

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

Université Mouloud Mammeri De Tizi Ouzou

Faculté de génie de la construction

Département de génie civil



En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Génie Civil

Spécialité : Structure

Thème

*Etude de comportement mécanique d'une poutre en béton
renforcée par matériaux composites*

Réalisé par : Mlle DARANI Cylia

Soutenue publiquement Devant le jury composé de :

<i>Mr MEHADDENE Rachid</i>	<i>professeur des universités</i>	<i>UMMTO</i>	<i>Président</i>
<i>Mr KHELIL Nacim</i>	<i>Maitre de conférences (B)</i>	<i>UMMTO</i>	<i>Promoteur</i>
<i>Mr BOUKAIS Said</i>	<i>Maitre de conférences (B)</i>	<i>UMMTO</i>	<i>Examineur</i>

Promotion 2017/2018

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui m'as donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

Mes remerciements vont en priorité à mes formateurs Mr KHELIL et Mr OULD OUALI pour leurs conseils, leur aide et leur patience.

mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.

J'adresse également mes remerciements à Mme MADOUNI. A pour tous ses encouragements et toute l'aide qu'elle m'a apportée.

Je remercie par cette occasion nos enseignants qui nous ont enrichis de connaissances et de savoir ainsi que les ingénieurs du laboratoire de génie civil Mr BOUHERAOUA. R, Mme BENAHMED. F et BABACI. A pour leur disponibilité et toute l'aide que j'ai eu de leur part.

Je remercie également Mr MAGHELAT le responsable du hall technologie et industriel de Oued-Aissi ainsi que toute son équipe pour son accueil.

Je n'oublie bien évidemment pas mes camarades de formation et les remercie chaleureusement pour tous ces agréables moments passés ensemble.

Je tiens à remercier tout particulièrement ma famille qui m'a accordé la liberté d'action et la patience nécessaires pour réaliser ce travail ainsi que toutes les personnes qui m'ont soutenue.

Enfin, je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Que ce travail témoigne de mes respects :

A mes parents M'hamed et Samira: Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux. Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.

A mon frère Lyes.

A mes sœurs

Nabila, son mari Lyes et leur fils Amenay

Nissa et Fahima.

A mon promoteur M^r KHELIL et mon co-promoteur M^r OULD OUALI, un remerciement particulier et sincère pour tous vos efforts fournis. Vous avez toujours été présent. Que ce travail soit un témoignage de ma gratitude et mon profond respect.

A la famille SEGUENI, TEBAKH, MANSOUR et ARAB. Ils vont trouver ici l'expression de mes sentiments de respect et de reconnaissance pour le soutien qu'ils n'ont cessé de me porter.

A tous mes professeurs: Leur générosité et leur soutien m'oblige de leurs témoigner mon profond respect et ma loyale considération.

A tous mes amies Dilya, Naïma, Sonia, Fadhila, liza et amis garçon, tous mes collègues: Ils vont trouver ici le témoignage d'une fidélité et d'une amitié infinie.

Cylia

Résumé

Il y a des différentes techniques de réparation des structures en béton, parmi les plus récentes on trouve le renforcement de structures par matériaux composites.

Deux types d'éprouvettes prismatiques ont été confectionnées en béton pour déterminer leur résistance moyenne à 28 jours en flexion trois points et en quatre points, ce sont des éprouvettes prismatiques de dimensions $(10 \times 10 \times 40)$ cm³ et de dimensions $(7 \times 7 \times 28)$ cm³, certaines ont été renforcées par des tissus composites (verre et jute) afin de caractériser leur contribution au renforcement structural.

Les différents résultats issus de l'analyse expérimentale montrent que l'ajout des tissus composites améliore le comportement global des éprouvettes de béton en termes aussi bien de force ultime à la rupture et de déformation à la rupture.

Parmi les tissus utilisés, le tissu de jute a présenté globalement les meilleurs résultats en termes d'augmentation de la force ultime et l'allongement à la rupture.

Abstract

There are different techniques for repairing concrete structures among the most recent one can cite structural reinforcement using composite materials.

Two types of concrete prismatic specimens were cast to determine the mean strength of concrete at 28 days in three-point and at four points bending, they consist in prismatic specimens of $(10 \times 10 \times 40)$ cm³ and $(7 \times 7 \times 28)$ cm³, some of which were reinforced with composite fabrics in order to characterize their differences and gauge their contribution to structural strengthening.

The different results from the experimental analysis show that the addition of composite fabrics improves the overall behavior of the concrete specimens in terms of ultimate strength at failure and deformation at failure.

Among the fabrics used, the jute fabric presents globally the best results (improvement) in terms of ultimate force and lengthening at failure.

SOMMAIRE

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1.Introduction.....	1
I.2.Les différents types de Béton.....	3
I.2.1.Béton précontraint	3
I.2.2.Les béton Hautes Performances	4
I.2.3.Bétons spéciaux.....	5
I.2.3.1.Les bétons légers	5
I.2.3.2.Les bétons lourds.....	5
I.2.3.3.Les bétons réfractaires	5
I.2.3.4.Béton fibré	5
I.2.4.Les bétons de futur	6
I.2.4.1.Les bétons autoplaçant (BAP).....	6
I.2.4.2.Les bétons fibrés à ultra hautes performances (BFUP)	7
I.2.5.Les bétons décoratifs.....	7
I.2.5.1.Bétons décoratifs d'extérieur	7
I.2.5.2.Bétons décoratifs d'intérieur	8
I.2.6.Les bétons durables	8
I.3. Dégradations des ouvrages en béton.....	9
I.3.1.Dégradations d'origine chimique	9
I.3.2.Dégradations d'origine mécanique	12
I.3.3.Dégradations d'origine physique	13
I.4.Réparation du béton armé dégradé par altération de l'élément structural	14
I.4.1.Réparation des désordres superficiels ragréage	14
I.4.2.Réparation par addition d'armatures passives	14
I.4.3.Réparation par projection de béton	14
I.5. Réparation du béton armé dégradé par application de produits à la surface du parement	15
I.5.1.Réparation des ouvrages en béton armé dégradés par corrosion des armatures	15
I.5.2.Réparation des ouvrages en béton armé dégradés (traitement de la fissuration)	16
I.5.2.1. Injection	16
I.5.2.2. Cachetage	17
I.5.2.3.Calfeutrement	17
I.5.2.4.Pontage	18

I.5.2.5. Protection généralisée	18
I.6. Réparation du béton armé dégradé au moyen de matériaux composites	18
I.6.1. Renforcement des poteaux	19
I.6.2. Renforcement des poutres	19
I.6.3. Renforcement des dalles	20
I.7. Conclusion	20

Chapitre II : Matériaux et procédures

II.1. Introduction	21
II.2. Présentation des matériaux utilisés	21
II.2.1. Constituants du béton.....	21
II.2.1.1. Ciment	21
II.2.1.2. L'eau de gâchage	22
II.2.1.3. Les granulats	22
II.2.2. Constituants du renfort.....	22
II.2.2.1. Le tissu en fibre de verre	22
II.2.2.2. Le tissu en fibre de jute	24
II.2.2.3. La résine	25
II.3. Malaxage et mise en œuvre du béton	27
II.3.1. Préparation des matériaux.....	27
II.3.2. Composition du béton à confectionner	28
II.3.3. Confection de béton et préparation des éprouvettes	28
II.3.3.1. Moules prismatiques	28
II.3.3.2. Coulage du béton.....	31
II.4. Malaxage et mise en œuvre de la surface	33
II.4.1. Traitement des surfaces.....	33
II.4.2. Collage des tissus sur les éprouvettes	34
II.5. Procédures des essais sur le béton	35
A- Essai de flexion à trois points.....	35
B- Essai de flexion à quatre points	36
II.6. Conclusion	37

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1. Introduction	38
III.2. Résultats des essais de flexion trois (03) points	38
III.2.1. Essais sur des éprouvettes (7x7x28) cm ³	38
III.2.2. Essais sur des éprouvettes (10x10x40) cm ³	40
III.3. Résultats des essais de flexion quatre (04) points	42
III.3.1. Essais sur des éprouvettes (7x7x28) cm ³	42
III.3.2. Essais sur des éprouvettes (10X10X40) cm ³	44
III.4. Conclusion	46
Conclusion générale et perspectives	48
Références bibliographiques	50

Liste des figures :

Figure I.1 : La carbonatation du béton. [15]	9
Figure I.2 : Structure atteinte par l'attaque des chlorures. [13]	10
Figure I.3 : Schématisation du phénomène d'attaques sulfatiques. [15]	10
Figure I.4 : Epaufrures dues à l'alcali-réaction. [13]	11
Figure I.5 : Conséquences de la corrosion des armatures. [13]	12
Figure I.6 : Tassement différentiel. [13]	13
Figure I.7 : Représente le phénomène Gel/Dégel. [15]	13
Figure I.8 : Injection des fissures au pont de Châlons-en-Champagne. [22]	17
Figure I.9 : Fissure en cours de cachetage. [22]	17
Figure I.10 : Calfeutrement de fissures à l'aide d'un mortier à base de liants hydrauliques. [17]	18
Figure I.11 : Pontage d'une fissure avec incorporation d'une armature. [17]	18
Figure I.12 : Confinement des colonnes (cylindrique et carré par composites). [24]	19
Figure I.13 : Différentes techniques de renforcement des poutres en béton armé. [24]	20
Figure I.14 : Renforcement des dalles en béton armé. [24]	20
Figure II.1 : Elaboration de la fibre de verre. [29]	23
Figure II.2 : Tissu en fibre de verre	24
Figure II.3 : Fibres de jute. [30]	25
Figure II.4 : Tissu en fibre de jute	25
Figure II.5 : Les deux Composants de la matrice (durcisseur et résine)	26
Figure II.6 : Les granulats tamisés et lavés	27
Figure II.7 : Séchage des granulats en étuve	27
Figure II.8 : Les constituants du squelette granulaire	28
Figure II.9 : Les deux types des moules utilisés	29
Figure II.10 : Les étapes l'essai d'affaissement au cône d'Abrams	30
Figure II.11 : Confection du béton, compactage et vibration des éprouvettes	32
Figure II.12 : Schéma d'un arasement de dégrossissage et arasement terminal. [34]	32
Figure II.13 : Démoulage des éprouvettes	33
Figure II.14 : Cure d'hydratation des éprouvettes en béton	33
Figure II.15 : Schéma descriptif des dimensions des bandes de tissu de fibres de verre et de jute utilisées sur les 2 types d'éprouvettes	34

Figure II.16 : A- Eprouvette confinée par RFJ, B- Eprouvette confinée par RFV	34
Figure II.17 : Presse utilisée pour les essais en flexion 3 points et 4 points	35
Figure II.18 : Schéma descriptif des essais en flexion 3 point	
Figure II.19 : A- Essai de flexion 3 pts sur éprouvette confinée avec RFV	36
B- Essai de flexion 3 pts sur éprouvette confinée avec RFJ	36
Figure II.20 : Schéma descriptif des essais en flexion 4 points.....	37
Figure II.21 : A- Essai de flexion 4 pts sur éprouvette confinée avec RFV,	
B- Essai de flexion 4 pts sur éprouvette confiné avec RFJ	37
Figure III.1 : Ecrasement de l'éprouvette en béton témoin	38
Figure III.2 : Rupture de l'éprouvette confinée avec RFV	39
Figure III.3 : Rupture de l'éprouvette confinée avec RFJ	39
Figure III.4 : Les courbes de l'évolution de la contrainte en fonction de la flèche pour les poutres (7x7x28) cm ³	39
Figure III.5 : Ecrasement de l'éprouvette en béton témoin	40
Figure III.6: Rupture de l'éprouvette confinée avec RFV	41
Figure III.7 : Rupture de l'éprouvette confinée avec RFJ	41
Figure III.8: Les courbes du l'évolution de la contrainte en fonction de la flèche pour les poutres (10x10x40) cm ³	41
Figure III.9 : Ecrasement de l'éprouvette en béton témoin	43
Figure III.10 : Rupture de l'éprouvette confinée avec RFV	43
Figure III.11 : Rupture de l'éprouvette confinée avec RFJ	43
Figure III.12 : Les courbes du l'évolution de la contrainte en fonction de la flèche pour les poutres (7X7X28) cm ³	44
Figure III.13 : Ecrasement de l'éprouvette en béton témoin	45
Figure III.14: Rupture de l'éprouvette confinée avec RFV	45
Figure III.15: Rupture de l'éprouvette confinée avec RFV	45
Figure III.16 : Les courbes du l'évolution de la contrainte en fonction de la flèche pour les poutres (10X10X40) cm ³	46

Listes des tableaux

Tableau I.1 : Les différentes catégories de fibres [2]	6
Tableau II.1 : Représente les différentes sortes de granulats	22
Tableau II.2 : Caractéristiques mécaniques des verres type E et R. [27]	24
Tableau II.3 : Caractéristiques mécaniques de jute [30]	25
Tableau II.4 : Caractéristiques de la résine MEDAPOXY STR [31]	26
Tableau II.5 : Composition des bétons étudiés. [33]	28
Tableau II.6 : Volume de chaque type éprouvette	29
Tableau II.7 : Quantités de matériau par type d'éprouvette	29

Introduction générale

Introduction générale

Afin de prolonger la durée de vie des structures de génie civil, les structures en béton peuvent nécessiter une réparation par un renforcement au cours de leur durée de service.

La réparation des ouvrages de génie civil consiste à chercher et à compenser les pertes de rigidité ou de résistance dues à la fissuration. Parmi les techniques proposées dans la littérature, on peut citer la réparation de structures en béton armé par des chemises en acier, tôles collées, incorporation de profilés métalliques, modification de la section structurelle (Chemisage en béton armé), précontrainte additionnelle externe et plus récemment par des matériaux composites. [37]

Dans les structures en génie civil, le renforcement à la résistance à la flexion d'une poutre en béton armé est réalisé par collage externe des lamelles composites sur la partie inférieure de la poutre (fibre la plus tendue) ou sur l'ensemble de la partie visible de la poutre en se basant sur le principe de confinement qui consiste à mobiliser les pressions latérales sur le support béton. [37]

Le renforcement des poutres en béton par des matériaux composites synthétiques sont efficaces et facile à la mise en œuvre et sont souvent à base de fibres de verre ou de carbone, ils utilisent des résines durcissant à température ambiante, mais avec le temps les constructeurs ont remarqué que cette technique présente des inconvénients non négligeable comme leur influence négative sur la santé ou leur coût élevé, ils ont alors pensé à utiliser les fibres naturelles comme solution de remplacement grâce à leur faible coût, leur disponibilité, leur facilité de mise en œuvre et leur capacité à être recyclées.

Dans ce travail de recherche, l'objectif fixé consistait à savoir s'il était possible de trouver un confinement naturel à base de fibres de jute, qui pourrait remplacer un confinement en des fibres synthétiques à base de fibres de verre plus commun, cela en l'appliquant sur toute la surface latérale d'éprouvettes de béton dans le but d'en améliorer leur résistance, leur rigidité et leur ductilité.

Pour répondre à notre interrogation, nous avons entrepris une démarche de recherche scindée en trois chapitres.

➤ **Chapitre I :** Présente une synthèse bibliographique qui résume les différents types de bétons, les modes d'endommagement des structures en béton armé et les techniques de renforcement et de réparation des structure en béton et spécialement celle concernant l'utilisation des matériaux composites à base des tissus en fibres de verre et de jute.

➤ **Le chapitre II** : Présente le programme expérimental réalisé dans le cadre de ce travail. Une description détaillée des matériaux utilisés, des dimensions des éprouvettes, du procédé de confinement, particulièrement les tissus en fibres de verre et de jute ainsi que la procédure des essais de flexion trois (03) points et quatre (04) points y sont bien décrits.

➤ **Le chapitre III** : Présente les différents résultats des essais de flexion trois (03) points et quatre (04) points réalisés sur les 2 types d'éprouvettes prismatiques testées. Ils sont illustrés par des courbes forces-flèches qui montrent le comportement mécanique de celles-ci sous les différents cas de figures évalués. Enfin, les modes de rupture observés pour chaque type d'éprouvette sont illustrés, analysés et interprétés afin d'en dégager certaines tendances notamment vis-à-vis de l'efficacité du renforcement avec le tissu de verre et de jute

Chacun de ces chapitres sera clôturé par une conclusion, et nous terminerons enfin, par une conclusion générale résumant les observations notables, et en dernier lieu, des perspectives seront proposées.

Synthèse bibliographique

I.1. Introduction

Le béton fait partie de notre cadre de vie. Il a mérité sa place par ses caractéristiques de résistance mécanique, ses propriétés thermiques, sa résistance au feu, son isolation phonique ainsi que sa durabilité. Le béton a sa place dans les bâtiments d'habitation (logements, écoles, hôpitaux) aussi bien que dans les constructions liées à l'activité professionnelle (usines, ateliers, commerces, bureaux) ou dans des réalisations diverses (socioculturelles, sportives ou de loisir).

Le béton participe de manière visible à l'architecture. Le béton n'est plus une « pierre artificielle », mais un matériau adapté aux ouvrages élancés ou aux ouvrages d'art, au même titre qu'à des réalisations architecturalement sophistiquées.

Le béton permet de franchir. Grâce à la précontrainte, le béton a pu améliorer ses performances et rend possible les très longues portées. Les dernières évolutions techniques concernent la précontrainte extérieure, en particulier par l'utilisation de structures treillis.

Le béton routier s'est fait sa place dans tous les types de voiries et de l'autoroute. Dans les villes, les dalles et les pavés en béton apportent leur esthétique particulière. Le béton est un mélange de plusieurs composants: ciment, eau, granulats et, le plus souvent, adjuvants qui constituent un ensemble homogène.

Tous les ouvrages réalisés aujourd'hui en béton, armé ou non, bénéficient de bétons formulés pour répondre aux contraintes du chantier, et mis en œuvre grâce à des techniques en évolution constante : vibration, traitements thermiques, traitements de surface. [1]

L'objectif de ce chapitre est d'aborder un bref historique sur les types béton et ses composants ; les endommagements des structures en béton ainsi leurs solutions.

I.2. Les différents types de Béton

Parmi les différents types des bétons utilisés, on peut citer :

I.2.1. Béton précontraint

L'idée de précontrainte est simple et naturelle, le mot « précontraint » inventé par FREYSSINET.E en 1933, signifie préalablement contraint. Il devrait appliquer à un élément des efforts créant des contraintes permanentes de sens opposé à celles qui seront produites par les charges appliquées ultérieurement. Dans le domaine de la construction, il s'agit d'un béton mis en compression par la mise en tension des armatures en acier qu'il contient. Cette précontrainte se réalise de deux manières : par pré-tension ou par post-tension.

Synthèse bibliographique

❖ Précontrainte par armatures adhérentes (pré-tension)

C'est le mode de précontrainte qui a fait l'objet du brevet en 1928, procédé de fabrication des pièces en béton armé. Il consiste à tendre préalablement les armatures en acier à très haute limite d'élasticité entre deux points fixes (culée), à bétonner les formes requises en béton autour de ces armatures tendues, puis à relâcher la tension au droit des culées après durcissement du béton. La mobilisation de l'adhérence d'armature sur le béton empêche celle-ci de se détendre et provoque la mise en compression de la pièce en béton.

❖ Précontrainte par post-tension

La précontrainte par post-tension est réalisée par des armatures tendues après la coulée du béton, lorsque ce dernier a suffisamment durci. Contrairement au mode de réalisation précédent, cette précontrainte s'applique à des structures dont le béton a déjà durci. [10]

I.2.2. Les bétons Hautes Performances

Les bétons hautes performances (BHP), apparus dans les années 1980, sont caractérisés par des résistances mécaniques (allant de 50 à 100 MPa) élevées par rapport à celles du béton traditionnel (25 à 35 MPa). Au-delà d'une résistance de 100 MPa on parle de béton très hautes performances (BTHP).

Les BHP présentent des avantages en comparaison au béton traditionnel

➤ **Résistance :**

- Résistance élevée à la compression, ce qui permet de réduire les quantités de béton nécessaires ;
- Porosité très faible, entraînant une résistance accrue vis-à-vis des agressions extérieures ;
- Résistance élevée à l'état frais, ce qui permet d'augmenter la vitesse des travaux.

➤ **Durabilité :**

- La durabilité de ce matériau permet son utilisation dans des environnements agressifs ;
- La durabilité de ce matériau permet de limiter l'entretien et les frais de maintenance.

[2], [8], [10]

I.2.3. Bétons spéciaux

I.2.3.1. Les bétons légers

L'intérêt des bétons légers réside dans le gain important qu'on peut réaliser sur le poids propre de l'ouvrage. Les bétons légers présentent des masses volumiques qui vont de 800 à 2000 kg/m³, contre 2000 à 2600kg/m³ pour un béton classique. Cette qualité est également recherchée dans les bétons isolants thermiques, la conductivité variant dans le même sens que la densité. Les bétons légers sont obtenus en jouant sur la composition (bétons caverneux) ou sur l'emploi de matériaux allégés (type argile expansée, polystyrène expansé, liège). On peut également créer des vides par une réaction provoquant un dégagement gazeux; c'est le cas du béton cellulaire. [1]

I.2.3.2. Les bétons lourds

À l'inverse des bétons légers, l'emploi de granulats très denses (barytine, magnétite) permet la réalisation de bétons de masse volumique dépassant 3000 kg/m³. Ces bétons sont utilisés dans le cadre de la protection contre les radiations ou pour réaliser des culées, des contrepoids. [1]

I.2.3.3. Les bétons réfractaires

Ce sont des bétons capables de résister à des températures élevées (cheminées, fours métallurgiques), les bétons courants résistent à une température maximale de 400⁰ C. [10]

I.2.3.4. Béton fibré

Le béton fibré est un matériau dans lequel sont intégrées des fibres synthétiques ou métalliques de dimensions diverses et réparties de manière homogène dans la masse du béton. Il existe différents types de fibres, ayant des impacts variables sur le béton. Elles ont par exemple pour fonction d'améliorer certaines caractéristiques du béton telles que la résistance en flexion ou la limitation de la fissuration. Dosées de 0,5 à 2% par m³ de béton, ces fibres possèdent des caractéristiques intrinsèques différentes selon la fibre considérée: composition, dimension, forme. [2], [3]

Il existe différentes catégories de fibres

- Les fibres métalliques
- Les fibres organiques
- Les fibres minérales

Synthèse bibliographique

Le **tableau I.1** donne les différentes familles de fibres, leurs matériaux et leurs caractéristiques.

Tableau I.1 : Les différentes catégories de fibres [2]

Familles de Fibres	Matériaux	Caractéristiques
Fibres métalliques	Acier, Fonte, Inox	Bonne résistance à la flexion, à la traction et à la rupture. Réduction de la dimension des fissures.
Fibres organiques	Acrylique, Aramide, Carbone, Kevlar, Polyamide Polypropylène	Fibres souples, ce qui améliore leur ouvrabilité. Peu résistantes aux températures élevées (140-170°C maximum).
Fibres minérales	Basalte, Verre	Excellente tenue au feu (800°C maximum). Bonne isolation thermique. Permet la fabrication de parois très minces.

I.2.4. Les bétons de futur

I.2.4.1. Les bétons autoplaçant (BAP)

Le béton autoplaçant (BAP), caractérisé par son hyper fluidité, se différencie des bétons traditionnels par ses propriétés à l'état frais. Le BAP a la capacité de se mettre en place par lui-même là où il est appliqué sans avoir recours à un système de vibration pour l'homogénéiser grâce aux différents constituants qui le composent.

Les avantages du BAP [2], [4], [7], [8], [9]:

- ✓ Mise en œuvre :
 - Suppression du système de vibration pour sa mise en place ;
 - Diminution du temps de bétonnage ;
 - Absence de nuisance sonore, ce qui produit de meilleures conditions de travail ;
 - Permet de couler du béton dans des endroits qui étaient non-propices.
- ✓ Qualité du béton :
 - Excellent remplissage des coffrages ;
 - Obtention d'une surface de béton lisse.

I.2.4.2. Les bétons fibrés à ultra hautes performances (BFUP)

Les bétons fibrés à ultra-hautes performances sont des matériaux à matrice cimentaire, de résistance caractéristique à la compression comprise entre 120 et 250 MPa. Ces matériaux sont additionnés de fibres (métalliques, polymères ou minérales) en vue d'obtenir un comportement ductile en traction et de s'affranchir dans certains cas de l'emploi d'armatures passives. Ces matériaux se caractérisent par une matrice avec un très bas rapport eau sur liant, de l'ordre de 0.2. [5], [6], [8]

I.2.5. Les bétons décoratifs

En plus de répondre à de nombreux besoins dans le monde de la construction, le béton est un matériau également devenu très tendance en matière de décoration. Pour l'intérieur ou l'extérieur, il apparaît sous différentes formes, ce qui entraîne la mise en place d'un certain nombre de méthodes pour l'appliquer.

I.2.5.1. Bétons décoratifs d'extérieur

❖ **Le béton désactivé :** Il s'agit d'une sorte de béton dans lequel des granulats de dimensions élevées sont incorporés lors du mélange. Très solide, il est régulièrement utilisé en ville. C'est un béton décoratif sur lequel on verse un produit désactivant à sa surface au moment du coulage. Ce produit va retarder le séchage du béton, ce qui permettra de faire apparaître superficiellement les granulats après avoir effectué un lavage ou brossage de la surface en question.

❖ **Le béton lavé :** Proche du béton désactivé, le béton lavé laisse également apparaître superficiellement des granulats à sa surface suite à un lavage à l'aide d'un jet d'eau à forte pression.

❖ **Le béton imprimé :** Ce type de procédé offre la possibilité de choisir l'aspect du béton. En comprimant une empreinte à la surface de ce dernier lorsqu'il est encore frais, des formes ou des motifs peuvent être intégrés.

❖ **Le béton coloré :** Habituellement de couleur grise, le béton peut désormais prendre d'autres teintes à l'aide de différents procédés :

- Peinture
- Teinte en surface
- Teinte dans la masse

I.2.5.2. Bétons décoratifs d'intérieur

❖ **Le béton ciré** : A la fois tendance et moderne, c'est un béton décoratif sur lequel est appliquée une cire après durcissement. On peut l'appliquer sur de nombreux supports, il est à la fois étanche, résistant, durable et facile d'entretien.

❖ **Le béton poli** : C'est un béton dont la surface a été poncée et polie après durcissement. Les différents procédés mis en œuvre rendent la surface du sol lisse et lui donnent un aspect brillant. [2]

I.2.6. Les bétons durables

Le béton durable a pour vocation d'avoir une durée de service allongée comparativement aux bétons ordinaires. Plusieurs projets ont été mis en place dans le but d'étudier et d'amélioration de la durabilité du béton, on peut en citer le projet GranDuBé (projet Grandeurs Associées à la Durabilité du Béton) en 2007.

Au cours de notre stage de master, nous avons utilisé la composition de béton utilisée dans le cadre de ce projet GranDuBé.

De nombreux essais, et analyses, non couverts par des normes, et ayant fait l'objet, pour la plupart, de travaux de recherches et de mises au point, parfois depuis de nombreuses années, ont été conduits dans les laboratoires. Cependant, en raison de l'existence de variantes ou de conditions opératoires différentes pour mesurer une grandeur donnée, il n'était pas toujours aisé de comparer certains résultats d'essais obtenus dans différents laboratoires. [11]

L'objectif de GranDuBé était donc de pouvoir recommander des modes opératoires harmonisés pour la mesure d'une série de grandeurs admises comme décisives au regard de la durabilité des bétons. Les dix-huit partenaires du projet étaient des laboratoires, publics et privés, des entreprises de la construction et de l'industrie cimentière.

Les grandeurs retenues dans GranDuBé ont été choisies dans le même esprit et aussi dans une certaine continuité par rapport aux travaux réalisés par l'ancien groupe AFPC-AFREM.

Il s'agit de données communément admises comme étant essentielles pour la durabilité, en particulier vis-à-vis de la corrosion des armatures et des attaques chimiques endogènes ou exogènes. De plus, certaines grandeurs ont été choisies du fait qu'elles étaient déjà identifiées en tant qu'indicateurs de durabilité dans le cadre de l'approche performantielle de l'AFGC et il était convenable d'élaborer des modes opératoires détaillés permettant leur détermination.

Synthèse bibliographique

En effet, pour des raisons d'efficacité, l'ensemble du travail a été partagé entre plusieurs sous-groupes chargés chacun d'une thématique particulière :

- Sous-groupe « Ciment » : dosage en ciment, degré d'hydratation et teneur en portlandite ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ;

- Sous-groupe « Microstructure » : microfissuration, porosimétrie mercure, porosité accessible à l'eau et perméabilité à la vapeur d'eau ;

- Sous-groupe « Chlorures » : extraction et dosage des chlorures, mesure de coefficient de diffusion par essai de migration. Détermination des isothermes d'interaction chlorures/matrice ;

- Sous-groupe « Réactions endogènes » : diagnostic des attaques liées à l'action des sulfates et aux phénomènes d'alcali-réaction. [11], [12]

I.3. Dégradations des ouvrages en béton

I.3.1. Dégradations d'origine chimique

- **Carbonatation**

La carbonatation est un phénomène de vieillissement naturel des matériaux. Elle conduit à la formation du carbonate de calcium par réaction chimique entre la portlandite et le gaz carbonique présent dans l'air. Le taux de présence du gaz carbonique varie en fonction du milieu où se trouve l'ouvrage. Cette réaction modifie la basicité des bases alcalines présentes dans la solution interstitielle du béton conduisant à une diminution du Ph du béton de 13 à une valeur au voisinant de 8. Le phénomène de corrosion amène à des surpressions et de la fissuration/éclatement dans le béton rigide. [13], [14]



Figure I.1 : La carbonatation du béton [15]

- **Attaque des chlorures**

L'attaque par les chlorures forme avec la carbonatation la cause principale de la corrosion des armatures. Les chlorures se rencontrent principalement dans l'eau de mer et l'eau de gâchage.

Cette corrosion est due à un mécanisme similaire à celui de la carbonatation par pénétration des ions de chlore dans la matrice du béton. [13], [14]



Figure I.2 : Structure atteinte par l'attaque des chlorures. [13]

- **Attaque des sulfates**

Les sulfates peuvent se rencontrer essentiellement dans les zones agricoles où on utilise les engrais et fertilisants du sel. Les sulfates peuvent aussi provenir des fumées et des résidus dégagés par les industries chimiques.

En réaction avec la pâte de ciment, trois composés peuvent se former en fonction de la concentration en sulfates, du Ph et de la température : l'ettringite et le gypse. [13], [16], ces composés ont des conséquences catastrophiques sur le béton, notamment des gonflements.

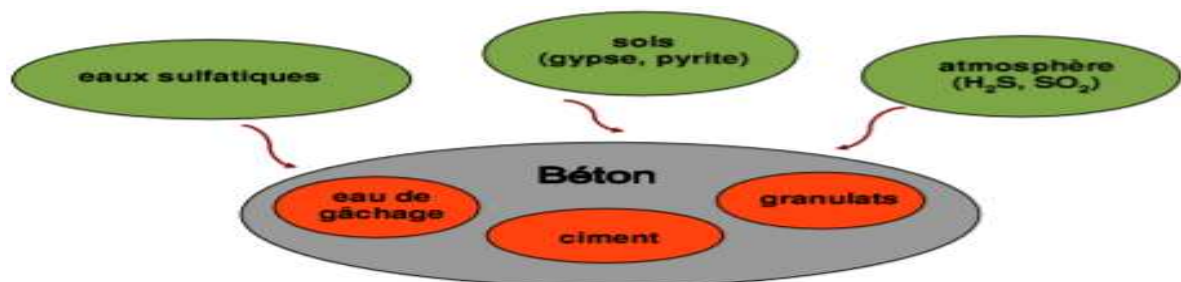


Figure I.3 : schématisation du phénomène d'attaques sulfatiques. [15]

- **Alcali-réaction**

Une autre cause des dégradations chimiques est l'alcali-réaction. Ce phénomène peut se produire si les granulats siliceux sont mal cristallisés et donc réactifs.

L'alcali-réaction regroupe toutes les réactions qui peuvent se produire entre les granulats du béton et les alcalins de la pâte du ciment hydraté. Les études ont montré que trois conditions doivent être simultanément remplies pour que ces réactions aient lieu :

- Le granulat doit être réactif du fait de sa mauvaise cristallisation ;
- Un taux d'humidité relativement élevé compris entre 80 et 85% ;
- Une grande concentration en alcalins. [13]



Figure I.4 : épaufrures dues à l'alcali-réaction. [13]

- **La corrosion des armatures**

Certaines attaques chimiques conduisent à la corrosion des armatures. On peut définir la corrosion comme la transformation des métaux en composé divers sous l'action de phénomènes naturels.

La dégradation causée par ce phénomène est facile à déceler. Les symptômes en sont : une surface oxydée, piquée, laissant apparaître en général des plaques et écailles d'oxydes facilement détachables, d'aspect rouge brun, typique.

Dans le cas de l'acier, ce composé adhère mal au métal d'où il est issu et se détache facilement en écailles ; la surface de la section se trouve réduite.

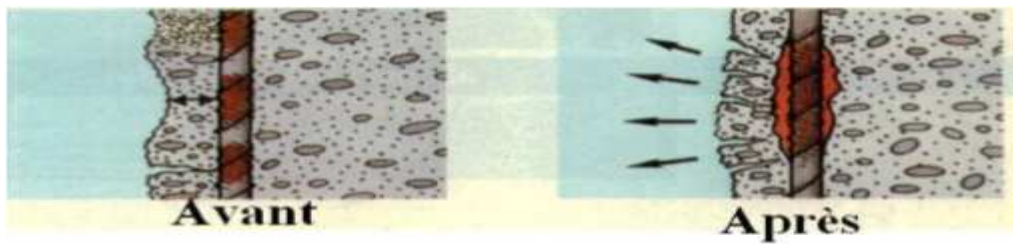


Figure I.5 : Conséquences de la corrosion des armatures. [13]

La corrosion de l'acier provoque la réduction de la section de l'armature (partiellement, localement ou en totalité). De plus, la réaction chimique de formation de la rouille (mélange d'oxydes et d'hydroxyde de fer) s'effectue avec une expansion (le volume de l'acier devient 3 à 4 fois supérieur). Ce gonflement provoque dans le béton des contraintes d'expansion importantes, supérieures à la résistance de cohésion du béton. La manifestation visuelle qui en résulte se présente sous forme de fissures en surface qui s'amorcent à partir de l'acier.

Des fissures internes reliant les armatures peuvent aussi disloquer le béton. La décohésion peut présenter des pustules ou des plaques de béton. Les manifestations diffèrent selon l'épaisseur du béton, l'écartement et le diamètre des aciers. Il en résulte de toute manière que l'élément en béton armé ne fonctionne plus, du point de vue de la résistance des matériaux, comparativement son calcul initial. [13]

I.3.2. Dégradations d'origine mécanique

- **Tassement différentiel**

Lorsqu'un sol se tasse d'une façon inégale sous les différents points d'une fondation, on dit qu'il y a un tassement différentiel. Il se manifeste soit par un basculement de la bâtisse soit par de graves désordres dans les éléments non structuraux et parfois dans la structure elle-même si les efforts sont incompatibles avec résistance des éléments.

Les causes des tassements différentiels sont multiples, mais les plus fréquemment rencontrés sont :

- Les sols compressibles.
- Les remblais récents
- La non homogénéité du sous-sol de fondations
- L'emploi des fondations hétérogènes
- Les affouillements du sol sous les fondations
- La modification du volume de certains sols en fonction de la teneur en eau.



Figure I.6 : tassement différentiel. [13]

- **Ondes de chocs**

Le béton est susceptible de s'épaufrer quand il est soumis à des ondes de choc. Ceci est dû aux différentes vitesses de propagation des ondes dans les différents matériaux (les agrégats, le liant et les armatures).

- **Défauts de conception**

La plupart du temps, ce type d'erreurs résulte d'une insuffisance consécutive à des oublis ou à des erreurs au niveau des études, parfois aussi d'un manque de coordination entre le bureau d'études et le chantier.

I.3.3. Dégradations d'origine physique

- **Gel dégel**

Dans les zones où le climat est très froid, l'eau absorbée par le béton gèle si elle est exposée à des températures inférieures à zéro degré Celsius, en se formant, la glace dans les pores du béton crée des surpressions qui mène dans un premier temps à un gonflement c'est-à-dire le béton augmente de volume, dans un second temps la surpression et le gonflement important mène à l'éclatement ou épaufrure de la surface du béton.



Figure I.7 : Représente le phénomène Gel/Dégel. [15]

- **Le retrait**

Le retrait est un phénomène physico-chimique qui existe de façon systématique au sein du béton. Il correspond entre autres à l'action du départ de l'eau excédentaire du béton vers l'extérieur de l'élément de structure. Le symptôme caractéristique de l'action du retrait sur un ouvrage est la fissuration qui peut être soit orientée, soit multidirectionnelle. [13]

I.4. Réparation du béton armé dégradé par altération de l'élément structural

De nombreuses solutions techniques sont disponibles actuellement, elles ont une certaine efficacité et répondent à l'ensemble des problèmes rencontrés sur les matériaux ou sur les structures.

I.4.1. Réparation des désordres superficiels ragréage

Si les désordres de la partie d'ouvrage en béton sont superficiels et si les armatures ne sont pas corrodées, l'opération de réparation comprend:

- Une préparation de surface avec élimination du béton dégradé et de toute trace de pollution;
- Le traitement éventuel des armatures contre les risques de corrosion;
- La reconstitution de l'enrobage des armatures par un ragréage manuel avec du béton ou un mortier. [17]

I.4.2. Réparation par addition d'armatures passives

Les techniques de réparation et de renforcement de structures par des armatures passives additionnelles concernent la mise en œuvre:

- d'armatures en acier ou en matériaux composites en surface du béton autour de la partie d'ouvrage existante et liées à celle-ci puis enrobées par un ajout de béton projeté ;
- de plaques (bandes, lamelles) ou de tissus en matériaux composites collés à la surface du béton.
- de tôles et plats collés de faibles épaisseurs (3 à 5 mm) découpées en bande de faible largeur (300 à 500mm) et collées sur le béton par une résine époxydique. [18]

I.4.3. Réparation par projection de béton

Le béton projeté est un béton mis en œuvre à l'aide d'une lance, par projection sur une paroi sous l'impulsion d'un jet d'air comprimé. La technique consiste à :

- malaxer et homogénéiser les constituants (ciment, granulats, adjuvants, fibres...) à l'état sec ou en incorporant l'eau de gâchage;
- transporter le mélange par des canalisations avec l'aide d'une pompe; projeter le matériau sur le support à revêtir grâce à un jet d'air comprimé.

Synthèse bibliographique

Il existe deux techniques de projection: par voie sèche ou par voie mouillée. La différence entre les deux techniques est liée à la manière dont l'eau de gâchage du béton est introduite (soit lors du malaxage du béton, soit lors de l'application du béton).

→ **Projection par voie sèche** : Le mélange sec (granulats, ciment et éventuellement accélérateur de prise et adjuvants) est fabriqué dans un malaxeur puis propulsé par de l'air comprimé vers la lance de projection. Cette lance est associée à une lance de projection d'eau (et éventuellement d'accélérateur de prise sous forme liquide).

→ **Projection par voie mouillée** : Le mélange comprenant l'eau est stocké après malaxage dans une trémie. Il est ensuite pompé jusqu'à la lance de projection et projeté grâce à l'air comprimé. [20]

I.5. Réparation du béton armé dégradé par application de produits à la surface du parement

La protection et/ou la réparation des bétons vis-à-vis des agressions ou des attaques extérieures généralement chimique se fait par application de produits à la surface du parement du béton, cela permet de ralentir voire d'arrêter l'évolution de la dégradation, en empêchant la pénétration des agents agressifs sous forme liquide ou gazeuse à l'intérieur du matériau. La protection du béton peut être assurée par différentes familles de produits. On en distingue selon la problématique :

- Inhibiteurs de corrosion ;
- Produits d'imprégnation : par exemple, les produits hydrofuges (qui constituent une barrière en surface vis-à-vis de la pénétration de l'eau) ;
- Produits et systèmes de revêtements d'imperméabilisation à bases de résine. [19]

I.5.1. Réparation des ouvrages en béton armé dégradés par corrosion des armatures

De nombreuses solutions de réparation du béton armé dégradé par corrosion des armatures sont disponibles. Elles permettent de réparer durablement le parement en béton et évitent de nouveaux désordres. Pour chaque ouvrage, le choix de la solution adoptée sera fonction en particulier du processus de dégradation (carbonatation, chlorure...), du niveau de propagation de la corrosion, des caractéristiques du béton et des agressions du milieu environnant. La pérennité de la réparation suppose une réalisation soignée et des contrôles réguliers tout au long de la vie de l'ouvrage. La technique la plus utilisée est la mise en œuvre d'inhibiteurs de corrosion depuis la surface du béton.

Les inhibiteurs de corrosion sont appliqués à la surface des bétons à traiter. Ils vont migrer dans la zone d'enrobage vers les armatures assurant ainsi leur protection contre la corrosion en abaissant la vitesse de corrosion de l'acier. L'inhibiteur est appliqué directement sur la

surface du béton après préparation du support (enlèvement de la laitance, des salissures, des revêtements éventuels...) par pulvérisation sous forme liquide en plusieurs passes ou par application directe sous forme gélifiée sur la surface. Il pénètre dans le béton par capillarité. Cette technique permet de protéger les armatures de la corrosion sans avoir à purger le béton carbonaté et donc en conservant l'aspect initial du parement de l'ouvrage. La pénétration des inhibiteurs au sein du béton dépend de nombreux paramètres dont la porosité du béton, le degré d'humidité, le niveau de carbonatation, la teneur en chlorures... La technique fonctionne sous réserve d'une teneur limitée en chlorures dans le béton et fonctionne d'autant mieux pour les armatures faiblement enrobées. Souvent le traitement doit être complété par la mise en œuvre d'un revêtement de protection. [21]

I.5.2. Réparation des ouvrages en béton armé dégradés (traitement de la fissuration):

Il existe 5 principales techniques de traitement des fissures indépendamment de la cause (pathologie incriminée). Le choix de la technique adaptée est fonction des caractéristiques de la fissuration: ouverture (microfissures, fissures fines, fissures moyennes...), profondeur, activité (fissures ouvertes, fermées, mortes, actives...), tracé, géométrie, exposition aux intempéries (fissures sèches, humides, saturées, ruisselantes...), présence d'eau libre ou sous pression de l'état et du type de support et des délais imposé pour la remise en service de l'ouvrage.

I.5.2.1. Injection

Elle consiste à faire pénétrer dans la fissure un produit qui va créer une continuité mécanique et/ou une étanchéité entre les parties disjointes. Elle s'applique à des fissures dont l'ouverture est au moins comprise entre 0,1 et 0,2mm. L'injection par un produit souple permet son adaptation aux mouvements générés par les variations thermiques et hygrothermiques. L'injection par un produit rigide permet d'assurer la continuité de la matière.



Figure I.8 : Injection des fissures au pont de Châlons-en-Champagne. [22]

I.5.2.2. Cachetage

Il a pour but d'obturer provisoirement une fissure pendant l'injection afin de contenir le liquide injecté dans la fissure jusqu'à sa prise.



Figure I.9 : fissure en cours de cachetage. [22]

I.5.2.3. Calfeutrement:

Il a pour objectif de colmater définitivement et en profondeur une fissure au moyen d'un produit souple (mastic ou mortier déposé dans une engravure créée le long de la fissure) afin de rétablir une étanchéité à l'air ou à l'eau ou d'empêcher la pénétration de matières solides, mais sans bloquer les mouvements de la fissure.



Figure I.10 : calfeutrement de fissures à l'aide d'un mortier à base de liants hydrauliques. [17]

I.5.2.4. Pontage

Il est destiné à recouvrir une fissure au moyen d'un produit souple adhérent à la surface du support (revêtement, feuille préfabriquée...) afin de rétablir une étanchéité à l'air ou à l'eau ou empêcher la pénétration de matières solides en laissant libres les mouvements de la fissure.

I.5.2.5. Protection généralisée :

Ce traitement consiste à mettre en œuvre sur la surface de la structure fissurée un revêtement qui ferme les fissures. Il est applicable lors que la fissuration est anarchique et concerne l'ensemble du support. [22], [23]

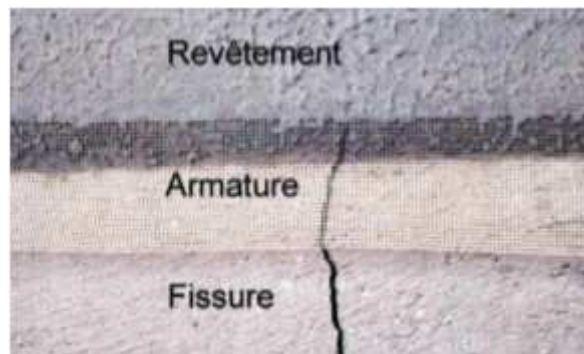


Figure I.11 : Pontage d'une fissure avec incorporation d'une armature. [17]

I.6. Réparation du béton armé dégradé au moyen de matériaux composites :

Il y a de différents types de matériaux composites sont disponibles sur le marché. Les matériaux synthétiques à base de verre et de carbone, naturelles à base de lin, sisal et le jute, minéraux à base d'acier et inox et métalliques à base de basalte. Les matériaux se présentent sous les formes suivantes : linéique (file, mèches), tissus surfaciques (tissus, mats), multidirectionnelle (tissus complexes, tissage tridirectionnel ou plus).

Synthèse bibliographique

Ces matériaux sont plus faciles à stocker et à manier. Ils sont plus résistants à la corrosion et aux attaques chimiques et améliorent les propriétés mécaniques de la structure.

Il y a aussi des produits commerciaux et les plus utilisés ici chez nous en Algérie c'est ceux de la sika et le granitex notamment le carbodur, sikawrap et les résine medapoxy.

I.6.1. Renforcement des poteaux

L'utilisation d'une enveloppe formée de feuilles de PRF (polymères renforcé de fibres) autour de la colonne permet non seulement d'assurer une protection supplémentaire mais aussi d'améliorer la résistance en compression par l'effet du confinement produit par les fibres du composite en plus d'une augmentation de ductilité très significative comparativement à la colonne sans composite. [13]



Figure I.12 : Confinement des colonnes (cylindrique et carré par composites). [24]

I.6.2. Renforcement des poutres

On peut effectuer un renforcement en flexion en collant les bandes sur la surface tendue de la poutre et le renforcement en cisaillement peut être apporté par le collage des bandes sur les parois de ces mêmes poutres. [13]

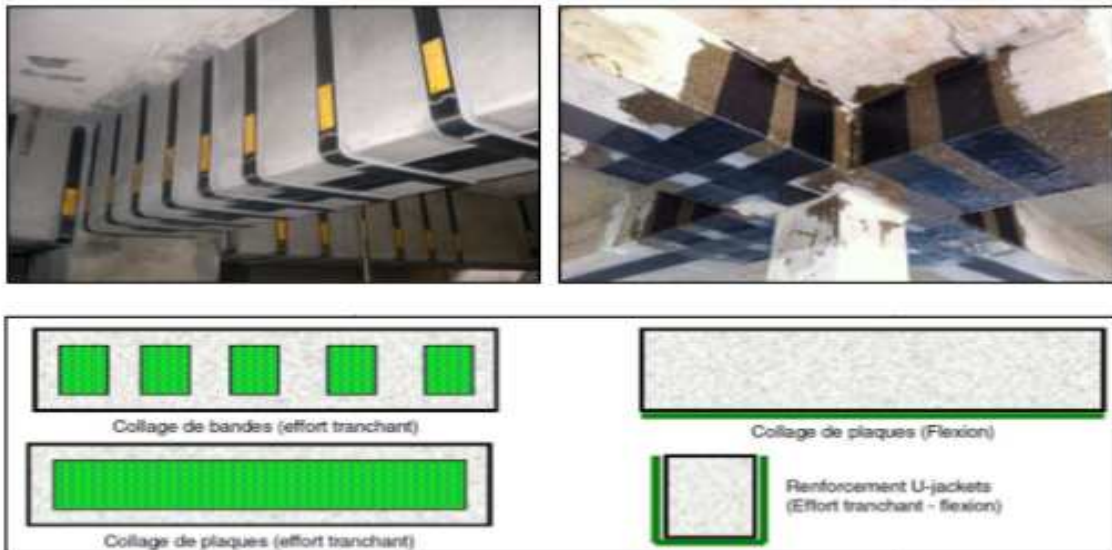


Figure I.13 : Différentes techniques de renforcement des poutres en béton armé. [24]

I.6.3. Renforcement des dalles

L'utilisation de composites en bandes peut aussi améliorer la résistance en flexion des dalles en béton armé. [13]



Figure I.14 : Renforcement des dalles en béton armé. [24]

I.7. Conclusion

Nous avons traité dans cette synthèse bibliographique les différents types du béton ainsi que leurs applications et les différentes dégradations ainsi les techniques de réparation des structures en béton. Une des techniques la plus fréquente est le renforcement de structure par matériaux composites. L'objet des chapitres suivants est l'étude de ce type renforcement par matériaux composites sur éprouvettes en béton notamment en utilisant deux types de tissus différents afin d'une part d'en caractériser leurs différences et d'autre part de jauger leur contribution au renforcement structural.

Matériaux et procédures

II.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter toute la démarche expérimentale faite au niveau du laboratoire de génie civil de l'université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou.

Le but recherché est l'étude du comportement mécanique d'un béton confinée en surface d'une part, ainsi que développer et comparer les techniques de renforcement des poutres en béton d'autre part. Cela par le biais d'essais en flexion 3 point et 4 point sur prismes de béton renforcés par du tissu en fibre de verre et de jute collé à l'aide d'une résine. A posteriori, des mesures de résistances mécaniques à la rupture sont effectuées puis étudié.

II.2. Présentation des matériaux utilisés

II.2.1. Constituants du béton

II.2.1.1. Ciment

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire capable de faire prise dans l'eau. Le ciment issu de la calcination du calcaire et de l'argile, fait partie des principaux composants du béton, liant ses différents constituants entre eux, et lui conférant certaines caractéristiques essentielles notamment sa résistance. [25] [26]

La composition du ciment peut varier en fonction des différents types de besoins, ce qui le divise en plusieurs catégories :

- Le CEM I (ciment Portland ordinaire) est un ciment adapté pour la conception de béton armé ou précontraint car il offre un niveau de résistance élevé ;
- Les CEM II A ou B (ciment Portland composé) ont pour particularité d'être très maniables. Ils sont donc utilisés dans les travaux d'usage courant tels que pour les chapes traditionnelles ou bien pour les enduits simples ;
- Les CEM III A, B ou C (ciment de haut-fourneau) sont adaptés à des environnements difficiles, ils sont préconisés pour les bétons durables ;
- Les CEM IV A ou B (ciment de type pouzzolanique) sont également adaptés à un milieu agressif, idéals pour des structures hydrauliques ;
- Les CEM V A ou B (ciment composé) ont des propriétés physiques équivalentes au CEM III mais pas les mêmes constituants. [26]

Un seul type de ciment a été utilisé pour la confection du béton de nos différents spécimens. Il s'agit du ciment portland de type CPJ-CEMII/B 42.5 N.

II.2.1.2. L'eau de gâchage

L'eau de gâchage est un élément indispensable lors de la conception du béton. Elle permet d'hydrater le ciment, ce qui libère ses propriétés liantes, et rend également plus facile la mise en œuvre du béton. L'eau utilisée doit être propre et sans impuretés. Il faut prendre garde à ne pas l'ajouter avec excès sous risque d'altérer les performances du béton, en effet, cela contribue à diminuer sa résistance et sa durabilité. [26]

L'eau de gâchage utilisée est l'eau du robinet.

II.2.1.3. Les granulats

Les granulats d'origine naturelle ou artificielle sont des grains minéraux de dimensions comprises entre 0 et 125 mm. En tant que principaux composants du béton, ils lui transmettent ses caractéristiques techniques notamment sa résistance. Le choix du type de granulat utilisé aura une influence sur la durabilité du béton. [26]

D'après le tableau (II.1) nous pouvons distinguer différentes sortes de granulats : les fillers, les sables et les graviers sur la base de leur diamètre maximal.

Le tableau (II.1) : représente les différentes sortes de granulats.

Types	Dimensions	Caractéristiques
Fillers	0/D	$D < 2\text{mm}$
Sables	0/D	$D \leq 6.3\text{mm}$
Gravier	0/D	$D \geq 8\text{mm}$

II.2.2. Constituants du renfort**II.2.2.1. Le tissu en fibre de verre****L'élaboration des fibres de verre**

Les fibres de verre sont élaborées par fibrage du verre fondu à travers des filières, sortes de bacs réalisés en alliage, et percés à leurs bases d'orifices calibrés d'environ 2mm de diamètre. Le verre fondu est maintenu dans les filières chauffées aux environs de 1250°C. A

cette température, la viscosité du verre permet un écoulement par gravitation à travers les orifices, sous forme de fibres de quelques dixièmes de millimètres. A la sortie de la filière, le verre en phase plastique est simultanément étiré à grande vitesse et refroidi, les fibres de verre sont réparties en trois qualités :

- Fibres E pour les composites grandes diffusions (GD) ;
- Fibres D pour les applications dans le domaine électrique;
- Fibres R pour les composites hautes performances (HP). [27], [28]

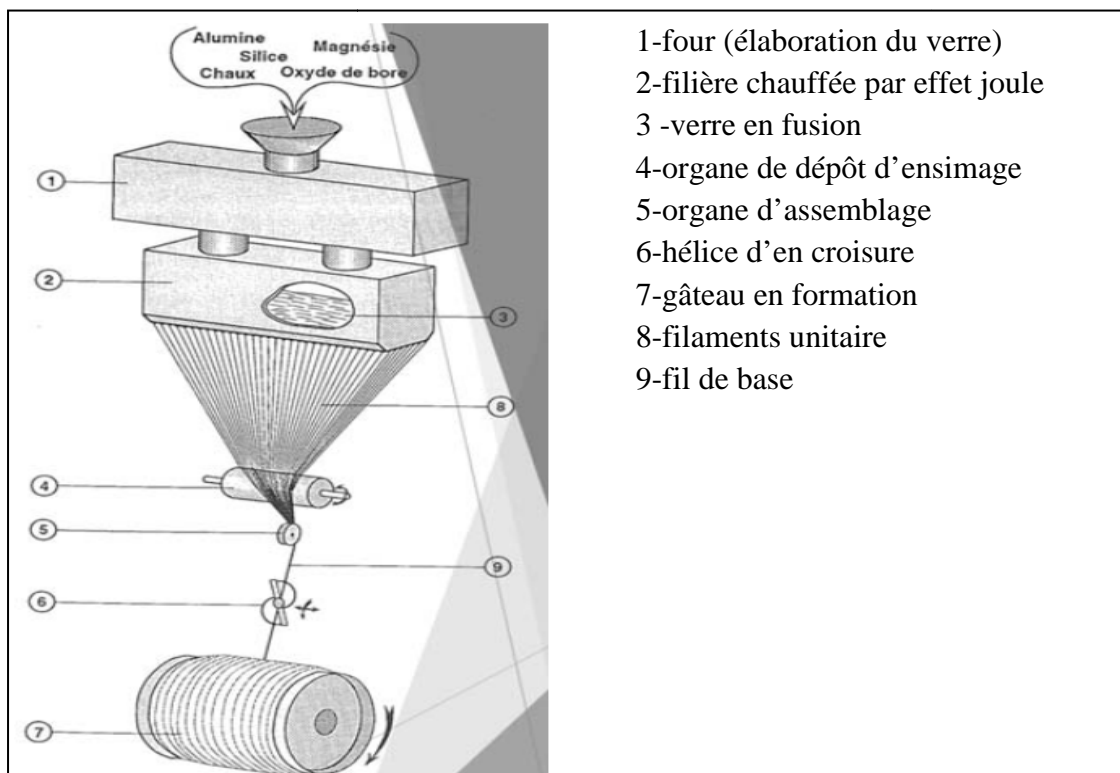


Figure II.1 : Elaboration de la fibre de verre. [29]

Les propriétés mécaniques

Il est intéressant de noter que les fibres de verre, conservent leurs caractéristiques mécaniques jusqu'à des températures assez élevées, de l'ordre de 200°C pour le verre de type E, et de 250°C pour le verre de type R. Ces fibres sont donc bien adaptées pour le renforcement des résines à tenue thermique élevée. [27]

Le tableau (II.2) représente les caractéristiques mécaniques des verres type E et R

Tableau II.2: caractéristiques mécaniques des verres type E et R. [27]

Caractéristique	Verre type E	Verre type R
Masse volumique ρ (kg/m ³)	2600	2550
Module d' Young E_f (N/mm ²)	73000	86000
Contrainte à la rupture σ_{fu} (N/mm ²)	3400	4400
Allongement à la rupture ε_{fu} (%)	44	52

Nous avons utilisé, dans le cadre de nos expériences, un tissu de renforcement de structures, à base de fibres de verre, tissé de façon bidirectionnelle ayant une couleur blanche. (**figure II.2**)

**Figure II.2 :** Tissu en fibre de verre.

II.2.2.2. Le tissu en fibre de jute

Le jute est une plante arbustive de 2 à 4 m de haut à tige rigide et fibreuse de 2 cm de diamètre environ, ramifiée seulement dans la partie supérieure. Le jute est principalement cultivé en Asie, le Bangladesh et l'Inde étant les deux plus gros pays producteurs. Un climat caractérisé par des pluies abondantes et de la chaleur, crée les conditions idéales pour la croissance du jute. Les fibres de jute sont aujourd'hui redécouvertes et valorisées pour des applications dans l'industrie de la construction notamment dans ce que l'on nomme les matériaux composites. Le jute présente toutes sortes d'applications notamment dans le renforcement et jouit d'une disponibilité importante qui en fait la fibre naturelle la plus utilisée sur le marché mondial après le coton. [30]



Figure II.3 : Fibres de jute. [30]



Figure II.4 : Tissu en fibre de jute.

Les propriétés mécaniques des fibres de jute sont montrées ci-dessous **tableau (II.3)**.

Tableau II.3 : caractéristiques mécaniques de jute. [30]

Propriétés mécaniques	Jute
masse volumique g/cm^3	1.3-1.5
module de Young (GPa)	30
résistance à la traction (MPa)	500

II.2.2.3. La résine

La résine MEDAPOXY STR a été utilisée pour le renforcement par le tissu de fibre de jute (RFJ) et de verre (RFV). Il s'agit d'une résine organique de type époxyde. Elle est obtenue en mélangeant la résine (A) avec une proportion de 2/3 en masse de durcisseur (B). Le mélange est effectué pendant une durée d'environ 3 minutes lentement afin d'éviter l'inclusion de bulles d'air. Le mélange obtenu est homogène en termes de texture et sa couleur est transparente. Lors de l'utilisation, les supports bétons doivent être préalablement préparés, l'humidité relative de l'air doit être inférieure à 80% et il ne faut pas l'appliquer lorsque la température ambiante ou celle du support est inférieure à 10⁰C ou supérieure à 30⁰C. [31]

Les résines époxydiques sont utilisées sur les structures, cet intérêt découle de leurs propriétés spécifiques qui sont :

- Très bonne tenue aux agents chimiques ;
- Très bonne adhérence sur supports béton et acier ;
- Bonne mouillabilité du support et des fibres de verre ;
- Faible retrait ;

- Bonne tenue mécanique, dont la résistance à la fatigue ;
- Forte adhésion au renfort ;
- Une bonne tenue aux températures élevées. [32]

Le tableau (II.4) présente les caractéristiques de la résine MEDAPOXY STR

Tableau II.4 : Caractéristiques de la résine MEDAPOXY STR. [31]

Paramètres	Valeurs
Densité (ISO 758)	1.1 ±0.05 (kg/m ³)
Viscosité (NF T76-102)	11000 (MPa) 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



Figure II.5 : Les deux Composants de la matrice (durcisseur et résine).

II.3. Malaxage et mise en œuvre du béton

II.3.1. Préparation des matériaux

Pour la confection du béton, nous avons tamisé les différents diamètres des granulats afin d'obtenir des portions de : Sable 0/0,315, Sable 0,315/1, Sable 1/4, Sable 2/4, Granulat 4/8 et Granulat 8/12,5. Cette granulométrie correspond à celle utilisée dans le cadre du projet GranDuBé.

Ces granulats après tamisage sont lavés puis séchés à l'étuve à une température de 105°C. (figure II.6 et II.7)



Figure II.6 : Les granulats tamisés et lavés.



Figure II.7 : Séchage des granulats en étuve.

Par la suite, ils ont été mis en sac pour éviter une subséquente humidification et stockés au laboratoire pour leur utilisation future.

Les différentes portions granulaires du béton sont illustrées dans la figure (II.8).



Figure II.8 : Les constituants du squelette granulaire.

II.3.2. Composition du béton à confectionner:

Comme cela été mentionné, la formulation de béton adoptée fut celle mis au point lors du projet GranDuBé, elle se caractérise par un dosage en ciment de 410 kg/m³ et un rapport E/C de 0,48. Cette formulation est présentée exhaustivement dans le tableau (II.5).

Tableau II.5 : Composition des bétons étudiés. [33]

Ciment	Eau	Sable 0/0,315	Sable 0,315/1	Sable 1/4	Sable 2/4	Granulat 4/8	Granulat 8/12,5
410 kg	197 kg	93.5 kg	174 kg	184 kg	196 kg	188 kg	878 kg

II.3.3. Confection de béton et préparation des éprouvettes

II.3.3.1. Moules prismatiques

On a utilisé deux types des moules métalliques prismatique : les (7x7x28) cm³ et les (10x10x40) cm³ (figure II.9) ayant un élancement de 4, ce sont des moules rigides et indéformables même sous vibration. Ces éléments de coffrage doivent tout d'abord être nettoyés pour éliminer tout ce qui peut constituer une source de salissure et les huiler par une huile de décoffrage non réactive au liant pour éviter l'adhésion du béton à la paroi et l'endommagement de celui-ci lors du décoffrage.

Tableau II.6 : volume de chaque type éprouvette.

Dimension de l'éprouvette en (cm)	Volume en m ³
7x7x28	0.0013
10x10x40	0.004

Le tableau (II.7) résume le calcul des proportions de chaque constituant pour toutes les éprouvettes prismatiques 27 de (7x7x28) cm³ et 27 de (10x10x40) cm³ :

Tableau II.7 : Quantités de matériau par type d'éprouvette.

	Ciment	Eau	Sable 0/0,315	Sable 0,315/1	Sable 1/4	Sable 2/4	Granulat 4/8	Granulat 8/12,5
1 Ep (10x10x40)	1.968	0.9456	0.4488	0.8352	0.8832	0.9408	0.9024	4.2144
1 Ep (7x7x28)	0.6396	0.3073	0.14586	0.27144	0.2870	0.305	0.2932	1.3696
Volume total	71 kg	34 kg	17 kg	30 kg	32 kg	34 kg	33 kg	151 kg

**Figure II.9 :** les deux types des moules utilisés.

Avant l'introduction du béton dans le moule de la poutre, nous avons effectué un contrôle d'affaissement en utilisant un cône d'Abrams

Essai d'affaissement au cône d'Abrams [35]

L'essai d'affaissement au cône d'Abrams est un essai réalisé sur le béton ordinaire frais peu fluide pour déterminer sa consistance (NFP 18-451).

La consistance d'un béton est un facteur important. Elle conditionne la facilité de mise en place du béton dans le coffrage, elle est influencée par aussi bien le dosage en ciment que par la teneur en eau du béton.

Le matériel nécessaire à ce test est composé de :

- Une plaque en acier à surface rigide et non-absorbante ;
- Le cône d'Abrams qui est un cône en acier. Il a un diamètre intérieur à sa base de 200 mm, un diamètre intérieur à son sommet de 100 mm et une hauteur de 300 mm;
- Une tige d'acier lisse de diamètre 16 mm et à extrémité arrondie.

L'essai se déroule en suivant les étapes suivantes : (**figure II.10**)

- Le cône d'Abrams est placé puis fixé sur la plaque ;
- Le cône est rempli avec du béton frais en trois fois. À chaque fois, chaque couche est piquée par 20 coups à l'aide de la tige ;
- Le cône est arasé avec une règle ;
- Le cône est levé immédiatement, verticalement et doucement en le tournant un peu pour le démouler ;
- L'affaissement du béton frais est mesuré.



Figure II.10 : Les étapes l'essai d'affaissement au cône d'Abrams.

Nous avons obtenu un affaissement égal à 3cm qui nous permet de classifier le béton comme un béton ferme.

II.3.3.2. Coulage du béton

Après avoir préparé le matériel nécessaire (balance, récipients, spatules, truelles). Le ciment et les granulats sont pesés et pris selon les proportions citées précédemment. Le mélange de ces constituants a été fait dans un malaxeur à béton (**figure II.11a**).

Les constituants sont introduits dans l'ordre suivant : granulats, liant, sable. Après un malaxage à sec de l'ordre de 1 min, ajouter l'eau de gâchage et poursuivre le malaxage pendant 2 min (**figure II.11b**).

Les éprouvettes de béton préparées. Le coulage des éprouvettes s'est fait ensuite en quatre jours au total, et chaque éprouvette a été coulée en deux étapes, à la première étape nous avons rempli l'éprouvette juste à la moitié (**figure II.11c**) et à la deuxième étape on a rempli toute l'éprouvette.

Le béton est compacté à chaque étape par vibration sur une table vibrante d'un temps de vibration de 10 secondes au total (2 x 5 secondes) puisque s'il est trop court, le béton serait insuffisamment vibré et s'il est au contraire très long, il peut entraîner une ségrégation des granulats et un ressuage de la laitance (pâte de ciment) (**figure II.11d**).

Après vibration, l'arasement des surfaces des éprouvettes a été effectué à l'aide d'une règle (**figure II.12**) pour avoir une surface lisse et plane, cette étape est indispensable pour nos essais.

L'arasement terminé, les éprouvettes sont ensuite conservées dans le laboratoire pendant 24 heures avant leur démoulage, un film de cellophane a été utilisé afin d'éviter l'évaporation de l'eau des éprouvettes.



Figure II.11 : Confection du béton, compactage et vibration des éprouvettes.

1ère opération
arasement de dégrossissage
(règle sur le plat d'un biseau)



2ème opération
arasement terminal
(règle à plat sur le dos)

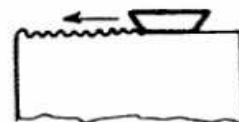


Figure II.12 : Schéma d'un arasement de dégrossissage et arasement terminal. [34]

Les prismes ont été décoffrés 24 heures donc après leur coulage et avec soin pour ne pas endommager le béton (**figure II.13**). La conservation après démoulage s'est fait à une température de $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$, dans l'eau au niveau du laboratoire. Nos éprouvettes déposées dans ces bacs d'eau (**figure II.14**) après le démoulage y subiront une cure d'hydratation jusqu'au mûrissement du béton à 28 jours.



Figure II.13 : Démoulage des éprouvettes.



Figure II.14 : Cure d'hydratation des éprouvettes en béton.

II.4. Malaxage et mise en œuvre de la surface

II.4.1. Traitement des surfaces

Les éprouvettes devant être confinées avec le composite sont retirées de l'eau 24 heures avant l'opération, pour subir un traitement des surfaces. En effet, le support c'est à dire le béton doit être sec, propre et débarrassé des parties non adhérentes. Toute trace d'huiles, graisses ou autres souillures doivent être éliminées, un nettoyage soigneux et un dépoussiérage avant l'application de la résine a été effectuée.

II.4.2. Collage des tissus sur les éprouvettes

Le tissu de renforcement (fibres de verre et fibres de jute) a été mesuré ensuite découpées à l'aide des ciseaux, le confinement a consisté en deux bandes dimensions différentes, selon les éprouvette $(7 \times 7 \times 28) \text{ cm}^3$ ou $(10 \times 10 \times 40) \text{ cm}^3$, telles que montrées sur la figure (II.16), ce confinement a pour but de montrer l'apport en résistance de ces tissus par rapport à des éprouvettes témoins qui elle, ne sont pas confinées.

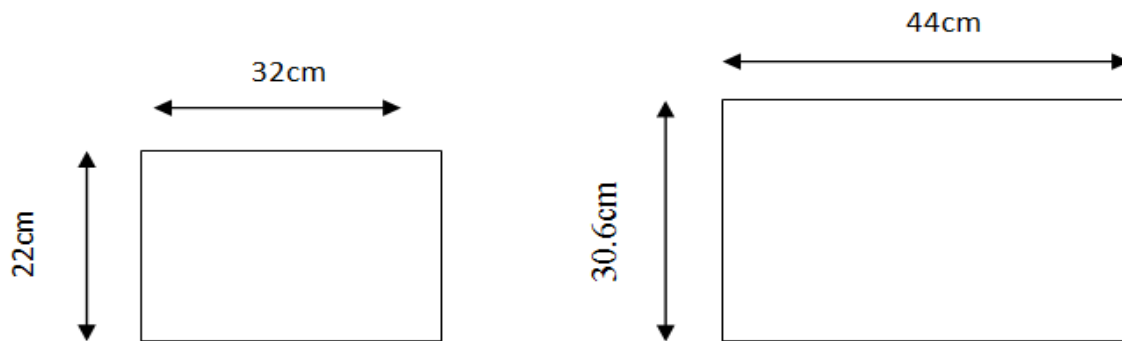


Figure II.15 : Schéma descriptif des dimensions des bandes de tissu de fibres de verre et de jute utilisées sur les 2 types d'éprouvettes.

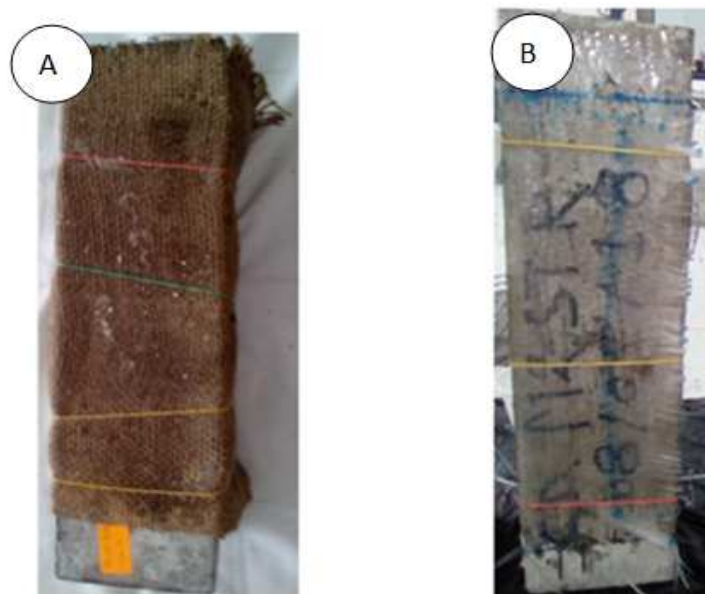


Figure II.16 : A- Eprouvette confinée par RFJ, B- Eprouvette confinée par RFV.

La mise en place du confinement s'est effectuée comme suit :

- Application d'une couche de résine à la surface du béton à confiner ;
- Collage du tissu de fibres de verre ou de jute selon le cas sur la résine ;
- Séchage pendant environ une heure à température ambiante du tissu ;
- Application d'une deuxième couche de résine autour du tissu ;
- Mise en place des éprouvettes dans une étuve réglée à une température de 40°C pendant 24 heures.

Après 24h, les éprouvettes sont retirées de l'étuve puis placés dans une presse hydraulique pour subir le test de résistance mécanique.

II.5. Procédures des essais sur le béton

Essai de flexion [36]

Dans cet essai, la machine de flexion utilisée est de type IBERTEST pilotée par un ordinateur (**figure II.17**). Sa capacité maximale est de 200 KN. La vitesse de chargement est de 0.05KN/S jusqu'à la rupture.



Figure II.17 : Presse utilisée pour les essais en flexion 3 points et 4 points.

A. Essai de flexion à trois points

Les prismes de dimensions (7x7x28) cm³ et (10x10x40) cm³ de béton non armé, d'un élancement de 4, reposant sur deux appuis (**figure II.18**), ont été soumis à un effort de flexion par application d'une charge concentrée unique appliquée au milieu de l'éprouvette (moment maximal au centre). La charge étant placée au centre du prisme, l'essai est dit « **Flexion à trois points** » selon la norme **NF.P 18-407** de 1981.

Dans cet essai, la rupture se produit lorsque la capacité maximale de résistance à la traction du béton dans la fibre inférieure, immédiatement sous le point de chargement, est atteinte.

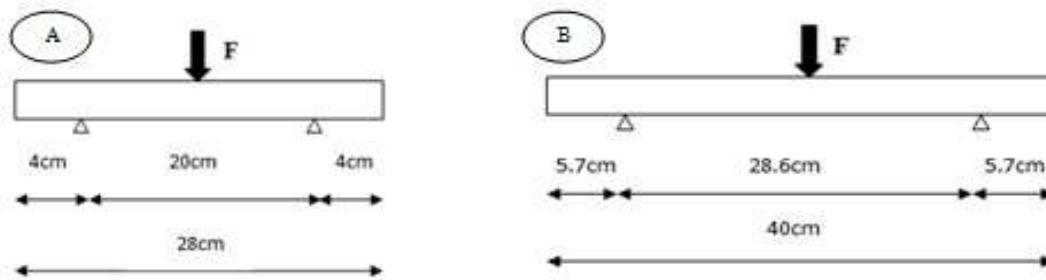


Figure II.18 : schéma descriptif des essais en flexion 3 points.

La figure (figure II.19) montre les essais de flexion 3 points effectués au laboratoire



(A)

(B)

Figure II.19 : A-Essai de flexion 3 pts sur éprouvette confinée avec RFV,
B-Essai de flexion 3 pts sur éprouvette confinée avec RFJ.

B. Essai de flexion à quatre points

Des prismes de dimensions $(7 \times 7 \times 28) \text{ cm}^3$ et $(10 \times 10 \times 40) \text{ cm}^3$ de béton non armé, d'un élancement 4, reposant sur deux appuis, ont été soumis à un effort de flexion par application de deux charges concentrées, symétriques, égales en intensité, appliquées à des dimensions différentes de la norme **NF.P 18-407**, la norme préconisant de placer les charges à $1/3$ et $2/3$ respectivement de la distance entre appuis. Les points d'applications de la charge étant placés comme schématisés dans la (figure II.20), l'essai est dit « flexion quatre points » (figure II.21)

Dans cet essai de chargement de flexion quatre points, la contrainte maximale se développe tout au long de la partie centrale entre les deux points d'application des charges.

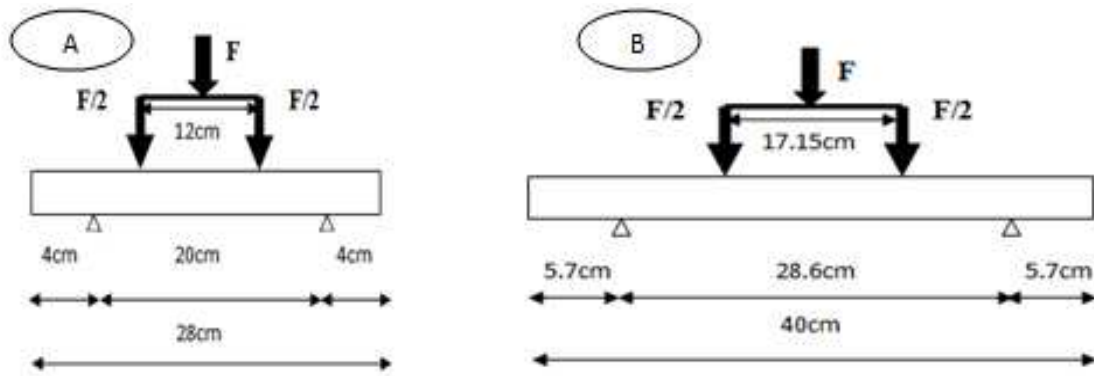


Figure II.20 : schéma descriptif des essais en flexion 4 points.



Figure II.21 : A-Essai de flexion 4 pts sur éprouvette confinée avec RFV,
B-Essai de flexion 4 pts sur éprouvette confinée avec RFJ.

II.6. Conclusion

Dans ce deuxième chapitre, on a présenté toutes les procédures suivies lors du travail expérimental, en commençant tout d'abord par la description des matériaux utilisés avec leurs caractéristiques, la méthodologie de coulage du béton et de collage des tissus de renfort, pour finir par la description de la procédure de casse par presse hydraulique.

Deux types d'éprouvettes prismatiques ont été utilisées pour déterminer la résistance caractéristique du béton à 28 jours en flexion trois points et en quatre points, ce sont les éprouvettes prismatiques de dimension $(10 \times 10 \times 40) \text{ cm}^3$ et de dimensions $(7 \times 7 \times 28) \text{ cm}^3$.

Le but de cette étude expérimentale a été de mesurer la résistance mécanique des éprouvettes ainsi que d'étudier la possibilité de remplacer les fibres synthétiques de verre par des fibres naturelles de jute. Les résultats des différents essais de flexion sont l'objet du chapitre suivant.

Résultats et discussions

III.1. Introduction

Ce chapitre présente les résultats obtenus à partir des essais réalisés sur le à l'état durcis, ainsi que leurs interprétations, cela nous permettra d'évaluer l'amélioration des caractéristiques mécaniques par la technique du confinement par le tissu en fibres de verre RFV et de jute RFJ de l'élément testé par rapport à l'élément non confiné c'est-à-dire du béton seul.

III.2. Résultats des essais de flexion trois (03) points

Nous présentons les différents résultats expérimentaux obtenus. Nous rappelons que deux types d'éprouvette ont été réalisés avec un élancement c'est-à-dire le rapport hauteur sur le diamètre est de 4.

III.2.1. Essais sur des éprouvettes (7x7x28) cm³

Les prismes ont été renforcés par le collage de tissu en fibres de verre et de jute sur toute la surface latérale entre appuis.

Les figures (III.1), (III.2) et (III.3) représentent les modes de rupture des éprouvettes testées. Ce que nous pouvons constater est que lors du test de flexion 3 points, l'éprouvette confinée présente une certaine tenue par rapport à celle non confinée c'est-à-dire que les morceaux de bétons sont maintenus entre eux même après rupture par le biais du tissu composite, il n'y a donc pas d'effritement. On peut observer aussi que y'a un décollement du composite de la paroi de l'éprouvette pour celles confinées en certains endroit du fait de glissement entre les deux matériaux de modules d'élasticité différents.



Figure III.1 : Rupture de l'éprouvette en béton témoin.



Figure III.2 : Rupture de l'éprouvette confinée avec RFV.



Figure III.3 : Rupture de l'éprouvette confinée avec RFJ.

- Pour mieux comprendre le comportement mécanique des éprouvettes jusqu'à la rupture en flexion trois (03) points des courbes « force-déplacement » c'est-à-dire « Force-Flèche » ont été mise au point à partir des données fournies par la presse et elles sont présentées sur la figure (III.4).

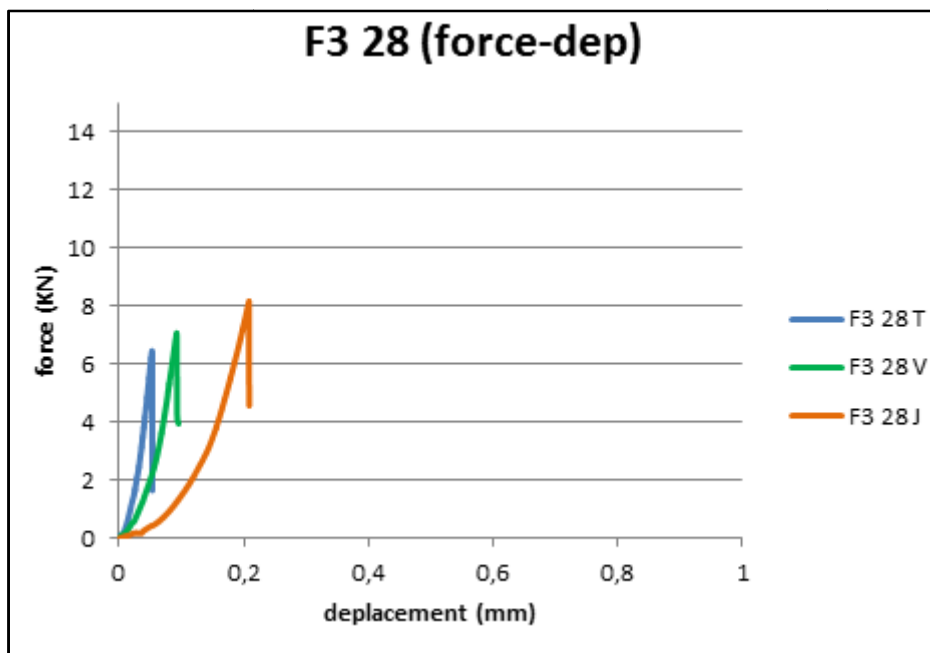


Figure III.4 : Les courbes de l'évolution de la force en fonction de la flèche pour les poutres (7x7x28) cm³.

>> La figure (III.4) montre les courbes «Force-Flèche» en flexion trois points de la poutre (prisme) de référence « F3 28 T », de la poutre renforcée par le tissu en fibre de verre « F3 28 V » et de la poutre renforcée par le tissu en fibre de jute « F3 28 V ». Sur les trois types d'éprouvettes étudiées, nous avons constaté que l'éprouvette la plus déformable et la plus résistante est l'éprouvette renforcée par jute atteignant un déplacement sous charge de 0,21 mm pour une force de 8,2 KN représentant une augmentation en déformation de 320% comparativement au témoin (0,05 mm) et 27,1 % en force maximale de rupture du témoin (6,45KN). La fibre de verre présente une amélioration du comportement moyenne, de l'ordre de 9,6 % (7,07 KN) en force ultime de rupture et une déformation maximale de 80 % (0,09mm).

III.2.2. Essais sur des éprouvettes (10x10x40) cm³

Comme dans le cas des éprouvettes (7x7x28) cm³, les prismes ont été renforcés par le même type de collage de tissu en fibre de verre et de jute sur l'ensemble de la surface latérale.

Les figures (III.5), (III.6) et (III.7) montrent les observations effectuées à l'issue de la rupture des éprouvettes testées. Ce que nous pouvons constater est que lors du test, l'éprouvette confinée présente un maintien du moins d'apparence des éprouvettes par rapport à celle non confinée c'est-à-dire que les morceaux de bétons sont maintenus entre eux même après rupture par le tissu composite. Nous retrouvons aussi la même observation que pour les éprouvettes de dimensions (7x7x28) cm³. Vis-à-vis du décollement du composite de la paroi du béton, en effet en certains endroits, un décollement s'effectue du fait de caractéristiques inhérentes aux matériaux différentes notamment le module d'élasticité c'est-à-dire une déformabilité sous une même charge différente. Cela produit un gradient de déformation entre les deux matériaux menant à une rupture de l'interface.



Figure III.5 : Rupture de l'éprouvette en béton témoin.



Figure III.6 : Rupture de l'éprouvette confinée avec RFV.

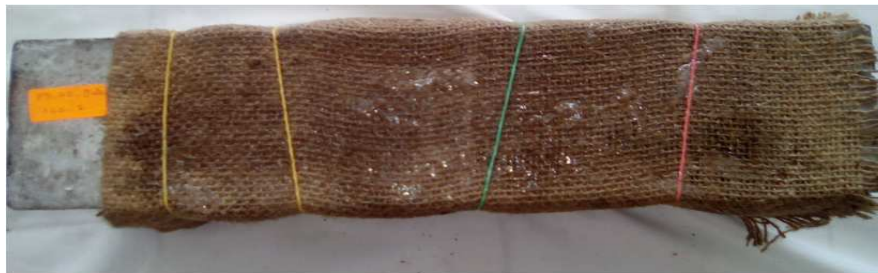


Figure III.7 : Rupture de l'éprouvette confinée avec RFJ.

- Pour mieux comprendre le comportement mécanique de ces éprouvettes à la rupture en flexion trois (03) points, des courbes Force-Flèche ont aussi été mise au point à partir des données fournies par la presse hydraulique et elles sont présentées sur la figure (III.8).

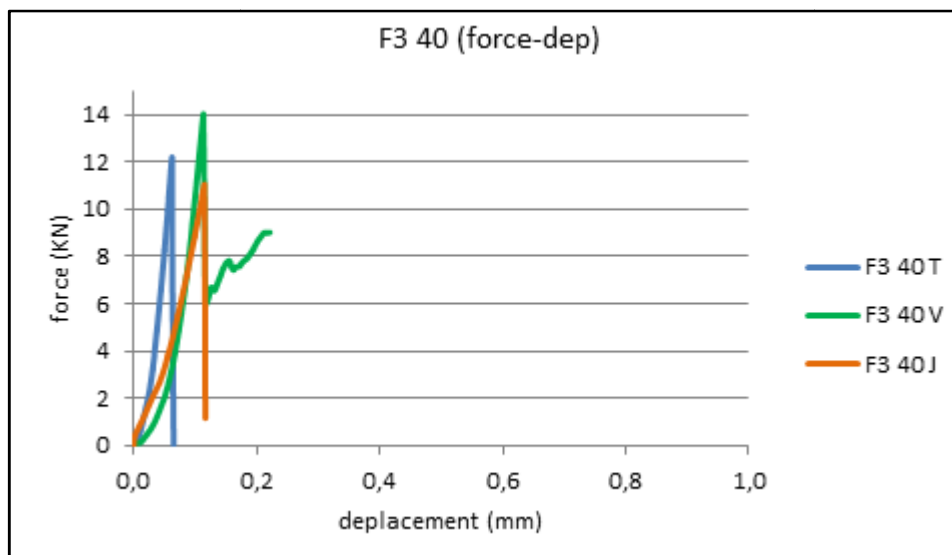


Figure III.8 : Les courbes de l'évolution de la force en fonction de la flèche pour les poutres (10x10x40) cm³.

>> La figure (III.8) montre les courbes «Force-Flèche» en flexion trois points de la poutre (prisme) de référence « F3 40 T », de la poutre renforcée par le tissu en fibre de verre « F3 40 V » et de la poutre renforcée par le tissu en fibre de jute « F3 40 V ». Sur les trois types d'éprouvettes étudiées, nous avons constaté que l'éprouvette la plus déformable est l'éprouvette renforcée par jute atteignant un déplacement sous charge de 0,11 mm pour une force de 11,05 KN, cette valeur de chargement est comme dans les observations précédentes faites sur les $7 \times 7 \times 28 \text{ cm}^3$ la moins élevée comparativement aux autres éprouvettes testées. Bien que la baisse de la force maximale de rupture soit de 9,5% par rapport à l'éprouvette témoin (12,2 KN), la déformabilité représente une augmentation de +83,3% par rapport au témoin (0,06 mm). Le renforcement par fibres de verre, représente dans ce cas de figure, le renforcement le plus intéressant, effectivement, la force maximale de rupture supportée est de l'ordre de 14,3 KN (la plus élevée de toutes) soit 17,2 % d'amélioration pour un déplacement max de 0,11 mm soit 83,3% d'amélioration c'est-à-dire du même ordre que l'éprouvette de jute.

III.3. Résultats des essais de flexion quatre (04) points

Dans cette partie, nous présentons les différents résultats expérimentaux obtenus lors d'essais de flexion 4 points. Nous rappelons que les deux types d'éprouvette confectionnées sont les mêmes que celles réalisés pour la flexion 3 points.

III.3.1. Essais sur des éprouvettes ($7 \times 7 \times 28$) cm^3

Les poutres ont été renforcées par le collage de tissu en fibre de verre et de jute sur toute la surface latérale (entre appuis).

Les figures (III.9), (III.10) et (III.11) représentent les observations post-rupture des éprouvettes testées.

Ce que nous pouvons constater est que lors de l'écrasement, de même que lors de l'essai de flexion 3 points, l'ajout de tissu de renforcement aide à maintenir les morceaux de béton entre eux, le tissu étant juste déchiré en certains endroits et n'ayant pas rompu totalement, dû fait de son collage au béton, il permet de maintenir les bouts de béton entre eux.



Figure III.9 : Rupture de l'éprouvette en béton témoin.



Figure III.10 : Rupture de l'éprouvette confinée avec RFV.



Figure III.11 : Rupture de l'éprouvette confinée avec RFJ.

- Afin de comprendre le comportement mécanique de ces éprouvettes à la rupture en flexion quatre points, des courbes Force-Flèche ont aussi été analysés comme dans les sections précédentes du chapitre et elles sont présentées sur la figure (III.12).

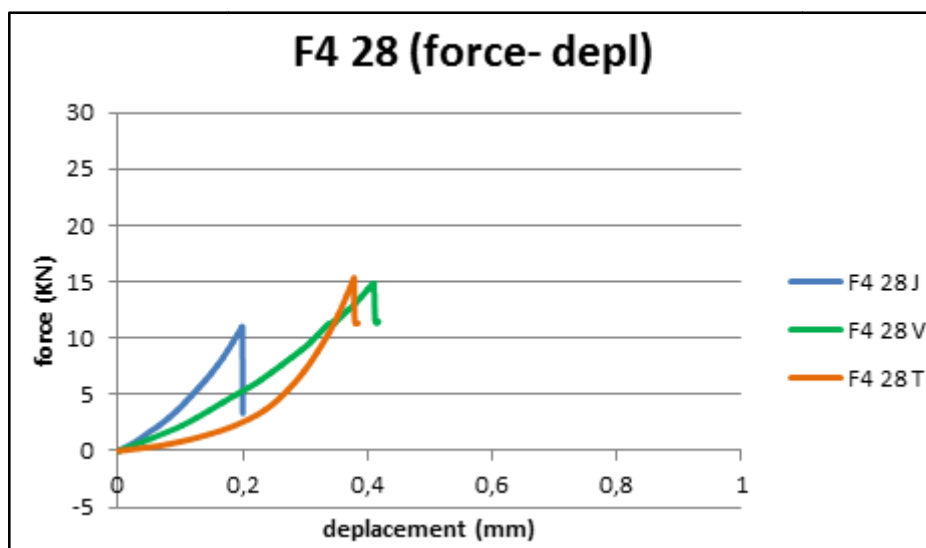


Figure III.12 : les courbes de l'évolution de la force en fonction de la flèche pour les poutres (7X7X28) cm³.

>> La figure (III.12) montre les courbes « Force-Flèche » en flexion quatre points de la poutre (prisme) de référence « F4 28 T », de la poutre renforcée par le tissu en fibre de verre « F4 28 V » et de la poutre renforcée par le tissu en fibre de jute « F4 28 J ». Sur les trois types d'éprouvettes étudiées, nous avons constaté que l'éprouvette la moins déformable et moins résistante est l'éprouvette témoin atteignant un déplacement sous charge de 0,2 mm pour une force de 11,0 KN, ces valeurs de chargement est par ailleurs la moins élevée comparativement aux autres éprouvettes testées. En effet, elle est de 14,85KN KN et de 15,35 KN correspondant à un déplacement (flèche) de 0,4mm mm et 0,37 mm pour les éprouvettes renforcées par verre et jute respectivement. Le renforcement le plus résistant selon ces observations est le renforcement par fibres de jute donc. En effet il représente une augmentation de près de 39,5% de la force maximale par rapport à l'éprouvette témoin et une augmentation du déplacement de l'ordre de 85%. Pour ce qui est du renforcement par fibres de verre, ces dernières se révèlent avoir un comportement quasi-similaire aux fibres de jute : une force ultime de rupture de +35% et un déplacement max de +100%.

III.3.2. Essais sur des éprouvettes (10X10X40) cm³

Les poutres ont été renforcées par le collage de tissu en fibre de verre et de jute sur toute la surface latérale entre appuis.

Les figures III.13, III.14 et III.15 Représentent les modes de rupture des éprouvettes testées.

Ce que nous pouvons constater est que lors de l'écrasement, l'éprouvette confinée présente une certaine tenue par rapport à celle non confinée. On peut observer aussi que y'a un décollement du composite pour les éprouvettes confinées.



Figure III.13 : Rupture de l'éprouvette en béton témoin.



Figure III.14 : Rupture de l'éprouvette confinée avec RFV.



Figure III.15 : Rupture de l'éprouvette confinée avec RFV.

- Pour mieux comprendre le comportement mécanique de ces éprouvettes à la rupture en flexion 4 (04) points, des courbes forces-flèches ont aussi été mise au point à partir des données fournies par la presse hydraulique, elles sont présentées figure (III.16).

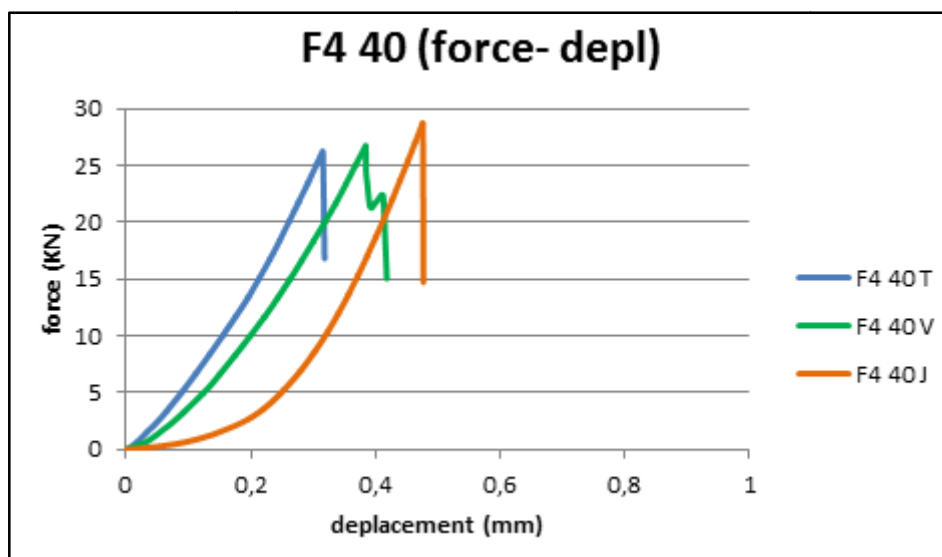


Figure III.16 : Les courbes de l'évolution de la force en fonction de la flèche pour les poutres (10X10X40) cm³.

>> La figure (III.16) montre les courbes « Force-Flèche » en flexion trois points de la poutre (prisme) de référence « F4 40 T », de la poutre renforcée par le tissu en fibre de verre « F4 40 V » et de la poutre renforcée par le tissu en fibre de jute « F4 40 J ». Sur les trois types d'éprouvettes étudiées, nous avons constaté que l'éprouvette la moins déformable et moins résistante est comme dans le cas précédent l'éprouvette témoin, en effet celle-ci résiste à 26,24 KN et se déforme de 0,31 mm à la rupture. Le renforcement le plus résistant selon ces observations est le renforcement par fibres de jute comme dans la plupart des cas précédents (28,7 KN pour + 9,37% d'amélioration) et 0,48 mm pour + 54,8 % d'amélioration. Quant aux fibres de verre, elle représente une amélioration intermédiaire, plus faible que la fibre de jute c'est-à-dire + 1,17 % à 26,7 KN et + 32,2 % à 0,41 mm.

III.4. Conclusion

A partir des essais précédents, nous avons observé que dans le principe de renforcer des éprouvettes de béton par le biais de composites à base de fibres tissées de nature soit synthétiques (verre) ou naturelle (jute) que :

- L'ajout de tissus composites améliore le comportement global des éprouvettes de béton en termes aussi bien de force ultime à la rupture et de déformation.
- Le renforcement à un effet beaucoup plus important sur les déplacements maximums que peut subir l'éprouvette à la rupture que sur l'amélioration de la force maximale qu'elle peut supporter.

- Cet effet sur l'allongement maximal est dû au fait que lors de la rupture du béton, les morceaux de béton restent collés à la paroi extérieure faite de tissu et de résine. Le matériau composite, notamment le jute est comme la plupart des tissus de renforcement, très déformable ; cela permet d'en faire un matériau global à potentiel de déformation ou d'allongement plus élevé.

- Le renforcement le plus intéressant selon les observations effectuées est le renforcement par le biais des fibres de jute, en effet, dans la plupart des cas, sauf cas flexion 3 points et prismes (10x10x40) cm³, il a été constaté une amélioration très importante de l'allongement à la rupture, ainsi qu'une augmentation relativement élevée de force ultime.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les éprouvettes de béton sont renforcées par collage de tissus composites sur toute leur surface afin d'améliorer le comportement mécanique sous un chargement de flexion.

La meilleure façon de résoudre les problèmes de réhabilitation est d'améliorer les techniques de renforcements et de réparations. De nombreux travaux de recherche ont démontré l'efficacité des techniques de renforcement du béton par les matériaux composites en fibre de verre « RFV » et en fibre de jute « RFJ » sur l'amélioration des performances mécaniques des éléments en béton. Les fibres de verre et de jute permettent d'opter pour des structures réparées et renforcées au lieu de les démolir et de reconstruire. La réparation par les techniques de collage de tissus composites légers est facile à mettre en œuvre, est de plus en plus répandue.

La technique de renforcement étudiée dans le cadre de cette étude a consisté en utilisation des tissus de fibres en verre et en jute collées en surface latérale de prismes de béton.

Les gains de résistance en flexion du béton sont évalués et analysés en fonction de force et de déplacement.

Après une étude bibliographique sur les différents types du béton, les désordres et les différentes techniques de renforcement des structures en béton et spécialement celle via des matériaux composites à base du tissu en fibre de verre et de jute, ces solutions se révèlent efficaces grâce aux multiples avantages qu'ils nous procurent.

Nous avons présenté, par la suite, le travail expérimental, qui s'est particulièrement orienté vers la comparaison des charges à la rupture entre le béton seul (non confiné), le béton confiné par TFV et le béton confiné par TFJ.

A partir des essais de flexion trois (03) points et quatre (04) points, nous avons observé que l'ajout de tissus composites améliore le comportement global des éprouvettes de béton en termes de force ultime à la rupture et de déplacements maximums.

À partir des essais à la rupture du béton, on a observé aussi que le tissu des fibres se décolle des éprouvettes et des morceaux de béton restent collés sur ces fibres lors de la rupture ce qui explique l'allongement maximal fortement augmenté.

L'utilisation de la fibre de jute dans le renforcement des structures en béton est la solution la plus efficace, qui peut-être pratique en termes de gain de matière, de résistance, de facilité de mise en œuvre sans oublier le moindre d'impacts qu'elle produit sur l'environnement.

Perspectives

Afin d'approfondir le sujet d'étude, un certain nombre de pistes restent à explorer, il faudrait notamment :

- Tester d'autres types de tissus comme le lin ou le sabal, qui sont disponibles localement;
- Tester les éprouvettes sous conditions de conservations différentes (par exemples à différentes températures et sous différents états de saturation) pour juger de l'efficacité du confinement ;
- Changer le nombre de couches de tissus à mettre en place, étant donné que nos expériences ont consisté à mettre seulement 1 seule ;
- Utiliser le tissu de fibres de jute avec pré-traitement de surface, et tester si il ya effet sur le confinement.

Références bibliographiques

Références bibliographique

- [1] « Les bétons: formulation, fabrication et mise en œuvre ». Centre d'information sur le ciment et ses applications, TOME 2. Janvier 2013. 135 p.
- [2] Document en ligne/ site : <http://www.guidebeton.com/differents-types-beton>
- [3] Association béton Québec en collaboration avec les manufacturiers de fibres métalliques et de fibres synthétiques. « Guide de bonnes pratiques pour l'utilisation des fibres dans le béton ». Janvier 2005. 38 p.
- [4] « Bétons autoplaçants. Monographie d'ouvrages en BAP ». Fiches techniques. Centre d'information sur le ciment et ses applications. 143 p.
- [5] **Groupe de travail BFUP**. « Bétons fibrés à ultra-hautes performances » Documents scientifiques et techniques. Edition révisée, Juin 2013. 358 p.
- [6] **MERLING Rolan, VERBAUWHEDE Maryline**. « Les bétons apparents » (De la mise en œuvre à la protection, l'entretien, la réparation). Prescriptions techniques d'un ouvrage. Édition 2009.146p.
- [7] **BENAICHA Mouhcine**. « Formulation des différents bétons (BAP, BHP et BFUP) à haute teneur en additions minérales : Optimisation pour améliorer le coulage, la résistance au jeune âge et la durabilité des bétons ». Thèse de doctorat. Université d'Aix-Marseille (France), le 25 Novembre 2013. 229 p.
- [8] « Recommandations pour l'emploi des bétons autoplaçants ». Documents scientifiques et techniques. Janvier 2008.
- [9] **KHELIFA, Mohammed Rissel**. « Effet de l'attaque sulfatique externe sur la durabilité des bétons autoplaçants ». THÈSE de DOCTORAT au centre de recherche sur la matière divisée-Orléans/ Laboratoire de Génie Civil- Constantine, le 20 Juin 2009.
- [10] **KHELOUI, Fatma**. « Modélisation du comportement à la fatigue d'éléments de construction en béton de fibres ». Thèse de doctorat en Génie civil. Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou, 24/10/2012.
- [11] document en ligne/ site : <http://doc.lerm.fr/grandube-compte-rendu-du-projet-grandeurs-associees-a-la-durabilite-du-beton>
- [12] **ARLIGUIE, Ginette. HORNAIN, Hugues**. « Grandeurs associées à la durabilité des bétons ». Association française de génie civil, France en avril 2007.437 p.
- [13] **Ould El Hacem Zein El Abidine**. « Renforcement du béton par les matériaux composites ». Mémoire de Master Académique Génie civil : structures. Université de Tébessa, le 24-05-2016.

- [14] **BARON, Jaques. OLLIVIER, Jean-Pierre.** « La durabilité des bétons ». Collection de l'association technique des liants hydrauliques, France en 1996.453 p.
- [15] **DIERKENS, Michaël.** « Principales agressions et attaques du béton ». Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, CETE de LYON – DLL le 15 novembre 2011/site : <http://www.developpement-durable.gouv.fr>.
- [16] « Recommandations pour la prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne » Guide technique. Août 2007.
- [17] **POINEAU, Daniel,** « Traitements des fissures par calfeutrement ou pontage et protection localisée ou création d'un joint de dilatation ». FABEM 2 : Guides technique du stress. Béton et maçonnerie.
- [18] « Protection des bétons par application de produits à la surface du parement ». Guide technique décembre 2002/ site : <http://www.setra.equipement.gouv.fr>.
- [19] « Réhabilitation du béton armé dégradé par la corrosion ». Documents scientifiques et techniques. Novembre 2003.
- [20] « Réparation du béton ». Cahier pratique moniteur, Le 25 mars 2011.
- [21] « Réparation et renforcement des structures en béton au moyen des matériaux composites » AFGC : Documents scientifiques et techniques. Février 2011.
- [22] **POINEAU Daniel** « Traitements des fissures par injection ». FABEM 3 : Guides technique du stress. Béton et maçonnerie.
- [23] **POINEAU, Daniel.** « Réparation et renforcement des structures par armatures passives additionnelles ». FABEM 7 : Guides technique du stress. Béton et maçonnerie.
- [24] **SI SALEM Abdelmadjid.** « Développement d'une poutre en béton-composite : analyse expérimentale et modélisation ». Thèse de Doctorat 3ème Cycle L.M.D en Génie Civil : Structures et matériaux. Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, 10/03/2016.
- [25] **FESTA Jean. DREUX Georges.** « Nouveau guide du béton et de ses constituants ». Novembre 2006.
- [26] Document en ligne/ site : www.Guidebeton.com/composition-beton.
- [27] **BOUKHEZAR Mohcene.** « Réhabilitation et renforcement des poutres au moyen des matériaux composites ». Thèse de Magister en Génie Civil : Le Béton Structurel Armé et Précontraint. Université Mentouri, Constantine, Juillet 2009.
- [28] **Mr. Merdas Abd-ELGHANI.** « Utilisation du TFC dans la réparation et le renforcement des poutres en BA ». Thèse de Magister en génie civil : Matériaux et durabilité des constructions. Université Mentouri, Constantine, 08 / 02/ 2005.
- [29] **POIRIER Daniel.** « Matériaux composites ». NGÖ, Anh Dung.

- [30] Document en ligne/ site : <http://www.bcomp.ch/fr/fibres-naturelles/jute>.
- [31] « revêtement époxydique par stratification ». Notice technique, MEDAPOXY STR. Classification selon la norme AFNOR NFT36 005. Société **Granitex**, zone industrielle Oued Smar-BP85 Oued Smar- 16270 Alger.
- [32] **DJELLAD Zohra Amal**, « contribution à l'étude des dalles renforcées par des composites : analyse expérimentale et modélisation ». Thèse de magister en génie civil, option : modélisation et calcul non linéaire. Université Mouloud Mammeri De Tizi Ouzou, 2015.
- [33] **KHELIL Nacim**, « traitements électrochimiques des bétons atteints de réaction sulfatique interne ». Thèse de doctorat, Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier), 12/09/2014.
- [34] Document en ligne/ site : <https://fr.scribd.com/document/377383579/NF-P-18-404-December-1981>.
- [35] Norme NFP 18-451, annexe 7 : consistance des bétons, le cône d'ABRAMS.
- [36] Document en ligne/ site : https://www.memoireonline.com/01/09/1871/m_Fissuration-en-beton-avec-reference-particuliere-au-beton--haute-performance8.html
- [37] **BOUAMRA Youcef**, « contribution à l'amélioration de la rigidité flexionnelle des poutres par une nouvelle technique de confinement ». Thèse de doctorat génie civil, option : structures et matériaux. Université Mouloud Mammeri De Tizi Ouzou. 2016.