

REMERCIEMENTS

Je tiens à présenter mes plus vifs remerciements à mon promoteur Mr DEHMOUS. H pour l'aide qu'il a apportée à la réalisation de ce travail et pour ses précieux conseils, ses orientations et ses motivations tout au long de ce travail.

Mes sincères remerciements vont aussi aux membres du jury, pour l'intérêt qu'elles ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs remarques.

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, M^{me} MADJBER. F, M^{elle} BABACIA ET LA DOCTAURANTE M^{elle} GHANEME. F

Pour leur disponibilité et toute

L'aide que j'ai eu de leur part.

DIDICACES

*Au terme de ce travail je tiens à remercier Dieu le tout puissant de m'avoir donné la
Force, la santé et la patience pour accomplir ce travail.*

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents

OULD BOUALI AHMED et AIT OUAZZOU TAMAZOULT

A mes frères

LEKRIM et HOCINE

A mes sœurs

TOUNSSIA, OUAHIBA ET LYNDIA

ET A MES ENFANTS

NELYA ET ARIS

et toute la famille OULD BOUALI et AIT RAHMANE

ABSTRACT

SOMMAIRE

I.	INTRODUCTION GENERALE.....	9
I.	CHAPITRE I :	3
I.1	Introduction.....	3
I.2	La nécessité d'un renfort structurel.....	3
I.3	Différentes solutions techniques de réparations et de renforcement des ouvrages en Béton	4
I.3.1	Réparation des désordres superficiels.....	4
I.3.2	Traitement des fissures.....	4
I.3.3	Réparation et renforcement des structures par des armatures passives additionnelles :	6
I.3.4	Béton projeté :	7
I.3.5	Renforcement des structures par précontrainte additionnelle :	9
I.3.6	Chemisage :	10
I.3.7	Tôles d'acier collées	11
I.3.8	Réparation et renforcement des éléments structuraux au moyen de matériaux composites :	12
I.4	Conclusion du chapitre :	22
II.	CHAPITRE II.....	23
II.1	Introduction :	24
II.2	Programme expérimental :	24
II.2.1	Caractérisation des matériaux utilisés :	24
II.2.2	Confection de béton et préparation des éprouvettes :	27
II.2.3	Description de l'essai de compression.....	35
II.2.4	Conclusion.....	37
III.	CHAPITRE III	38
III.1	Evolution de la force en fonction du déplacement pour $h/D=2$	38
III.1.1	Béton témoin	38
III.1.2	Béton confiné : enrobage 1 cm.....	39
III.1.3	Béton confiné : enrobage 2 cm.....	39
III.1.4	Béton confiné : enrobage 3 cm.....	40
III.2	Comparaison entre les éprouvettes :	41

III.3	Evolution de la force en fonction du déplacement pour $h/D=4$	43
III.3.1	Béton témoin	43
III.3.2	Béton confiné.....	44
III.4	Comparaison entre les éprouvettes :	44
III.5	Comparaison entre les éprouvettes :	45
Figure III.21	évolution de la force en fonction du déplacement du béton $h/d=2$ et $h/d=4$; enrobage=2cm	46
III.6	Conclusion	46
V.	CONCLUSION GENERALE & PERSPECTIVES.....	47
VI.	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE	49

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 Nettoyage d'une fissure avec une brosse métallique.....	5
Figure I-2 Injection de fissures au pont de Châlons-en-Champagne [6].....	5
Figure I-3 Fissure en cours de cachetage	5
Figure I-4 Calfeutrement de fissures à l'aide d'un mortier à base de liants hydrauliques6	
Figure I-5 Pontage d'une fissure avec incorporation d'une armature [6]	6
Figure I-6 Adjonction d'armatures supplémentaires	7
Figure I-7 : Renforcement au moyen d'un béton projeté.....	7
Figure I-8 béton projeté par voie sèche.....	8
Figure I-9 béton projeté par voie humide	9
Figure I-10 Précontraintes additionnelles.....	10
Figure I-11 : Préparation des poteaux pour le chemisage en béton armé.....	10
Figure I-12 : Chemisage en acier	11
Figure I-13 plaques d'acier collées.....	12
Figure I-14 : Poteaux en BA confiné par matériaux composites	14
Figure I-15 : Poutres en BA renforcées par matériaux composites.....	14
Figure I-16 : Réhabilitation d'un mur en maçonnerie (Suisse) [8] [9] [5].....	14
Figure I-17 Renforcement d'une dalle de pont.....	15
Figure I-18 Réhabilitation du Blanc d'El Harrach, Alger.....	15
Figure I-19 : Confinement des colonnes par stratification directe	16
Figure I-20 : Confinement par enroulement filamentaire [5] [11].....	16
Figure I-21 : Chemisage par coquille préfabriquées.....	17
Figure I-22. Courbe contrainte-déformation d'un béton confiné par FRP [13].....	18
Figure I-23 Différents types de confinement [14]	19
Figure I-24 caractéristiques géométriques de la grille composite utilisée.....	19
Figure I-25 Représentation du filet dans le béton	20
Figure I-26 Mode de rupture des spécimens, (a) béton confiné et (b) béton non confiné.20	
Figure I-27 Problème d'adhérence du composite avec le béton.....	21
Figure II-1 Constituant du béton	25
Figure II-2 grille utilisée comme renfort.....	26
Figure II-3 Mélange des constituants du béton avec le malaxeur.....	28
Figure II-4 : Malaxage du béton.	28
Figure II-5 Moules cylindriques (10×40) cm.....	29
Figure II-6 Moules cylindriques (10×20) cm.....	29
Figure II-11 : Compactage et vibration des éprouvettes.	33

Figure II-12 : Arasement des surfaces des éprouvettes.	33
Figure II-13 : Démoulage des éprouvettes en béton.....	34
Figure II-14 : Cure d'hydratation des éprouvettes en béton.....	35
Figure II-15 : Machine d'essais de compression IBERTEST 200KN.....	36
Figure II-16: Mise en place des éprouvettes	37
Figure III-1 Mode de rupture du béton témoin $h/D=2$	38
Figure III-2 évolution de la force en fonction du déplacement du béton témoin $h/D=2$;	38
Figure III-3 Mode de rupture du béton confine $h/D=2$; enrobage 1 cm	39
Figure III-4 évolution de la force en fonction du déplacement du béton confine $h/D=2$; enrobage 1 cm	39
Figure III-5 Mode de rupture du béton confiné $h/D=2$; enrobage 2 cm	40
Figure III-6 évolution de la force en fonction du déplacement du béton confiné $h/D=2$; enrobage 2 cm	40
Figure III-7 aspect de l'éprouvette $h/D=2$; enrobée a 3cm après écrasement	40
Figure III-8 évolution de la force en fonction du déplacement du béton confiné $h/D=2$; enrobage 3 cm	41
Figure III-9 L'éprouvette $h/d=2$ après écrasement. Enrobage 3cm	41
Figure III-10 L'éprouvette $h/d=2$ après écrasement. Enrobage 2cm	41
Figure III-11 Comparaison entre l'éprouvette confinée et non confinée après écrasement	41
Figure III-12 L'éprouvette $h/d=2$ après écrasement. Enrobage 1cm	41
Figure III-13 évolution de la force en fonction du déplacement pour différentes valeurs de l'enrobage pour les éprouvettes $h/d=2$	42
Figure III-14 Mode de rupture du béton témoin $h/d=4$	43
Figure III-15 évolution de la force en fonction du déplacement : béton témoin $h/d=4$	43
Figure III-16 Mode de rupture du béton confine $h/d=4$. Enrobage 2 cm.....	44
Figure III-17 évolution de la force en fonction du déplacement : béton confiné $h/d=4$. Enrobage 2 cm	44
Figure III-18 évolution de la force en fonction du déplacement du béton confiné et témoin $h/d=4$	45
Figure III-19 Eprouvettes $h/d=2$ après rupture. Enrobage 2cm.....	45
Figure III-20 Eprouvettes	45
IV. Figure III-21 évolution de la force en fonction du déplacement du béton $h/d=2$ et $h/d=4$;enrobage=2cm.....	46

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II-1 Dosage des Constituants du béton pour le programme expérimental	26
Tableau II-2 Dosage des Constituants du béton pour le programme expérimental (1^{er} et 3^{ème} coulage)	27
Tableau II-3 Dosage des Constituants du béton pour le programme expérimental (2^{ème} coulage).....	27

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Dans les pays développés, l'industrie de la construction a été marquée durant le siècle passé par un rythme intense ; si bien que l'économie d'un pays se mesurait, souvent, à l'activité de cette industrie. Aujourd'hui, ce rythme a sensiblement diminué, alors que les infrastructures existantes sont dans un état de détérioration structurelle, de plus en plus préoccupant. Aux États Unis, près du tiers des 600 000 ponts, que compte le patrimoine américain, est dans un état structurel nécessitant, (Norris et coll., 1997). Et ce diagnostic ne s'applique pas aux infrastructures routières seulement ; il s'étend également aux autres ouvrages de génie civil dont les bâtiments.

En Algérie comme ailleurs dans le monde, une grande partie du patrimoine national et des infrastructures de transport ont atteint la fin de leur durée de vie utile. Des études et expertises ont montré l'urgence de développer des techniques de réhabilitation permettant de redonner aux structures telles que les anciens édifices et les ponts, les capacités structurales nécessaires pour résister aux sollicitations auxquelles elles sont soumises.

Le chantier est immense ! Penser au remplacement systématique de toutes ces infrastructures, au moment où l'on assiste à des restrictions budgétaires sans précédent, serait complètement absurde. Les efforts financiers que nécessitent la maintenance, la réparation, et parfois le renforcement. À eux seuls, sont déjà insupportables

Le nouveau défi des concepteurs consiste à prolonger la durée de vie des structures, tout en respectant les normes de sécurité et de performances mécaniques de plus en plus sévères. Si avant, l'approche privilégiée était celle de la démolition – reconstruction, actuellement, pour des raisons économiques, une attention de plus en plus grande est portée à l'option de renforcement - réparation [1].

Dans ce contexte, le développement de techniques de réparation et/ou de renforcement efficaces, durables et économiques. Représente aujourd'hui un défi majeur pour l'industrie de la construction. Une ère nouvelle où, désormais, la mission de l'ingénieur ne se limite plus à bâtir du neuf, mais aussi à maintenir en service le bâti existant. L'une des techniques qui suscite un intérêt grandissant est l'utilisation des polymères renforcés de fibres (FRP) pour le renforcement des structures en béton armé (Neale 2000, Clarke 2000). Les multiples avantages de cette technique, reliés aux propriétés des FRP telles que le ratio résistance/poids élevé, l'immunité contre la corrosion, ou encore la facilité qui caractérise leur mise en place, sont particulièrement intéressants du point de vue économique (Meier 2000, Burgoyne 1999). Face

à la détérioration de plus en plus préoccupante des ouvrages existants, de tels avantages encouragent à lui prédire un avenir très prometteur. D'ailleurs, ses applications à travers le monde, à la fois nombreuses et diversifiées, connaissent, depuis son introduction dans l'industrie de la construction, il y a une quinzaine d'années, un succès remarquable (Rizkalla et coll. 2003, Bakis et coll. 2002).

Les premières recherches sur l'application de ce nouveau matériau destinées aux ouvrages de génie civil datent de 1980, bien que ce soit plutôt vers 1990 que le matériau est utilisé, d'abord sur une base expérimentale, puis progressivement sur une base commerciale. Le confinement des colonnes en béton se réalise à l'aide d'enveloppes en matériaux composites à base de fibres de verre, de carbone ou d'aramide en utilisant des résines durcissant à température ambiante. Cette technique est largement employée pour son efficacité et sa facilité de mise œuvre. Cependant, le détachement des tissus par rupture de l'adhésif sur la face du béton entraînant une rupture brutale de l'élément renforcé, pose problème. Ce dernier a fait l'objet de plusieurs études expérimentales et numériques [2, 3,4].

Dans le présent travail, une autre technique est proposée. Elle consiste à renforcer les éléments de béton armé par une enveloppe composite en forme de grille intégrée dans la composition du béton. L'étude porte sur le comportement du béton ainsi confiné en compression

Nous l'avons présenté sous forme de chapitre liés les uns aux autres

- **le chapitre I** : présente les différentes techniques employées dans les travaux de renforcement ou de réparation des structures en béton armé. Il montre aussi quelques causes qui conduisent à un renfort structurel tout en présentant les différentes procédures de renforcement et réparation des structures y compris celle de l'utilisation des polymères renforcés de fibres «PRF».
- **le chapitre II** : il est consacré à la campagne expérimentale ; les matériaux utilisés et la confection des cylindres en béton et leur confinement, puis la procédure d'essai de compression uni axiale.
- **le chapitre III** : Nous avons alors présenté et interprété les résultats obtenus des essais réalisés.

CHAPITRE I :

Recherche bibliographique sur le confinement
du béton

I.1 Introduction

Bien qu'appelé « pierre artificielle », le béton est un matériau 'vivant' qui se modifie tout au long de sa vie utile. Il change car la structure dont il fait partie subit elle-même des changements. Ces changements proviennent soit de modifications ou de rénovations, soit d'une altération de sa capacité de support par un accroissement des charges. Dans la plupart des cas, il nécessite un renfort (Vizuete 2000).

Le renforcement d'une structure en béton consiste à améliorer les caractéristiques mécaniques des éléments qui la composent, de manière à ce qu'elle offre une meilleure solidité aussi bien en état de service qu'en état de résistances ultimes. De nombreuses solutions techniques sont disponibles et maîtrisées, elles ont fait la preuve de leur efficacité et répondent à l'ensemble des problèmes potentiels rencontrés sur les matériaux ou sur les structures. Il convient de choisir la solution technique adaptée à la pathologie à traiter, après un Diagnostic complet et précis des désordres, de leurs causes et de leurs évolutions. Cette partie présente les méthodes les plus utilisées dans le domaine de renfort des structures.

I.2 La nécessité d'un renfort structurel

Les causes qui conduisent à un renfort structurel sont aussi nombreuses que le nombre de structures elles-mêmes, chaque cas doit être considéré comme un cas particulier. Les plus fréquentes sont :

- Accroissement des charges qui sollicitent la structure :
 - ✓ Changement d'usage de la structure (exemple : bâtiment d'habitation Réhabilité en centre commercial),
 - ✓ Augmentation du niveau d'activité dans la structure (exemple : anciens Ponts soumis au trafic actuel),
 - ✓ Installation de machinerie lourde dans les bâtiments industriels.
- Défauts dans le projet ou dans l'exécution :
 - ✓ armature insuffisante ou mal placée, mauvais matériaux,
 - ✓ dimensions insuffisantes des éléments structurels.
- Rénovation des structures anciennes :
 - ✓ prise en compte de renforts par des sollicitations non considérées au moment du projet ou de la construction (vibration, actions sismiques et autres), connaissance des insuffisances de la méthode de calcul utilisée lors de la conception, ainsi que des limitations montrées par des structures calculées durant une époque ou une période

- ✓ vieillissement des matériaux avec une perte des caractéristiques initiales.
- Changement de la forme de la structure :
 - ✓ suppression de poteaux, piliers, murs porteurs, élargissement de portées de calcul,
 - ✓ ouverture de passages en dalles pour escaliers ou ascenseurs.
- Dégâts dans la structure :
 - ✓ corrosion et diminution de la section des armatures dans le béton,
 - ✓ impacts contre la structure,
 - ✓ incendies.

1.3 Différentes solutions techniques de réparations et de renforcement des ouvrages en Béton

1.3.1 Réparation des désordres superficiels

Dans le cas où les désordres sont superficiels et que les armatures ne sont pas corrodées, la réparation se fait par étapes.

- ✓ préparation de surface avec élimination du béton dégradé et de toute trace de pollution ;
- ✓ traitement des armatures contre les risques de corrosion.
- ✓ reconstitué l'enrobage des armatures par un béton projeté ou un mortier.
- ✓ revêtement esthétique de toutes les surfaces traitées est posé.

Les produits de réparation doivent être compatibles avec le béton de la structure à réparer et adaptés aux conditions d'environnement. [5] ces produits Sont Soit à base de liants hydrauliques, de résines synthétiques ou bien mixtes.

1.3.2 Traitement des fissures

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). Il existe 5 principales techniques de traitement des fissures.

- ✓ Injection d'un produit qui va créer une continuité mécanique entre les parties disjointes. Elle s'applique à des fissures dont l'ouverture est au moins comprise entre 0.1 et 0.2mm.
- ✓ Par Cachetage Le but est d'obturer provisoirement la fissure pendant l'injection afin de contenir le liquide injecté jusqu'à sa prise
- ✓ Par Calfeutrement destinée aux fissures très ouvertes
- ✓ Par Pontage Destiné à recouvrir une fissure par un revêtement

- ✓ Par protection généralisée lorsque la fissuration est anarchique



Figure I.1 Nettoyage d'une fissure avec une brosse métallique [6]



Figure I.2 Injection de fissures au pont de Châlons-en-Champagne [6]



Figure I.3 Fissure en cours de cachetage [6]



Figure I.4 Calfeutrement de fissures à l'aide d'un mortier à base de liants hydrauliques [6]

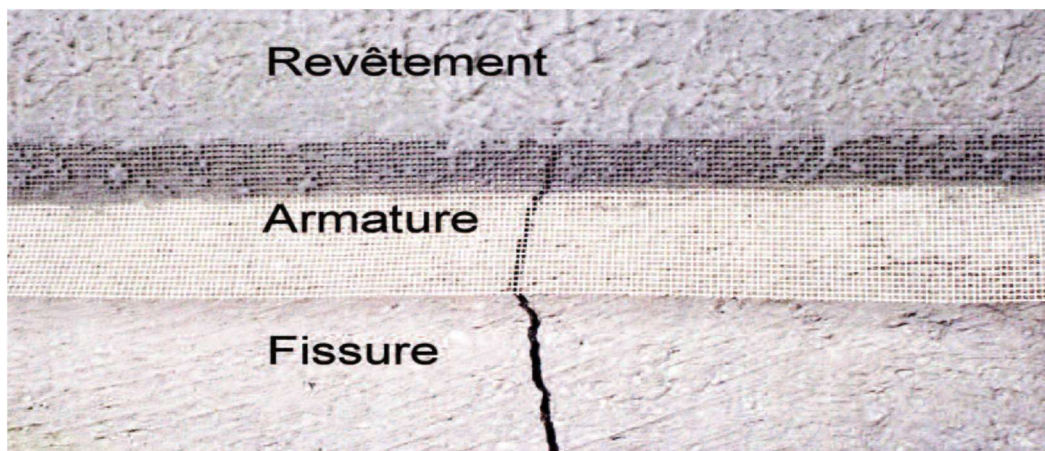


Figure I.5 Pontage d'une fissure avec incorporation d'une armature [6]

I.3.3 Réparation et renforcement des structures par des armatures passives additionnelles :
Des armatures complémentaires sont à prévoir lorsqu'il s'agit de remplacer des aciers corrodés ou lorsqu'il s'agit de renforcer une structure. Les armatures complémentaires doivent s'opposer à la fissuration, et participer à la résistance des sections renforcées. La protection de ces armatures est assurée par un béton coulé ou projeté et leurs jonctions avec les armatures existantes peuvent se faire par recouvrement ou par soudure.

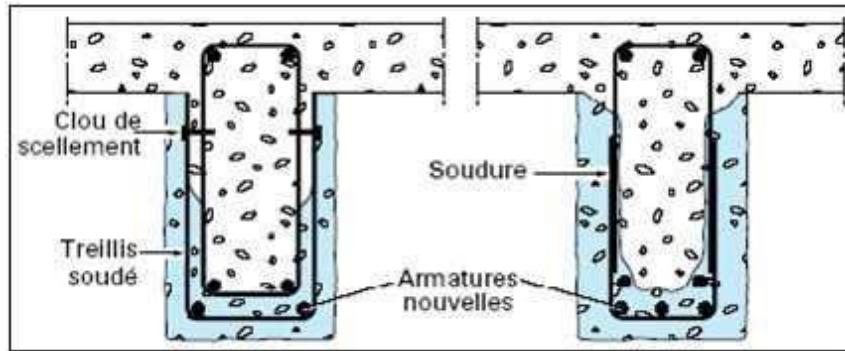


Figure I.6 Adjonction d'armatures supplémentaires [6]

En fin l'enrobage des nouvelles armatures doit être assuré par un mortier assurant une adhérence suffisante avec les armatures et avec le béton existant.

Ce type de réparation demande généralement, pour être efficace, une augmentation non négligeable des dimensions des éléments de structure et l'emploi d'un volume relativement important de matériaux, ce qui n'est plaisant ni sous l'aspect économique, ni sous l'aspect esthétique, dans le cas de structures de façades.

I.3.4 Béton projeté :

Cette technique, très au point, utilisée tant pour le renforcement de structures insuffisantes ou défaillantes que pour la réparation d'ouvrage endommagés, consiste à projeter du béton contre la face à bétonner à l'aide d'un jet d'air sous pression. La difficulté de l'emploi de cette méthode provient essentiellement du mode d'application et de mise en œuvre (matériels, main d'œuvre et problèmes de sécurité). Il existe deux techniques principales de projection : par voie sèche et par voie humide, Dans le procédé par voie sèche, l'eau est ajoutée en bout de lance alors que dans le procédé par voie humide, elle est mélangée en totalité lors de la fabrication du béton en centrale.



Figure I.7 : Renforcement au moyen d'un béton projeté [6]

I.3.4.1 Projection par voie sèche

Le procédé par voie sèche est le plus utilisé pour les réparations. Les matériaux secs (ciment et les granulats) sont incorporés directement dans une canalisation, où ils sont transportés par l'air comprimé jusqu'à la lance. L'eau sous pression est introduite dans le mélange à la lance par l'entremise d'une bague perforée, cette bague permet le mélange de l'eau avec les matériaux. Le malaxage de l'eau et des matériaux secs se produit dans la lance et au contact de la surface.

Le procédé par voie sèche a l'avantage de pouvoir être arrêté et reparti à tout moment durant les travaux. En effet, comme le contact du ciment et de l'eau ne se fait qu'à la lance, il n'y a aucune prise possible dans l'appareillage si la production du béton est interrompue.

La (Figure I-8) présente l'appareillage nécessaire à l'application de béton projeté par voie sèche

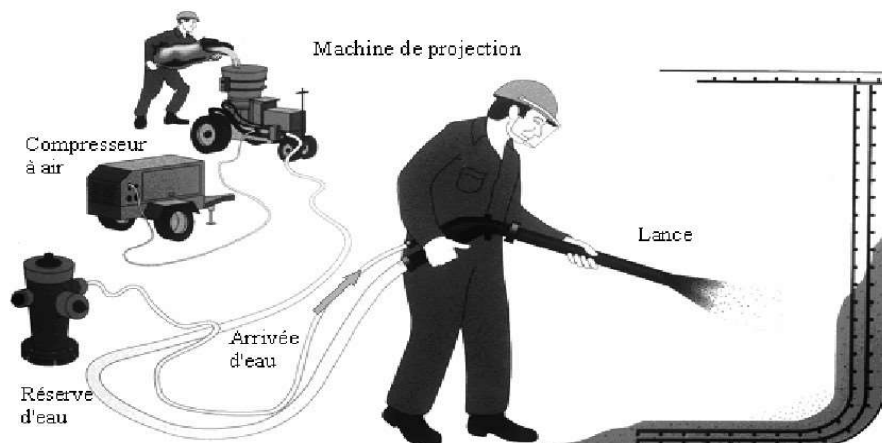


Figure I.8 béton projeté par voie sèche. [6]

I.3.4.2 Projection par voie humide

Le procédé par voie humide implique qu'un béton ou un mortier soit pompé de façon conventionnelle dans un boyau et projeté à haute vitesse contre une surface réceptrice en utilisant de l'air comprimé ajouté à la lance.

La (Figure I-9) présente l'appareillage nécessaire à l'application de béton projeté par voie humide.

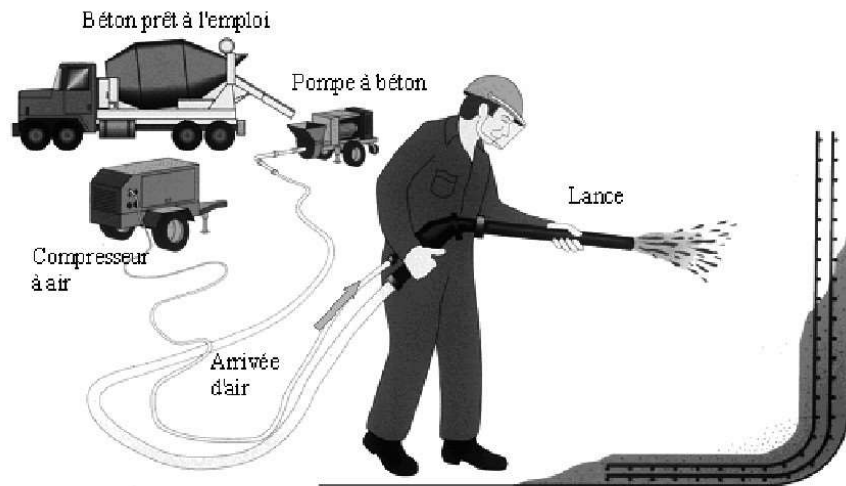


Figure 2-2 : Projection par voie humide

Figure I.9 béton projeté par voie humide [5]

I.3.5 Renforcement des structures par précontrainte additionnelle :

Cette technique consiste à renforcer une structure à l'aide de câbles de précontrainte ou de torons gainés graissés généralement disposés à l'extérieur du béton. La précontrainte additionnelle va introduire dans la structure des sollicitations complémentaires, qui vont compenser les défauts de dimensionnement ou de conception ou des efforts supplémentaires, que doit supporter la structure suite à des modifications des conditions de chargement ou d'utilisation. Les nouveaux câbles ou torons doivent, en apportant de la compression aux zones tendues, sans ajouter d'excès de contraintes dans les zones comprimées. Elle peut s'appliquer à tous types de structures existantes en béton armé ou en béton précontraint.

Cette méthode de renforcement bien que très efficace présente quelques difficultés de mise en œuvre. En effet, elle nécessite de dimensionner soigneusement des ancrages et de déterminer le chemin approprié des câbles. Ainsi, des forages à travers certaines parties de la structure existante sont nécessaires. Ces forages doivent être exécutés sans toucher aux différentes armatures existantes. En fin, il faut prendre toutes les dispositions pour contrôler que la précontrainte additionnelle se répartisse dans la structure et surtout dans les zones fissurées.



Figure I.10 Précontraintes additionnelles [5]

I.3.6 Chemisage :

I.3.6.1 Chemisage en béton armé :

Le chemisage en béton, selon les besoins peut être destiné pour : améliorer la rigidité, la résistance(en flexion ou en cisaillement) et augmenter la portance ou la capacité de déformation. L'épaisseur de chemisage doit être suffisante pour disposer les armatures longitudinales et transversales avec un enrobage adéquat (figure I-11). [7]



Figure I.11 : Préparation des poteaux pour le chemisage en béton armé [5]

A noter que le renforcement d'un élément par l'augmentation de sa section de béton (chemisage), influe directement sur la masse de la structure.

I.3.6.2 Chemisage en acier :

Le chemisage en acier augmente généralement la résistance à l'effort tranchant des poteaux, la résistance des jonctions et aussi leur ductilité. Il est constitué de quatre cornières auxquelles sont soudées des plaques en aciers continus ou des bandes d'acier horizontales discontinues plus épaisses, (figure I.12).ces cornières sont collées au béton par un liant époxydique ou plaquées, sans aucun espace sur toute la hauteur.



Figure I.12 : Chemisage en acier [5]

I.3.7 Tôles d'acier collées

L'utilisation de plaques d'acier collées afin de renforcer des insuffisances locales ou globales s'est développée ces dernières années. C'est une technique économique qui modifie peu l'aspect et les dimensions de la structure à réparer. Le collage de la plaque à la surface du béton assure un bon transfert des efforts et permet ainsi une augmentation de la résistance et de la raideur de la structure renforcée. Les plaques d'acier collées peuvent être utilisées afin d'effectuer un renforcement en flexion, en cisaillement ou pour confiner des colonnes en béton



Figure I.13 plaques d'acier collées [5]

Cette technique efficace a montré ses limites :

- ✓ L'acier est l'objet de la corrosion, il demande une maintenance et une protection coûteuse.
- ✓ La collation demande une surface de traitement spéciale et une pression constante jusqu'à la collation totale de l'acier.
- ✓ Les plaques d'acier sont lourdes et trop raides.
- ✓ Elles ne peuvent pas être collées dans des surfaces concaves.
- ✓ Dans les plaques c'est très difficile d'éviter les boules d'air entre les tôles et le support, ce qui implique une malle adhérence

Néanmoins L'utilisation de ce type de renforcement devrait voir son emploi augmenté avec :

- ✓ une meilleure connaissance du fonctionnement mécanique
- ✓ l'amélioration continue des adhésifs et de leurs conditions d'utilisation
- ✓ les recherches menées sur l'emploi de matériaux nouveaux pour remplacer l'acier. et c'est de là que les matériaux composites ont vu le jour.

I.3.8 Réparation et renforcement des éléments structuraux au moyen de matériaux composites :

La technique de renforcement des structures au moyen d'un matériau composite consiste à coller des plaques composites (lamelles, fibres), textiles ou stratifiés (tissu) ; associé à des matrices polymères thermodurcissables. Cette technique présente divers avantages par rapport aux techniques de renforcement ou de réparation traditionnelles (collage des plats métalliques).

- ✓ il est immédiat ;

- ✓ il est peu sensible aux déformations axiales ;
- ✓ l'enveloppe ne décolle pas ;
- ✓ sa mise en place est simple.
- ✓ De plus, les matériaux composites ont d'excellentes résistances à la fatigue et à la corrosion (comportement élastique), ainsi qu'un faible poids spécifique, ce qui évite de surcharger la structure.
- ✓ Elle permet d'augmenter la résistance des structures dégradées, renforcer les structures en cas de défauts d'exécution ou modification des charges d'exploitations et aussi de confiner des poteaux, colonnes ou piles.

La mise en œuvre de la technique de renforcement par composites nécessite une connaissance des conditions et des recommandations pour assurer la qualité de la réparation et du renforcement. Il faut :

- ✓ respecter les conditions climatiques : température (10°C à 25°C), humidité, et travailler à l'abri de la pluie et du soleil
- ✓ préparer le support : éliminer la laitance et la poussière
- ✓ réparer tous les défauts (fissures, trous) et éliminer tout revêtement existant
- ✓ Le composite (lamelles, tissu) est ensuite imprégné de résine (soit au moment du collage, soit pré imprégné en usine) et coller sur le support en marouflant pour éliminer toutes les bulles d'air formées entre le composite et le Support

.. Cette technique peut être appliquée pour tous les éléments de la structure : poteaux, poutres, murs, dalles, ou colonnes. [5]



Figure I.14 : Poteaux en BA confiné par matériaux composites [5]



Figure I.15 : Poutres en BA renforcées par matériaux composites. [5]



Figure I.16 : Réhabilitation d'un mur en maçonnerie (Suisse) [8] [9] [5]



Figure I.17 Renforcement d'une dalle de pont [5]

En Algérie, le premier cas d'utilisation de ces composites a été le renforcement des consoles en béton armé du stade de la ville de Tlemcen 1999 [SIK 03]. Il s'en est suivi le cas du renforcement du pont Blanc à El Harrach (Alger) qui est montré sur la figure I.14 et aussi le pont de Oued Larbaà et Hydra.



1. Renforcement en flexion

2. Renforcement en cisaillement

Figure I.18 Réhabilitation du Blanc d'El Harrach, Alger [5]

En Algérie, il existe un seul cas de renforcement de dalle, fait en 2001 à l'usine LPA de Boudouaou près de Boumerdes. [10] [5]

I.3.8.1 Les différentes méthodes de confinement des colonnes par composites :

Le confinement des colonnes en béton armé peut se faire par plusieurs méthodes classées en fonction de la technique de construction du composite utilisé, parmi ces méthodes : la stratification directe, l'enroulement filamentaire et le chemisage par coquille préfabriquée en PRF.

I.3.8.1.1 La stratification directe :

Dans cette méthode, les draps de fibres unidirectionnelles ou tissées sont découpées puis imprégnées de résine polymère ensuite déposées au tour des colonnes en orientant les fibres principales dans le sens de confinement avec un processus de moulage au contact, (Figure I.19) en fin l'application d'une couche de résine pour la protection nécessaire.



Figure I.19 : Confinement des colonnes par stratification directe [5]

I.3.8.1.2 Enroulement filamentaire :

Le principe de l'enroulement filamentaire ou bobinage, est d'envelopper les colonnes par des fibres continues au lieu des tissus (Figure I.20). L'enroulement se fait à l'aide d'une machine contrôlée par ordinateur, qui permet une précision de l'orientation des fibres, qui sont imprégnées de résine, et de l'épaisseur du PRF. [10]

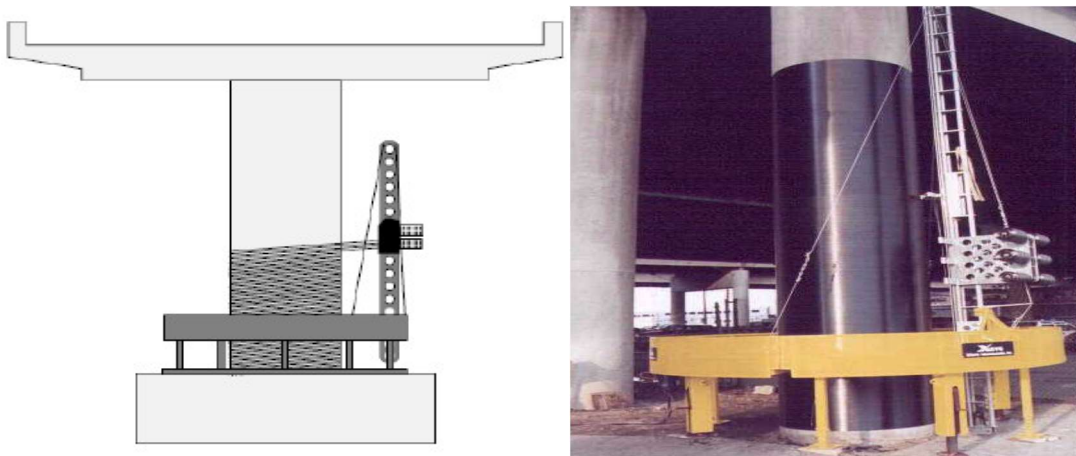


Figure I.20 : Confinement par enroulement filamentaire [5] [11]

I.3.8.1.3 Chemisage par coquille préfabriquées :

Les coquilles sont fabriquées sous forme de demi-cercle ou demi-rectangle en utilisant des fibres en bandes ou en voile. Les coquilles sont imprégnées de résine avant de les déposer (figure I.21). L'espace entre la colonne et la coquille est remplie avec un mortier de ciment pour assurer l'adhérence entre le béton et la coquille. . [5]

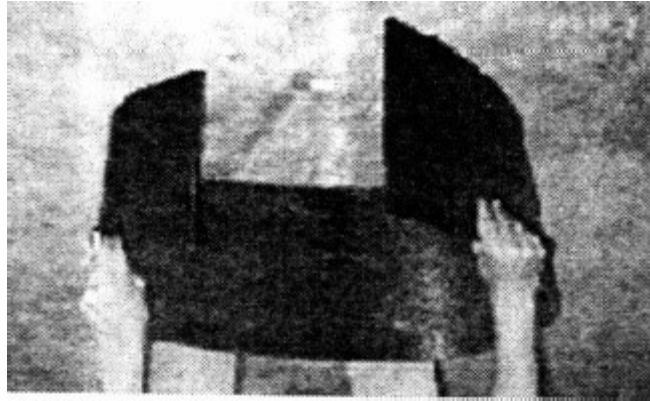


Figure I.21 : Chemisage par coquille préfabriquées [5]

I.3.8.2 Comportement du béton confiné :

Plusieurs auteurs ont prouvé que le confinement des colonnes en béton chargées axialement augmente la résistance et la ductilité de ces colonnes d'une quantité considérable. Lorsque le béton est soumis à une compression axiale, celui-ci se déforme latéralement. Cette déformation produit une fissuration qui augmente avec l'accroissement de la charge et qui conduit finalement à la rupture du béton. Si le béton est retenu latéralement de façon à réduire cette déformation, la résistance du béton et sa ductilité seront augmentées. Ce phénomène est communément appelé confinement du béton [12]. Le confinement du béton qui consiste à empêcher ces déformations, peut être réalisé soit par une enveloppe externe, soit par un faible espacement entre les étriers.

P. Hamelin [1] a étudié dans le détail le comportement des cylindres et des poutres renforcés de l'extérieur. Le renforcement consiste à coller une enveloppe composite qui augmente la résistance et la rigidité des éléments. Il définit alors pour les cylindres confinés une contrainte de confinement, un indice de confinement et aussi un gain lors de la sollicitation jusqu'à la rupture finale. G. Wu de sa part a introduit une nouvelle approche de confinement par bandes discontinues sur la surface du cylindre. Cette méthode permet de mettre en évidence le degré de confinement lié à la densité de l'enveloppe ainsi que le niveau de confinement qui en résulte.

La courbe contrainte déformation du béton confiné par FRP dépend en grande partie du pourcentage de la surface enveloppée. Pour des niveaux de contraintes faibles, la réponse du béton confiné est semblable à celle du béton non confiné, par contre lorsque la contrainte dépasse la limite de rupture du béton ordinaire, le FRP se trouve mobilisé et la courbe présente un deuxième tronçon linéaire ascendant jusqu'à la rupture du FRP. Ceci traduit le phénomène de confinement.

Deux aspects du confinement apparaissent ; lorsque le niveau de confinement est faible, les déformations engendrées avoisinent les déformations ordinaires, ce que l'on appelle couramment « softeningstrain », et lorsque le confinement est élevé, nous sommes dans ce cas, en présence de grandes déformations, on parle alors de « strain-hardening ».

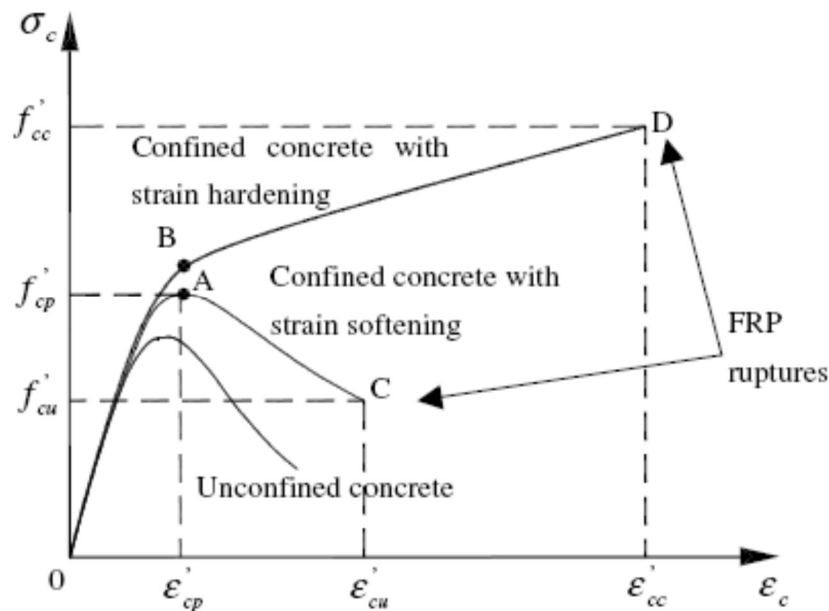
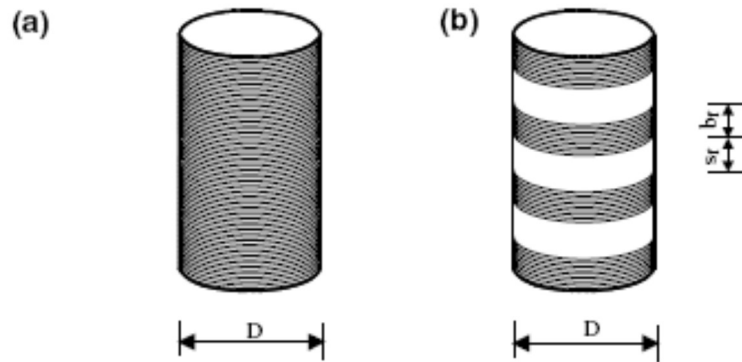


Figure I.22. Courbe contrainte-déformation d'un béton confiné par FRP [13].



Cylindre entièrement enveloppé Cylindre partiellement enveloppé

Figure I.23 Différents types de confinement [14]

F. Bentayeb, K. Ait tahar et A. Chateaneuf (2008) [15], ont réalisé une étude expérimentale et numérique d'une nouvelle technique de confinement, en intégrant une grille composite en fibres de verre de maille rectangulaire à l'intérieur de la matrice béton des spécimens cylindriques de dimensions 160 x 320 mm. La grille composite utilisée est faite de mailles avec des tailles alternées dans la direction horizontale de 2 à 3 cm et une épaisseur de 2 mm. Deux paramètres ont été étudiés : la classe de béton et les propriétés de la grille. Les paramètres géométriques de la grille sont donnés par la **figure 3.22** : l'épaisseur t_f et la largeur b_f du renfort dans la direction horizontale, s_f est la distance verticale entre deux renforts, le R_0 est le rayon de béton renforcé et e_p est la couche de béton autour de la grille. Pour la grille utilisée, les valeurs numériques sont : $b_f = 3 \text{ mm}$, $s_f = 20 \text{ mm}$, $t_f = 1 \text{ mm}$, $R_0 = 75 \text{ mm}$ et $e_p = 10 \text{ mm}$.

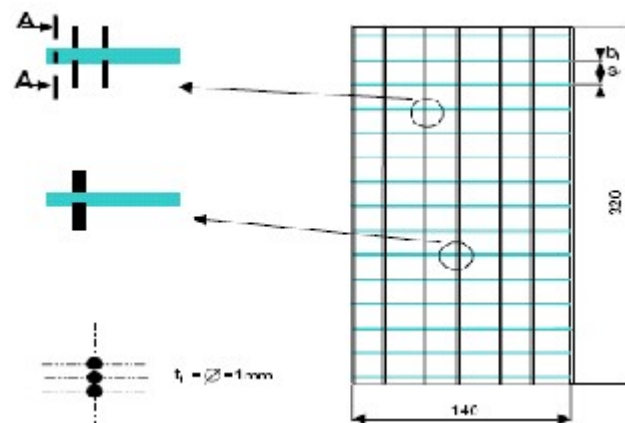


Figure I.24 caractéristiques géométriques de la grille composite utilisée.

Dans cette étude, une nouvelle technique est donc proposée pour le renforcement par confinement des colonnes en béton. Elle apporte un gain en rigidité et résistance, elle présente

un avantage certain en évitant l'effondrement brusque sous l'effet de charges accidentelles telles que les séismes [1].

Enfin elle permet d'éviter tout problème d'interface et de détachement du renfort de la structure renforcée.

Cette étude montre que la grille testée comme renfort offre un niveau de confinement acceptable, elle apporte un supplément de résistance de l'ordre de 20% qui nous place dans la zone des « strain hardening ». Ainsi, la classe du béton, la nature des fibres et la densité de la grille sont les paramètres qui influencent directement le confinement.

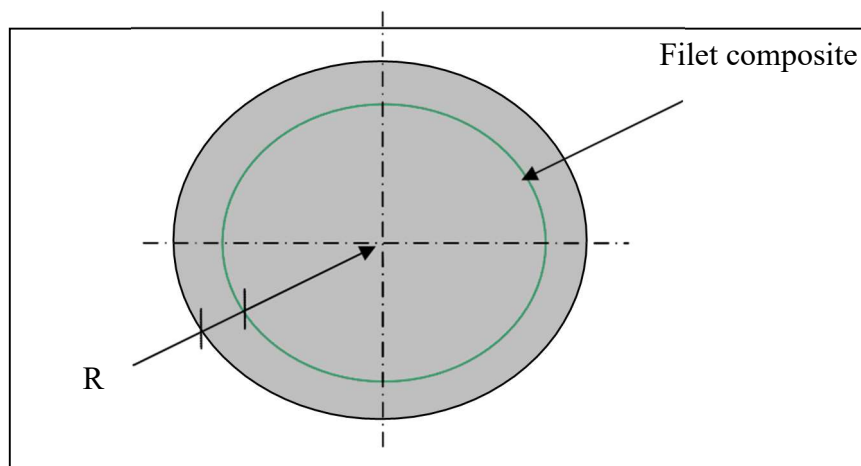


Figure I.25 Représentation du filet dans le béton

La figure I-26 montre le mode de rupture des spécimens de béton confiné et non confiné.



Figure I.26 Mode de rupture des spécimens, (a) béton confiné et (b) béton non confiné.

I.3.8.3 Problème d'adhérence avec le béton.

Dans le renforcement externe par matériaux composites, les matériaux composites présentent une efficacité significative dans la capacité de la structure. Le problème qui apparaît souvent dans ce type de renforcement est le décollement du composite (Figure I-27). Ce problème limite la contribution du composite à la résistance de la structure. Plusieurs types de rupture peuvent apparaître :

- a) Décollement du béton d'enrobage des armatures ;
- b) Décollement du renfort composite à son extrémité ;
- c) Décollement localisé du renfort sous la fissuration au cisaillement ;
- d) Décollement localisé du renfort sous la fissuration de flexion

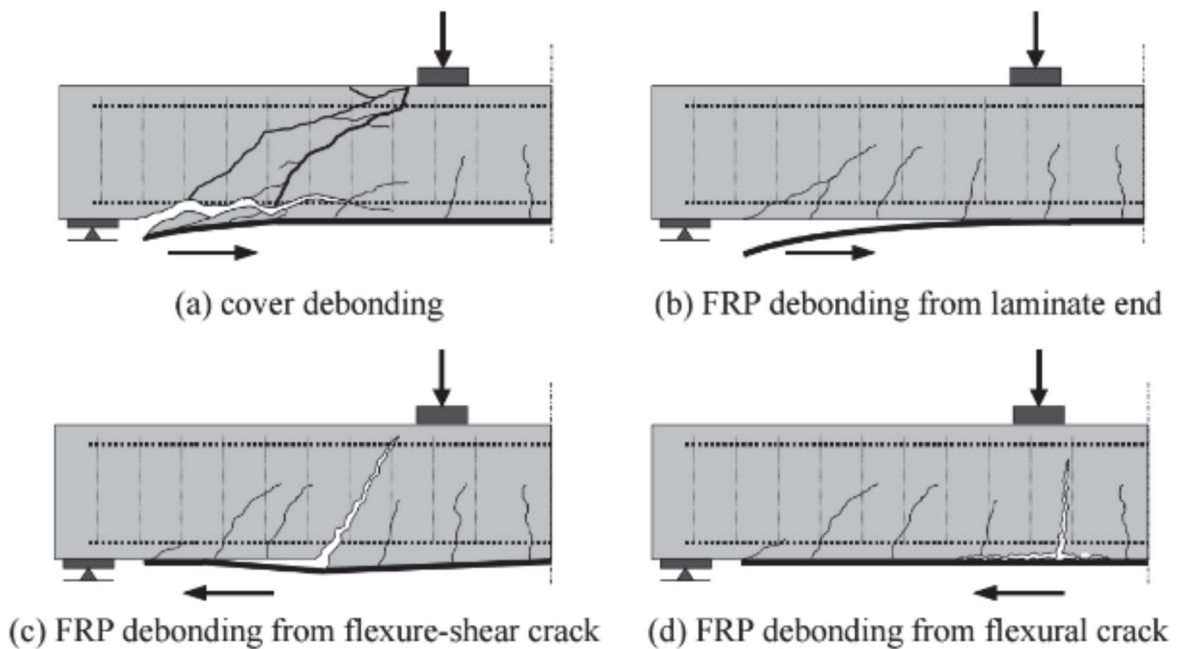


Figure I.27 Problème d'adhérence du composite avec le béton

I.4 Conclusion du chapitre :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes techniques de renforcement de structures en béton. Pour les techniques traditionnelles, les règles de dimensionnement sont connues et basées sur les principes de la statique et de la résistance des matériaux.

Les recherches menées par plusieurs chercheurs ont montré l'efficacité des techniques de réparation et de renforcement des ouvrages en béton armé par matériaux composites, ces techniques connaissent un développement beaucoup plus important en Amérique du Nord, au Japon et aussi en Europe, que ce soit pour les bâtiments ou pour les ouvrages d'arts.

Aucun type de renfort ne peut être recommandé sans tenir compte des différentes contraintes : type de matériaux, fonction, usage et vie utile de la structure à renforcer, espace disponible pour l'exécution et l'exploitation, type d'élément structurel à renforcer et coût du renfort. C'est à l'ingénieur qu'il revient le choisir la solution la mieux adaptée à la situation, après en avoir étudié tous les paramètres.

CHAPITRE II

Protocole expérimentale

II.1 Introduction :

Ce chapitre est consacré à la présentation des démarches utilisées dans le cadre de la campagne expérimentale menée au laboratoire de matériaux de l'université Mouloud MAMMERI de TIZIOUZOU. Les différentes étapes de confection des éprouvettes, les caractéristiques des matériaux utilisés ainsi que la conduite des essais de compression y sont décrites. Ces derniers étant conduits sur des cylindres ($\text{Ø}100\text{mm} \times 200\text{mm}$) et ($\text{Ø}100\text{mm} \times 400\text{mm}$) confinés par des grilles en polypropylène.

L'objectif de la démarche étant d'étudier le comportement des cylindres confinés par des grilles en polypropylène sous une sollicitation de compression et mettre en évidence les caractéristiques mécaniques de l'élément testé par rapport au même élément non confiné

II.2 Programme expérimental :

Le programme expérimental comporte 18 éprouvettes au total. Parmi cette série :

- 12 Cylindres ($\text{Ø}100\text{mm} \times 200\text{mm}$) dont :
 - ✓ 3 réservés à la caractérisation du béton.
 - ✓ 3 ont été confinés avec un enrobage de 1cm.
 - ✓ 3 ont été confinés avec un enrobage de 2cm.
 - ✓ 3 ont été confinés avec un enrobage de 3cm
- 6 cylindres sont de ($\text{Ø}100\text{mm} \times 400\text{mm}$) dont :
 - ✓ 3 consacrés à la caractérisation du béton.
 - ✓ 3 confinés avec un enrobage de 2cm

II.2.1 Caractérisation des matériaux utilisés :**II.2.1.1 Constituants du Béton :**

Le béton est un matériau constitué de granulats gros et fins (gravier ou pierre concassée, sable), de ciment et d'eau. Le mélange entre le ciment et l'eau forme une pâte qui durcit. La pâte de ciment hydratée et le sable constituent le mortier. Celui-ci a pour rôle de lier les granulats pour former un corps solide.

II.2.1.1.1 Ciment :

C'est un liant hydraulique qui se présente sous la forme d'une poudre minérale fine s'hydratant en présence d'eau. Il forme une pâte faisant prise et qui durcit progressivement à l'air ou dans

l'eau. C'est le constituant fondamental du béton puisqu'il permet la transformation d'un mélange sans cohésion en un corps solide.

Un seul type de mélange de béton a été utilisé pour la fabrication des différents spécimens à étudier. La formulation de ce béton a été déterminée à partir de la méthode de Dreux-Gorisse basée sur des abaques permettant une approche pratique d'une composition de béton répondant à des objectifs déterminés. Le ciment utilisé est un ciment portland de type CPJ-CEMII/B 42.5 N produit par LAFARGE Algérie.

II.2.1.1.2 Granulats :

Ils 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 de sables et des gravillons, on emploie également des granulats légers qui sont le plus souvent artificiels et fabriqués à partir de matières minérales, comme les argiles, les schistes et les silicates.

Les granulats utilisés sont lavés et séchés à l'étuve à température de 105°C, ils sont mis en sac pour éviter qu'ils reprennent de l'humidité et stockés dans le laboratoire de l'université.

II.2.1.1.3 Eau :

De façon générale, l'eau de gâchage doit avoir les propriétés de l'eau potable. L'eau de gâchage utilisée est l'eau du robinet. Les différents constituants du béton sont résumés dans la Figure II-1.



Figure II.1 Constituant du béton

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

Composant	Masse pour 1 m^3 de béton
Ciment (kg/m^3)	300
Sable (kg/m^3)	1241.6
3/8 (kg/m^3)	657.2
Eau (litre/m^3)	200

Tableau II-1 Dosage des Constituants du béton pour le programme expérimental

II.2.1.2 Caractéristiques principales du renfort

Grille à mailles carrées en polypropylène de dimensions $2\text{cm} \times 2\text{cm}$ résistant aux alcalins. Pour le renforcement des enduits extérieurs au mortier de forte granulométrie. Disponible en rouleaux d'un mètre de largeur 1m . Sa légèreté et flexibilité permettent l'installation rapide et facile.

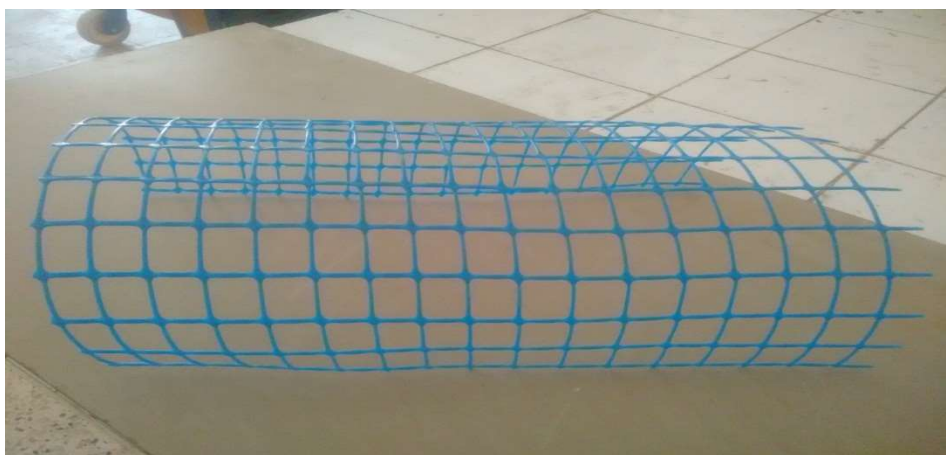


Figure II.2 grille utilisée comme renfort

II.2.2 Confection de béton et préparation des éprouvettes :**II.2.2.1 Coulage du béton :**

Le matériel nécessaire est préparé (balance, récipients, spatules, truelles). Le liant, les agrégats sont pesés et pris selon les proportions citées dans les tableaux suivant :

➤ **1^{er} et 3^{ème} coulage :**

Composant	pour 9 éprouvettes(Ø100mmx200mm)
Ciment (kg)	5.0868
Sable (kg)	21.048
3/8 (kg)	11.15
Eau (litre)	5.70

Tableau II-2 Dosage des Constituants du béton pour le programme expérimental (1^{er} et 3^{ème} coulage)

➤ **2^{ème} coulage :**

Composant	pour 3 éprouvettes(Ø100mmx400mm)
Ciment (kg)	3.40
Sable (kg)	14.04
3/8 (kg)	7.42
Eau (litre)	3.8

Tableau II-3 Dosage des Constituants du béton pour le programme expérimental (2^{ème} coulage)

Le mélange de ces constituants a été fait dans un malaxeur à axe vertical (Figure II-3).



Figure II.3 Mélange des constituants du béton avec le malaxeur.

La séquence de malaxage retenue est la suivante :

1. Introduire le sable, les gravillons et le ciment dans le malaxeur ;
2. Mettre le malaxeur en marche pour homogénéiser le mélange sec pendant 60 s
3. Laisser le malaxeur en marche et Verser l'eau graduellement et laisser se malaxer pendant quelques minutes.



Figure II.4 : Malaxage du béton.

II.2.2.1.1 Préparation des moules :**II.2.2.1.1.1 Moules cylindriques :**

Des cylindres de diamètre 100mm et de hauteur 200mm conformément à la norme NF P18406 ont été utilisés afin de caractériser le béton utilisé et on a superposé deux de ces cylindres pour avoir d'autres de dimensions ($\text{Ø}100\text{mm} \times 400\text{mm}$) comme illustré dans ces figures (*Figure II.5*).



Figure II.5 Moules cylindriques (10×40) cm



Figure II.6 Moules cylindriques (10×20) cm

➤ Volume d'un cylindre : $V_C = \pi D^2 * \frac{h}{4}$

Dans notre cas on a utilisé deux types de cylindre :

- (Ø100mmx200mm) → $V_c=0.00157 \text{ m}^3$
- (Ø100mmx400mm) → $V_c=0.00314 \text{ m}^3$

Les moules sont nettoyés afin d'éliminer toute trace de béton adhérent, l'application d'une huile sur les faces intérieures des coffrages est par la suite nécessaire. Ce produit de démoulage doit être appliqué de façon régulière sur toute la surface, sans défaut ni excès, ce qui permet :

- ✓ D'éviter les arrachements du béton lors du décoffrage.
- ✓ D'absorber l'eau du béton au coulage.
- ✓ De faciliter l'entretien du coffrage.
- ✓ M8 De limiter l'oxydation et la corrosion des coffrages métalliques.

II.2.2.1.1.2 Procédés de mise en œuvre du renfort

II.2.2.1.1.2.1 . Préparation de la grille (renfort)

En fonction de la valeur de l'enrobage choisie, on prépare le filet précédemment découpé suivant une forme rectangulaire en respectant les dimensions adéquates. Puis, il est transformé sous la forme finale cylindrique de diamètre égale à :

$$d_i = 10 - 2 \times e_i \quad e_i : \text{l'enrobage}$$

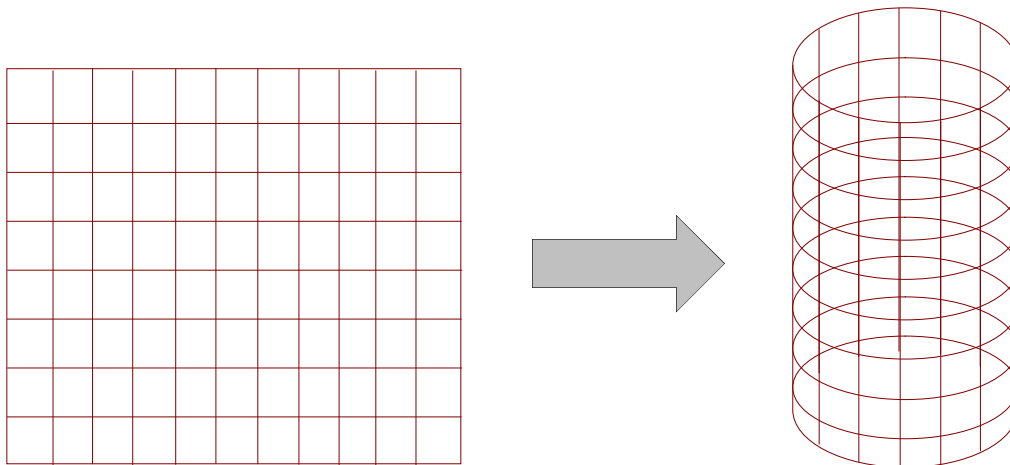


Figure II.7 : Schéma de la préparation de la grille de renfort

Avant coulage au milieu des cylindres on positionne les grilles de polypropylène précédemment préparées à des diamètres et hauteurs différentes

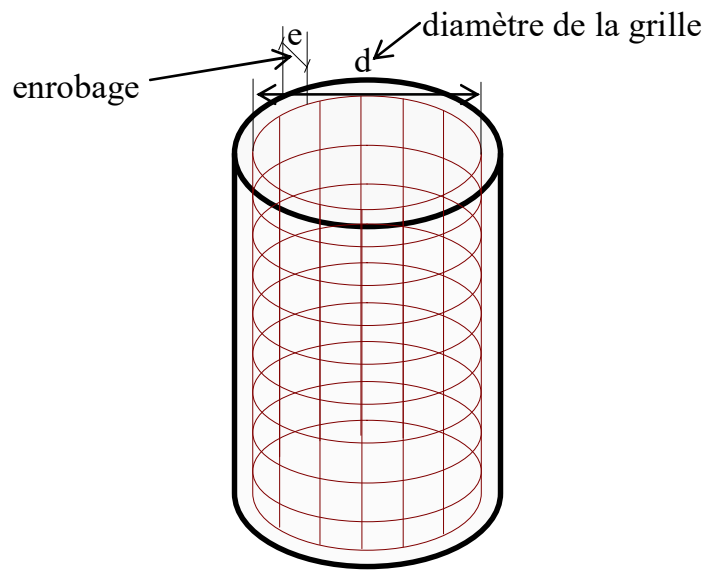


Figure II-8 Description du paramètre de conception

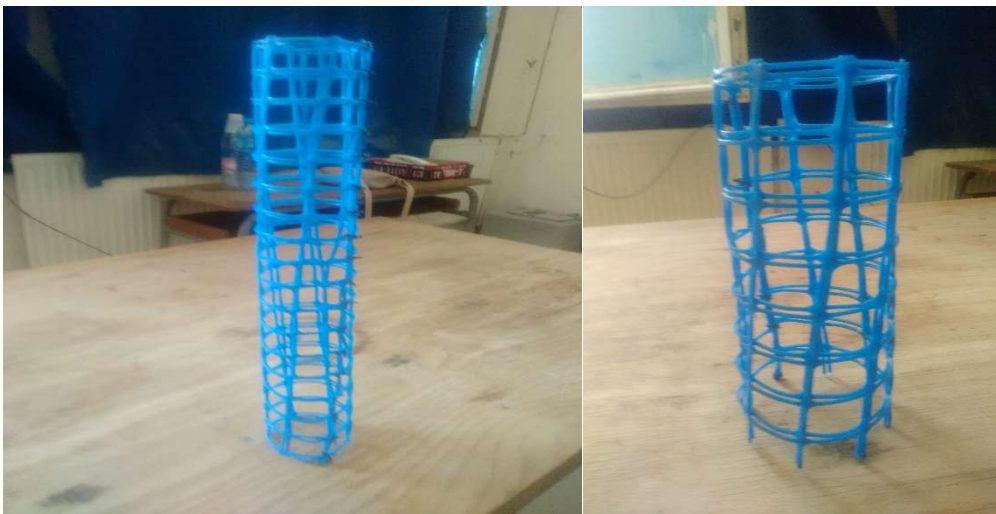


Figure II-9 : Photographie de la préparation de la grille de renfort



Figure II-10 : mise en place des grilles dans les moules

II.2.2.1.1.3 Remplissage des moules :

Le béton est coulé dans les moules qui ont été remplis en compactant le béton à l'aide d'une tige métallique au fur et à mesure du remplissage. Ils ont subi, par la suite, une vibration sur une table vibrante pour une durée de 15 secondes environ avec une vitesse de $0,5\mu s$. Le temps de vibration est un facteur important, puisque s'il est trop court, le béton serait insuffisamment serré et s'il est contrairement très long, il peut entraîner une ségrégation des constituants. Certains indices permettent d'apprécier le moment requis pour arrêter la vibration, tel que l'arrêt du dégagement d'air, la cessation de tassement du béton, et l'apparition de la laitance en surface.

Au début de la vibration les moules sont remplies jusqu'aux bords, la vibration contracte le béton et donc son volume diminue, cette diminution de volume est compensée en remplissant les éprouvettes au fur et à mesure de la vibration afin que le niveau de béton soit maintenu jusqu'aux bords supérieurs des éprouvettes, le béton qui se trouve au-dessus de ces bords doit

être retiré au moyen d'une truelle ou taloche, par un mouvement de sciage de l'extérieur vers l'intérieur



Figure II.81 : Compactage et vibration des éprouvettes.

Après vibration, l'arasement des surfaces des éprouvettes a été effectué à l'aide d'une truelle (*Figure II-11*) pour avoir une surface lisse et plane, cette étape est indispensable car la présence d'une surface convexe ou concave sur l'éprouvette provoque une répartition hétérogène des forces appliquées au cours de nos essais de compression et risque donc de minorer la résistance vraie du béton.



Figure II.92 : Arasement des surfaces des éprouvettes.

Les éprouvettes sont ensuite conservées dans un endroit humide pendant 24 heures avant leur démoulage.

Les éprouvettes en béton sont classiquement placées dans des conditions de conservation normalisées suivant la norme NF EN 12390-2. Ces conditions de référence sont :

- dans une chambre humide à $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ et d'humidité relative au moins égale à 95%
- ou dans l'eau à température de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

En effet, une température de conservation supérieure aux conditions normalisées risque d'augmenter la résistance au jeune âge et, au contraire, de baisser la résistance à 28 jours. Une humidité insuffisante durant la conservation peut diminuer les résistances à l'écrasement.

Les éprouvettes qui doivent être surfacées peuvent être extraites de l'ambiance humide au plus 24 h avant l'essai, sous réserve d'être placées dans un milieu dont la température est comprise entre 15°C et 30°C .

Nos éprouvettes ont été donc déposées dans des bacs remplis d'eau (Figure. III.8) juste après le démoulage pour y subir une cure d'hydratation jusqu'au mûrissement du béton à 28 jours. Les éprouvettes sont retirées de l'eau 24 heures avant, pour les soumettre à l'écrasement



Figure II.103 : Démoulage des éprouvettes en béton.



Figure II.114 : Cure d'hydratation des éprouvettes en béton.

II.2.3 Description de l'essai de compression

Les essais mécaniques sont effectués sur une presse hydraulique de marque IBERTEST pilotée par un ordinateur (figureII-15).C'est une machine universelle qui peut effectuer sans encombre la traction, la compression et la flexion. Sa capacité maximale est de 200 KN. La charge est appliquée progressivement à la vitesse de chargement contrôlée de 0,50 KN/S.



Figure II.125 : Machine d'essais de compression IBERTEST 200KN

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



Figure II.136: Mise en place des éprouvettes

II.2.4 Conclusion

Dans cette partie, nous avons exposé le matériel et la méthode utilisés pour le type de confinement adopté dans cette étude,

La campagne expérimentale a été exposée, en commençant par la description des matériaux utilisés, Ainsi que la nature du renfort et sa disposition. Préparation des spécimens en béton jusqu'à l'obtention d'éprouvettes confinées prêtes à être soumises à un essai de compression dont la procédure est également détaillée dans ce chapitre. Les résultats des différents essais de compression font l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE III

Résultats et interprétations

Dans ce chapitre, nous présenterons, les résultats obtenus après écrasement des différentes éprouvettes.

III.1 Evolution de la force en fonction du déplacement pour $h/D=2$

III.1.1 Béton témoin



Figure III.1 Mode de rupture du béton témoin $h/D=2$

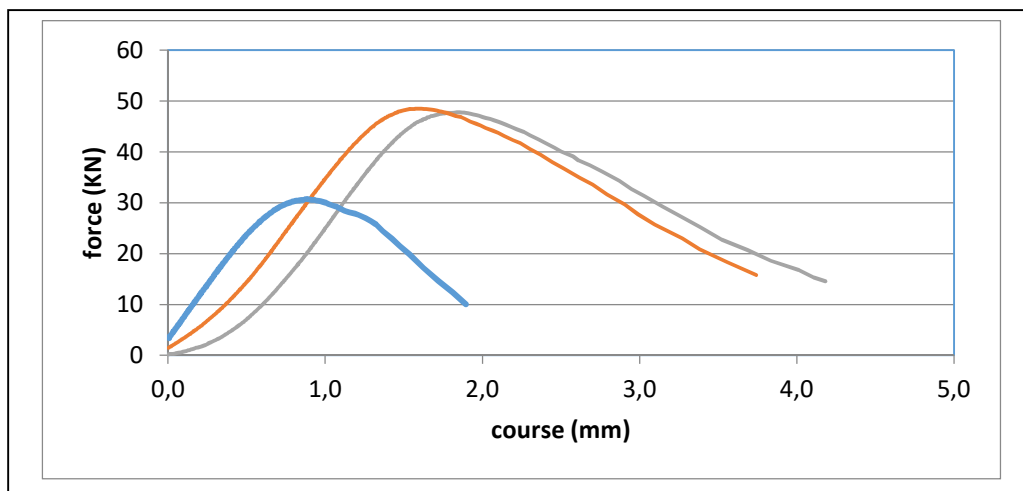


Figure III.2 évolution de la force en fonction du déplacement du béton témoin $h/D=2$;

Sur la *figure III-1*, nous présentons les résultats de l'écrasement des éprouvettes du béton témoin. Donc béton sans renfort.

Analyse :

A travers cette figure nous constatons que le premier éprouvette témoin pose un problème de représentativité car elle est loin des deux éprouvettes témoins.

III.1.2 Béton confiné : enrobage 1 cm

Sur la figure 2, nous présentons les résultats de l'écrasement des éprouvettes du béton confiné. Donc béton avec renfort avec un enrobage de 1 cm.



Figure III.3 Mode de rupture du béton confiné $h/D=2$; enrobage 1 cm

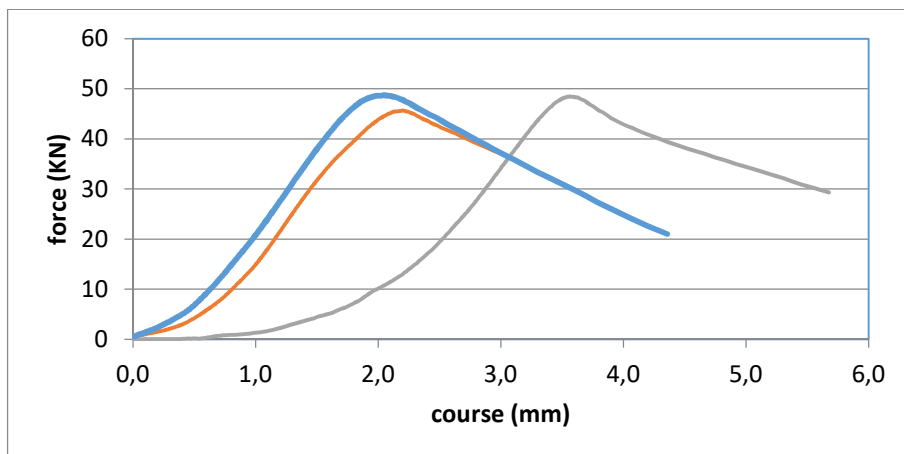


Figure III.4 évolution de la force en fonction du déplacement du béton confiné $h/D=2$; enrobage 1 cm

Analyse :

A travers cette figure nous constatons qu'une des éprouvettes pose un problème. En effet elle s'éloigne des autres éprouvettes.

III.1.3 Béton confiné : enrobage 2 cm

Sur la figure 3, nous présentons les résultats de l'écrasement des éprouvettes du béton confiné. Donc béton avec renfort avec cette fois un enrobage de 2 cm.



Figure III.5 Mode de rupture du béton confiné $h/D=2$; enrobage 2 cm

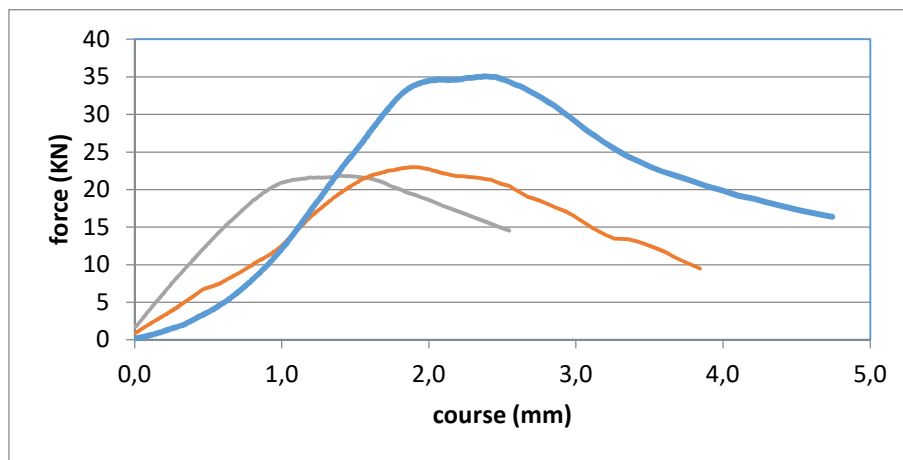


Figure III.6 évolution de la force en fonction du déplacement du béton confiné $h/D=2$; enrobage 2 cm

Analyse :

A travers cette figure nous constatons que les trois courbes obtenues ne se ressemblent pas. En effet, la charge maximale différente ainsi que le comportement globale.

III.1.4 Béton confiné : enrobage 3 cm

Sur la *figure III-7*, nous présentons les résultats de l'écrasement des éprouvettes du béton confiné. Donc béton avec renfort avec cette fois un enrobage de 3 cm.



Figure III.7 aspect de l'éprouvette $h/D=2$; enrobée a 3cm après écrasement

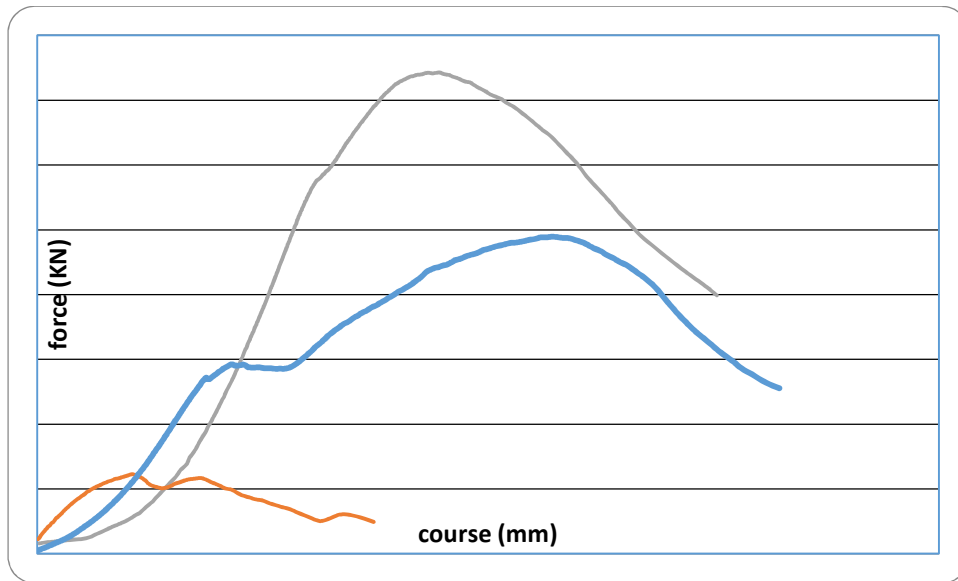


Figure III.8 évolution de la force en fonction du déplacement du béton confiné $h/D=2$; enrobage 3 cm

Analyse :

A travers cette figure nous constatons clairement que les trois courbes obtenues ne se ressemblent pas. Probablement ceci est dû à la confection des éprouvettes.

III.2 Comparaison entre les éprouvettes :

Sur la figure 5, nous présentons les résultats de l'écrasement des éprouvettes du béton témoin et confiné.



Figure III.9 L'éprouvette $h/d=2$ après écrasement. Enrobage 3cm



Figure III.10 L'éprouvette $h/d=2$ après écrasement. Enrobage 2cm



Figure III.12 L'éprouvette $h/d=2$ après écrasement. Enrobage 1cm



Figure III.11 Comparaison entre l'éprouvette confinée et non confinée après écrasement

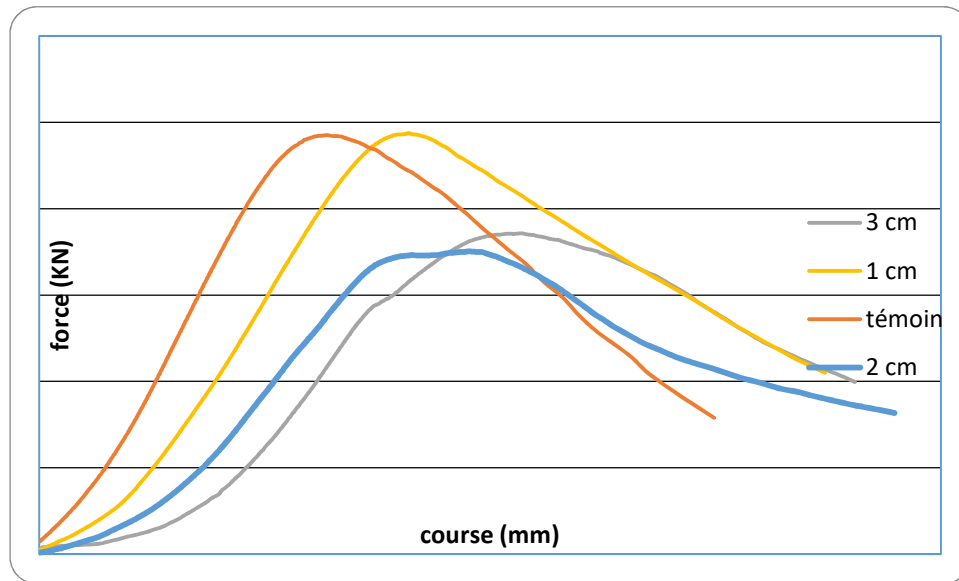


Figure III.13 évolution de la force en fonction du déplacement pour différentes valeurs de l'enrobage pour les éprouvettes $h/d=2$

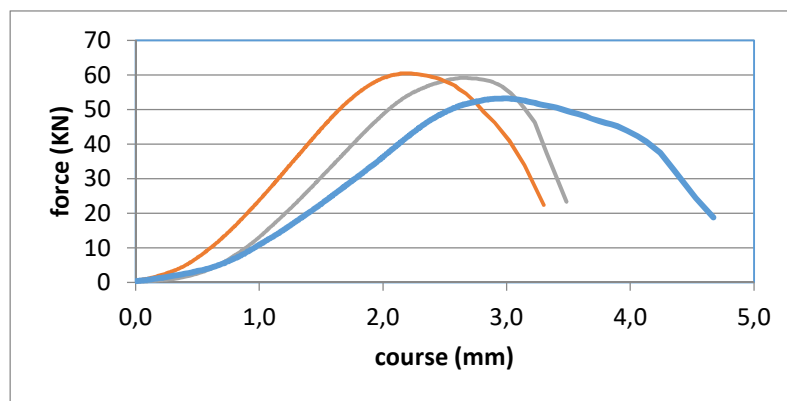
Analyse :

- A travers cette figure nous constatons clairement que l'incorporation de la grille modifie le comportement des éprouvettes. Nous constatons une baisse de la résistance limite. Et une augmentation de la déformation limite.
- L'explication de cette diminution est du probablement à la dimension de la maille qui est grande par rapport aux gros grains de notre formulation qui est de 8 mm.
- Une autre explication peut être aussi dans le fait que notre formulation considère comme but un béton moins résistant ainsi le béton obtenu est de faible résistance donc éclate avant la mobilisation de la grille.
- nous constatons aussi que l'éprouvette enrobée à 1cm donne de meilleurs résultats par rapport à celles enrobées a 2cm et 3cm ce qui nous pousse à conclure que la résistance de l'éprouvette augmente en diminuant l'enrobage l'explication qu'on peut donner est que la section confinée est la seul qui résiste à l'effort vu la sensibilité de l'interface grille béton qui s'est endommagée en premier.
- La (figure III-11) Représentent les modes de rupture des éprouvettes testées. Ce que nous pouvons constater est que l'éprouvette confinée présente une certaine tenue alors celle non confinée s'effrite complètement. Nous retrouvons la même tendance pour l'éprouvette dont $h/D=4$

III.3 Evolution de la force en fonction du déplacement pour $h/D=4$

III.3.1 Béton témoin

Sur la figure 6, nous présentons les résultats de l'écrasement des éprouvettes du béton témoin. Donc béton sans renfort. Dans ce cas, le rapport h/d est de 4 (élancement =4).

Figure III.14 Mode de rupture du béton témoin $h/d=4$ Figure III.15 évolution de la force en fonction du déplacement : béton témoin $h/d=4$ **Analyse :**

A travers cette figure nous constatons que les trois courbes ont la même allure en termes de force maximale.

III.3.2 Béton confiné

Sur la figure 7, nous présentons les résultats de l'écrasement des éprouvettes du béton confiné. Donc béton avec renfort. Dans ce cas, le rapport h/d est de 4 (élancement =4) et l'enrobage est de 2cm



Figure III.16 Mode de rupture du béton confine $h/d=4$. Enrobage 2 cm

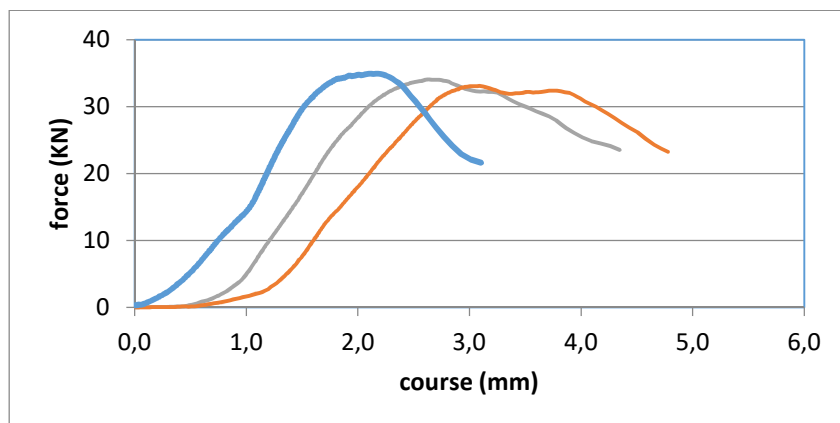


Figure III.17 évolution de la force en fonction du déplacement : béton confiné $h/d=4$. Enrobage 2 cm

III.4 Comparaison entre les éprouvettes :

Sur la figure 8, nous présentons les résultats de l'écrasement des éprouvettes du béton témoin et confiné.

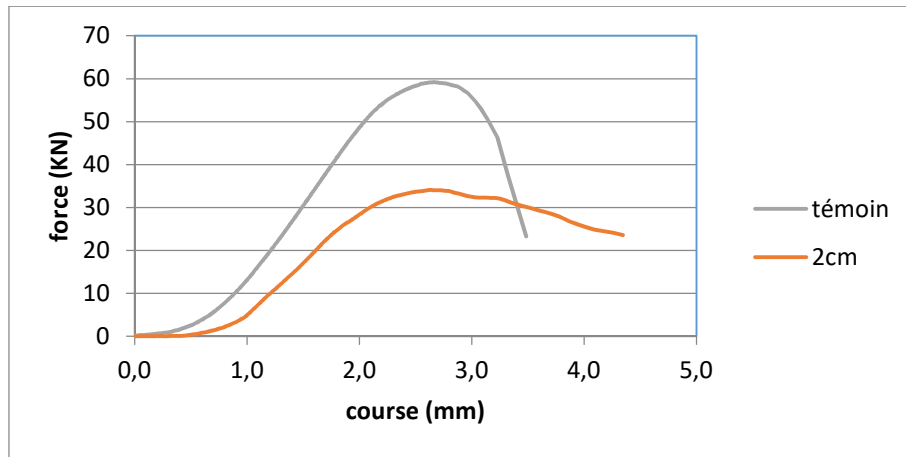


Figure III.18 évolution de la force en fonction du déplacement du béton confiné et témoin $h/d=4$.

Analyse :

- à travers cette figure nous constatons clairement de la même manière que pour l'élançement de 2, que l'incorporation de la grille modifie le comportement des éprouvettes. En effet, nous constatons une baisse de la résistance limite. Nous constatons aussi une augmentation de la déformation limite.
- L'explication de cette diminution est du probablement à la dimension de la maille qui grande par rapport aux gros grains de notre formulation qui est de 8 mm.

III.5 Comparaison entre les éprouvettes :

Sur la figure 9, nous présentons les résultats de l'écrasement des éprouvettes du béton témoin et confiné pour les deux élançements $h/D=2$ et $h/D=4$. L'enrobage est de 2 cm



Figure III.20 Eprouvettes

$h/d=4$ après rupture. Enrobage 2cm



Figure III.19 Eprouvettes $h/d=2$ après rupture. Enrobage 2cm

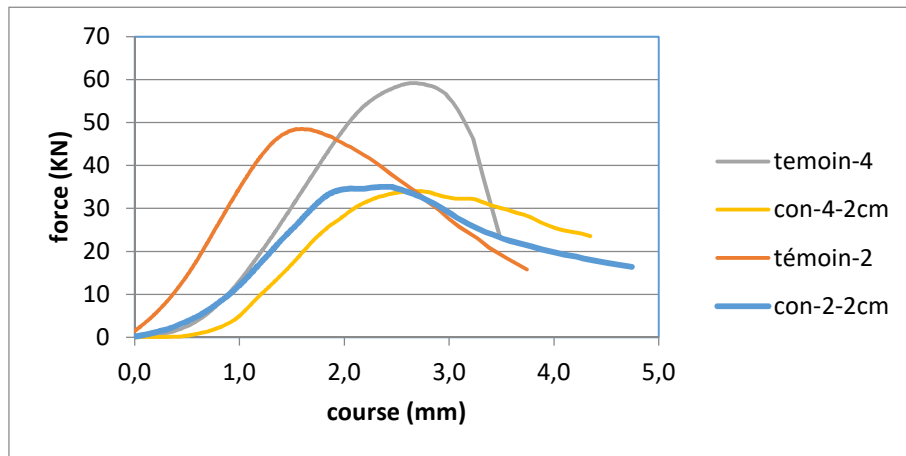


Figure III.21 évolution de la force en fonction du déplacement du béton $h/d=2$ et $h/d=4$; enrobage=2cm

Analyse :

A travers cette figure nous constatons que la courbe du béton avec $h/d=2$ est plus rigide que celle du béton avec $h/d=4$. La résistance maximale est obtenue pour $h/d=4$.

III.6 Conclusion

A travers les résultats expérimentaux obtenus, nous pouvons conclure ce qui suit :

- ✓ L'intégration de la grille modifie le mode de comportement des éprouvettes en béton. Elle modifie en particulier le mode de rupture en conférant une nouvelle résistance au béton alors qu'initialement nous avons un éclatement de l'éprouvette.
- ✓ la résistance de l'éprouvette augmente en diminuant l'enrobage l'explication qu'on peut donner est que la section confinée est la seule qui résiste à l'effort vu la sensibilité de l'interface grille béton qui s'est endommagée en premier.
- ✓ L'intégration de la grille a provoqué la chute de la résistance et cela est dû probablement à la dimension des mailles de la grille qui est importante par rapport aux gros grains de notre béton qui est de 8mm.
- ✓ Une autre explication de cette chute de résistance est due au fait qu'on a doublé la grille ce qui engendre un glissement relatif entre les deux faces de la grille ce qui diminue l'adhérence.

**CONCLUSION GENERALE &
PERSPECTIVES**

Conclusion Générale

Toutes les études réalisées dans le domaine de renforcement ou de confinement des structures en béton cherchent non seulement à trouver une solution à un problème déjà existant mais aussi, à mener vers un endommagement progressif, sans perte de résistance significative pour éviter la rupture brutale.

Dans cette étude, Les résultats expérimentaux obtenus, lors du renforcement des éprouvettes cylindriques par la grille composite, montrent le comportement du béton confiné sous l'effet de la compression.

Nous avons constaté que l'intégration d'une grille de polypropylène a eu pour effet de diminuer la résistance. Cela est due à:

- Dimensions des mailles importantes par rapport à la dimension du plus gros grain
- La grille de polypropylène étant doublée représente une zone fragile à l'interface béton-grille
- La formulation considère comme but un béton moins résistant ainsi le béton obtenu est de faible résistance donc éclate avant la mobilisation de la grille.

Nous avons constaté aussi que la résistance de l'éprouvette augmente en diminuant l'enrobage l'explication qu'on peut donner est que la section confinée est la seule qui résiste à l'effort vu la sensibilité de l'interface grille béton qui s'est endommagée en premier.

Nous avons essayé de montrer l'effet de l'élançement. Concernant ce point aucune tendance claire n'est apparue. Par rapport à ce point, il serait intéressant de tester d'autres élançements.

L'aspect positif de ce renfort réside dans le mode de rupture. L'éprouvette est nettement moins fragile mais la rupture n'est plus brutale. Le noyau confiné par la grille est infiniment rigide relativement à l'enrobage. Ce dernier a un comportement fragile ce qui donne un aspect d'effritement et rupture prématurée de la partie extérieure de l'éprouvette.

Donc cette technique présente un avantage certain en évitant l'effondrement brusque sous l'effet de charges accidentelles telles que les séismes et elle permet d'éviter tout problème d'interface et de détachement du renfort de la structure

Perspectives :

Sur ce mode de renforcement, les perspectives sont importantes. Un avenir très laborieux est à prévoir on propose :

- Refaire l'expérience avec un bon béton
- Etudier l'effet de l'élanement avec une hauteur importante
- Utiliser la grille sur une des éléments déjà endommagée
- Faire une étude de l'influence des mailles de la grille sur la réponse du matériau.
- Etudier les mécanismes de rupture à l'interface béton-grille.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] Hamelin P. AFGC recommendations concerning strengthening and repairing of concrete structures with composite materials. AFGC/RILEM. Seminar on advances in materials and structures, Bagnaux, France; 2002.
- [2] Malvar LJ, Morrill KB, Crawford JE. Numerical modeling of concrete confined by fiber-reinforced composites. *J Compos Constr*, ASCE 2004; 8(4):315–22.
- [3] Mander JB, Priestley MJN, Park R. Theoretical stress–strain model for confined concrete. *J Struct Eng*, ASCE 1988; 114(8): 1804–26.
- [4] Miyauchi K. S. Inoue, T. Kuroda , A. Kobayashi. Experimental study on the confinement effect of concrete cylinders confined by carbon fiber sheets. *Proc Jpn Conc Inst* 2001;23(1):856-70.
- [5] Ould El Hacen Zein El Abidine, Renforcement du béton par les matériaux composites, Mai 2016.
- [6] Collège de la Comté 63270 Vic-le-Comte, Les plastiques en débats, 2°3, 2012
- [7] NCHRP. 2004. NCHRP REPORT 514. "Bonded Repair and Retrofit of Concrete Structures Using FRP Composites". WASHINGTON, D.C: Transportation research board of The national academies, 2004.
- [8] Prof. Dr. KASSOUL Amar, Recueil des communications du 1er Workshop sur le Comportement non linéaire des structures en béton armé, Le 30 Septembre 2014
- [9] Hicham BELHANNACHI, Réhabilitation et renforcement des poteaux en béton armé, Juillet 2009
- [10] Riad Benzaid, Habib Abdelhak Mesbah, Nasr-Eddine Chikh, Contribution a l'étude des matériaux composites dans le renforcement et la réparation des éléments structuraux linéaires en béton, Juillet 2013.
- [11] MOUSSAOUI Boualem, Apport du confinement du béton sur le comportement des éléments de structure au flambement, Juin 2011.
- [12] Batoz J.L. et Dhatt G. Modélisation des Structures par Eléments Finis, volume I. Solides Elastiques. HERMES, Paris, 1990.
- [13] G. Wu, Z.T. Lü, Z.S. Wu. Strength and ductility of concrete cylinders confined with FRP composites. *Construction and building materials* 20 (2006) 134-148

[14] Wu G. Experimental study and theoretical analysis on strengthening concrete structures with FRP. Phd thesis, Southeast University, Nanjing, China; 2002 [in Chinese].

[15] Saadatmanesh H, Ehasni MR, Li MW. Strength and ductility of concrete column externally reinforced with fiber composite straps. *ACI Struct J* 1994;91(4):434–47.

[16] AFPS. Le séisme du 21 Mai 2003 en Algérie. Rapport préliminaire de la mission AFPS organisée avec le concours du ministère de l'écologie et du développement durable. afps@mail.enpc.fr