

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITÉ MOULOU MAMMARI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DE GÉNIE DE LA CONSTRUCTION
Département de Génie Civil



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE

En vue de l'Obtention du Diplôme de Master en Génie Civil
Option : Structure

Thème :

Renforcement interne en double hélice avec TRC
de cylindres en béton armé.

Présenté par :

M^{lle} HADJIH Chahira

Membre du jury :

Présidente : M^{me} AIT TALEB. S

Examinatrice : M^{me} BOUZEBODJA. F

Promotrice : M^{me} ALI AHMED. C

Année Universitaire : 2019-2020



Remerciements

En premier lieu, je voudrai témoigner ma reconnaissance et mes sincères remerciements à ma promotrice Mme ALI AHMED.C pour m'avoir guidée tout le long de ce travail, pour sa disponibilité, ses efforts et son suivi constant du début du travail jusqu'à l'élaboration de ce mémoire.

J'adresse également mes remerciements aux membre du jury, Mme Bouzeboudja F. et Mme Ait Taleb S. d'avoir bien examiner ce travail.

Je remercie également les personnes qui m'ont accompagnées dans mon étude expérimentale au laboratoire de matériaux de construction de l'UMMTO, Mr BOUHRAOUA. R, Mme MALEK Nesrine et Mr AIT HOCINE Menad.

Mes remerciements sont également adressés à LILA, F. MOUNIA, WASSILA, KAMELIA, NOUARA, CHANEZ et E05.

Je n'omettrai pas de remercier H. Radouane et Samia.

Un énorme et particulier remerciement à mes sœurs MOUNIA et KENZA, Mon frère Saïd et sa femme Samia.

Un spécial remerciement et profond pour ma mère et mon père à qui je dois ce que je suis aujourd'hui.

Je remercie mon fiancé et sa famille.





Je dédie ce modeste travail à mon neveu

« Ahmed Nazim »

*A qui je souhaite beaucoup de
bonheur et un bel avenir.*

*Chahira.
Chahira.*



Sommaire

Remerciement.....	i
Dédicace	ii
Résumé.....	iii
Introduction générale.....	3

CHAPITRE I : Synthèse bibliographique

Introduction	3
Le béton.....	3
Dégradation des ouvrages en béton armé.....	5
Technique de renforcement par composites.....	8
Utilisation des TRC.....	14
Renforcement par TRC	14
Les différents procédés de production des TRC	16
Revus de quelques travaux antérieurs sur les TRC	17
Conclusion.....	19

CHAPITRE II : procédure expérimentale

Introduction	20
Protocole expérimental.....	20
Procédure expérimental.....	26
Procédure d'essai.....	32
Conclusion.....	35

CHAPITRE III : Résultats et discussion

Introduction	35
Résultat expérimentaux	35
Synthèse des résultats expérimentaux	43
Conclusion.....	41
Conclusion générale	46
Référence bibliographique	

Résumé

Le domaine du génie civil ne cesse d'évoluer, en vue d'améliorer les performances des structures que ce soit par des renforcements à l'amont de leur construction ou bien par des réparations en cas de leur endommagement. L'évolution de l'industrie des textiles synthétiques offre un large choix pour le renforcement ou la réparation des structures. Leur utilisation est en plein essor aussi bien dans les polymères renforcés de fibres (PRF) que dans les ciments renforcés de fibres (TRC). C'est une application de TRC pour le renforcement interne de cylindres en béton armé qui a fait l'objet de cette recherche.

L'étude expérimentale de renforcement du béton armé à l'aide de bandes hélicoïdales en textile de verre a montré une augmentation de la résistance et une amélioration de la déformation axiale du béton renforcé.

Abstract

The field of civil engineering is constantly evolving, to improving the performance of structures, whether by reinforcing them upstream of their construction or by repairing them damaged. The evolution of the synthetic textiles industry offers a large choice for reinforcing or repairing structures. Their use is booming in both fiber reinforced polymers (FRP) and fiber reinforced cements (TRC). It is an application of TRC for the internal reinforcement of reinforced concrete cylinders that is the subject of this research.

The experimental study of the reinforcement of concrete using helical strips of glass textile showed an increase in strength and an improvement in the axial deformation of reinforced concrete.

Introduction générale

Introduction générale

L'un des principaux problèmes majeurs des constructions est la dégradation des structures. La plupart des structures présentent des signes de faiblesse et ne répondent plus à leurs exigences de conception. On peut citer diverses raisons : erreurs dans le processus de conception ou de mise en œuvre, augmentation de la charge, modifications des opérations structurelles, corrosion des barres d'acier, effets des événements inattendus tels que les tremblements de terre ou les chocs...

De nombreuses techniques ont été développées pour renforcer ces structures en béton armé, comme le chemisage des poteaux, la combinaison de profilés métalliques, l'augmentation de la section du béton (avec ou sans armature). Les nouvelles recommandations pour les techniques de renforcement doivent répondre aux exigences environnementales et économiques.

Les moyens de renforcement et de réparation utilisés en Algérie sont traditionnels (le béton additif et le rajout d'armatures extérieurement). Ceci nécessite un contrôle périodique ainsi qu'une protection. Ces méthodes sont caractérisées par la lourdeur et la difficulté d'exécution. D'où la nécessité d'opter pour des techniques plus actuelles, comme le renforcement à base de (FRP : fiber reinforced polymers). Cette dernière est facile à mettre en œuvre et rapide. [16]

Par ailleurs, un nouveau concept dans le renforcement des structures en béton armé, a vu le jour. Ces dernières années, il s'agit du renforcement avec des ciments renforcés avec textiles (TRC : textiles renforcés du ciment), en raison de leurs propriétés mécaniques qui peuvent concurrencer facilement celles des FRP.

Les TRC est largement utilisé pour renforcer des structures à l'amont de leur construction et ce afin de répondre à de nouvelles exigences telles que celles dictées par les règlements en vigueur.

L'objectif :

L'objectif de l'étude présentée dans ce mémoire est d'évaluer le comportement mécanique en résistance à la compression d'éprouvettes cylindriques en béton armé, renforcé à l'aide d'un tissu en fibres de verre fixé sur les armatures pour former une hélice double, dont le nombre de tours et la largeur de la bande sont retenus comme paramètres d'étude. Deux grandeurs sont évaluées en faisant varier ces paramètres, à savoir la résistance en compression et la déformation radiale.

Problématique :

Ce travail a été conçu et élaboré pour essayer d'apporter une réponse à la question relative à l'aptitude du renforcement interne avec une double hélice de textile de verre à améliorer la résistance en compression du béton renforcé ainsi que sa déformabilité. Ceci est testé grâce à la variation des paramètres d'étude préalablement cités.

Afin de répondre à ce questionnement, plusieurs étapes étaient essentielles, ceci nous a amenés à répartir le travail en trois parties.

Le premier chapitre est une synthèse bibliographique qui porte sur le béton, les types dégradation des structures et les différentes méthodes de renforcement des structures ainsi qu'un rappel sur les TRC.

Le second chapitre est consacré à l'expérimentation de la technique de renforcement proposée. Toutes les démarches sont décrites, allant du protocole expérimental jusqu'à l'instrumentalisation des essais à réaliser.

Dans le dernier chapitre, nous avons présenté les résultats et leurs interprétations pour pouvoir répondre aux objectifs fixés dans cette étude.

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

CHAPITRE I :
Synthèse
bibliographique

Introduction

La durabilité de la structure dépend de nombreux paramètres, y compris la qualité de la conception, les matériaux utilisés, leur fabrication et les diverses conditions d'utilisation, de fonctionnement et d'entretien. Le béton peut résister au passage des intempéries et du temps. Cependant, les structures en béton peuvent nécessiter des réparations ou des renforcements pour augmenter leur durée de vie ou offrir de nouvelles fonctions.

Les chercheurs ont eu l'idée de tirer parti de la résistance exceptionnelle du verre en traction pour renforcer les bétons. L'utilisation du textile-mortier (Textile Reinforced Concrete, TRC) destiné à la conception ou à la réparation d'éléments structuraux est relativement récente. Les premières recherches effectuées concernant l'utilisation des TRC, ont débuté au milieu des années 90.

Le textile renforcé, est un mortier armé de textile. Dans ce matériau composite, l'armature en textile se comporte de façon analogue aux armatures en acier, avec une orientation ciblée qui permet de reprendre les efforts. Il peut être utilisé dans de nouvelles structures, ainsi que dans le renforcement des structures existantes, notamment des poutres, des dalles et même des murs.

1. Le béton

1.1. Historique sur le béton

Vers 2600, avant JC, les assyriens et les babyloniens ont employé l'argile comme un matériau liant. Cependant, les égyptiens ont utilisé un ciment à base de chaux et de gypse. Déjà connu et utilisé par les grecs et, surtout les romains, le mortier est un matériau destiné à assurer dans les ouvrages en maçonnerie la liaison entre les éléments constitutifs. La chaux (CaO) fut, bien avant le ciment, le constituant de base des mortiers, les romains réinventent et améliorent la technique du mortier. Ce ciment romain fut utilisé jusqu'au 17^{ème} siècle.

En 1756, un ingénieur anglais, John Smeaton [8] a réalisé le premier béton moderne (ciment hydraulique) en utilisant des gravillons naturels qui ressemblent aux graviers et un mélange de briques pulvérisées comme ciment. La pratique du béton commença en début du XIX^{ème} siècle sur différents types d'ouvrages comme les canalisations, et les châteaux d'eau.

En 1824, l'anglais Josèphe Aspdin obtient un brevet pour la fabrication d'un ciment aussi dur que la pierre de l'île de Portland. De même, en 1849, Joseph Monier [9] a inventé le béton armé à partir de l'idée de renforcer les bacs à fleurs qu'il construisait en béton en y incorporant des barres en fer. Cette nouvelle invention a été brevetée en 1867. Cette armature métallique permet au béton de supporter partiellement les contraintes de traction.

1.2. Constituant et formulation

Le béton est le matériau utilisé par excellence dans tous les domaines de construction, ceci s'explique par les avantages suivants :

- Possibilité de varier les propriétés du béton dans de larges limites.
- Facilité des traitements mécaniques des mélanges du béton plastique.
- Une formation précise de composants du béton est fondamentale pour obtenir les caractéristiques mécaniques visées.

La figure I.1 Précise tous les constituants nécessaires pour la confection d'un béton.

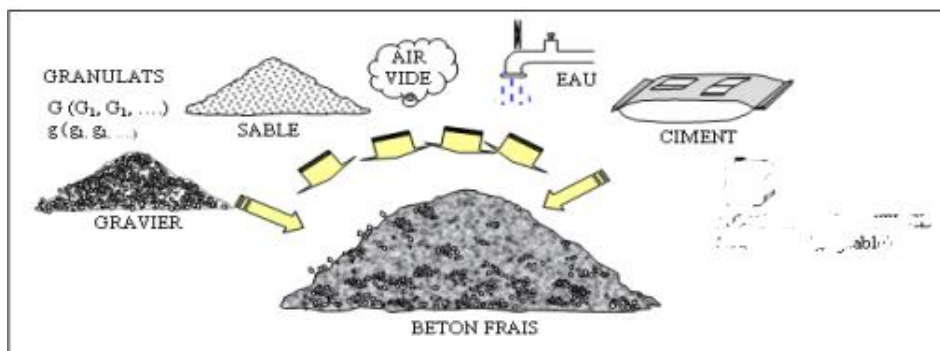


Figure I.1 : Constituants du béton.

1.3. Béton et béton armé

Le **béton ordinaire** est un matériau résistant à la compression mais ne supportant pas la traction. **L'acier**, quant à lui, est un matériau résistant à la fois à la traction et à la compression.

C'est le mélange de ces deux matériaux qui donne ce qu'on nomme le **béton armé**.

2. Dégradations des ouvrages en béton armé

Avant, pendant et après la solidification du béton, divers phénomènes se produisent, et leurs conditions de développement affectent directement la durabilité du béton. La dégradation du béton est définie comme la dégradation de ses performances qui se traduit par sa détérioration ou sa déformation irréversible.

2.1. Types de dégradation

2.1.1. Les dégradations d'origine physique

2.1.1.1. Gel et dégel

Le coulage du béton en hiver peut provoquer le gel de l'eau. La formation de la glace provoque l'expansion de l'eau présente dans le béton frais. Le béton durci peut également être endommagé par le gel. En effet, l'eau présente dans les pores du béton et la contrainte générée peut provoquer une fissure ou aggraver une fissure existante.

2.1.1.2. Retrait

Le retrait est un phénomène existant dans le béton. (Figure I.2). Il existe différentes formes de la solidification du béton au développement du béton Vieillissant. La contraction plastique du béton est causée par le mélange qui n'a pas été séché rapidement Sous l'action du vent ou du soleil, même dans les conditions suivantes ; il durcit principalement en surface ; l'effet d'aspiration de la couche inférieure sèche.

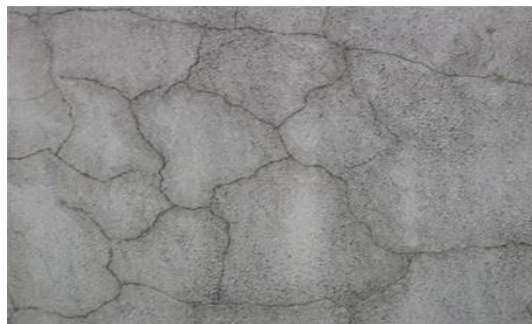


Figure I.1 : retrait du béton.

2.1.1.3. Séisme

Un séisme est une manifestation de la tectonique des plaques. Il est causé par un mouvement brusque de la roche. Des phénomènes naturels peuvent être provoqués ou induits en surface du sol tel que les mouvements de terrain (glissements, éboulements), la modification dans les écoulements d'eau souterraine, la liquéfaction des sols et la détérioration des bâtiments. La figure I.3, montre certains dégâts causés par un séisme d'autres effets indirects aux conséquences graves peuvent être observés après un séisme. [10]



Figure I.2 : dégâts d'un séisme.

2.1.2. Les dégradations d'origine mécanique

2.1.2.1. Tassement différentiel

Le tassement différentiel se produit lorsque les fondations des structures ne sont pas bien disposées sur un sol dur et homogène, ainsi que sur les terrains en pente et les sous-sols partiels.

2.1.2.2. Les chocs

Le phénomène du choc peut survenir lorsqu'on a :

- des chocs des véhicules sur ponts ;
- des chocs de bateaux sur piles ;
- une mauvaise manutention d'éléments préfabriqués. [16]

2.1.3. Dégradations d'origine chimique

2.1.3.1. Attaque des chlorures

Les ions chlorures existent dans les composants du béton : sable, ciment et eau gâchage. Cependant, la source de chlorure est généralement externe : eau de mer ou sel de déglçage. Dans ce cas, les ions chlorure pénètrent dans le béton par diffusion ou par absorption capillaire.

2.1.3.2. Carbonatation

La carbonatation est un phénomène de vieillissement naturel des matériaux. Elle provient du liant minéral qui conduit à la formation de carbonates de calcium, par réaction entre les composés de ciment et le dioxyde de carbone atmosphérique (CO₂), présent dans l'air selon la formule suivante :



Pour protéger le béton contre la carbonatation il faut le confectionner à faible rapport E/C pour réduire la porosité du béton, et assurer un enrobage suffisant (qui peut être complété par enduit). [15]

2.1.3.3. Corrosion des armatures

La corrosion des armatures (Figure I.3) est la principale cause de dégradation des matériaux avant l'usure et la fatigue. Il s'agit du contact entre les armatures, qui sont placées à une dizaine de centimètres de la surface, avec l'air ou l'eau.

La corrosion provoque des réductions de la section d'armatures, des fissures dans le béton, des réductions de l'adhérence acier-béton et des éclatements locaux du béton.



Figure I.3 : corrosion d'armatures.

2.1.3.4. Alkali-réaction

Le phénomène d'alkali-réaction est le résultat des réactions internes entre le béton et les alcalins solubles dans la solution interstitielle. Les ouvrages les plus exposés à l'humidité sont souvent victimes de l'alkali-réaction. La formation d'un gel gonflant provoque, à l'intérieur du béton, des déformations et des microfissures. Les contraintes dues à ce gonflement engendrent un décollement entre la pâte et les granulats, donc des microfissures.

3. Techniques de renforcement par composites :

3.1. Renforcement par les composites PRF :

Un polymère renforcé de fibres (PRF) est un matériau composite qui se compose d'un arrangement de fibres continues ou discontinues dans une matrice. Les matrices utilisées pour le renforcement sont d'origine pétrolière : résines polyester thermodurcissables, résines époxydes, résines vinylester, résines thermoplastiques, etc.

3.2. Renforcement par les composites TRC :

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

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

L'avènement de ces matériaux a donné naissance à une nouvelle génération de composites qui s'avère être une solution potentielle aux problèmes de renforcement de structures.

Ils peuvent être utilisés aussi bien pour de nouvelles structures que pour réparer des éléments structurels existants.

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

3.3. Constituants des TRC

3.3.1. La matrice

Les matrices cimentaires destinées au composites TRC sont semblables à celles du béton armé ordinaire. Le diamètre maximal du granulat utilisé dans le mortier est inférieur à 2mm. Les matrices permettent une mise en œuvre aisée du renfort textile, garantissent un enrobage optimum et assurent un transfert de charge admissible.

La compatibilité physique et chimique entre la matrice et le textile est essentielle pour assurer la durabilité des composites TRC. La finesse de la matrice cimentaire ainsi que sa composition doivent être compatibles avec le système de textile que la matrice est destinée à envelopper. [16]

3.3.2. Textiles

Les renforts textiles doivent présenter de propriétés mécaniques, géométriques et physicochimiques compatibles avec le type de matrice utilisé dans le but de permettre leur mise en œuvre et leur imprégnation de sorte à optimiser l'interaction textile-mortier. Grâce aux nombreux procédés et technologies de production, les textiles offrent la possibilité de création de motifs adaptés aux performances visées.

À l'échelle microscopique, la fibre ou le filament constitue la plus petite unité, contenue par le renfort textile (de 5 à 30 μm de diamètre). Ces filaments sont joints les uns aux autres par une opération d'ensimage et parfois de retordage pour former des fils. Le poids linéaire d'un fil, exprimé en Tex (gramme par mètre), dépend de la nature et du diamètre moyen de filaments, du nombre de filaments par fil ainsi que de la nature et du volume de l'ensimage. Par le biais de différentes technologies telles que le tricotage, le tissage, le tressage ou le collage, ces fils servent à la confection d'armatures textiles, à l'échelle macroscopique, suffisamment résistantes pour les considérer dans le cadre d'applications structurelles. Les principales technologies de textile utilisées comme armature dans les composites textile-mortier sont le canevas, le tricotage à maille jetée, le tricotage à maille jetée en 3 dimensions ainsi que le tissage. [7]

3.3.3. Les fibres

Une fibre est définie comme un élément discontinu aux propriétés variables, essentiellement cylindrique, de diamètre et de longueur variables. Ils sont répartis dans la matrice de manière aléatoire ou selon une orientation préférentielle.

Généralement, les fibres sont également utilisées pour définir la composition de base des structures textiles. En outre, une distinction est faite entre les fibres de longueur réduite ou fibres courtes (20 à 150 mm) et les fibres de grande longueur ou les fibres de filaments continus.

Il existe un grand nombre de fibres qui se différencient par leur origine (naturelles, artificielles et synthétiques), leur forme (droite, ondulée, aiguille, etc.), leur dimension (macro ou micro - fibre) et aussi par leurs propriétés mécaniques. Cependant, pour faire un choix de fibres à utiliser pour une quelconque application, il est nécessaire de tenir compte de la compatibilité de la fibre avec la matrice, et le niveau de performance du composite.

Les fibres jouent un rôle primordial dans les matériaux composites, elles peuvent apporter certaines propriétés dont, la modification du comportement à la rupture où le matériau est plus ductile et se rompt après un allongement plus important. [3]

3.3.3.1. Fibre de verre

Les fibres de verre sont fabriquées à partir du verre fondu qui passe dans une filière (50 à 800 trous), chauffée par l'effet joule. Elles présentent un diamètre de l'ordre de 10 à 100 microns. La section de l'ensemble des fils est elliptique et a environ 0.6 mm de large et 0.008 mm d'épaisseur. [3]

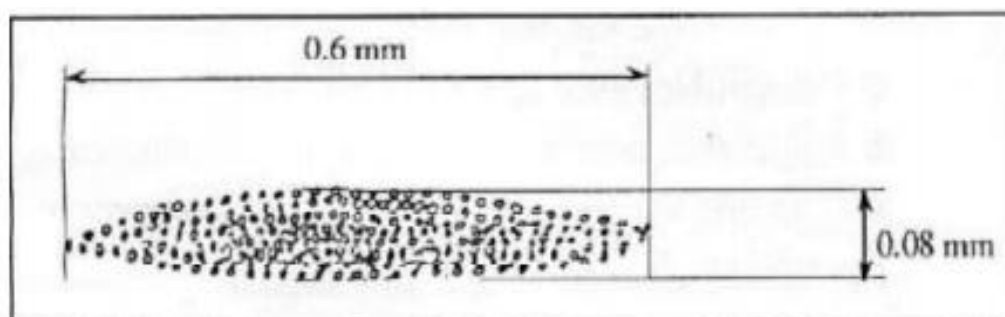


Figure I.4 : coupe sur un ensemble de fils de verre de 10 à 12 microns de diamètre unitaire. [3]

La fibre de verre est une fibre inorganique chimique obtenue par mélange de la silice, de l'argile et du calcaire pour une température comprise entre 1250 ° C et 1350 ° C. Elle est

utilisée notamment sous forme de textile (Figure I.5) dans le renforcement ou la réparation de structures.

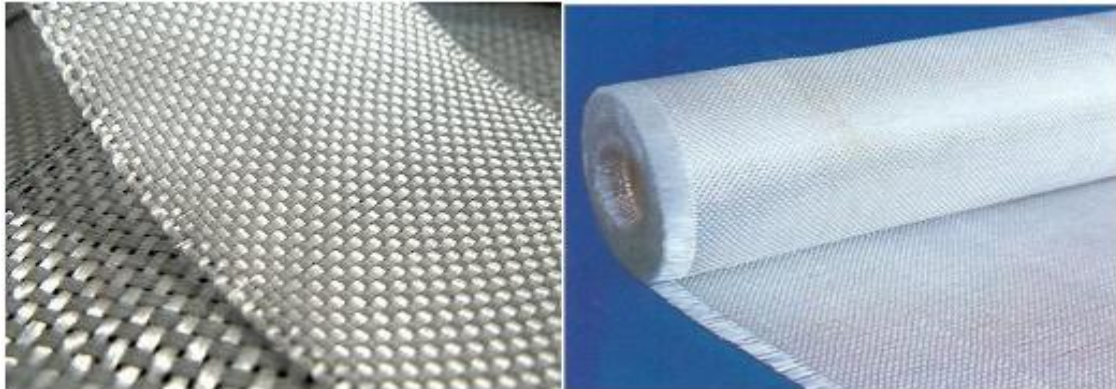


Figure I.5 : tissu en fibre de verre.

La fibre de verre a un excellent rapport performance-prix. C'est le renfort le plus utilisé actuellement dans la construction de structures composites. On distingue trois types de fibres de verre :

- ❖ Verre E : pour les composites à grande diffusion.
- ❖ Verre S : pour les applications d'électricité.
- ❖ Verre R : pour les composites à haute performance.[17]

Dans le tableau I.1, sont résumées quelques caractéristiques mécaniques pour ces différents types de fibre de verre.

Tableau I.1 : caractéristiques mécaniques de fibre de verre.

Caractéristiques	Verre E	Verre A	Verre S
Résistance à la rupture (MPa)	3400 à 3500	4400	4600
Module d'Young (GPa)	73	86	87
Allongement à la rupture (%)	4.6 à 4.8	5.2	5.4
Masse volumique.....(g/cm ³)	2.54	2.55	2.54

3.3.3.2. Fibre de carbone

La fibre de carbone se compose de filaments extrêmement fins, d'environ 5 à 10 micromètres de diamètre, et est composée principalement d'atomes de carbone, agglomérés dans des cristaux microscopiques qui sont alignés plus ou moins parallèlement à l'axe long de la fibre.

L'alignement des cristaux rend la fibre extrêmement résistante. Plusieurs milliers de fibre de carbone sont enroulées ensemble pour un fil, qui peut être employé tel quel ou sous forme de tissu (**figure I.6.**) [18].

Ce type de fibres est caractérisé par sa faible densité (1,7 à 1,9), sa résistance élevée à la traction et à la compression, sa flexibilité, sa bonne conductivité thermique, sa tenue en températures et son inertie chimique, ce qui fait d'elle une fibre très utilisée pour la réparation de structures en béton.



Figure I.6 : tissu en fibres de carbone.

La fibre de carbone présente de bonnes propriétés mécaniques, une faible densité et une dilatation thermique très faible. Par ailleurs, c'est une fibre au prix très élevé, fragile au choc et présente des difficultés d'adhésion avec certaines résines. [17].

3.3.3.3. Fibre d'aramide

Les fibres d'aramide sont des fibres synthétiques à base de polyamides aromatiques dont les premières applications reviennent à l'année 1972. Ces fibres sont généralement développées pour renforcer les pneumatiques. Ils en existent deux types principaux :

- La fibre haute module Kevlar 49 et Twaron HM.
- La fibre standard Kevlar 29 et Twaron HM50.

Elle existe sous forme de textile (**Figure I.7**).

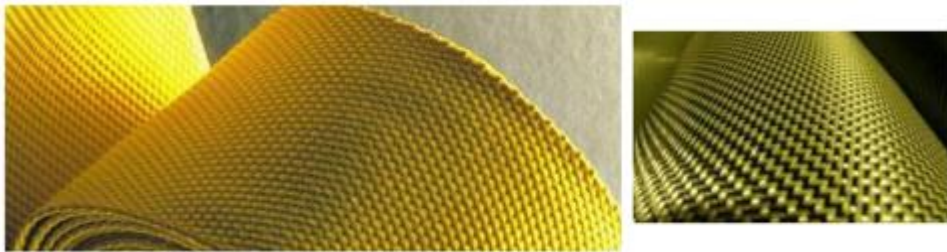


Figure I.7 : tissu d'aramide

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

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

3.3.3.4. Autres fibres

Un grand nombre de fibres peuvent être employées dans le renforcement des matériaux de construction, qu'elles soient animales, végétales ou minérales. Plusieurs études ont été réalisées avec des fibres naturelles végétales telles que le jute et le bambou. [3]

4. Utilisation des TRC

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

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

5. Renforcement par TRC

Le renforcement par TRC, peut être appliqué à différents éléments de structures :

5.1. Renforcement de structures historiques

L'utilisation des TRC contribue à renforcer la structure historique, Cela grâce à l'utilisation d'une matrice minérale qui a un comportement similaire à celui des matériaux de la structure. De plus, le tissu épouse la surface sur laquelle il est appliqué, le tissu est facile à mettre en œuvre.

Le développement de ces nouveaux composites permet également la réalisation d'éléments structuraux minces (**Figure I.8**) avec des formes spécifiques et des résistances en traction et compression importantes.



Figure I. 8 : Eléments réalisées en les TRC.

5.2. Renforcement des murs :

Renforcer les murs avec des composites TRC (Figure I.9), peut augmenter résistance au cisaillement, selon le sens de la trame du tissu et le nombre de plis. [23]



Figure I.9: Renforcement des murs par les composites TRC.

5.3. Renforcement des poutres

Le composite TRC constitue une solution efficace dans le cas du renforcement/réparation des poutres en béton armé, en améliorant significativement leur capacité portante ainsi que leur rigidité flexionnelle, tout en assurant une diminution significative de l'ouverture des fissures.

La réparation des poutres par les TRC permet également une augmentation de la résistance en cisaillement en comparaison aux poutres réparées par les PRF. [19]

6. Les différents procédés de production des TRC

Cette partie recense les différentes techniques de production des composites TRC

6.1. Moulage au contact, in situ

Le moulage au contact, aussi nommé stratification manuelle est l'une des techniques de mise en œuvre la plus accessible. Ce procédé manuel permet de réaliser des pièces en composite à température ambiante mais elle ne permet pas d'atteindre des taux volumiques de renfort dans le composite aussi importants que ceux des composites préfabriqués.

Le moulage au contact se réalise dans un moule préalablement conçu ou directement sur la pièce à réparer (notamment dans le cadre du renforcement ou de la réparation de poutres en béton armé par TRC). Une fine couche de matrice est appliquée sur le substrat avant de déposer le renfort textile. Par l'intermédiaire d'outils, tel qu'une truelle et/ou un débulleur, la matrice doit permettre l'enrobage du renfort en éliminant soigneusement toute inclusion d'air et en imprégnant au mieux les fils du renfort.

Le procédé est ensuite répété jusqu'à ce que le nombre de couches souhaité soit atteint (stratification). [7]

6.2. Projection in situ

La mise en œuvre par projection est voisine du moulage au contact. La différence entre les deux techniques réside dans l'application du mortier. Au lieu d'être appliqué à la truelle, le mortier est projeté sur le substrat à l'aide d'une machine (par voie humide ou sèche).

Cependant, par rapport au moulage au contact, ce procédé présente tout de même un risque d'enrobage et une imprégnation de moins bonne qualité, du renfort textile, pouvant engendrer une diminution significative des caractéristiques mécaniques du TRC.

6.3. Préfabrication

Par rapport aux procédés précédemment décrits, la préfabrication des composites a comme principal avantage, de garantir une faible dispersion des caractéristiques mécaniques du TRC et de permettre la mise en œuvre d'un taux de renfort plus élevé au sein du composite.

De nombreuses techniques de préfabrication ont déjà été développées pour les composites TRC. [7]

7. REVUS DE QUELQUES TRAVAUX ANTÉRIEURS SUR LES TRC

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

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

Ont fait une étude expérimentale sur le comportement de durabilité d'un béton armé de textile (TRC) soumis à la fois à des charges de traction et de flexion pour comparer sa caractérisation macroscopique. Les composites sont produits en tant que matériau stratifié en utilisant 2 et 6 couches de mat de fibre de verre comme renforts. Les propriétés instantanées et à long terme (durabilité) du composite TRC sont identifiées par des essais de traction et de flexion avec des échantillons fabriqués à partir du même mortier frais. Les essais à long terme sont menés dans deux environnements vieillissants : le vieillissement naturel, effectué sous atmosphère de laboratoire (20 °C et 50% HR), et le vieillissement accéléré, qui consiste en une immersion des échantillons dans de l'eau chaude à 50°C. La performance de durabilité de TRC est évaluée par les mécanismes réduits de performance et d'endommagement à l'échelle Macroscopique. Les effets du rapport de renforcement, les conditions d'essai et les conditions thermiques sur la réponse à long terme du TRC sont étudiés et la microstructure de la matrice et de la fibre est observée et discutée après les tests par microscopie électronique à balayage (MEB). L'ajout de couches de fibre de verre (rapport de renforcement) a augmenté la capacité de résistance et la première résistance aux fissures de la TRC lors des essais de traction et de flexion. La valeur de résistance ultime des composites TRC obtenue à partir de l'essai de traction est inférieure à celle de l'essai de flexion sur les mêmes jours testés en raison des différents mécanismes de redistribution. Une augmentation de la résistance à la traction et à la flexion au cours du vieillissement est observée avant 90 jours de vieillissement. Cependant, après 90 jours, les résultats du test ont montré une perte de ductilité des spécimens vieilliss accélérés. [25]

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 du rapport d'épaisseur et de renfort sur la performance en flexion et la capacité finale du TRC. Il a testé soixante-cinq échantillons en flexion à quatre points avec un taux de renforcement minimum.

Le comportement de l'échantillon montre que la résistance ultime des composites TRC avec le même rapport de renforcement augmente avec l'augmentation du Tex. La grille améliore les performances de l'échantillon. [24]

Larbi et al (en 2011)

A évalué la performance du renforcement du composite TRC sur des poutres en béton armé dimension 2.3 m de longueur et de section transversale rectangulaire de 150 × 250 mm², soumise à une flexion quatre points. 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 de 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.

Brameshuber et Brockmann (en 2001)

Ont testé le comportement des TRC renforcés par fibres de verre et de carbone au feu. Les différentes études montrent une période de résistance au feu de l'ordre de 45 minutes dans le cas des 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]

Conclusion

Les techniques de renforcement des structures en béton à travers des barres ou des plaques d'acier ont montré leurs insuffisances notamment en termes de corrosivité. Les matériaux composites sont des substituts de choix à l'acier, ils peuvent prolonger la durée de vie de certaines structures. Ils sont plus faciles à manipuler en raison de leur poids plus léger que l'acier, leur transport et facilité de mise en œuvre sur site ainsi que leurs caractéristiques mécaniques considérables font d'eux des matériaux de renforcement des plus utilisés.

CHAPITRE II :

procédure

expérimentale

Introduction

Ce chapitre présente la procédure expérimentale conduite sur des cylindres en béton armé, et aussi les différentes démarches utilisées dans la confection des éprouvettes, les caractéristiques des matériaux utilisés (béton, aciers, composites). Le protocole expérimental et la conduite des essais de compression y seront décrits.

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

Ces derniers étant conduits sur des éprouvettes cylindriques ferrillées et renforcées avec une double hélice (dans les deux sens) de bandes de tissu de verre. Deux paramètres sont considérés dans cette étude, à savoir la largeur de la bande et le nombre de tours de l'hélice que le tissu fait autour du ferrailage.

L'objectif de cette démarche est de mettre en évidence l'effet de ces deux paramètres sur la résistance en compression du béton armé, renforcé avec des bandes hélicoïdales de tissu de verre.

1. Protocole expérimental

Le protocole expérimental suivi, concerne une série de 15 éprouvettes cylindriques en béton armé de dimension (15cm x 30cm).

Les cylindres ont été répartis en trois groupes ;

- Un groupe de 6 éprouvettes renforcées avec des bandes de différentes largeurs, pour permettre d'évaluer l'effet de la largeur de la bande sur la résistance à la compression du béton. Deux largeurs ont été retenues ; 3cm et 4cm.
- Un groupe de 6 éprouvettes renforcées avec des bandes formant des hélices en tissu de verre à différents pas, afin de mettre de différentes largeurs, pour permettre d'évaluer l'effet du pas de l'hélice ou du nombre de tours de celle-ci sur la résistance à la compression du béton. Deux nombres de tours ont été retenus ; 3 et 4 tours.
- Un groupe de 3 éprouvettes en béton armé non renforcé, qui servent à évaluer la valeur de la résistance à la compression du béton témoin.

1.2. Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés sont le béton, l'acier et le tissu en fibres de verre qui est collé, par endroits, avec une résine époxy.

1.2.1. L'acier

L'acier est un alliage de fer et de Carbone (teneur <20%). Suivant leur teneur en carbone, les aciers possèdent des propriétés différentes, ils forment une gamme allant des aciers doux aux aciers extra-durs. Les propriétés mécaniques essentielles des aciers sont :

- La résistance à la déformation élastique ;
- La résistance à la rupture et aux chocs ;
- La dureté.

D'autres caractéristiques de l'acier sont résumées dans le **tableau II.1**.

TABLEAU II.1 : Quelques caractéristiques de l'acier.

Module d'élasticité longitudinale (DaN/cm ²)	Module d'élasticité transversale (DaN/cm ²)	Coefficient de poisson (U)	Dilatation (λ)	Masse volumique (ρ) (DaN/cm ²)
$2,1 \times 10^6$	$8,1 \times 10^5$	0,3	11×10^6	7850

1.2.2. Béton

Le béton est un mélange d'agrégats, ciment et eau. Le béton utilisé dans cette étude, est formulé à partir de la méthode de DREUX-GROSSE.

1.2.2.1. *Sable* :

Il permet de remplir les trous qui subsistent entre les gros granulats. Le type de sable utilisé est le sable de carrière qu'il soit retiré du sol de masse ou fabriqué à partir de roches extraites de carrières. Le sable utilisé est un sable d'oued (figure II.1)

1.2.2.2. Granulats

Ils sont principalement obtenus par criblage et concassage de silex, de calcaire dur, de silico-calcaire, de granite, etc. Ils occupent généralement 60 à 80 % du volume total du béton et constituent le squelette du béton. Deux classes granulaires ont été utilisées dans la confection du béton, à savoir :

3/8 et 8/15 (figure II.1).

1.2.2.3. Ciment

Le ciment joue un rôle de liant dans le béton hydraulique. Il est composé essentiellement de clinker.

Le durcissement de la pâte de ciment est obtenu grâce à l'hydratation des silicates de calcium. Le ciment utilisé dans la formulation de ce béton (figure II.1) c'est le ciment portland NA442 CEM II B-L.

1.2.2.4. Eau

En général, l'eau de gâchage doit avoir les propriétés de l'eau potable. L'eau utilisée dans le gâchage de ce béton, est l'eau du robinet.

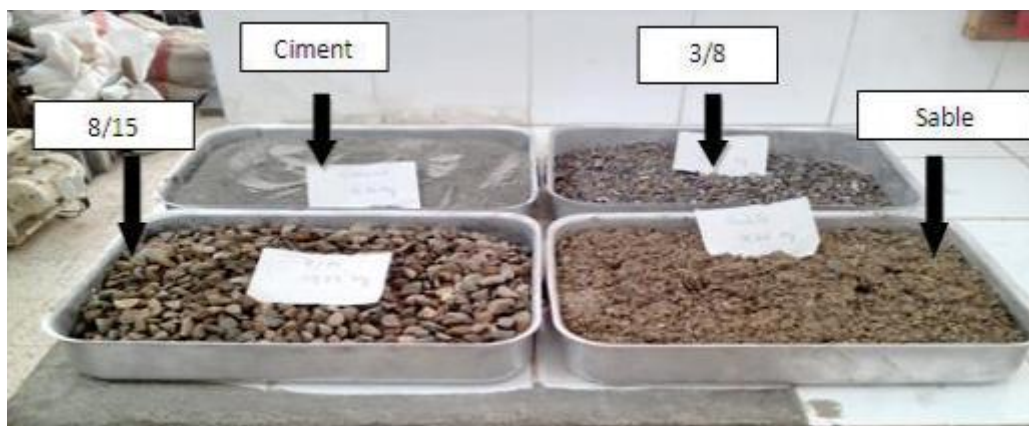


FIGURE II.1 : Eléments constitutifs du béton.

Les fractions massiques, calculées par la méthode de DREUX-GORISSE, pour les différents constituants du béton utilisé, sont données dans le **tableau II.2**

TABLEAU II.2 : Dosage des constituants du béton.

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

1.2.3. Tissu de verre

Le tissu utilisé dans le renforcement des cylindres en béton armé, est le tissu bidirectionnel formé d'un ensemble de filaments surfaciques de fils et de mèches de fibres de verre. (Figure. II.2). Il se comporte d'un point de vue élastique comme un matériau orthotrope dont les caractéristiques mécaniques, sont données dans le tableau II.3.

Masse volumique (Kg/m ³)	E1 (Mpa)	E2 (Mpa)	U ₁₂	U ₁₃	G ₁₂ (Mpa)
2600	72000	13600	0.31	0.33	4700

TABLEAU II.3 : Caractéristiques élastiques du tissu en fibre de verre.

Ces renforts en fibre de verres présentent plusieurs avantages comme : une résistance élevée, une masse volumique faible, une bonne compatibilité avec la résine, une facilité de mise en œuvre et un faible coût.

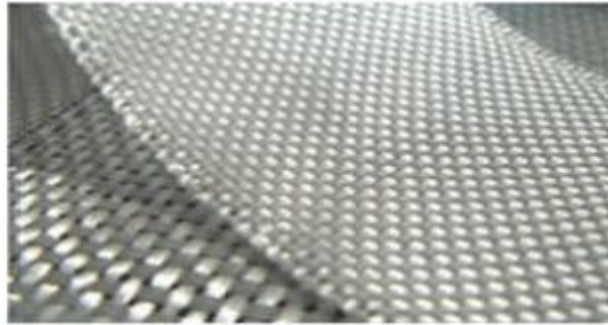


FIGURE II.2 : Tissu en fibres de verre.

1.2.1. Résine

Un adhésif est prévu pour coller assemble les deux bandes de tissu au niveau de leurs points de passage de la bande sur les armatures.

IL est formé en malaxant deux composants (Figure. II.3), à savoir la résine organique (A) à performances élevées, de type époxyde, durcisseur (B), tous deux (Figure. II.3) fabriqués par Granitex, oued smar.

Le mélange est effectué pendant quelques minutes, jusqu'à l'obtention d'une texture homogène.



FIGURE II.3 : Les composants de l'adhésif (résine+durcisseur).

Les caractéristiques de la résine époxy données par le fournisseur, sont résumées dans le tableau II.4.

TABLEAU II.4 : Caractéristiques de la résine fournis par le fabricant.

Paramètres	Valeurs
Densité(ISO 758)	1.1±0.005 (kg/m ³)
Viscosité (NF T76-102)	11000 (mPaS) à 25°C
DPU : duré pratique d'utilisation (NFP18 810)	1heur15minutes à 20°C et 65%
Temps de durcissement à 20°C et 65%HR	Hors poisse : 6heurs, Dur : 16heurs.
Résistance en compression (NA 427)	>70 (Mpa)
Résistance en flexion (NA 234)	>25(Mpa)
Adhérence sur béton (NFP18 858)	3 (Mpa)
Durée de mise en service	10jours à 20°C
Rapport pondérale (A/B)	Résine : 1kg, durcissement : 0.666 kg
Résistivité à 20 °C	10 ¹⁰ à 10 ¹³ (Ω.m)

La résine époxy est utilisée d'une façon incontournable pour les applications structurales. Cet intérêt pour l'époxy, provient de ses propriétés spécifiques, parmi lesquelles on peut citer :

- ✓ Une bonne tenue aux agents chimiques
- ✓ Une très bonne adhérence sur supports béton et aciers.
- ✓ Une bonne mouillabilité du support et des fibres.
- ✓ Un faible retrait.
- ✓ Une bonne tenue mécanique, dont la fatigue.
- ✓ Une forte adhésion au renfort.
- ✓ Une bonne tenue aux températures élevées.

2. Procédure expérimentale

L'expérience est conduite sur un ensemble de cylindres en béton armé, dont les armatures ont été renforcées avec une double hélice de tissu de verre.

Les différentes étapes de l'expérimentation sont bien décrites. Elles se résument à ce qui suit :

- **La première étape** : Où est donné le détail du ferrailage adopté ;
- **La deuxième étape** : qui consiste en l'explication de la méthode de renforcement des armatures avec la double hélice de tissu de verre ;
- **La troisième étape** qui décrit le processus de confection des éprouvettes.

2.1.Méthode du ferrailage :

Les éprouvettes cylindriques en béton de dimensions ($\phi 15 \times 30$ cm) sont ferrillées avec des barres à haute adhérence, HA 8 (**Figure II.4**) comme armatures longitudinales et des cerces confectionnées à partir de barres en rond lisse, RL 6 (**Figure II.5**).



FIGURE II.4 : Armatures utilisées.

Ainsi, pour un enrobage de 2 cm, un squelette d'armatures formé de 5 barres longitudinales de 26 cm de longueur maintenues avec 3 cerces de 11cm de diamètre a été mis en place (**Figure II.5**).



FIGURE II. 5 : Ferrailage utilisé.

2.2. Renforcement des armatures avec le tissu en fibre de verre

2.2.1. Bandes en tissu en fibre de verre

Pour le renforcement de toutes les armatures conçues, un total de 24 bandes de tissu en fibre de verre a été mesurée ensuite découpées à l'aide de ciseaux (Figure.II.6)., pour les différentes variantes de renforcement considérées. Celles-ci combinent différentes largeurs de la bande et différents nombres de tours que les bandes forment autour du ferrailage.

La longueur des bandes est donnée par la formule, correspondant à la longueur de l'hélice, donnée comme suit :

$$L = n\sqrt{s^2 + 4\pi^2R^2}$$

L = Longueur de la bande.

n = nombre de spires.

S = Pas de l'hélice.

R= rayon du cylindre

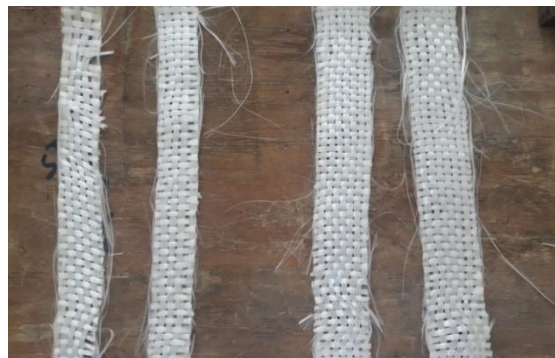


FIGURE II.6 : Bandes de tissu en fibre de verre.

Les différentes variantes étudiées sont résumées dans le tableau II.5.

TABLEAU II.5 : Variantes de renforcement considérées

Désignation	Nombre de tours de l'hélice	Largueur de la bande (cm)	Longueurs de la bande (cm)
CCV33	3	3	1,10
CCV 43	4	3	1,46
CCV44	4	4	1,46

2.2.2. Préparation de l'adhésif :

Le malaxage de la résine (A) et le durcisseur (B) se fait en petite quantités à l'aide d'un agitateur électrique, avec une vitesse de rotation lente (300t/min maximum) pendant cinq (05) minutes pour empêcher l'inclusion des bulle d'air dans le mélange et afin d'obtenir une teinte uniforme de couleur blanche.

On obtient ainsi un mélange homogène à utiliser dans un délai variant de 30 à 60 minutes, selon la température ambiante. Au-delà de ce délai, l'adhésif n'est plus utilisable. Ce mélange va servir de colle aux bandes de tissu au niveau des points de leur passage sur les armatures

2.2.3. Collage du composite sur les armatures :

Après avoir mesuré et découpé les bandes en fibres de verre, ces dernières sont posées en double hélice (dans les 2 sens) autour des armatures. Le pinceau utilisé a été imbibé dans l'adhésif (la résine) puis appliqué entre le tissu et l'acier, la résine joue un rôle d'adhésif assurant la liaison entre le composite et l'acier.

La bande de fibres de verre est collée autour du ferrailage par le processus de pose à la main (Figure II.7). Par la suite, une autre bande est collée dans le sens contraire par rapport à la première bande. Après chaque opération de collage, la bande subit un marouflage, à l'aide d'un petit rouleau, aux points de liaison avec l'acier afin d'éliminer les bulles d'air qui se seraient éventuellement formées.



FIGURE II.7 : La mise en place des bandes de tissu de verre.

Les armatures ainsi renforcées, sont laissées au séchage à température ambiante dans le laboratoire (Figure II.8). Le temps nécessaire au durcissement de la résine est d'environ une semaine une température modérée avoisinant 25 °C.



FIGURE II.8 : Séchage des armatures renforcées.

2.3.Préparation du béton et confection des éprouvettes :

Des moules cylindriques (Figure II.9) de dimension (15cm x 30cm) conformément à la norme NF P18406 ont été nettoyés et huilés afin de faciliter le décoffrage.



FIGURE II.9 : Les moules cylindriques.

Les matériaux (les gravillons , le ciment , le sable et l'eau de gâchage) et le matériel (balance, récipients, spatule , truelles, malaxeur à axe vertical, table vibrante) ,nécessaires à cette expérience, sont préparés.

Les granulats (sable et gravillons), sont lavés et séchés à l'étuve à une température de 105°C, pendant 24 heures. Le lavage a pour but d'éliminer les particules argileuses nuisibles à la résistance du béton.

Le mélange des constituants a été fait dans un malaxeur à vertical (Figure II.10) constitué d'une cuve et de palettes centrales tournantes. Sa capacité est de 65 litres,



FIGURE II.10 : Malaxeur à axe vertical.

les constituants secs sont introduits dans le malaxeur et mélangés pendant une minute (Figure II.11.a). L'eau est ensuite incorporée graduellement tout en poursuivant le malaxage jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène. (Figure II.11.b).



FIGURE II.11 : Confection du béton .

Une couche de 2 cm de béton est versée à l'intérieur de chaque moule (Figure II.12.a), puis le ferrailage est posé au centre du moule (Figure II.12.b). Le moule est ensuite rempli de béton tout en piquant à l'aide d'une barre d'acier autour du ferrailage pour s'assurer que le béton remplit bien (Figure II.12.c) l'espace entre le ferrailage et la paroi interne du moule.

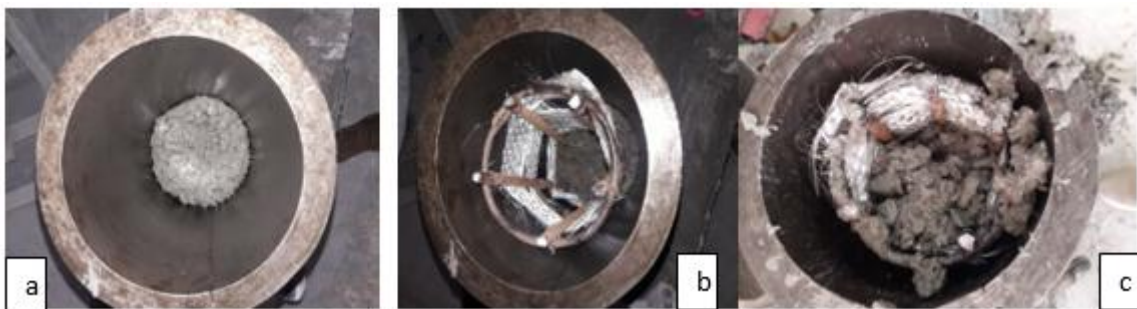


FIGURE II.12 : Confection des éprouvettes.

Par ailleurs, 3 éprouvettes de béton armé non renforcé sont également confectionnées

Les éprouvettes sont ensuite vibrées (Figure II.13.a) sur une table vibrante (Figure II.13.b) pendant quelques secondes, avant d'être arasées pour leur assurer une surface bien plane et lisse (Figure II.13.c), afin d'éviter toute erreur lors du test de compression.



FIGURE II.13: Finalisation de la confection des éprouvettes.

Après 24 heures, les éprouvettes sont décoffrées puis plongées dans un bac rempli d'eau (Figure II.14) afin d'y subir une cure d'hydratation à une température constante de 20°C pendant 28 jours, conformément à la norme européenne (NF2001) relative à la conservation des éprouvettes en béton.

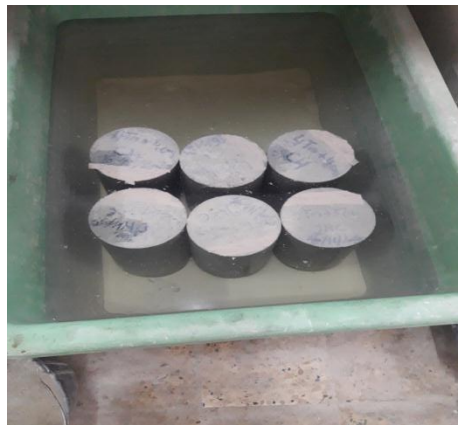


FIGURE II.14 : Eprouvettes soumises à une cure d'hydratation.

Après le durcissement du béton, les éprouvettes sont retirées de l'eau et séchées en surface, avant de procéder à l'essai de compression.



FIGURE II.15 : Les éprouvettes en béton armée.

3. Procédure d'essai

Tous les cylindres sont testés en compression selon la norme ASTM C39/C39 M-03. L'essai est conduit sous un chargement quasi-statique avec un pas de 0.5 kN/m jusqu'à la rupture.

Le chargement axial a été accompli à l'aide d'une presse hydraulique, de type ELE, avec une étendue de capacité de 3000kN. Cette presse comporte un plateau inférieur mobile et un plateau supérieur fixe (Figure II.15).



FIGURE II.16 : Presse hydraulique.

L'éprouvette est centrée de manière à ce que son axe coïncide avec l'axe de la presse. Un comparateur est utilisé ; un pour mesurer le déplacement longitudinal (Figure II.16).



FIGURE II.16: Epreuve soumise à l'essai de compression.

Les forces et les déplacements enregistrés vont permettre de calculer les contraintes et déformations, qu'elles à leur tour, permettront de tracer des histogrammes décrivant le comportement des différents éprouvettes.



FIGURE II.17 : Epreuve après l'écrasement.

Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la description de la procédure expérimentale élaborée pour la confection d'éprouvettes en béton renforcées. Le renforcement est réalisé au niveau du ferrailage, où les barres d'acier ont reçu, comme renfort, deux bandes de tissu en fibres de verre en forme d'hélices.

Les détails de toutes les étapes allant de la confection du béton jusqu'au murissement de celui-ci, en passant par la conception du renfort, y sont bien décrits.

Enfin, une description du déroulement de l'essai de compression est également donnée.

CHAPITRE III :
Résultats et discussion

Introduction

Les résultats obtenus des différentes expériences réalisées sont présentés dans ce chapitre, en tenant compte des paramètres suivis dans cette étude à savoir la largeur du textile de renforcement et le pas de l'hélice qu'il forme autour du cylindre en béton armé.

Les différents résultats obtenus lors de l'essai de compression, en particulier les résistances et les déformations axiales sont consignés dans des tableaux puis représentés graphiquement sous forme d'histogrammes et de courbes Contrainte-déformations. Pour approuver les résultats expérimentaux sont soumis à l'analyse statique. Par le fait que, on a effectué des analyses de variances, pour démontrer l'effet du largeur du tissu en fibre de verre (TRC), et l'effet de nombre de tours du tissu.

1. Résultats expérimentaux

Dans cette partie, nous présentons les résultats obtenus lors des essais à la compression centrée sur les performances des cylindres en béton armé avec le renforcement interne avec tissu en fibre de verre les contraintes en compression ainsi que les déformations axiales observées sur toutes les éprouvettes testées sont données. Les valeurs moyennes ainsi que les écarts-types sont calculés pour les observations de chaque variante étudiée.

1.1. Efficacité du renforcement avec des bandes hélicoïdales en tissu verre :

Dans le but de tester l'efficacité de ce renforcement sur la résistance et déformabilité du béton renforcé, les résultats des spécimens renforcés pour toutes les variantes étudiées sont comparés à ceux obtenus pour les cylindres de béton témoin, qui ne sont pas renforcés.

1.1.1. En termes de résistance à la compression

1.1.1.1. Effet du nombre de tours

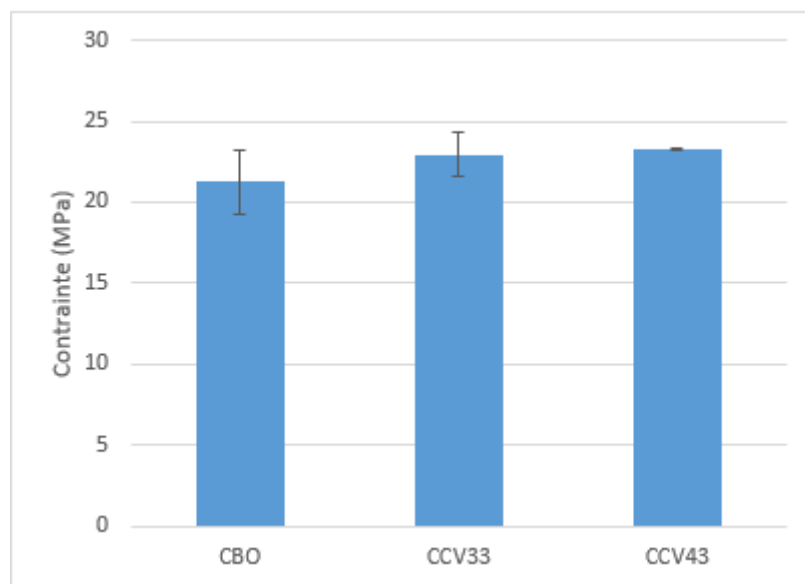
Les valeurs des contraintes en compression pour les éprouvettes du béton de référence ainsi que celles des éprouvettes confinées avec une double hélice de 3 tours et 4 tours, pour la même largeur de la bande, 3cm en l'occurrence, sont données dans le tableau III.1.

Tableau III.1 : Contraintes de compression pour la variable nombre de tours du textile.

Type de confinement	Force maximal (kN)	Résistance (MPa)	Résistance moyenne (MPa) ± ECART TYPE
CBO	454.2	25.70	21.27 ±4.29
	354.2	20.16	
	312.6	17.96	
CCV33	455.3	25.70	22.93 ±2.77
	384.3	22.92	
	322.6	20.16	
CCV43	415.9	23.50	23.31 ±0.13
	389.1	23.18	
	411.4	23.45	

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

L'histogramme de la figure III.3 présente la distribution des contraintes de compression pour ces variantes de renforcement en confrontation avec celle du béton témoin.

**Figure III.3** : Contrainte en compression selon le nombre de tours.

En augmentant, ainsi, le nombre de tours de la bande hélicoïdale de verre d'un seul tour, la résistance en compression augmente. Par ailleurs, il serait intéressant de quantifier l'apport du renforcement interne avec bandes hélicoïdales en fibres de verre en fonction du nombre de tours, en calculant les gains de résistance enregistrés pour les spécimens renforcés par rapport aux spécimens de référence. Les différents gains enregistrés sont consignés dans le tableau III.2.

Tableau III.2: gains de résistance en fonction du nombre de tours.

Eprouvette	CBO	CCV33	CCV43
Résistance(MPa)	21.27	22.93	23.31
Gain (%)	-	7.80	9.59

La résistance du béton renforcé enregistre une amélioration de 7.8% pour la variante CCV33 et 9.59% pour la variante CCV43.

1.1.1.2. Effet de la largeur de la bande

Les valeurs des contraintes en compression pour les éprouvettes du béton de référence ainsi que celles des éprouvettes confinées avec des bandes de tissu de verre faisant des hélices à 4 tours et ayant respectivement 3 cm et 4 cm de largeur, sont données dans le tableau III.3.

TABLEAU III.3 : Contraintes de compression pour la variable largeur du textile

Type de confinement	Résistance (MPa)	Résistance moyenne (MPa) ± ECART TYPE
CBO	25.70	21.27 ±4.29
	20.16	
	17.96	
CCV33	25.70	22.93 ±2.77
	22.92	
	20.16	
CCV44	23.67	23.78 ±0.16
	23.92	
	23.75	

Le comportement des cylindres renforcés et non renforcés est décrit par les figures III.5

L'histogramme de la figure III.5 présente une confrontation des résistances des cylindres renforcés avec celle du béton témoin.

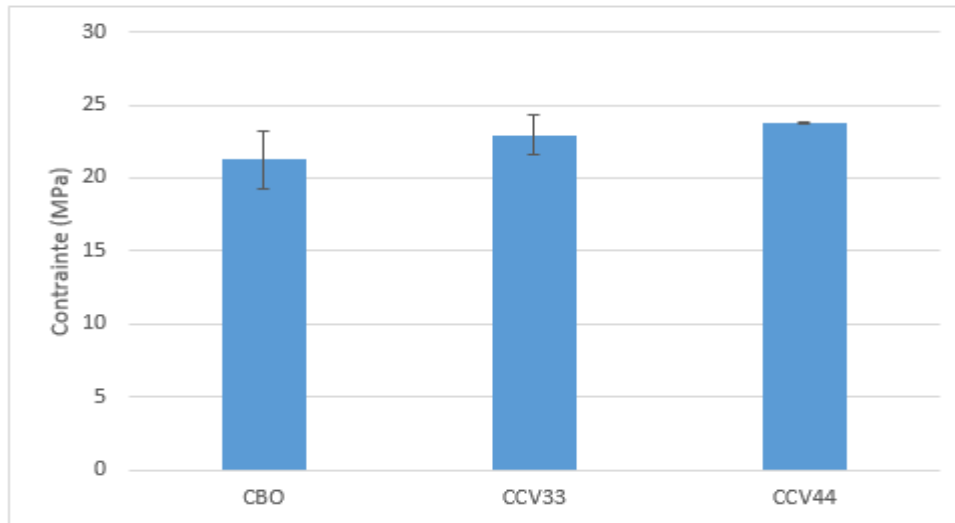


Figure III.5 : Contrainte en compression selon la largeur du textile

On constate que l'augmentation de la largeur de la bande textile d'un centimètre, engendre une amélioration de la résistance en compression. Pour quantifier l'apport du renforcement interne avec bandes hélicoïdales en fibres de verre pour la variable largeur de la bande, les gains par rapport au béton témoin sont calculés et donnés dans le tableau III.4.

Tableau III.4 : gains de résistance, en fonction de la largeur du textile.

Eprouvette	CBO	CCV33	CCV44
Résistance(MPa)	21.27	22.93	23.78
Gain (%)	-	7.80	11.80

La résistance du béton renforcé enregistre une amélioration de 7.8% pour la variante CCV33 et 11.8 % pour la variante CCV44.

1.1.2. En termes de déformation axiale

1.1.2.1. Effet du nombre de tours

Les valeurs déformations axiales pour les éprouvettes du béton de référence ainsi que celles des éprouvettes confinées avec une double hélice de largeur de 3cm, faisant 3 tours et 4 tours, sont données dans le tableau III.5.

TABLEAU III.5 : déformations axiales selon le nombre de tours.

Type de confinement	Force maximal (kN)	ϵ_L	ϵ_L moyenne
CBO	454.2	0.0024	0.0028±0.00045
	354.2	0.0027	
	312.6	0.0033	
CCV33	455.3	0.0039	0.0036±0.0003
	384.3	0.0033	
	322.6	0.0036	
CCV43	415.9	0.0046	0.0043±0.0003
	389.1	0.0040	
	411.4	0.0043	

Les déformations axiales des éprouvettes renforcées en confrontation avec celle du béton témoin sont représentées sur la figure III.6.

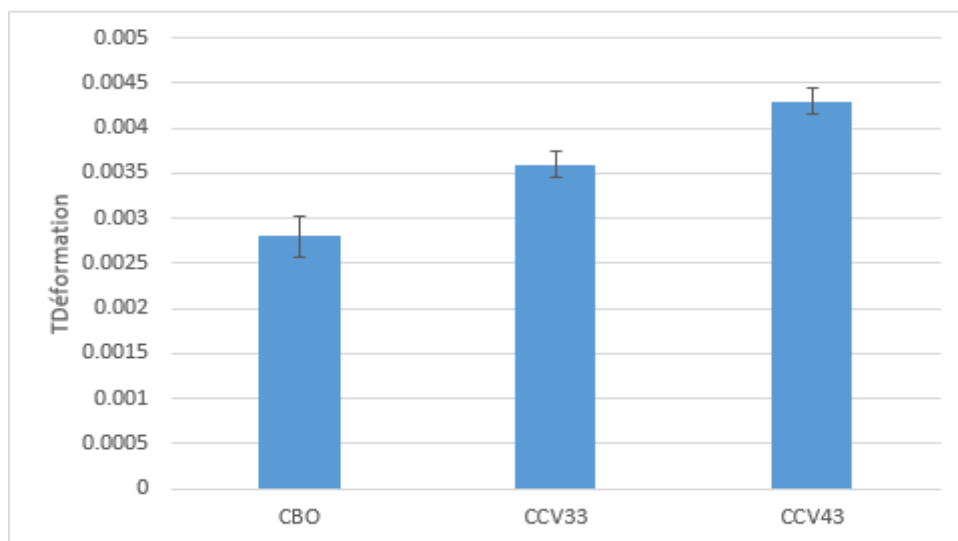


Figure III.6: Déformation axiale selon le nombre de tours.

Il ressort de l'histogramme que l'augmentation du nombre de tours de la bande hélicoïdale de verre d'un seul tour, engendre une augmentation de la déformation axiale. Les apports en termes de déformation sont quantifiés et donnés dans le tableau III.6.

Tableau III.6 : gains en déformation en fonction du nombre de tours.

Eprouvette	CBO	CCV33	CCV43
Déformation	0.0028	0.0036	0.0043
Gain (%)	-	28.57	53.57

L'apport en termes de déformation axiale du renforcement CCV33 est de 28.57 %, tant dis que le CCV43 permet un gain de 53.57%.

1.1.2.2. Effet de la largeur de la bande

Les valeurs des déformations axiales pour les éprouvettes du béton de référence ainsi que celles des éprouvettes confinées avec des bandes de tissu de verre faisant des hélices à 4 tours et ayant respectivement 3 cm et 4 cm de largeur, sont données dans le tableau III.7.

TABLEAU III.7 : Déformation axiale pour la variable largeur du textile

Type de confinement	ϵ_L	ϵ_L moyenne
CBO	0.0024	0.0028±0.00045
	0.0027	
	0.0033	
CCV33	0.0039	0.0036±0.0003
	0.0033	
	0.0036	
CCV44	0.0045	0.00453±0.00035
	0.00419	
	0.0049	

Les déformations axiales des éprouvettes renforcées en confrontation avec celle du béton témoin sont représentées sur la figure III.7.

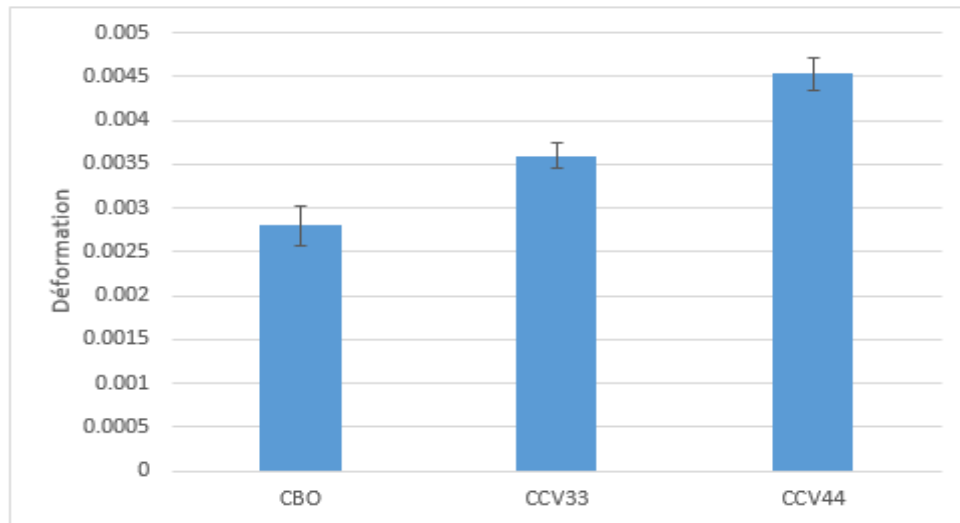


Figure III.7 : Déformation axiale selon la largeur de la bande.

On constate que l'augmentation de la largeur de la bande textile d'un centimètre, engendre une amélioration de la déformation axiale. L'apport du renforcement interne avec bandes hélicoïdales en fibres de verre pour la variable largeur de la bande est quantifié par le calcul, les gains par rapport au béton témoin qui sont donnés dans le tableau III.8.

Tableau III.8 : gains de déformation, en fonction de la largeur du textile

Eprouvette	CBO	CCV33	CCV44
Déformations	0.0028	0.0036	0.00453
Gains (%)	-	28.57	61.78

L'apport en termes de déformation axiale du renforcement CCV33 est de 28.57 %, tant dis que le CCV43 atteint un gain de 61.78%.

2. Synthèse des résultats expérimentaux

Les résultats obtenus sur l'ensemble des éprouvettes renforcées testées que ce soit en termes de contraintes en compression ou de déformations axiales sont résumés par les histogrammes des figures III.9 et III.10 respectivement.

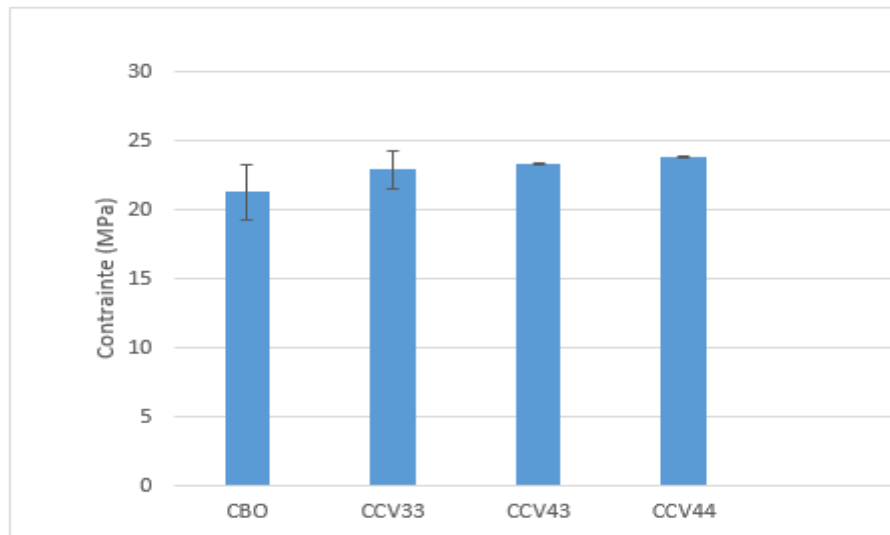


Figure III.9. Contrainte en compression de toutes les variantes de renforcement.

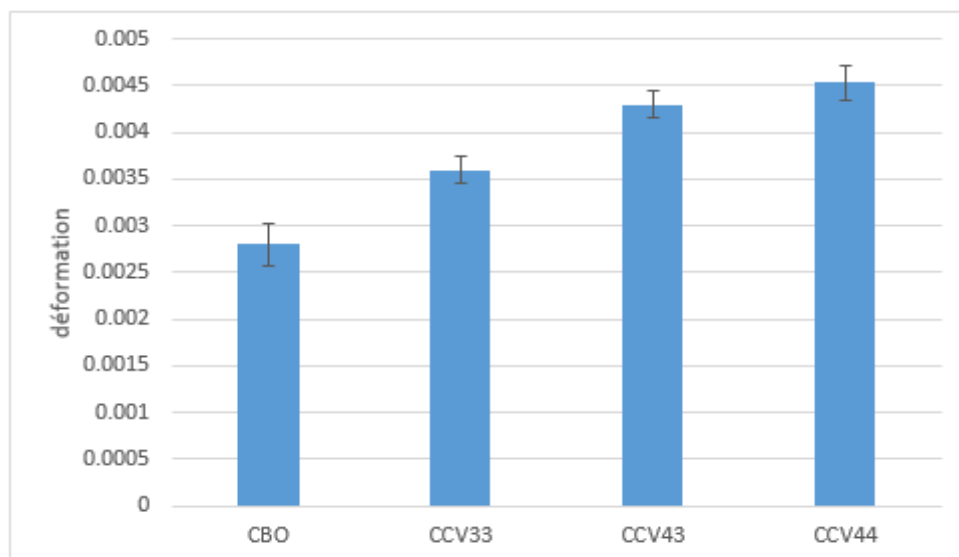


Figure III.10. Déformation axiale de toutes les variantes de renforcement.

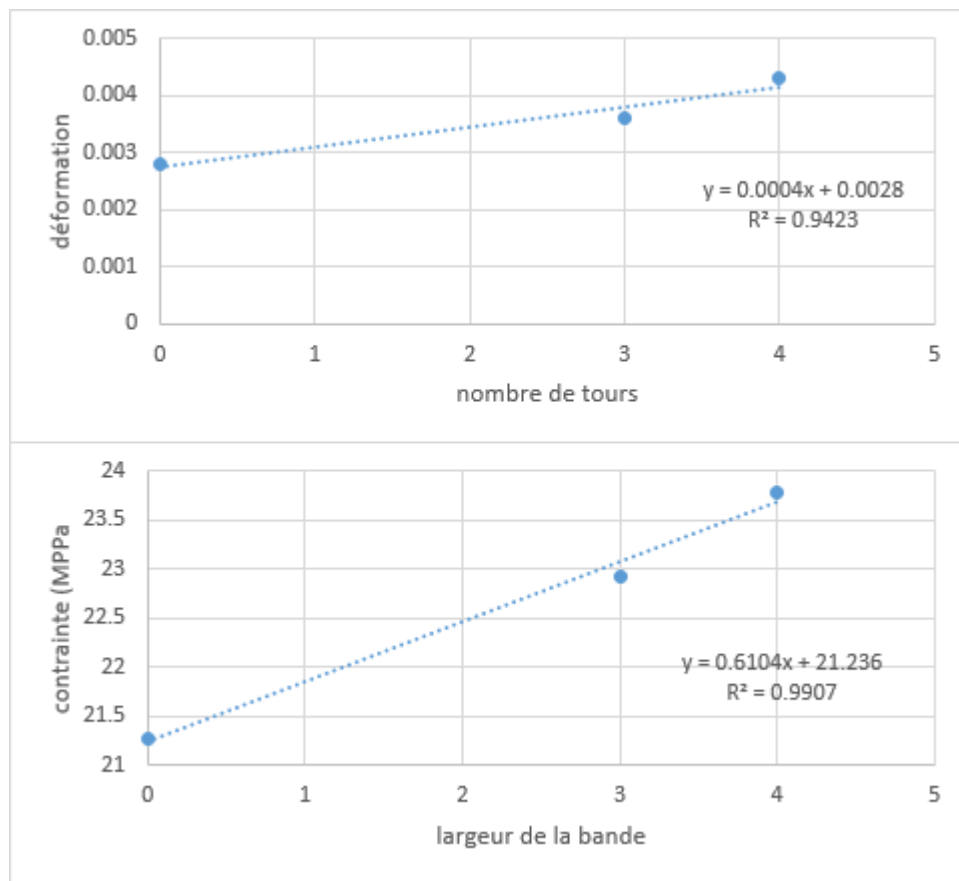
L'analyse de ces histogrammes, montre que la résistance en compression ainsi que la déformation axiale du béton renforcé avec des hélices en textile de verre sont deux grandeurs tributaires des paramètres du renforcement considérés dans cette étude, à savoir la largeur de l'hélice et son nombre de tours.

La variation de la résistance en compression ainsi que de la déformation axiale est proportionnelle à la variation des paramètres étudiés. Il en résulte que l'augmentation du nombre de tours que fait l'hélice ou de sa largeur, engendre une amélioration de la résistance en compression du béton renforcé ainsi que sa déformation axiale, ce qui signifie que le béton

renforcé est plus performant en matière de capacité portante et de déformabilité et donc de ductilité.

Ceci est en accord avec les résultats d'Ali Ahmed (2016), Oussad (2017) et Iguenni (2017), qui ont travaillé sur le confinement et la réparation de cylindres en béton par collage de polymères renforcés de fibres (PRF).

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 la figure III.11.



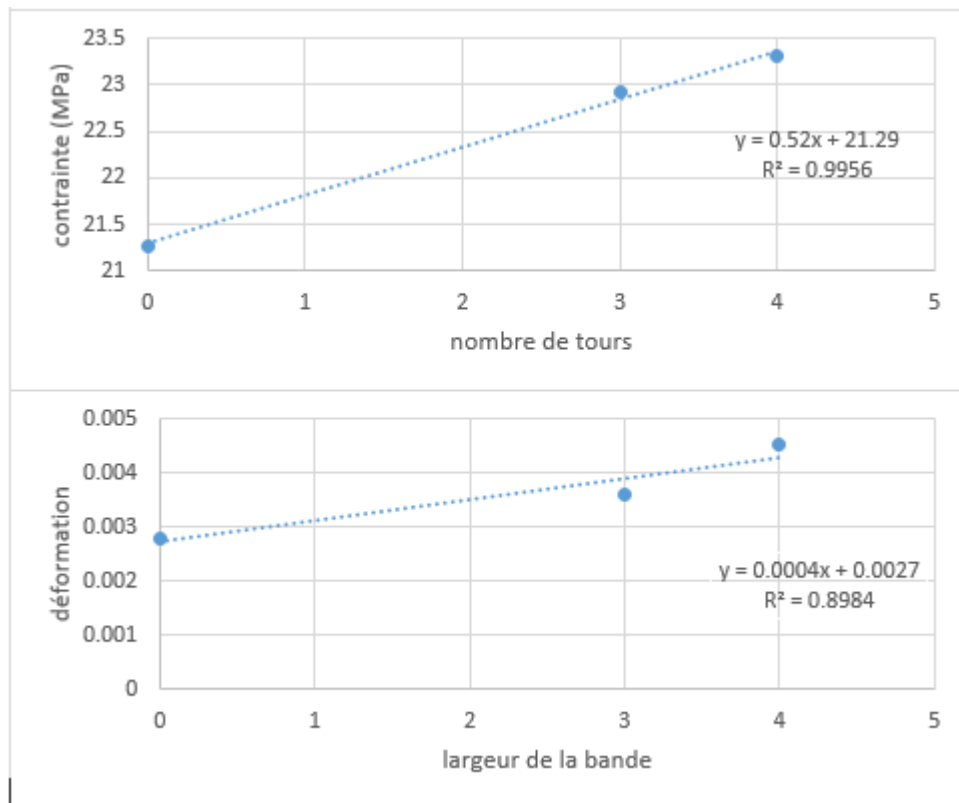


Figure III. 11. Régressions linéaires de la résistance en compression et de la déformation en fonction du nombre de tours de l'hélice et de sa largeur.

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.

Conclusion

Les résultats expérimentaux ont montré l'efficacité du renforcement interne du béton armé par un textile de verre 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.

En effet, Il a été montré que la résistance à la compression ainsi que la déformation axiale des éprouvettes augmentent avec l'augmentation de ces paramètres.

Conclusion générale

Conclusion générale

La nécessité de développer des méthodes de renforcement qui sont très efficaces et qui exigent un court temps pour leur réalisation et leur mise en œuvre ont conduit à des études et des recherches ont permis la découverte de nouvelles techniques de renforcements. Parmi ces techniques, le renforcement par matériaux composites qui ne cesse de faire ses preuves.

Le renforcement de structures se fait le plus souvent soit par des polymères renforcés de fibres « PRFF » de ciment renforcé de textiles « TRC ».

Ce travail apporté sur le renforcement interne de cylindres en béton armé au moyen d'un TRC à base de fibres de verre. Des bandes de textile de verre sont fixées autour des armatures de cylindres en béton, de façon à former deux hélices de sens contraires.

. Cette technique nous a permis d'étudier le comportement mécanique à la compression du béton armé renforcé mesurant sa résistance en compression ainsi que sa déformation axiale, en considération de deux paramètres : la largeur de la bande du composite et le nombre de tours que forme ce tissu autour de l'armature.

Cette étude a porté sur 15 éprouvettes cylindriques ($\phi 15 \times 30\text{cm}$), réparties en trois (03) séries. La première série dont le but été d'étudier l'influence du le nombre de tours, renfermait 06 éprouvettes dont trois sont renforcées avec une bande de 03 cm de largeur faisant 03 tours, et les trois autres sont renforcées avec une bandes de 03 cm de largeur en 04 tours..

La deuxième série comporte aussi 06 éprouvettes, trois éprouvettes avec bandes de 4 cm de largeur à 03 tours, et les trois autres avec 4cm de largeur à 04 nombre de tours, le but tant d'étudier l'influence de la largeur.

La troisième série renfermait 03 éprouvettes non renforcées qui ont servi de béton témoin. L'ensemble des éprouvettes a été testé en compression simple et les résultats sont détaillés dans le troisième chapitre. Nous avons pu, ainsi, montrer que le renforcement interne avec des bandes hélicoïdales à base de fibres de verre est efficace puisqu'il améliore les performances mécaniques des cylindres.

La résistance et la déformation axiale des cylindres confinés augmentent avec l'augmentation du nombre de tours de la bande et de sa largeur. On enregistre, en effet des gains en résistance de 11.8%, 9.59% et 7.8% pour des cylindres renforcés avec des bandes de 4 cm à 4 tours, 3cm à tours et 3 cm à 3 tours respectivement.

Pareillement, on enregistre un gain en déformation axiale de 61.78%, 53.57% et 28.57% pour les mêmes variantes respectivement.

En guise de perspectives à ce travail de recherche, nous suggérons ;

- de tester d'autres types de textiles, notamment écologiques,
- de conduire une simulation numérique pour conforter d'une part les résultats obtenus et permettre d'autre part de calculer pour une plus large gamme de valeurs des paramètres et d'en inclure d'autres.
- d'élargir l'expérience à un plus grand nombre de spécimens et de tester la technique proposée sur des spécimens à l'échelle réelle.

Référence bibliographique

Références bibliographique

- [1] ALI AHMED C « Optimisation des paramètres de réhabilitation par les matériaux.
- [2] HADJADJ. TAOUS « Influence des paramètres constitutifs d'un béton sous l'efficacité d'un confinement .2018.
- [3] MOSTEFA.MIMOUN « Les refonds fibreux utilisés dans les matériaux de construction » .1984.
- [4] ARHAB. MOHAND « Etude numérique du renforcement en flexion de poutre béton .2019
- [5] S. MENADI et AL « Etude de faisabilité d'un composite à matrice cimentaire renforcé d'un composite.
- [6] A. NACERI « Etude comparative de méthode de formulation du béton » Université de M'sila.
- [7] RAPHAEL. Contamine. Contribution à l'étude du comportement mécanique de composites textile-mortier : application à la réparation et /ou renforcement de poutre en béton armé vis-à-vis de l'effort tranchant (2011).
- [8] FARID ABOU CHAKRZ. Renforcement des poteaux armé au moyen de polymère renforcé par fibre de carbone : Comparaison des codes : Matériaux composites et construction .2016 dumas-01664765.
- [9] OULD ELHACENE ZEIN EL ABIDINE : « Renforcement du béton par les matériaux composites .2016Université de Tébessa »
- [10] AIGONAN. CHRISTIAN « Simulation numérique du comportement d'une poutre en béton armée renforcé au cisaillement.
- [11] SOKRI EL-DJOUHER « Confinement hélicoïdal avec matériau composites.
- [12] IGUENI CELIA : Caractérisation expérimentale du comportement de cylindre en béton, confiné avec des composites à bases végétales.
- [13] BOUZEBODJA. F « Poinçonnement de dalles armées de tissus composite.

[14] W. Brameshuber: « Textile reinforced concrete-state of the art report of Rilem TC.201.TRC.

[15] MOHCEN BOUKEZAR : « Réhabilitation et renforcement des poutres au moyen des matériaux composites thèse Magister génie civil Université MENTOURI, juillet 2009.

[16] A.E. Naaman : « High Performance Fiber Reinforced Cement Composites 6

[17] SEGHILANI ASMANE M'ZYENE, SAID: « <https://dl.ummtto.dz/handle/ummtto/4052> .

[18] BERTHELOT Jean-Marie: « comportement mécaniques des structure.

[19] BA TAM TRUONG : formation performances mécaniques et applications d'un matériau TRC pour renforcement et la répartition de structure en béton / BA : Approche expérimentale et numérique thèse de doctorat université de LYON décembre 2016 p 206.

[20] MOHAMED EL HADI BOURHLI caractérisation d'un composite verre / époxy thèse doctorat université FERHAT ABBAS – Sétif 1 2014. 147p

[21] GEOFFREY PROMIS : composite fibre/matrice minérale du matériau la structure thèse de doctorat l'université CLAUDE BERNARD LYON 1 février 2010 .319p

[22] AMAURY LEPTIT élaboration de matériaux compistes à base de filament de cellulose et de polyéthylène chimie organique université de limoges 2017, français.

[23] ZEGHOUD Sonia : Etude de confinement hélicoïdal en ciment renforcé de textile de cylindre en béton.

[24] Mojdeh Zargaran : Minimum Reinforcement Ratio in TRC panels for Deflection Hardening flexural Performance.

[25] Z. Mesticou, L. Bui, A. Junes, A. Si Larbi : Expérimental investigation of tensile fatigue behaviour of Textile-Reinforced Concrete (TRC): Effect of fatigue load and strain rate