétés mécaniques et sont élaborées à partir d'un polymère de base, appelé précurseur. Actuellement, les fibres de précurseur utilisées sont des fibres acryliques élaborées à partir du polycrylonitrile (PAN). La quantité des fibres de carbone finales dépend fortement des qualités du précurseur.

Les fibres de carbone (**Figure I.1**) se caractérisent par un module d'élasticité très élevé elles ont un allongement maximal qui peut atteindre 2,5%.



**Figure I.1** : Grille de fibre de carbone.

### **I.3.1.1. Avantages et inconvénients de la fibre de carbone**

- ✓ Une absorption nulle de l'eau ;
- ✓ Une tenue face à plusieurs solutions chimiques ;
- ✓ Une meilleure endurance à la fatigue ;
- ✓ Une haute tenue thermique ;
- Cependant, la fibre de carbone présente quelques limites telles que:
  - ✓ Une conductivité électrique qui peut engendrer des corrosions galvaniques au contact avec l'acier ;
  - ✓ Un mauvais comportement au choc et à l'abrasion notamment ceux du type stratifié ;

### **I.3.1.2. Caractérisation de la fibre de carbone**

En fonction du taux du carbone, les fibres en carbone se divisent en trois types :

- ✓ Fibre de carbone HR «à haute résistance», issues d'une mise en œuvre par carbonisation.
- ✓ Fibre de carbone HM «à haut module», issues d'une fabrication par graphitassions.
- ✓ THM des fibres «à très haut module» ou et des fibres intermédiaires.

- Les caractéristiques de ces fibres de carbone sont données dans le tableau ci-dessous :

**Tableau I.1** : Caractéristiques mécaniques de fibre de carbone [1].

<b>Filament</b>	<b>Carbone HR</b>	<b>Carbone HM</b>
<b>Densité</b>	<b>1.78</b>	<b>1.8</b>
<b>Résistance a la traction (Mpa)</b>	<b>3500</b>	<b>2200</b>
<b>Module de traction (Mpa)</b>	<b>200000</b>	<b>400000</b>
<b>Allongement a la rupture (%)</b>	<b>1</b>	<b>0.5</b>
<b>Température a la fusion (°C)</b>	<b>2500</b>	<b>2500</b>

### **I.3.2. Les Fibres d'aramide (Kevlar) :**

Les fibres d'aramide, comme le Kevlar, sont connues pour leur résistance élevée à la traction. Elles sont utilisées dans la construction pour renforcer les structures, améliorer la résistance aux chocs et augmenter la résistance à la perforation des matériaux composites.

Les fibres d'aramide (Figure I.14) sont des fibres synthétiques à base de polyamides aromatiques dont les premières applications reviennent à l'année 1972. Ces fibres sont généralement développées pour renforcer les pneumatiques. Il en existe deux types principaux :

- ✓ La fibre module Kelvar49 et Twaron HM.
- ✓ La fibre standard Kelvar29 et Twaron HM50.

Cette dernière présente une bonne résistance à la traction, une aptitude à absorber des vibrations et des chocs ainsi qu'une dilatation thermique nulle.

Cependant, elle est caractérisée par une tenue limitée en compression, une reprise d'humidité importante et un prix élevé. []



Figure I.2 : Fibre d'aramide. [71]

Tableau I.2: Caractéristiques mécaniques de fibre de Kevlar. [71]

Caractéristiques	Kevlar 29	Kevlar 49
Masse volumique (Kg/cm <sup>3</sup> )	1440	1450
Module de Young (GPa)	60	120
Résistance à la rupture (MPa)	3000	3000
Allongement à la rupture(%)	3.6	1.9

- Il existe trois familles principales de polyamides :
  - Les **para-aramides** : ils sont utilisés dans de nombreux domaines d'applications de haute technologie. Principalement connus sous la marque Kevlar par Dupont, ils sont appréciés pour leurs propriétés mécaniques.
  - Les **copolymères de para-aramide** : ces dérivés des para-aramides ont aussi d'excellentes propriétés mécaniques.
  - Les **méta-aramides** : ils sont connus pour leurs excellentes caractéristiques thermiques et chimiques et commercialisés sous la marque Nomex par Dupont. Ils s'utilisent principalement dans les domaines du textile technique et du vêtement de protection.

#### I.3.2.1. Avantages de la fibre d'aramide :

- Haute résistance à la traction.
- ❖ Excellente résistance à la déchirure.
- ❖ Excellente résistance aux vibrations.
- ❖ Faible densité.

- ❖ Excellente stabilité thermique de  $-70\text{ °C}$  à  $+200\text{ °C}$ .
- ❖ Infusible et incombustible.
- ❖ Carbonisation à  $425\text{ °C}$ .
- ❖ Bonne résistance à la fatigue.
- ❖ Excellentes propriétés diélectriques.
- ❖ Bonne résistance chimique aux carburants, à l'eau de mer mais pas aux acides ni aux bases fortes. [7]

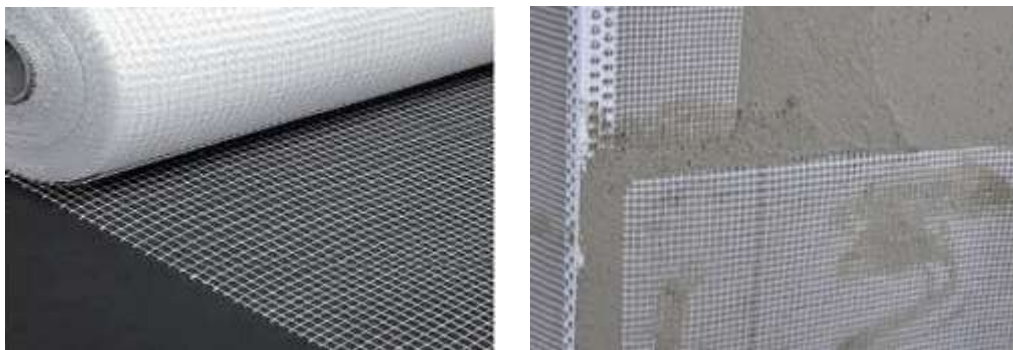
### I.3.3. Fibres de verre :

Les fibres de verre sont largement utilisées dans la construction. Elles sont fabriquées à partir de filaments de verre fins et sont principalement utilisées pour renforcer le béton, les composites et les matériaux d'isolation.

Elles sont les fibres les moins chères par rapport aux autres types. C'est le matériau le plus utilisé pour les composites. Elles sont constituées essentiellement de sable (silice) et d'additifs (alumine, carbonate de chaux, magnésie, oxyde de bore). Leur module d'élasticité est de 70 à 85 GPa, leur allongement extrême varie de 2 à 5%, en fonction de leur qualité, en revanche les principaux inconvénients des fibres de verre sont la relaxation et la sensibilité face à l'humidité.

Il existe trois types de fibres de verre :

- E : pour les composites, de grandes diffusions et l'application courantes.
- R : pour les composites hautes performances.
- D ou S: pour la fabrication de circuits imprimés (propriétés diélectriques).



**Figure I.3 :** Grille de fibre de verre [3].

- Le tableau suivant résume quelques caractéristiques mécaniques des différents types de fibres de verre.

**Tableau I.3 :** caractéristiques mécaniques de la fibre de verre [3].

<b>Caractéristiques</b>	<b>Verre E</b>	<b>Verre A</b>	<b>Verre D ou S</b>
<b>Résistance à la rupture (MPa)</b>	<b>3400 à3500</b>	<b>4400</b>	<b>4600</b>
<b>Module de Young (GPa)</b>	<b>73</b>	<b>86</b>	<b>87</b>
<b>Allongement à la rupture (%)</b>	<b>4.6 à4.8</b>	<b>5.5</b>	<b>5.4</b>
<b>Masse volumique (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.54</b>	<b>2.55</b>	<b>2.54</b>

### I.3.3.1. La fibre de verre dans la construction :

En raison de sa résistance, la fibre de verre est extrêmement populaire dans l'industrie de la construction pour l'aménagement des logements et des toitures :

- ❖ Le treillis de construction en fibre de verre est utilisé pour la rénovation interne et externe ;
- ❖ Les systèmes d'isolation des murs intérieurs, de plafonds et de revêtements de sol en fibre de verre améliorent l'efficacité énergétique ;
- ❖ Et enfin elle est utilisée comme isolant acoustique et thermique.

### I.3.3.2. Avantages de la fibre de verre :

- ❖ Résistance à la corrosion ;
- ❖ Haute solidité mécanique ;
- ❖ Résistance aux produits chimiques ;
- ❖ Résistance aux rayons UV et au temps ;
- ❖ Isolant électrique et thermique ;
- ❖ Résistance au chaud et au froid ;
- ❖ Faible coefficient thermique d'extension ;
- ❖ Antimagnétique sans formation d'étincelles ;

- ❖ Transparence électromagnétique ;
- ❖ Possibilité de choisir la couleur ;
- ❖ Façonnage facile ;

Maintenance minimale. [3]

#### I.4. Technologie des textiles :

L'objectif principal du tissage est de maintenir la disposition relative des fils. Les textiles doivent conserver leur forme initiale même lorsqu'ils sont soumis à diverses manipulations, y compris lorsqu'ils sont intégrés dans des composites renforcés de fibres (TRC), comme le découpage et l'enrobage dans le mortier.

Il existe deux familles de technologies textiles : bidimensionnelles et tridimensionnelles. Les textiles bidimensionnels peuvent absorber des forces uniquement dans les deux directions du plan. Les préformes bidimensionnelles comprennent les textiles unidirectionnels, où tous les fils, à l'exception de ceux nécessaires au maintien de la structure, sont orientés dans la même direction. Les composites fabriqués avec des renforts bidimensionnels consistent en un empilement de textiles bidirectionnels indépendants les uns des autres. Les forces hors du plan sont principalement prises en charge par la matrice, ce qui limite la résistance du composite perpendiculairement à son plan et le rend sensible au délaminage.

Pour éviter ce type de défaillance, les textiles tridimensionnels ont été développés. Les préformes tridimensionnelles permettent de répartir la charge dans les trois directions de l'espace. De plus, elles simplifient le processus de fabrication en utilisant un seul pli de textile. Enfin, les textiles tridimensionnels permettent un positionnement plus précis des fils à travers l'épaisseur du composite. [11]



**Figure 1-4** : Grille à maille 2D et 3D

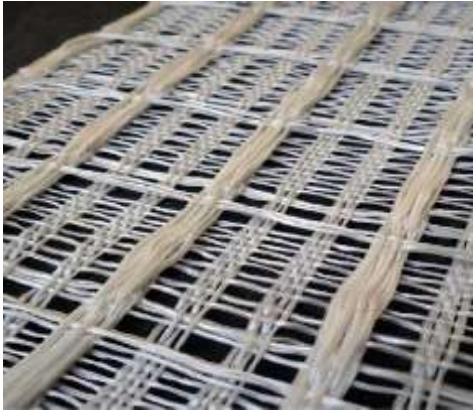


Figure I.5 : Matériau entrelacé [9]



Figure I.6 : Tissu double couche [9]

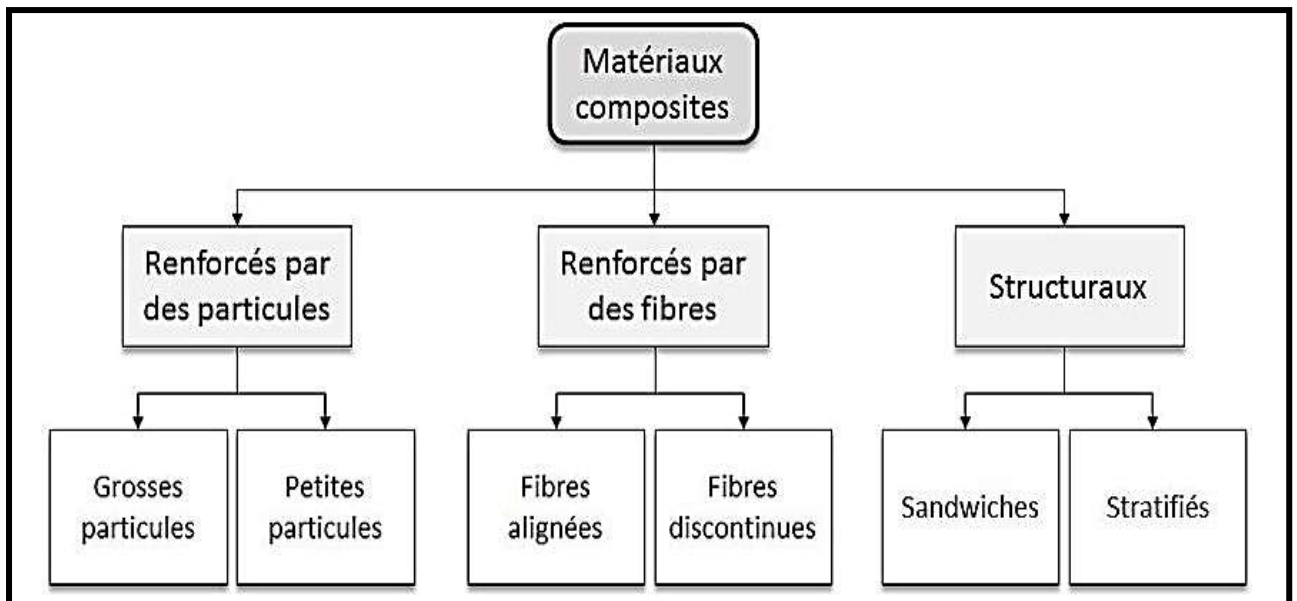


Figure I.7 : principales technologies de mise en œuvre des renforts textiles [11].

### I.5. Avantage de l'utilisation des textiles dans la construction :

Les textiles offrent plusieurs avantages lorsqu'ils sont utilisés dans la construction. Quelques-uns des principaux avantages des textiles dans ce domaine :

**I.5.1. Isolation thermique :** Les textiles utilisés dans la construction peuvent être développés pour offrir une meilleure isolation thermique. Des matériaux à faible conductivité thermique, tels que les fibres de verre, les fibres céramiques ou les textiles à base de nanomatériaux, peuvent être intégrés dans les textiles pour améliorer leur capacité d'isolation.

**I.5.2. Isolation acoustique** : Les textiles peuvent également être utilisés pour améliorer l'isolation acoustique des bâtiments. Des textiles spécialement conçus pour absorber ou réduire les bruits indésirables peuvent être utilisés dans les revêtements muraux, les panneaux de plafond ou les tapis.

**I.5.3. Légèreté** : Les textiles utilisés dans la construction sont généralement plus légers que les matériaux traditionnels tels que le béton, l'acier ou le bois. Cela facilite le transport et l'installation sur le chantier, réduisant ainsi les coûts de manutention et les besoins en équipement lourd.

**I.5.4. Résistance aux intempéries** : Les textiles destinés à être utilisés à l'extérieur doivent être résistants aux intempéries, tels que la pluie, le vent et les rayons UV. Les revêtements imperméables et les traitements spéciaux peuvent être appliqués sur les textiles pour les rendre plus résistants aux conditions climatiques défavorables.

**I.5.5. Résistance mécanique** : Les textiles utilisés dans la construction doivent souvent être résistants et durables. Des recherches sont menées pour développer des textiles à haute résistance mécanique, capables de supporter des charges élevées et de résister à l'usure.

**I.5.6. Protection contre le feu** : La sécurité incendie est une préoccupation majeure dans la construction. Des textiles ignifuges peuvent être développés pour offrir une meilleure protection contre les incendies. Des matériaux résistants au feu, tels que les fibres de verre traitées ou les textiles à base de fibres aramides, peuvent être utilisés pour fabriquer des textiles ignifuges.

**I.5.7. Facilité d'installation et de maintenance** : Les textiles sont généralement faciles à installer et à entretenir. Ils peuvent être préfabriqués en usine, ce qui permet de réduire les délais de construction. De plus, ils peuvent être nettoyés et réparés plus facilement que d'autres matériaux de construction.

**I.5.8. Propriétés écologiques** : Certains textiles utilisés dans la construction sont fabriqués à partir de matériaux recyclés ou renouvelables, ce qui contribue à réduire l'empreinte écologique. De plus, les textiles peuvent être recyclés en fin de vie, ce qui en fait une option plus durable par rapport à certains matériaux traditionnels. [12]

### I.6. Les coffrages textiles :

Le coffrage traditionnel est une structure temporaire en bois ou en acier dans laquelle on coule le béton afin qu'il prenne la forme désirée souvent simple, il est protégé durant le temps de séchage. Ces coffrages sont structurellement inefficaces et ajoutent un poids supplémentaire à la construction. Donner au béton des formes variées et complexes est une majeure préoccupation des concepteurs de nos jours, Afin de satisfaire à cette tendance, et à afin de faire face aux contraintes liées à l'usage des coffrages rigides, de nombreuses initiatives visant à évaluer les possibilités que peut offrir le textile en tant que matériau de coffrage flexible ont été envisagées dans le monde entier. [11]



Figure I.8 : coffrage de sol [10]



Figure I.9 : panneau de coffrage [11]

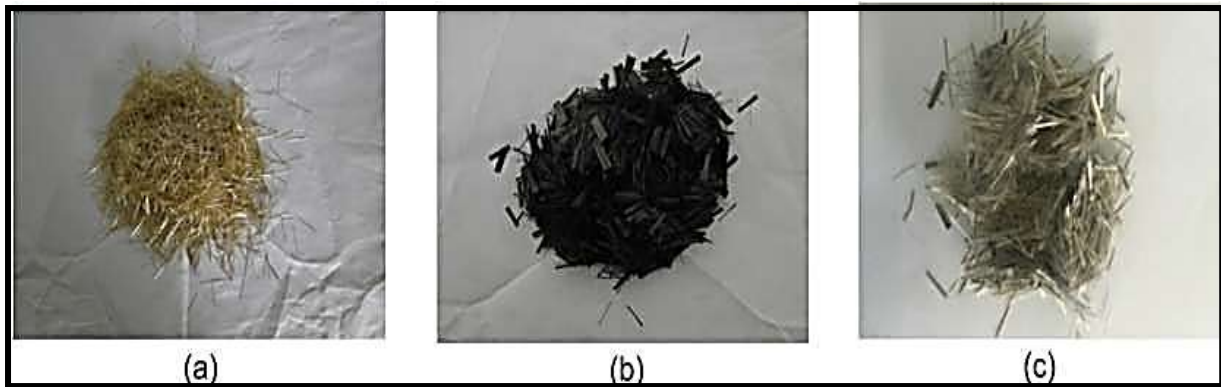
### I.7. Les fibres courtes :

Les derniers développements dans le domaine des fibres, ont commencé au début des années soixante. Une multitude de types de fibres ont été introduites dans le commerce comme étant de nouvelles applications parmi lesquelles on distingue :

- Fibres naturelles, végétales ou minérales (sisal, Jute, Bambou, Amiante).
- Fibres de verre résistantes ou non aux alcalis.
- Fibres de polypropylène.
- Fibres d'acier (rectilignes ondulées, crantées à crochets).
- Fibres de carbone.
- Autres fibres (céramique, nylon, polyester).

Ces divers types de fibres se présentent sous différentes formes coupées ou continues. (Voir Figure I.10)

**Figure I.10** : configurations des fibres coupées : (a) fibres d'acier, (b) fibres de carbone et (c) fibres de basalte.



- Les qualités recherchées pour ces fibres sont les suivantes :
- ✓ Bonne adhérence a la matrice.
- ✓ Module d'élasticité adapté (il est parfois supérieur à celui de la matrice).
- ✓ Compatibilité avec le liant, elles ne doivent être ni attaquées, ni détruites à terme.
- ✓ Être d'un prix abordable compte tenu des dosages a utilisé
- ✓ Être assez courtes, fines et flexibles pour permettre un bon malaxage et une mise en forme faciles (cas des matériaux mis en forme par extrusion).
- ✓ Être assez longues, non fragiles pour ne pas être cassées lors du malaxage (utilisation pour le béton). [1]

### **I.7.1. Les fibres courtes utilisées dans les matériaux de construction :**

Dans la construction, plusieurs types de fibres courtes sont utilisés pour renforcer les matériaux et améliorer leurs performances. Voici quelques-uns des types de fibres les plus couramment utilisés :

**I.7.1.1. Fibres naturelles :** Certaines fibres naturelles, comme le chanvre, le lin et le jute, sont utilisées dans la construction. Elles sont principalement utilisées pour la fabrication de matériaux composites respectueux de l'environnement, tels que les panneaux isolants, les revêtements de sol et les éléments de construction.

**I.7.1.2. Fibres d'acier :** Les fibres d'acier, sous forme de fils ou de fibres courtes, sont utilisées pour renforcer le béton et les mortiers. Elles améliorent la résistance à la fissuration, la résistance aux chocs et la résistance à la fatigue des structures en béton. Ces fibres sont utilisées individuellement ou en combinaison les unes avec les autres, en fonction des propriétés recherchées pour le matériau final et des exigences spécifiques du projet de construction.

**I.7.1.3. Fibres organiques :** Les fibres organiques sont de plus en plus utilisées dans le domaine de la construction en raison de leurs avantages écologiques et de leurs propriétés améliorées. Les fibres organiques les plus utilisées dans la construction sont : les fibres de bois, les fibres de polyesters ainsi que les fibres de polyamides.

**I.7.1.4. Les fibres de polypropylène :**

La fibre de polypropylène a été proposée pour la première fois en 1965 comme mélange au béton pour la construction de structures résistantes aux explosions, la fibre améliore encore la résistance du béton, Aujourd'hui, elle est utilisée comme matériau de fibrillation discontinue de petite taille pour la production de béton renforcé de fibres. L'utilisation de la fibre de polypropylène s'est considérablement développée dans la construction de diverses structures. Parce que l'inclusion de fibres dans le béton améliore la ténacité, la résistance à la flexion, la résistance à la traction et la résistance à l'impact du béton, ainsi que le mode de rupture du béton. La fibre de polypropylène est économique, disponible en abondance, et, comme toutes les fibres artificielles, d'une qualité constante. La fibre de polypropylène est illustrée à la figure ci-dessous [33]

**1.7.2. Propriétés de la fibre de polypropylène**

La matière première de la fibre de polypropylène est purement charbonnière. Sa méthode de polymérisation, son poids moléculaire excessif et la façon dont il est transformé en fibres se combinent pour donner aux fibres de polypropylène des propriétés très utiles, comme décrit ci-dessous :

- la résistance à l'usure et à la corrosion.
- La fibre de polypropylène est chimiquement inerte. Elle ne réagit pas avec les produits chimiques contenus dans le béton. Au contact des produits chimiques les plus agressifs, seul le béton réagit.
- En contact avec les produits chimiques les plus agressifs, seul le béton se détériorera toujours en premier.



**Figure 1.11** : Fibre de polypropylène. [1]

- La surface hydrophobe n'étant pas humidifiée par une pâte de ciment, elle empêche les fibres coupées de se mettre en boule pendant le mélange comme les autres fibres.
- La demande en eau est nulle pour les fibres de polypropylène.
- La fibre de polypropylène est orientée de façon aléatoire dans le béton, ce qui lui confère une résistance dans toutes les directions.
- Il s'agit d'un matériau plus léger que les ingrédients du ciment, il n'augmente donc pas la charge morte de la structure.

### **1.7.3. Avantages de la fibre de polypropylène**

- La fibre de polypropylène présente les avantages suivants :
- C'est un matériau relativement peu coûteux
- Elle a un faible coefficient de frottement.
- Elle résiste à l'humidité.
- Bonne résistance chimique.
- Elle possède une résistance à la flexion, à la fatigue et aux chocs.

### **I.8. Conclusion :**

En conclusion, les textiles et les fibres jouent un rôle essentiel dans l'industrie de la construction, offrant une multitude d'applications et de bénéfices. Les choix de textiles et de fibres dépendent des besoins spécifiques du projet, des conditions environnementales et des réglementations en vigueur. Les textiles géotextiles, les textiles composites renforcés de fibres, les textiles ignifuges et résistants aux intempéries, ainsi que les matériaux de construction isolants en fibres naturelles ou synthétiques sont autant d'exemples des nombreuses options disponibles.

Ces matériaux offrent des avantages tels que la résistance à la corrosion, la durabilité, la légèreté, l'isolation thermique ou acoustique, la résistance aux chocs et aux contraintes mécaniques, ainsi que des propriétés ignifuges ou imperméables. Les innovations constantes dans ce domaine conduisent à l'émergence de textiles et de fibres de plus en plus performants et respectueux de l'environnement.

Il est crucial pour les professionnels de la construction de bien comprendre les caractéristiques de ces textiles et fibres, ainsi que leur adéquation aux besoins spécifiques de chaque projet, afin d'assurer la sécurité, la durabilité et l'efficacité des constructions. Par conséquent, la sélection judicieuse des textiles et des fibres demeure un élément clé dans la réussite de tout projet de construction moderne, contribuant ainsi à l'évolution constante et à l'amélioration de l'industrie de la construction.

### II.1. Introduction :

Dans toute construction, il est indispensable de réunir entre les différents éléments (blocs de béton, briques, éléments en béton préfabriqué, etc.) au moyen d'un mortier ou d'autre liant que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. [19]

Le mortier est à la base de tous les travaux de maçonnerie que ce soit pour construire, pour enduire ou pour réparer.

Le sable et l'un des composants du béton ou de mortier dans le domaine de génie civil. Les sables se différencient par un grand nombre de paramètres et on peut distinguer différents types.

Notre étude compte aussi à présenter les différents types de sable et d'identifier ce matériau physiquement et chimiquement et sont utilisés en domaine de construction. [15]

### II.2. Définition d'un mortier :

Le mortier est un des matériaux de construction, qui contient du ciment ; de l'eau ; du sable ; des adjuvants et éventuellement des additions. Ils peuvent être très différents les uns des autres selon la nature et les pourcentages des constituants, le malaxage, la mise en œuvre et la cure. [21]

Les mortiers peuvent être :

- ✓ Préparés sur le chantier en dosant et en mélangeant les différents constituants y compris les adjuvants.
- ✓ Préparés sur le chantier à partir de mortiers industriels secs pré dosés et avant l'utilisation, il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire.
- ✓ Livrés par une centrale : ce sont des mortiers prêts à l'emploi. [21]

#### II.2.1. Composition :

Les mortiers sont constitués par des mélanges de :

- ❖ Liant (ciment ou chaux)
- ❖ Eau
- ❖ Sable
- ❖ Adjuvants

- On peut utiliser :
  - ❖ Les ciments normalisés (gris ou blanc);
  - ❖ Les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt, ..) ;
  - ❖ Les liants à maçonner ;
  - ❖ Les chaux hydrauliques naturelles ;
  - ❖ Les chaux éteintes ;[19]

### II.2.2. L'eau :

- L'eau présente dans le béton joue deux fonctions principales :
- Elle lui confère sa maniabilité à l'état frais (ses propriétés rhéologiques) et assure l'hydratation du ciment.
- L'eau est constituée de molécules polaires de H<sub>2</sub>O dont la taille est approximativement égale à 1 angström.
- Ces particules exercent les unes sur les autres des forces d'attraction qui jouent un rôle fondamental sur ses propriétés rhéologiques.
  - L'eau étant un milieu diélectrique, elle modifie les forces inter-granulaires. Son action n'est pas négligeable pour les grains très fins (tels que les ciments et les fines).
  - L'eau donne au béton sa maniabilité, d'une part par son action lubrifiante sur les différents grains, d'autre part par la cohésion due à la pâte provoquée par l'association des grains fins (ciment et fines) avec elle.
  - Le dosage en eau doit donc être limité au « juste nécessaire » à l'hydratation du liant et aux exigences d'ouvrabilité. L'eau est le mal nécessaire de réglage le plus simple de la consistance. [19]

### II.2.3. Caractéristiques principales :

Les caractéristiques principales des mortiers sont :

- ❖ Ouvrabilité ;
- ❖ Résistances mécaniques
- ❖ Retraits et gonflements, etc. [15]

### II.2.4. Distinction béton, mortier :

La différence entre le béton et le mortier est illustré dans le schéma ci-dessous :

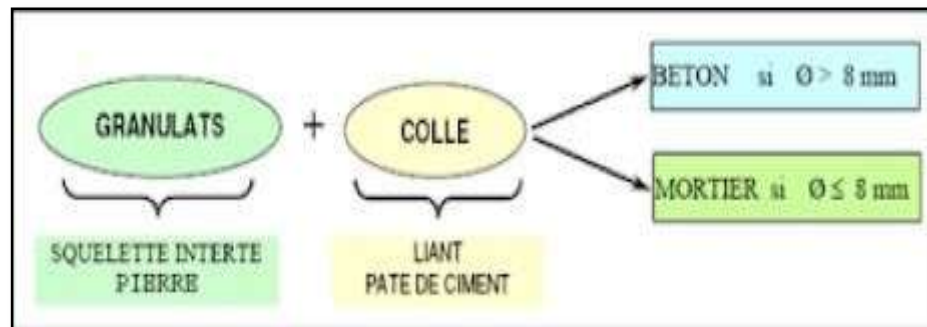


Figure II.1 : Schéma comparatif béton mortier. [21]

### II.2.5. Qu'est-ce qui augmente la durabilité des mortiers ?

Plusieurs facteurs ; voici le plus important selon le professeur et d'autres études.

- Le ratio eau/ciment. Plus il est bas, c'est-à-dire si l'eau est diminuée, plus le mortier est fort, mais aussi plus dense et moins poreux.
- Autres facteurs :
  - ❖ La dispersion et l'homogénéité des ingrédients.
  - ❖ La rhéologie.
  - ❖ La composition du ciment.
  - ❖ Le type de mortier. [21]

## II.3. Les différents types de mortiers, caractéristiques et usage :

Il existe différents types de mortiers utilisés dans la construction et la maçonnerie, chacun ayant des propriétés et des applications spécifiques en fonction des besoins du projet. Voici quelques-uns des types de mortiers les plus courants :

**II.3.1. Mortier de ciment :** Ce type de mortier est fabriqué en mélangeant du ciment Portland, du sable et de l'eau. Il est couramment utilisé pour coller des briques, des parpaings et des pierres dans la construction de murs, de dalles et de fondations. [15]



**Figure II.2 :** mortier de ciment portland [15]

**II.3.2. Mortier de chaux :** Le mortier de chaux est composé de chaux vive ou de chaux hydratée mélangée à du sable et de l'eau. Il est souvent utilisé pour la restauration de bâtiments anciens en raison de ses propriétés de flexibilité et de perméabilité à l'humidité.

[22]



**Figure II.3 :** mortier de chaux. [22]

**II.3.3. Mortier de ciment modifié aux polymères :** Ce mortier est similaire au mortier de ciment conventionnel, mais il contient des additifs polymères pour améliorer l'adhérence et la flexibilité. Il est souvent utilisé pour les carrelages et les revêtements en céramique. [16]



**Figure II.4 :** mortier de ciment modifié aux polymères. [16]

**II.3.4. Mortier époxy :** Le mortier époxy est fabriqué en mélangeant une résine époxy et un durcisseur. Il est extrêmement durable et résistant à l'eau, ce qui en fait un choix populaire pour les réparations de béton, les revêtements de sols industriels et les réparations de fissures. [2]



**Figure II.5 :** mortier époxy. [2]

**II.3.5. Mortier de résine :** Ce type de mortier est composé de résines synthétiques, de charges et de durcisseurs. Il est utilisé pour des applications spéciales, telles que la fixation de plaques de béton préfabriquées, la réparation de béton haute performance et la construction de structures légères. [2]



**Figure II.6 :** mortier de résine. [2]

**II.3.6. Mortier de brique réfractaire :** Ce mortier est conçu pour résister à des températures élevées et est utilisé dans la construction de cheminées, de fours industriels, de poêles et d'autres applications nécessitant une résistance à la chaleur. [3]



**Figure II.7 :** mortier de brique réfractaire. [3]

**II.3.7. Mortier d'isolation :** Ce type de mortier est utilisé pour l'isolation thermique. Il contient souvent des matériaux isolants tels que la perlite ou la vermiculite et est utilisé pour remplir les cavités murales ou créer une isolation extérieure. [2]



**Figure II.8 :** mortier d'isolation. [2]

- Chacun de ces types de mortiers a ses avantages et ses inconvénients, et le choix du mortier approprié dépendra des exigences spécifiques du projet, notamment la résistance, la durabilité, la flexibilité, la résistance à la chaleur, la résistance à l'humidité, etc.

## II.4. Les adjuvants :

### II.4.1. Définition :

On distingue essentiellement les adjuvants hauts réducteurs d'eau (superplastifiants). Le dosage en adjuvants n'excède pas 5 % de la masse du ciment. Ils ont pour rôle de maintenir une maniabilité donnée tout en diminuant la quantité d'eau dans le béton. Ils permettent ainsi d'obtenir un béton plus résistant en raison de la réduction de l'eau. A titre indicatif, les superplastifiants permettent de réduire la teneur en eau de 25 à 35 % tout en gardant une même maniabilité. Parmi les superplastifiants les plus connus on citera :

- ✓ Les poly naphthalènes sulfonés (PNS).
- ✓ Les sulfonâtes de mélamine (MS).
- ✓ Les polymères carboxyliques d'éther (PCE).[25]

#### II.4.2. Mode d'action :

En contact des grains de ciment. D'une manière générale, les super plastifiants enrobent le grain de ciment pendant l'hydratation pour augmenter une charge négative sur la surface de la particule de ciment. [28]

L'adjonction d'un super plastifiant peut se traduire également par une augmentation notable de la vitesse de durcissement, à 24 h après le gâchage, le mortier a atteint plus de la moitié de sa résistance à 28 jours. [29]

Plusieurs publications traitent du mode d'action des super plastifiants, surtout des poly naphthalènes et des poly mélamines. Bien que les mécanismes d'action commencent à être mieux compris, certains points concernant leurs propriétés physico-chimiques et leurs effets sur l'hydratation du ciment restent encore à élucider. [25]

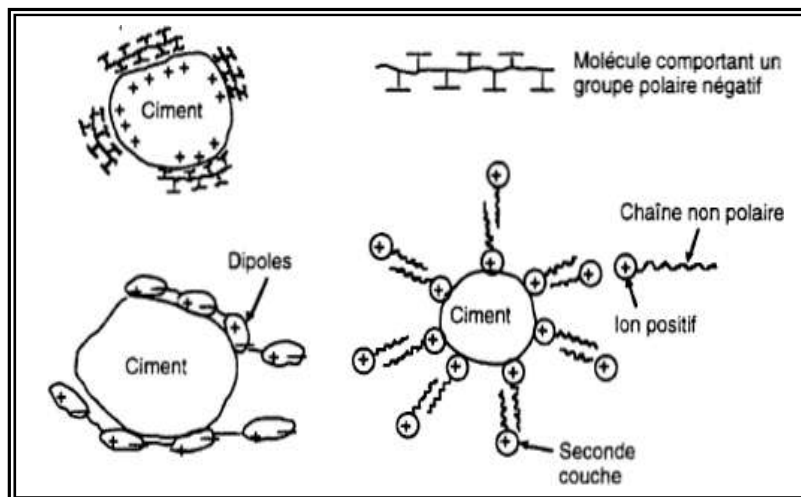


Figure (II.9) : Mode d'action des réducteurs d'eau suivant leur nature

#### II.4.3. Caractères généraux :

- Mise en œuvre : Augmente la maniabilité du béton et le maintien de la rhéologie.
- Performances mécaniques : Réduction d'eau importante, augmente considérablement les résistances mécaniques à court et moyen termes.
- Compacité du béton et durabilité.
- Augmentent la viscosité du béton afin d'éviter toute ségrégation.
- Modifier la viscosité du béton afin d'éviter tout effet de lessivage pour le cas des bétons coulés dans l'eau. [26]

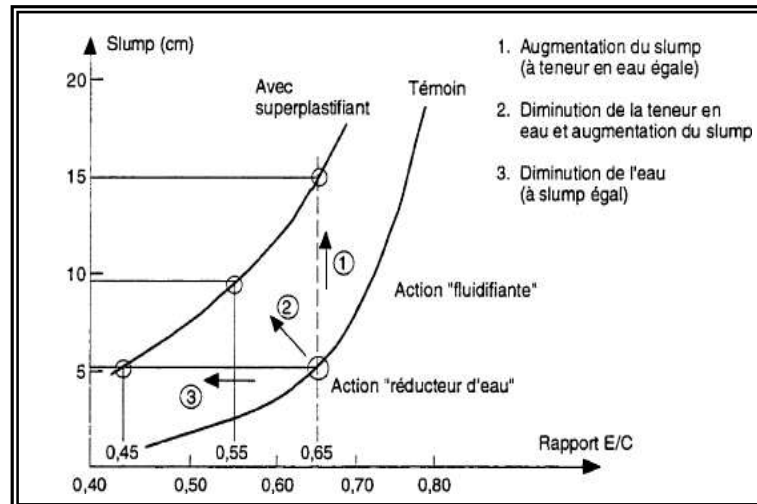


Figure II.10 : Les utilisations des super plastifiants. [26]

#### II.4.4. Avantages :

##### II.4.4.1. Avantages économiques :

La propriété de la plupart des adjuvants chimiques de réduire l'eau est recherchée pour deux raisons. En abaissant la quantité d'eau de gâchage nécessaire, ils augmentent la résistance à la compression pour une teneur en ciment et un affaissement donnés. Ceci permet également de réduire la teneur en ciment pour une résistance et un affaissement donnés. Cette dernière caractéristique est très intéressante du point de vue économique, étant donné que le ciment est l'ingrédient le plus cher dans la composition du béton. Il ne faut toutefois pas pousser trop loin l'économie de ciment, cela pourrait nuire à la qualité du béton, par exemple, quant à l'absorption, la perméabilité et la durabilité [8].

**II.4.4.2. Avantages écologiques :** Les super plastifiants peuvent réduire la porosité du matériau en rendant le béton maniable avec moins d'eau. Cela accroît considérablement la durabilité du béton, qui prolonge la durée de vie de l'infrastructure dans laquelle il est utilisé, réduisant ainsi l'impact écologique du secteur de la construction. [8].

**II.4.4.3. Avantages architecturaux :** Le béton, bien qu'il soit relativement bon marché, est unique comme matériau de construction parce qu'il peut être coulé dans différentes formes et tailles. Par ailleurs, comme l'utilisation de super plastifiants améliore la maniabilité et les propriétés mécaniques par réduction d'eau, les architectes peuvent désormais exploiter des modèles complètement nouveaux pour des structures élégantes possédant des capacités portantes normales. [8].

## II.5. Les ajouts :

### II.5.1. Définition :

Les ajouts pour béton sont des matériaux présentant une granulométrie très fine que l'on incorpore le plus souvent au ciment, quelque fois également au béton. Les ajouts permettent soit d'améliorer les caractéristiques du béton ou de lui conférer des propriétés spécifiques.

Les ajouts sont souvent meilleur marché que le ciment Portland et permettent d'obtenir un ciment composé ou divers plus économique. Contrairement aux adjuvants, les ajouts doivent être pris en compte dans le calcul de la composition du béton.

Des ajouts, tels que les cendres volantes, les fillers, les laitiers, etc., entrent dans la majorité des compositions du ciment dans le but d'améliorer ses caractéristiques rhéologiques et/ou mécaniques. On obtient ainsi un liant de composition binaire voire tertiaire. Les pays industrialisés tels que les États-Unis, la Russie, la France, l'Allemagne, le Japon et l'Angleterre, sont les plus grands producteurs de cendres volantes, de fumée de silice et de laitier de haut fourneau. La Chine et l'Inde produisent également des quantités importantes de cendres de balles de riz. [14].

### II.5.2. Classification des ajouts :

L'un des moyens efficaces qui existe à augmenter la production du ciment est d'utiliser des ajouts qui peuvent être naturels ou artificiels, inertes ou actifs [17]. Les ajouts peuvent réagir en tant que matériau hydraulique, hydraulique latent ou pouzzolanique, ou encore sous forme de fillers. Les ajouts se divisent selon leur réactivité comme le montre le tableau.

- Actuellement, les textes normatifs distinguent (4) types d'additions :
- Additions calcaires "NFP 18-508".
- Cendres volantes pour béton "NF EN-450".
- Laitier vitrifié moulu de haut fourneau "NFP 18-506".
- Fumées de silice "NFP 18-502".[14]

Type	Réactivité	Matériaux
hydraulique	fortement réactif	ciments spéciaux, chaux hydraulique
hydraulique latent	fortement réactif	Laitier granulé (laitiers de haut fourneaux vitreux granulé), cendres riches en calcium (cendres volantes calciques)
pouzzolanique	fortement réactif	fumée de silice
pouzzolanique	Moyennement réactif	Cendres volantes pauvres en calcium (cendres volantes siliceuses), pouzzolanes naturelles (verres volcaniques, tufs volcaniques, trass, phonolithe, terres à diatomées)
pouzzolanique	faiblement réactif	scories cristallines
inerte	pas réactif	Filler (farine calcaire et poudre de quartz), fibres, pigments colorants, matières expansives, dispersions synthétiques

Figure II.11 des classifications des ajouts selon leur réactivité [14].

### II.5.3. Bénéfices de l'utilisation des ajouts minéraux :

#### II.5.3.1. Bénéfices fonctionnels :

- Des particules fines améliore la maniabilité et réduit la demande en eau (à l'exception des ajouts d'une grande finesse).
- Peuvent modifier la nature et la texture des hydrates formés.
- Prise et durcissement pour les ajouts qui interviennent dans le processus réactionnel du ciment avec l'eau.
- Il y a une amélioration des propriétés mécaniques et de la durabilité du béton.
- Il y a une diminution de la chaleur d'hydratation dégagée du béton, ce qui diminue la fissuration d'origine thermique [23].

**II.5.3.2. Bénéfices économiques :**

- La plupart des ajouts minéraux sont des sous-produits de différentes industries et leur coût est souvent égal au coût du transport et de la manipulation.
- Comme la production du ciment est un grand consommateur d'énergie, son remplacement par des ajouts minéraux réduit le prix du béton pour le coût du combustible. [8].

**II.5.3.3. Bénéfices écologiques et environnementaux :**

- Diminution de l'émission du (CO<sub>2</sub>) par l'industrie cimentière.
- Élimination des sous-produits de la nature. [14]

**II.6. La pouzzolanne :**

Les pouzzolanes sont exploitées pour la production des ciments composés économiques. Elles sont des matériaux naturels ou artificiels riches en silice et en alumine capables de réagir avec la chaux en présence de l'eau et de former à l'issue de cette réaction des produits manifestant des propriétés liantes. [14, 29].

Les avantages du remplacement partiel du ciment par les matériaux pouzzolaniques sont divers : Ils participent au renforcement de la résistance aux attaques chimiques, en renforcement l'imperméabilité et de la durabilité, à la réduction des réactions alcalins agrégats et du retrait au séchage.

Les ciments aux pouzzolanes sont obtenus en mélangeant les produits pouzzolaniques finement broyés avec le portland.

$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{SiO}_2(\text{reactive}) \rightarrow \text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$  (La réaction pouzzolanique forme le CSH stable dans l'eau),

**II.7. Le laitier :**

Dans le procédé de production de fonte dans les hauts fourneaux, le laitier qui surnage au-dessus de la fonte est tout de suite refroidi après la coulée et par conséquent rapidement vitrifié. La majorité des éléments tels que Ca, Mg, Si, et Al sont sous forme de phase non cristalline. Une fois broyé à environ 400 m<sup>2</sup> /kg à 500 m<sup>2</sup> /kg, ce produit développe de bonnes propriétés cimentaires. La production des laitiers est liée à celle des fontes à partir des quelles seront élaborés les aciers. [29].

### II.8. Les cendres volantes :

Lors de sa combustion dans les centrales thermiques, le charbon pulvérisé passe à travers une zone de très haute température dans le four. Les composants volatiles et le carbone sont brûlés, tandis que les impuretés minérales tel que l'argile, le quartz et le feldspath passent en fusion. Les produits en fusion sont rapidement entraînés vers la zone froide où ils se solidifient en de petites sphères de verre. La majorité de ces sphères sont emportées par le courant gazeux vers l'extérieur. Ces cendres sont récupérées dans un précipiteuse électrostatique.

Les particules de cendres volantes se présentent sous forme de petites sphères de diamètre allant de 1  $\mu\text{m}$  à 100  $\mu\text{m}$  (50 % < 20  $\mu\text{m}$ ). La forme et la granulométrie des cendres volantes ont un effet important sur l'ouvrabilité et la demande en eau des bétons frais. [29]

### II.9. Les fillers :

Les normes Françaises (1979) définissent les fillers de la façon suivante : Produits obtenus par broyage fin ou par pulvérisation de certaines roches (calcaires, basaltes, laitiers, cendres volantes.) naturels ou non. Le filler calcaire est un matériau très finement broyé, dont les plus gros grains ne dépassent pas 80 microns, ayant une finesse à peu près identique à celle du ciment Portland. Il a pour rôle de remplir les vides entre les sables et les graviers. Selon la norme NF P 15-301, la teneur en filler calcaire est limitée à 5 % de la masse du ciment. Compte tenu des liaisons électriques entre cations et anions rompus par broyage du clinker et du gypse, on trouve à la surface des grains de ciment des sites chargés électriquement. Ces grains sont généralement chargés négativement. Selon Bomblet: . IL y a trois fois plus de charges négatives que positives.

Les fillers se différencient les uns des autres par : leurs origines, leurs compositions chimiques et minéralogiques, leurs défauts de structure, les impuretés qu'ils contiennent, leur finesse, la forme des grains, leur état de surface, leur dureté, leur porosité. Les fillers sont inertes, s'ils n'ont aucune action chimique sur les ciments en présence d'eau, ils sont actifs s'ils ont même partiellement, des propriétés hydrauliques ou pouzzolaniques en présence de ciment et d'eau. [25]

## II.10. Fumée de silice :

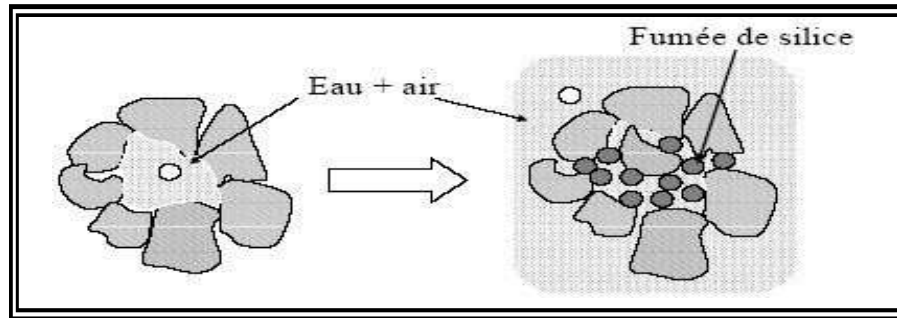
La fumée de silice (silica, silica fume) est une poussière très fine avec un effet fortement pouzzolanique, utilisée en qualité d'ajout et de stabilisateur. Les microsilices sont un sous-produit de la fabrication du silicium et du ferro-silicium. Au cours de ce processus, on vaporise du sable siliceux à l'arc électrique et puis il est condensé sous forme de fumée de silice dont la taille des particules est comprise entre 0.05 et 0.5  $\mu\text{m}$ . Les micro-silices sont composés à 85-95 % d'oxyde de silicium vitreux / hyalin ( $\text{SiO}_2$  amorphe), ont une très grande surface spécifique, qui est avec 10-25  $\text{m}^2/\text{g}$  du même ordre de grandeur que la fumée de cigarettes. [10].

### II.10.1. Effet de la fumée de silice :

La fumée de silice est l'ajout pouzzolanique le plus réactif. Contrairement aux cendres volantes, le  $\text{SiO}_2$  amorphe commence à réagir après 2 à 3 jours environ. Elle se précipite sous forme de silicate de calcium hydraté (CSH-Gel) avec l'hydroxyde de calcium qui se forme lors de l'hydratation du ciment. La consommation d'hydroxyde de calcium lors de la réaction pouzzolane conduit à une diminution du PH par rapport à un béton exempt de silices. C'est la raison pour laquelle, il convient dans le cas du béton armé de limiter la quantité maximale de poussières de silice admissibles, par exemple à 11% de la teneur en matières solides de silice, pris par rapport à la quantité de ciment, afin de garantir la protection anticorrosion de l'armature. Les propriétés rhéologiques exceptionnelles de la fumée de silice, par la forme sphérique de ses grains, permirent de la substituer à l'eau et d'obtenir des matériaux à faible porosité, augmentent ainsi la compacité du béton. En comblant les interstices laissés entre les particules fines et les granulats, elle joue un rôle de lubrifiant. [10]

- ❖ Faible tendance au ressuage, à la sédimentation.
- ❖ Meilleure cohésion interne, légèrement thixotrope.
- ❖ Bon pouvoir de rétention d'eau
- ❖ Faibles pertes d'air pour le béton à air entraîné.
- ❖ Meilleure adhérence sur le support
- ❖ Réduction du rebond et amélioration de la résistance du béton projeté.
- ❖ Augmentation du besoin en eau.
- ❖ Consistance plus ferme.
- ❖ Le béton frais devient plus « collant ».
- ❖ L'introduction de pores d'air artificiels est plus difficile.

- ❖ Risque accru de fissures liées au retrait précoce.
- ❖ Durée de la cure plus importante.



**Figure (II.12):** Effet de la fumée de silice sur le compactage d'un mélange liant-granulats. [10]

### II.11. Les sables :

Des sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important : la compacité, Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids ;

La dimension de ces granulats varie d'un dixième à plusieurs dizaines de millimètres. La norme française XP P 18-540 donne une définition des principales divisions granulométriques des granulats :

- ✓ Sable 0/D avec  $1 \text{ mm} < D \leq 6,3 \text{ mm}$ .
- ✓ Gravillon d/D avec  $d \geq 1 \text{ mm}$  et  $D \leq 125 \text{ mm}$ .
- ✓ Grave 0/D avec  $D > 6,3 \text{ mm}$ .

La nature des gisements conditionne les propriétés intrinsèques (résistance, porosité, etc...) des granulats. Par contre, les caractéristiques géométriques (granularité, forme, etc ...) et de propreté sont fonction du processus d'élaboration. Pour fabriquer des produits ayant les qualités requises, les producteurs de granulats utilisent des installations de plus en plus complexes, faisant appel à des technologies bien maîtrisées (fragmentation, séparation gravitaire, lavage, etc...). Les sables sont des granulats de dimension maximale « D » n'excédant pas 5mm. On distingue :

- Les sables naturels ou alluvionnaires
- Les sables artificiels produits par concassage d'une roche massive au niveau d'une

carrière.

- Le diamètre maximum des grains de sable utilisés pour les mortiers est :
  - Extra-fins : jusqu'à 0,8 mm (en tamis), soit 1 mm (en passoire) ;
  - Fins : jusqu'à 1,6 mm ;
  - Moyens : jusqu'à 3,15 mm ;
  - Gros : jusqu'à 5 mm. [19]

#### II.11.1. Classification des sables :

Dans le cas d'utilisation de sable de site terrestre, il est recommandé d'éliminer la couche superficielle généralement souillée (salie) de matières organiques qui affectent son mouillage par l'eau de gâchage.

- On peut classer les sables selon trois paramètres dont :

#### II.11.2. La granularité : permet de séparer les sables en trois catégories sont :

- Sables fins.
- Sables moyens.
- Sables grossiers.

**II.11.3. La propreté et la teneur en fines :** elle est appréciée par la valeur de l'équivalent de sable.

**II.11.4. La nature minéralogique :** En général, les sables peuvent être classés comme suit :

- Sables siliceux.
- Sables silico-calcaires.
- Sables calcaires.

Dans le cas d'utilisation de sable de site terrestre, il est recommandé d'éliminer la couche superficielle généralement souillée (salie) de matières organiques qui affectent son mouillage par l'eau de gâchage.

On entend par sable, tous les granulats 0/D conformes aux définitions des normes P 18-541 et P 18-103. Il peut s'agir soit d'un sable naturel alluvionnaire ou de ballastière, soit d'un sable de carrière issu de concassage d'une roche massive ou détritique. [27]. Du point de vue de la granularité, aucun critère granulométrique n'est a priori exigible pour confectionner un béton; on peut utiliser aussi bien un sable fin même homométrique, type sable de dunes, qu'un sable alluvionnaire moyen ou grossier. [17].

## **II.12. Sable de dune :**

### **II.12.1. Mécanismes de formation :**

Les dunes se forment dans des zones où le sable est abondant et non fixé par la végétation (désert, plage, lit fluvial à l'étiage). Le sable est érodé et pris en charge par le vent (déflation). Il est transporté aux ras du sol par saltation, puis s'accumule quand la compétence du vent chute (versant sous le vent). Une dune peut se déplacer par érosion du versant au vent et accumulation sur le versant opposer. [29]

### **II.12.2. Type des dunes :**

Les avant-dunes (fore dune pour les anglophones), 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. [29]

### **II.12.3. Les falaises dunaires :**

(dune cliff pour les anglophones) 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. [26]

### **II.12.4. Les dunes perchées :**

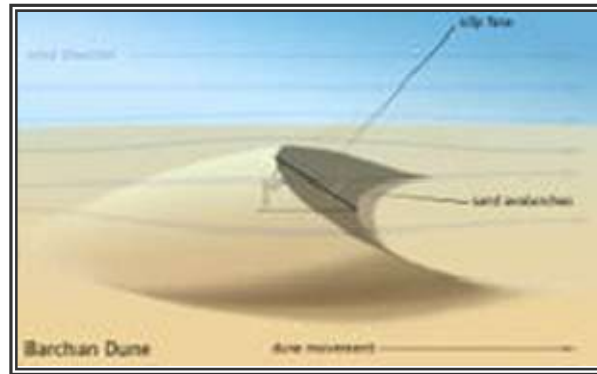
(cliff-top dune pour les anglophones), qui apparaissent au sommet d'une falaise vive; alimentée en sable par le vent à partir de l'estran, voire à partir du profil de pente, quand il s'agit d'une falaise dunaire. [26]

### **II.12.5. Les cordons dunaires artificiels :**

Ils 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). [27]

**II.12.6. Physique des dunes :**

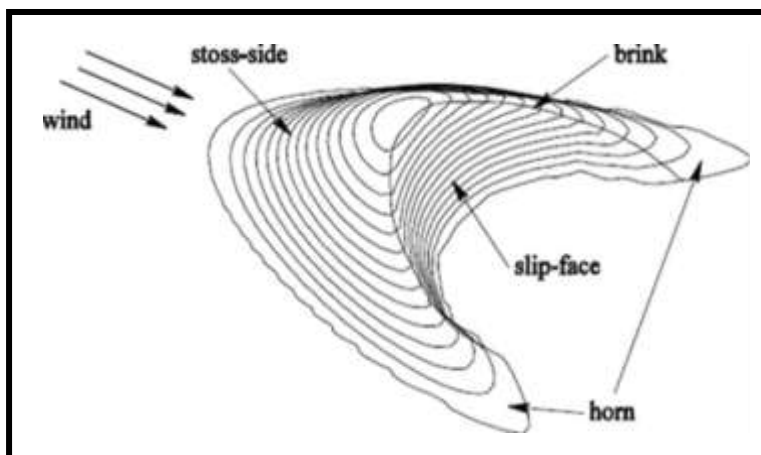
Nous connaissons tous, au moins par des photos ou les images de télévision, les étendues majestueuses de dunes ressemblant à une mer de sable dans le désert. Leurs formes répétitives modelées par le vent couvrent d'immenses surfaces et leurs déplacements menacent aussi bien les zones de cultures que les routes ou même les villes. Malgré cela, le mouvement des dunes était encore très mal compris.[28]



**Figure II.13 : La barkhane. [28]**

Une barkhane est une dune de la forme d'un croissant allongé dans le sens du vent. Elle naît là où l'apport de sable est faible et sous des vents unidirectionnels.

Le vent fait rouler le sable pour qu'il remonte la pente du dos de la dune jusqu'à la crête et vienne former de petites avalanches sur le versant plus pentu du front. Ce phénomène fait avancer la dune.



**Figure II.14 : Morphologie de la barkhane. [28]**

Les dunes les plus simples ont une forme de croissant et portent le nom arabe de barkhane (voir figure II.13). Elles se forment dans des conditions particulières avec des volumes de sable limités et se déplacent sur un substrat stable sous l'action d'un vent qui vient toujours de la même direction. Leur crête sépare le dos de la dune, incliné de 5 à 20° et le front nettement plus raide (32 à 35°) qui se prolonge par deux cornes dans la direction du vent (voir figure II.14). [28]

### **II.13. Conclusion :**

Dans cette section, nous avons exploré les différents types de mortiers et de sables utilisés dans la construction. Les mortiers, constitués principalement de ciment, de sable, d'eau et d'additifs, sont essentiels pour assurer la cohésion et la solidité des bâtiments modernes. Nous avons analysé en détail les propriétés mécaniques des mortiers, telles que leur résistance à la compression et à la flexion, qui influencent leur capacité à supporter des charges et à maintenir l'intégrité structurelle.

Nous avons également examiné des aspects importants tels que le retrait, le gonflement et le temps de prise, qui affectent la performance et la durabilité des mortiers dans diverses conditions de construction. En parallèle, nous avons étudié les différents types de sables, en mettant en lumière le sable de dune et ses caractéristiques spécifiques. Les sables jouent un rôle crucial en tant que composants de base des mortiers, influençant leur texture, leur adhérence et leurs propriétés mécaniques. Une compréhension approfondie des types de sables disponibles aide les professionnels de la construction à choisir le sable optimal pour leurs projets, contribuant ainsi à l'efficacité, à la qualité et à la durabilité des constructions.

En résumé, cette exploration des mortiers et des sables souligne l'importance de bien connaître ces matériaux dans le domaine de la construction. Une compréhension précise de leur composition, de leurs propriétés mécaniques et de leurs caractéristiques spécifiques est essentielle pour garantir la réussite des projets de construction, en assurant leur sécurité, leur durabilité et leur performance optimale.

### **III.1. Introduction :**

L'innovation de la science des matériaux et L'avancement de la technologie de construction on conduit à la recherche de systèmes structuraux efficaces et durables qui intègrent les propriétés d'utilisation minimale des matériaux, de légèreté et d'avantages économiques supplémentaires. [4]. Les composites à base de textile qui ont été limitée aux applications de rénovation Sont étudiés au cours des deux dernières décennies, et ils sont utilisés dans la nouvelle construction. Pour y parvenir, les chercheurs ont imprégné un certain nombre de types de fibres dans la matrice du béton : Le béton armé textile (TRC), ces fibres sont efficaces pour réduire les fissures et peuvent améliorer la ductilité du béton, La haute ténacité des fibres textiles permet d'obtenir des structures en béton souples et durables.

Ce chapitre traite l'état progressif de la recherche sur le TRC en tant qu'élément structurel pour renforcer son utilisation. [9]

### **III.2. Définition du Matériau composite TRC (Textile Reinforced Concrete) :**

Le TRC est un matériau composite constitué de renforts textiles multi ou uni-axiaux couplés avec une matrice cimentaire à granulométrie fine. Le composite TRC est aussi une solution alternative au composite traditionnel FRP (Fibre Renfort Polymère), au-delà de relativement bonnes performances mécaniques, on compte aussi une meilleure stabilité à la température, mais aussi et surtout, ce matériau permet de satisfaire les critères de développement durable. [5]

### **III.3. Propriétés matérielles du TRC :**

#### **III.3.1. Fibre textile :**

Traditionnellement, L'acier est utilisé comme matériau de renforcement dans le béton en raison de sa résistance élevée à la traction et de son comportement ductile : il est souvent associé à des émissions de carbone élevées lors de la production et à des coûts plus élevés en raison de l'épuisement des ressources naturelles. De plus, il nécessite une couverture de béton suffisante pour la protection contre la corrosion, ce qui entraîne des sections plus importantes dans un élément autrement mince.

Des substitutions possibles à l'acier comme armature ont été explorées et l'utilisation d'armatures textiles pour faire face à ces problèmes relatifs à l'usage de l'acier.

Les fibres, les fils et les tissus sont diverses formes de renforcement qui ont été

utilisées comme composite de fibres renforcées. [1]

**Tableau III.1 :** les trois types de matériaux principalement utilisés comme renfort textile. [1]

	Résistance à la traction	Module de Young	Les maillages (sens chaîne/trame)	Usage
<b>Carbone</b>	(1100–4000 MPa)	(150–235 GPa)	5/5 à 8/8 mm	les coques, les dalles et la plupart des applications structurales
<b>verre AR</b>	de 120 à 790 MPa	30 à 40 GPa	5/5 à 10/10 mm.	applications structurales secondaires telles que les panneaux de façade, les coffrages et les cloisons non porteuses.
<b>Basalte</b>	490 à 890 MPa	5/5 à 25/25 mm		l'une des alternatives les plus durables et est utilisé dans les berges (digues) et les éléments non structuraux

### III.3.2. La matrice cimentaire :

- Comprend des liants, des granulats à grains fins et un faible rapport eau/liant. doit être conçue pour être physiquement et chimiquement compatible avec le renfort textile.
- Liant avec résistance élevée, en fonction de l'application.
- Les adjuvants minéraux souvent utilisés dans le TRC comprennent les cendres volantes, la micro silice et le métakaolin.

Les propriétés du béton (incorporé à une armature textile) sont renforcées par différentes compositions de la matrice à base de ciment. La teneur en liant la plus fréquemment utilisée pour le TRC est de 40 à 50 %, avec un rapport eau/liant allant de 0,29 à 0,40. Une augmentation de la teneur en liant améliore l'adhérence du mortier avec l'armature. (L'application typique du TRC exige un béton spécial qui est plus durable, plus ductile et plus résistant que le béton normal). [24]

### III.4. Caractéristiques du béton armé textile :

- ✓ Le béton armé de traction produit des structures minces et malléables par nature. Ils ont la capacité de conserver la haute résistance à la traction du béton.
- ✓ Le treillis textile utilisé pour le renforcement doit être suffisamment ouvert pour permettre au béton de le traverser pendant le processus de coulage du béton. Le placement de l'armature joue également un rôle important dans la résistance finale du béton.
- ✓ Le matériau TRC utilisé doit avoir un allongement avant rupture élevé, une résistance à la traction élevée et un module d'élasticité supérieur à la matrice de béton qui l'entoure. [15]



**Figure III.1 :** Béton armé de textile [9]



**Figure III.2 :** Renforcement de structures existantes avec du béton armé textile en fibre de Carbone. [15]

### III.5. Production de béton armé textile :

Les principaux facteurs qui influencent la production de béton armé textile sont :

- Qualité du mélange de béton ;
- L'interaction entre le textile et le béton ;
- La quantité de fibres textiles utilisées ;
- La disposition des fibres textiles dans le béton ;

La taille des particules des différents ingrédients du béton utilisé pour le TRC doit être sélectionnée avec soin. Le mélange de béton plus grossier ne traverse pas l'armature textile.

L'utilisation d'un adjuvant chimique aide les fibres textiles à adhérer au béton.

L'armature textile est posée à la main ou mécaniquement dans le béton. Il est disposé dans le béton dans le sens de la contrainte de traction principale. Ceci assure un degré plus élevé d'efficacité à la structure en béton. Les processus de création de TRC varient des méthodes traditionnelles aux méthodes de pultrusion. Les méthodes courantes de production de TRC sont :

#### III.5.1. Moulage

Dans cette méthode :

- Le coffrage est réalisé.
- Le renfort textile est préinstallé dans le coffrage.
- Le coffrage est préparé pour le coulage du béton.
- Le béton est coulé et laissé durcir.
- Le coffrage est enlevé pour révéler la structure.

#### III.5.2. Stratification :

Dans cette méthode :

- Le coffrage est construit pour abriter le béton et le textile.
- Le béton est réparti uniformément sur le coffrage.
- Le renfort textile est placé.
- Le béton est coulé sur l'armature textile.
- Le béton est poussé dans les espaces du textile à l'aide de rouleaux.

### III.5.3. Pultrusion

Dans cette méthode :

- Le textile est poussé dans une chambre d'infiltration de boue.
- Le textile recouvre et s'incruste dans le béton. Ensuite, le béton est pressé dans les textiles à l'aide de rouleaux.
- Des rouleaux de différentes spécifications sont utilisés pour obtenir la forme et la taille souhaités du béton. [21]

### III.6. Avantages du béton armé textile (TRC) :

Les principaux avantages du TRC sont :

- Le renfort en fibres textiles utilisé dans le TRC est de nature non corrosive.
- Les structures TRC offrent un degré d'efficacité plus élevé.
- L'armature textile du béton améliore le comportement mécanique du béton.
- Les structures TRC sont légères et peuvent créer différents types de composants structurels.
- La matière textile dans le béton permet le développement de plusieurs composites à base de ciment.
- Le matériau textile permet d'offrir une liberté de conception des produits finaux pour un objectif spécifique.
- Le TRC est durable par nature. Il développe des structures minces et consomme donc moins de matériau par rapport aux structures en béton conventionnelles. La rénovation d'anciennes structures à l'aide de TRC contribue à augmenter la durée de vie des structures.
- Le TRC apporte une diminution significative en termes de consommation de matière et de coût. [16]

### III.7. Applications du béton armé textile (TRC) :

Les applications importantes des TRC sont :

- Construction de ponts, de piliers et de protections routières en béton armé de kevlar ou de jute pour résister aux secousses et aux vibrations soudaines.
- Le TRC peut être utilisé pour renforcer et réparer des structures existantes.
- Le TRC est utilisé comme couche protectrice pour les anciennes structures ou les éléments de rénovation en raison de sa propriété de résistance à la corrosion.

- Le TRC utilisant la fibre de carbone aide à chauffer les bâtiments. La fibre de carbone est de nature conductrice.



**Figure III.3 :** Applications TRC-pavillon à TU Chemnitz(Allemagne). [4]



**Figure III.4 :** Musée national du Qatar réalisé avec du béton armé de textile de verre.[15]



**Figure III.5 :** Applications TRC-pont à Albstadt-Lautlingen (Allemagne). [4]

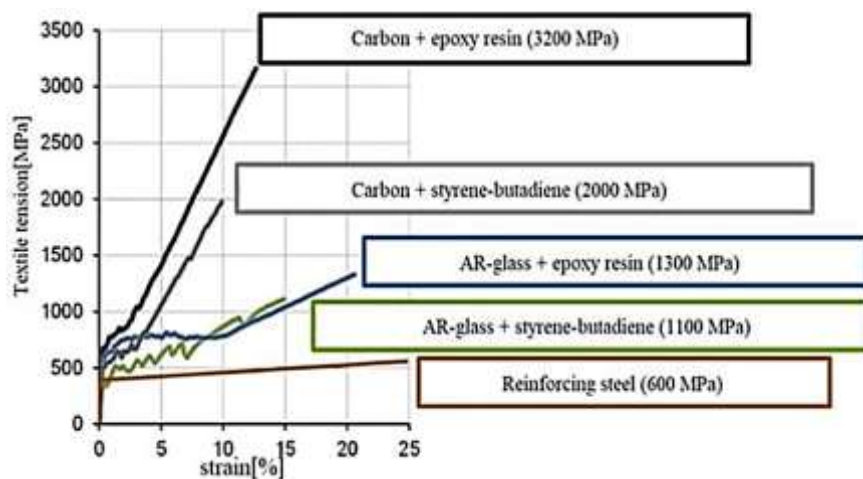
### III.8. Revêtements :

Lorsque les filaments sont regroupés, des espaces microscopiques se forment entre les fibres qui ne peuvent pas être pénétrés par la matrice de ciment, provoquant un composite textile-ciment non homogène. De ce fait, seuls les filaments d'extrémité externes seront tendus, ce qui entraînera une tension de seulement 35% de la capacité de mèche.

Pour surmonter ces effets, les textiles sont enduits pour stabiliser la structure interne des filaments, augmentant finalement leur résistance à la traction. En enduisant le renfort textile, la charge peut être transférée de manière plus homogène entre les filaments qui améliorent la capacité de charge, produisant une réponse plus douce aux charges

Des revêtements tels que la résine époxy ou le styrène-butadiène sont proposés pour comparer l'effet des revêtements (résine époxy et styrène-butadiène) sur deux matériaux fibreux différents, à savoir le verre AR et le carbone, en termes de capacité de charge et de comportement contrainte-déformation : discussion des résultats de cette expérience s'impose.

[12

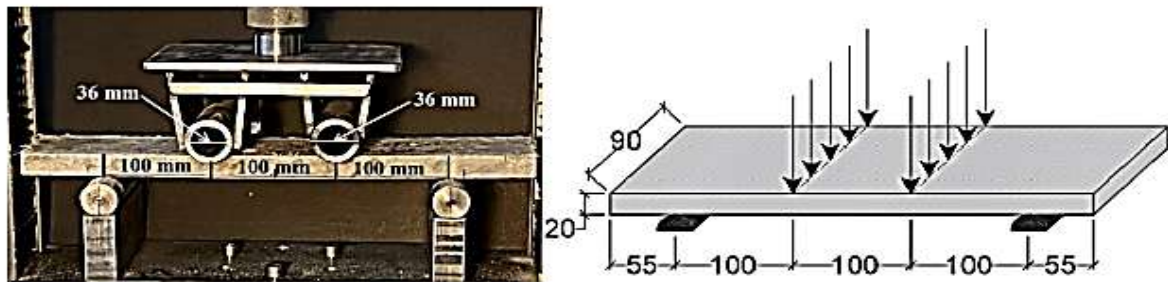


**Figure III.6 :** Comparaison de différents textiles et revêtements sous contrainte de traction.

La granulométrie varie de 1 à 2 mm, selon la taille des mailles de l'armature utilisée. Les recherches ont montré que les fibres enduites de résine époxy obtenaient une résistance à la traction considérablement plus élevée que celles enduites de styrène-butadiène. Les chercheurs ont enduit la surface textile de sable pour augmenter la force de liaison et finalement augmenter la force portante de l'élément. [12]

### III.9. Revue des travaux antérieurs :

**III.9.1. Mohammad Alma'aitah et al (2022) :** Ont effectué une investigation expérimentale sur une gamme de mélanges de ciment ternaires et quaternaires composés de ciment Portland ordinaire, de cendres volantes, de calcaire et de fumée de silice (avec des niveaux de remplacement du ciment de 70 % à 80 %). Les résultats ont montré que les TRC développés présentent une résistance à la flexion et une capacité de déformation significativement plus élevées, tout en ayant une résistance à la compression plus faible et un retrait de séchage, un coût et un impact sur l'environnement plus faibles que ceux disponibles dans la littérature. [26]



**Figure III.7 : Essais de flexion de Mohammad Alma'aitah et al [26]**

**III.9.2. Mutlu Kurban et al (2022) :** La méthode de tressage a été utilisée dans cette étude comme une nouvelle approche pour obtenir un fil hybride pour la production de TRC. L'objectif est d'étudier l'effet des types de renforts, des types de structures textiles et de la distance entre le renfort et la fibre inférieure des spécimens, sur le comportement en flexion des échantillons de TRC.

Il a été observé que la résistance à la flexion augmente d'environ 143 % avec l'utilisation d'une structure textile hybride. La matière thermoplastique sur le fil hybride augmente la résistance de la structure en protégeant le matériau de renfort. [32]



Fig. 3. Textile forms using raw roving fiber, mesh size: (a) 10 × 10 mm<sup>2</sup>, (b) 10 × 50 mm<sup>2</sup>

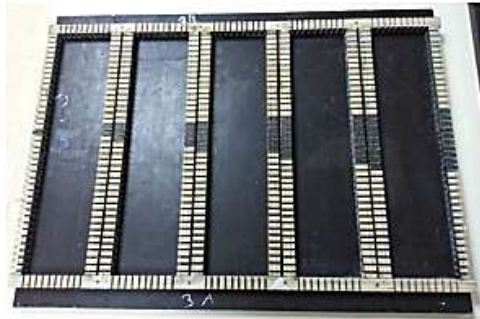


Fig. 4. Special molds with notches.

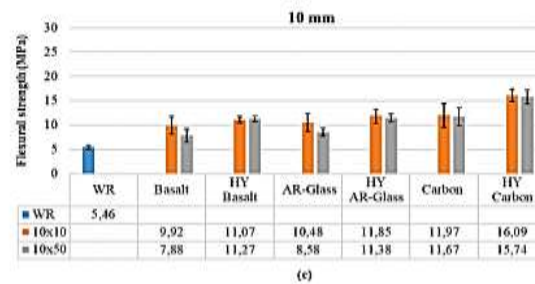
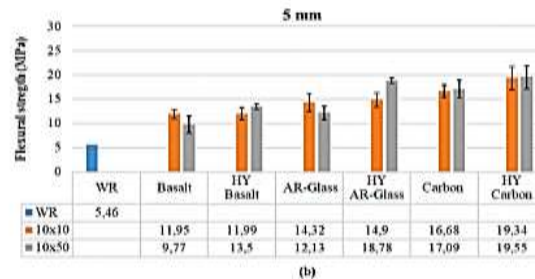
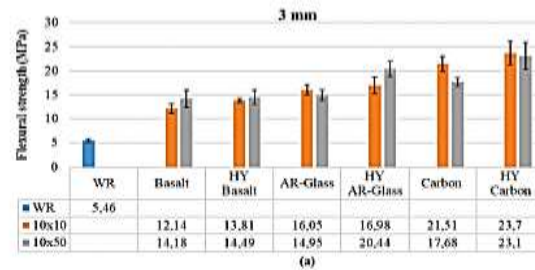
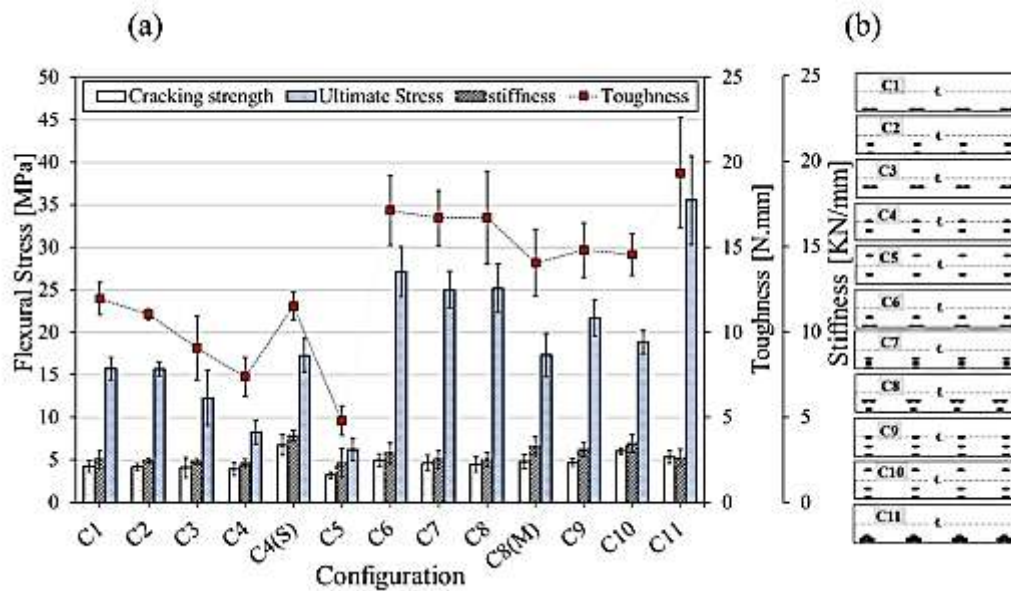


Figure III.8 : Cadres pour la formation de structures textiles à partir de fils hybrides ; taille des mailles. [32]

Figure III.9 : Résistances a la flexion des différentes variantes testées [32]

**III.9.3. Mohammed Hutaibat :** Afin d'étudier le comportement de TRC armé de textile de basalte les hauteurs ont testé onze configurations de renfort pour étudier le rôle du taux de renfort, de la position et de l'enrobage sur le comportement en flexion des composites TRC. Les hauteurs ont conclu que l'augmentation du taux de renforcement et de la profondeur a amélioré la capacité de charge et la densité des fissures. Une augmentation de la ténacité du composite et une réduction de la rupture fragile du composite ont résulté de l'augmentation du taux de renforcement et de la profondeur. [2]



**Figure III.10 :** Comparaison de la contrainte de première fissure, de la rigidité avant fissuration, de la contrainte ultime et de la ténacité pour différentes configurations de renforcement [2]

### III.10. Conclusion :

En conclusion, l'utilisation des composites à matrice cimentaire renforcée de fibres (TRC) dans l'industrie de la construction représente une avancée significative qui transforme la manière dont nous concevons, construisons et entretenons nos infrastructures. Les TRC offrent une combinaison unique de légèreté, de résistance, de durabilité et de flexibilité. Cette technologie innovante a ouvert de nouvelles perspectives dans la construction, permettant la réalisation de structures plus légères, plus résistantes, et souvent plus durables que les matériaux traditionnels.

L'utilisation des TRC offre également des avantages tels que la résistance à la corrosion, la réduction des coûts de maintenance, une meilleure isolation thermique et acoustique, ainsi qu'une plus grande liberté de conception. Ces matériaux peuvent être façonnés pour répondre à des besoins spécifiques, offrant ainsi une grande polyvalence aux architectes et aux ingénieurs.

Cependant, il est important de noter que l'utilisation des TRC nécessite une expertise spécifique en matière de conception, de fabrication et d'installation, ainsi que des normes de qualité élevées pour garantir la sécurité et la performance des structures. De plus, les considérations environnementales liées à la fabrication et à la fin de vie des TRC doivent être prises en compte.

En fin de compte, l'utilisation croissante des TRC dans la construction témoigne de notre quête d'innovation et de durabilité dans le secteur de la construction. Cette technologie continue d'évoluer, ouvrant la voie à des constructions plus efficaces et plus respectueuses de l'environnement. Elle promet un avenir passionnant pour l'industrie de la construction, où les TRC joueront un rôle central dans la création de bâtiments et d'infrastructures de point.

### IV.1. Introduction :

Dans le but d'identifier les paramètres influençant le comportement des composites textile-mortier soumis à la flexion en 4 points, une analyse paramétrique portant sur la nature du renfort, de la configuration des textiles, la composition de la matrice, a été conduite sur 32 structurations d'éprouvettes différentes.

Dans ce chapitre, nous allons donner les caractéristiques des différents constituants entrant dans la composition de notre mortier (sable, ciment, adjuvants, fumé de silice et fibres) ainsi que les différents essais effectués dans ce travail.

### IV.2. Objectif du travail :

Les objectifs principaux de ce travail sont :

- L'effet du renforcement du mortier par le textile de fibre de carbone ainsi que l'effet du nombre de couches.
- L'effet de l'utilisation de deux types de sable à savoir le sable de rivière et le sable de dune de Touggourt.
- L'effet de l'incorporation de fibres courtes dans la matrice avec des pourcentages de **0.5%, 1%, 1.5%** et **2%** du volume du mortier.

### IV.3. Normes :

#### IV.3.1. Préparation des matériaux :

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

#### IV.3.2. Normes utilisées à l'état durci :

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

### IV.4. Matériaux et matériel utilisés :

Les sables, ciment, renforts et adjuvant associés pour la confection de nos éprouvettes ayant servi dans cette étude à la flexion sont présentés ci-après.

#### IV.4.1. Ciment :

Le ciment utilisé dans le cadre de ce travail est désigné sous le nom de MATINE : NA 442CEM II /B-L 42.5 N certifié conforme à la norme algérienne (NA 442), et européenne (EN 197-1).

Ce dernier est un ciment portland composé, de classe 42.5 et de sous classe B provenant de la cimenterie LAFRAGE d'Alger conforme à la norme algérienne (NA 442), et européenne (EN 197-1). Il contient donc environ un tiers d'additions minérales autres que le clinker (Figure IV.1). Ce ciment a été entreposé au laboratoire à température ambiante et recouvert d'un sac en plastique pour éviter toute pré-hydratation éventuelle.



**Figure IV.1.** : Ciment utilisé dans la confection du mortier.

- Ces caractéristiques inscrites sur la fiche technique sont données dans les tableaux ci-dessous :

**Tableau IV.1** : Analyses chimiques (NA 5042). [21]

Paramètres	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±0.5
Teneur en sulfates (S03) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5
Teneur en chlorures (NA5042) (%)	0.02-0.05

**Tableau IV.2:** Composition minéralogique du clinker (**Bogue**). [21]

Paramètres	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

**Tableau IV.3 :** propriétés physiques. [21]

Paramètres	Valeur
Consistance normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de B lain (cm <sup>2</sup> /g) (NA231)	3700-5200
Retrait a 28 jours (µm/m)	< 1000
Expansion (mm)	≤3.0

**Tableau IV.4 :** temps de prise à 20° (NA 230). [21]

Paramètres	Valeur
Debut de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

**Tableau IV.5 :** résistance a la compression. [21]

Paramètres	Valeur
2 jours (MPa)	≥10.0
28 jours (MPa)	≥42.5

**IV.4.2. Eau :**

L'eau utilisée pour les différentes gâchées de mortier est issue du robinet de laboratoire de béton du département de génie civil UMMTO.

**IV.4.3.les sables :**

Le sable est défini comme étant un granulat naturel **0/D** avec **D** (diamètre du plus gros granulat) limité à **4 mm**. Il peut s'agir soit d'un sable naturel alluvionnaire (ou de ballastière), soit d'un sable de carrière issu du concassage d'une roche massive ou détritique. Il est le constituant du squelette granulaire qui a le plus d'impact sur le mortier. Il joue un rôle primordial en réduisant les variations volumiques, le dégagement de chaleur et le prix de revient (coût) des bétons. Il doit être propre et ne pas contenir d'éléments chimiques nocifs.

Dans cette étude, nous avons utilisé deux types de sable de diamètre maximal de **1.25 mm**. Un sable local de Rivière (**SR**) ou Sable d'OUED provenant d'OUED-AISSI, et un sable fin siliceux de Dune (**SD**) de la région de Touggourt.

Pour préparer le sable à être utilisé dans notre étude, nous avons suivi une procédure rigoureuse pour éliminer les impuretés et assurer sa propreté :

- 1. Lavage du sable :** Le sable a été placé dans un récipient approprié. De l'eau propre a été ajoutée au récipient, et le sable a été soigneusement agité pour permettre la séparation des impuretés. Le sable a ensuite été laissé reposer pendant un certain temps pour que les particules en suspension se déposent au fond du récipient. L'eau chargée d'impuretés a été délicatement évacuée, laissant le sable propre. . (**Voir Figure IV.2**)
- 2. Séchage à l'étuve :** Le sable propre a été étalé sur des plateaux et placé dans un fourneau. Le fourneau a été réglé à une température de **120° C**. Le sable a été séché à cette température pendant une période déterminée, garantissant ainsi qu'il soit parfaitement sec. (**Voir Figure IV.3**)
- 3. Tamisage du sable :** Après le séchage, le sable a été tamisé à l'aide de tamis ayant un diamètre de maille de **1.25 mm**. Cette étape permet de classer le sable en fonction de la taille des particules, assurant ainsi que seules les particules de la bonne taille sont utilisées dans notre étude. (**Voir Figure IV.4**)



**Figure IV.2 :** Lavage du sable de rivière et sable de dune pour éliminer les impuretés.



**Figure IV.3 :** Mise à l'étuve du Sable de rivière et sable de dune.



**Figure IV.4 :** Tamisage du sable de rivière et sable de dune après séchage.

- En suivant cette procédure de lavage, de séchage et de tamisage, nous avons obtenu un sable propre et préparé pour notre étude, garantissant ainsi des résultats fiables et cohérents dans nos expérimentations. (Voir Figure IV.5)



**Figure IV.5 :** Sable de rivière et sable de dune après séchage et tamisage au laboratoire UMMTO

#### IV.4. Textile de fibre de carbone :

Dans notre étude, nous avons utilisé le textile de fibres de carbone comme matériau de renfort. La structure des fibres de carbone est composée d'une superposition de microcristaux longs et plats alignés parallèlement à l'axe des fibres. Les principales propriétés de ces fibres sont :

- Bonne résistance en traction et en compression
- Module d'élasticité élevé.
- Faible densité
- Excellente tenue à la température

La variation des paramètres de fabrication (température, temps etc.) permet d'obtenir des fibres aux caractéristiques différentes : haut module d'élasticité ou module d'élasticité intermédiaire, haute résistance à la traction etc.

**Tableau IV.6 :** caractéristiques physiques et mécaniques des fibres de carbone

Caractéristique	Valeur
Résistance à la traction (Mpa)	5407
Module d'élasticité (GPa)	294
Élongation maximale (%)	1.75
Rapport résistance/poids (Mpa/g/cm <sup>3</sup> )	1.79
Densité (g/cm <sup>3</sup> )	3026

Pour fabriquer les renforts fibreux sous forme de filaments continus, nous avons suivi la procédure suivante à l'aide d'un moule de tissage composé de trois parties, chacune ayant des dimensions de 10\*40 cm :(Voir Figure IV.7)



Figure IV.6 : Tissu en fibre de carbone.



Figure IV.7 : Moule spécialement conçu pour tissage de la fibre de carbone.

#### IV.4.1. Procédure de Fabrication des Renforts Fibreux à Base de Fibre de Carbone :

##### 1. Matériaux requis :

- Tissu de fibres de carbone ;
- Résine GRANITEX ;
- Moule de tissage (trois parties de **100\*400mm**) ;
- Pinceau ;

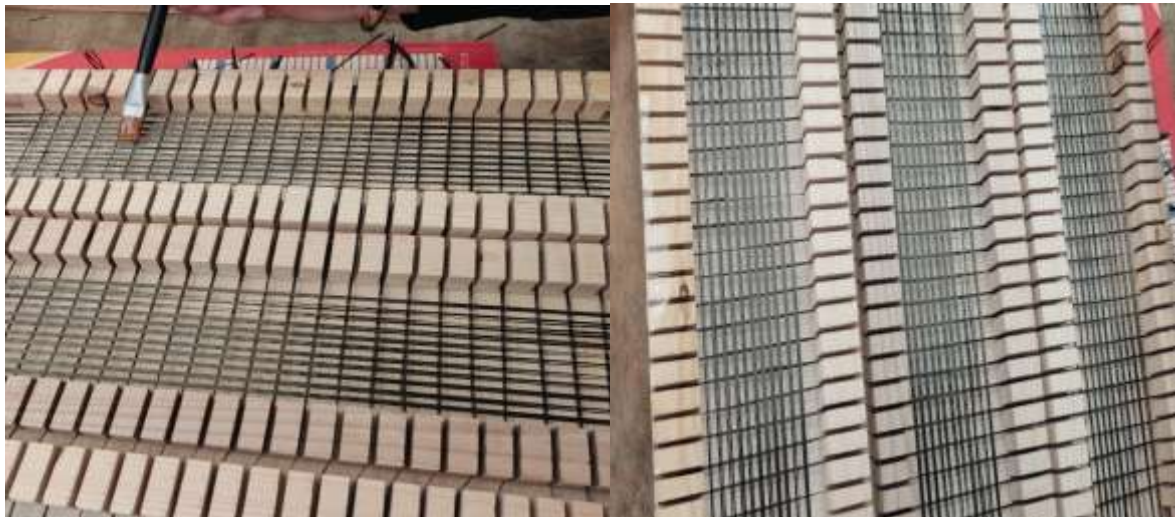
##### 2. Étapes :

- **Préparation du tissu de fibres de carbone** : les files de fibres de carbone ont été tirés du tissu de carbone, les files sont placés et fixés dans le moule en bois spécialement conçu, avec des dimensions des mailles de 5 mm dans le sens transversal et 10 mm dans le sens longitudinal. (Voir Figure IV.6)
- **Préparation de la résine époxy** : la résine époxy et le durcisseur ont été mélangés et bien agités pour éliminer les bulles d'air. (Voir Figure IV.8)
- **Imprégnation du tissu de carbone** : une fois le tissage des grilles de renfort terminé une couche de résine est appliqué avec un pinceau sur ces dernières (Voir Figure IV.9)

- **Découpage** : Une fois la polymérisation terminée, les grilles de renfort ont été séparées par découpage et retiré du moule. Pour disposer enfin d'un renfort fibreux en fibre de carbone de dimensions (100\*400) mm prêt à être utilisé.



**Figure IV.8** : Mélange de la résine selon les instructions du fabricant.



**Figure IV.9** : a) Application d'une fine couche de résine à l'aide du pinceau en mousse pour imprégner le tissu. b) Renfort fibreux en carbone prêt à être utilisé.

#### IV.4.2. Fibres courtes de polypropylène :

Les fibres courtes sont des fibres de longueur 6mm (voir la **FigureIV.12**). Les taux utilisés dans le cadre de cette étude sont **0,50%**, **1%** et **1.5%** et **2%** du volume total des constituants.



**Figure IV.10** : Fibres courtes (FPP).

#### **IV.5. La fumée de silice :**

La fumée de silice utilisée est une silice ultra fine issue de l'industrie de la fabrication du silicium ou des alliages à base de silicium. Elle est utilisée sous forme de poudre grise, conditionnée dans des sacs de 2 Kg ou 25 Kg. Son stockage doit se faire dans un local à l'abri du gel et de la chaleur. Dans son emballage d'origine intact, le produit se conserve 3 ans, cependant en cas d'ouverture, un soin particulier doit être pris, notamment afin d'éviter le contact de la fumée de silice avec l'air et qui risquerait de faire agglomérer les particules et réduire leur finesse (**Figure IV.11**).



**Figure IV.11** : fumée de silice

Pour notre étude nous avons utilisé la fumée de silice fabriquée et commercialisée par la société GRANITEX sise à Oued-Smar.

### IV.6. Super plastifiant :

Vu que la quantité d'eau utilisée dans notre formulation est faible dans le but d'améliorer la résistance du mortier à l'état durci, nous avons utilisé un super-plastifiant haut réducteur d'eau **MEDAFLOW 30**, fourni par **GRANITEX** sous forme de liquide de couleur brune. (Figure IV.14)

Le super plastifiant est incorporé au moment du malaxage du béton à un dosage de 8% masse du poids de ciment. Les caractéristiques de ce Super plastifiant sont données par le (tableau IV.7).



Figure IV.12 : Super plastifiant MEDAFLOW 30 .GRANITEX

Tableau IV.7 : Caractéristiques du super plastifiant

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

### IV.7. Analyse granulométrique des sables :

L'analyse granulométrique sert à déterminer la distribution en poids des particules d'un matériau suivant leur dimension. L'analyse se fait par tamisage (EN933-1 et EN 933-2).

Avant de procéder à l'essai l'échantillon doit être séché à l'étuve à une température maximale de 105 °C.

L'essai consiste à classer les différents grains de l'échantillon en utilisant une série de tamis emboîtés les uns sur les autres. Les dimensions des mailles sont décroissantes de haut vers le bas. La séparation des grains s'obtient par vibration de la colonne des tamis (tamisage) terminer lorsque le refus ne varie pas de plus de 1%.

La forme de la courbe granulométrique nous apporte les renseignements suivants :

Les limites  $d$  (petit diamètre) et  $D$  (grand diamètre) des granulats.

- La plus ou la moins grande proportion d'éléments fins.
- La continuité ou la discontinuité de la granularité.

Plus la courbe granulaire est continue et régulière plus on aura une meilleure compacité du squelette du béton ou mortier. Aussi elle permet d'anticiper les problèmes sur le mortier à formuler, et d'avoir des mortiers à meilleure fluidité sans problème de ségrégation.

Dans ce qui suit, on a présenté les résultats de l'essai pour les sables utilisés. Sur la figure II sont représentés les courbes des sables (Sable de rivière(SR) ; sable de dune de Touggourt(SD) .

#### **IV.7.1. Principe de l'essai :**

L'essai consiste à fonctionner, au moyen d'une série de tamis, un matériau en plusieurs catégories de grains décroissants.

#### **IV.7.2. Équipements utilisés :**

Pour réaliser cette opération, nous avons utilisé les équipements suivants :

- Des tamis de différent diamètre ;
- 1210g de sable ;
- Une balance de 5kg. Pesant au gramme près ;
- Un vibro-tamis électrique ;
- Une étuve thermo statée ;

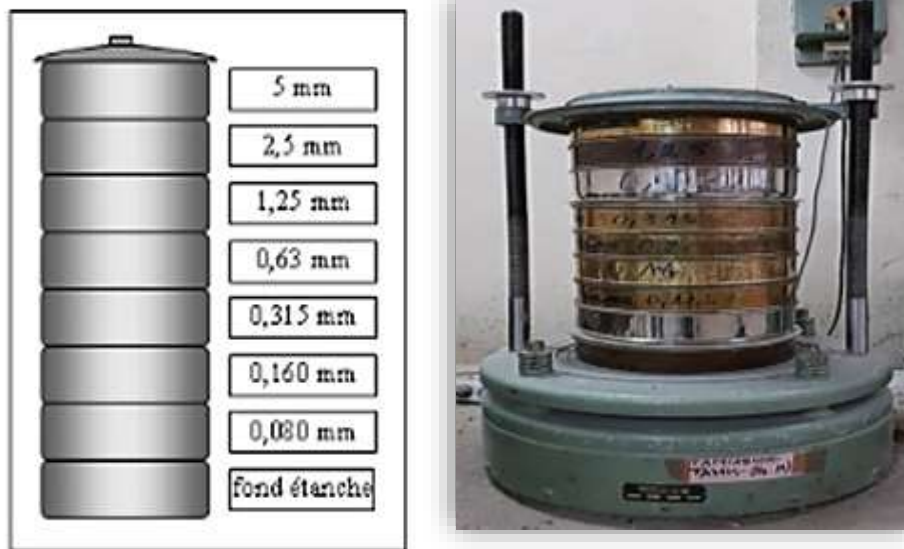


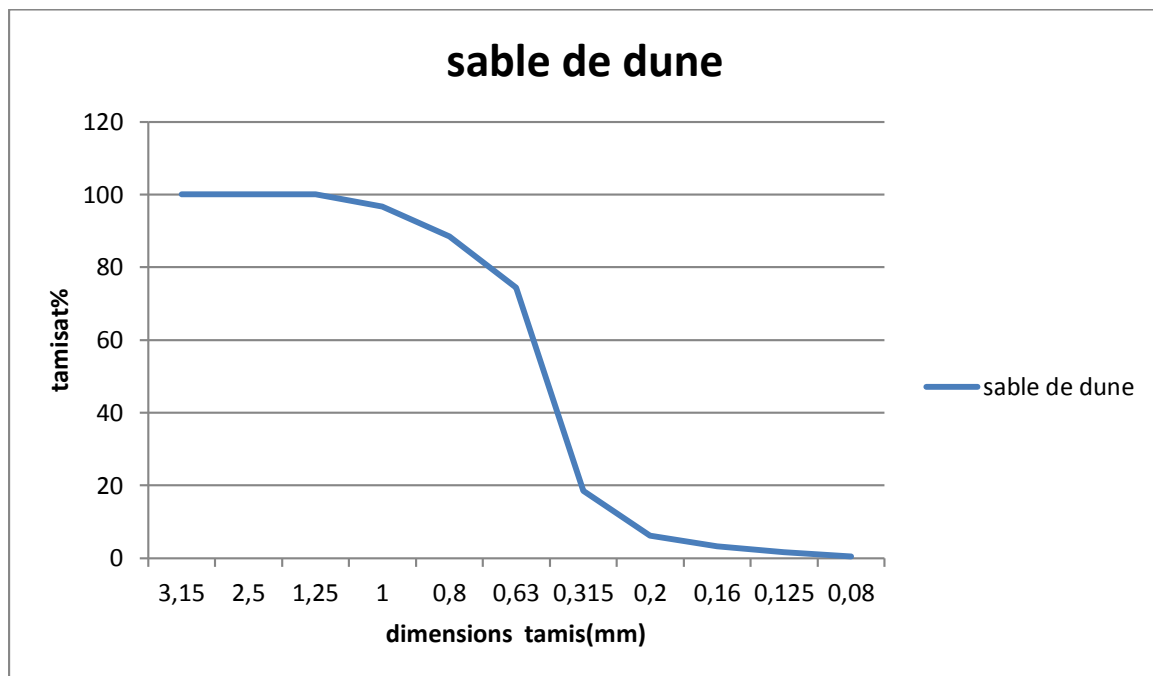
Figure IV.13 : Vibro-tamis électrique (Laboratoire UMMTO).

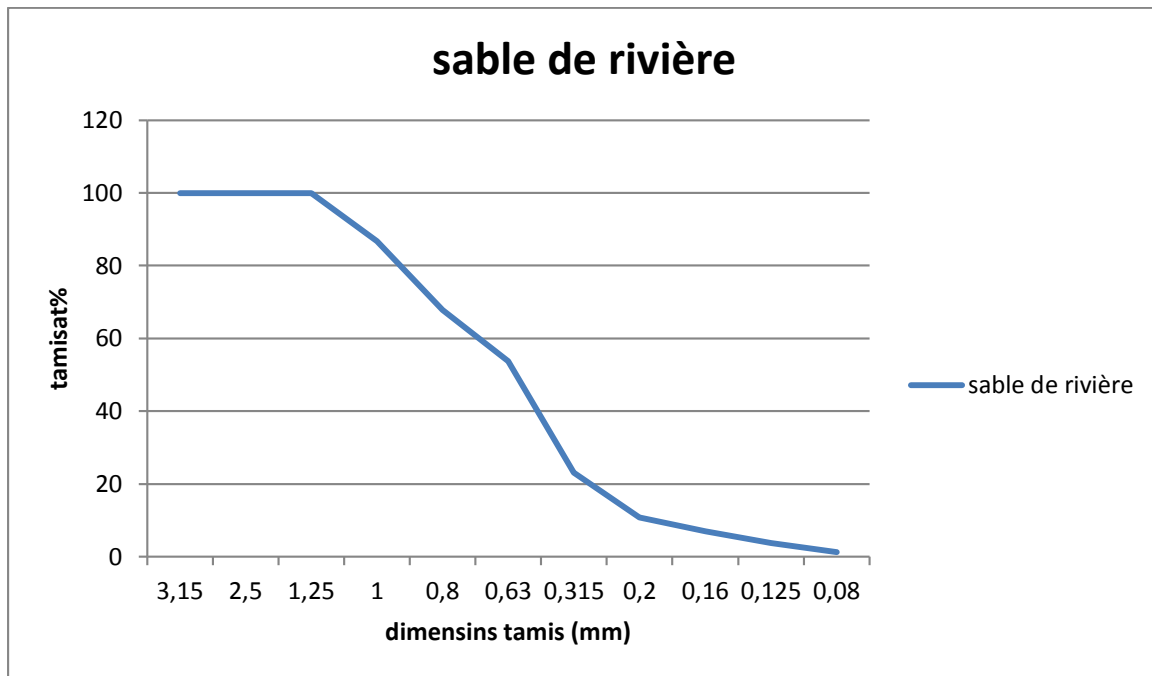
Tableau IV.8 : Analyse granulométrique pour le sable de dune.

Dimension de tamis (mm)	Refus (g)	Refus(%)	Refus cumulés (%)	Tamisât (%)
2.5	0	0	0	100
1.25	0	0	0	100
0.63	170	14.05	25.61	74.39
0.315	675	55.79	81.4	18.6
0.16	35	2.89	96.69	3.31
0.08	15	1.24	99.58	0.42
Le fond	5	0.41	99.99	0.01

**Tableau IV.9** : Analyse granulométrique pour le sable de rivière.

Dimension de tamis (mm)	Refus (g)	Refus(%)	Refus cumulés (%)	Tamisât (%)
2.5	0	0	0	100
1.25	0	0	0	100
0.63	170	14.05	46.27	53.73
0.315	370	30.59	76.86	23.14
0.16	45	3.72	92.98	7.02
0.08	30	2.48	98.76	1.24
Le fond	15	1.24	100	00

**IV.7.3. Courbe granulométrique :****Figure IV.14** : courbe granulométrique pour le sable de dune



**Figure IV.15 :** courbe granulométrique pour le sable de rivière

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.7.4. 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]).

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

- Le module de finesse est particulièrement appliqué aux sables dont il est une caractéristique importante.

**M.F d'un sable = somme des refus aux tamis 0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5 et 5mm**

**100**

Spécifications des Granulats :

2.8 <Mf< 3.2 Sable grossier

2.2 <Mf< 2.8 Sable moyen

1.8 <Mf< 2.2 Sable fin

Module de finesse du sable.

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

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

- 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.7.5. Masse volumique apparente :**

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube de matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules. la masse volumique apparente d'un matériau pourra avoir une valeur différente suivant qu'elle sera déterminée à partir d'un matériau compacte ou non compacte.



**Figure IV.16 :** Masse volumique apparente mesurée au niveau du laboratoire béton-UMMTO.

Nos résultats sont indiqués dans le tableau suivant : **(Voir Tableau IV.10)**

**Tableau IV.10 :** Masse volumique apparente pour le sable de rivière et sable de dune.

	Sable de dune	Sable de rivière
<b>Masse volumique apparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1.68	1.58

#### **IV.7.6. Masse volumique absolue :**

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps. comme on distingue le volume absolue.

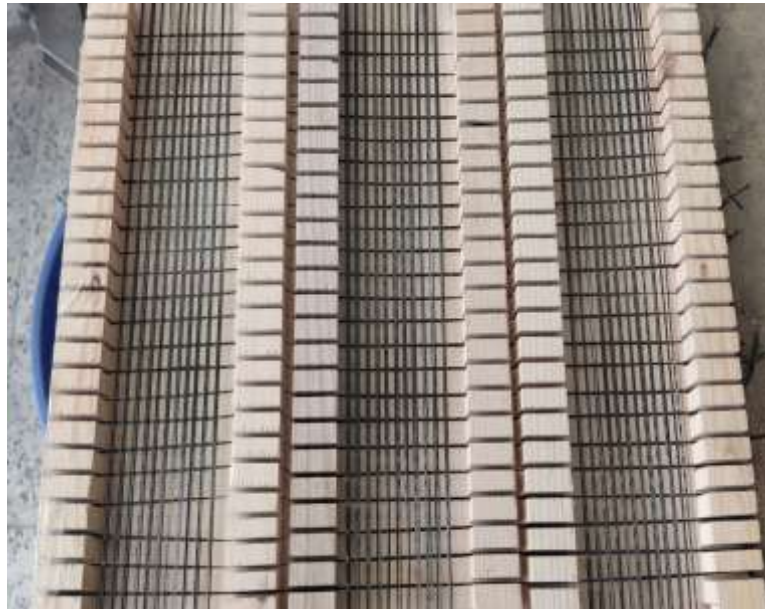
Nous résultats sont indiqués dans le tableau suivant :

**Tableau IV.11 :** Masse volumique absolue pour le sable de rivière et sable de dune.

	Sable de dune	Sable de rivière
<b>Masse volumique absolue (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.5	2.5

#### **IV.8. Élaboration des différentes variantes d'essais :**

Dans notre étude nous avons étudié le comportement en flexion de mortiers armés de textile de fibres de carbone de dimensions totales **100\*400mm<sup>2</sup>**, la dimension des mailles est de **5\*5 mm<sup>2</sup>**(Voir figure IV.16), le nombre de filaments dans le sens transversal est de **3000**, dans le sens longitudinal il est de **6000** filaments.



**Figure IV.17 :** illustration des différentes caractéristiques des renforts fibreux en fibre de carbone de dimension 10\*40 cm.

Pour le sable nous avons utilisé le sable de rivière et le sable de dune de Touggourt. Le taux de fibres courtes de verres utilisés est de **0,50%, 1%, 1.50% et 2%** du volume total des constituants.

Le programme expérimental se compose d'un total de **19** éprouvettes rectangulaires de dimensions **20x100x400 mm<sup>3</sup>** et de **13** éprouvettes cubiques de dimension **3\*(50\*50\*50) mm<sup>3</sup>**

- Pour différencier les différentes variantes de notre étude nous avons opté pour les éprouvettes rectangulaires les abréviations suivantes :

#### IV.9. Formulation :

La formulation des mortiers est représentée dans les tableaux suivants :

**Tableau IV.12 :** Formulation du mortier.

Type de matériau	Ciment	Sable	Eau	Super- plastifiant	Fumé de silice
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	640kg/m <sup>3</sup>	1380kg /m <sup>3</sup>	262kg/m <sup>3</sup>	8kg/m <sup>3</sup>	35kg/m <sup>3</sup>

**Tableau IV.13 :** Tableau illustrant les différentes abréviations des éprouvettes rectangulaires.

les abréviations des éprouvettes	Sable de rivière %	Sable de (dune ou de Touggourt %	Fibres courtes (%)	Tissu de fibres de carbone
SRT	100	-	-	-
SDT	-	100	-	-
SR1C	100	-	-	1
SD1C	-	100	-	1
SR2C	100	-	-	2
SD2C	-	100	-	2
SR1C	100	-	-	1
SD1C	-	100	-	1
50%SRSD1C	50	50	-	1
SR1C0.5%fc	100	-	0	1
SR1C0.5%fc	100	-	0.5	1
SR1C1%fc	100	-	1	1
SR1C1.5%fc	100	-	1.5	1
SR1C2%fc	100	-	2	1
SD1C0.5%fc	-	100	0	1
SD1C0.5%fc	-	100	0.5	1
SR1C1%fc	-	100	1	1
SR1C1.5%fc	-	100	1.5	1
SR1C2%fc	-	100	2	1

**Tableau IV.14** : Tableau illustrant les différentes abréviations des éprouvettes cubiques.

les abréviations des éprouvettes	Sable de rivière %	Sable de dune %	Fibres courtes (%)
SRT	100	-	-
SDT	-	100	-
50%SRSD	50	50	-
SR0%fc	100		0
SR0.5%fc	100	-	0.5
SR1%fc	100	-	1
SR1.5%fc	100	-	1.5
SR2%fc	100	-	2
SD0%fc		100	0
SD0.5%fc	-	100	0.5
SD1%fc	-	100	1
SD1.5%fc	-	100	1.5
SD2%fc	-	100	2

## IV.10. Confection des éprouvettes :

### IV.10.1. Le malaxage :

#### Étape 1 :

- **Préparation du Malaxeur** : Utilisation d'un malaxeur de laboratoire pour mortier à axe vertical, équipé d'une cuve et d'une palette centrale tournante à deux vitesses (lente et rapide) et d'une capacité de **5 litres**.

#### Étape 2 :

- **Introduction des Constituants** : Introduire le ciment et le sable dans la cuve du malaxeur.

**Étape 3 :****➤ Démarrage du Malaxeur à Vitesse Lente :**

- Mettre en marche le malaxeur à une vitesse lente.
- Laisser malaxer à sec pendant 15 secondes.

**Étape 4 :****➤ Introduction de l'Eau :**

- Introduire l'eau dans la cuve du malaxeur.
- Continuer le malaxage pendant 1 minute et 30 secondes.

**Étape 5 :****➤ Racleur Rapide**

- Arrêter le malaxeur pendant 15 secondes pour racler rapidement le mortier et le replacer au centre de la cuve.

**Étape 6 :****➤ Ajout du Super Plastifiant :**

- Rajouter le super plastifiant avec une petite quantité d'eau dans la cuve.

**Étape 7 :****➤ Réglage du Malaxeur :**

- Ajuster les réglages du malaxeur selon les besoins.

**Étape 8 :****➤ Démarrage du Malaxeur à Vitesse Rapide :**

- Redémarrer le malaxeur à une vitesse rapide.
- Poursuivre le malaxage jusqu'à atteindre la durée totale de 4 minutes de malaxage requise.
- Ce processus de malaxage permet d'obtenir un matériau homogène, prêt à être utilisé dans le cadre de notre projet. Le contrôle des vitesses, des temps de malaxage et l'ajout des constituants au bon moment garantissent la qualité et la cohérence du mortier produit.



**Figure IV.18 :** Préparation des différents constituants du mortier (sable, ciment, fumée de silice, fibre courte, super plastifiant).



**Figure IV.19 :** mélange du mortier dans un malaxeur électrique.

#### IV.10.2. Préparation des éprouvettes :

##### Étape 1 :

##### ➤ Préparation des Moules :

- Utilisation de moules métalliques en forme prismatique avec des dimensions de **5 cm** de hauteur, **5 cm** de largeur et **5 cm** de longueur pour des éprouvettes cubiques.

- Utilisation de moules métalliques en forme prismatique avec des dimensions de **10 cm** de hauteur, **10 cm** de largeur et **40 cm** de longueur pour des éprouvettes rectangulaires.



**Figure IV.20 : a)** Moule cubique (5x5x5) cm<sup>3</sup>. **b)** Moule prismatique (2x10x40) cm<sup>3</sup>

- **Nettoyage des moules :** à l'aide d'une brosse métallique pour les débarrasser de toute impureté.
- **Application d'une couche d'huile :** avec un pinceau on applique de l'huile sur les moules pour faciliter le démoulage ultérieur. (Voir Figure IV.20)



**Figure IV.21 :** application de l'huile sur les moules métalliques.

**Étape 2 :**

- **Préparation du Tissu :** Découpage du tissu en fonction des dimensions des éprouvettes, soit 10x40 cm<sup>2</sup>.

**Étape 3 :**

- **Préparation du Mortier :** Mettre en œuvre les différents constituants du mortier tout en procédant au malaxage du mortier en suivant les procédures appropriées citées précédemment.

**Étape 4 :**

- **Remplissage des Moules :**
  - Versement de la moitié du mortier préparé dans les moules prismatiques. (**Voir Figure IV.21**)
  - Placement du tissu découpé et enduit de résine sur la couche de mortier dans les moules. (**Voir Figure IV.22**)
  - Versement de la deuxième moitié du mortier restant pour recouvrir le tissu et remplir complètement les moules.



**Figure IV.22 :** Versement de la moitié du mortier préparé dans les moules prismatiques.



**Figure IV.23 :** Placement du tissu découpé et enduit de résine sur la couche de mortier dans les moules.

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 l'eau à température ambiante jusqu'à l'âge de 28 jours.



**Figure IV.24 :** Conservation des éprouvettes dans l'eau.

## IV.11. Essais non destructifs :

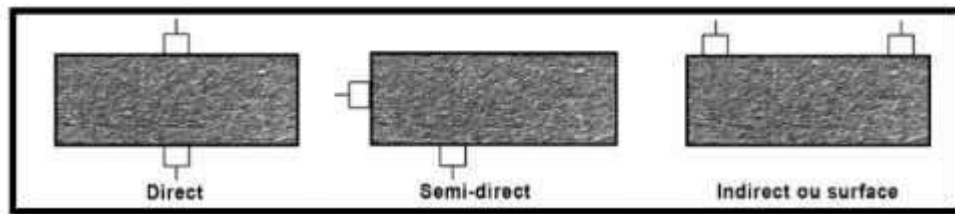
### IV.11.1. Contrôle par ultrasons :

C'est un essai non destructif très important qui permet d'évaluer plusieurs caractéristiques du béton durci telles que : le degré de compacité, de fissuration, l'uniformité de coulage.

Le principe de la méthode des ultrasons consiste à mesurer le temps de propagation des impulsions ultrasoniques traversant le béton. Les résultats obtenus et donc leur interprétation dépend du type de procédé de mesure appliqué et notamment la position des transducteurs de l'appareil à ultrasons.

### IV.11.2. Disposition des transducteurs :

- Trois types de dispositions des transducteurs sont communément utilisés :
  - Mesure par la transmission directe ;
  - Mesure par la transmission semi directe ;
  - Mesure par la transmission indirecte ou de surface ;



**Figure IV.25** : Schéma illustrant la disposition des transducteurs.

Chaque fois que cela est possible, il est recommandé d'utiliser la disposition directe, c'est la meilleure méthode. Elle consiste à presser les deux têtes de mesure sur deux faces de l'éprouvette, en utilisant une pâte de contact qui facilite la transmission maximale du signal entre les transducteurs. La disposition semi-directe est moins sensible que la disposition directe mais plus sensible que la disposition indirecte.

La méthode indirecte est particulièrement utile pour la détermination de la profondeur des fissures, de la qualité de la surface ou dans le cas où une seule surface est accessible. Des données de base sont communes à chaque méthode de mesure. La distance (longueur de trajet) entre les transducteurs doit être mesurée aussi précisément que possible. Il est très important d'assurer un couplage acoustique des transducteurs approprié avec la surface à tester, ainsi une fine couche de couplant doit être appliquée sur le transducteur et sur la

surface à tester, et dans certains cas, il peut s'avérer nécessaire de préparer la surface en elle-même en la grattant, la lissant, et nettoyant correctement.

Une fois l'appareil mis en marche, on peut lire le temps de propagation en microseconde.

La vitesse de propagation est donnée alors par l'équation suivante :

$$V = d/t$$

**Avec :**

**V :** vitesse de propagation en [m/s]

**d :** distance entre les têtes en [m].

**t :** temps en microseconde

Des travaux effectués montrent qu'il y a une relation directe entre la vitesse de propagation des ondes dans un béton et sa qualité. **Le tableau IV.15** donne un classement.

**Tableau IV.15 :** La vitesse de propagation des ondes et la qualité du béton.

Vitesse de propagation (m/s)	La qualité du mortier
Supérieure à 4575	Excellente
3600 à 4575	Bonne
3050 à 3660	Douteuse
2135 à 3050	Mauvaise
Inférieure à 2135	Très mauvaise

- Pour déterminer la vitesse longitudinale, nous avons utilisé l'appareil de PUNDIT démarque (proceq) comme montré ci-dessous.



**Figure IV.26 :** Essais ultrasons [Laboratoire de Béton-Génie Civil-UMMTO].

## IV.12. Flexion quatre points :

L'essai de flexion 4 points est d'une grande importance dans divers domaines de l'ingénierie, de la science des matériaux et de la construction. Il permet d'évaluer la résistance à la flexion, la déformation, la résilience et d'autres caractéristiques cruciales des matériaux. Les données obtenues à partir de ces essais sont essentielles pour la conception et la qualité des matériaux utilisés dans une variété d'applications, de la construction de bâtiments aux dispositifs mécaniques avancés. La machine **ZWICK/ROELL Z250** offre la précision et la fiabilité nécessaires pour effectuer ces essais avec succès et obtenir des informations précises sur les performances des matériaux.

### IV.12.1. Dispositif de l'essai :

Les essais de flexion 4 points sont une méthode essentielle pour évaluer les propriétés mécaniques des matériaux, en particulier leur résistance à la flexion. Ces tests sont réalisés avec précision à l'aide de la machine **ZWICK/ROELL Z250**, située au laboratoire de génie de la construction de l'université Mouloud Mammeri.

L'essai mécanique de flexion 4 points est caractérisé par la disposition des appuis et des charges. Lors de cet essai, l'éprouvette est soigneusement positionnée sur deux appuis simples, l'un à chaque extrémité de l'éprouvette, créant ainsi un support continu sur toute la longueur de l'éprouvette. Les contacts entre ces appuis et l'éprouvette sont considérés comme ponctuels, ce qui signifie que la charge est concentrée en des points spécifiques.

Pour appliquer la force, deux charges concentrées sont utilisées et sont généralement disposées à égale distance l'une de l'autre, comme illustré sur la figure suivante. Cette configuration permet de créer une flexion uniforme le long de l'éprouvette, ce qui est essentiel pour obtenir des résultats précis sur les propriétés de flexion du matériau testé.



**Figure IV.27 :** Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (4 points).

Une fois on a le contact entre l'éprouvette et le dispositif appliquant la charge est atteint. Le chargement est appliqué à une vitesse de **0.5 [KN/s]** Jusqu'à la ruine de l'éprouvette jusqu'à ce que la ruine de l'éprouvette soit atteinte, les résultats sont enregistrés

#### **IV.13. Essais de résistance à la compression :**

Les essais de compression ont été réalisés sur éprouvettes, en utilisant la machine de compression de type (**AUTOTEST**).la vitesse de compression utilisé est de **0.5 KN/s** afin d'avoir les valeurs de résistance maximale et force maximale. Ensuite, nous avons déduit la meilleure variante.



**Figure IV-28 :** Mise en place des éprouvettes cubiques sur la machine de compression **AUTOTEST**.

**IV.14. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons pris le temps de détailler méticuleusement chaque étape de la procédure expérimentale que nous avons suivie. Cela comprend la formulation précise des mortiers, la méthodologie utilisée pour créer les éprouvettes, le mode opératoire spécifique que nous avons adopté, ainsi que les essais que nous avons considérés comme essentiels pour notre recherche.

L'importance de cette phase ne peut être sous-estimée, car elle constitue le socle sur lequel repose toute notre étude. Chaque ingrédient est soigneusement pesé et mélangé selon des proportions précises, garantissant ainsi la reproductibilité des conditions des essais.

La confection des éprouvettes est également un processus critique. Chaque éprouvette est préparée avec une grande attention aux détails pour s'assurer qu'elle respecte les normes et les spécifications requises. Cette étape garantit la cohérence de nos échantillons, ce qui est fondamental pour obtenir des données fiables et significatives.

Enfin, nous avons énuméré les essais que nous avons effectués, chacun étant choisi pour répondre à des questions spécifiques que nous cherchons à résoudre. Ces essais constituent la base de nos résultats et de nos conclusions, et ils sont présentés en détail dans le chapitre suivant.

## V.1. Introduction

Ce chapitre présente les résultats que nous avons obtenus, sur l'ensemble des éprouvettes. Plusieurs variantes ont été testées, le but étant de trouver la configuration optimale du renforcement interne par textile de fibres de carbone, et par fibres courtes de polypropylène, ainsi que de la composition de la matrice mortier, proposés dans le cadre de cette étude.

Les éprouvettes sont testées jusqu'à rupture tout en observant leurs modes de fissuration. Les résultats et de modes de ruptures sont donnés sous forme d'histogrammes, et tableaux, puis sont discutés. Les différents essais effectués sur l'ensemble des spécimens à l'âge de 28 jours sont :

- L'essai ultrason sur des plaques de dimensions (20x100x400) mm<sup>3</sup>, et sur des éprouvettes cubiques de dimension (50x50x50) mm<sup>3</sup>
- L'essai de compression sur les éprouvettes cubiques.
- L'essai de flexion 4 points sur les plaques.

Nous rappelons que dans notre étude, de différentes compositions de mortiers à base de deux types de sables, à savoir le sable de dune de Touggourt et le sable de rivière, et quatre pourcentages de fibres courtes (0.5, 1, 1.5, 2 que nous présentons comme suit :

## V.2. Contrôle par ultrasons :

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

On a testé à l'ultrason des éprouvettes cubiques et des éprouvettes prismatiques à l'âge de 28j. Trois éprouvettes ont été confectionnées pour chaque variante, 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.

**Tableau V.1 :** Vitesse de propagation longitudinale des ultrasons dans les plaques.

Variante (rectangulaire)	Vitesse de propagation (m/s)	La qualité du mortier
SRT	3924	Bonne
SDT	5897	Excellente
SR1C	4762	Excellente
SD1C	5405	Excellente
SR2C	5897	Excellente
SD2C	6765	Excellente
50%SR+50%SD	5750	Excellente
SR1C0.5%fc	5000	Excellente
SR1C1%fc	4717	Excellente
SR1C1.5%fc	4600	Excellente
SR1C2%fc	6053	Excellente
SD1C0.5%fc	4762	Excellente
SD1C1%fc	4444	Bonne
SD1C1.5%fc	5227	Excellente
SD1C2%fc	4878	Excellente

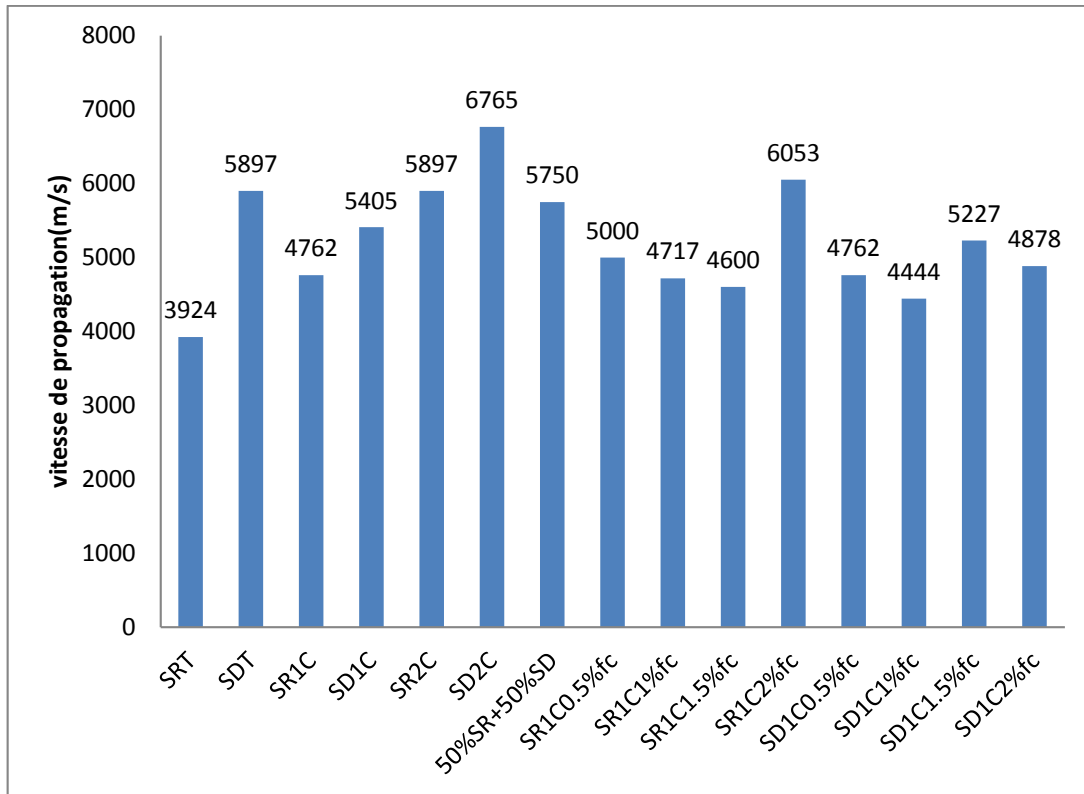


Figure V.2 : Vitesse de propagation des ultrasons à travers les plaques.

Tableau V.2 : Vitesse de propagation longitudinale des ultrasons à travers les cubes.

Variante (cubique)	Vitesse de propagation (m/s)	Observation
SRT	4902	Excellente
SDT	5155	Excellente
50%SRSD	4717	Excellente
SR0.5% fc	4902	Excellente
SR1% fc	4717	Excellente
SR1.5% fc	5000	Excellente
SR2% fc	5061	Excellente
SD0.5% fc	5208	Excellente
SD1% fc	4951	Excellente
SD1.5% fc	5051	Excellente
SD2% fc	4762	Excellente

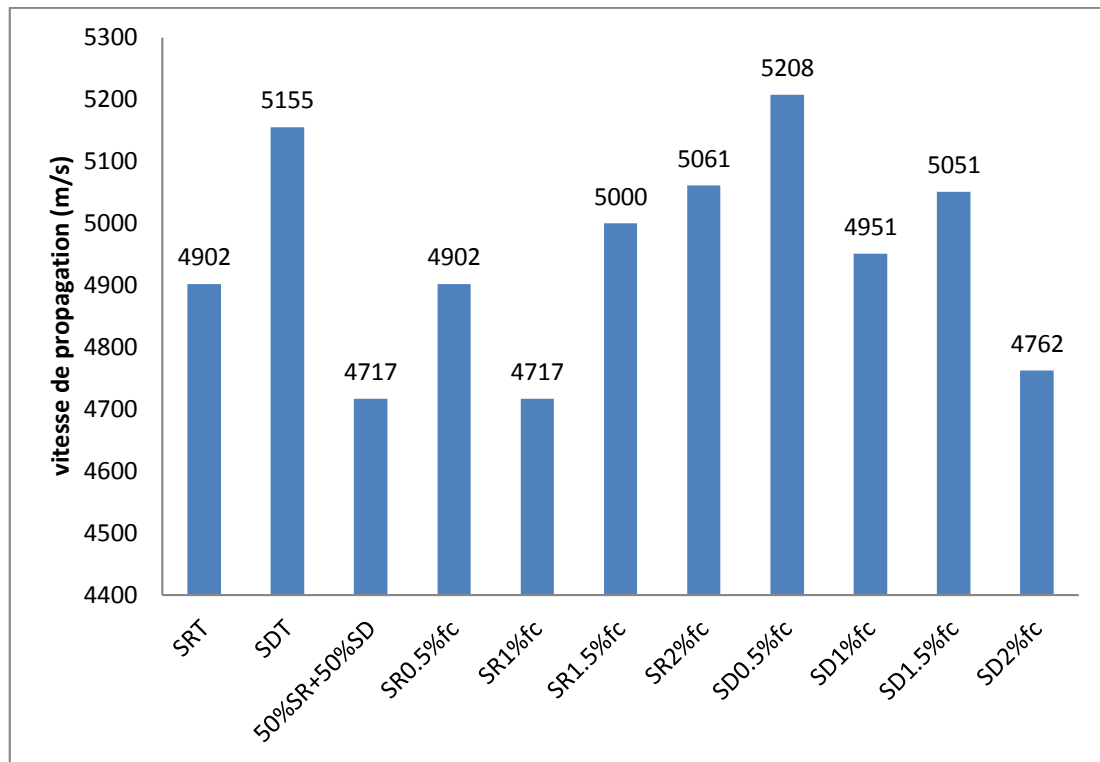


Figure V.3 : Vitesse de propagation longitudinale des ultrasons à travers les cubes

### V .2.1. Interprétation des résultats et discussion :

#### *Plaques :*

Sable de rivière témoin : Vitesse de propagation de **3924 m/s**, qualité "bonne".

Sable de dune témoin : Vitesse de propagation de **5897 m/s**, qualité "excellente".

L'ajout d'une couche de textile n'a pas eu d'effet significatif sur la vitesse de propagation par rapport aux témoins.

Le mélange **50% Sable de rivière + 50% Sable de dune** : Vitesse de propagation de **5750 m/s**, qualité "excellente".

L'ajout de **0,5% à 2%** de fibre courte a amélioré la vitesse de propagation, avec la meilleure performance à **2%**.

#### *Cubes :*

Sable de rivière témoin : Vitesse de propagation de **4902 m/s**, qualité "excellente".

Sable de dune témoin : Vitesse de propagation de **5155 m/s**, qualité "excellente".

Le mélange **50% Sable de rivière + 50% Sable de dune** : Vitesse de propagation de **4717 m/s**, qualité "excellente".

L'ajout de **0,5%** de fibre courte n'a pas affecté la vitesse de propagation.

L'ajout de 1% à 2% de fibres courtes a eu un impact mineur, avec la meilleure performance à 2%.

En conclusion, l'incorporation de fibres courtes et de textile peut améliorer la vitesse de propagation des ultrasons dans le béton, tout en maintenant une qualité élevée. Les variations dépendent de la concentration de fibres et de la composition du sable.

### V.3. Essais de compression :

#### V.3.1. Selon le type de sable utilisé :

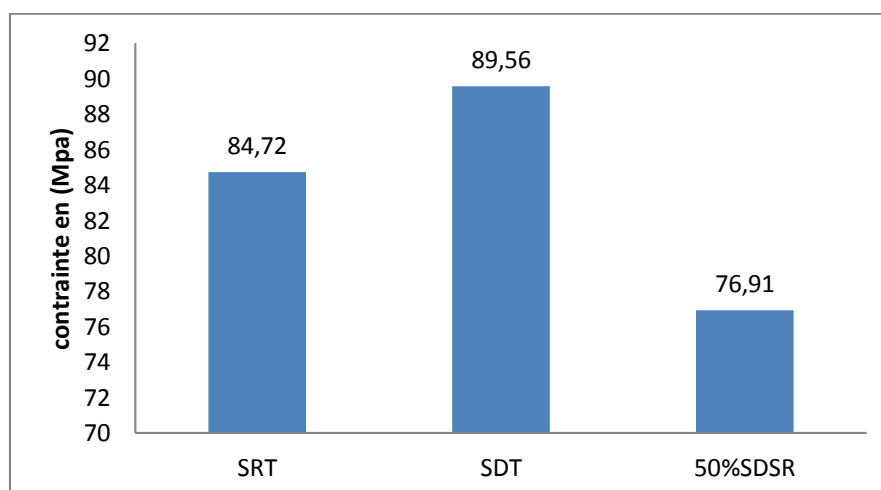
Pour évaluer les résistances à la compression des éprouvettes du programme expérimental, 3 éprouvettes cubiques de dimensions (50\*50\*50) mm<sup>3</sup> ont été confectionnées pour chacune des compositions de béton retenues dans le cadre de cette étude.

Les essais de compression conduits sur ces éprouvettes ont donné les résultats consignés dans le tableau :

**Tableau V.3** : Résultats selon le sable utilisé

	<b>SRT</b>	<b>SDT</b>	<b>50%SR50%SD</b>
<b>Force (KN)</b>	211.8	225.9	190.5
<b>Contrainte (MPa)</b>	84.72	89.56	76.91

Les contraintes enregistrées pour les éprouvettes sont représentée par l'histogramme de la figure



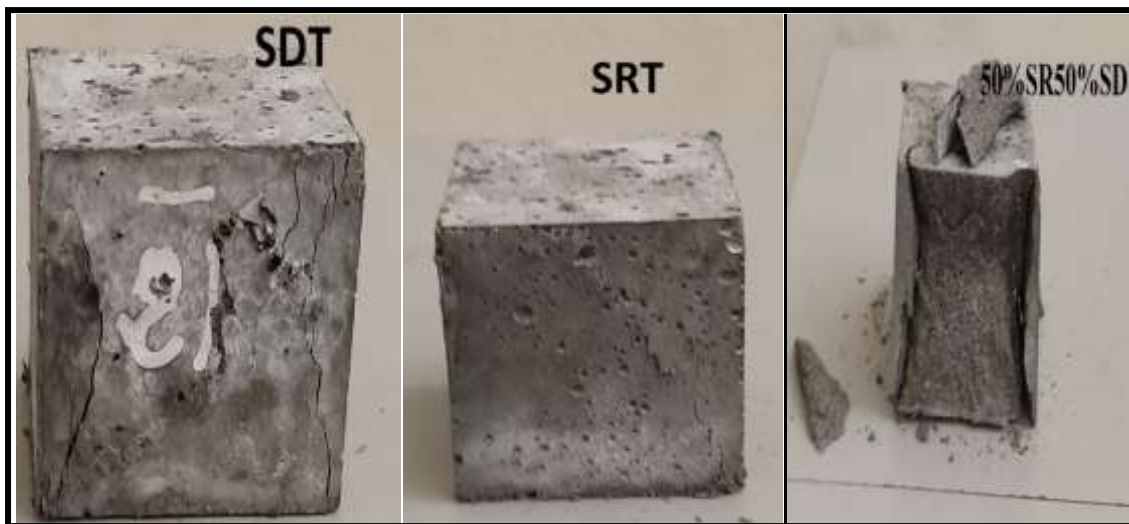
**Figure V.4.** La contrainte des éprouvettes (en Mpa) selon le type de sable

Les contraintes mesurées montrent que le Sable de dune (**SD**) a une contrainte à la compression légèrement supérieure à celle du Sable de rivière (**SR**). Cela suggère que, du point de vue de la résistance à la compression, le Sable de dune est légèrement plus performant.

Le mélange de **50%** de Sable de rivière et **50%** de Sable de dune présente la contrainte la plus basse parmi les trois variantes. Cela indique que ce mélange ne peut pas supporter autant de contrainte à la compression que les sables individuels.

En résumé, ces résultats montrent que le choix du type de sable a un impact significatif sur la capacité à résister à la compression. Le Sable de dune (**SD**) semble être plus résistant à la compression que le Sable de rivière (**SR**). Cependant, le mélange équilibré des deux types de sable conduit à une résistance à la compression inférieure. Ces informations sont essentielles pour prendre des décisions en matière de conception et de sélection de matériaux en fonction des exigences spécifiques de notre étude.

#### V.3.1.1. Mode de rupture :



**Figure V.5** Modes de rupture de cube selon le sable utilisé

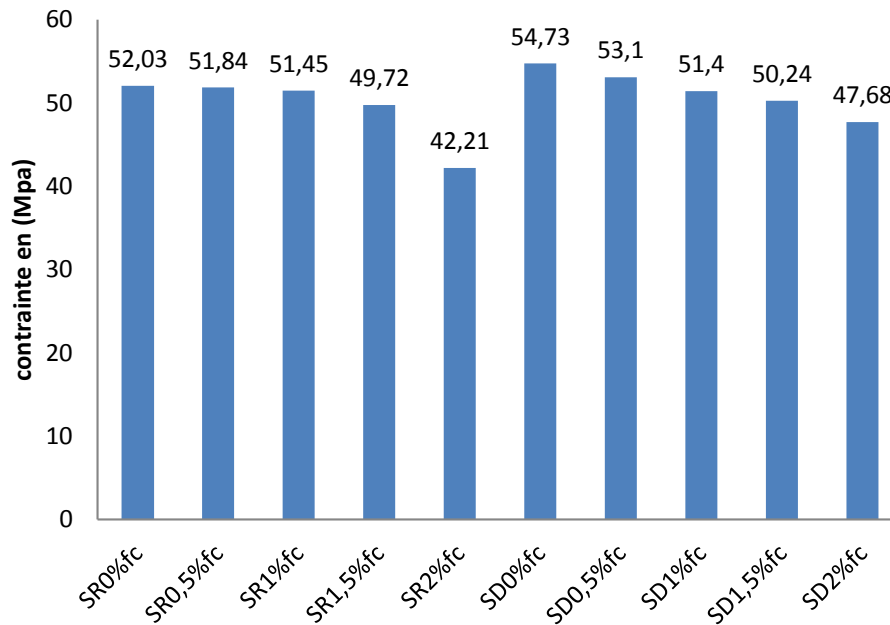
#### V .3.2. Selon le taux de fibres courtes incorporées dans le mortier :

Dans cette partie nous allons présenter les résultats obtenus sur les dix variantes avec des taux de fibres courtes de longueur 6 mm allant de 0,5 à 2%.les résultats obtenus sont présentés dans le tableau **Tableau V.4**.

Tableau V.4 : Résultats selon le taux de la fibre courte utilisé.

	Variante	Force (KN)	Contrainte (Mpa)
<b>Sable de rivière</b>	<b>SR0%fc</b>	131.8	52.03
	<b>SR0.5%fc</b>	125.9	51.84
	<b>SR1%fc</b>	124	51.45
	<b>SR1.5%fc</b>	124.3	49.72
	<b>SR2%fc</b>	105.5	42.21
<b>Sable de dune</b>	<b>SD0%fc</b>	140.1	54.73
	<b>SD0.5%fc</b>	136.0	53.1
	<b>SD1%fc</b>	126.0	51.40
	<b>SD1.5%fc</b>	120.6	50.24
	<b>SD2%fc</b>	119.2	47.68

L'histogramme ci-dessous illustre la variation de la force et de la contrainte des éprouvettes selon le taux de la fibre courte utilisé



**Figure V.6** : Contrainte à la compression des éprouvettes selon le type de sable et taux de la fibre courte.

Pour la variante "SR" (Sable de rivière), les contraintes à la compression diminuent progressivement à mesure que le taux de fibre courte augmente, passant de **52,03 MPa** à **42,21 MPa**, avec des valeurs intermédiaires de **51,84 MPa**, **51,45 MPa** et **49,72 MPa** pour les taux intermédiaires.

Pour la variante "SD" (Sable de dune), les contraintes à la compression montrent également une tendance à la baisse avec l'augmentation du taux de fibre courte, passant de **54,73 MPa** à **47,68 MPa**, avec des valeurs intermédiaires de **53,1 MPa**, **51,40 MPa** et **50,24 MPa** pour les taux intermédiaires.

Globalement, ces résultats indiquent que l'ajout de fibre courte a tendance à réduire les contraintes à la compression pour les deux types de sable, bien que l'ampleur de cette réduction puisse varier en fonction du type de sable spécifique et du taux de fibre courte. Cela suggère que le type de sable et la quantité de fibre courte sont des facteurs importants à prendre en compte lors de la conception ou de l'évaluation de matériaux pour des tests de compression.

V.3.2.1. Modes de rupture :

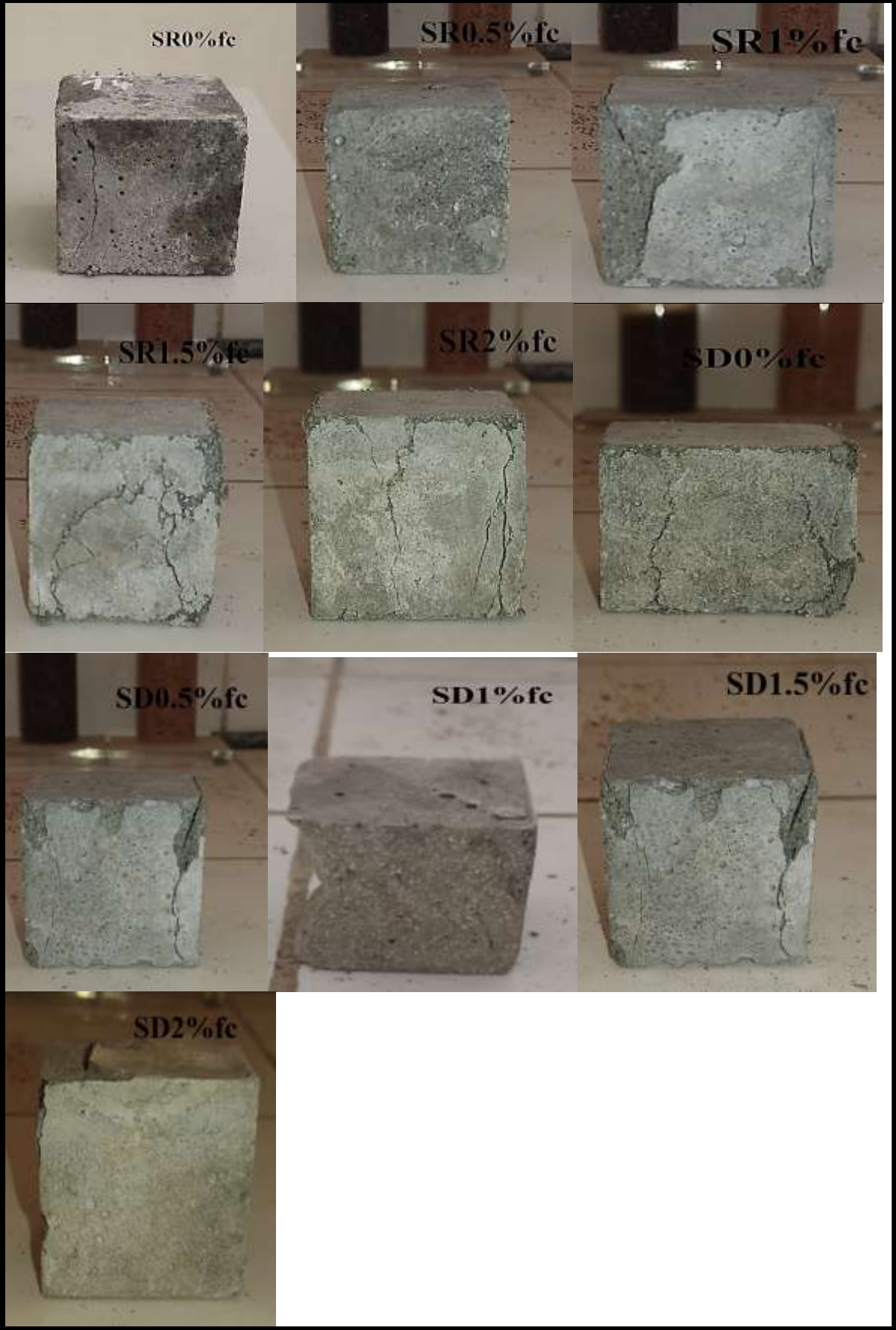


Figure V.7 : Modes de rupture de cube selon le taux de la fibre courte.

#### V.4. Essai de flexion quatre points :

Dans cette partie deux paramètres ont été étudiés, à savoir l'effet de la variation du nombre de couches du textile de fibres de carbone et celui de l'incorporation de fibres courtes de polypropylène avec des taux allant de **0,5 à 2 %**.

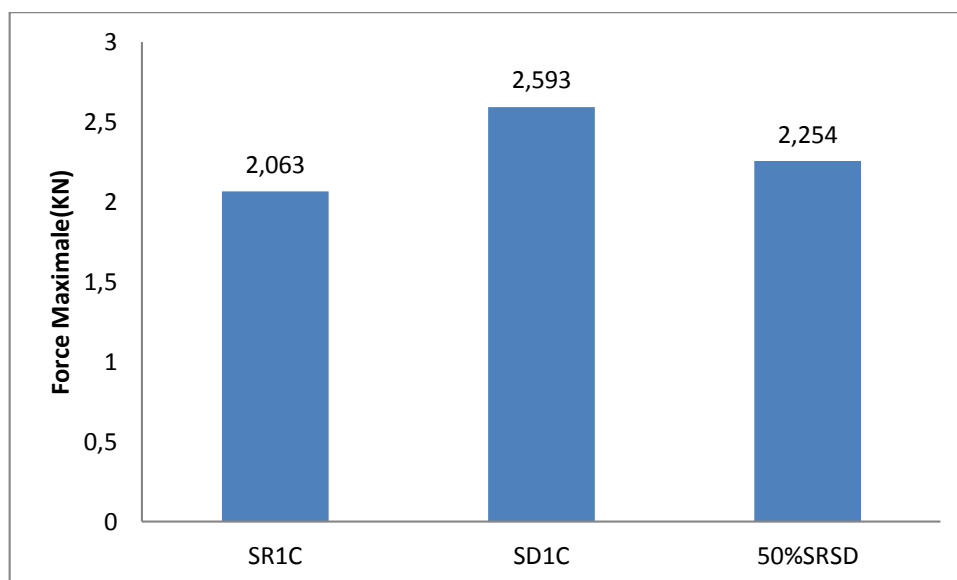
Étant donné que la flexion à quatre points permet de générer des moments de flexion plus uniformes sur la plaque, ce qui peut être utile pour caractériser les matériaux de structures dans des conditions plus réalistes, des essais de flexion 4 points ont été réalisés pour les différentes plaques de dimensions (20x100x400) mm<sup>3</sup>. Les résultats de l'essai sont donnés sous forme de tableaux et d'histogrammes de confrontations

##### V.4.1. Selon le sable utilisé :

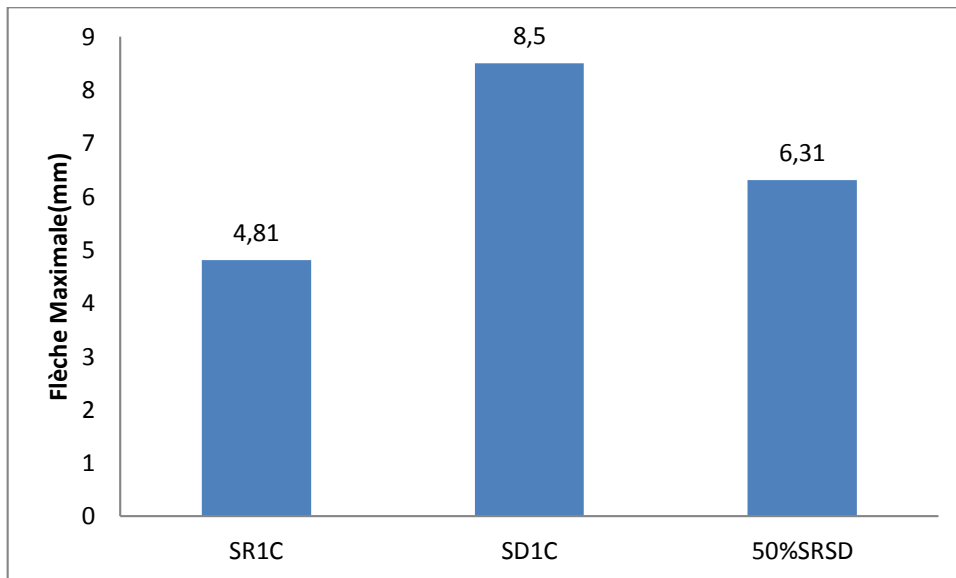
Nous rappelons que les éprouvettes sont confectionnées avec le sable de rivière et sable de dune et **50%** de sable et sable de dune, les résultats sont consignés dans le **tableau V.5**.

**Tableau V.5** : Résultats selon le sable utilisé.

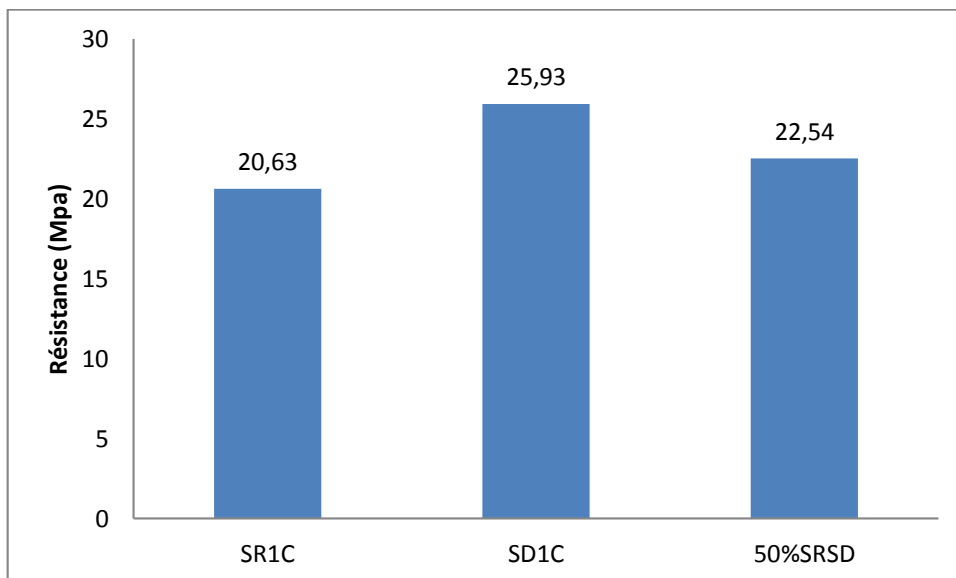
Variante	Force maximale (KN)	flèche maximale (mm)	Résistance (Mpa)
SR1C	2.063	4.81	20.63
SD1C	2.593	8.5	25.93
50%SRSD1C	2.254	6.31	22.54



**Figure V.8** : la force maximale des plaques selon le sable utilisé



**Figure V.9 :** la flèche maximale des plaques selon le sable utilisé.



**Figure V.10 :** Résistance des plaques selon le sable utilisé

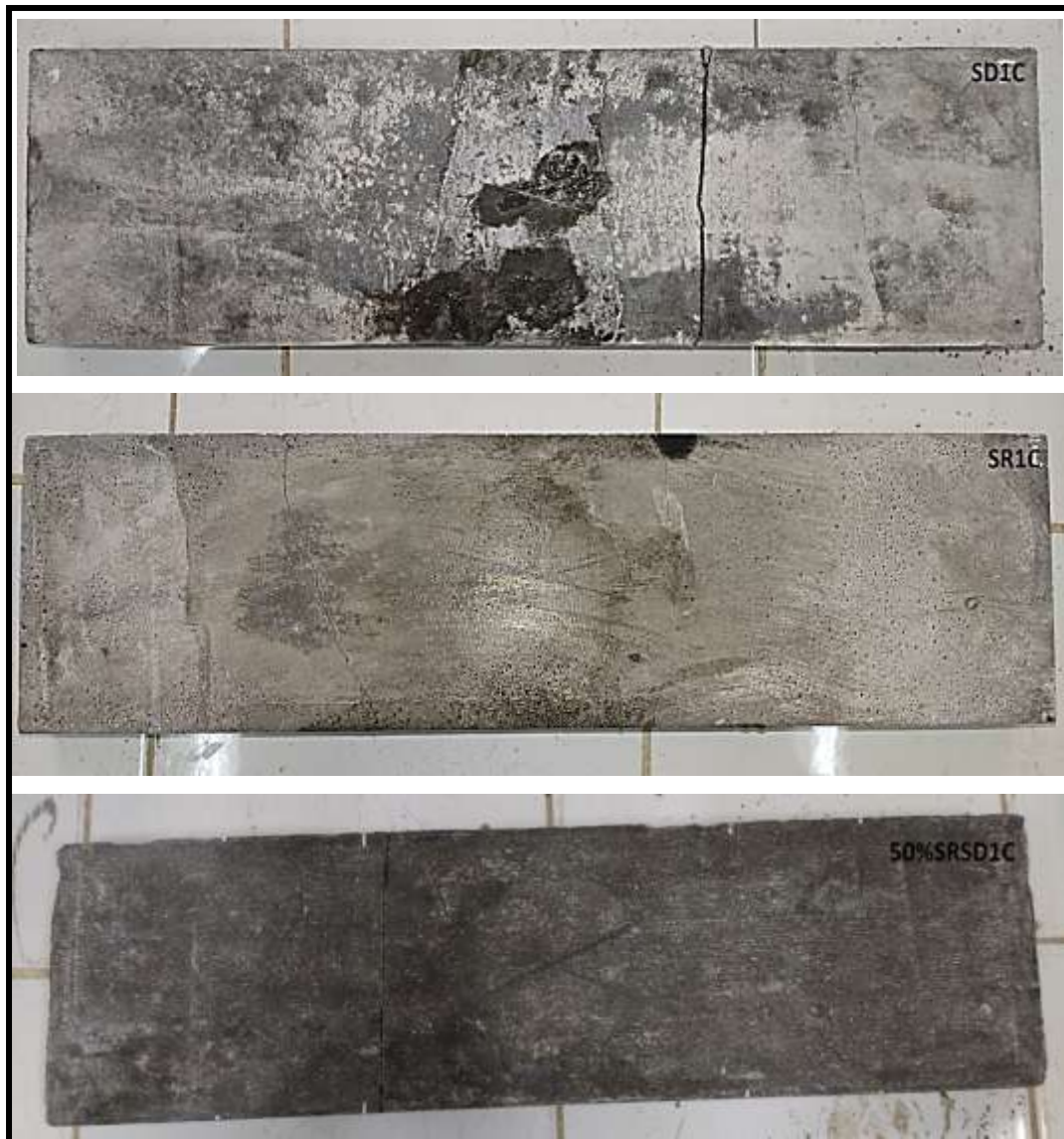
La variante **SD1C** a une résistance à la flexion plus élevée de **25,93 Mpa** par rapport à la **SR1C**. Cela suggère que le sable de dune confère une résistance supérieure par rapport à la **SR1C**.

La variante **50%SRSD** a une résistance à la flexion de **22,54 Mpa**, ce qui se situe entre les valeurs de la **SR1C** et de la **SD1C**. Cela indique que la combinaison des deux types de sable conduit à une résistance intermédiaire.

Les résultats montrent que le type de sable utilisé a un impact significatif sur la résistance des plaques à la flexion. Le sable "**SD**" semble conférer une résistance une déformabilité

supérieure par rapport au sable "SR". La combinaison égale des deux types de sable dans la variante "50%SRSD" donne une résistance intermédiaire.

#### V.4.1.1. Modes de rupture :



**Figure. V.11 :** Modes de rupture de la plaque selon le sable utilisé

La figure montre qu'une fissure importante se produit sur la face inférieure pour toutes les variantes.

#### V.4.2. Selon le nombre de couches de textile :

Les résultats en flexion pour la plaque témoin et celles renforcés avec textile sont consignés dans le tableau. Les résultats des essais de flexion sur les plaques sont présentés sur le tableau

Tableau V.6 : Résultats selon le nombre de couches de textile

Variante	Force maximale (KN)	flèche maximale (mm)	Résistance (Mpa)
SR	2.063	0.92	20.19
SD	2.593	2.31	25.37
SR1C	2.119	4.81	21.63
SD1C	2.937	8.5	29.93
SR2C	3.571	8.01	35.30
SD2C	4.43	8.23	44.71

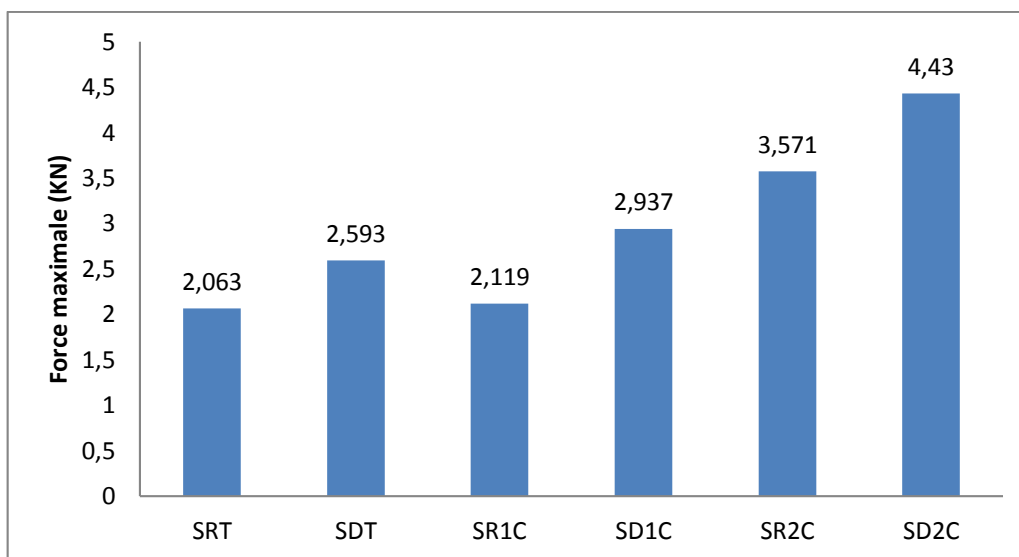
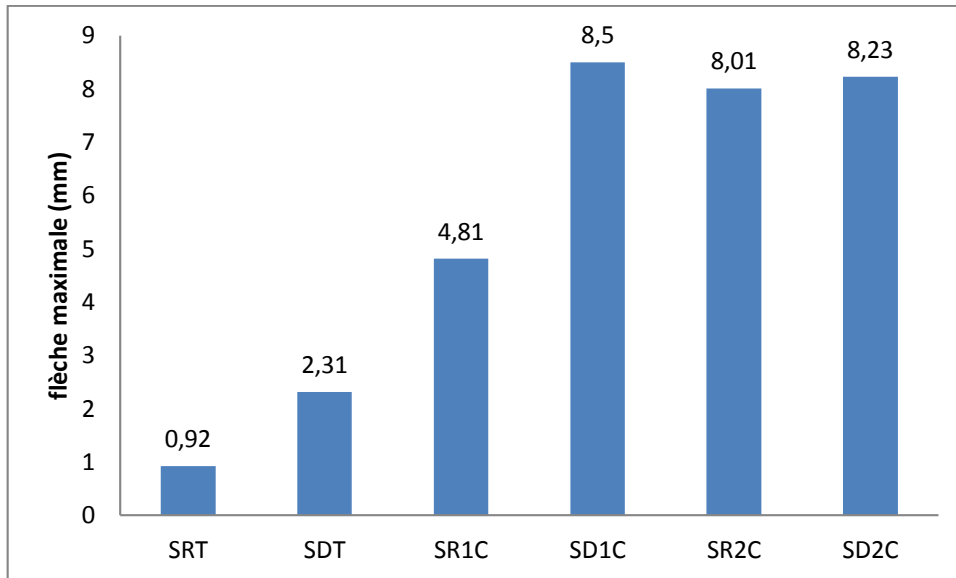
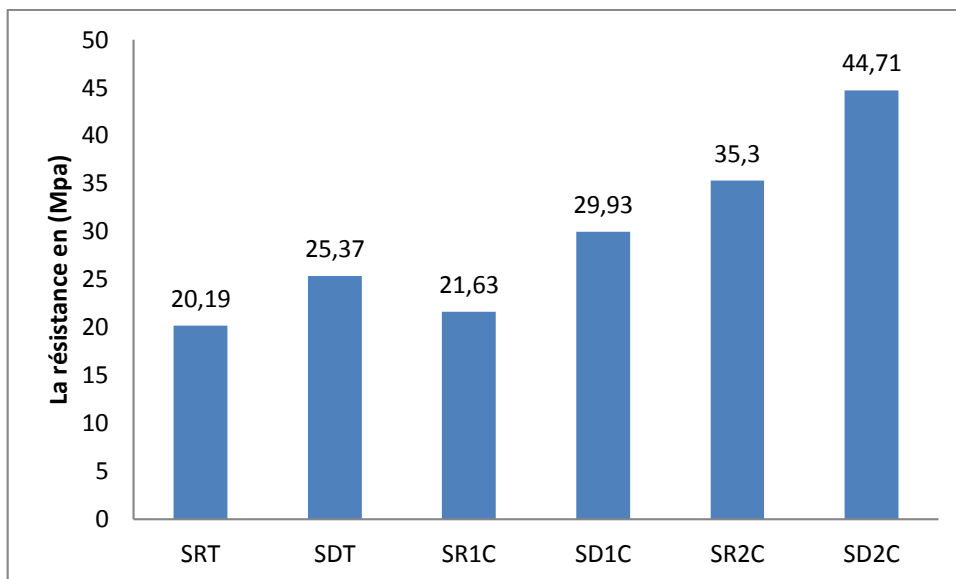


Figure V.12 : Force maximale de flexion selon le type de sable et le nombre de couches du textile



**Figure V.13 :** Flèche maximale des plaques selon le type de sable les couches de textile.



**Figure V.14 :** Résistance des plaques selon le type de sable les couches de textile.

Effet du type de sable (**SR** et **SD**) :

Les résultats montrent que l'utilisation du sable de dune améliore le comportement vis à vis des sollicitations de flexion par rapport au sable de rivière, que ce soit avec ou sans renfort textile. En effet pour les éprouvettes témoins la variante avec sable de dune (**SDT**) présente une résistance et une flèche plus élevées que le spécimen avec sable de rivière (**SRT**), Cela suggère que le sable de dune peut avoir des propriétés mécaniques supérieures, du moins dans le contexte de notre expérience, par rapport au sable de rivière

Effet du nombre de couches de renfort (C) :

La résistance à la flexion augmente généralement avec le nombre de couches de textile ajoutées aux plaques, qu'il s'agisse de sable de rivière (SR) ou de sable de dune (SD). Par exemple, **SR1C** a une force maximale de **2.119 KN**, tandis que **SR2C** a une force nettement maximale plus élevée de **3.571 KN**. De même, la force maximale pour les plaques en SD augmente avec le nombre de couches, passant de **2,937 KN** pour **SD1C** à **4,43 KN** pour **SD2C**.

Comparaison entre **SR** et **SD** :

La variante **SR1C** a une résistance de **21.63 MPa**, ce qui est légèrement supérieur à la plaque de contrôle SRT mais inférieur à la variante **SDT**. Cela pourrait indiquer que la première couche de textile ajoutée n'a pas eu un impact significatif sur la résistance par rapport au sable seul. **C'est un résultat prometteur en termes d'amélioration de la résistance.**

La variante **SD2C** présente la résistance la plus élevée parmi toutes les variantes, avec **44.71 MPa**. Cela suggère que l'ajout d'une deuxième couche de textile en combinaison avec un type spécifique de sable a eu un impact significatif sur l'augmentation de la résistance.

Dans l'ensemble, les résultats montrent que le comportement à la flexion des plaques dépend à la fois du type de sable utilisé et du nombre de couches de textile ajoutées. Les variantes à base de sable de dune (**SD**) présentent des caractéristiques plus élevées que celles à base de sable de rivière (**SR**) dans toutes les configurations de couches.

V.4.2.1. Modes de rupture :

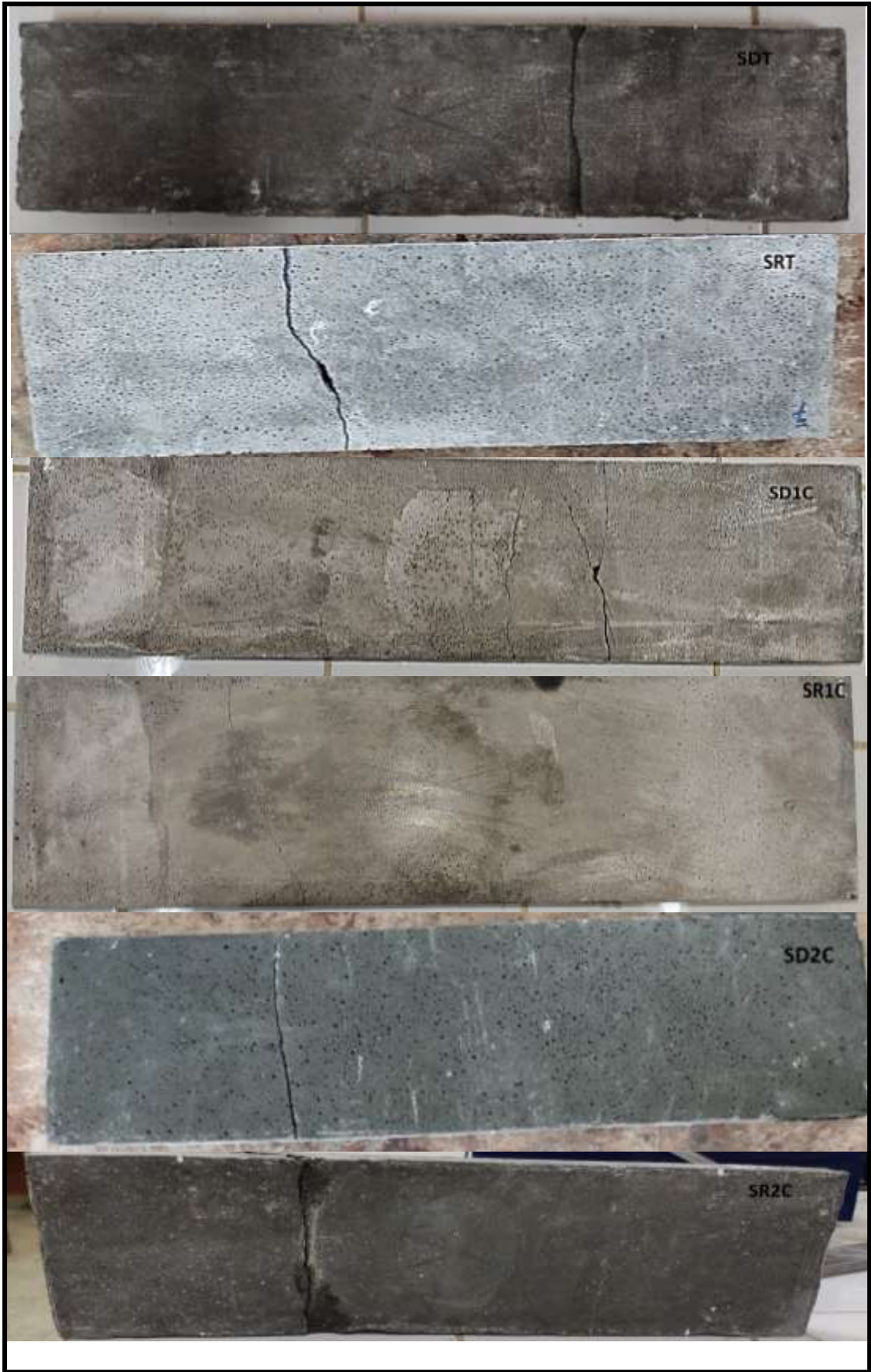


Figure V.15 : Modes de rupture de la plaque selon les couches de tissu de fibre

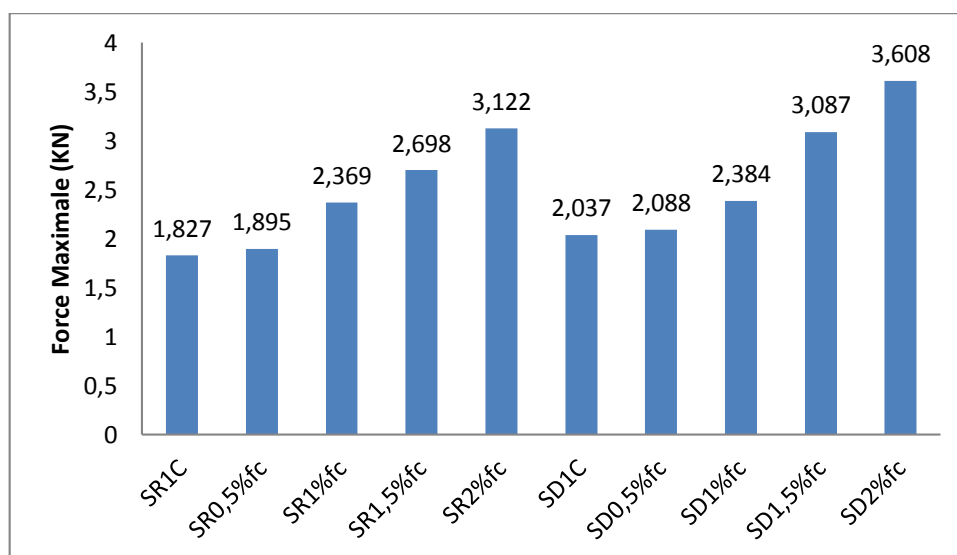
La figure V.15, illustre clairement l'apparition d'une fissure importante se développant au milieu de la plaque pour les éprouvettes témoins (sans renfort). En revanche, les éprouvettes renforcées avec des textiles de carbone et des fibres courtes présentent une fissure à proximité d'un des points d'application de la charge.

#### V.4.3. Selon le taux de fibres courtes incorporées dans le mortier :

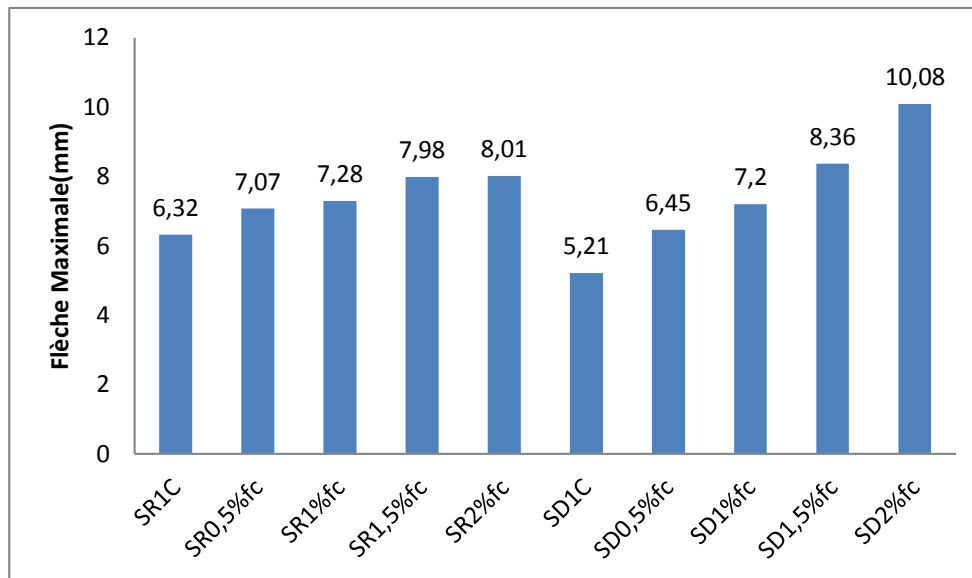
Dans cette partie nous avons étudié l'effet de l'incorporation de fibres courtes dans la matrice mortier de plaques armées d'une couche de carbone. Les pourcentages utilisés sont 0.5, 1,1.5, et 2 % de fibres de polypropylène. Les résultats sont consignés dans le tableau :

**Tableau V.7 :** Résultats selon le taux de la fibre courte utilisé

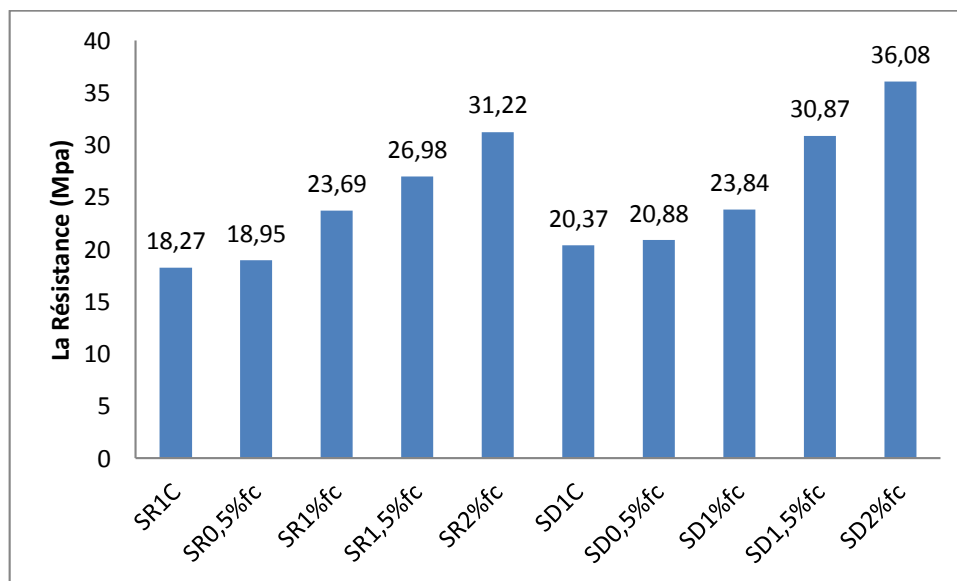
Variante	Force maximale (KN)	flèche maximale (mm)	Résistance (Mpa)
0%fcSR1C	1.827	6.32	18.27
0.5%fcSR1C	1.895	7.07	18.95
1%fcSR1C	2.369	7.28	23.69
1.5%fcSR1C	2.698	7.98	26.98
2%fcSR1C	3.122	8.01	31.22
0%fcSD1C	2.037	5.21	20.37
0.5%fcSD1C	2.088	6.45	20.88
1%fcSD1cC	2.384	7.2	23.84
1.5%fcSD1C	3.087	8.36	30.87
2%fcSD1C	3.608	10.08	36.08



**Figure V.16 :** Force maximale des plaques selon le taux de la fibre courte



**Figure V.17 :** la flèche maximale des plaques selon le taux de la fibre courte.



**Figure V.18 :** la résistance des plaques selon le taux de la fibre courte.

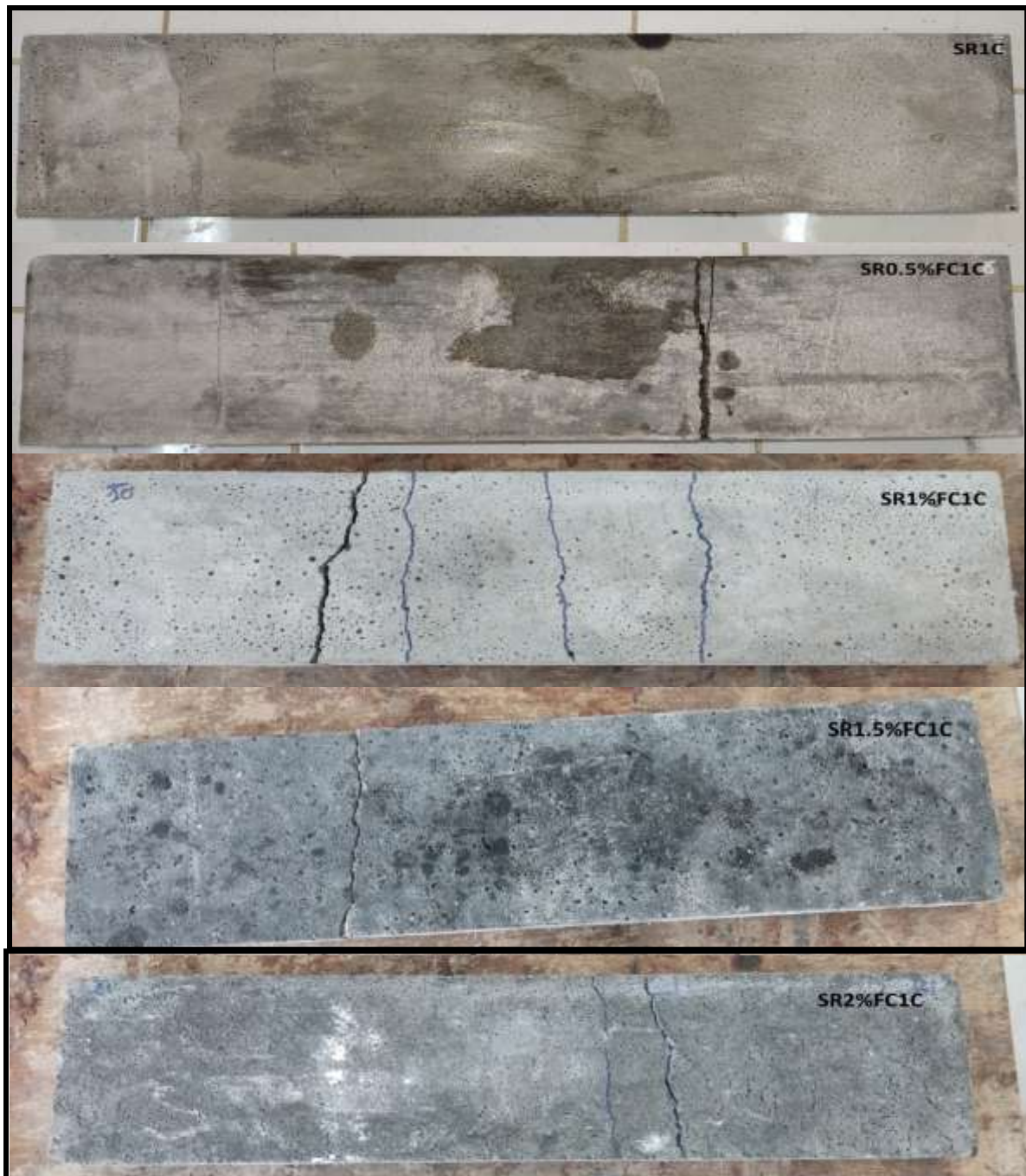
En général, l'ajout de fibres courtes augmente la résistance des plaques, quelle que soit la nature du sable. En effet les plaques des deux types de sables, montrent une augmentation significative de la résistance avec l'augmentation du taux de fibre, indiquant que les fibres courtes ont un effet positif sur leur résistance à la flexion. Pour le pourcentage de 2% de fibres courtes on a obtenu des gains de **70,88%** et de **77,12 %** pour les variantes **SR1%fc** et **SD1%fc** respectivement.

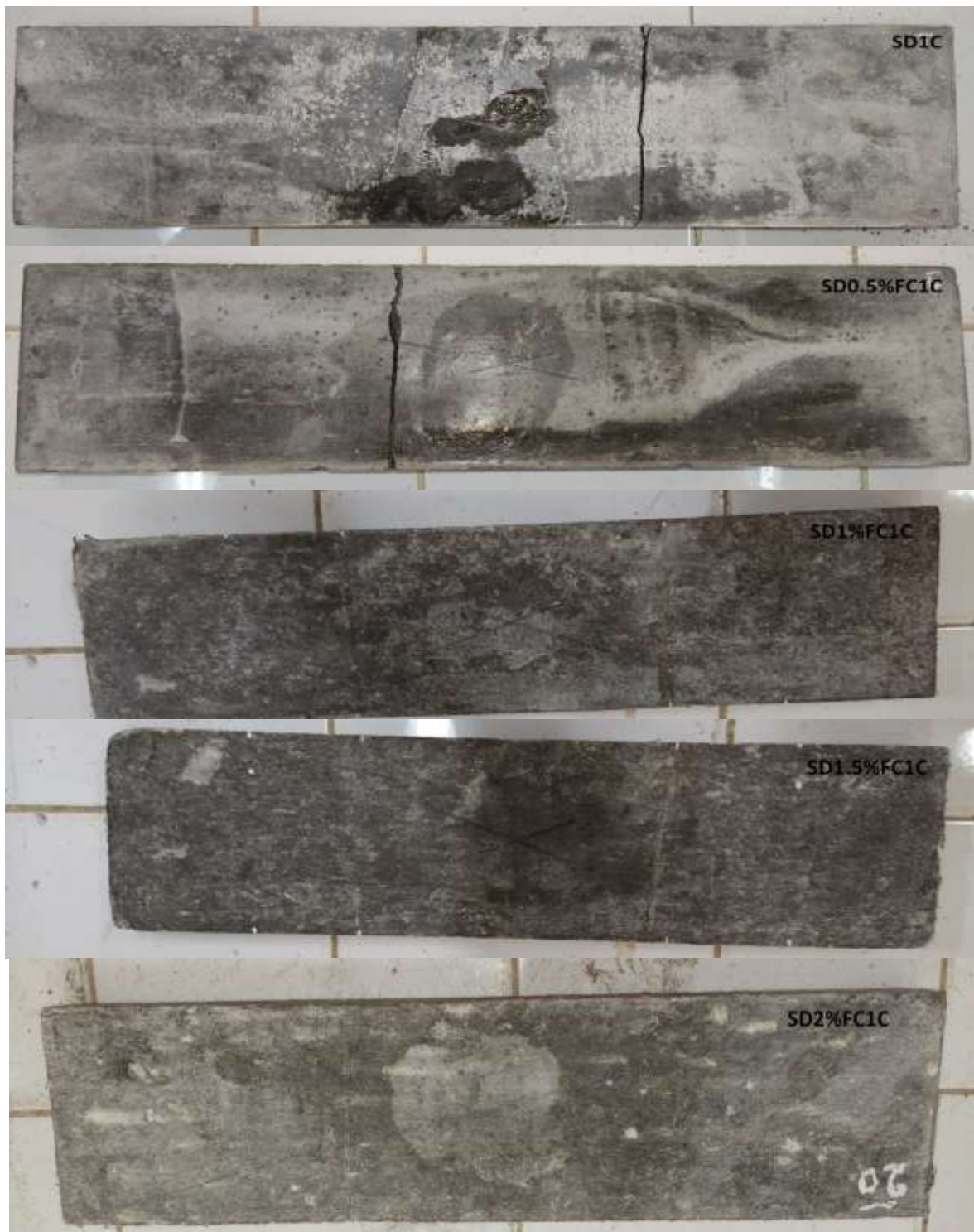
Il est important de noter que les plaques en **SR1C** présentent une résistance légèrement inférieure par rapport à celles en **SD1C**, en effet on a obtenu un gain de **15,57 %** avec l'utilisation du sable de dune par rapport au sable de rivière.

En ce qui concerne la flèche, en général, l'ajout de fibres courtes augmente la flèche maximale des plaques, quelle que soit la composition du sable (**SR1C** ou **SD1C**).

Les plaques en **SD1C** présentent des flèches maximales légèrement supérieures par rapport à celles en **SR1C**. Les plaques en **SD1C** montrent une augmentation significative de la flèche avec l'augmentation du taux de fibre, indiquant que les fibres courtes ont un effet positif sur leur capacité à se déformer avant de céder.

#### V.3.1.1. Modes de rupture :





**Figure V.19** : Modes de rupture de la plaque selon le taux des fibres courtes

Le renforcement avec la fibre courte influence de façon importante sur le mécanisme d'évolution des fissures dans le TRC. En effet comparativement aux autres variantes Les plaques renforcées avec des fibres courtes présentent plusieurs fissurations offrant une meilleure distribution des sollicitations sur la face inférieure des plaques retardant ainsi la rupture du TRC

### V .5. Conclusion :

Les différents résultats issus de l'analyse expérimentale montrent l'efficacité du renforcement interne du béton par textile. Nous avons réalisé une comparaison de l'effet des deux types de sable (dune et rivière) sur la résistance à la compression et à la flexion quatre point du mortier armé de textile de fibres de carbone ainsi que l'effet de l'incorporation des fibres courtes de polypropylène de longueur de 6mm avec des taux de 0.5 ,1,1.5 et 2%.

Les résultats nous ont permis de conclure ce qui suit :

- La résistance à la compression est influencée par le type de sable et le taux de fibres courtes dans la matrice
- En ce qui concerne la flexion quatre points, nous avons constaté que le mortier à base de sable de dune, présente de meilleurs résultats que le mortier à base de sable de rivière
- L'utilisation des fibres courtes améliore la capacité portante et la ductilité du TRC, pour les deux types de sable
- L'augmentation du nombre de couches du textile de fibres de carbone améliore la capacité portante du TRC.
- En ce qui concerne les modes de rupture, l'augmentation du nombre de couches du renfort et l'utilisation de fibres courtes, améliorent 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 et de fibres courtes, présentent un comportement ductile. Ces observations ont des implications significatives en matière de stabilité des TRC.

L'objectif principal de la présente étude est la valorisation des matériaux locaux à savoir le sable de dune de Touggourt dans la formulation des bétons armés de textiles, pour ce faire une campagne expérimentale comparative entre le mortier à base de sable de dune et de sable de rivière a été réalisée, les paramètres d'étude ont été l'effet de l'utilisation du textile de fibres de carbone ainsi que l'incorporation de fibres courtes de polypropylène dans le mortier armé de textile. L'expérience a porté sur une série de 19 plaques de dimension (400\*100\*20) mm<sup>3</sup> réparties sur 03 groupes testées à la flexion 4 points, et 13 éprouvettes cubique de dimension (50\*50\*50) mm<sup>3</sup> réparties en 02 groupes testées à la compression. Les résultats des essais, nous ont permis de conclure ce qui suit :

- 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 notamment à la flexion ou le gain est de 15,57 %
- l'augmentation du nombre de couches de fibres de carbone améliore la résistance et la ductilité du TRC à base de sable de dune de Touggourt, en effet un gain de l'ordre 49,38% en termes de résistance a été obtenu avec l'utilisation de deux couches de carbone avec le sable de dune
- l'utilisation des fibres courtes de polypropylène jusqu'à un taux de 2%, a un effet hautement significatif sur le comportement à la flexion du TRC. En effet des gains de 70,88% et de 77,12 % en terme de résistance, ainsi que 26,74% et 93,47 % en terme de flèche, pour le sable de rivière et le sable de dune respectivement

Pour corroborer notre travail de recherche, des travaux complémentaires devraient être réalisés.

Nous suggérons, en guise de perspectives, de :

- Tester d'autres types de textiles, notamment écologiques,
- Tester ce renforcement sur des éprouvettes à une échelle plus grande.
- Une campagne d'essai avec plus d'échantillons pour pouvoir prétendre à des propriétés mécaniques exactes.

## **References bibliographies**

- [1] **S. Yin, S. Xu, H. Li**, Improved mechanical properties of textile reinforced concrete thin plate, *J. Wuhan Univ. Technol. Mater. Sci. Ed.* 28 (1) ,2013, 92– 98.  
Mohammed Hutaibat, Bahman Ghiassi, Walid Tizani,
- [2] **Mohammed Hutaibat et al** , Flexural behaviour of concrete thin sheets prestressed with basalt-textile reinforcement, *Construction and Building Materials*, Volume 404, 2023, 133213, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133213>.
- [3] **N.MAAFI, A.ZEMMIT**. Etude de l'effet du type d'agréats sur comportement mécanique d'un béton. Thèse de Master, Université Elbachir El Ibrahimi de Bordj Bou Arreridj, 2013.
- [4] **Alan Strauss Rambo D, Umbinger de Oliveira C, Pícolo Salvador R et al** (2021) Sisal textile reinforced concrete: improving tensile strength and bonding through peeling and nano-silica treatment. *ConstrBuild Mater.* <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124300>
- [5] **[AFGC\_07]** : Réparation et renforcement des structures en béton au moyen des matériaux composites; Recommandations provisoires, documents scientifiques et techniques; June 2007.
- [6] **Scholzen A, Chudoba R, Hegger J (2015)** Thin-walled shell structures made of textile-reinforced concrete: part I: structural design and construction. *StructConcr* 16(1):106–114.
- [7] **J.M. Berthelot**. « Matériaux composites, « comportement mécanique et analyse des structures » Edition. Lavoisier, (2005), ISBN : 2-7430-0771-0. Pp 72.
- [8] **Journée d'information**, « *ciments – bétons – adjuvants* », *Les adjuvants Définitions Et opportunités d'utilisation, 2004. Organisée par : ERCE-CTC-est-GRANITEX.*
- [9] **Soden J, Pedreschi R, Walker P et Ansell MP (2012)** *Woven Structural Formwork*. LimesNet Low Impact Materials, « Matériaux de construction Volume 166 Numéro CM4. Le potentiel de textiles avancés pour le coffrage des tissus Brennan, Pedreschi, Walker et Ansell ».
- [10] **CONTAMINE, Raphaël**. Contribution à l'étude du comportement mécanique de composites textile-mortier : application à la réparation et/ou renforcement de poutres en béton armé vis-à-vis de l'effort tranchant. 2011. Thèse de doctorat. Université Claude Bernard-Lyon
- [11] **EL HAGE, C.**; Modélisation du comportement élastique endommageable de matériaux composites à renfort tridimensionnel; Philosophy doctoral thesis, Université de technologie de Compiègne, France; October 27, 2006.

- [12] **.Guo S, Ren J, Yang T et al(2022)** « Influences of surface treatment on the mechanical performances of carbon and basalt textiles reinforced concretes under harsh environments ». *Compos B Eng* 246:110195. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2022.110195>.
- [13] **Orr JJ, Darby AP, Ibell TJ et Evernden M (2012)** « Optimisation and durability in fabric cast double T-beams. *Actes de la 2e conférence internationale sur les coffrages souples, Bath, Royaume-Uni*, pp. 268-279 ».
- [14] **S.Refrafi**, « Influence des ajouts sur les caractéristiques physico-mécaniques des mortiers et des bétons ». Mémoire de Master, Université Mohamed Khider-Biskra, 2009.
- [15] **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 Mohammed Boudiaf- Msila 2018/2019 ».
- [16] **WALK-LAUFFER, B., ORLOWSKY, J., RAUPACH, M.**; Verstärkung des inneren Roving-Verbundes im textile bewehrten Beton. (Increase of bond properties within the roving in textile reinforced concrete.); Weimar: Bauhaus-Universität, 2003. - In: 15. Internationale Baustofftagung, Volume 2; pp281-290; September 24-27, 2003.
- [17] « Etude des modifications physico-mécaniques apportées par les ajouts minéraux aux bétons », Thèse de Doctorat d'état, UST Oran (Algérie), 2006.
- [18] **vorgelegt von Dipl.-Ing. Jens Uwe Hartig** Numerical investigations on the Uniaxial tensile behaviour of Textile Reinforced Concrete 2011.
- [19] **Houssam .BELKHIRI & Ahmed DERRAGUI 27/06/2016**, (Contribution à l'étude des comportements mécaniques de mortier à base de sable de dune et fines siliceuses) Mémoire de Master Université de Djelfa.
- [20] **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.
- [21] **Riad Benzaid, Habib Abdelhak Mesbah, Nasr-Eddine Chikh** « Etude des Matériaux Composites Dans le Renforcement et la Réparation Des Eléments Structuraux Linéaires en Béton ». Editions Universitaires Européennes. Editions Universitaires Européennes, pp. 264, 2010, 978-613-1-55146-8.
- [22] **BENCHIHEUB Djihen**, « Contribution à l'étude de la compréhension des phénomènes et mécanismes d'action des effets des additions sur le comportement des matrices cimentaire » thèse de Doctorat, Université 20 Aout 1955-Skikda, 2018/2019.

- [23] **ZAKARIA ILYES DJAMAI 5** (Contribution a la caractérisation multi-échelle de composite textile mortier a inerte thermique renforcé par matériaux a changement de phase (composite MCP-TRC) : application au bâtiment. Le 31/12/2018.
- [24] **OULD EL HACEN zein el abidine** « renforcement du béton par les matériaux.Composites» Université deTébessa, Mémoirede Master2016.
- [25]**Christine BROAWAEYS** (les matériaux textiles dans la rénovation du bâtiment, atouts et performances). 02/14/12.
- [26]**Mohammad Alma'aitahet Bahman Ghiassi**, Development of cost-effective low carbon hybrid textile reinforced concrete for structural or repair applications, Construction and BuildingMaterials,Volume341,2022,127858,<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127858>.
- [28] **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
- [29] 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.
- [30] **AZZOUZ Hocine**, *étude des bétons à base des sables de dune*, 03/05/2009.
- [31]**H.Zahouani and A.Touati**, « Élaborationd’un béton auto-plaçant à base de laitier de haut fourneau » Mémoire de Master, Université de Ouargla Kasdi ,Merbah, 2011.
- [32] **M. Kurban et al**, Investigation of the flexural behavior of textile reinforced concrete with braiding yarn structure *Construction and Building Materials* 334 (2022) 12743
- [33] **RavindranathGupt et al** , Effect of Polypropylene Fiber for Cement Concrete Based on Rigid Pavement, *Journal of Xidian University*, VOLUME 14, ISSUE 4, pp 2339-2345 ,2020,<https://doi.org/10.37896/jxu14.4/259>

## **Résumé :**

*Ces dernières années, l'intérêt pour le renforcement des structures en béton avec des matériaux composites renforcés de textile (TRC) a augmenté en raison des besoins croissants en réparation, renforcement et réhabilitation de structures. Les ressources de sable alluvionnaire deviennent de plus en plus rares, il est devenu crucial de rechercher des substituts locaux et plus accessibles. Dans ce contexte, cette recherche explore l'utilisation innovante du sable de dune dans les TRC, tout en conservant ses propriétés mécaniques*

*Ce travail a caractère expérimental présente une étude sur le comportement mécanique d'un mortier à base de sable de dune de Touggourt, armé de textile de carbone et de fibres courtes de polypropylène. Les paramètres étudiés incluent le type de sable utilisé, le nombre de couches de textile en carbone, et le pourcentage de fibres courtes de polypropylène (0,5 %, 1 %, 1,5 %, 2 %). Les résultats de l'étude indiquent que l'utilisation du sable de dune améliore la compacité, le comportement mécanique notamment en flexion du mortier armé de textile.*

**Mots clés :** Mortier armé de textile, Textile de carbone, Fibres courtes, Compression, Flexion.

## **Abstract :**

*In recent years, there has been a growing interest in reinforcing concrete structures with textile-reinforced composites (TRC) due to the increasing need for the repair, strengthening, and rehabilitation of structures. Alluvial sand resources are becoming increasingly scarce, making it crucial to explore local and more accessible alternatives. In this context, this research explores the innovative use of dune sand in TRCs while focusing on its mechanical properties.*

*This experimental study presents a study of the mechanical behavior of mortar based on dune sand from Touggourt, reinforced with carbon textile and short polypropylene fibers. The studied parameters include the type of sand used, the number of layers of carbon textile, and the percentage of short polypropylene fibers (0.5%, 1%, 1.5%, 2%). The study results indicate that the use of dune sand improves the compactness and mechanical behavior, especially in the flexural strength of the textile-reinforced mortar.*

**Keywords:** Textile-reinforced mortar, Carbon textile, Short fibers, Compression, Flexion.