

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

UNIVERSITE MOULoud MAMMERI DE TIZI OUZOU  
FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION  
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



*En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique*

**Spécialité : Génie Civil**

**Option : Structures**

Présenté par :

**SALMI Malha**

**Etude expérimentale sur l'effet de la résistance initiale du  
béton sur le confinement hélicoïdal du béton.**

Devant le jury composé de :

Président : KHELOUI F. MCA université Mouloud MAMMERI de Tizi Ouzou.

Promotrice : ALI AHMED C. MCB université Mouloud MAMMERI de Tizi Ouzou.

Examineur : AKMOUSSI O. MCB université Mouloud MAMMERI de Tizi Ouzou.

Soutenu le : 15/07/2019

# Remerciements

J'exprime mes vifs remerciements, en premier lieu à ma promotrice, M<sup>me</sup> Ali Ahmed Chafika pour ses conseils, son aide, sa patience, sa disponibilité et son extrême amabilité malgré engagements multiples.

Je tiens à remercier les membres de jury, pour l'honneur qu'ils me font en examinant ce mémoire, leurs remarques me seront d'une utilité certaine.

Je remercie également, l'ingénieur du laboratoire de matériaux du département de Génie Civil, Mr Bouheraoua Rachid pour sa disponibilité et ses conseils.

Je voudrais manifester mes remerciements à mes camarades Bensalma Nassira, Si Salem Massinissa, Sokri Djouhar et mon amie Sahki Lydia pour leur aide.

Enfin, j'adresse mes sincères remerciements à toute ma famille qui m'a toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce travail.



## Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à la mémoire de mon grand-père,  
A mes chers parents qui m'ont toujours soutenue et encouragée pendant tout mon cursus  
d'études, exceptionnellement à mon très  
cher père qui m'a toujours aidée, sans lui je ne serai pas parvenue à ce stade.*

*A ma très chère mère que j'admire.*

*A mon adorable grand-mère paternelle.*

*A mes chers grands- parents maternels*

*A mes aimables sœurs.*

*A la personne la plus spéciale.*

## LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Différentes techniques de réhabilitation.....	4
Figure I.2 : Constituants d'un matériau composite.....	6
Figure I.3 : Différents types de matrices.....	7
Figure I.4 : Différents types de renfort.....	9
Figure I.5 : Tissu de fibres de verre. ....	10
Figure I.6.Tissu de fibres de carbones. ....	11
Figure I.7. Collage d'une plaque composite .....	14
Figure I.8. Renforcement des dalles avec composites. ....	14
Figure I.9. Renforcement des poutres avec composites.....	15
Figure I.10. Renforcement par enroulement filamentaire.....	16
Figure I.11. Renforcement par collage direct.....	17
Figure I.12.Méthodes typiques d'enveloppement des colonnes avec PRF.....	18
Figure I.13. Renforcement par chemisage de coquille préfabriquée .....	18
Figure I.14. Types de barres d'armature en PRFV .....	19
Figure I.15. Courbes contraintes-déformations béton confiné, en fonction du taux de confinement .....	20
Figure II.1. Ciment utilisé dans la confection des bétons. ....	25
Figure II.2. Granulats utilisés dans la confection des bétons.....	26
Figure II.3. Tissu de fibre de verre.....	27

Figure II.4. Bande de tissu de verre .....	27
Figure II.5. Composants de l'adhésif .....	28
Figure II.6. Malaxeur à axe vertical .....	30
Figure II.7. Moules normalisée utilisés.....	30
Figure II.8. Coulage des éprouvettes.....	31
Figure II.9. Cure d'hydratation des bétons.....	31
Figure II.10. Traitement des surfaces des spécimens.....	32
Figure II.11. Traitement des arêtes des spécimens prismatiques.....	32
Figure II.12. Mise en place du PRFV.....	33
Figure II.13. Longueur de chevauchement pour un spécimen circulaire confiné avec 1 pli «PRF» .....	33
Figure II.14. Séchage des spécimens confinés.....	34
Figure II.15. Essai de compression .....	34
Figure III.1. Résultats des essais préliminaires.....	37
Figure III.2 : Résistances à la compression des éprouvettes témoins. ....	38
Figure III.3 : Effet de la résistance initiale du béton sur la résistance des cylindres confinés. ....	40
Figure III.4 : Effet de la résistance initiale du béton sur la résistance des prismes confinés.....	40
Figure III.5. Gains de résistances des spécimens confinés. ....	42

Figure III.5. Régression linéaire entre la résistance initiale du béton et la résistance du béton confiné. .... 45

Figure III.7. Régression linéaire entre la résistance initiale du béton et les gains de résistance du béton confiné. .... 46

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau. I.1. Caractéristiques mécaniques des résines époxy.....	8
Tableau I.2. Différents types de verre et leurs caractéristiques. ....	10
Tableau I.3. Caractéristiques mécaniques des différentes fibres. ....	11
Tableau I.4. Avantages et inconvénients des composites. ....	13
Tableau II.1. Compositions du béton. ....	26
Tableau II.2. Propriétés mécaniques des fibres de verres. ....	28
Tableau II. 3. Caractéristiques de la résine. ....	29
Tableau III.1. Résultats des essais préliminaires .....	36
Tableau III.2. Résistances des bétons témoins.....	38
Tableau III.3. Résistances des bétons confinés.....	39
Tableau III.4. Gains de résistance par composition pour les cylindres et les prismes. ....	41
Tableau III.5 : table de l'ANOVA pour le facteur composition des cylindres .....	44
Tableau III.6 : table d'ANOVA pour le facteur composition des prismes .....	44
Tableau III.7 : table de Newman-keuls .....	45

*Remerciements*

*Dédicaces*

*Liste des figures*

*Liste des tableaux*

*Résumé*

## ***Sommaire***

Introduction générale..... 1

### ***Chapitre I : Synthèse bibliographique***

I.1.Introduction ..... 4

I.2. Nécessité de la réhabilitation d'une structure en béton ..... 5

I.3.Réhabilitation des structures par matériaux composites..... 6

I.3.1. Matériaux composites ..... 6

I.3.1.1 Matrice ..... 7

I.3.1.2. Renfort..... 8

I.3.1.3. Caractéristiques mécaniques des composites ..... 12

I.3.1.4. Avantages et inconvénients des matériaux composites ..... 13

I.3.2. Méthodes de réhabilitations par composite ..... 13

I.3.2.1. Collage de plaques et de lamelles ..... 13

I.3.2.2. Confinement de colonnes..... 16

I.3.2.3. Renforcement à l'aide d'armatures en PRF ..... 19

I.4. Comportement, en compression, des éléments confinés avec composite ..... 20

I.5. Revue de quelques travaux sur le confinement du béton .....	21
I.6. Conclusion.....	23

## ***Chapitre II : Compagne expérimentale***

II.1. Introduction.....	24
II.2. Procédure expérimentale .....	24
II.2.1 Programme préliminaire .....	24
II.2.2. Programme expérimentale principal .....	24
II.2.2.1. Matériaux de confection .....	25
II.2.2.1.1. Béton.....	25
II.2.2.1.1.1. Constituants du béton .....	25
II.2.2.1.1.2. Compositions du béton .....	26
II.2.2.1.2. Polymère renforcé de fibres de verre.....	27
II.2.2. Confection des éprouvettes.....	30
II.2.3. Confinement externe avec composites .....	31
II.2.3.1. Traitement de surface .....	31
II.2.3.2. Application du PRFV .....	32
II.2.4. Procédure d'essai.....	34
II.3. Conclusion.....	35

## ***Chapitre III : Résultats et discussion***

III.1. Introduction .....	36
III.2. Résultats des essais préliminaires .....	36

III.3. Résultats des essais de compression du programme principal.....	37
III.3.1. Bétons témoins .....	37
III.3.2. Bétons confinés .....	39
III.3.2.1. Effet de la résistance initiale sur la résistance du béton confiné :.....	40
III.3.2.2. Effet de la section transversale sur le confinement :.....	43
III.4. Traitement statistique des résultats expérimentaux : .....	43
III.4.1 analyse de la variance :.....	43
III.4.2. Régressions linéaires .....	45
III.5. Conclusion .....	46
Conclusion générale .....	47
Références bibliographiques.	

## Introduction générale

La vie de l'être humain est en évolution permanente, ce qui lui permet de développer de nouveaux matériaux de construction et même des méthodes avec lesquelles il pourra réhabiliter les structures en béton sans les détruire.

Parmi ces méthodes de réhabilitation, la réparation par collage des plaques en acier sur l'élément en béton. Toutefois, ce procédé présente des inconvénients majeurs liés à la difficulté de manipulation des plaques en acier compte tenu de leur poids, ainsi que les problèmes de corrosion, ce qui a limité l'utilisation de cette méthode. [1]

Ce problème a poussé les chercheurs à développer leurs recherches afin de trouver des solutions plus efficaces, parmi lesquelles la réparation et le renforcement à l'aide de matériaux composites, qui a été mise en œuvre pendant les années 90.

Le développement des matériaux composites dans les industries de pointe au cours de ces dernières décennies touche désormais des domaines de plus en plus nombreux : aéronautique, spatial, automobile, ferroviaire, construction civile, électronique, sport et loisirs, médical, etc.

Le coût de revient des matériaux composites a beaucoup d'avantages notamment économique, par ce qu'ils peuvent être mis en œuvre directement sur des structures sans démolition de ces dernières.

Leurs propriétés mécaniques et chimiques des composites permettent d'allonger la durée de vie des structures, car ils possèdent une meilleure tenue mécanique aux chocs et au feu, de plus, ils compensent les chutes de rigidité et de résistance que l'élément a perdues.

Le confinement des éléments en béton est réalisé par la mise en place d'enveloppes en matériaux composites et ce à base de fibres de carbone, de verre, d'aramide ou à base de fibres végétales (jute, lin, chanvre, sisal, etc.). Le composite à base de fibres de verre est largement utilisé car son origine est la silice qui lui confère de très bonnes caractéristiques mécaniques, ce qui explique son emploi à 90% environ.

L'objectif principal du présent travail est l'étude de l'effet de la résistance initiale du béton sur le confinement en double hélices de polymère renforcé de fibres de verre (PRFV) pour des éléments cylindriques et prismatiques en béton. Cette technique de confinement ayant présenté des résultats satisfaisants. [2]

# Introduction générale

---

## *Problématique*

La réparation par matériaux composites est le moyen d'intervention qui a donné le plus satisfaction ces dernières années. Nous nous sommes interrogés sur l'apport en résistance à la compression d'un béton partiellement confiné dans le cas où nous considérons différentes résistances initiales du béton.

Pour répondre à notre interrogation, nous avons scindé notre travail en trois parties :

Après une introduction générale où l'on définit la problématique de notre recherche ainsi que les objectifs recherchés, **le premier chapitre**, consiste en l'élaboration d'une synthèse bibliographique sur les matériaux composites et leurs propriétés. Différentes méthodes de confinement et un aperçu sur le comportement sous l'essai de compression d'un béton confiné, y sont également détaillés. Enfin, une brève revue concernant quelques travaux de confinement et de réhabilitation est donnée.

**Le second chapitre**, est consacré à la campagne expérimentale ; les matériaux utilisés et la confection des cylindres et des prismes en béton et leur confinement, puis la procédure de l'essai de compression uniaxiale y sont bien décrits.

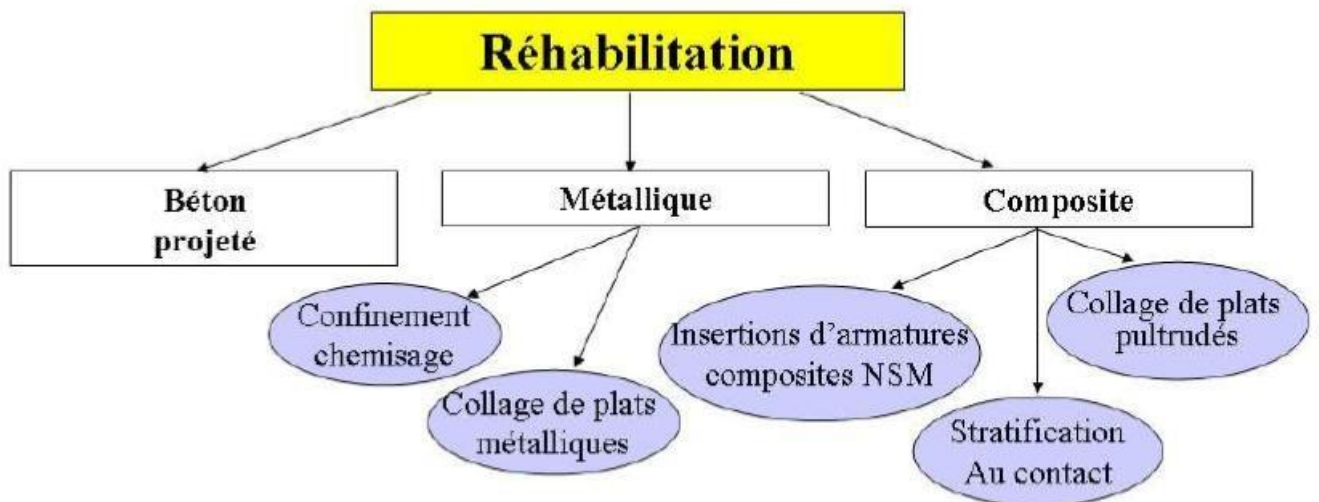
**Le troisième chapitre**, résume l'essentiel des résultats obtenus qui sont donnés sous forme de tableaux et de graphiques. Ils sont bien décrits puis interprétés et appuyés par une analyse statistique

Une conclusion générale est, enfin, donnée. Elle retrace l'essentiel des apports de ce travail de recherche.

## ***1.1.Introduction:***

Les structures en béton peuvent subir, durant leur cycle de vie, plusieurs désordres et présenter différentes pathologies. Elles peuvent également être réaffectées à un autre usage ou même répondre aux nouvelles exigences des codes de calcul. Leur réhabilitation devient alors nécessaire. Différentes techniques de réhabilitation ont été mises en application (Fig. I.1).

Le choix du système de renforcement dépend fondamentalement du type de sollicitations auxquelles est soumis l'élément à renforcer, ainsi que de ses caractéristiques géométriques et physiques [2].



**Fig. I.1 : Différentes techniques de réhabilitation [3].**

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

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

---

De nombreux travaux de recherche ont démontré l'efficacité de la technique de réhabilitation des bâtiments et des ouvrages d'art par le collage d'éléments composites utilisés comme renforcement externe [4-5]. Ce procédé qui introduit la notion de Polymère Renforcé de Fibres (PRF), est en plein essor, surtout que ses nombreuses applications ont montré toute son efficacité. Ainsi, de nombreuses recherches ont été conduites afin d'étudier les comportements et d'estimer les capacités de colonnes complètement enveloppées avec PRF [6-10]. Par ailleurs, quelques recherches ont été conduites sur le confinement partiel de colonnes avec des bandes discontinues de PRF[11]. Cette technique devient largement utilisée dans le domaine du génie civil, au vu des avantages que les PRF présentent tels que des caractéristiques mécaniques très intéressantes. En plus de leur aptitude à résister à la corrosion et aux attaques chimiques, les matériaux composites présentent la particularité d'être résistants et légers à la fois.

Ainsi, le collage de tissu ou la stratification de bandes à base de fibres de carbone sont devenus désormais une pratique reconnue de par le monde [12-14].

Tous les éléments d'une structure peuvent être réhabilités par collage de matériaux composites. Les applications potentielles de renforcement sont:

- renforcement des dalles et des poutres en flexion par collage de renforts composites sur la partie tendue, et à l'effort tranchant sur les faces latérales;
- renforcement des colonnes en compression par le collage externe d'enveloppes de PRF.

### *1.2. Nécessité de la réhabilitation d'une structure en béton*

La réhabilitation d'une structure se fait soit par réparation ou par renforcement. C'est une technique intéressante qui vise l'amélioration des performances de la structure. Les causes qui peuvent justifier la réhabilitation d'une structure, sont multiples. On peut citer :[2][1]

L'accroissement des charges qui sollicitent la structure

Les défauts dans le projet ou dans l'exécution

la rénovation des structures anciennes

les changements de la forme de la structure

les dégâts survenus dans la structure

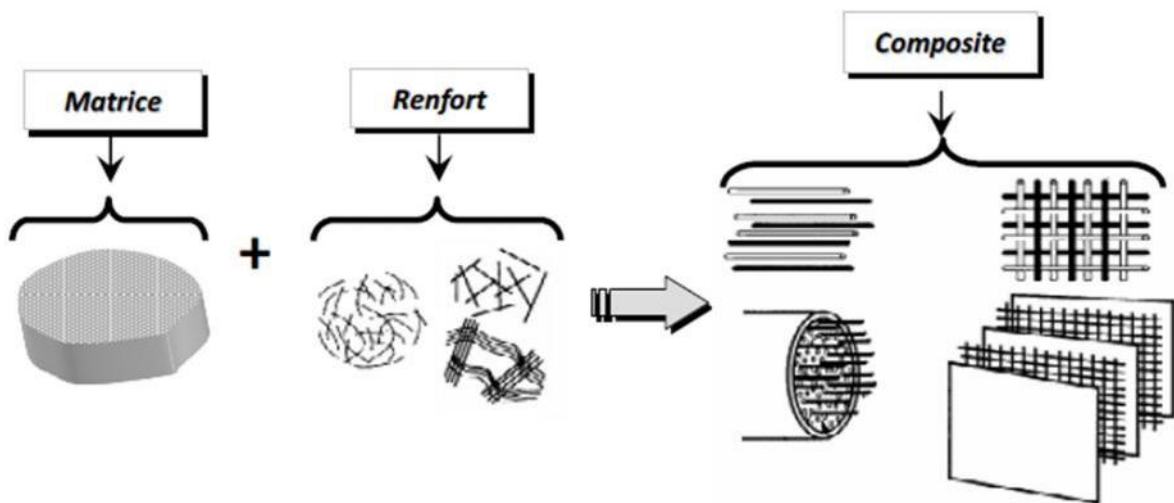
la nécessité d'améliorer les conditions en service de la structure.

## ***I.3.Réhabilitation des structures par matériaux composites***

### **I.3.1. Matériaux composites :**

Un matériau composite est l'assemblage de deux ou plusieurs matériaux qui permettent d'obtenir un matériau dont la performance est plus élevée que celles des composants pris séparément.[16][15]

Le composite est constitué d'un renfort qui apporte ses performances mécaniques élevée et d'une matrice, qui a pour rôle de transmettre, au renfort, les sollicitations mécaniques extérieures et de le protéger vis-à-vis des agressions [2].Un matériau composite PRF, est constitué essentiellement de fibres noyées dans une matrice. Ces fibres confèrent au composite leur comportement anisotrope élastique linéaire, de par leurs propriétés directionnelles (Fig. I.2).



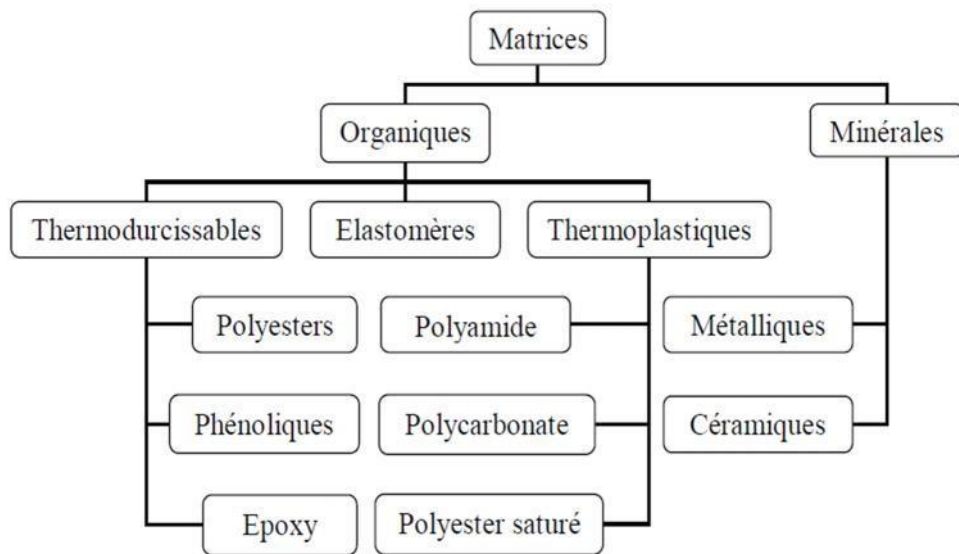
**Figure. I.2 : Constituants d'un matériau composite [17].**

# Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

## I.3.1.1 Matrice :

Elle est composée d'une résine (polyester, époxyde, etc.) et éventuellement d'une charge dont le but est d'en améliorer les caractéristiques tout en diminuant le coût de production.[15] [16]

Les résines utilisées ont pour but de transférer les sollicitations mécaniques aux fibres et de les protéger de l'environnement extérieur. Les résines doivent donc être assez déformables et présenter une bonne compatibilité avec les fibres. En outre, elles doivent posséder une masse volumique faible permettant de s'associer à un matériau de renfort léger.



**Fig. I.3 : Différents types de matrices [18].**

Les résines utilisées sont des polymères modifiés par des adjuvants et additifs. Deux grandes familles de résines existent [19] :

Résine thermodurcissable (TD) : polymère transformé en un produit essentiellement infusible et insoluble après traitement thermique (chaleur, radiation) ou physicochimique (catalyse, durcisseur). La transformation est irréversible.

Résine thermoplastique (TP) : polymère pouvant être alternativement ramolli par chauffage et durci par refroidissement dans un intervalle de température spécifique du polymère étudié. Les résines thermoplastiques présentent l'aptitude à l'état ramolli, de se mouler aisément par plasticité. La transformation est réversible.

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

Les matrices époxydes sont largement utilisées, notamment pour l'imprégnation in situ des feuilles de PRF en raison de leur qualité d'adhérence.

L'ensemble des caractéristiques mécaniques des résines époxy est résumé dans le tableau.I.1.

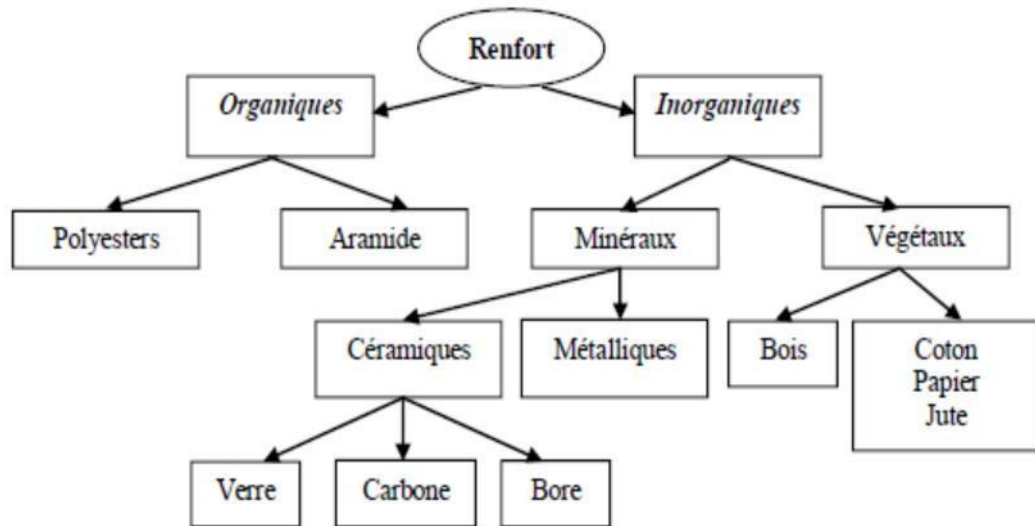
**Tableau. I.1.** Caractéristiques mécaniques des résines époxy [20].

Résistance à la traction	(MPa)	50 à 80
Module de traction	(GPa)	3 à 10
Allongement à la rupture	(%)	1 à 1,5
Résistance à la compression	(MPa)	140 à 150
Energie de rupture au choc	(kJ/m <sup>2</sup> )	7 à 10

### I.3.1.2. Renfort

Les matériaux de renfort confèrent aux composites leurs caractéristiques mécaniques : rigidité, résistance à la rupture, dureté, etc. Ces renforts permettent également d'améliorer certaines des propriétés physiques : comportement thermique, tenue en température, tenue au feu, résistance à l'abrasion et les propriétés électriques, etc.

Les caractéristiques recherchées pour les renforts sont : des caractéristiques mécaniques élevées, une masse volumique faible, une bonne compatibilité avec les résines, une mise en œuvre facilitée, un faible coût, etc. En fonction des utilisations, les renforts peuvent être d'origines diverses : végétale, minérale, artificielle, synthétique, etc. (Fig. I.4). Les propriétés mécaniques sont principalement influencées par le choix des fibres[21-22]



**Fig. I.4 : Différents types de renfort [1].**

Toutefois, les renforts les plus utilisés se présentent sous forme de fibres ou formes dérivées, et constituent une fraction volumique du matériau composite généralement comprise entre 0,3 et 0,7. Les renforts fibres se présentent sous diverses formes commerciales :

linéique (fils, mèches, etc.) :

tissus surfaciques (tissus simples, mats, etc.);

multidirectionnelle (tresses, tissus complexes, etc.).[16]

### **i. Fibres synthétiques :**

#### **Fibre de verre :**

Les fibres de verre sont composées de silice, alumine, chaux, magnésie, etc. Suivant leurs compositions, différents types de verre peuvent être obtenus. Ils sont donnés ainsi que leurs caractéristiques, dans le tableau suivant :

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

**Tableau .I.2. Différents types de verre et leurs caractéristiques. [17]**

Types	Caractéristiques générales
<b>E</b>	A usage général ; bonne propriétés électriques
<b>D</b>	Hautes propriétés diélectriques
<b>A</b>	Haute teneur en alcali
<b>C</b>	Bonne résistance chimique
<b>R, S</b>	Haute résistance mécanique

Les fibres de verre composant un PRF, sont introduites sous forme d'un tissu, généralement bidirectionnel (Fig. I.5).



**Fig. I.5 : Tissu de fibres de verre.[1]**

### **Fibres d'aramide :**

Connues également sous le nom de « kevlar>>. Ce sont des fibres à caractéristiques plus élevées que les autres types de fibres. Elles sont élaborées à basse température (-10°C) puis par filage en solution. Ces fibres présentent de bonnes propriétés mécaniques en plus de leur bonne résistance à la chaleur. [23]

# Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

## Fibres de carbone :

Elles sont composées d'atomes de carbone, et caractérisées par leur faible densité, leur résistance élevée à la traction et à la compression, leurs bonnes conductivité électrique et thermique, leur tenue à la température ainsi que leur inertie chimique. C'est Joseph Swan qui a produit les premières fibres en 1860. Ce type de fibres a été utilisé pour la première fois pour les lampes à incandescence. Elles connaissent, par ailleurs, une large utilisation sous forme de tissu (Fig. I.6), dans l'élaboration des PRF.[24]



**Fig. I.6. Tissu de fibres de carbones.[1]**

Le tableau I.3, résume certaines caractéristiques des différentes fibres synthétiques.

**Tableau I.3. Caractéristiques mécaniques des différentes fibres.**

Filament	Diamètre (μm)	Densité	Resistance à la traction (MPa)	Module de traction (MPa)	Allongement à la rupture (%)	Température de fusion (°C)
Verre E	3 à 30	2,54	3400	73000	4,5	850
Verre D	3 à 30	2,14	2500	55000	4,5	
Verre R	3 à 30	2,48	4400	86000	5,2	990
Carbone HR	8	1,78	3500	200000	1	2500
Carbone HM	8	1,8	2200	400000	0,5	2500
Aramide HR	12	1,45	3100	70000	4	480
Aramide HM	12	1,45	3100	130000	2	480

### ii. Fibres céramiques

Elles proviennent des matériaux réfractaires ou céramiques, elles peuvent être élaborées par dépôt chimique en phase de vapeur sur un fil support. [16]

Ces fibres sont appliquées dans des endroits où la température est très élevée comme les parties chaudes des moteurs. [15]

### iii. Fibres naturelles :

L'utilisation des fibres naturelles d'origine végétale dans la construction remonte aux années où l'on fabriquait des briques renforcées par la paille ou les roseaux. Depuis les années 1970, le premier composite liant avec les fibres végétales était le plâtre.

De ce fait, plusieurs ouvrages sont réalisés avec le plâtre renforcé de fibres végétales. Actuellement le monde connaît de récents développements dans le domaine de renforcement du béton avec des fibres végétales. Suite aux problèmes de santé posés par les fibres d'amiante, plusieurs axes de recherches sont orientés vers la substitution de celles-ci par les fibres végétales.

La transformation de ces fibres en vue d'un usage industriel se décompose en 4 étapes [25] :

Le rouissage : décomposition des pectines qui retiennent les fibres sur la tige

Le teillage : Extraction de la fibre brute

Le peignage : démêlage des fibres

Le tissage

### I.3.1.3. Caractéristiques mécaniques des composites :

Les propriétés des matériaux composites dépendent de beaucoup de facteurs et sont différentes selon les divers types de matériaux composites. Ces propriétés résultent :

- des propriétés, de la nature et de la quantité des matériaux constitutifs,
- de la géométrie et de la distribution du renfort,
- de la nature de l'interface matrice-renfort, etc.

# Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

## I.3.1.4. Avantages et inconvénients des matériaux composites

Les matériaux composites présentent beaucoup d'avantages, ce qui ne les empêche pas d'avoir quelques insuffisances. L'ensemble des points forts et des points faibles des matériaux composites sont consignés dans le tableau I.4.

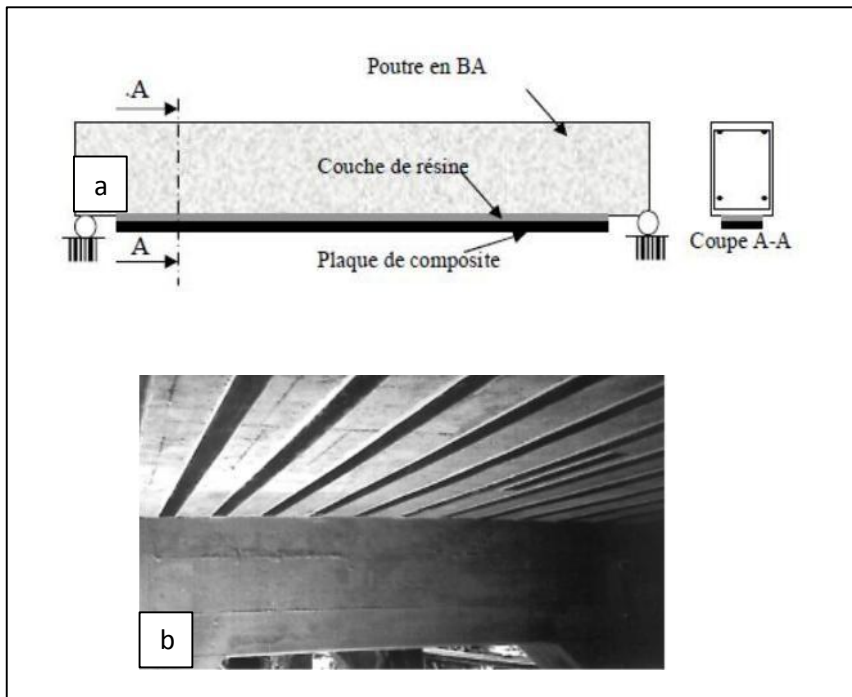
**Tableau I.4. Avantages et inconvénients des composites.**

AVANTAGES	INCONVENIANTS
<ul style="list-style-type: none"><li>- faible densité</li><li>- propriétés mécaniques longitudinales<ul style="list-style-type: none"><li>- absence de corrosion</li><li>- bonne tenue à la fatigue</li><li>- facilité de manipulation</li></ul></li><li>- résistance plus élevée que l'acier</li><li>- conductivité thermique inférieure à celle des platines d'acier<ul style="list-style-type: none"><li>- dégradation au feu est lente comparativement à l'acier</li><li>- bonne isolation électrique</li></ul></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- anisotropie très marquée</li><li>-comportement fragile à la rupture</li><li>- prix de matière élevé comparé à celui de l'acier</li></ul>

## I.3.2. Méthodes de réhabilitations par composites

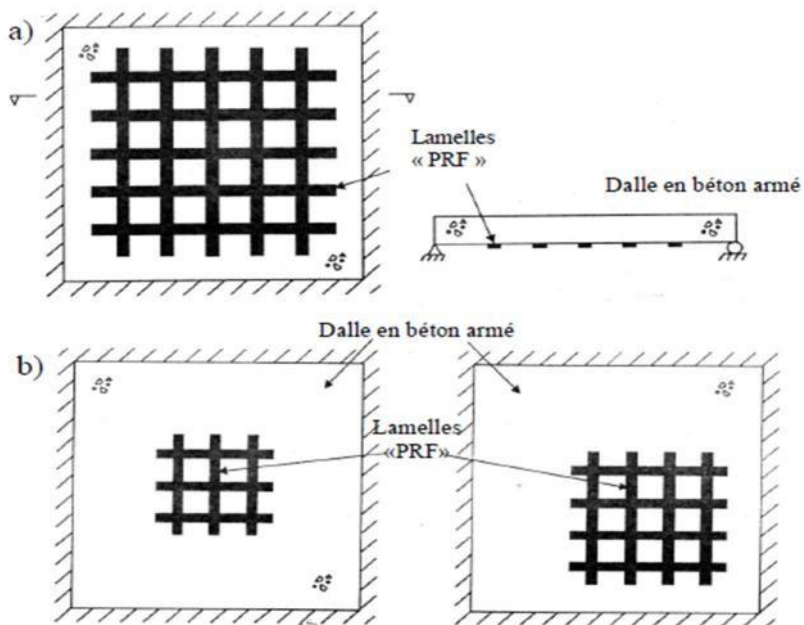
### I.3.2.1. Collage de plaques et de lamelles

Cette méthode se caractérise par le placage de plaques de composites ou des lamelles de tissus, sur la surface par des colles époxy. Les plaques sont en carbone ou en verre et fabriquées par pultrusion et peuvent être mises en pré-tension grâce à de nouvelles techniques de mise en œuvre. Les plaques sont des composites conçus, en général, avec des fibres unidirectionnelles (Fig. I.7).



**Fig. I.7. Collage d'une plaque composite [1]  
a) sur une poutre, b) sur une dalle.**

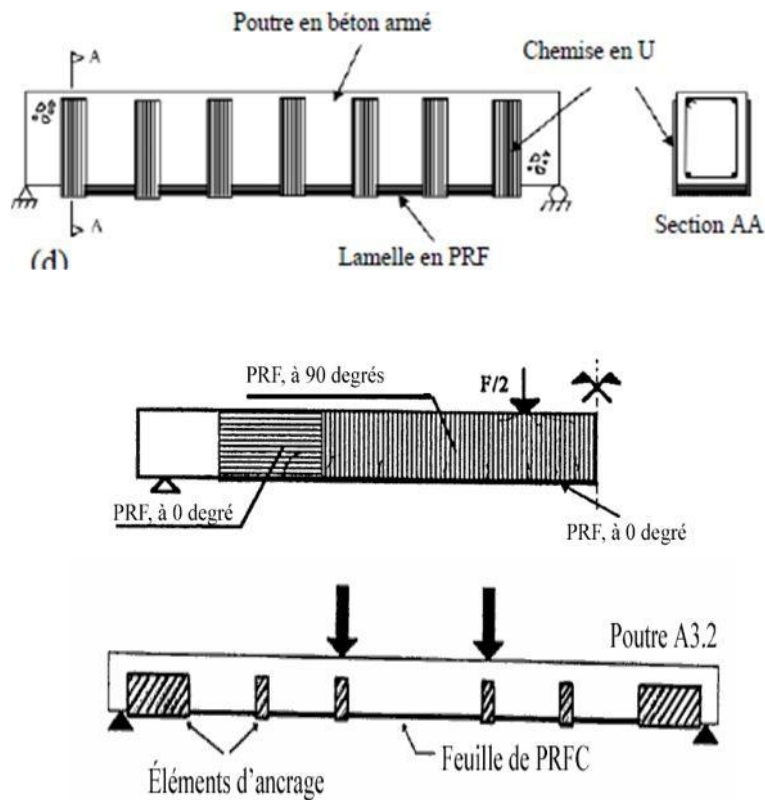
Tans dis que les lamelles sont des bandes de tissus collées dans la partie inférieure et selon les deux directions d'une dalle afin d'en améliorer le comportement en flexion (Fig. I.8).



**Fig. I.8. Renforcement des dalles avec composites.[1]**

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

Dans le cas d'une poutre, elle est renforcée par collage de plaques sur la face tendue afin d'améliorer son comportement en flexion, tant dis qu'elle est renforcée, au cisaillement, par le collage de tissus sur les faces latérales (Fig. I.9).



**Fig. I.9. Renforcement des poutres avec composites.[26]**

Le procédé de collage est le suivant :

- nettoyage à l'acétone de la face de collage de la plaque ,
- traitement de la surface à réparer par sablage, par eau sous pression et meulage,
- nettoyage de la surface par un dépoussiérage,
- application du polymère époxy sur la plaque de composite,
- pressage de la plaque sur la surface, enlèvement de l'excédent de colle,
- application d'une pression à l'aide d'un sac à vide ou de moyens mécaniques jusqu'à complète polymérisation du polymère. [27]

### I.3.2.2. Confinement de colonnes :

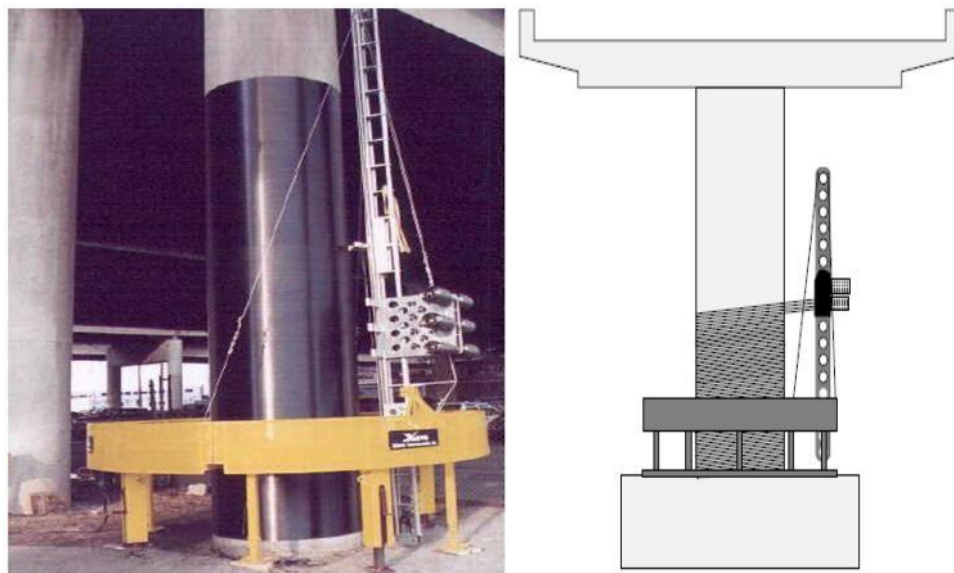
Différentes techniques ont été développées pour réhabiliter des colonnes existantes en béton armé en utilisant des composites PRF. Les méthodes de renforcement peuvent être classées en trois catégories en fonction de la méthode adoptée pour construire le composite PRF, à savoir la stratification au contact, l'enroulement filamentaire et le chemisage par coquille préfabriquée en PRF.

#### a- Enroulement filamentaire :

Cette méthode consiste à enrouler des fibres continues imprégnées de résine sur la surface à renforcer, leur orientation est contrôlée par un ordinateur [2] (Fig. I.10)

Cette technique permet la précision de l'épaisseur du PRF, l'orientation de la fibre et le contrôle de la fraction du volume, ce qui donne les meilleures performances du PRF.

L'idée d'enroulement de fibres a été développée pour la première fois par Fardis et Khalili. [28]



**Fig. I.10. Renforcement par enroulement filamentaire.[2]**

### b- Stratification au contact

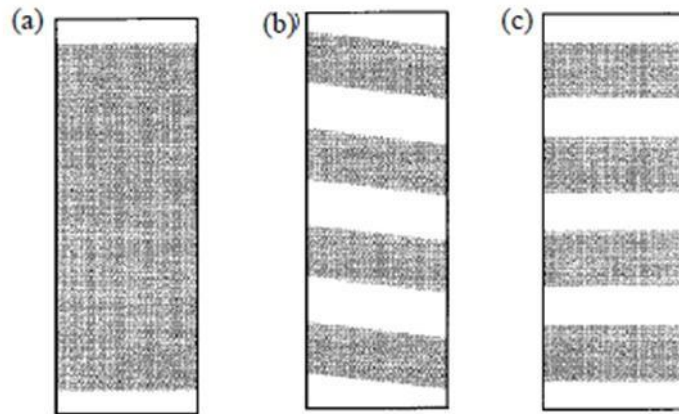
C'est la technique la plus utilisée sur chantier, elle consiste à imprégner le tissu de fibres dans une résine puis envelopper la surface de la colonne dans la direction du confinement [1] (Fig. I.11)



**Fig. I.11. Renforcement par collage direct.[2]**

Cette méthode est réalisée de trois façons possibles (Fig. I.12):

- L'enveloppement total de la colonne,
- l'enveloppement partiel en utilisant des lanières en spirales,
- l'enveloppement partiel en utilisant des lanières sous forme d'anneaux discrets. [1]



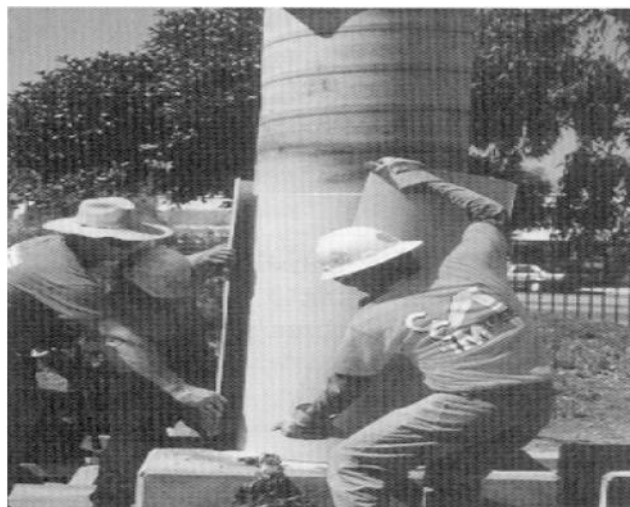
**Fig. I.12. Méthodes typiques d'enveloppement des colonnes avec PRF.[1]**

- (a) totalement en utilisant des tissus PRF,
- (b) partiellement enveloppée en utilisant des lanières FRP en spirale continue ,
- (c) partiellement enveloppée en utilisant des lanières FRP sous forme d'anneaux discrets. [1]

### c- Chemisage par coquille préfabriquée

Les colonnes en béton peuvent être renforcées par chemisage en PRF sous forme de coquilles préfabriquées (Fig. I.12). Ces dernières sont fabriquées sous conditions contrôlées en utilisant la fibre en voile.

Elles peuvent être fabriquées en demi-cercle ou en demi-rectangle selon la forme de la colonne à confiner. [15]

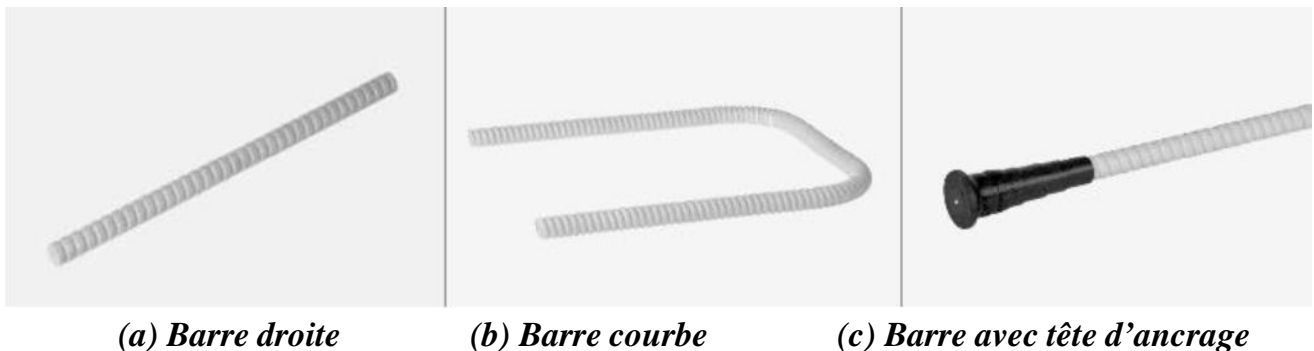


**Fig. I.13. Renforcement par chemisage de coquille préfabriquée.[2]**

### I.3.2.3. Renforcement à l'aide d'armatures en PRF

Les barres d'armatures en PRF sont de plus en plus utilisées dans le domaine du génie civil, car elles ont plus d'avantages que les armatures traditionnelles, notamment dans le rapport résistance/poids.[29]

Il existe 3 types de barres en PRF qui sont : les barres régulières droites, les barres courbes et les barres droites avec tête d'encrage (Fig. I.13).



**Fig. I.14. Types de barres d'armature en PRFV.[29]**

Les barres d'armature droites sont principalement utilisées pour le renforcement des éléments structuraux en béton soumis à des contraintes de tension.

Les barres courbes sont utilisées pour le renforcement en cisaillement, par exemple pour le renforcement transversal de poutres, de corniches et de bords de dalles.

Les barres droites à têtes d'ancrage ont récemment été mises sur le marché. Elles sont utilisées comme armature dans les glissières de sécurité et comme ancrage d'extrémité ou pour le renforcement en cisaillement des poutres et des dalles.

### *1.4. Comportement, en compression, des éléments confinés avec composites*

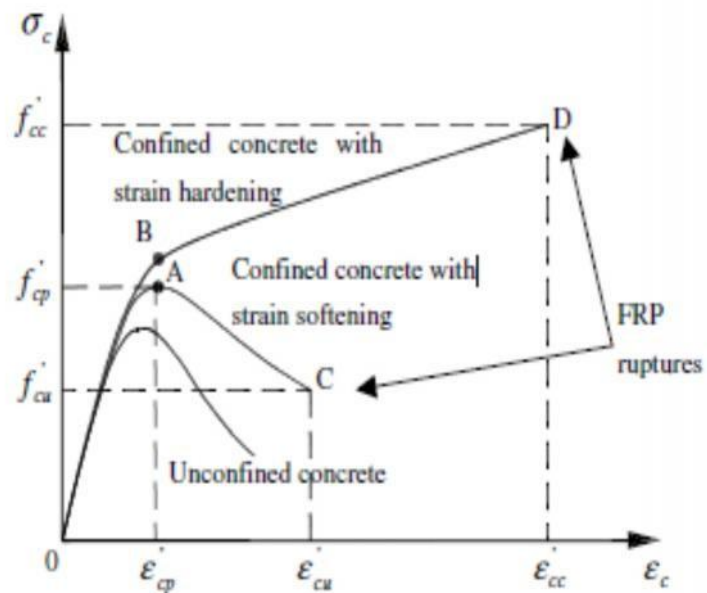
La charge de compression provoque des déformations latérales qui engendrent des fissures qui s'ouvrent au fur à mesure de l'augmentation de cette charge et cela engendre la rupture du béton.

Par le collage de PRF, le béton est latéralement retenu, ce qui limite les déformations latérales ainsi que, la propagation des fissures et augmente les résistances en compression. Ce phénomène est appelé confinement du béton.

La pression du confinement latérale qui s'exerce sur le béton, améliore sa résistance à la compression et sa ductilité. Selon l'intensité de la pression de confinement, on distingue :

- La pression nulle : la propagation des fissures devient instable
- La pression faible : la propagation est stable
- La pression forte : la propagation est complètement empêchée

Le comportement de l'élément confiné, dépend du niveau du confinement. Lorsque le béton est soumis à un faible confinement, il présente un comportement similaire à celle du béton non confiné. Par contre, lorsqu'il subit un fort taux de confinement, le comportement du béton présente deux branches ascendantes (Fig. I.14).



**Fig. I.15. Courbes contraintes-déformations béton confiné, en fonction du taux de confinement.[30]**

### *1.5. Revue de quelques travaux sur le confinement du béton :*

En 1928-29, *Richart et al* ont effectué une série de tests utilisant la pression d'eau pour le confinement des colonnes circulaires. Ils ont observé que l'augmentation de la force était directement proportionnelle à la pression de confinement. Quand le béton est soumis à une charge de compression axiale, celui-ci se déforme latéralement, cette déformation provoque au fur et à mesure que la charge augmente des micro fissures qui se développent et se propagent en macro fissures jusqu'à la rupture du béton. Si le béton est latéralement confiné dans le but de réduire cette déformation, sa résistance et sa ductilité se voient augmentées.[31]

[**Fardis et Khalili. 1981**] entreprennent des essais de compression uni-axiale sur des cylindres en béton de dimensions 76 mm x 152 mm (3po x 6po) et 102 mm x 204 mm (4 po x 8 po) enveloppés dans différents tissus de matériaux composites à base de fibres de carbone (CFRP). Ils rapportent une augmentation de La résistance en compression et une amélioration de la ductilité, grâce à l'effet du confinement. Dans un autre article (Fardis et Khaiili 1982), les chercheurs proposent un modèle hyperbolique pour décrire la résistance en compression du béton confiné.

[**Saadatmanesh et al. 1994**] conduisent une analyse paramétrique portant sur le comportement de colonnes circulaires et rectangulaires renforcées à l'aide de lamelles en matériaux composites à base de fibres de verre et de carbone, collées en surface. Ils modélisent le confinement procuré par les lamelles à l'aide du modèle de Mander et all. (1988). Quatre paramètres sont considérés en particulier: la résistance du béton, l'épaisseur de la lamelle en FRP, l'espacement des lamelles et les propriétés du matériau des lamelles.

[**Kono et al., 1998**] étudient l'effet du confinement à l'aide de «PRFC» sur la rupture de l'adhérence par éclatement du béton. Ils conduisent des essais de compression sur 27 cylindres en béton de dimensions Ø100 mm x 200 mm de différents mélanges avec différentes quantités de couches de confinement (une, deux, et trois couches) pour mesurer les relations contrainte-déformation. Les résultats montrent que l'augmentation de la résistance en compression et celle de la déformation correspondant à la contrainte maximale des cylindres confinés à l'aide de «PRFC», varie linéairement avec le nombre de couches.

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

---

[Youssef et al. 2007], développent un modèle contrainte-déformation pour le béton confiné avec des matériaux composites «PRF». Le modèle est basé sur les résultats d'un large programme expérimental incluant des colonnes courtes circulaires ( $\varnothing$  406 x 813 mm et  $\varnothing$ 152 x 305 mm), carrées (381 mm x 381 mm x 762 mm) et rectangulaires (254 mm x 381 mm x 762 mm) confinées en utilisant deux types de matériaux composites (PRFC et PRFV) avec une vaste gamme de rapport de confinement. Un total de 117 spécimens a été testé sous chargement axial. L'analyse des résultats d'essai montre que:

- La contrainte ultime, la déformation de rupture, les paramètres de l'enveloppe composite et la géométrie de la section sont les facteurs significatifs affectant le comportement contrainte-déformation du béton confiné avec des matériaux composites «PRF».

- Les courbes contrainte-déformation du béton confiné avec des matériaux composites «PRF» sont bilinéaires ascendantes ou descendantes en fonction de la géométrie de la section et du rapport de confinement.

[Benzaid et al. (2010)], ont étudié l'effet du confinement par enveloppes en CFRP, en considérant différents nombres de plis allant de 1 à 3 plis, sur des cylindres en béton. Au total, 30 spécimens 160 x 320 mm et présentant des résistances caractéristiques de 26 MPa, 50 MPa et 62 MPa ont été fabriqués. Les cylindres en béton armés ont été confectionnés en introduisant 4 HA12 comme armatures longitudinales et 3 8 mm comme armatures transversales avec un espacement de 140 mm. Les résultats montrent une augmentation de la résistance à la compression et de la ductilité en fonction de l'augmentation du nombre de plis de CFRP.

[Ali Ahmed et al. 2015], ont testé l'effet du confinement par bandes hélicoïdales de PRFV. Ainsi, des éprouvettes cylindriques de dimensions  $\varnothing$ 150x300 mm ont été confinées en considérant deux paramètres qui sont la largeur de la bande composite ainsi que le pas de l'hélice qu'elle forme autour du cylindre. Il a été montré que les cylindres ont gagné en résistance à la compression ainsi qu'en déformabilité.

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

---

Les quelques références citées dans ce paragraphe montrent que la majorité des travaux de recherches ont concerné des poteaux de section circulaire soumis à une compression monotone, témoignant ainsi de la rareté des travaux de recherches sur les poteaux de section carré ou rectangulaire, des travaux sur des poteaux élancés, ou des poteaux soumis à un chargement de compression excentré.

### ***1.6. Conclusion :***

Plusieurs recherches ont montré l'efficacité du renforcement et de la réparation, de structures en béton, par des matériaux composites. En effet, le collage de PRF sur les éléments en béton, s'est avéré être une technique fiable et prometteuse dans le domaine du génie civil.

Leurs performances mécaniques élevées, leur faible poids, leur résistance à la corrosion, ainsi que leur facilité de mise en œuvre, font de ces matériaux une solution de qualité pour la réhabilitation de structures en béton.

Ils permettent, ainsi, l'amélioration de la résistance de l'élément confiné ainsi que sa ductilité.

Voulant tester l'effet de la résistance du béton non confiné, sur le comportement en compression de cylindres et de prismes en béton confinés avec une double hélices de PRF, une campagne expérimentale a été conduite et elle fera l'objet du chapitre II.

### **II.1 Introduction :**

Dans ce chapitre, seront présentées les différentes étapes du protocole expérimental, qui a été adopté pour tester l'effet de la résistance initiale du béton sur la résistance du béton confiné avec une double hélice en PRF.

La campagne expérimentale a été conduite dans les locaux du laboratoire de matériaux de l'université de Mouloud MAMMERI de TIZI OUZOU. Le programme expérimental comprend 36 éprouvettes en béton réparties en deux séries, cylindriques et prismatiques. Hormis les éprouvettes destinées à la caractérisation des bétons témoins, toutes les éprouvettes sont confinées en utilisant un PRF à base de fibres de verre.

L'objectif de ses travaux étant de mettre en évidence l'effet de la résistance initiale du béton sur la résistance des éprouvettes ainsi confinées.

### **II.2. Procédure expérimentale**

Afin d'avoir 3 différentes résistances à la compression, nous avons conduit des essais préliminaires, sur la base desquels ont été décidées les étapes du programme expérimental principal.

#### **II.2.1. Programme préliminaire**

Une série de 12 éprouvettes cylindriques de dimensions 100 mm x 200 mm ont été confectionnées à partir de 04 mélanges de béton formulés en utilisant des fractions massiques différentes des constituants. Trois éprouvettes ont été confectionnées pour chaque composition. Les tests de compression ont été conduits après maturité du béton. Les résultats des essais de compression nous ont permis de choisir trois différentes compositions parmi les quatre testées. En effet, ont été retenues les trois compositions ayant donné des valeurs différentes et relativement éloignées les unes des autres de résistances à la compression.

#### **II.2.2. Programme expérimental principal**

Le programme principal comporte deux séries d'éprouvettes, cylindriques de dimensions 150 mm x 300 mm et prismatiques de dimensions 100mmx100mmx300mm. Toutes les éprouvettes ont été confectionnées à partir de trois compositions de béton différentes à raison de 12 éprouvettes par composition (6 cylindriques et 6 prismatiques). La moitié des éprouvettes a été réservée pour définir la résistance à la compression du béton seul pour les deux types de sections et pour chacune des trois

compositions, tant dis que l'autre moitié a été confinée avec la double hélice de 4 spires en bandes de PRFV de 3 cm de largeur.

### II.2.2.1. Matériaux de confection

#### II-2-2-1-1-Béton

Le béton utilisé pour la confection des éprouvettes, est obtenu en mélangeant, dans différentes fractions massiques, le ciment, le sable, le gravier et l'eau.

##### II.2.2.1.1.1. Constituants du béton

**Ciment** : C'est un liant hydraulique qui se présente sous la forme d'une poudre minérale fine s'hydratant en présence d'eau. Il forme une pâte faisant prise et qui durcit progressivement à l'air ou dans l'eau. C'est le constituant fondamental du béton puisqu'il permet la transformation d'un mélange (ciment, graviers et eau) sans cohésion en un corps solide. Le ciment utilisé est de type CEM II, 32,5 de résistance réelle de 420 bars (fig.II.1).



**Fig.II.1. Ciment utilisé dans la confection des bétons.**

**Granulats** : Les granulats constituent le squelette du béton. Ils doivent être chimiquement inertes vis-à-vis du ciment, de l'eau et de l'air. On utilise généralement pour les ouvrages courants, des granulats constitués uniquement par du sable et des gravillons (fig.II.2). Les granulats sont lavés et séchés à l'étuve à température de 105°C pendant 24h, ils sont mis en sac pour éviter qu'ils reprennent de l'humidité et des impuretés et sont stockés au niveau du laboratoire de l'université.



**Fig.II.2. Granulats utilisés dans la confection des bétons.**

**Eau :** De façon générale, l'eau de gâchage doit avoir les propriétés de l'eau potable. Il est exclu d'employer de l'eau de mer qui contient environ 30 g/l de chlorures de sodium, pour la fabrication du béton armé ou précontraint, l'eau de gâchage utilisée est l'eau du robinet.

### II.2.2.1.1.2. Compositions des bétons

Trois compositions de béton ont été considérées dans ce travail, elles sont obtenues en introduisant chaque constituant dans différentes fractions massiques. L'ensemble des formulations des trois bétons est résumé dans le tableau II.1.

**Tableau II.1. Compositions du béton.**

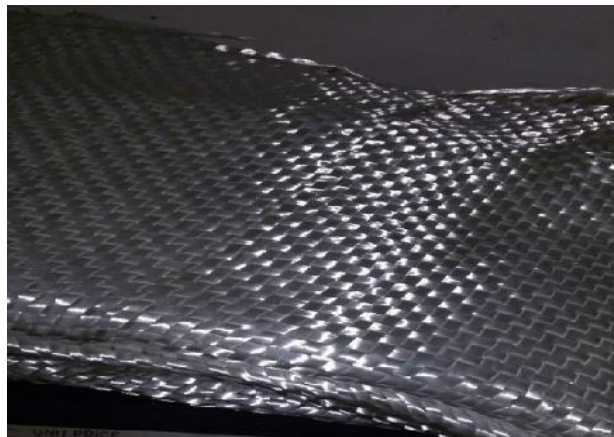
Elément	1 <sup>ere</sup> composition	2 <sup>eme</sup> composition	3 <sup>eme</sup> composition
Ciment (Kg/m <sup>3</sup> )	350	350	450
Sable (Kg/m <sup>3</sup> )	824.4	824.4	724.4
G : 3 /8(Kg/m <sup>3</sup> )	240	480	240
G : 8/15(Kg/m <sup>3</sup> )	784.4	564.4	784.4
eau (Kg/m <sup>3</sup> )	200	200	200

### II.2.2.1.2. Polymère Renforcé de Fibres de Verre

Le polymère renforcé de fibres de verre utilisé est obtenu par l'imprégnation d'un tissu à base de fibres de verre d'une résine époxy, ce qui permet l'obtention d'un composite qui sera appliqué sur la surface des éprouvettes.

#### a-Tissu de fibre de verre

Le tissu de fibre de verre est de couleur blanche (fig.II.3) Il est formé par un ensemble de fils et de mèches, disposés en chaînes et trames.



**Fig. II.3. Tissu de fibre de verre**

Des bandes de 3 cm de largeur seront découpées à l'aide de ciseaux (Fig. II.4).



**Fig. II.4. Bande de tissu de verre.**

La longueur de la bande est fonction du nombre de tours de l'hélice. Elle est calculée à partir de la formule suivante :

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

## Chapitre II : Etude expérimentale

S : pas de l'hélice

R : rayon de l'éprouvette

L : longueur

n : nombre de tours

Dans le cadre de ce travail, nous avons utilisé des bandes formant des hélices à quatre spires, ce qui donne une longueur de bande de 191 cm.

Les propriétés mécaniques des fibres de verre sont résumées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau.II.2. Propriétés mécaniques des fibres de verres.**

Masse volumique (Kg/m <sup>3</sup> )	E <sub>1</sub> (MPa)	E <sub>2</sub> (MPa)	12	13	G <sub>12</sub> (MPa)
2600	72000	13600	0,31	0,33	4700

### b- Résine époxy

L'adhésif qui permet le collage de la bande sur le support béton, est à base d'une résine de type époxy PROCHIME. Il est obtenu en mélangeant deux composants A (résine) et B (durcisseur) (Fig. II.5). Les composants sont mélangés dans des proportions massiques de 2/3 de résine pour 1/3 de durcisseur.



**Fig.II.5. Composants de l'adhésif.**

Le malaxage se fait pendant 3 minutes à l'aide d'un agitateur électrique à vitesse lente afin d'obtenir un mélange bien homogène, de teinte uniforme et sans occlusion d'air. De petites

## Chapitre II : Etude expérimentale

quantités sont préparées chaque fois, car au-delà d'une trentaine voire quarantaine de minutes, la résine commence à durcir.

La résine utilisée présente de très bonnes propriétés mécaniques et chimiques, une excellente résistance dans le milieu acide et une bonne adhérence.

Le tableau suivant résume quelques caractéristiques de la résine utilisée et elle que décrite par le la fiche technique du fournisseur.

**Tableau .II. 3. Caractéristiques de la résine.**

Paramètres	Valeurs
Densité	1.5 ±0.05 kg/l
Humidité	4%
Température max d'utilisation	20°C
Séchage	Dur 24h durcissement totale 72h
Résistance à la compression	70N/mm <sup>2</sup>
Durée de mise en service	10jours à20°C
Rapport pondérale	Résine1 kg durcisseur 1/3kg
Les normes	EN1542 et ACIA et USDA

### II.2.2.Confection des éprouvettes

Les granulats lavés et séchés à 105°C à l'étuve pendant 24H, additionnés de ciment et d'eau, seront versés dans un malaxeur à axe vertical (Fig.II.6) permettant de réaliser des gâchées de 26l de béton.



**Fig.II.6.Malaxeur à axe vertical.**

Cette opération est répétée pour les trois bétons, qui sont coulés dans des moules cylindriques et prismatiques normalisés (Fig.II.7).



**Fig.II.7. Moules normalisés utilisés.**

Les éprouvettes ainsi confectionnées (Fig.II.8), seront vibrées sur une table vibrante pendant 20 secondes avec une vitesse de  $0,5\mu s$ . L'air contenu dans les moules est dégagé et la matière atteint sa compacité maximale.



**Fig.II.8.Coulage des éprouvettes.**

Les spécimens sont décoffrés au bout de 48 heures et soumis à une cure d'hydratation à température modérée et constante pendant 28 jours selon la norme NF EN12390-4 comme indiqué sur la figure II.9.



**Fig.II.9. Cure d'hydratation des bétons.**

### **II.2.3. Confinement externe avec les composites**

#### **II.2.3.1. Traitement des surfaces**

Les surfaces du béton sont traitées avec une brosse métallique et du papier verre afin d'avoir une surface rugueuse et propre. Ce traitement a pour objectif d'éliminer toutes les traces de produit de coffrage et de laitance et optimiser ainsi l'adhérence du PRFV au béton (Fig.II.10)



**Fig. II.10. Traitement des surfaces des spécimens.**

Les arêtes des prismes sont, par ailleurs, adoucies à l'aide d'une ponceuse (Fig.II.11). Ceci a pour but d'éviter la rupture prématurée des bandes du PRFV au niveau des arêtes [3]



**Fig. II.11. Traitement des arêtes des spécimens prismatiques.**

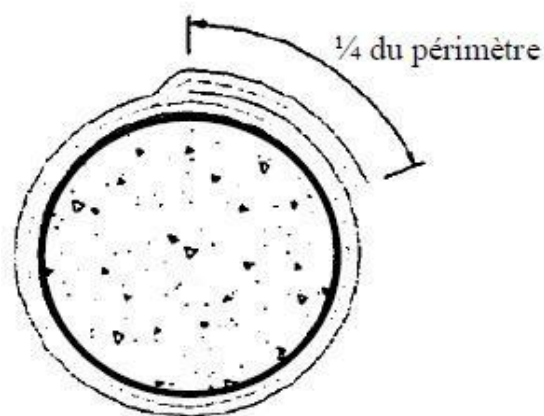
### II.2.3.2. Application du PRFV

Après avoir préparé les tissus de verre et la résine, on procède au confinement partiel des éprouvettes. Il est effectué par la pose de deux bandes de PRFV de 3cm de largeur imprégnées de résine époxy de façon à former une double hélice (dextre et senestre) faisant 4 tours, soit un pas de 7.5 cm, chacune autour du béton (Fig.II.12).



**Fig. II.12. Mise en place du PRFV.**

Par ailleurs, deux bandes de PRFV supplémentaires de largeur égale à 2 cm ont été colées en tête et en bas de chaque éprouvette avec un chevauchement sur un quart du périmètre (Fig.II.13) dont l'objectif est de permettre au PRFV de développer sa pleine résistance à la traction et éviter le décollement du composite.



**Fig. II.13. Longueur de chevauchement pour un spécimen circulaire confiné avec 1 pli «PRF» [3]**

## Chapitre II : Etude expérimentale

---

Les éprouvettes confinées sont laissées au séchage, pendant une dizaine de jours, à température ambiante au niveau du laboratoire (Fig.II.14).



**Fig. II.14. Séchage des spécimens confinés.**

Après maturation du PRFV, les éprouvettes sont soumises à l'essai de compression uniaxiale.

### **II.2.4. Procédure d'essai**

L'essai de compression uni axiale du béton est un essai destructif, il est utilisé en général dans les laboratoires pour déterminer les caractéristiques du béton notamment sa résistance à la compression ainsi que l'allure de la courbe d'évolution de la contrainte en fonction de sa déformation.

Les éprouvettes confinées (cylindres et prismes) ont été testées, après une dizaine de jours de la date du confinement, avec une charge statique d'un pas de 0.5 KN/m appliquée à l'aide d'une presse hydraulique de type ELE, d'une étendue de capacité de 3000KN (Fig.II.14). Elle comporte un plateau supérieur fixe et un plateau inférieur mobile. La force axiale est augmentée jusqu'à la rupture de l'éprouvette.



**Fig. II.15. Essai de compression**

### **II.3. Conclusion**

Dans ce chapitre ont été détaillés les différents procédés et les différentes étapes de notre expérience qui a porté sur le collage de bandes en PRFV selon deux trajectoires hélicoïdales contraires sur des éprouvettes cylindriques et prismatiques en béton. En effet, une description des différents matériaux utilisés ainsi que les étapes de confinement du béton a été faite. La description de la procédure d'essai en compression des spécimens confinés est également détaillée dans ce chapitre.

L'ensemble des résultats des essais de compression ainsi que leur interprétation, feront l'objet du prochain chapitre.

### III.1. Introduction

Nous exposons dans ce chapitre les résultats obtenus à partir des essais de compression sur les éprouvettes confinées et non confinées. L'objectif étant d'évaluer l'effet de la résistance initiale du béton sur la résistance du béton confiné avec une double hélice en PRFV et ce pour deux types de sections ; circulaire et carrée

Les résultats obtenus sont présentés sous forme de tableaux et de graphiques. Ils sont, par ailleurs, soumis à un traitement statistique par une ANOVA afin de mettre en évidence l'effet de la résistance initiale du béton sur la résistance du béton confiné. Des régressions sont également calculées afin de mettre en évidence les relations qui existent entre la résistance initiale du béton et celle du béton confiné d'une part et entre la résistance initiale du béton et le gain en résistance.

### III.2. Résultats des essais préliminaires

Ces essais étaient nécessaires quant à la détermination de trois formulations différentes qui donneraient trois résistances de béton différentes. Quatre formulations ont été testées en changeant pour chacune d'elles les fractions massiques des composants.

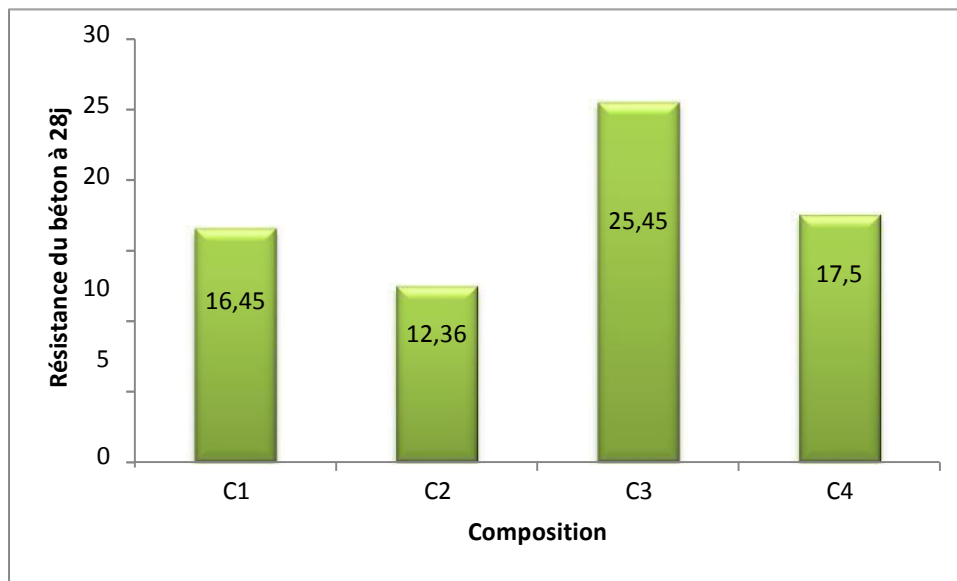
Une série 12 éprouvettes cylindriques de dimensions (100mmx200mm) est confectionnée à partir de 4 compositions différentes de béton afin de caractériser la résistance à la compression des bétons, les résultats obtenus sont présentés dans le tableau III.1

**Tableau III.1. Résultats des essais préliminaires**

	Forces (KN)	Moyenne (KN)	Contrainte (MPa)	Moyenne(MPa)
C1	131.95	129.13	16.81	16.45
	128.03		16.31	
	127.40		16.23	
C2	102.83	97.03	13.10	12.36
	93.65		11.93	
	94.59		12.05	
C3	209.59	199.78	26.70	25.45
	193.50		24.65	
	196.25		25.00	
C4	151.26	137.38	19.27	17.50
	126.54		16.12	
	134.39		17.12	

## Chapitre III : Résultats et discussion

Les résistances ultimes des quatre bétons sont représentées sur le diagramme en bandes de la figure III.1.



**Figure.III.1. Résultats des essais préliminaires.**

Après avoir examiné les différentes résistances ultimes des bétons, les trois compositions C1, C2 et C3 sont retenues pour la confection des éprouvettes du programme principal. Ce choix est justifié par le fait que ces trois formulations donnent des valeurs de résistances bien différenciées.

### III.3. Résultats des essais de compression du programme principal

#### III.3.1. Bétons témoins

Pour évaluer les résistances à la compression des éprouvettes du programme expérimental principal, 3 éprouvettes cylindriques et 3 autres prismatiques ont été confectionnées pour chacune des trois compositions de béton retenues dans le cadre de cette étude.

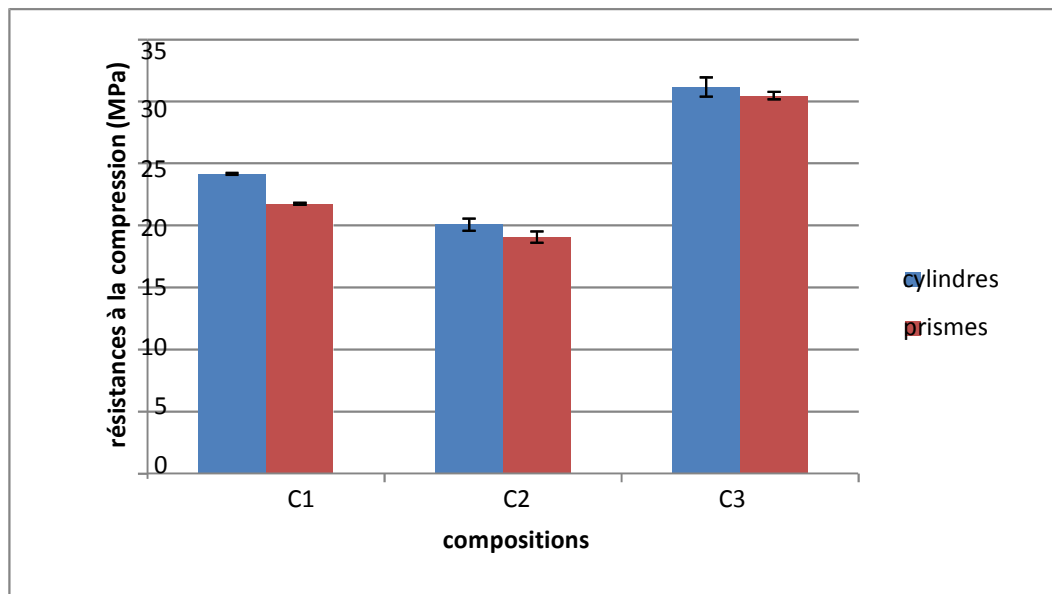
Les essais de compression conduits sur ces éprouvettes ont donné les résultats consignés dans le tableau III.2.

**Tableau III.2. Résistances des bétons témoins.**

	Force (KN)		Moyenne (KN)		Contrainte (MPa)		Moyenne (MPa)		Ecart-type (MPa)	
	Cylindre	prisme	cylindre	Prisme	cylindre	Prisme	cylindre	prisme	Cylindre	prisme
<b>C1</b>	423,55	215.9	426,72	217.5	23,98	21,59	24,16	21,75	0.16	0.14
	427,43	217.8			24,20	21,78				
	429,20	218.7			24,30	21,87				
<b>C2</b>	374,45	201.4	354,49	200.7	21,20	20,14	20,07	19,07	0.98	0.94
	346,71	186.5			19,63	18,65				
	342,30	184.2			19,38	18,42				
<b>C3</b>	542,24	311.00	550,36	304,8	30,7	31,1	31,16	30,48	1.56	0.61
	527,75	303.1			29,88	30,31				
	581,09	325.6			32,9	32,56				

En comparant les résistances à la compression, des bétons témoins des trois compositions, nous constatons que c'est la composition C3 qui a la meilleure résistance en comparaison avec les compositions C1 et C2. C'est cette dernière qui présente la plus faible résistance.

Il ressort des diagrammes en barres de la figures III.2 que quelque soit la forme de l'éprouvette, le classement des résistances des différentes compositions reste le même.



**Figure III.2 : Résistances à la compression des éprouvettes témoins.**

## Chapitre III : Résultats et discussion

Il est à signaler que les résistances obtenues sur les cylindres sont supérieures à celles obtenues sur les prismes, ce qui est un résultat cohérent.

### III.3.2. Bétons confinés

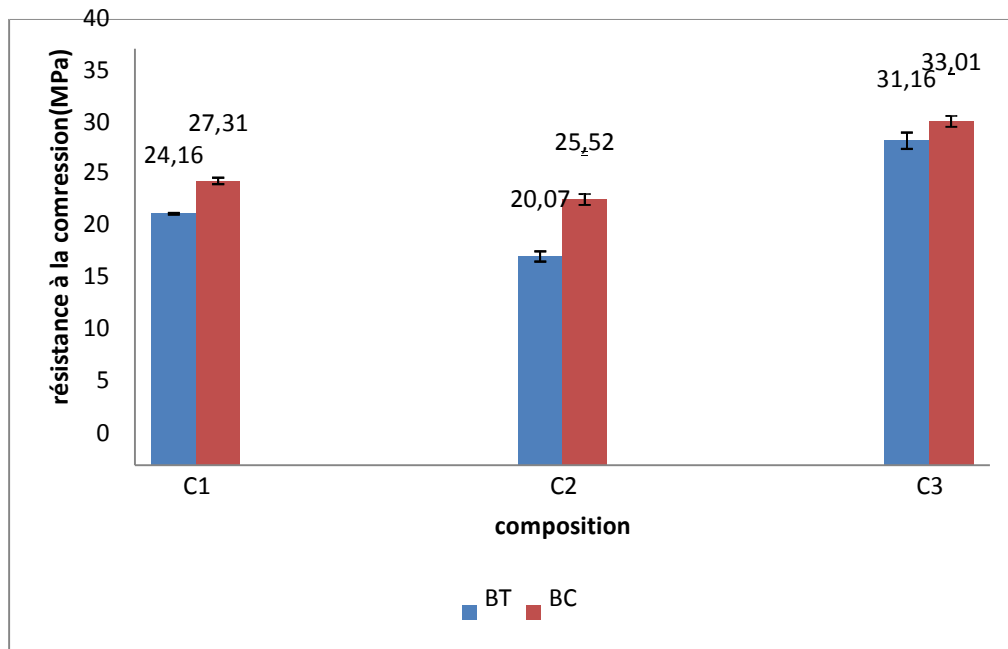
Dans cette partie nous allons présenter les résultats obtenus sur les cylindres et les prismes confinés avec des bandes de fibres de verre de 3 cm de largeur et de 4 tours d'hélices.

Le tableau III.3 résume l'ensemble des résultats obtenus sur les spécimens confinés et confectionnés à partir des trois compositions de béton. Les forces et contraintes obtenues y sont détaillées.

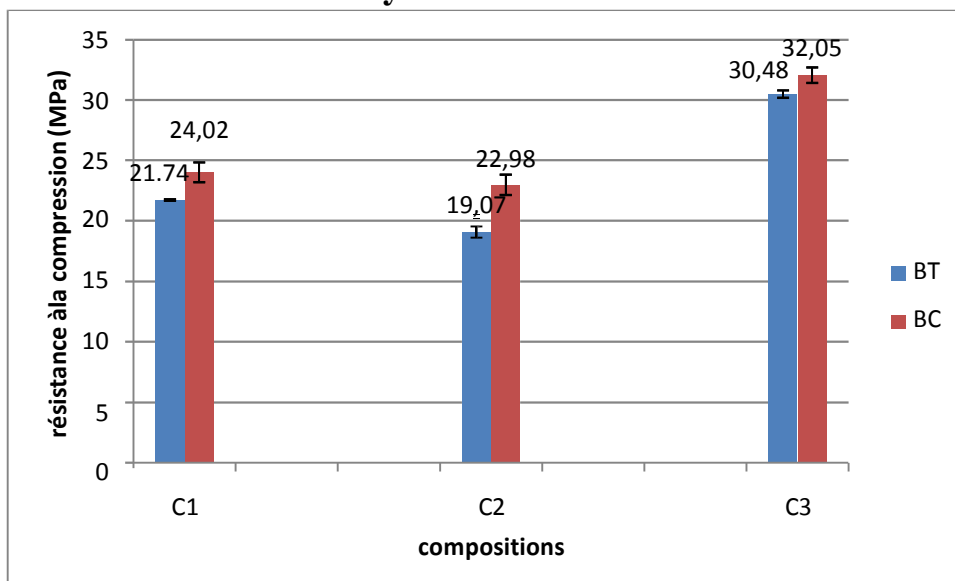
**Tableau III.3. Résistances des bétons confinés.**

	Force (KN)		Moyenne (KN)		Contrainte (MPa)		Moyenne (MPa)		Ecart-type (MPa)	
	Cylindre	prisme	cylindre	Prisme	cylindre	Prisme	cylindre	prisme	Cylindre	prisme
<b>C1</b>	476.35	252	482.35	240.2	26.97	25.2	27.31	24.02	0.62	1.63
	494.90	247			28.02	24.7				
	475.82	221.6			26.94	22.16				
<b>C2</b>	453.04	226.5	450.74	229.8	25.65	22.65	25.52	22.98	1.05	1.67
	468.05	247.9			26.5	24.79				
	431.14	215			24.41	21.5				
<b>C3</b>	586.39	322.5	583.15	320.5	33.2	32.25	33.01	32.05	1.06	1.26
	562.90	307			31.87	30.7				
	600.17	332			33.98	33.2				

Les diagrammes des figures III.3 et III.4, mettent en opposition les résistances obtenues sur les deux types de spécimens confinés avec les non confinés (témoins) correspondants.



**Figure III.3 : Effet de la résistance initiale du béton sur la résistance des cylindres confinés.**



**Figure III.4 : Effet de la résistance initiale du béton sur la résistance des prismes confinés.**

### III.3.2.1. Effet de la résistance initiale sur la résistance du béton confiné

Il ressort des résultats précédents, que les résistances en compression des spécimens confinés augmentent par rapport à celles des spécimens témoins pour les trois compositions et

## Chapitre III : Résultats et discussion

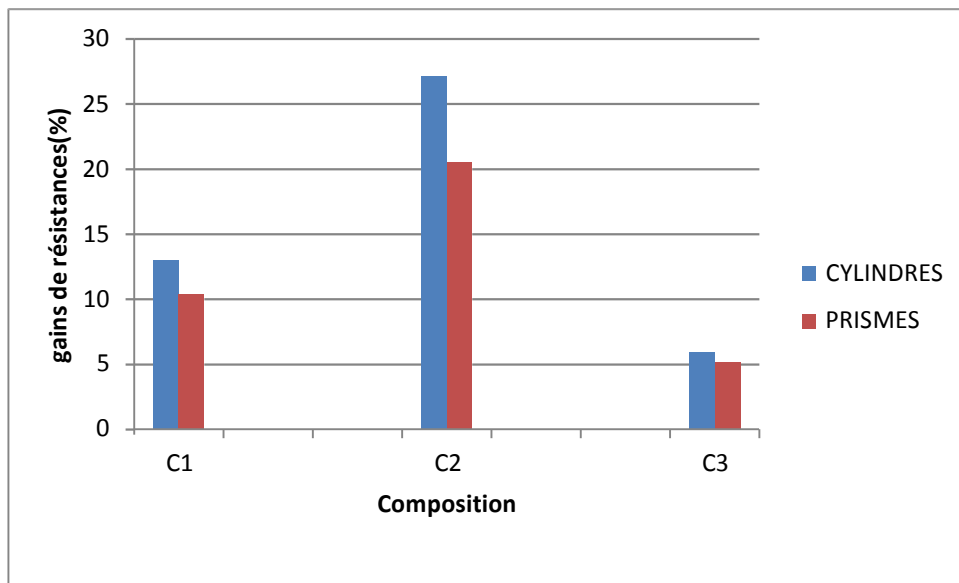
quelque soit la forme de la section de l'éprouvette. En effet, les valeurs des résistances enregistrées pour les deux types de spécimens confinés sont proportionnelles à celles des résistances initiales du béton. La plus grande résistance correspond à C3 et la plus faible à C2, en passant par C1.

On enregistre ainsi, pour les éprouvettes cylindriques, des gains de 13.03%, 27.15% et 5.93% pour les compositions C1, C2 et C3 respectivement (tableau III.4).

**Tableau III.4. Gains de résistance par composition pour les cylindres et les prismes.**

Composition		Résistance (MPa)		Différence (MPa)		Gain(%)	
		cylindre	Prisme	Cylindre	Prisme	cylindre	Prisme
C1	Témoin	24.16	21.75	3.15	2.27	13.03	10.43
	Confiné	27.31	24.02				
C2	Témoin	20.07	19.07	5.45	3.91	27.15	20.5
	Confiné	25.52	22.98				
C3	Témoin	31.16	30.48	1.85	1.57	5.93	5.15
	Confiné	33.01	32.05				

Le même constat est fait pour les spécimens prismatiques, des gains en résistance sont également enregistrés. On note, tel que rapporté dans le tableau III.3, des gains de 10.43%, 20.5% et 5.15% correspondant respectivement aux compositions C1, C2 et C3. Ces résultats sont représentés sur le diagramme de la figure III.5, où on voit clairement que le gain en résistance du béton confiné est inversement proportionnel à la résistance initiale du béton.



**Figure. III.5. Gains de résistances des spécimens confinés.**

Les résultats montrent qu'un béton à résistance initiale faible donne un meilleur résultat en terme de résistance à la compression après confinement. Le confinement permet d'augmenter la résistance des ouvrages à faible résistance initiale, contrairement au béton présentant une bonne résistance initiale.

Les résultats obtenus restent en accord avec ce qui a été rapporté dans la bibliographie. En effet, [1] a conclu que l'augmentation de la résistance à la compression d'un béton confiné est corrélée avec la diminution de sa résistance initiale et que plus la résistance initiale est importante, moins le sont les gains de résistance du béton confiné.

De plus, [35] a remarqué lors de ses travaux, que l'effet de la résistance initiale du poteau est un facteur important pour obtenir une résistance de confinement plus efficace, ce qui lui a permis de conclure que le confinement est plus approprié aux travaux de réhabilitation des colonnes à faible résistance ou endommagées.

### **III.3.2.2. Effet de la section transversale sur le confinement**

Dans le cas du béton témoin, il est noté que les spécimens cylindriques ont une résistance plus importante que les éprouvettes prismatique.

Après confinement les résultats des sections rectangulaires auront une résistance moins importante par rapport aux sections circulaires, ces résultats sont confirmés dans les recherches de [35] qui confirment que les sections circulaires donnent une résistance du béton confiné meilleure que celle d'une section rectangulaire. Aussi, on constate que le gain de résistance est plus important pour une section circulaire que pour une section rectangulaire.

### **III.4. Traitement statistique des résultats expérimentaux**

Les résultats expérimentaux sont soumis à une analyse statistique de la variance (ANOVA) dans le but de confirmer l'effet de la composition sur la résistance du béton confiné. Des régressions linéaires sont également calculées dans le but de définir les équations qui relient la résistance initiale du béton à la résistance du béton confiné d'une part et au gain de résistance d'autre part. Ces analyses sont conduites sous le logiciel statistique R.

#### **III.4.1 analyse de la variance :**

Cette analyse a pour principe de tester l'effet d'un facteur sur une variable mesurée au sein de l'échantillon étudié. La variance mesurée est la résistance à la compression du béton confiné, tant dis que le facteur de contrôle est la résistance initiale du béton (composition).

Cette analyse a été réalisée par le logiciel R et les résultats obtenus pour les cylindres et les prismes sont donnés dans les tableaux III.5 et III.6.

**Tableau III.5 : table de l'ANOVA pour le facteur composition des cylindres**

```
Analysis of Variance Table

Response: fcc
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
comp   2  91.794  45.897  52.916 0.0001544 ***
Residuals 6   5.204   0.867
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

**Tableau III.6 : table d'ANOVA pour le facteur composition des prismes**

```
Analysis of Variance Table

Response: fcc
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
comp   2 147.827  73.914  31.509 0.000657 ***
Residuals 6  14.075   2.346
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Les résultats révèlent une différence très hautement significative entre les différentes compositions, puisque le logiciel donne une P-value égale à 0,0001544 pour les cylindres et une P-value = 0.000657 pour les prismes. Ces deux probabilités sont inférieures au risque d'erreur fixé par l'expérimentateur à une valeur qui n'excède, généralement, pas 5%. D'après ces résultats, l'hypothèse selon laquelle la composition du béton témoin (ou la résistance initiale du béton) a un effet sur la résistance du béton confiné, pour les deux types de spécimens est confirmée. Au final, nous pouvons affirmer que la composition a un effet significatif sur la résistance à la compression du béton confiné.

L'ANOVA ayant révélé une différence significative, le test de Newman-Keul est réalisé dans le but de classer les résistances initiales des bétons (les compositions), selon leurs similitudes en groupes homogènes (Tableau. III.7).

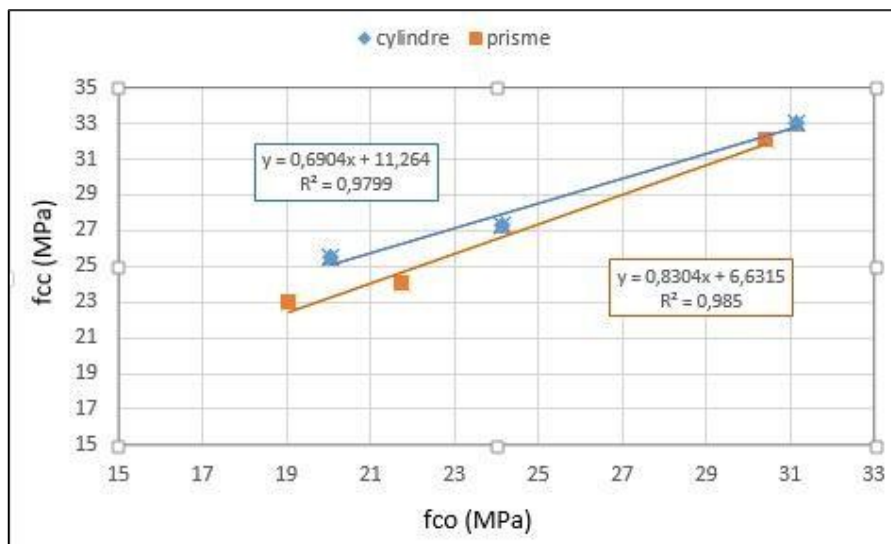
**Tableau III.7 : table de Newman-keuls**

Cylindre			prisme		
\$groups			\$groups		
	fcc	groups		fcc	groups
c3	33.01	a	c3	32.05	a
c1	27.31	b	c1	24.02	b
c2	25.52	b	c2	22.98	b

Les résultats du test de Newman-Keuls, montrent que c'est les résistances initiales obtenues avec les bétons de composition C3 qui sont classées dans le groupe a et qui donnent la meilleure résistance du béton confiné aussi bien sur les cylindres que sur les prismes. Tandis que les résistances des bétons de C1 et C2 sont classées dans le groupe b et ont de ce fait, le même effet sur le béton confiné.

### III.4.2. Régressions linéaires

Une régression linéaire est calculée afin de mettre en évidence la relation linéaire qui relie la résistance initiale du béton à celle du béton confiné. Les résultats obtenus sur les cylindres et sur les prismes, sont représentées sur la figure III.5.

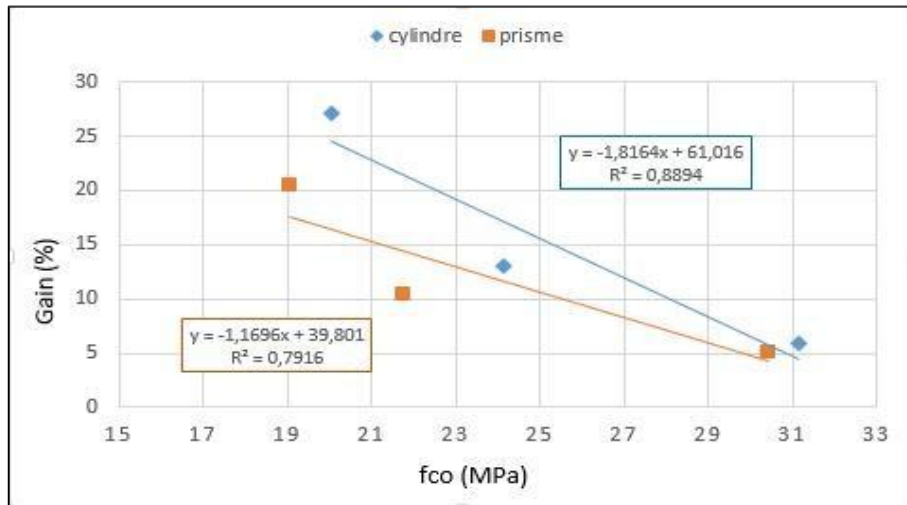


**Figure. III.5. Régression linéaire entre la résistance initiale du béton et la résistance du béton confiné.**

Il ressort du graphe, que la résistance initiale du béton explique bien la résistance du béton confiné aussi bien pour les cylindres que pour les prismes. Ces deux paramètres sont en effet, fortement corrélés. Ils sont reliés par une droite ascendante.

## Chapitre III : Résultats et discussion

La deuxième régression linéaire calculée (fig.III.6) met en relation la résistance initiale du béton et le gain en résistance du béton confiné.



**Figure. III.5. Régression linéaire entre la résistance initiale du béton et les gains de résistance du béton confiné.**

Il ressort du graphe que la résistance initiale du béton est corrélée négativement avec le gain de résistance aussi bien pour les cylindres que pour les prismes; le gain le plus grand est, ainsi, obtenu pour la résistance initiale la plus faible.

### III.5. Conclusion

Cette étude expérimentale a été menée sur des spécimens cylindriques et prismatiques renforcés par une double hélice en PRFV et soumis à une compression simple. Les résultats des essais ont montré l'efficacité du confinement des bétons qui ont une faible résistance initiale, contrairement à un béton de résistance plus élevée, lequel après confinement gagne peu en résistance.

# Conclusion générale et perspectives

---

## Conclusion générale

Les structures en béton nécessitent bien souvent des opérations de réhabilitation qu'elles soient endommagées ou devant répondre aux nouvelles exigences de conception dictées par les règlements en vigueur.

L'une des techniques modernes les plus utilisées pour assurer le bon fonctionnement des structures ainsi que leur durabilité, la réhabilitation par les matériaux composites.

Ce procédé connaît un grand essor de par le monde, du fait que les matériaux composites présentent beaucoup d'avantages, comme leur facilité de mise en œuvre, leurs caractéristiques mécaniques très intéressantes, leur faible poids, etc.

De nombreuses recherches ont été réalisées concernant la technique de réhabilitation de structures en béton, notamment, par collage de composites tels que les PRF en surface du béton. Les résultats obtenus étant plus que satisfaisants en matière de résistance et de ductilité. La fiabilité de ce procédé, fait de lui le procédé de réhabilitation le plus utilisé dans le monde.

Nous nous sommes intéressés dans le cadre du présent travail, à l'effet de la résistance initiale du béton sur le confinement par collage de bandes hélicoïdales de PRF à base de fibres de verre sur la résistance du béton confiné. Le programme expérimental a porté sur une série de 12 cylindres (15cmx30cm) et de 12 prismes (10cmx10cmx30cm) confectionnés à l'aide de 3 compositions de résistances différentes. Après confinement, les éprouvettes sont soumises à l'essai de compression uniaxiale pour déterminer leurs résistances à la compression.

Les spécimens confinés ont présenté une augmentation de la résistance par rapport aux spécimens non confinés. Ceci est obtenu aussi bien sur les spécimens cylindriques que prismatiques.

En revanche, il a été constaté que le gain de résistance est inversement proportionnel à la résistance initiale du béton. En effet, un gain de 27.15 % pour les cylindres et 20.5% pour les prismes de la composition C2 (présentant la plus faible résistance initiale), contre un gain

## Conclusion générale et perspectives

---

de 5.93% pour les cylindres et 5.13% pour les prismes de la composition C3 (présentant la meilleure résistance initiale).

Nous pouvons conclure que le confinement a une plus grande efficacité sur les bétons initialement moins résistants. L'amélioration de la résistance après confinement est faible d'autant que la résistance initiale est grande.

Enfin, nous pouvons suggérer, en guise de perspectives, de tester d'autres valeurs de la résistance initiale du béton pour pouvoir conforter les résultats obtenus dans cette étude.

Etudier l'effet de la résistance initiale du béton sur des spécimens à l'échelle réelle.

Evaluer l'effet de la résistance initiale sur des spécimens confinés avec un autre type de PRF ou avec un TRC.

## Références bibliographiques

---

- [1] Benzaid Riad « Contribution à l'Étude des Matériaux Composite Dans le Renforcement et la Réparation Des Éléments Structuraux Linéaires en Béton » université mentouri Constantine, thèse de doctorat 2010
- [2] Ali Ahmed C. « Optimisation des paramètres de réhabilitation, par les matériaux composites, de structures endommagées : techniques expérimentation et modélisation ». Thèse de doctorat, 2016.
- [3] OUSSAD Fetta « Etude expérimentale de l'effet du confinement par matériaux composites sur des cylindres endommagés en béton » mémoire de fin d'étude. Université mouloud Mammeri 2017
- [4] Lam L. et Teng J.G. « strength models for FRP confined concrete », journal of structural engineering, ASCE, vol.128, n°5, pp.612-623, 2002
- [5] Mirmiran A. et Shahawy M. « behavior of concrete columns confined by fiber composites », journal of structural engineering, ASCE, vol.123, n°5, pp.583-590, 1997.
- [6] Du Luca, A. and Nanni, A., single- Parameter Methodology for the prediction of the stress- Strain Behavior of FRP –Confined RC square
- [7] Pham, T .M. and Hadi, M.N.S., Predicting Stress and Strain of FRP Confined Rectangular/Square Columns Using Artificial Neural Networks, Journal of Composites for Construction 2014a, 18(6)
- [8] Pham, T.M. and Hadi, M.N.S., Stress Prediction Model for FRP Confined Rectangular Concrete Columns with Rounded Corners , journal of composites for construction 2014b,18(1)
- [9] Teng, J.G., Jiang, T., Lam, L., and Luo, Y.Z., Refinement of a Design-Oriented Stress-Strain Model for FRP –Confined Concrete, Journal of Composites for Construction, 13(4), 2009, p.269
- [10] Wu, Y. F. and Zhou, Y. W., Unified Strength Model Based on Hoek-Brown Failure Criterion for Circular and Square Concrete Columns Confined by FRP, Journal of Composites for Construction, 14(2), 2010, p. 175–84.

## Références bibliographiques

---

- [11] Thong M. Pham, Le V. Doan, Muhammad N.S. Hadi. Strengthening square reinforced concrete columns by circularisation and FRP confinement. *Construction and Building Materials*. Volume 49, December 2013, Pages 490-499.
- [12] ACI COMMITTEE 440.2R-08, “Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures”, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA, (2008).
- [13] Cromwell J.R., Harries K.A. and Shahrooz B.M., “Environmental durability of externally bonded FRP materials intended for repair of concrete structures”, *Construction and Building Materials* 25(5), pp. 2528-2539, (2011).
- [14] Quiertant M., “Matériaux organiques spécifiques pour la construction”, Yves Mouton (Ed.), Chapitre 23, pp. 503–525, ISTE, Londres (2011).
- [15] Ould El Hacem Zein El Abidine : Renforcement du béton par les matériaux composites. Université de Tbesa Mai 2016
- [16] Jean Marie Berthelot : Matériaux composites, comportement mécanique et analyse des structures 5<sup>ème</sup> édition Lavoisier.
- [17] IGUENI Célia « Caractérisation du comportement du cylindres en béton, confinée avec des composites à base de fibres végétales» mémoire de fin d'étude. Université mouloud Mammeri 2017
- [18] DJEBLOUN Yousef «Etude de la rupture en mode I d'ouverture des matériaux composites». Obtention du diplôme de magistère université Mohamed KHIDAR Biskra.
- [19] J.-M. Berthelot (1995). High mechanical performance composites and design of composite structures. *Polymers and Other Advanced Materials*, eds. P.N. Prasad et al., Plenum Press, New York.
- [20] Bardonnnet, p 1992 «résines époxy « technique d'ingénieur, traité plastique et composites A3465, A3466

## Références bibliographiques

---

- [21] Lam, L. et Teng, J.G. (2002) “Strength models for FRP-confined concrete”, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 128, No. 5, pp. 612-623
- [22] Carolin,A. (2003), “Carbone fiber reinforced polymers for strengthening of structural elements». Doctorate Thesis, Lulea University of technology, 178p.
- [23] Hicham BELHANNACHI «Réhabilitation et Renforcement des poteaux en béton armé thèse d’obtention de diplôme de magister Juillet 2009
- [24] Mohcene BOUKHEZAR «Réhabilitation et renforcement des poutres au moyen des matériaux composite « thèse d’obtention de magistère université mentouri, Constantine 2017
- [25] Nidal Aregabi : comportement en compression centrée des poteaux en béton à haute performance (BHP) renforcés de fibres synthétique
- [26] Riad Benzaid, Habib Mesbah, Nasser Eddine cheikh : «Performance des colonnes en béton confiné avec des enveloppes externes en composite PRFC [27] Raphaëlle SADONE : « comportement de poteaux en béton armé renforcé par matériaux composites soumis à des sollicitations de type sismique, et analyse d’éléments de dimensionnement thèse de doctorat l’Université Paris-Est 2011
- [28] ] Fardis, M.N. et Khalili, H.H. (1982) “FRP-encased concrete as a structural material”, *Magazine of Concrete Research*, Vol. 34, No. 121, pp. 191-202.
- [29] Kévin Récécaud, Khaled Mohamed, Brahim Benmokrane « Développement d’un nouveau protocole d’essais de caractérisation mécanique de barres d’armaturer eu polymère renforcé de fibre PRF pour les barres courbes»rapport technique finale, Département de génie civil université de SHERBOOKE, Québec.
- [30] Wu. G, Lu“. Z.T , Wu. Z.S.( 2005).Strength and ductility of concrete cylinders confined with FRP composites. *Construction and building Materials*, Volume 20,p134-148

## Références bibliographiques

---

- [31] Taouche F, Hannachi NE, Ait Tahar K : influence du type de renforcement sur la pression latérale de confinement laboratoire LaMoMS Faculté de construction Université Mouloud MAMMERI Tizi-Ouzou
- [32] Saadatmanesh, H., Ehsani, M. R. et Li, M. W. (1994) “Strength and ductility of concrete columns externally reinforced with fiber composite straps”, *ACI Structural journal*, Vol.91, No.4, pp. 434-447.
- [33] Kono, S. Inazurni, M. et Kaku, T., (1998) “Evaluation of confining effects of crfp sheets on reinforced concrete members”, *Proceedings of the Second International on Composites in Infrastructure*, ICCI'98, Saadatmanesh, H. et Ehsani, M. R., Editors, Tucson, Arizona, pp. 343-355
- [34] Youssef , M.N., Feng M.Q., et Mosallam A.S. (2007) “ stress-strain model for concrete confined by FRP composites” *Composites: Part B*, Vol. 38, pp. 614-628.
- [35] Farid Abou chakra »renforcement des poteaux en béton armée au moyen des polymères renforcé par fibre de carbone : comparaison des codes» mémoire en vue d’obtenir le diplôme d’ingénieur CNAM centre ASSOCIE du Liban.
- [36]R Development Core Team (2005). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL: <http://www.R-project.org>

# Résumé

L'une des techniques de réhabilitation des structures en béton les plus fiables et qui est en plein essor, le collage de matériaux composites.

Le présent travail concerne l'étude de l'effet de la résistance initiale du béton sur le confinement hélicoïdal de polymère renforcé de fibres de verre (PRFV).

Un programme expérimental a été mené sur des spécimens cylindriques et prismatiques confectionnés à partir de trois compositions de différentes résistances initiales et confinés hélicoïdalement par un composite PRFV et soumis à l'essai de compression uniaxiale.

Il a été rapporté que la résistance initiale du béton influence significativement l'efficacité du confinement pour les deux types de section. En effet, il a été montré que le gain en résistance du béton confiné est inversement proportionnel à la résistance initiale du béton.

Mot clés :

Confinement – résistance initiale – béton – composite PRFV

# Abstract

One of the techniques of strengthening and rehabilitation of concrete structures the most reliable and which is in full swing, the bonding of composite materials. A very recent technique is being considered by researchers, which is symbolized by reinforcement using composite materials.

The present work concerns the study of the effect of initial concrete strength on the helical confinement of glass fiber reinforced polymer (GFRP).

An experimental program was conducted on cylindrical and prismatic specimens made from three compositions of different initial strengths and helically confined by a GFRP composite and subjected to the uniaxial compression test.

It has been reported that initial concrete strength significantly influences confinement efficiency for both types of sections. Indeed, it has been shown that the resistance gain of confined concrete is inversely proportional to the initial strength of the concrete.

Keywords:

Confinement - initial resistance - concrete - GFRP composite.