



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DE GENIE DE LA CONSTRUCTION
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

Mémoire de Fin D'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil
Option : STRUCTURES

Réalisé par : AIT HOCINE Menad
MALEK Nesrine

Thème :

Etude de la possibilité de l'utilisation du jute, en remplacement du verre, dans le confinement interne en double hélice avec TRC de cylindres en béton armé

Soutenu publiquement devant le jury composé de :

Mme BOUZEBLOUDJA .F
Mme ALI AHMED.C
Mme AIT TALEB.S

Présidente
Encadreur
Examinatrice

Année Universitaire : 2019/2020

Dédicace

À mon père

À ma mère

À tous les membres de ma famille notamment mes frères, mes sœurs et mes belles-sœurs ,

Je dédie ce modeste travail.



AIT HOCINE Menad

Dédicace

À Mon père, à mon beau-père

À ma mère, à ma belle-mère

À mon époux

À ma grand- mère

À tous les membres de ma famille notamment mes frères, mes sœurs, mon beau-frère et ma belle-sœur,

Je dédie ce modeste travail.



Mme MALEK Nesrine

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à adresser nos plus sincères et vifs remerciements à Mme ALI AHMED C, notre promotrice pour son excellent accueil, son aimable collaboration et ses orientations si précieuses ainsi son soutien indéfectible tout le long de ce travail.

Nos sincères remerciements vont aussi aux membres du jury, Mme BOUZEBODJA.F. et Mme AIT TALEB.S pour l'intérêt qu'elles ont apporté à notre recherche et pour avoir accepté d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs remarques.

Nous vifs remerciements vont également à nos enseignants qui nous ont formés et apportés beaucoup enrichis de connaissances ainsi que les ingénieurs du laboratoire de génie civil, Mr BOUHERAOUA. R, Mme BEN AHMED. F et Mme BABASSI.A pour leur disponibilité et toute l'aide que nous avons reçue de leur part.



Résumé :

L'industrie des matériaux composites ne cesse d'évoluer et de croître en mettant en place de nouveaux matériaux et de nouvelles technologies. C'est en substitution des matériaux d'origine fossile que les matériaux d'origine naturelle (surtout végétales) commencent à voir le jour. C'est dans ce contexte que notre travail de recherche est proposé. Il s'intéresse à l'étude de la possibilité de remplacer les matériaux à base de fibres synthétiques de verre par des écologique à base de fibres végétales de jute pour le renforcement interne de cylindres en béton armé, s'inscrivant ainsi, dans une démarche de développement durable.

Une campagne expérimentale est réalisée sur des éprouvettes de ($\text{Ø}150\text{mm} \times 300\text{mm}$) en béton confinées par des bandes hélicoïdales de textile de jute en augmentant le taux de confinement (largeur et nombres de tours de la bande), chargées en compression jusqu'à la rupture, pour mettre en exergue les performances mécaniques de telles spécimens comparativement à celles en béton renforcé par textile de verre.

Les différents résultats issus de l'analyse expérimentale montrent l'efficacité du confinement proposé en termes d'apport positif en résistance, et montrent que pour le renforcement du béton armé, le textile de verre peut être substitué par le textile de jute à condition d'augmenter la densité de confinement de ce dernier. Les propriétés mécaniques spécifiques et le bilan environnemental avantageux des fibres de jute en font une alternative intéressante aux fibres de verre.

ABSTRACT

The composite materials industry continues to evolve and grow with the introduction of new materials and new technologies. It is in substitution of materials of fossil origin that materials of natural origin (in particular plant) begin to emerge. It is in this context that our research is proposed. It is interested in the study of the possibility of substitution composite materials based on synthetic glass fibers by ecological materials based on jute vegetable fibers for the internal reinforcement of concrete cylinders, thus forming part of a sustainable development approach.

An experimental companion is carried out on concrete specimens ($\varnothing 150\text{mm} \times 300\text{mm}$) reinforced by helical jute textile by increasing the degree of confinement (width and number of turns of the helix), loaded in compression until breaking, to demonstrate the mechanical performance of these specimens compared to those of concrete reinforced with glass textile.

The various results of the experimental analysis show the effectiveness of the proposed reinforcement in terms of positive resistance contribution, and show that for the concrete reinforcement, the glass textile can be replaced by the jute textile provided that the reinforcing density of the latter is increased. The specific mechanical properties and the advantageous environmental balance of jute fibers make it an attractive alternative to glass fibers.

Introduction générale

CHAPITRE I : Synthèse bibliographique

I .Introduction	04
I.1. 1 Formes de renforts	05
I.1.1.1 Formes linéiques	05
I.1.1.2.formes surfaciques.....	06
I.1.2. Fibres formant les tissus de renfort.....	07
I.1.2.1. Fibres synthétiques.....	07
I.1.2.1.1. Fibres d'aramide	07
I.1.2.1.2.Fibres de carbone.....	08
I.1.2.1.3.Fibres de verre	09
I.1.2.1.4.Fibres céramique	09
I.1.2.2.Les fibres naturelles.....	09
I.1.2.2.1.Les fibres végétales	10
I.1.2.2.2.Classification des fibres végétales	11
I.1.2.2.3.Propriétés des fibres végétales.....	11
I.1.2.2.4.Les avantages et inconvénients des fibres végétales.....	12
I.1.2.2.5.Les différentes fibres végétales	13..
I.1.2.2.5.1.Le lin	13
I.1.2.2.5.2 Le kenaf	13.
I.1.2.2. 5.3 Le chanvre.....	13..
I.1.2.2. 5.4.Le sisal	14
I.1.2.2.5.5.Le jute	14
I.1.2.2.5.6.Le jute dans les composites	19
I.2.1 Renforcement par armatures.....	20
I.2.2 Renforcement par grilles	22
I.2.3 Structures en Génie Civil.....	24
I.6. Exemples de renforcement avec TRC issus de quelques travaux de recherche de quelques travaux antérieurs.....	28
I.7. CONCLUSION.....	32

CHAPITRE II : PROCEDURE EXPERIMENTALE

II.1.Introduction.....	33
II.2 Démarche expérimental	33
II-2.1.Protocole expérimental.....	33
II-3-Characterisation des matériaux utilisés (béton et textiles)	35.
II-3-1- Constituants du Béton	35
II.3.2 Les armatures	36
II.3.2.1 Les ronds lisses.....	37.
II.3.2.2 Les barres à hautes adhérences	37
II-3-3- Le renfort composite	39
II-3-3-1- Tissu en fibres de jute	39
II-3-3-2- La résine	39
II.4. Préparation du ferrailage	41
II.5 Confinement interne avec le tissu de renfort.....	42
II.5.1. Collage des tissus sur le ferrailage.....	42
II. 5.2. Nomenclature des éprouvettes	44
II-6- Confection de béton et préparation des éprouvettes	45
II-6.1- Moules cylindriques	45
II-6.2- Coulage du béton	45
II-6-3 Démoulage et mûrissement des éprouvettes	46
II-7- Procédure d'essai	47
II-7-1- Essai de résistance à la compression	47
II-8-Conclusion.....	48

CHAPITRE III : Résultats et discussion

III.1. Introduction	49
III -2. Efficacité du renforcement avec des bandes hélicoïdal en fibre de jute ...	49
III -2.1. Effet de renforcement sur la résistance en compression	49
III -2.2. Effet de renforcement sur la déformation	54
III -2.2.1. Calcul des gains	55
III -3. Etude de la possibilité de substitution du textile jute au textile verre	56
III -3.1. Influence de la largeur de la bande	56
III -3.1.1. Influence de la largeur de la bande sur la résistance en	57

III -3.1.2 Influence de la largeur de la bande sur la déformation	58
III -3.2. Influence du nombre de tours de la bande	60
III -3.2.1. Influence du nombre de tours de la bande sur la résistance en compression	60
III -3.2.2 Influence du nombre de tours de la bande sur la déformation	61
III-3-2.3- Synthèse des résultats expérimentaux	63
III.4. Relation entre la résistance en compression ainsi que la déformation et les paramètres d'étude	64
III. 5. Conclusion	66
Conclusion générale	
Référence bibliographique	

Liste des figures :

Figure I.1: Différents types de renfort.....	05
Figure I.2 : structure d'un tissu	06
Figure I.3 : Différents types d'armures	06
Figure I. 4 : Détail de la différence entre le mat à fils coupés et le mat à fils Continus	07
Figure I. 5: Fibre de carbone.....	08
Figure I.6: Différentes fibres naturelles	10
Figure I.7: Lin et la fibre de lin.....	13
Figure I.8: La fibre de kenaf	13
Figure I.9 : Le chanvre et la fibre de chanvre.....	14
Figure I.10: Sisal et la fibre de sisal	14
Figure I.11: La fibre de jute	15
Figure I.12 : Transformation des fibres jute en fil.....	16
Figure I.13: Etapes extraction de la fibre de jute	17
Figure I.14 : Structure de la fibre de jute	17
Figure I.15 : Procédure de fabrication des armatures en FRP.....	21
Figure I.16 : Armatures en fibres d'aramides et fibres de carbone	21
Figure I.17 : Ferrailage mixte avec des armatures inférieures en acier et des armatures supérieure en FRP	22
Figure I.18 : Mise en oeuvre des grilles en FRP.....	22
Figure I.19 : Dimensions et espacement d'une grille en FRP	23
Figure I.20 : Renforcement interne d'un tunnel par NEFMAC.....	23
Figure I.21 : Emploi des NEFMAC sous forme de voiles pour la construction des bâtiments	24
Figure I.22 : Barres d'armatures en PRF de verre placées dans un tablier de pont en béton avant la mise en place du béton	25
Figure I.23: Pont suspendu fabriqué en FRP	25
Figure I.24 : Pont routier de petite portée entièrement fait de PRF	25
Figure I.25 : Partie d'un pont en FRP obtenue par pultrusion	26
Figure I.26 : Treillis tridimensionnels en FRP	26
Figure I.27 : Recouvrement d'une construction par des FRP	26
Figure I.28 : Poutres et colonnes en FRP utilisés pour la construction d'un bâtiment.....	26
Figure I.29 : Système d'ancrage du sol en FRP d'une pente	27

Figure II.1. Schéma de l'expérience	34
Figure II-2. : Constituants du béton	36
Figure II.3 Les ronds lisses.....	37
Figure II.4 Les barres à hautes adhérences	38
Figure II-5: Tissu en fibre de jute	39
Figure II-6 : Composants de l'adhésif (durcisseur et résine	40
Figure II.7. Conception du ferrailage des cylindres.....	42
Figure II.8. Bandes de tissu de fibre de jute.....	43
Figure II-9 : Collage du tissu sur le ferrailage	43
Figure II.10. Confinement en double hélice en fibres de verre	44
Figure II-11: Moules cylindriques	45
Figure II-12 Malaxeur à axe vertical	45
Figure II-13 Confection des éprouvettes	46
Figure II-14 conservation des éprouvettes	47
Figure II-15: Essai de compression sur éprouvette en béton avec confinement interne en fibre de Jute	47
Figure III.1. Contraintes de compression, selon la largeur du textile.....	50
Figure III.2. Contraintes de compression, selon le nombre de tours du textile..	50
Figure III.3. Déformations axiales, selon la largeur du textile.....	53
Figure III.4. Déformations axiales, selon le nombre de tours du textile.	53
Figure III.5. Déformation axiale, selon la largeur du textile.....	56
Figure III.6. Déformation axiale, selon le nombre de tours du textile.....	58
Figure III.7. régressions linéaires de la résistance en compression et les paramètres d'étude.....	59
Figure III.8. Régressions linéaires de la déformation et les paramètres d'étude.....	60

Liste des Tableaux :

Tableau I.1 : Caractéristiques des fibres de carbone.....	08
Tableau I. 2:Différent types de fibre de verre.....	09
Tableau I.3:Caractéristiques physiques des fibres végétales.....	11
Tableau I.4:Propriétés physico-chimique de quelques fibres végétales.....	12
Tableau I.5:Avantages et inconvénients des fibres végétales.....	12
Tableau I.6:Caractéristiques physiques des fibres de jute.....	18
Tableau II.1 : Dosage des Constituants du béton.....	36
Tableau II.2 Caractéristiques mécaniques « les ronds lisses ».....	37
Tableau II.3 Caractéristiques mécaniques des barres à hautes adhérences.....	38
Tableau II.4 : Propriétés mécaniques de la fibre de jute.....	39
Tableau II.5 : Caractéristiques de la résine fournie par le fabricant.....	40.
Tableau II.6 : détails de ferrailage des cylindres.....	41
Tableau II.7 : Nomenclature des spécimens d'étude.....	44
Tableau III-1 : Résistances en compression.....	49
Tableau III.2: Gains en résistance à la compression.....	52
Tableau III.3: Déformations axiales.....	52
Tableau III.4: Gains en déformation.....	54
Tableau III-5 : résistances en compression et gains réalisés pour les cylindres renforcés, pour la variable largeur de la bande.....	55
Tableau III-6 : déformation et gains, en fonction de la largeur du textile.....	56
Tableau III-7 : résistances en compression et gains, selon le nombre de tours..	57
Tableau III-8 : déformation et gains, en fonction du nombre de tours du textile.	58

Introduction générale

Introduction générale

Le béton armé est le matériau qui domine dans le domaine de la construction, ce qui fait que l'homme cherche toujours de nouvelles techniques d'amélioration afin de l'exploiter au mieux. Cependant, pour la plupart d'entre elles, il s'avère qu'elles sont coûteuses et polluantes.

De nos jours, il est de plus en plus fréquent d'utiliser des matériaux performants mais polluants pour l'environnement, comme les fibres synthétiques. Ces fibres sont largement utilisées dans le domaine de la construction, notamment dans la réhabilitation d'éléments en béton soit en les renforçant ou en les réparant.

Beaucoup de structures en béton sont réhabilitées, ce qui leur assure une durée de vie plus longue, grâce à l'utilisation de matériaux composites sous forme, le plus souvent, de Polymères Renforcés de Fibres (PRF). De nombreuses études ont été menées pour étudier les comportements et estimer les capacités des colonnes entièrement enveloppées avec des polymères renforcés de fibres «FRP » [26-27-28-29-30]. Ce procédé a montré son efficacité via les nombreux travaux publiés et il est même mis en application dans différents pays, malgré certains inconvénients. En effet, comme les PRF sont généralement collés en surface du support béton [29-31]. Ils ont tendance à se décoller sous l'effet d'une grande sollicitation, comme ils se détériorent sous l'effet des hautes températures ou de l'humidité.

Un autre procédé de renforcement dont l'utilisation est également en plein essor, il s'agit des textiles des ciments renforcés de textiles (TRC).

Un renforcement interne de cylindres en béton armé est proposé dans le cadre de cette recherche, il s'agit de fixer des bandes de textile de jutes en hélice double, autour des armatures. Les paramètres retenus dans cette étude étant le nombre de tours de l'hélice ainsi que la largeur de la bande.

L'objectif de notre travail est double, puisqu'il s'agit, d'une part, de tester l'effet d'un renforcement interne, en compression, de cylindres en béton armé avec un TRC à base de fibres de jute, sur leurs caractéristiques mécaniques, notamment la résistance en compression ainsi que la ductilité. D'autre part, une comparaison est conduite entre les résultats obtenus pour ces cylindres renforcés avec le jute et ceux obtenus pour des cylindres renforcés avec le TRC à base de fibres de verre. Le but étant de trouver la meilleure variante de renforcement avec le jute qui remplacerait le renforcement avec le verre, l'enjeu étant purement économique et environnemental.

Cette fibre végétale est vraiment intéressante mais moins performante que les synthétiques. Donc, si l'on veut la substituer à la fibre synthétique, il faudra jouer sur la quantité à introduire. Il s'agit, dans cette recherche, de trouver le taux de renforcement à base de jute qu'il faut introduire pour espérer obtenir des résultats au moins similaires à ceux obtenus avec la fibre de verre lors du renforcement interne de cylindres en béton armé.

Il a fallu, donc dans cette étude, faire varier les caractéristiques géométriques du textile à base de fibres de jute, en matière de largeur de la bande et du nombre de tours qu'elle fait, afin de trouver la variante qui pourrait remplacer le textile à base de fibres de verre.

Nous nous sommes, donc, interrogés sur l'efficacité d'un tel renforcement ainsi que sur la possibilité de l'utilisation du jute, en remplacement du verre, dans ce type de renforcement et ce en estimant les performances mécaniques des cylindres renforcés en termes de résistance en compression et de déformation.

Cette recherche vise à répondre à toutes ces questions, et ce en menant une étude comparative outil numérique entre les tissus de verre et celui de jute. Ce travail de recherche est réparti en trois chapitres :

- Le premier est une synthèse bibliographique rassemblant quelques informations sur les textiles renforcés, les structures à renforcement interne et quelques exemples de travaux antérieurs;
- Le deuxième fait l'objet de la procédure expérimentale, description des matériaux (béton et textiles), démarche expérimentale ainsi que la procédure d'essai;
- Le troisième et dernier chapitre quant à lui, comporte les résultats des expériences (présentation des résultats tableaux et graphes) ainsi que leur discussion l'analyse statistique des résultats. Une fois les recherches terminées et les résultats discutés, une conclusion générale s'impose. Elle comporte un rappel de notre démarche, les apports de cette recherche, ainsi que des perspectives à de futures recherches.

CHAPTIRE « I »

Synthèse bibliographique

I. INTRODUCTION

Les ouvrages en béton peuvent nécessiter, durant leurs durées de vie, des opérations de renforcement ou de réparation.

Il existe à présent, de nombreuses solutions techniques bien maîtrisées ayant fait preuve de leur efficacité et de leur aptitude à résoudre les problèmes potentiels rencontrés sur les structures en béton.

La solution technique à adopter sera fonction de la pathologie à traiter. Elle est fixée après avoir fait un diagnostic scrupuleux et précis des désordres survenus dans la structure, de leurs causes et de leurs évolutions.

Le choix du système de renforcement dépend fondamentalement du type de sollicitations auxquelles est soumis l'élément à renforcer ainsi que de ses caractéristiques géométriques et physiques.

La réparation ou le renforcement par les textiles renforcés, est une technique largement utilisée, qui vise l'augmentation de la résistance des structures dégradées ou présentant des défauts de conception ou d'exécution et l'adaptation des structures à de nouvelles conditions d'exploitation ainsi que leur mise en conformité vis-à-vis des règlements en vigueur.

Par ailleurs, l'évolution des règlements de dimensionnement ainsi que la modification de l'utilisation ou des charges à considérer, entraînent également un besoin de renforcement.

Dans cette recherche, l'accent sera mis sur le renforcement interne de cylindres en béton avec des bandes hélicoïdales de tissu de jute collées directement au ferrailage. Le jute forme, ainsi, avec la pâte de ciment un composite appelé Textile Renforcé de Ciment "TRC".

Une étude comparative à l'utilisation du jute en remplacement du verre est réalisée. Elle a pour but de prouver la possibilité de cette substitution dont l'intérêt est double, puisque cela réduit l'impact environnemental causé par la fabrication de fibres synthétique tout en gagnant en économie.

I.1 Les tissus de renfort

Les renforts sont, en général des fibres qui contribuent à améliorer la résistance mécanique et la rigidité des matériaux composites. Ils constituent une fraction volumique comprise entre 30 et 70 % du volume total (rapport du volume de fibres au volume total du composite). La figure I.1 représente différents types de renfort.

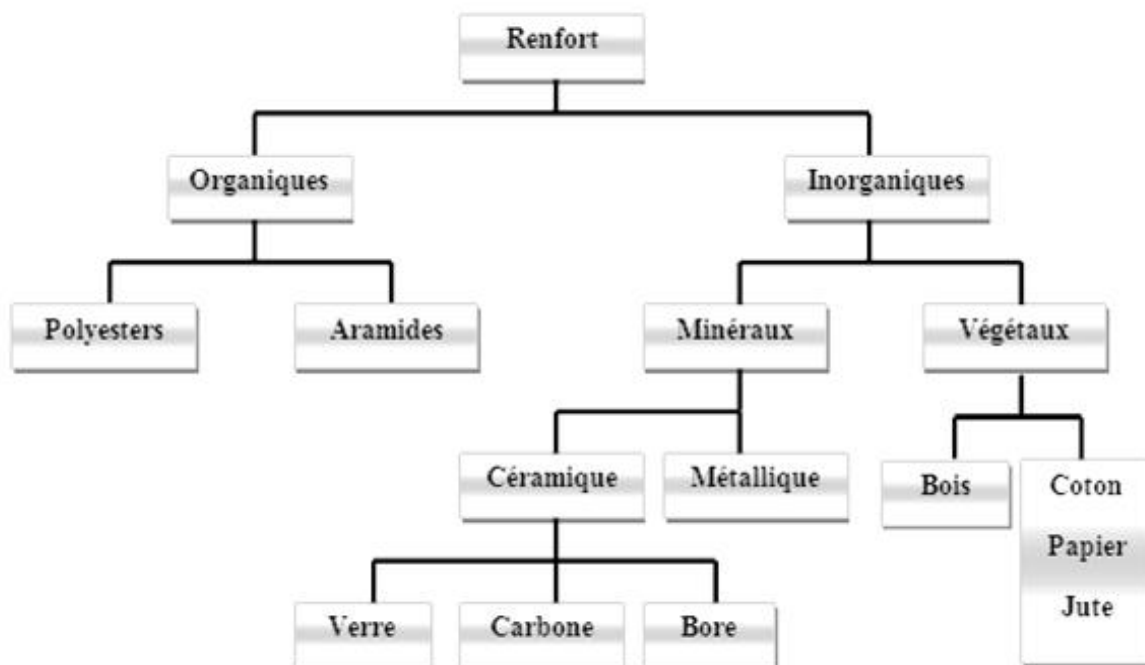


Figure I. 1: Différents types de renfort.

I.1. 1 Formes de renforts

Afin d'améliorer les caractéristiques mécaniques des structures en composites, il est nécessaire de jouer sur la texture des renforts (leur architecture) pour créer une charpente résistante adaptée aux contraintes mécaniques. Les renforts se présentent généralement sous diverses formes : linéique, surfacique et structures multidirectionnelles [1].

I.1.1.1 Formes linéiques

Les fibres sont élaborées suivant un diamètre (environ de 10 μm), ces fibres sont réunies en fils ou en mèches de différentes formes. Les fils continus ou discontinus sont caractérisés par leur masse linéique, l'unité de cette masse est le tex (1 tex=1 g/Km). [2]

I.1.1.2. formes surfaciques

a) Tissus

Le tissu de renfort confère au composite ses caractéristiques mécaniques : rigidité, résistance et dureté. Ce renfort améliore également des propriétés physiques telles que, la tenue au feu et la résistance à l'abrasion. Les tissus sont formés par l'entrecroisement perpendiculaire et alternatif des fils de chaîne et de trame (Figure I.2).

- Chaîne: Fils disposés les uns à côté des autres dans le sens de la longueur du tissu.
- Trame: Ce sont les fils perpendiculaires aux fils des chaînes.
- Armure: c'est le mode d'entrecroisement des fils de chaîne et de trame (Figure I.2).

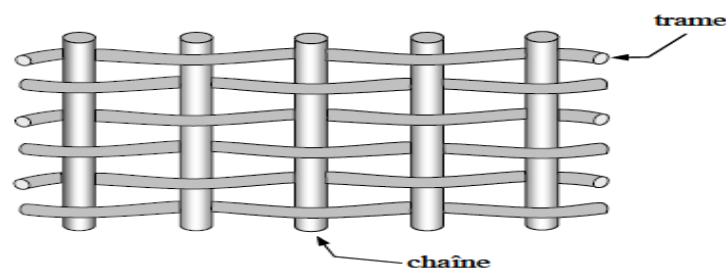


Figure I.2 : structure d'un tissu.

Leurs caractéristiques résident :

- dans l'égalité du nombre de fils de chaîne et de trame dans l'armure.
- dans chaque rapport, le fil de chaîne n'est recouvert qu'une seule fois par le fil de trame. On distingue trois types d'armures fondamentales: l'armure toile, l'armure sergé et l'armure satin.

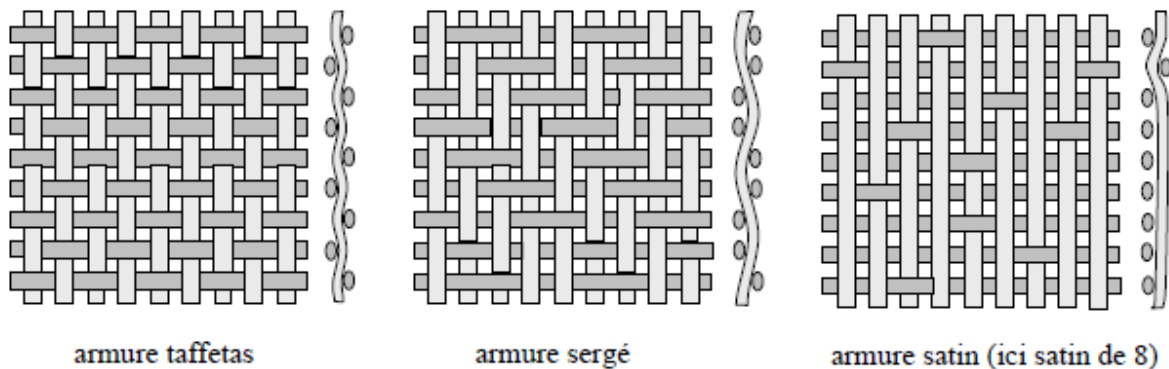


Figure I.3 : Différents types d'armures.

b) Les mats

Les mats sont des nappes de fils continus ou discontinus disposés dans un plan sans aucune orientation. Ils sont maintenus ensemble par un liant.

La différence entre les mats à fils coupés et les mats à fils continus (Figure I. 4) est, que les premiers sont peu déformables alors que les seconds permettent d'obtenir des emboutis profonds par un allongement régulier du mat dans toutes les directions.[2]

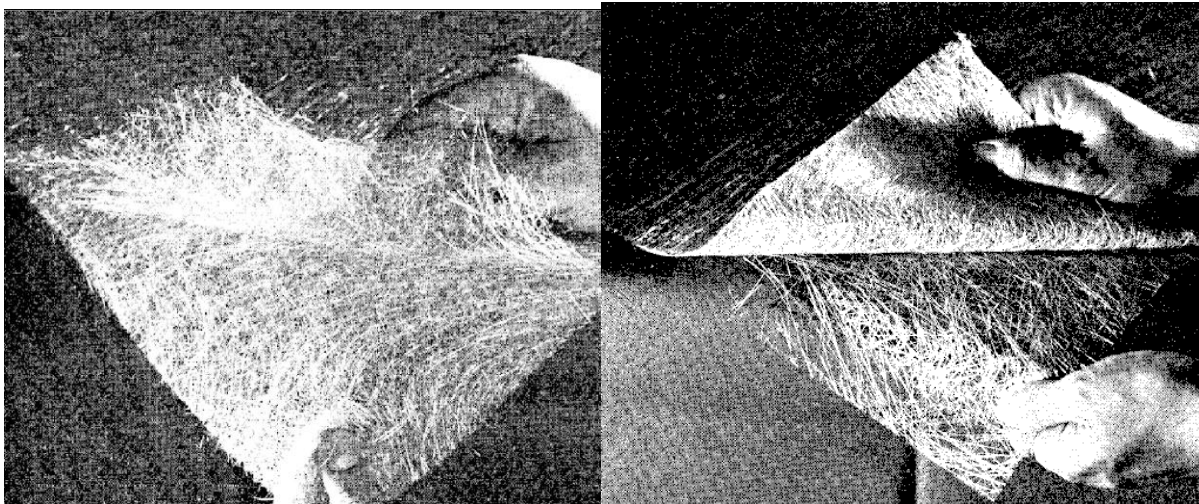


Figure I. 4 : Détail de la différence entre le mat à fils coupés et le mat à fils continus.

I.1.2. Fibres formant les tissus de renfort**I.1.2.1. Fibres synthétiques****I.1.2.1.1. Fibres d'aramide**

Les fibres aramides à caractéristiques mécaniques élevées sont généralement connues sous le nom de "Kevlar", nom commercial de la fibre mise au point par Dupont de Nemours.

L'élaboration des fibres d'aramide est effectuée à basse température (-10°C), puis par filage en solution. Les fibres sont ensuite étirées et traitées thermiquement afin d'augmenter leur module d'élasticité.

Ces fibres sont généralement attribuées à une mauvaise adhérence fibre-matrice. Compte tenu de leur légèreté et de leur bonne résistance au choc, à l'impact et à l'abrasion, les fibres aramides sont utilisées pour la fabrication de blindages, de produit de friction et de joint et de renforcement des câbles.[3]

I.1.2.1.2.Fibres de carbone

Les fibres de carbone (Figure I. 5) ont de très fortes propriétés mécaniques et sont élaborées à partir d'un polymère de base, appelé précurseur, se présentant lui-même sous forme de fibres orientées et réticulées. Les fibres utilisées sont les fibres acryliques élaborées à partir de poly acrylonitrile. [3]

Les fibres de carbone ont une excellente tenue en température et en atmosphère non oxydante. Cette propriété a conduit à développer des composites fibres de carbone/matrice de carbone, à haute tenue thermique, utilisés dans les tuyères de fusées, les éléments de fours, etc. Ces matériaux revêtus d'une couche protectrice antioxydante, trouvent également des applications en atmosphère oxydante dans le domaine spatial. [4]

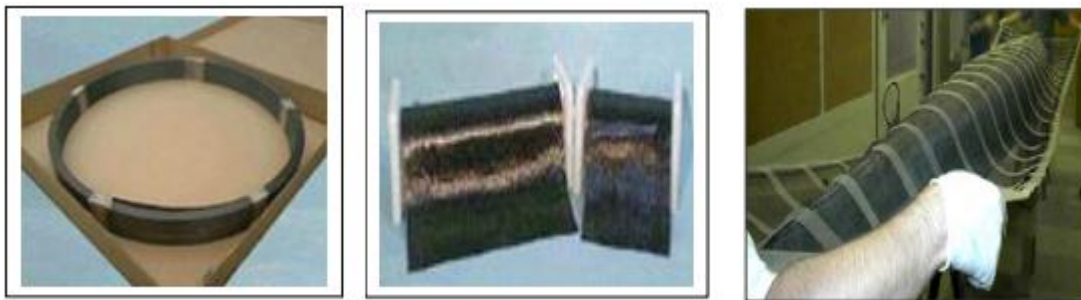


Figure I. 5:Fibre de carbone.

Suivant les conditions de fabrication, il existe deux types de fibres de carbone

- Fibre de carbone à haute résistance (HR) issues d'une mise en oeuvre par carbonisation
- Fibre de carbone à haut module (HM) issues d'une fabrication par graphitisation.

Les caractéristiques de ces fibres sont données dans le Tableau I-1.

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

Filament	Carbone HR	Carbone HM
Densité	1.78	1.8
Résistance à la traction (MPa)	3500	2200
Module de traction (MPa)	200000	400000
Allongement à la rupture (%)	1	0.5
Température à la fusion (°C)	2500	2500

I.1.2.1.3.Fibres de verre

Les fibres de verre ont une large gamme de tailles de fils et de nombreuses options de tissage permettant à l'utilisateur de choisir la meilleure association de performances du matériau et d'économie. Elles présentent une bonne propriété en termes de stabilité et de résistance thermique et chimique.

Tableau I. 2:Différent types de fibre de verre [13]

Types	Caractéristiques générales
E	à usage générale ; bonnes propriétés électriques
D	haute propriétés diélectriques
A	haute teneur en alcali
C	bonne résistance chimique
R, S	haute résistance mécanique

I.1.2.1.4.Fibres céramique

Les matériaux composites de type céramique sont souvent constitués de renforts et de matrices en céramique. Les fibres sont élaborées par dépôt chimique en phase vapeur sur un fil support. On retrouve ces fibres dans des applications où la température est très élevée (entre 500°C et 2 000°C). Ces matériaux sont utilisés notamment dans les parties chaudes des moteurs. [3]

I.1.2.2.Les fibres naturelles

L'utilisation de fibres naturelles dans la réalisation de matériaux composites n'est pas nouvelle, vu qu'elles présentent plusieurs avantages pour la fabrication des composites. Elles peuvent remplacer les performances de certaines fibres synthétiques telles que la fibre de verre et celle de carbone. Elles possèdent des caractéristiques mécaniques intéressantes elles réduisent les problèmes d'interface fibre-matrice qui sont à l'origine des baisses de performances et présentent une meilleure résistance aux transferts de chaleur. [6]

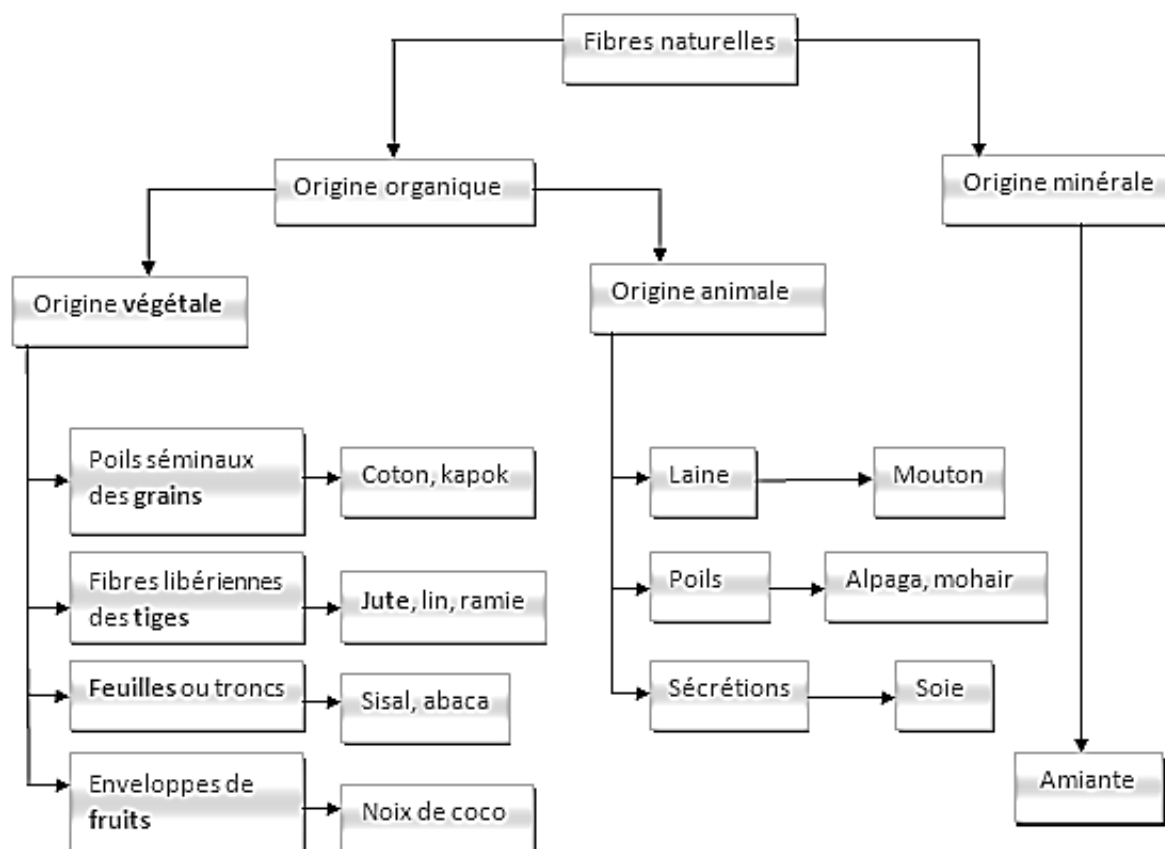


Figure I.6: Différentes fibres naturelles.

Les fibres naturelles regroupent les fibres organiques d'origine végétale (cellulosique) et animale (protéinique), et les fibres minérales comme l'amiante.[7] Dans le cadre de ce travail, notre intérêt s'est porté sur les fibres végétales. Ces dernières peuvent être classées en sous familles selon d'où elles sont extraites : graines, fruits, écorce, feuilles, bois, tiges ou canne.

I.1.2.2.1. Les fibres végétales

Les fibres végétales sont des structures biologiques composées de cellulose, hémicelluloses, et de lignine. Cette composition leur donne des propriétés mécaniques supérieures à celles des fibres d'origine animale.

Les fibres végétales comme le jute, le sisal ou le coco, sont très abondantes dans les pays en voie de développement comme l'Inde, le Sri Lanka et certains pays africains, mais ne sont pas toujours exploitées de façon optimale. Ces fibres sont utilisées pour la production de textiles, de fils, de cordes, de nattes ou de papier, ainsi que des articles variés comme les décors de mur, nappes, sacs à mains ou portefeuilles. [7]

I.1.2.2.2. Classification des fibres végétales

Les fibres végétales sont classées :

Suivant l'organe de la plante dont elles sont issues (fibres de tiges, fibres de feuilles).

- Suivant leur teneur en holocellulose (cellulose et hémicellulose) et en lignine. On peut distinguer les fibres ligneuses (dures et rigides) et les fibres non ligneuses.
- Suivant leur longueur, les fibres végétales peuvent être groupées en deux catégories : fibres longues dites libériennes, et fibres courtes ou étoupes qui sont associées aux fibres longues. [8]

I.1.2.2.3. Propriétés des fibres végétales

Selon l'origine et le mode de fabrication, les fibres de cellulose ont un diamètre allant de 15 à 30 μm . Elles sont très rigides et sont considérées comme de bons isolants thermiques et acoustiques. Elles présentent également de bons adsorbants. La conformation spatiale de la cellulose détermine ses propriétés physiques et chimiques. Leurs principales caractéristiques physiques sont données dans le tableau I.2.

Tableau I.3: Caractéristiques physiques des fibres végétales. [14]

Masse volumique	1.5 à 1.55 g/cm ³
Allongement à la rupture	20 à 40 %
Module de Young	3 à 36 GPa
Résistance à la traction	300 à 500 MPa
Ténacité	13 à 23 *10 ⁻¹ N/ tex
Conductivité thermique	0.06 W.m ³ .K ⁻¹ à 23°C
Coefficient de dilatation thermique	80.10 ⁻⁴ K ⁻¹

Le tableau I.4, résume quelques caractéristiques physico-chimiques de certaines fibres végétales.

Tableau I.4: Propriétés physico-chimique de quelques fibres végétales. [14]

Fibre	Densité g/cm ³	Module de traction (GPa)	Résistance en traction (MPa)	Allongement
Paille de blé	4-13	1350-120	Paille de blé	
Lin	1,5	28	345-1100	2,7-3,2
Jute	1,45	13-27	350-550	1,2-2,5
Chanvre	1,48	29-70	550-900	1,6-3,5
Ramie	1,5	20-70	550-900	1,6-4
Kénaïf	1,47	6-8	1580	2,7
Abaca	1,35	20	900	3,5
Sisal	1,45	9-20	400-700	2-14
Banane	32	780	2	Banane
Coco	1,15	4-6	130-220	15-40
Coton	1,5	5-12	300-800	3-10
Kapok	19	191-2	Kapok	19

I.1.2.2.4. Les avantages et inconvénients des fibres végétales

En dépit de leurs avantages notamment du point de vue environnemental ou économique, les fibres végétales présentent également des inconvénients. Le tableau I.5, résume quelques avantages et quelques inconvénients des fibres végétales.

Tableau I.5: Avantages et inconvénients des fibres végétales. [14]

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Faible coût - Bonne isolation thermique et acoustique - Non abrasif pour les outillages - large gamme de variétés disponibles et renouvelables à travers le monde - Propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité). 	<ul style="list-style-type: none"> - Absorption d'eau - Mauvaise tenue en vieillissement - Faible stabilité dimensionnelle - Faible tenue thermique.

I.1.2.2.5. Les différentes fibres végétales

I.1.2.2.5.1. Le lin

Le lin est une plante annuelle qui vient des tiges de la plante mais aussi de l'huile extraite des graines. Le lin textile est produit en Belgique et en France, ainsi qu'en Pologne et en Russie L'avantage de cette fibre est sa longueur élevée, en moyenne 25 mm ainsi que sa bonne résistance. [9]

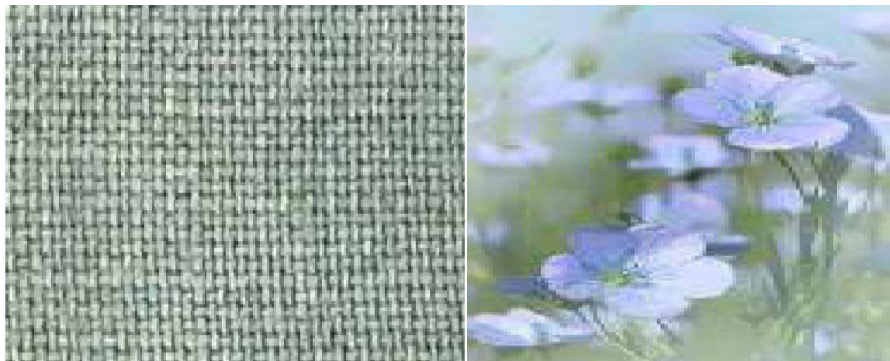


Figure I.7: Lin et la fibre de lin

I.1.2.2.5.2 Le kenaf

Le kenaf est une plante annuelle, a une croissance très rapide, pouvant atteindre des hauteurs de 5m en quelques mois. Elle présente des propriétés similaires au jute et est souvent utilisée en mélange avec ce dernier.



Figure I.8: La fibre de kenaf

I.1.2.2.5.3 Le chanvre

Le chanvre (*Cannabis sativa*) est une plante libérienne, dont la hauteur varie de 1 à 3 m. Il présente des fibres externes longues et étroites et des fibres internes ligneuses (Figure I-9). La longueur des fibres de chanvre est assez élevée en moyenne de 20 à

50mm. Ces fibres sont utilisées dans les domaines du textile (tapis et vêtements), des agro textiles (toile anti érosion), de l'automobile (composite pour panneaux

intérieurs), du papier (fibres de renfort) et du bâtiment (isolation thermique). Cultivé dans les pays à climat tempéré. [10]



Figure I.9 : Le chanvre et la fibre de chanvre

I.1.2.2.5.4.Le sisal

Le sisal est une plante vivace constituée par une rosette de grandes feuilles à section triangulaire allant jusqu'à 2 m de long. Il s'agit d'une plante tropicale, principalement cultivée en Amérique du sud et en Afrique. La longueur moyenne de ses fibres est de 3mm. [11]



Figure I.10: Sisal et la fibre de sisal.

I.1.2.2.5.5.Le jute

Le jute et sa culture Le jute est une plante herbacée annuelle qui mesure 3à4 cm de hauteur et de 3 cm de diamètre, les tiges sont droite, les feuilles ovales et les fleurs jaunes de petite taille. Sa culture nécessite un climat tropical chaud et humide, et un sol alluvial ou argilo-sableux ce qui explique son implantation.

Préférentielle dans les régions du golfe du Bengale, ou en inde. Les semis ont lieu de mars à mai après plusieurs labour. La récolte s'effectue d'août à septembre après la floraison .Les plants sont coupées ou ras au sol, attachées en bottes puis mises à

sécher sur le sol pendant 3 à 6 jours, le rendement moyenne est de 1.6 tonne à l'hectare, sans rapport d'engrais et peut atteindre 3 tonnes à l'hectare avec apport d'azote.

La fibre, représente environ 6% du poids de la masse verte. La plantation mondiale de jute a diminué depuis 1970. L'inde cultive 800000 hectares, le Bangladesh 650000 hectares le reste de la culture qui représente 26000 hectares, est assuré par nombreux pays comme la chine Myanmar, l' Egypte, l' Cameroun et le brésil.

En Algérie l'utilisation de la fibre de jute disponible pour le développement de l'industrie des composites est un élément clef, notamment pour répondre aux besoins de l'habitat. La recherche du meilleur ratio « performance-coût » est nécessaire, notamment pour intéresser des investisseurs potentiels. Les fibres de jute sont des matériaux naturels exploitables dans le contexte économique algérien pour la confection de panneaux sandwich composites de grandes dimensions

- **Fibre de jute**

Le jute est une plante herbacée de la famille des Malvacées, Il vient en deuxième position, après le coton, en termes de volume de production et d'utilisation. Le jute est très polyvalent. La plante mesure 3 à 4 mètres de haut (Fig.I.11). Elle est essentiellement composée de 65,2 % de cellulose végétale, de 12,5 % de lignine, 0,8% de cire, et autre qui sont respectivement les principaux composants de la fibre végétale et de la fibre de bois.



Figure I.11:La fibre de jute.

La fibre résulte de l'assemblage d'une dizaine ou plus de fibre élémentaire à section polygonale avec une ouverture centrale. Ces fibres sont ensuite tressées ou filées pour former les brins.

- **La transformation de la fibre de jute**

La transformation des fibres jute en fil passe par différentes opérations: [12]

✳️ Ensimage: projection d'une émulsion d'huile dans l'eau sur le jute servant à humidifier les fibres et permettre un meilleur glissement des fibres les unes sur les autres

✳️ Obtention des fibres de longueur régulière par cardage.

✳️ Parfaire le parallélisme des fibres par étirage.

✳️ Filage et mise en forme en Rolls.

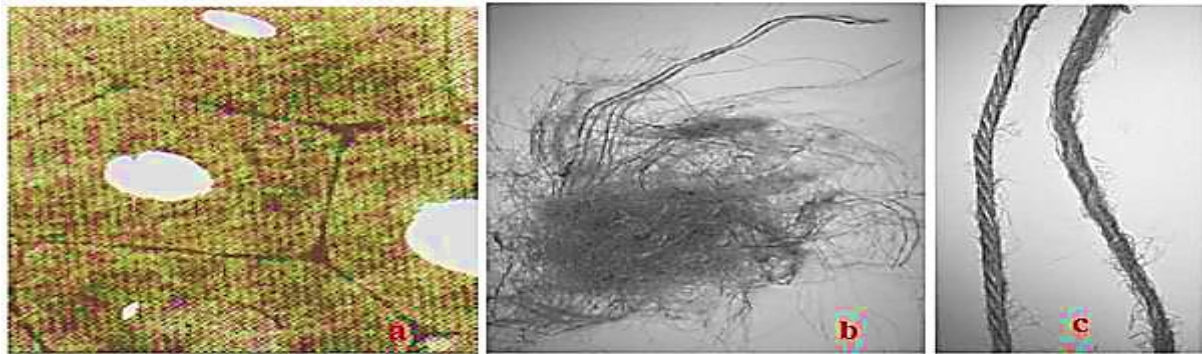


Figure I.12 : Transformation des fibres jute en fil.

- **Extraction de la fibre de jute**

Le jute est une culture annuelle. Il est coupé au bout de 120-150 jours, au moment où la fleur commence à se faner et le fruit à se former. Les tiges sont effeuillées, les feuilles peuvent servir d'engrais.

Après la récolte, les tiges de jute sont liées en bottes et immergées dans l'eau stagnant ou à faible courant, pendant 20 jours jusqu'à ce que la fibre se sépare facilement de l'écorce, c'est le rouissage.

Après le rouissage c'est l'écorçage; Les tiges sont frappées, bottes par bottes avec un maillet de bois pour rompre l'écorce. Quand les fibres sont libérées, on les lave en les écartant en éventail afin d'enlever à la main les dernières impuretés.

Les fibres sont essorées et mises à sécher pendant deux à trois jours au soleil dans des cordes, puis assemblées en balles. Les reflets dorés et soyeux de la fibre de Jute lui ont valu le nom de "fibre d'or".



Figure I.13: Etapes extraction de la fibre de jute.

- La structure de la fibre de jute

Le jute est multicellulaire dans la structure (Figure I.14). La paroi cellulaire d'une fibre est constituée d'un certain nombre de couches: la paroi primaire et la paroi secondaire (S), qui est elle aussi composée de trois couches (S1, S2 et S3). Comme dans toutes les fibres lignocellulosiques, ces couches contiennent principalement de la cellulose, de l'hémicellulose et de la lignine en quantités variables.

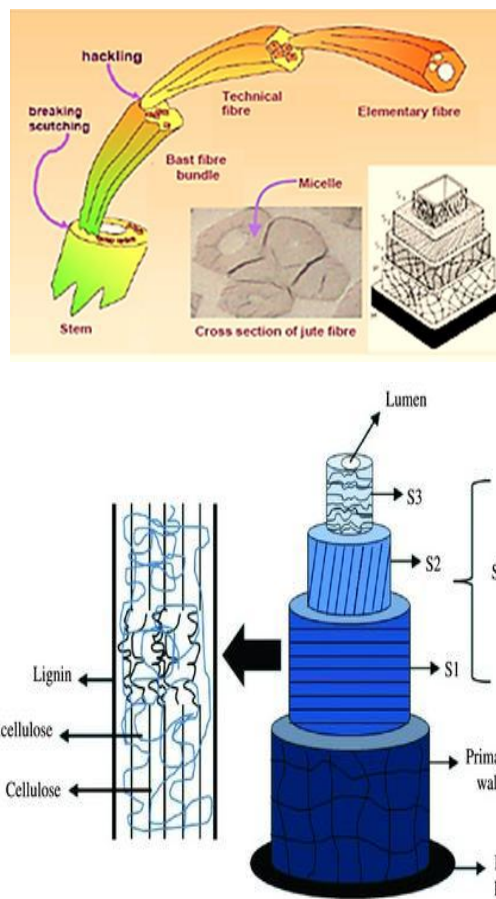


Figure I.14 : Structure de la fibre de jute.

Les fibres individuelles sont liées ensemble par une région riche en lignine connue sous le nom de lamelle moyenne. La cellulose atteint la concentration la plus élevée dans la couche S2 (environ 50%) et la lignine est la plus concentrée dans la lamelle moyenne (environ 90%) qui, en principe, est exempte de cellulose. La couche S2 est généralement de loin la couche la plus épaisse et domine les propriétés des fibres.

- **Les caractéristiques de la fibre de jute**

Le jute a des propriétés spécifiques élevées, telle que

✿ Le jute est renouvelable, polyvalent, non abrasif, poreux, viscoélastique, biodégradable, combustible et réactif ;

✿ Une faible densité ;

✿ A un rapport résistance / poids élevé et de bonnes propriétés d'isolation ;

Le textile de jute est un produit respectueux de l'environnement à faible coût et est abondamment disponible, facile à transporter ;

✿ Les produits de jute biodégradables et à bas prix fusionnent avec le sol après avoir servi à nourrir le sol.

✿ Le jute ne génère pas de gaz toxiques.

Les principales caractéristiques physiques des fibres de jute sont présentées dans le tableau I.6 :

Tableau I.6:Caractéristiques physiques des fibres de jute. [15]

CARACTERISTIQUES	
Longueur de la fibre [mm]	2.5
Masse volumique g/cm ³	1.48 – 1.50
Reprise en humidité (20°C – 65% HR) [%]	16 – 18
Taux de sorption d'eau [%]	25.4
Ténacité à sec [N.Tex- 1]	0,3 – 0,6
Perte de Ténacité au mouillé (%)	Gain de 15 - 25
Résistance aux UV	moyen
Résistance aux microorganismes	moyen

I.1.2.2.5.6. Le jute dans les composites

Résistance de jute comme matériau de renfort pour composite

- ✿ Le jute est biodégradable et réapprovisionne les nutriments de la terre.
 - ✿ Jute ne présente aucune menace pour l'environnement car il n'émet pas de gaz toxiques ni de produits chimiques nocifs.
- Jute ne causera pas les problèmes comme le matériau synthétique dans les cycles de gestion des déchets en émettant des gaz dangereux lors de l'incinération des sites d'enfouissement.
- ✿ Jute rend le composite solide et durable, dont la manipulation est plus facile.
 - ✿ Disponibilité abondante de fibre de jute.

- Faiblesse de jute comme matériau de renfort pour composite

- ✿ État humide, généralement plus de 60% d'humidité peut réduire la résistance à la traction de la fibre de jute.
- ✿ Le contact acide ou l'atmosphère peuvent réduire le lustre ainsi que la résistance à la traction.
- ✿ Les liaisons de pectine et de lignine héritées dans le jute brut peuvent pourrir ou dégrader la qualité de la fibre de jute. Cependant, cette faiblesse peut être surmontée par un rouissage, un lavage, un processus de séchage et une modification de la fibre de jute.

I.2. LES STRUCTURES À RENFORCEMENT INTERNE

En fonction des pathologies des ouvrages (désordres de structures, matériaux, revêtement interne...), de nombreuses méthodes de réparation sont envisagées. Aujourd'hui, avec le développement des matériaux composites on peut distinguer plusieurs techniques de renforcement et de réparation des structures, comme le renforcement par matrice cimentaire renforcée avec de textile (TRC) ou bien le renforcement par les polymères renforcés avec des fibres (FRP). Le rôle des matériaux composites dans le domaine de la construction et le renforcement des structures est incontestable. L'utilisation de plus en plus fréquente des matériaux composites s'explique d'une part par leurs meilleures propriétés mécaniques et d'autre part, par les progrès dans les procédés de leur fabrication durant ces dernières décennies. Devenus plus accessibles sur le plan économique, les matériaux composites sont une solution très attractive pour répondre au besoin de renforcement des bâtiments et des ouvrages d'art. Ces techniques présentent divers

avantages par rapport aux techniques de renforcement ou de réparation traditionnelles.

En génie civil, les matériaux composites connaissent des applications diverses. Ils sont utilisés comme renforcement interne ou externe de l'élément de structure.

Il existe à présent de nombreuses possibilités d'application de cette technique de renforcement. Dans une structure courante en béton armé, il est possible de renforcer presque tous les éléments de construction : colonnes, poutres, dalles. Cette technique permet d'améliorer la capacité portante, la rigidité, la durée de vie de la structure et la durabilité de la structure, exposée aux attaques environnementales

[13]

En règle générale, le renforcement externe est principalement utilisé lors de la réhabilitation des structures existantes afin d'augmenter leur résistance. Dans ce cas, des matériaux composites 'FRP' sont utilisés principalement sous forme de tissus par moulage au contact ou de plaques préfabriquées. Les fibres peuvent être orientées dans différentes directions afin d'optimiser leur utilisation. Le renforcement interne est quant à lui utilisé lors de nouvelles constructions, il est réalisé en utilisant des armatures en matériaux composites seuls telles que les armatures FRP, ou conjointement avec des armatures classiques ferrailage conventionnel

I.2.1 Renforcement par armatures

Il a été mentionné aux paragraphes précédents que les enjeux économiques ont été à l'origine de la prise en considération de l'importance de renforcement ou réhabilitation des structures en génie civil. Les techniques traditionnelles ont montré leurs limites au comportement à long terme (oxydation des armatures ou tôles d'acier, durabilité du béton projeté, etc.). La recherche dans le domaine du renforcement ou de la réhabilitation s'est orientée vers l'utilisation de nouveaux matériaux capables de répondre aux différents critères exigés par les opérations de construction ou de maintenance des ouvrages en service.

Les barres de renforcement en FRP sont des matériaux composites à fibres de hautes performances imprégnées d'une matrice polymère. Les fibres peuvent être en carbone, en aramide, en verre, ou une combinaison entre ces trois matériaux, pour former un composite hybride. Les barres sont fabriquées par pultrusion. Dans ce processus, des fibres sont regroupées ensemble et par la suite elles sont immergées dans un bain de résine. Par la suite, elles sont repassées dans une

matrice de moulage pour obtenir la forme de la barre de renforcement (Figure I.22). En conclusion, elles sont mises dans une chambre traitante où la résine est durcie . pour que les barres deviennent, enfin, opérationnelles [14].

La plupart des barres ont un certain genre de déformation extérieure nervurée pour favoriser l'adhérence avec le béton.

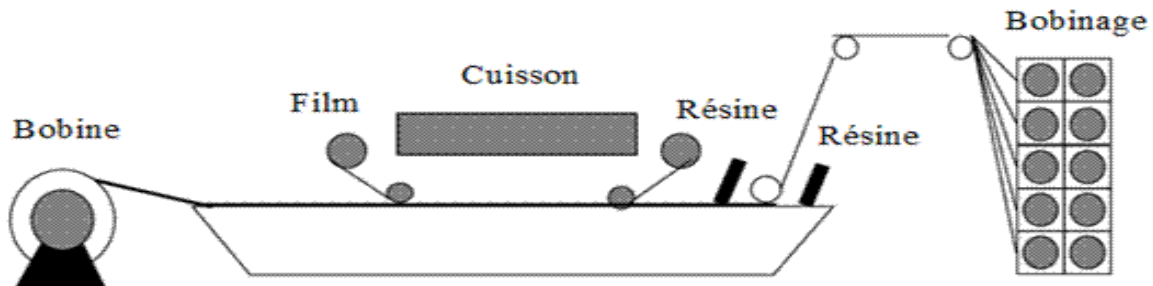


Figure I.15 : Procédure de fabrication des armatures en FRP.

Les armatures en FRP sont très utiles lorsqu'il s'agit de remplacer des armatures en acier corrodées ou coupées accidentellement. Selon les compagnies de production des matériaux composites pour des raisons industrielles, les armatures en FRP possèdent généralement des formes similaires à celles des fibres en acier pour s'opposer à la fissuration, et participer à la résistance des sections renforcées (Figure et 1.16).

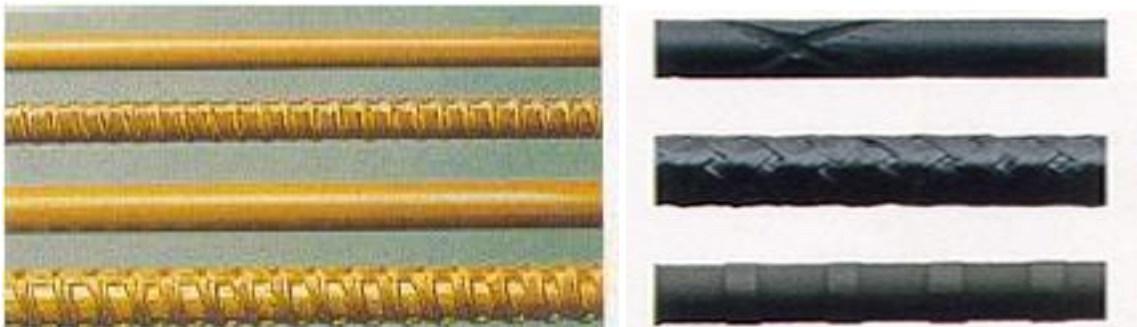


Figure I.16 : Armatures en fibres d'aramides et fibres de carbone [15].

Ces barres ont beaucoup de propriétés qui diffèrent de manière significative de celles des barres en acier. Comme avantages, les barre en FRP sont très légères , de haute résistance et non réactives aux chlorures. Cependant, leur module d'élasticité est sensiblement inférieur que celui de l'acier. Leur comportement est élastique linéaire jusqu' à la rupture brutale (comportement fragile) ;

comparativement à l'acier qui a un plateau de plasticité qui nous donne une idée préventive avant la rupture (comportement ductile) . En raison de cette dernière propriété, plusieurs ingénieurs et chercheurs croient qu'il sera le plus efficace d'employer les barres de FRP comme armatures de renforcement dans la partie supérieure des poutres et de continuer à employer l'acier dans la partie inférieure (Figure I.17).

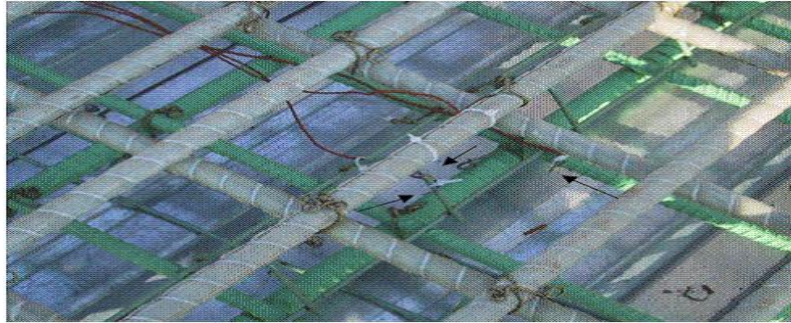


Figure I.17 : Ferrailage mixte avec des armatures inférieures en acier et des armatures supérieures en FRP [16].

I.2.2 Renforcement par grilles

Bien que la majorité des efforts dans le développement des renforts en composite pour le béton se focalise sur la fabrication des tiges, de tendon et le câble, certaines entreprises japonaises ont concentré leurs efforts sur le développement de nouvelles formes de renforts sous formes de grilles. Ces éléments de type grille, se caractérisent par leurs fibres de hautes performances telles que les fibres de verre, de carbone ou d'aramide imprégnées dans une résine (Figure I.18).

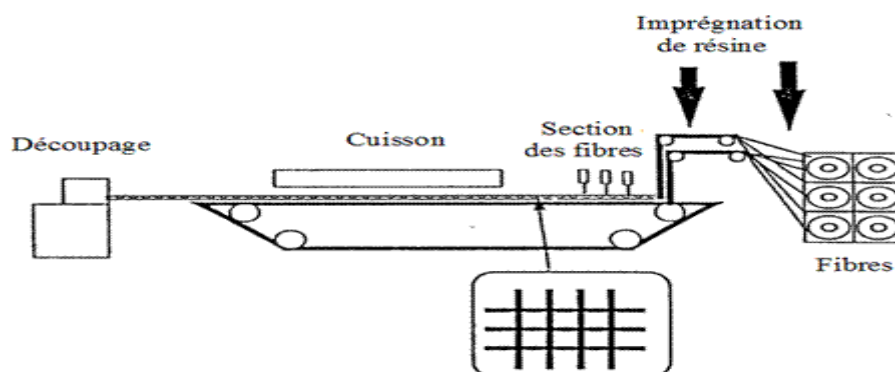


Figure I.18 : Mise en oeuvre des grilles en FRP.

Les éléments de type grille peuvent être génériquement classifiés en deux types : les NESTEM (New Fiber Composite Materials for Reinforcing Concrete), qui sont des éléments minces et plats utilisés principalement en « geogrids » et les nouvelles fibres en matériaux composites pour renforcer le béton (NEFMAC) qui sont plus épaisses pour le renforcement du béton « géotextile ». **La figure I.19** montre les dimensions et l'espacement de la grille en FRP.

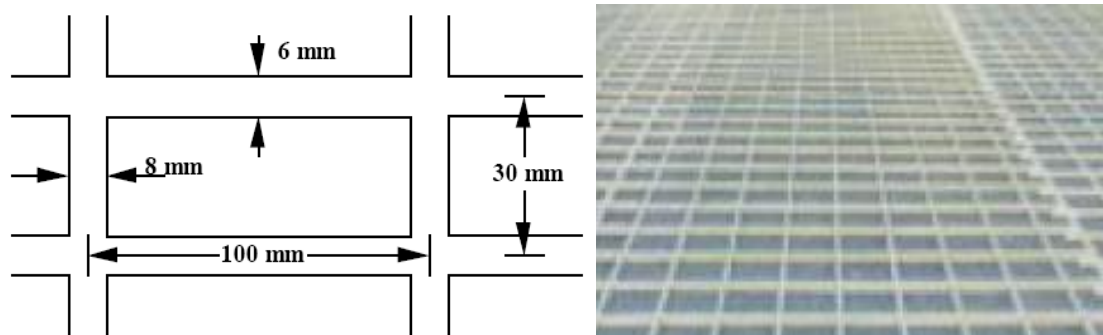


Figure I.19 : Dimensions et espacement d'une grille en FRP

Ces grilles sont très efficaces pour les renforcements internes et externes des structures en génie civil sous des sollicitations mixtes. En raison de leurs natures non-corrosives, poids léger, résistance aux alcalis, eau et pétrole et les possibilités de formage des grilles pour épouser les formes des structures à renforcer, les NEFMAC sont souvent employées en tant que renfort pour le béton, dans la réparation et la réhabilitation des structures endommagées (Figures I.20).

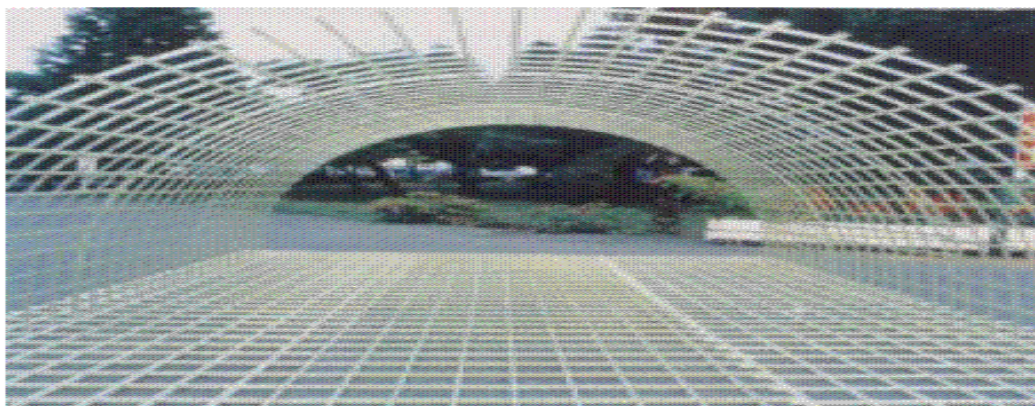


Figure I.20 : Renforcement interne d'un tunnel par NEFMAC.

Ces grilles peuvent servir également d'éléments d'armature de structures comme les voiles (Figure I.21)

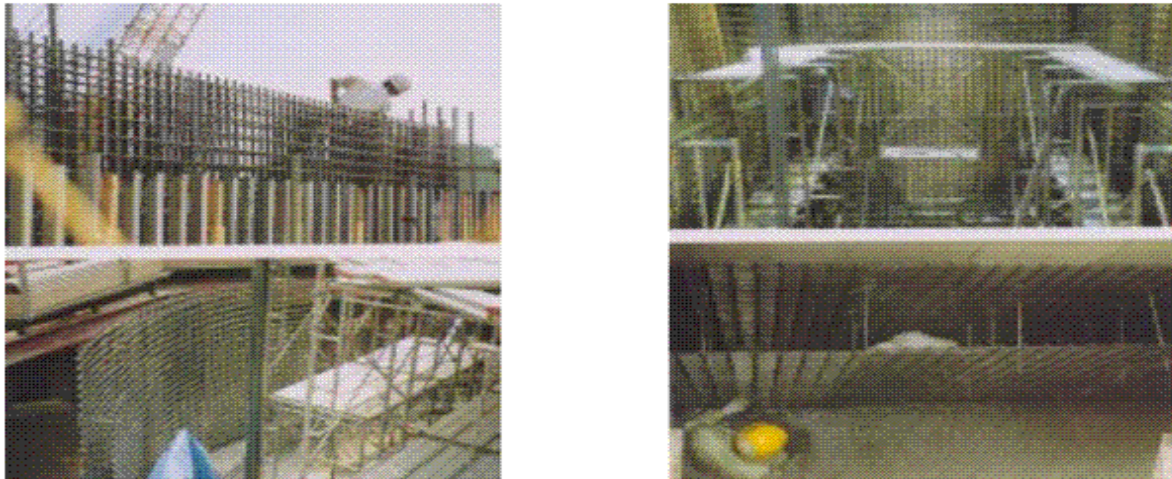


Figure I.21 : Emploi des NEFMAC sous forme de voiles pour la construction des bâtiments.

I.2.3 Structures en Génie Civil

Puisque les matériaux de FRP ne corrodent pas électrochimiquement, les barres, les tiges et les tendons en FRP sont de plus en plus utilisés au lieu de l'acier conventionnel pour le renforcement interne du béton. Des armatures et des treillis de renforcement en FRP de verre et de carbone ont été utilisés avec succès comme armatures internes pour les poutres et les dalles en béton. Il en est de même pour différents types de treillis hybrides en FRP constitués à la fois de fibres de verre et de carbone. Les projets réalisés avec des barres d'armatures en FRP dans les tabliers de pont en béton ont indiqué que ces matériaux se comportent bien dans le climat canadien sévère. Les principales considérations dans la conception des éléments en béton renforcés à l'aide de FRP incluent : le fait que les FRP sont linéaires-élastiques jusqu'à la rupture, à la différence de l'acier qui montre un plateau plastique bien défini, et le fait que les armatures en FRP ont généralement des modules élastiques inférieurs à celui de l'acier, ainsi les conditions en service constituent souvent l'état limite qui contrôle le dimensionnement. La figure I.22 montre l'armature en FRP de verre installée dans un tablier de pont en béton au Québec (juste avant la mise en place du béton).



Figure I.22 : Barres d'armatures en PRF de verre placées dans un tablier de pont en béton avant la mise en place du béton [17].

Les structures entièrement en FRP deviennent de plus en plus fréquentes pour les structures de petites tailles telles que les ponts piétonniers, les poteaux de services publics, les cages d'escaliers de stationnements multi-étagés et les plateformes en milieu maritime. La figure I.23 montre un pont routier de petite portée situé aux États-Unis et entièrement fait de FRP.



Figure I.23: Pont suspendu fabriqué en FRP [18].

En plus des structures entièrement faites de FRP, les FRP ont été également utilisés pour fabriquer des éléments structuraux spécifiques tels que le pont suspendu au Japon (figure I.24) , des poutres, des câbles de support pour ponts haubanés.



Figure I.24 : Pont routier de petite portée entièrement fait de PRF [16].

Ils sont également utilisés pour la fabrication des panneaux anti-déflagrations (Figure I.25), et des treillis tridimensionnels (Figure I.26).

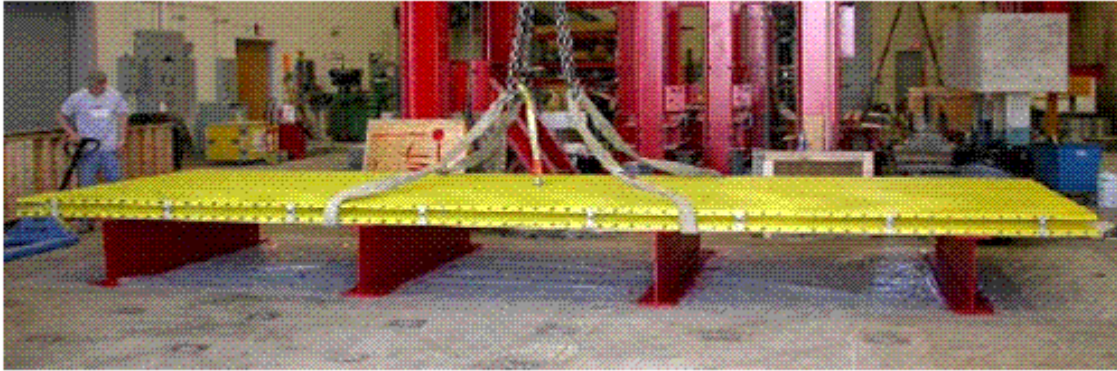


Figure I.25 : Partie d'un pont en FRP obtenue par pultrusion [19].

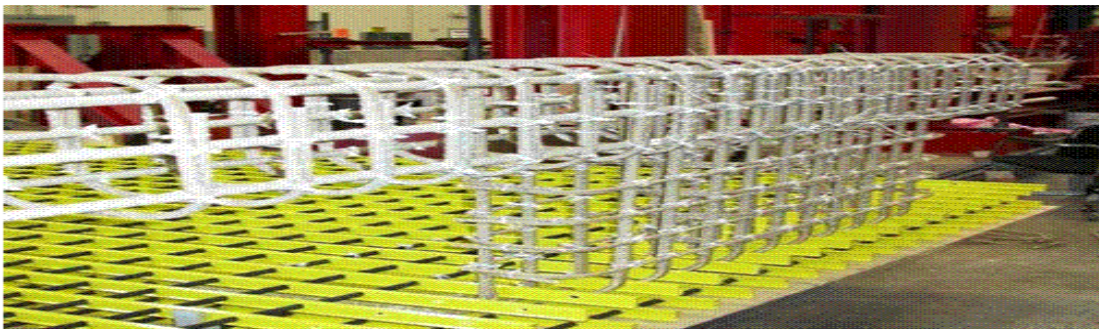


Figure I.26 : Treillis tridimensionnels en FRP.

Des systèmes modulaires de bâtiment résidentiel (Figure I.27 et I.28) sont ont été conçu à partir des FRP.



Figure I.27 : Recouvrement d'une construction par des FRP [20].

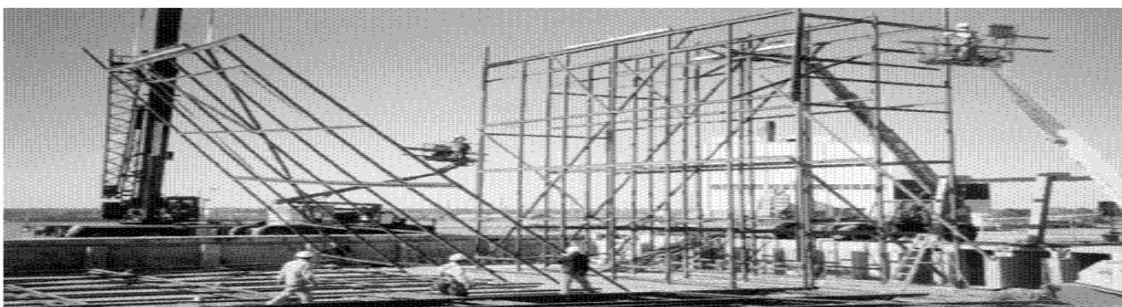


Figure I.28 : Poutres et colonnes en FRP utilisés pour la construction d'un bâtiment.

Les FRP ont aussi servi pour mettre en place des systèmes d'ancrage au sol (Figure I.29).



Figure I.29 : Système d'ancrage du sol en FRP d'une pente.

I.6. Exemples de renforcement avec TRC issus de quelques travaux de recherche de quelques travaux antérieurs

Nombreuses recherches ont été réalisées sur l'utilisation des TRC dans le renforcement d'éléments de structures en béton. Sont cités ci-dessous quelques exemples.

- **Brameshuber et Brockmann(en 2001)**

Ont testé le comportement des TRC renforcés par fibres de verre et du carbone au feu. Les différentes études montrent une période de résistance au feu de l'ordre de 45 minutes dans le cas de TRC renforcés par fibres de verre AR. Les systèmes composites à base de fibre de carbone montrent une période de résistance au feu plus importante, de l'ordre de 75 minutes, en raison de la meilleure résistance au feu des fibres de carbone. [21]

- **TRANTAFILLOU (en 2006)**

A étudié le confinement perpendiculaire à l'axe longitudinal d'une poutre en spirale avec un angle de 10° par rapport à la verticale. Le confinement de cette poutre mène à une augmentation maximale de la charge ultime de 109 %, associée à un mode de rupture vis-à-vis du moment fléchissant. [22]

- **Aldea et al (en 2007)**

Ont étudié le comportement en cisaillement dans le plan de murs renforcés par TRC sous sollicitations cycliques de type compression- cisaillement. L'amélioration par renforcement avec TRC est fonction du taux de renforcement (nombre de couches). Dans cette étude, le TRC a montré son efficacité puisqu'il permet d'augmenter significativement à la fois la capacité portante ainsi que la ductilité. [23]

- **Papanicolaou et al (en 2007)**

Ont effectué une étude comparative de deux renforts dans le cadre de renforcement de murs maçonnés de briques d'argile creuses, sous sollicitations cycliques. Dans le plan et hors plan. Des TRC et FRP sont collés entièrement sur les deux faces en une seule couche ou deux couches. Les résultats ont généralement montré que le TRC est moins efficace en termes de capacité portante mais plus favorable sur la capacité de déformation, ce qui est d'une importance cruciale vis-à-vis de sollicitations extrêmes, telle que le séisme. [23]

- **Larbi et al (en 2011)**

A évalué la performance du renforcement du composite TRC sur des poutres en béton armé de dimension 2.3 m de longueur et de section transversale rectangulaire de 150 × 250 mm², soumise à une flexion quatre points avec de 2 m de portée. Le composite TRC est constitué d'un mortier à granulométrie fine (diamètre du plus gros granulat inférieur à 0.8mm) et comporte 3 couches de renfort en grille tricotée de fibre de verre-AR. Le TRC est mis en place directement sur la face tendue de la poutre et une couche matrice est appliquée entre les renforts. Les résultats montrent que La poutre renforcée par le composite TRC présente une augmentation de la charge ultime de 20%, ainsi qu'une augmentation de la rigidité de flexion.

Ce qui conduit à réduire la déformation de la poutre pour la même charge. [22]

- **Barhum et al (en 2012)**

Ont étudié le comportement mécanique en traction des plaques à matrice cimentaire renforcées par textile et fibres courtes de verre. L'utilisation de la fibre courte dans la matrice de TRC a augmenté la résistance à la traction du TRC avec un nombre de micro fissures plus élevé par rapport au TRC sans fibre courte dans la matrice. [24]

- **Parisi et al (en 2013)**

Ont étudié la capacité de renforcement dans le plan de murs maçonnés par TRC sous sollicitations statiques monotones. Ces études ont porté sur des murs maçonnés de tuf de ratio dimensionnel H/L=1, renforcés sur toute leur surface symétriquement ou sur une seule face. Les résultats de ces études ont montré que le TRC permet d'améliorer de 1,8 à 6 fois la charge ultime horizontale. La ductilité, qui est un paramètre clé pour les structures antisismiques, est augmentée Jusqu'à 6,4 fois. [23]

- **- Ali Limam (en 2016)**

A étudié deux échelles : l'échelle du matériau, dans le but de formuler une matrice de « TRC » (Textile Reinforced Concrete) en fonction du cahier des charges, et l'échelle de la structure, avec l'application de ce matériau pour le renforcement et la réparation de structures en béton et en béton armé. Une campagne expérimentale de flexion portant sur des éprouvettes en béton et sur douze « poutres » en béton armé a permis, au-delà de la mise en exergue des bonnes performances en terme de capacité portante, d'analyser à l'échelle locale l'efficacité du composite à ponter la fissure et endiguer son ouverture.

- **Mojdeh Zargaran (en 2017)**

A étudié la performance des (TRC) avec une variation des paramètres du tissu tels que le type de fil, la taille de la maille et le diamètre du fil. Le tissu a été fait de fils de nylon spéciaux appelés «fils de corde de pneu». En outre, il a étudié les effets de rapport d'épaisseur et de renfort sur la performance en flexion et la capacité finale du TRC. Il a testé soixante-cinq spécimens en flexion à quatre points avec un taux de renforcement minimum. Le comportement des spécimens a indiqué que la force ultime du composite TRC avec un même rapport de renforcement, augmente avec l'augmentation du Tex. Le plus petit maillage améliore la performance des échantillons.

- **Z. Mesticou, L. Bui, A. Junes, A. Si Larbi (en 2017)**

Ont fait une étude expérimentale sur le comportement de durabilité de béton armé de textile (TRC) soumis à la fois à des charges de traction et de flexion pour comparer sa caractérisation macroscopique. Les composites sont produits en tant que matériau stratifié en utilisant 2 et 6 couches de mat de fibre de verre comme renforts. Les effets du rapport de renforcement, les conditions d'essai et les conditions thermiques sur la réponse à long terme du TRC sont étudiés et la microstructure de la matrice et de la fibre est observée et discutée après les tests par microscopie électronique à balayage (MEB).

L'ajout de couches de fibre de verre (rapport de renforcement) a augmenté la capacité de résistance et la première résistance aux fissures de la TRC lors des essais de traction et de flexion. La valeur de résistance ultime des composites TRC obtenue à partir de l'essai de traction est inférieure à celle de l'essai de flexion sur les mêmes jours testés en raison des différents mécanismes de redistribution. Une augmentation de la résistance à la traction et à la flexion au cours du vieillissement est observée avant 90 jours de vieillissement. Cependant, après 90 jours, les résultats du test ont montré une perte de ductilité des spécimens vieilliss accélérés.

- **EI-Hussain ROCHDI. (2004)**

L'objectif de cette étude est d'observer le comportement d'une dalle renforcée par matériaux composites sous chargement centré. L'objectif a porté sur l'évaluation du gain en rigidité et en résistance de dalles renforcées par matériaux composites. Les essais menés sur dalles simplement appuyées renforcées et non renforcées ont clairement mis en évidence l'influence du composite en particulier sur la charge ultime.

- **Zhang et coll. (2005)**

Dans cette étude, les auteurs ont testé le comportement d'une dalle armée de PRFV soumise au poinçonnement. L'objectif de cette étude était de déterminer l'influence d'un béton à hautes performances sur le poinçonnement de dalle armée de PRFV, ayant un béton d'une résistance à la compression de 71 MPa. Les résultats sont comparés avec ceux obtenus en testant deux spécimens ayant un béton d'une résistance de 35 MPa. Les auteurs ont conclu que l'utilisation d'un béton haute performance a permis d'augmenter de façon considérable la résistance au poinçonnement de la dalle. Toutefois, la résistance a augmenté dans des proportions bien en dessous d'un facteur équivalent à la racine carrée de la résistance en compression du béton comme présenté dans plusieurs normes. De plus, la résistance en compression plus élevée du béton du spécimen n'a pas permis d'augmenter significativement la rigidité post-fissuration de la dalle.

- **BOUZEBODJA F. (2017) [25]**

Les contributions théoriques et expérimentales dans cette étude ont permis d'une part une meilleure compréhension du phénomène du poinçonnement des dalles épaisses en béton renforcées par des grilles et une amélioration importante de la capacité portante, d'autre part. Les différents résultats obtenus mettent en évidence l'intérêt du renforcement interne des dalles épaisses en béton par des grilles en fibre de verre (GFV) et des grilles en polypropylène (GPP) ; en effet la grille GFV augmente considérablement la charge ultime et permet une meilleure répartition des fissures au niveau de la zone tendue, tandis que la grille GPP permet le développement des mécanismes flexionnels dans la dalle, ce qui conduit à un mode de rupture plus ductile comparativement aux dalles en béton de référence.

I.7. CONCLUSION

La réhabilitation et la durabilité sont aujourd'hui les concepts à la mode dans le domaine du génie civil. La technique de renforcement et/ou de réparation des structures en béton par les matériaux composites permet d'augmenter la durée de vie de certaines structures ou d'éléments structurels grâce à leurs légèreté par rapport aux aciers, leur facilité de manutention, de transport et de mise en oeuvre sur site, ainsi que leurs caractéristiques mécaniques assez importantes en compression.

L'application des PRF (polymère renforcé de fibres) est une alternative intéressante aux méthodes de réparation conventionnelles. En revanche, l'utilisation du TRC (textile renforcé de ciment) peut être avantageuse par rapport aux PRF grâce à l'utilisation d'une matrice minérale ayant des comportements physiques similaires aux matériaux de la structure.

CHAPTIRE « II »

PROCEDURE EXPERIMENTALE

II.1.Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation des démarches utilisées dans le cadre de la campagne expérimentale) menée au laboratoire de matériaux de l'université Mouloud MAMMERI de TIZI OUZOU.

Les différentes étapes de confection des éprouvettes, les caractéristiques des matériaux utilisés (béton, composites) ainsi que la conduite des essais de compression y sont décrites.

Ces derniers étant conduits dans le but d'étudier l'efficacité de l'utilisation d'un tissu à base de fibres de jute, en remplacement à celui à base de fibres de verre, dans le confinement interne en double hélice avec TRC de cylindres en béton

Des bandes de tissu de jute sont collées en surface du ferrailage des cylindres, de dimensions ($\varnothing 150\text{mm} \times 300\text{mm}$), au moyen d'une résine époxy, de façon à ce qu'elles forment deux hélices de sens contraires.

Dans le but de trouver le cas de confinement à base de jute qui pourrait concurrencer celui à base de fibres de verre, la variante de référence retenue pour le verre est celle d'un confinement avec des bandes de 3 cm de largeur, formant des hélices à 3 tours (Hadjih C, 2021). Tant dis que plusieurs variantes à base de jute ont été testée, en modifiant à chaque fois la largeur des bandes ou le nombre de tours qu'elles font autour du ferrailage.

II.2 DEMARCHE EXPERIMENTALE**II-2.1.Protocole expérimentale**

Le programme expérimental comporte 15 éprouvette au total réparties comme suit :

- 3 cylindres ont été réservés à la caractérisation du béton en compression,
- 3 cylindres ont été confinés avec 2 bandes de fibre du Jute ayant une largeur de 3cm ,et formant deux hélices de 4tours
- 3 cylindres ont été confinés avec 2 bandes de fibre du Jute ayant une largeur de 3 cm et formant deux hélices à 5 tours.
- 3 cylindres ont été confinés avec 2 bandes de fibre du Jute ayant une largeur de 4 cmet formant deux hélices de 3 tours
- 3 cylindres ont été confinés avec 2 bandes de fibre du Jute ayant une largeur de 5 cmet formant deux hélices à 3 tours

L'ensemble des variantes testées est résumé sur le schéma de l'expérience donné par la figure II.1.

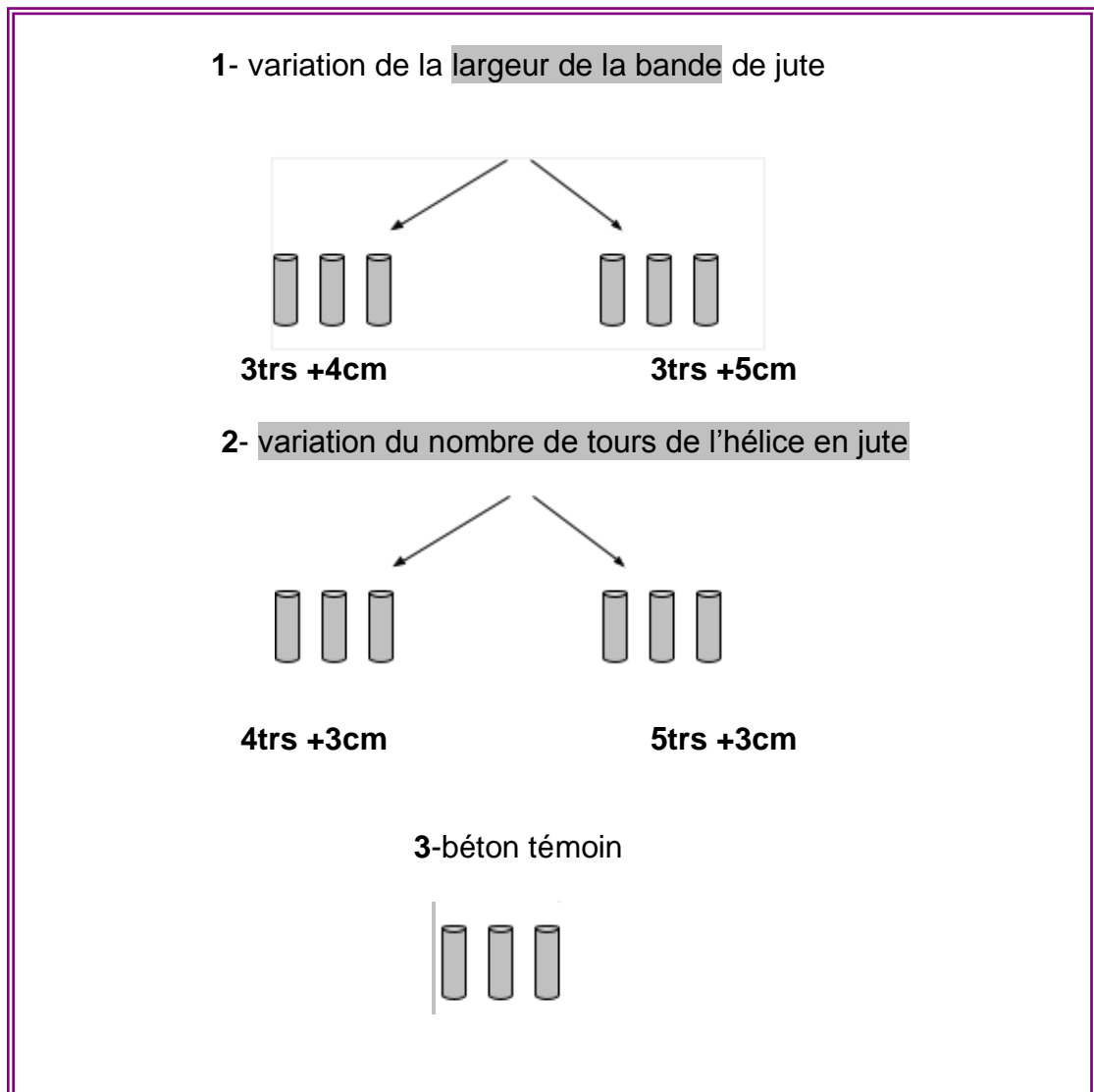


Figure II.1. Schéma de l'expérience.

II-3-CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES (BETON ET TEXTILES)**II-3-1- Constituants du Béton :**

Le béton est un matériau composite constitué de granulats gros et fins (gravier ou pierre concassée, sable), de ciment et d'eau. Le mélange entre le ciment et l'eau forme une pâte qui durcit. La pâte de ciment hydratée et le sable constituent le mortier. Celui-ci a pour rôle de lier les granulats pour former un conglomerat solide. La formulation de ce béton a été déterminée à partir de la méthode de Dreux-Gorisse.

a- Ciment : C'est un liant hydraulique qui se présente sous la forme d'une poudre minérale fine s'hydratant en présence d'eau. Il forme une pâte faisant prise et qui durcit progressivement à l'air ou dans l'eau. C'est le constituant fondamental du béton puisqu'il permet la transformation d'un mélange sans cohésion en un corps solide. Un seul type de mélange de béton a été utilisé pour la fabrication des différents spécimens à étudier. Le ciment utilisé est un ciment portland de type CPJ-CEMII/B 42.5 N produit par LAFARGE Algérie.

b- Granulats : Ils constituent le squelette du béton. Ils doivent être chimiquement inertes vis-à-vis du ciment, de l'eau et de l'air. Les formations géologiques à partir desquelles il est possible de produire des granulats à béton peuvent être d'origine détritique (essentiellement alluvionnaire), sédimentaire, métamorphique ou éruptive.

On utilise généralement pour les ouvrages courants, des granulats constitués uniquement par des sables et des gravillons, on emploie également des granulats légers qui sont le plus souvent artificiels et fabriqués à partir de matières minérales, comme les argiles, les schistes et les silicates.

Les granulats formé de sable 0/3 et de graviers de classes 3/8 et 8/15 sont utilisés. Ils sont lavés et séchés à l'étuve à température de 105°C, puis mis en sac pour éviter qu'ils reprennent de l'humidité et stockés au laboratoire de l'université.

c- Eau : de façon générale, l'eau de gâchage doit avoir les propriétés de l'eau potable. Il est exclu d'employer de l'eau de mer qui contient environ 30 g/l de chlorures de sodium, pour la fabrication de bétons armés ou précontraints. L'eau de gâchage utilisée est l'eau du robinet.

Les différents constituants du béton sont résumés dans la Figure II-2.

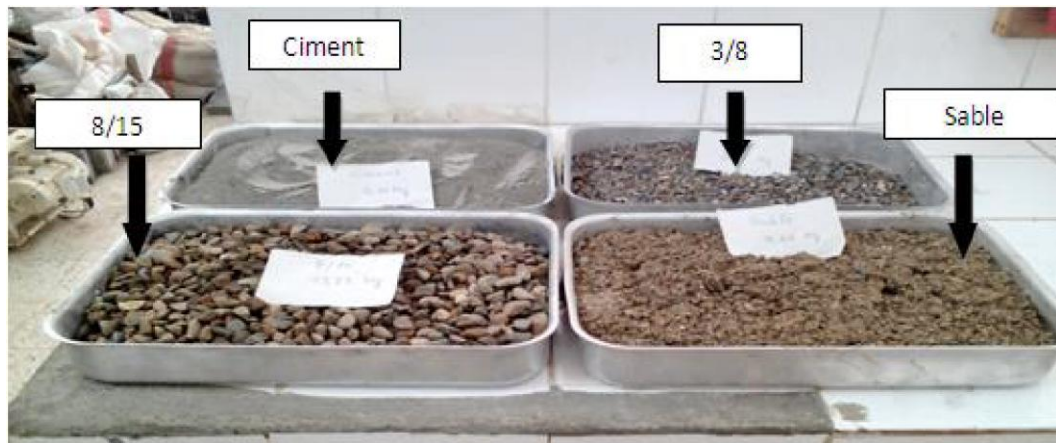


Figure II-2. : Constituents du béton

Les fractions massiques utilisées pour un volume de 1 m^3 de béton sont données dans le Tableau II-1.

Tableau II- 1 : Dosage des Constituants du béton

Composant	Masse pour 1 m^3 de béton
Ciment (kg/m ³)	350
Sable (kg/m ³)	824.4
3/8 (kg/m ³)	240
8/15 (kg/m ³)	784.4
Eau (litre/m ³)	200

II.3.2 LES ARMATURES

Une barre d'armature, ou fer à béton, est une barre d'acier utilisée pour le renforcement du béton (béton armé) ou de la maçonnerie (pierre armée). Elle est composée d'acier faiblement carboné, et possède une surface nervurée pour améliorer son adhérence avec le béton.

Dans notre travail on a utilisé les barres à haute adhérence de diamètre 8 mm « T8 » comme armatures longitudinales et les barres en rond lisse de diamètre 6mm « Φ 6 » pour les cerces.

II.3.2.1 Les ronds lisses

Ces aciers sont lisses en surface (Figure II.3). Les diamètres nominaux sont les suivants : 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25, 32 et 40 mm



Figure II.3 Les ronds lisses

A/ Caractéristiques mécaniques

Ces aciers sont obtenus en trois (03) nuances qui sont : Fe E 22 ; Fe E 24 ; Fe E 34. Le tableau II.2, représente quelques unes de leurs caractéristiques mécaniques.

TABLEAU II.2 Caractéristiques mécaniques « les ronds lisses »

Dénomination de l'acier	Limite d'élasticité [Kgf/mm ²]		Contrainte de rupture		Allongement de rupture [%]
	Kgf/mm ²	Hbar	Kgf/mm ²	Hbar	
Fe E 22	22	21,6	33	32	22
Fe E 24	24	23,5	42	41,2	25
Fe E 34	34	33,4	60	58,9	16

II.3.2.2 Les barres à hautes adhérences

Elles ont été introduites afin d'augmenter les limites d'élasticité des aciers pour réaliser des économies pour le prix. Mais aussi pour limiter la fissuration du béton puisqu'il a été démontré que la largeur de la fissure augmente avec la contrainte de l'acier mais que l'adhérence de l'acier au béton fait diminuer cette largeur de fissure. Il faut que les armatures de hautes nuances soient aussi à haute adhérence.

il a été montré que les meilleures formes sont celles de cylindres portant des nervures transversales normales à l'axe ou incliné sur lui et de saillie relativement faible (Figure II.4).



Figure II.4 Les barres à hautes adhérences

A/Caractéristiques mécaniques de l'acier

Il existe quatre (04) nuances :

- HA Fe E 40 A
- HA Fe E 40 B
- HA Fe E 45
- HA Fe E 50

Le tableau II.3. donne certaines de leurs propriétés mécaniques.

TABLEAU II.3 Caractéristiques mécaniques des barres à hautes adhérences

Dénomination de l'acier	Limite d'élasticité [Kgf/mm ²]	Contrainte de rupture [Kgf/mm ²]	Allongement de rupture [%]
HA Fe E 40 A	d>20 : 40	48,5	14
	d<20 : 42		
HA Fe E 40 B	d>20 : 40		12
	d<20 : 42		
HA Fe E 45	45	52	12
HA Fe E 50	50	57,5	10

II-3-3- Le renfort composite

Les renforts utilisés sont des bandes en tissu de jute noyées dans la pâte de ciment formant , ainsi, un Textile Renforcé de Ciment (TRC)

II-3-3-1- Tissu en fibres de jute :

Le mot jute désigne à la fois les fibres ainsi que la plante dont elles sont issues. La fibre de jute est longue, douce et brillante. Sa longueur varie de 1 à 4 mètres et son diamètre de 17 à 20 microns. Elle est essentiellement composée de cellulose végétale et de lignine, qui sont respectivement les principaux composants de la fibre végétale et de la fibre de bois. Elle présente une forte résistance à la traction et une faible extensibilité. Pour notre étude expérimentale nous avons utilisé un tissu de renforcement de structures, à base de fibres de jute, tissé de façon bidirectionnelle (Figure II-5).



Figure II-5: Tissu en fibre de jute.

Les Propriétés de la fibre de jute sont récapitulées dans le Tableau II-4.

Tableau II-4 : Propriétés mécaniques de la fibre de jute.

Fibres	Densité (g/cm ³)	Module de Young (GPa)	Résistance à la traction (MPa)	Allongement à la rupture (%)
Jute	1.3	26.5	393-773	1.5-1.8

II-3-3-2- La résine :

La résine utilisée pour la mise en place du renfort de jute , est une résine organique à performances élevées, de type époxyde, conçue par Granitex (Algérie). Cette dernière est obtenue en mélangeant la résine (A) avec une proportion de 1/3 en masse de durcisseur (B), (Figure II.6).



Figure II-6 : Composants de l'adhésif (durcisseur et résine).

Le mélange est effectué pendant 3 minutes dans le but d'éviter l'inclusion de bulles d'air. Toutes les recommandations du fournisseur (la température, l'humidité) ont été respectées. Le temps d'application de la résine était d'environ une heure, car au-delà de cette durée, la résine commence à perdre en maniabilité, ce qui la rend inutilisable. ... Le Tableau II-5 résume les caractéristiques de la résine fournie par le fabricant

Tableau II-5 : Caractéristiques de la résine fournie par le fabricant.

Paramètres	Valeurs
Densité (ISO 758)	1.1 ±0.05 (kg/m ³)
Viscosité (NF T76-102)	11000 (mPaS) à 25°C
DPU : durée pratique d'utilisation (NFP18 810)	1h15mn à 20°C et 65% HR
Temps de durcissement à 20° C et 65% HR	Hors poisse : 6h ; Dur : 16h
Résistance en compression (NA427)	> 70 (Mpa)
Résistance en flexion (NA 234)	> 25 (Mpa)
Adhérence sur béton (NFP18 858)	3 (Mpa)
Durée de mise en service	10j à 20°
Rapport pondérale (A/B)	Résine : 1 Kg, Durcisseur : 0.666 Kg
Résistivité à 20 °C	10 ₁₀ à 10 ₁₃ (Ω · m)

Les résines époxydes sont utilisées d'une façon incontournable pour les applications structurales, cet intérêt provient de leurs propriétés spécifiques, parmi lesquelles, on peut citer :

- Très bonne tenue aux agents chimiques.
- Faible retrait.
- Bonne tenue mécanique.
- Forte adhésion au renfort.
- Bonne tenue aux températures élevées.

II.4. Préparation du ferrailage :

La résistance mécanique du béton, en traction et en compression, est optimisée par l'incorporation de fers en acier doux, suffisamment malléables pour s'adapter à différentes formes de coffrages. La préparation du ferrailage relève d'une technique qui s'apprend assez facilement, mais qui nécessite néanmoins de respecter des règles strictes, tant au niveau des cotes que des épaisseurs.

L'acier et le béton ayant des coefficients de dilatation compatibles, leur association autorise des réalisations performantes en béton armé.

Les armatures destinées au ferrailage des cylindres en béton, faisant l'objet de cette étude, sont des barres en HA8 comme armatures longitudinales, assemblées par des cerces en Ø6. Le tableau II.6, résume, pour un cylindre, l'ensemble des détails de ferrailage.

Tableau II-6 : détails de ferrailage des cylindres

nombre de cerces (Ø6)	nombre de barres (HA8)	La hauteur des barres (HA8)	La longueur des cerces (Ø6) L (cm)	Le rayon du cerce (Ø6)	Enrobage (cm)	Espacement Entre les cerces (cm)
03	05	26	35	11	2	13

L'ensemble des étapes de confection du ferrailage, est illustré par la figure II.7

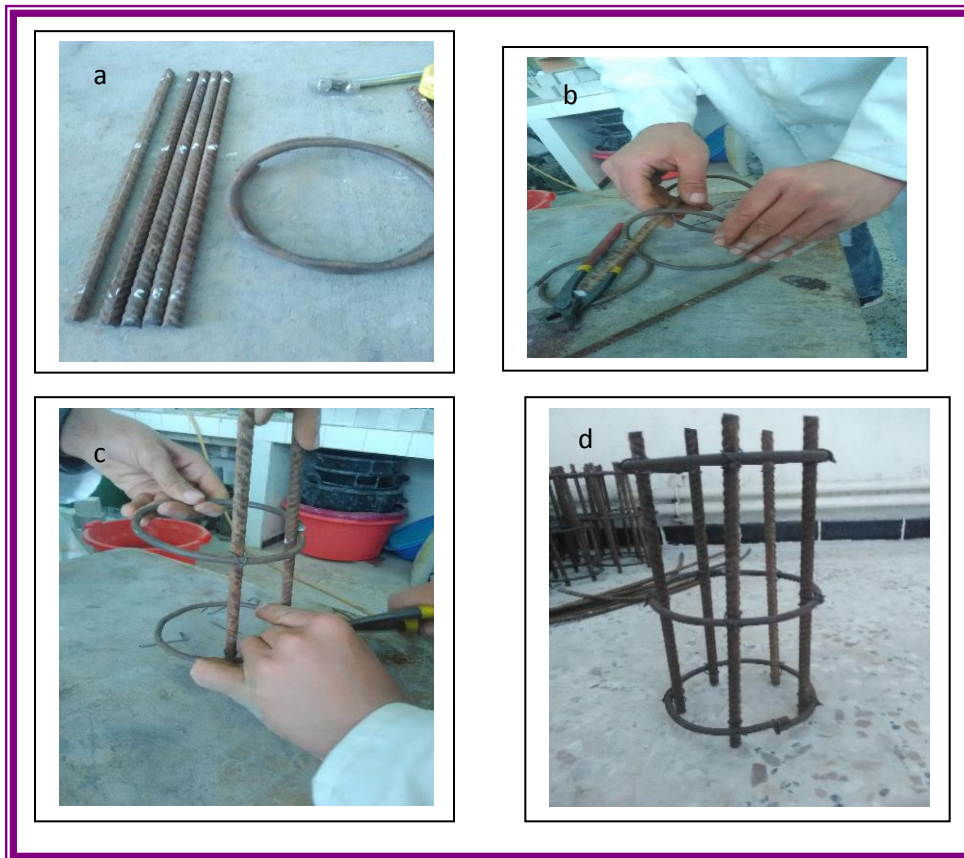


Figure II.7. Conception du ferrailage des cylindres.

II.5 Confinement interne avec le tissu de renfort :

II.5.1. Collage des tissus sur le ferrailage:

Les bandes de tissu de renforcement (fibres de verre et fibres de jute) ont été mesurées ensuite découpées à l'aide des ciseaux (figure II.8), la longueur des bandes de confinement, correspond au nombre de tours choisi pour un confinement partiel en utilisant des lanières en spirale continue, Les bandes de tissu de jute de différentes largeurs et différentes longueurs, selon l'angle d'enroulement, telles que montrées sur la figure II.8, sont découpées.



figure II.8. Bandes de tissu de fibre de jute

Les bandes de tissu de jute sont imprégnées de résine époxy à l'aide d'un pinceau, ensuite collées au ferrailage à l'aide d'un processus de pose à la main. Il s'agit d'une stratification au contact, dans laquelle la résine joue à la fois le rôle de matrice du composite, et celui d'adhésif assurant la liaison entre le composite et le ferrailage (figure II.9).

Une fois le tissu posé sur le ferrailage, il doit être marouflé à l'aide d'un rouleau. Ce procédé permet d'éviter la formation de poches d'air occlus dans le plan de collage car l'air s'échappe à travers les mailles du tissu.

De la même manière, une autre bande est collée dans le sens contraire à la première. figure II.9



Figure II-09 : Collage du tissu sur le ferrailage

II. 5.2. Nomenclature des éprouvettes

Un système d'identification des éprouvettes a été adopté. Les cylindres confinés sont désignés par : CCab, où C réfère à Cylindre, C à Confiné, a au nombre de spires de l'hélice et b à la largeur de la bande de fibre jute.

A titre d'exemple, CC34 est la référence du cylindre confiné avec des bandes de 4cm de largeur formant des hélices de 3 spires autour du ferrailage. Par ailleurs, le cylindre de béton non confiné est désigné par : CBO.

Le tableau II.7, résume l'ensemble des références des cylindres étudiés.

Tableau II-7 :Nomenclature des spécimens d'étude.

Désignation	Nombre de spires de l'hélice	Largeur	Longueur (m)
CCJ34	3	4cm	1.10
CCJ43	4	3 cm	1.46
CCJ53	5	3 cm	1.82
CBO	Cylindre en béton		

Comme le présent travail fait l'objet de l'étude de la possibilité d'un confinement à base de jute en substitution au verre, et le cylindre de référence étant confiné avec des hélices de 3 cm de largeur faisant 3 tours (figure II.10), celui-ci sera symbolisé par CCV33.



Figure II.10. Confinement en double hélice en fibres de verre.

II-6- Confection de béton et préparation des éprouvettes :**II-6.1- Moules cylindriques :**

Des cylindres de diamètre 150mm et de hauteur 300mm, conformément à la norme NF P18406, ont été utilisés afin de caractériser le béton utilisé (Figure II-11).



Figure II-11: Moules cylindriques (15x30) cm².

II-6.2- Coulage du béton :

Le matériel nécessaire est préparé (balance, récipients, spatules, truelles). Le liant, les agrégats fins et les agrégats grossiers sont pesés et pris selon les proportions citées dans le tableau II.1 Le volume de chaque gâchée est de 16 l (pour 3 éprouvettes de 300mmx150mm). Le mélange de ces constituants a été fait dans un malaxeur à axe vertical (Figure II-12).

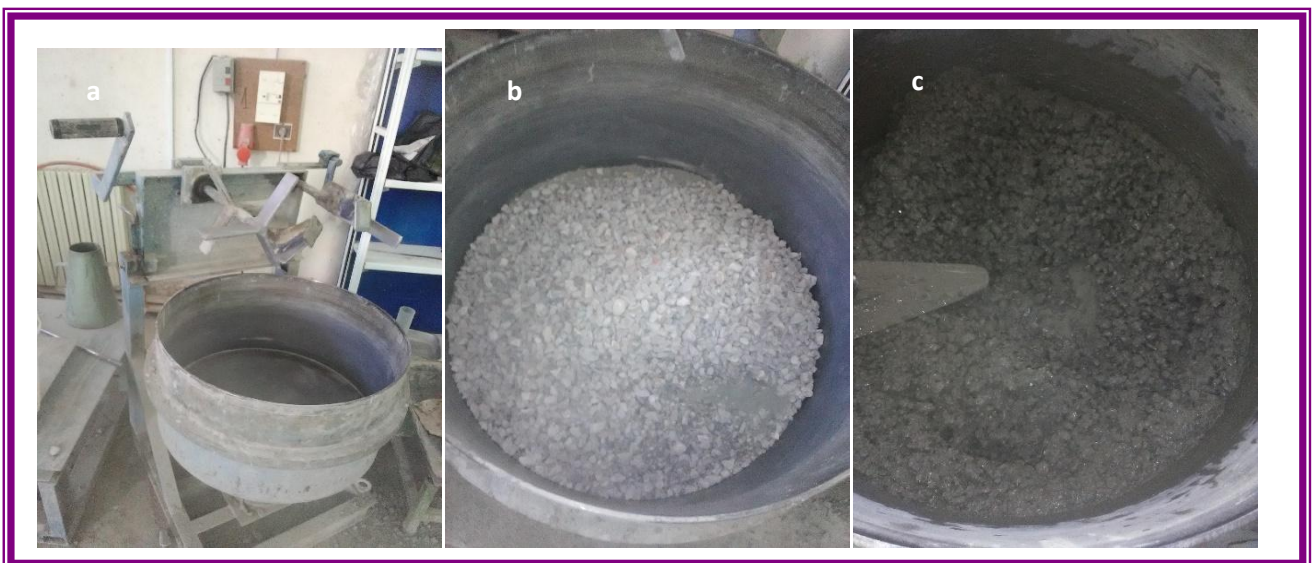


Figure II-12 Malaxeur à axe vertical.

- Le sable, les gravillons et le ciment sont introduits dans le malaxeur et sont mélangés pendant 1 mn. L'eau est ensuite versée graduellement tout en malaxant pendant quelques minutes, jusqu'à obtention d'un mélange assez homogène.

Les moules prévus pour les éprouvettes de béton ont été préparés et huilés pour faciliter le décoffrage. Une première couche de 2cm a été introduite en premier, dans les cylindres, ensuite le ferrailage confiné avec la fibre de jute est posé au centre de l'éprouvette (Figure 13.a). Le coulage du béton est poursuivi jusqu'au remplissage total des spécimens. Il est à rappeler que pendant cette opération, il était nécessaire de se servir d'une tige métallique pour piquer le béton notamment entre le ferrailage et les parois des cylindres, pour pallier tout blocage éventuel de granulats. Le béton est, ensuite, compacté par vibration sur une table vibrante (Figure II-13-b).

Les surfaces sont bien arasées et les éprouvettes sont laissées dans leurs moules pendant 24h dans les conditions du laboratoire (Figure II.13.c).

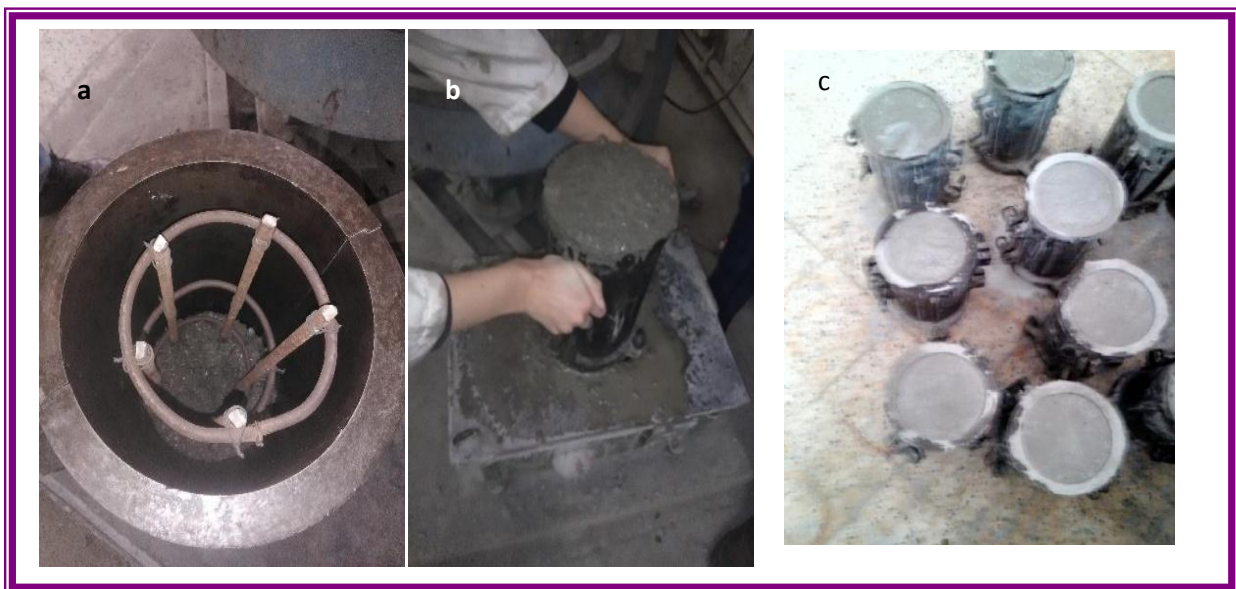


Figure II-13 Confection des éprouvettes.

II-6-3 Démoulage et mûrissement des éprouvettes :

les éprouvettes sont démoulées, puis datées et référencées (Figure II-14-a), elles ont ensuite été soumises à une cure d'hydratation dans un bac rempli d'eau, à température constante de 20° C pendant 28 jours, selon la norme européenne (NF 2001) relative à la conservation des éprouvettes en béton (Figure II-14-b).

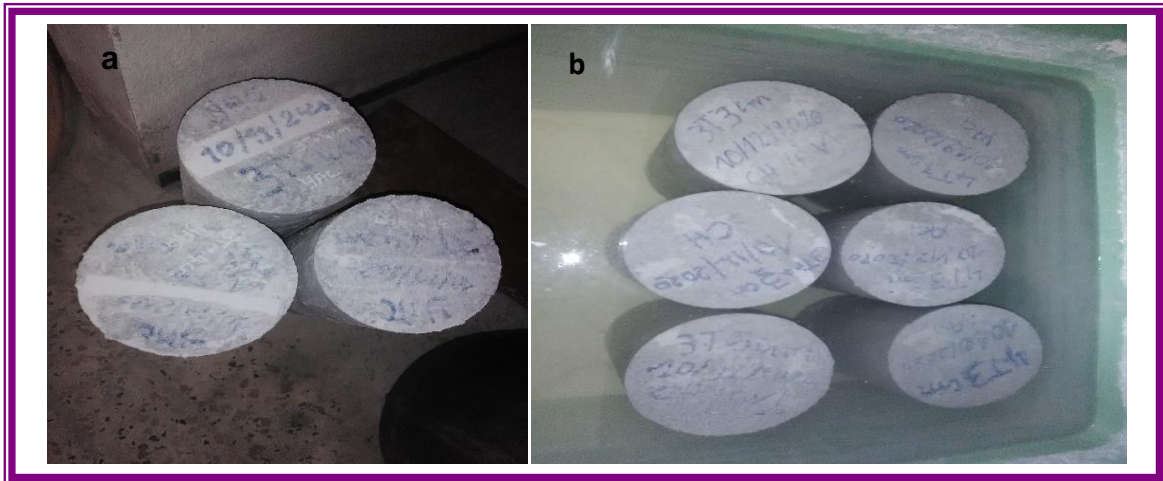


Figure II-14 conservation des éprouvettes

II-7- PROCEDURE D'ESSAI

II-7-1- Essai de résistance à la compression :

La résistance mécanique en compression d'un béton correspond à la charge de rupture (charge maximale enregistrée) au cours de l'essai d'écrasement sous une contrainte normale axiale. La mise en charge doit se faire d'une manière continue jusqu'à la rupture de l'éprouvette

Tous les spécimens cylindriques, ont été retirés du bac d'eau le jour des essais, puis séchés en surface. Ils ont été, ensuite, testés en compression selon la norme NF P 18-406 (figure II.15.a). Le chargement axial a été effectué à l'aide d'une presse hydraulique avec une étendue de capacité 2000 KN de type ELE (Figure II-15-b). L'essai est conduit sous un chargement quasi-statique avec une vitesse de 0,5 KN/m. La presse comporte deux plateaux, un plateau inférieur mobile et un plateau supérieur fixe.



Figure II-15: Essai de compression sur éprouvette en béton avec confinement interne en fibre de Jute.

Il est à noter que les déplacements longitudinaux, ont été mesurés grâce à un comparateur, à été placé sur le plateau mobile de la presse.(figure II.16.a) les forces et les déplacements enregistrés, pour chaque éprouvette testée, vont permettre le calcul des contraintes et des déformations qui permettront le tracé des courbes décrivant le comportement de chaque éprouvette testée.

II-8-CONCLUSION

Dans cette partie, ont exposés le matériel et les méthodes utilisés pour le type de confinement adopté dans cette étude, à savoir le confinement interne en double hélice avec TRC à base de jute, de cylindre en béton .

La démarche expérimentale a été exposée,et le mode de confinement y est bien décrit, allant de la préparation des spécimens en béton jusqu'à l'obtention d'éprouvettes confinées avec le jute soumises à un essai de compression dont la procédure est également détaillée dans ce chapitre.

L'objectif de cette expérimentation étant d'étudier la possibilité de l'utilisation de fibres naturelles de jute en remplacement des fibres synthétiques de verre, une démarche qui s'inscrit dans le cadre du développement durable. Les résultats des différents essais de compression font l'objet du chapitre suivant.

CHAPTRE « III »
Résultats et discussion

III.1. Introduction :

Ce chapitre présente les résultats expérimentaux obtenus dans le cadre de cette étude. Il est organisé en deux parties. La première concerne l'efficacité du renforcement avec des bandes hélicoïdales en fibre de jute, la deuxième partie présente l'étude de la possibilité de substitution du textile jute au textile verre.

III -2. Efficacité du renforcement avec des bandes hélicoïdal en fibre de jute :

Dans cette partie sont présentés les résultats obtenus sur le comportement des cylindres renforcés avec des bandes de jute formant une double hélice en tenant compte de deux paramètres à savoir, la largeur de la bande et le nombre de tours de l'hélice. Une confrontation de ces résultats à ceux du béton témoin est réalisée.

III -2.1. Effet de renforcement sur la résistance en compression

Le tableau III.1, donne les forces et les contraintes en compression des éprouvettes témoins et des éprouvettes confinées selon la variation de la largeur de la bande et du pas de l'hélice. Les valeurs moyennes des mesures de résistances en compression pour l'ensemble des éprouvettes testées sont également données dans ce tableau.

Tableau III-1 : Résistances en compression

type de renforcement	Force Max (KN)	Contrainte (MPa)	moyenne (MPa)
CBO	454,20	25,70	21,27±3,98
	354,20	20,16	
	312,60	17,96	
CCJ34	398,70	22,56	21,83±1,15
	372,90	21,10	
	385,80	21,82	
CCJ35	433,70	24,54	24,21±1,98
	390,30	22,09	
	459,70	26,01	
CCJ43	405,10	22,92	23,91±2, 31
	393,30	22,26	
	469,40	26,56	
CCJ53	393,10	22,24	24,12±3,35
	391,10	22,13	
	249,80	28,00	

Les résultats consignés dans le tableau III.1 sont utilisés pour tracer des histogrammes (Figure III.1) afin de mieux comprendre les comportements et les écarts entre les bétons renforcés et le béton non renforcé et de quantifier les gains obtenus.

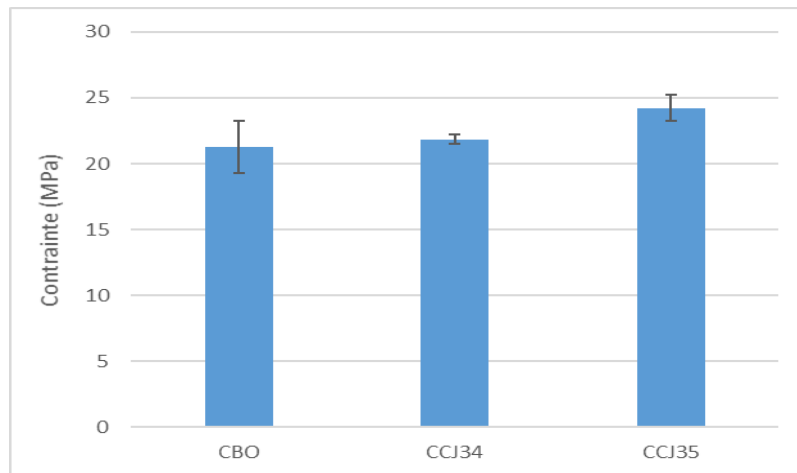


Figure III.1. Contraintes de compression, selon la largeur du textile.

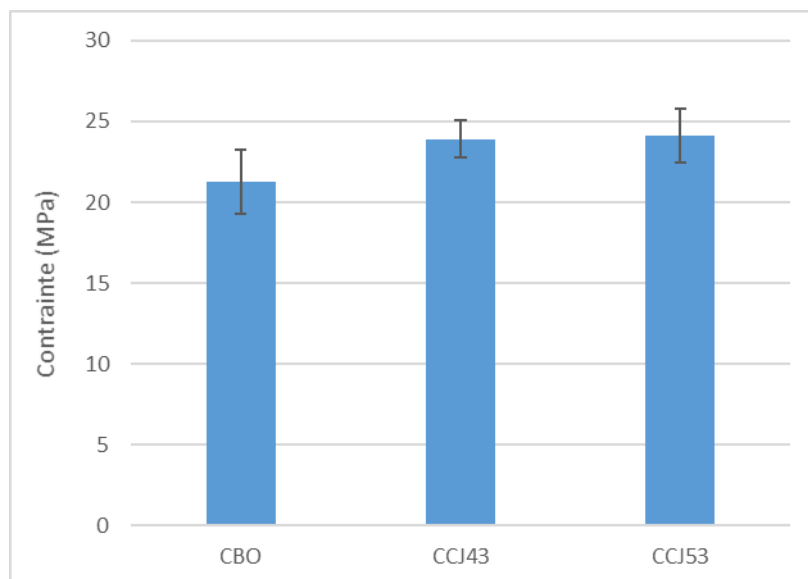


Figure III.2. Contraintes de compression, selon le nombre de tours du textile.

En examinant les histogrammes, on déduit que q'en matière de résistance à la compression, les valeurs les plus élevées de résistance à la compression sont celles des cylindres renforcés avec les bande de 5 cm de larguer et 3 tours d'hélice qui donnent une résistance de 24.21 MPa, meilleure que celle des cylindres renforcés avec des bandes de 3 cm de largeur et 5 tours d'hélice, pour lesquels une résistance de 24.12 MPa est enregistrée. Par ailleurs, les cylindres renforcés avec des bandes de 3 cm de largeur et 4 tours d'hélice, qui donnent une résistance de 23.91 MPa, tant dis que la résistance la plus faible du béton renforcé est obtenue pour des cylindres renforcés avec des bandes de 4 cm de largeur et 3 tours d'hélice, pour lesquels une résistance de 21. 83 MPa est enregistrée. Une valeur qui reste supérieure à celle du béton témoin qui est de 21.27 MPa.

La résistance des cylindres confinés avec polymère renforcé de fibre de jute (PRFJ), sont tributaires de la largeur de la bande et de la valeur du pas de l'hélice, résultat rapportés par Ali ahmed (2016), Iguenni (2017= et Oussad (2017) qui ont travaillé sur des cylindres confinés par collage, en hélices, de bandes de polymère renforcé de fibres (PRF).

Les histogrammes des figures III.1 et III.2, montrent clairement les écarts entre les résistances en compression des bétons renforcés en comparaison avec le béton non renforcé (béton témoin), pour la largeur de la bande de jute et le nombre de tours qu'elle forme.

Ces écarts de résistances, peuvent être quantifié par le calcul des gains en compression. Le tableau III.2, donne les gains obtenus pour l'ensemble des variantes de renforcement.

Tableau III.2: Gains en résistance à la compression

Variante	type de renforcement	contrainte MPa	Gain (%)
1	CBO	21,27	/
2	CCJ34	21,83	2,63
3	CCJ35	24,21	13,82
4	CCJ43	23,91	12,41
5	CCJ53	24,12	13,40

Il ressort que l'augmentation de la largeur de bande et le nombre de tours de l'hélice augmentent la résistance à la compression.

On obtient, en effet, des gains de résistance de 2,63 %, 13,82%, 12,41% et 13,40% pour des cylindres renforcés avec le tissu de fibre de jute selon CCJ34, CCJ35, CCJ43 et CCJ53 respectivement.

III -2.2. Effet de renforcement sur la déformation

Dans le tableau III.3 sont données les déformations axiales pour chaque type de renforcement.

Tableau III.3: Déformations axiales.

type de renforcement	ϵ_l	ϵ_l moy
CBO	0,0024	0,0028±0.00045
	0,0027	
	0,0033	
CCJ34	0,0036	0,0035±0.00036
	0,0038	
	0,0031	
CCJ35	0,0043	0,0038±0.0007
	0,0030	
	0,0041	
CCJ43	0,0034	0,0036±0.00032
	0,0035	
	0,0029	
CCJ53	0,0044	0,0039±0.00062
	0,0032	
	0,0041	

Le comportement de l'éprouvette renforcée devient quasi ductile, puisque les déformations axiales des cylindres confinés avec le tissu de fibre de jute augmentent par rapport au béton témoin. Il est à noter que cette déformation atteint 0,0039 pour CCJ53, ce qui démontre l'aptitude des éprouvettes confinées avec le tissu de fibre de jute à se déformer axialement. Pour une meilleure lecture des résultats, les déformations sont représentées par les figures III.3 et III.4 selon la largeur du textile ou le nombre de tours respectivement.

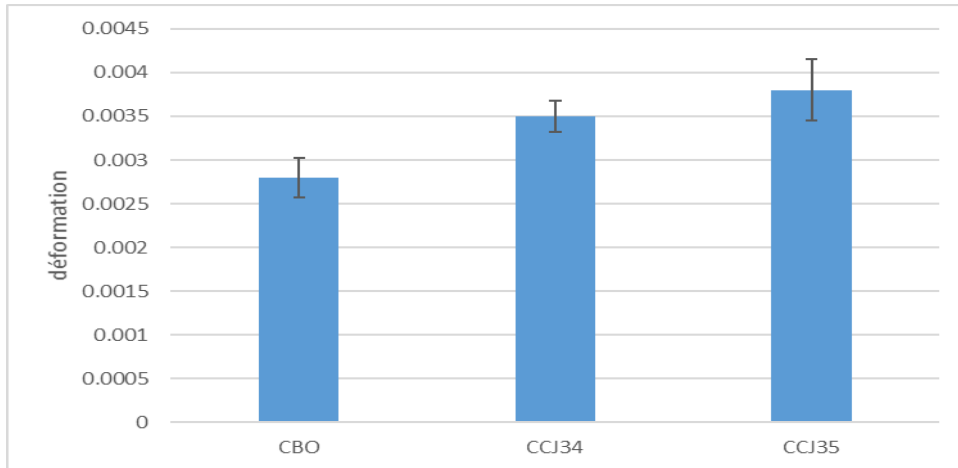


Figure III.3. Déformations axiales, selon la largeur du textile.

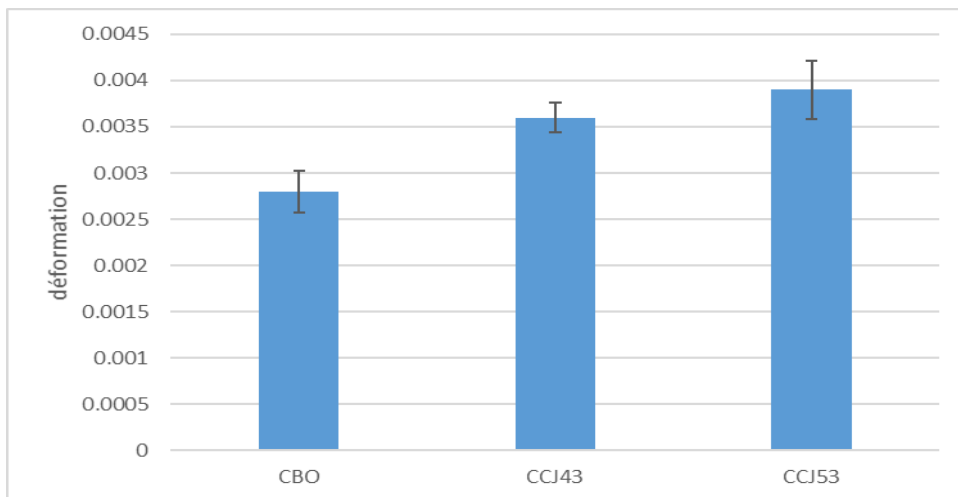


Figure III.4. Déformations axiales, selon le nombre de tours du textile.

III -2.2.1. Calcul des gains

Les gains en déformation de toutes les variantes de renforcement par rapport au béton témoin sont donnés dans le tableau.III.4

Tableau III.4: Gains en déformation.

Variante	type de renforcement	ϵ_l moy	Gain (%)
1	CBO	0,0028	/
2	CCJ34	0,0035	25
3	CCJ35	0,0038	35,71
4	CCJ43	0,0036	28,57
5	CCJ53	0,0039	39,28

Il est clair que l'augmentation de la largeur de bande et du nombre de tours de l'hélice augmente le gain en déformation notamment pour CCJ35 et CCJ53.

On obtient, en effet, des gains de déformation de 25 % ; 35,71% ; 28,57% et 39,28% respectivement pour des cylindres renforcés avec le tissu en fibres de jute selon CCJ34, CCJ35, CCJ43 et CCJ53.

III -3. Etude de la possibilité de substitution du textile jute au textile verre

Dans cette partie nous allons présenter les résultats obtenus sur le comportement de cylindres renforcés avec des bandes de jute en faisant varier leur largeur et le nombre de tours qu'elles forment, en opposition aux résultats obtenus sur des cylindres renforcés de la même façon en utilisant des bandes de verre de 3 cm de largeur, faisant des hélices à 3 tours. Le but étant de trouver le substitut de jute au verre.

III -3.1. Influence de la largeur de la bande

Malgré que le verre possède des caractéristiques mécaniques bien meilleures que celles du jute, une variante de renforcement, par la même technique, avec celui-ci a été recherchée pour remplacer le verre et ce par soucis purement économique et environnemental. Deux largeurs de textile de jute pour le même nombre de tours que le verre ont été testées, à savoir 4 et 5 cm.

III -3.1.1. Influence de la largeur de la bande sur la résistance en compression

Le tableau III.4, donne les forces et les contraintes en compression des cylindres renforcés, selon la variation de la largeur de la bande du tissu en fibres de jute ainsi que celle du cylindre référence qui est renforcé avec le tissu en fibres de verre.

Tableau III-5 : résistances en compression et gains réalisés pour les cylindres renforcés, pour la variable largeur de la bande.

Variante	type de renforcement	Contrainte MPa	Gain %
2	CCV33	22,93±2,77	/
3	CCJ34	21,83±1,15	/
4	CCJ35	24,21±1,98	5,58

La résistance à la compression atteint une valeur de 24.21 MPa, pour un confinement avec des bandes de jute à 3 tours et 5 cm de largeur, ce qui correspond à un gain en résistance de 5,58 %.

Il est à noter aussi que la variante de renforcement à 3 tours de 4 cm de textile de jute présente une résistance inférieure à celle du renforcement à base de verre, il n'est donc pas indiqué pour remplacer le renforcement en verre.

En somme, le renforcement avec le textile en fibres de Verre à 3 tours de 3 cm de largeur, peut être remplacé par un renforcement à 3 tours de 5 cm de largeur en textile de Jute. il suffit donc, d'augmenter la largeur de la bande de jute de 2 cm pour qu'elle rivalise celle de verre, pour le même nombre de tours..

III -3.1.2 Influence de la largeur de la bande sur la déformation

Dans le tableau III.6, sont données les déformations axiales pour chaque type de renforcement avec tissu en fibres de jute par rapport au renforcement textile de verre.

Tableau III-6 : déformation et gains, en fonction de la largeur du textile.

type de confinement	ϵ_l	ϵ_l moy	Gain %
CCV33	0,0039	0,0036±0.0003	/
	0,0033		
	0,0036		
CCJ34	0,0036	0,0035±0.00036	/
	0,0038		
	0,0031		
CCJ35	0,0043	0,0038±0.0007	5.55
	0,0030		
	0,0041		

Les résultats obtenus sont bien illustrés par l'histogramme de la figure III.5.

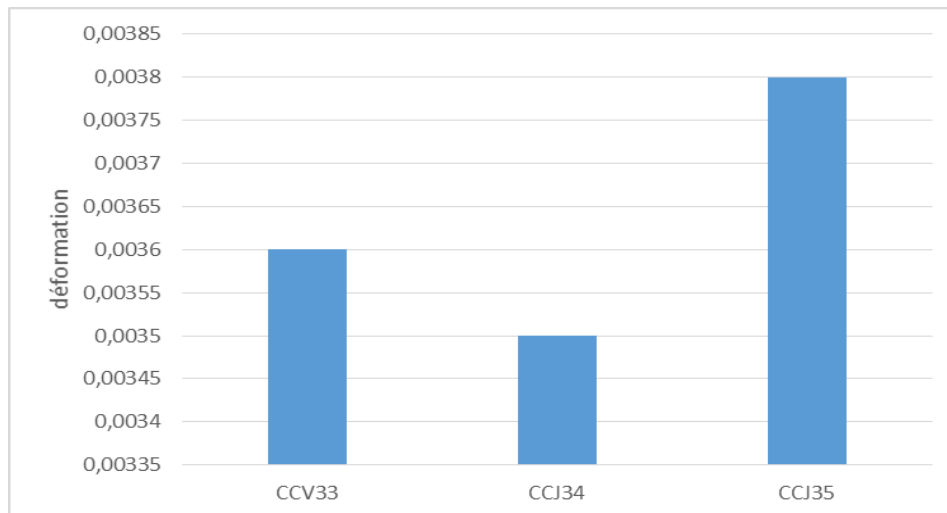


Figure III.5. Déformation axiale, selon la largeur du textile

La déformation axiale atteinte pour CCJ35 est de 0,0038, et 0,0035 pour CCJ34, ce qui démontre que les éprouvettes confinées avec le tissu de fibre de jute se déforment quasiment avec le même taux que celles en CCV33 puisque l'apport en déformation des cylindres CCJ35 enregistrent un faible gain en déformation, qui est de l'ordre de 5.55 % tant dis que celui de CC34 est quasiment nul.

III -3.2. Influence du nombre de tours de la bande:

les résultats obtenus sur le comportement de cylindres renforcés avec des bandes de jute en faisant varier le nombre de tours qu'elles forment, en opposition aux résultats obtenus sur des cylindres renforcés de la même façon en utilisant des bandes de verre de 3 cm de largeur, faisant des hélices à 3 tours.

III -3.2.1. Influence du nombre de tours de la bande sur la résistance en compression

Il ressort des résultats donnés dans le Tableau III-7, que le nombre de tours de renforcement avec le Jute, influence la résistance à la compression puisque leurs variations sont proportionnelles. qui s'améliore avec l'augmentation du nombre de tours du fibre de Jute

Tableau III-7 : résistances en compression et gains, selon le nombre de tours

Variante	type de renforcement	contrainte MPa	Le gain %
2	CCV33	22,93±2,77	/
3	CCJ43	23,91±2,31	4,27
4	CCJ53	24,12±3,35	5,19

La résistance a, en effet, sensiblement augmenté allant jusqu'à 24.12 MPa pour un renforcement à 5 tours en Jute qui donne la meilleur résistance en comparaison avec le confinement à 3 tours en fibres de Verre, pour la même largeur de 3 cm .On enregistre ainsi, un gain de 5,19 % pour le Jute.

Il est à noter que même la variante de renforcement avec 4 tours Jute, donne une résistance plus élevée que celle du béton confiné avec 3 tours en fibres du verre pour la même largeur de 3 cm. On enregistre, en effet, pour cette variante, une valeur de 23.91 MPa correspondant à un gain de 4,27%. Ceci signifie qu'il faut augmenter le confinement en jute d'un, voire deux tours par rapport au verre pour pouvoir le substituer à celui-ci.

III -3.2.2 Influence du nombre de tours de la bande sur la déformation

Dans le tableau III.8 sont données les déformations axiales pour chaque type de renforcement avec tissu de jute ainsi que gain en déformation par rapport au renforcement en textile de verre.

Tableau III-8 : déformation et gains, en fonction du nombre de tours du textile.

type de renforcement	ϵ_l	ϵ_l moy	Gain %
CCV33	0,0034	0,0036 \pm 0,00032	/
	0,0035		
	0,0029		
CCJ43	0,0044	0,0036 \pm 0,00062	/
	0,0032		
	0,0041		
CCJ53	0,0034	0,0039 \pm 0,00016	8,33
	0,0035		
	0,0029		

Les résultats obtenus sont bien illustrés par l'histogramme de la figure III.6.

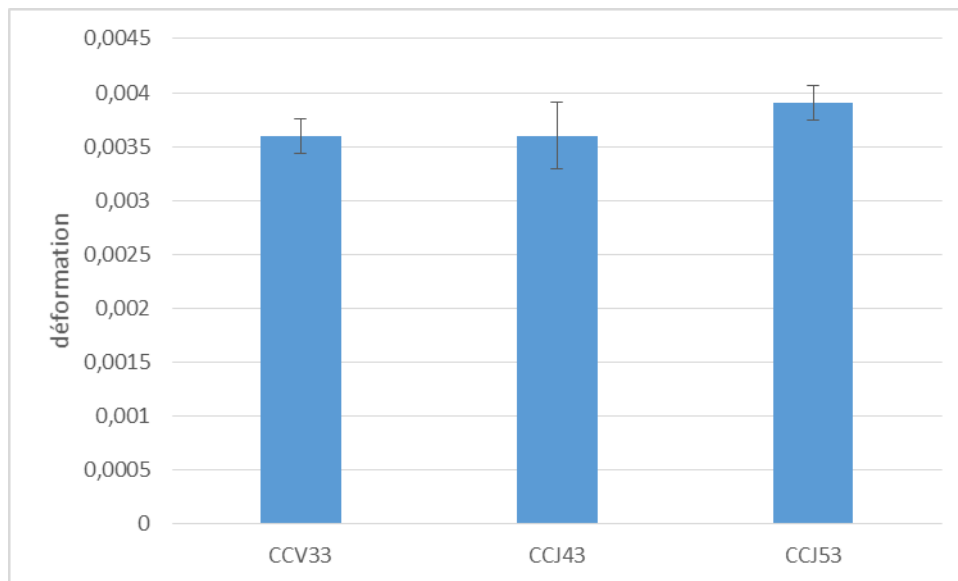


Figure III.6. Déformation axiale, selon le nombre de tours du textile

La déformation axiale atteinte pour CCJ53 est de 0,0039, et 0,0035 pour CCJ43, ce qui démontre que les éprouvettes confinées avec le tissu de fibre de jute à se déforment quasiment avec le même taux que celles en CCV33 puisque les cylindres renforcés en CCJ53 enregistrent un gain en déformation, qui est de l'ordre de 8.33 % tant dis que celui de CC43 est quasiment nul.

III-3-2.3- Synthèse des résultats expérimentaux

Les résultats expérimentaux montrent que pour pouvoir remplacer le renforcement en textile de verre de 3 cm de largeur et 3 tours d'hélice, il faut utiliser des bandes de jute de 5 cm de largeur pour le même nombre de tours ou bien par des bandes de 3 cm de largeur formant 4 ou 5 tours.

III.4. Relation entre la résistance en compression ainsi que la déformation et les paramètres d'étude

Les relations entre les paramètres d'étude et résistance en compression ainsi que la déformation axiale ont été mises en évidence par le calcul de régressions linéaires les reliant. Les résultats obtenus sont donnés dans les figures III.7 et III.8.

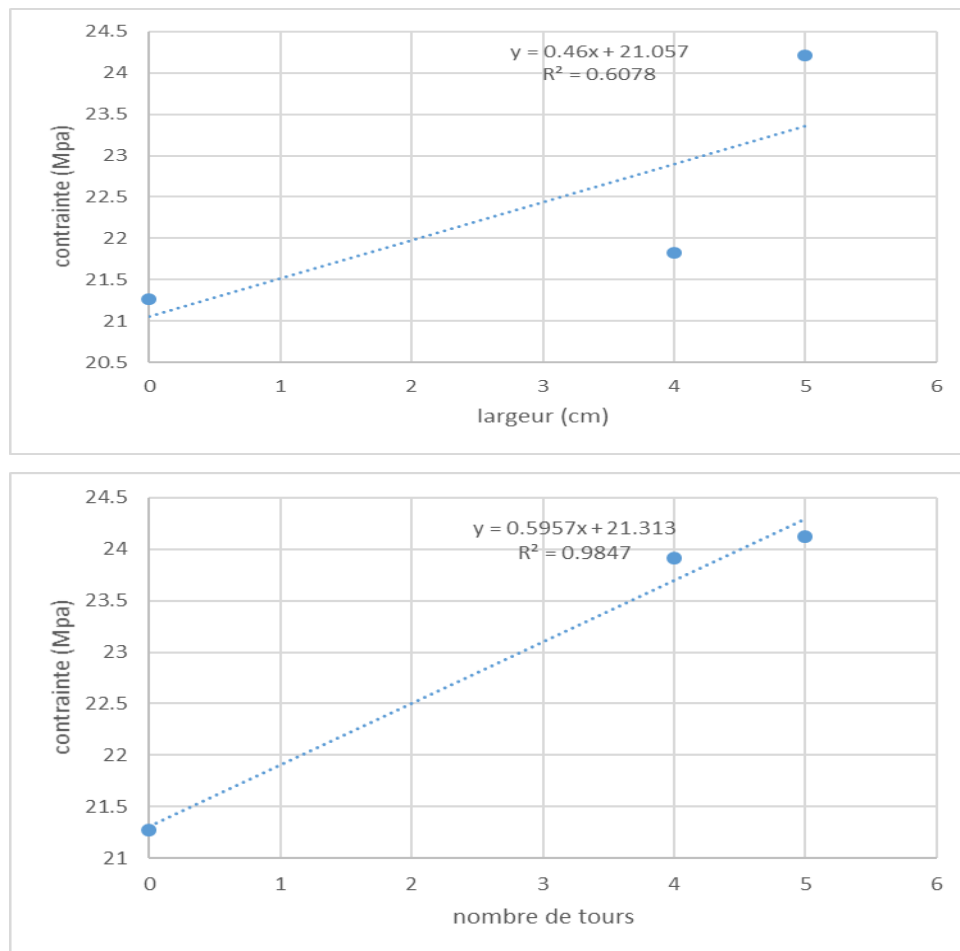


Figure III.7. regressions linéaires de la résistance en compression et les paramètres d'étude

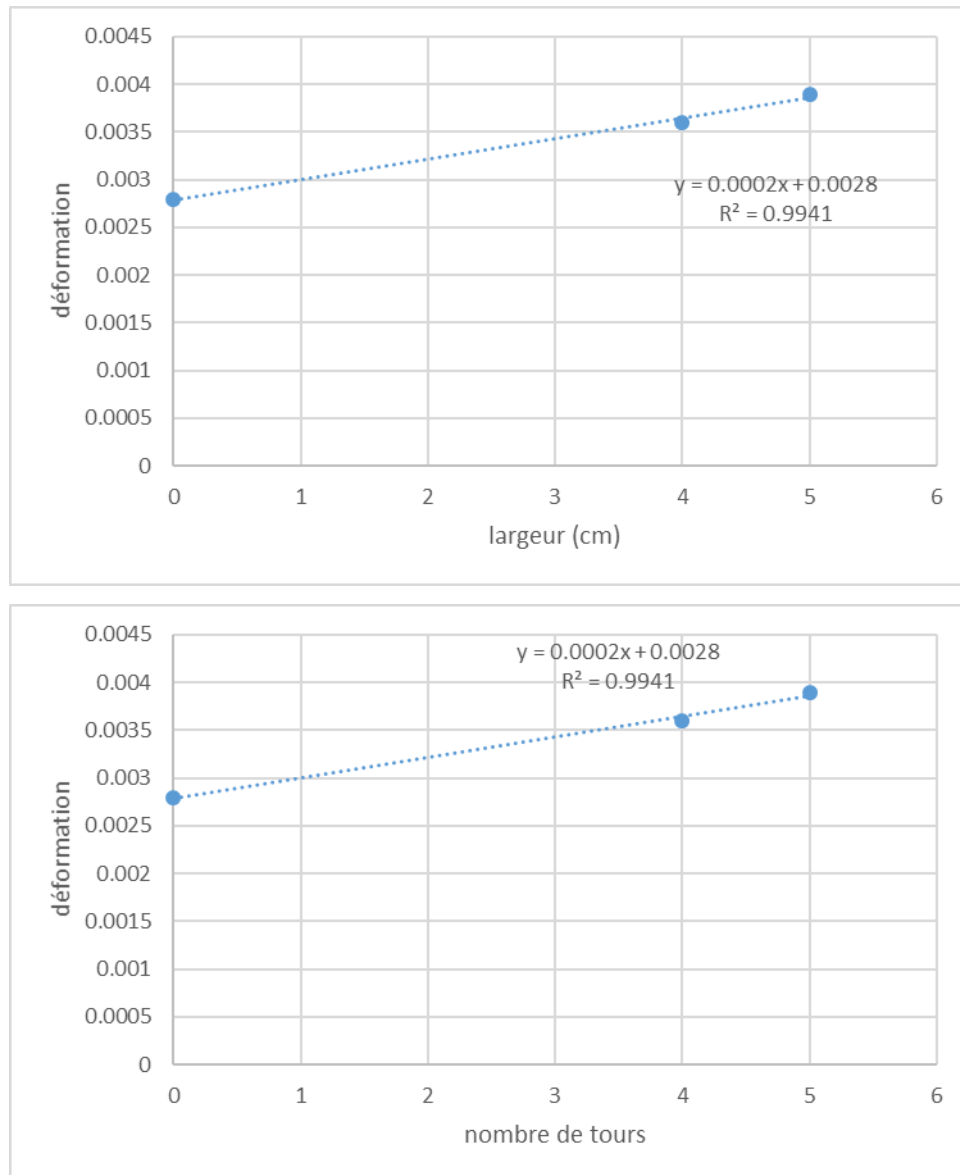


Figure III.8. Régressions linéaires de la déformation et les paramètres d'étude

Les différentes régressions montrent qu'il y a une bonne corrélation linéaire entre la résistance en compression et la déformation, chacune avec la largeur du textile et du nombre de tours qu'il fait respectivement.

III. 5. Conclusion

Les résultats expérimentaux ont montré l'efficacité du renforcement interne du béton armé par un textile de jute sous forme de bandes hélicoïdales.

Un gain de résistance et de déformabilité a été observé pour les éprouvettes renforcées en comparaison aux éprouvettes non renforcées. Les résultats ont également permis de mettre en évidence les relations qui existent entre ces grandeurs et les paramètres d'étude qui sont la largeur du textile et le nombre de tours qu'il forme. Il a été montré que la résistance à la compression ainsi que la déformation axiale des éprouvettes augmentent avec l'augmentation de ces paramètres.

Par ailleurs, il a été montré qu'il était possible de remplacer un renforcement en fibres de verre par un renforcement en jute, en augmentant les paramètres étudiés.

Conclusion générale et perspectives

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES :

L'objectif de ce travail de recherche est d'examiner la possibilité d'utiliser des fibres de jute (fibres végétales) pour le renforcement interne de béton armé comme alternative aux fibres de verre (fibres synthétiques), sachant que la protection de l'environnement est un enjeu majeur dans les prochaines décennies et le développement des matériaux dits « verts » devrait y contribuer de manière significative.

Cette étude, se veut une contribution à la compréhension du comportement mécanique des composites à renforts végétaux. Ces derniers complètent la grande famille des matériaux et apportent des avantages et des spécificités qu'il faut, certes, maîtriser. Le renforcement par des fibres de jute et leurs dérivés permet non seulement la valorisation d'une ressource naturelle renouvelable, mais également l'amélioration des propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres ; positionnant ainsi ces nouveaux matériaux, dans certains cas, en concurrence directe avec les composites à renforts en fibres synthétiques.

Le travail expérimental s'est particulièrement orienté vers la comparaison des résistances à la compression et à la déformation entre le béton non renforcé (béton témoin), le béton renforcé par le tissu de fibre de jute. Une comparaison entre le renforcement avec la jute et le verre est également conduite. L'étude a porté sur 18 spécimens cylindriques de dimension ($\phi 15 \times 30$ cm), des bandes de tissu de jute sont fixées sur le ferrailage des cylindres, au moyen d'une résine époxy, de façon à ce qu'elles forment deux hélices de sens contraires.

Le nombre de tours que les bandes forment ainsi que leur largeur sont les paramètres variables considérés dans cette étude. Dans le but de trouver le cas de renforcement à base de jute qui pourrait concurrencer celui à base de fibres de verre, la variante de référence retenue pour le verre est celle d'un renforcement avec des bandes de 3 cm de largeur, formant des hélices à 3 tours (Hadjih C, 2021). Tant dis que plusieurs variantes à base de jute ont été testées, en modifiant à chaque fois la largeur (4 et 5 cm) des bandes ou le nombre de tours qu'elles font autour du ferrailage (4 et 5 tours).

L'ensemble des spécimens a été testé en compression simple et les résultats sont détaillés dans le troisième chapitre. Nous avons pu, ainsi, montrer :

Que l'amélioration de la résistance ultime ainsi que de la déformation axiale est obtenue en augmentant le nombre de tours ainsi que la largeur de la bande de jute.

Conclusion générale et perspectives

- Un gain de résistance ultime pour toutes les éprouvettes renforcées allant jusqu'à 13,82 % pour les éprouvettes renforcées par 3 tours et 5 cm de largeur de jute.
- - un gain en déformation atteignant 39.28% pour le renforcement à 5 tours de 3 cm de largeur.
- Que le remplacement du textile verre par le textile jute est possible par l'une des variantes suivantes, pour les quelles sont donnés les apports en termes de résistance et de déformation :
 - 4 tours de 3 cm qui améliore la résistance de 4.27% et la déformation est la même que celle du verre.
 - 3 tours et 5 cm avec un apport en résistance de 5.58% et 5.55% en déformation
 - 5 tours et 3 cm avec un apport de 5.19% en résistance et 8.33% en déformation.

L'utilisation du composite à base de fibre végétale dans le renforcement interne des structures en béton est une solution qui peut s'avérer pratique, elle permet de plus, un gain de résistance et de déformation, une facilité de mise en oeuvre sans oublier la biodégradabilité de la fibre ainsi que le moins d'impacts qu'elle produit sur l'homme et sur l'environnement.

PERSPECTIVES :

des suggestions sont formulées car plusieurs aspects demandent à être complétés avant de pouvoir effectivement utiliser les fibres de jute pour le renforcement interne de structures en béton armé.

Une campagne d'essais avec plus d'échantillons serait nécessaire pour pouvoir prétendre à des propriétés mécaniques représentatives et exactes.

- Réaliser un renforcement interne pour des colonnes en béton endommagé par le fibre du Jute ou autres fibres de renforcement naturelles.
- Réaliser une simulation numérique par le biais d'un code de calcul, et les résultats expérimentaux obtenus serviront au calibrage, ceci permettra de tester d'autres variantes.

Conclusion générale et perspectives

- Pour des raisons de fiabilité, l'utilisation d'une résine biosourcée ou biodégradable, époxy ou autre, permettrait d'obtenir un matériau véritablement écologique.
- Effectuer une étude comparative entre le renforcement par collage externe de matériaux composites FRP, et le renforcement interne par des fibre de jute naturel.

Références bibliographiques

- [1] **Merdas Abde-ELGHANI**, Utilisation du TFC dans la réparation et le renforcement des poutres en BA. Thèse de Magister. Université Des frères Mentouri-Constantine, 2005.
- [2] **J.M. Berthelot**. Matériaux composites, comportement mécanique et analyse des structures. Edition. Lavoisier, (2005), ISBN: 2-7430-0771-0.
- [3] **Ould El Hacem Zein El Abidine**. Renforcement du béton par les matériaux composites, Université de Tébessa, Mai 2016, 126p.
- [4] **Mohcene BOUKHEZAR**. Réhabilitation et renforcement des poutres au moyen des matériaux composites, Thèse de Magister : Génie Civil. Université Mentouri, Juillet 2009, 123p.
- [5] **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.
- [6] **Arnaud NICOLLIN**. Développement De Matériaux Composites Ecologiques A Base De Résines De Tannins Et De Renforts De Fibres Végétales. Thèse de Doctorat. L'université De Lorraine. 2014. 135p.
- [7] **Riad Benzaid. Habib Abdelhak Mesbah, Nasr-Eddine Chikh**. Contribution à l'Étude des Matériaux Composites Dans le Renforcement et la Réparation Des Eléments Structuraux Linéaires en Béton. hal-00782103, version 1 - 30 Jan 2013 978-613-1-55146-8, Juillet 2013, 260p.
- [8] **YAHIAOUI Lamia**. Caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales (Diss). Thèse de Magister. Université Ferhat Abbas-Setif-ufas (Algérie), 2011, 118p.
- [9] **OUZAA KHEIRA**. Réhabilitation Des Structures, Thèse de Doctorat. Université des sciences et de la technologie d'Oran MOHAMED BOUDIAF U.S.T.O. 2015, 75p.
- [10] **AMOURI Chahinez**. Contribution à l'étude de l'influence des différents ajouts sur les propriétés des matrices cimentaires (Caractérisation, Performances, Durabilité). Thèse de Doctorat. Université Mentouri Constantine. 2009, 158p.
- [11] **Centre d'animation régional en matériaux avancés - CARMA**, Glossaire des matériaux composites renforcés de fibres d'origines renouvelable. CARMA, 2006.
- [12] **Mohamed El Hadi BOURAHLI**. Caractérisation d'un composite verre / époxy. Thèse de Doctorat. Université Ferhat Abbas-Sétif 1. 2014, 147p.

- [13] **ACI 2002. ACI 440.2R-02** : Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- [14] **Toledo F et al, 2003** Developement of vegetable fibre mortar composites of improved durability. Cement and Concrete.
- [15] **Dittember, D.B., Ganga Rao, H.V.S.**, Critical Review of Recent Publications on Use of Natural composites in Infrastructure, Composites: Part A (2011), doi: 10.1016/j.composites.2011.11.019.
- [16] **Harlan M. D., Field** Test of a Bridge Deck with Glass Fiber Reinforced Polymer Bars as the Top Mat of Reinforcement, Master of Science in civil engineering, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, USA, June 18, 2004.
- [17] **Calgaro J. et Lacroix R.**, Maintenance et réparation des ponts, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, p.11-19, 1997
- [18] **Karbhari V.M**, WTEC Monograph on Use of Composite Materials in Civil Infrastructure in Japan, International Technology Research Institute, 4501 North Charles Street, Baltimore, Maryland 21210-2699, USA.
- [19] **Hollaway, L.C. 1990.** Polymers and Polymer Composites in Construction. Thomas Telford Ltd., London, UK.
- [20] **Resse C. et Venaut M.**, Projection des mortiers béton et plâtres, Techniques et applications bâtiment et TP, 1981
- [21] **Geoffrey PROMIS.** Composites Fibres/Matrice Minérale : Du Matériau A La Structure, Thèse de Doctorat. L'université Claude Bernard Lyon 1. février 2010, 319p.
- [22] **Ba Tam TRUONG.** Formulation, performances mécaniques, et applications, d'un matériau TRC pour le renforcement et la réparation de structures en béton/et béton armé : Approches expérimentale et numérique, Thèse de Doctorat. Université de LYON. Décembre 2016, 206p.
- [23] **Thi Loan BUI.** Contribution A L'étude De Murs Maçonnes Renforces Par Matériaux Composites (FRP Et TRC). Application Aux Sollicitations Dans Le Plan, Thèse de Doctorat. L'université Claude Bernard Lyon1. Juin 2014, 313p.
- [24] **Turath GHARIB.** Renforcement des structures historiques en maçonnerie par matériaux composites : Application aux murs en pierres calcaires, Thèse de Doctorat. L'université Claude Bernard Lyon1. Juillet 2015, 201p.
- [25] **BOUZEBOUDJA .F.** Poinçonnement de dalles armées de tissus composites 2017.

[26] De Luca, A. and Nanni, A., Single-Parameter Methodology for the Prediction of the Stress-Strain Behavior of FRP-Confined RC Square Columns, *Journal of Composites for Construction*, 15(3), 2011, p. 392.

[27] Pham, T. M. and Hadi, M. N. S., Predicting Stress and Strain of FRP Confined Rectangular/Square Columns Using Artificial Neural Networks, *Journal of Composites for Construction* 2014a, 18(6).

[28] Pham, T. M. and Hadi, M. N. S., Stress Prediction Model for FRP Confined Rectangular Concrete Columns with Rounded Corners, *Journal of Composites for Construction* 2014b, 18(1).

[29] Teng, J. G., Jiang, T., Lam, L., and Luo, Y. Z., Refinement of a Design-Oriented Stress-Strain Model for FRP-Confined Concrete, *Journal of Composites for Construction*, 13(4), 2009, p. 269.

[30] Wu, Y. F. and Zhou, Y. W., Unified Strength Model Based on Hoek-Brown Failure Criterion for Circular and Square Concrete Columns Confined by FRP, *Journal of Composites for Construction*, 14(2), 2010, p. 175–84.

[31] Mirmiran, A. et Shahawy, M. (1997) "Behavior of concrete columns confined by fiber composites", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 123, No.5, pp. 583-590.