

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

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU

Faculté du Génie de la Construction

Département de Génie Civil



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de : **Master académique**

Spécialité : **Génie Civil**

Option : **Structures**

Thème :

ANALYSE PARAMETRIQUE DU CONFINEMENT DU BETON : APPROCHE EXPERIMENTALE

Proposé et dirigé par :

M^r. DEHMOUS Hocine

Présenté par :

M^{elle} HALEM Amira

Devant le Jury composé de :

Président : Mr ABED.A

Examinatrice : Mme AKMOUSSI.O

Promotion : 2016-2017

Remerciements

Tout d'abord je remercie avant tous, Dieu clément et miséricordieux de m'avoir donné la force, le courage, la patience durant cette étude, et la volonté pour atteindre mon objectif.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à mon promoteur MR DEHMOUS HOCINE pour ses encouragements, et son aide durant la période de réalisation de ce modeste travail.

Je tiens à exprimer mes remerciements à Mme GHANEM FADHILA, pour ses conseils, son aide, sa gentillesse et son soutien.

Mes remerciements vont également aux responsables et personnels du laboratoire Modélisation Expérimentale Matériaux et Structures, Université Mouloud MAMMERY, en Génie civil de TIZI OUZOU, en particulier à Monsieur BOUHRAOUA pour sa précieuse aide dans la réalisation de la partie expérimentale.

Mes vifs remerciement vont également aux membre du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner ce travail et qui nous feront le plaisir d'apprécier et de l'enrichir par leurs propositions.

Dédicaces

Je tiens à dédier ce travail aux personnes les plus chères à mon cœur, mes parents SADIA N'AMAR et MOHAMED qui ont su être à mes cotés dans les moments difficiles sans lesquels je n'aurais pas abouti à ce stade d'étude, c'est grâce a leur soutiens que j'ai pu arriver à ce stade.

Je souhaite que ce travail soit a la hauteur de tout ce qu'ils ont pu faire pour moi.

A ma grande sœur LAMIA qui m'a toujours encourager et soutenu.

A son mari RAZIK.

A mes chères sœurs FOUZIA, ROSA, ROMAISSA.

A mon adorable grand père ABBA.

A mes tantes : REZIKA, FATMA, ZOËRA, HOURIA.

A mes oncles paternel et maternel.

A mes défunts grands parents : NANI, JIDAS, AYI et JEDIS AMAR.

A tous mes amis de ma promotion.

A tous ceux qui me sont chères.

HALEM AMIRA

SOMMAIRE

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR LE MATERIAU BETON

1.1 Introduction	2
1.2. Matériau béton	2
1.2.1 Classification des bétons	2
1.2.2 Composition du béton	3
1.3. Ciment	3
1.3.1 Type de ciment	3
1.3.2 Caractéristiques mécaniques de ciments	4
1.3.3 Propriétés du ciment	5
1.4. Granulats	5
1.4.1 Différents types de granulats	6
1.5. Eau de gâchage	6
1.5.1 Caractéristiques physiques	7
1.6. Propriétés principales du béton	7
1.6.1 Béton à l'état frais	7
1.6.1.1 Maniabilité (ouvrabilité).....	7
1.6.1.2 Fluidité	7
1.6.1.3 Ressuage	8
1.6.1.4 Ségrégation	8
1.6.2 Béton durci	8
1.6.2.1 Retrait	8
1.6.2.2 Dilatation	8
1.6.2.3 Fluage	8
1.6.2.4 Durabilité	8
1.6.2.5 Porosité	9
1.6.2.6 Perméabilité	9
1.6.2.7 Résistance mécanique	9

CHAPITRE 2 : RENFORCEMENT DES STRUCTURES EN GENIE-CIVIL

2.1 Introduction	10
2.2 Problématique du confinement	11
2.3 Nécessité d'un renforcement	12
2.4 Techniques de renfort.....	12
2.5 Préparation des surfaces en béton 2.6 Illustration de quelque technique de renforcement	13
2.6.1 Méthode d'addition d'armature en acier	13
2.6.2 Méthode traditionnelle d'augmentation des sections avec ou sans armatures.....	13
2.6.3 Augmentation des sections avec ou sans armatures. Mise en œuvre par projection du béton	14
2.6.4 Méthode d'adjonction des platines en acier	14
2.6.5. Méthodes d'adjonction de matériaux composites	15
2.6.5.1 Les matériaux composites	16
2.6.5.2 Lamelles en CFRP « carbon fibre reinforced polymer »	16
2.6.5.3 Exécution	16
2.6.5.4 Avantage du renfort avec des lamelles composites	16
2.7 Illustration des différentes techniques de renforcement	17
2.8 Conclusion	24

CHAPITRE 3 : PROCEDURE EXPERIMENTALE ET MATERIAUX

3.1 Introduction	26
3.2. Description du protocole expérimental	26
3.2.1 Matériaux utilisés	27
a- Béton	27
A.1- La composition du béton	28
a.2- Méthodologie expérimentale	28
b- Le matériau renfort	28
3.2.2. Paramètre de conception	29
3.3. Mode d'élaboration des éprouvettes	29
3.3.1. Préparation des moules	29

3.3.2. Préparation de la grille (renfort)	30
3.3.3. Malaxage et mise en œuvre du béton	31
3.3.4. Décoffrage des éprouvettes et conservation	33
3.4. Description de l'essai de compression	33
3.5. Conclusion	35

4.2.1. **CHAPITRE 4 : Analyse *des* résultats et discussion :**

4.1. Introduction	36
4.2. Présentation des résultats expérimentaux	36
Elancement $h/D = 2$ (épreuve 10x20.....)	36
4.2.2. Elancement $h/D = 4$ (épreuve 10x40.....)	39
4.3. Conclusion.....	43
<i>CONCLUSION GENERALE.....</i>	<i>45</i>

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE 2 :

Figure 2.1 : Démarche générale du renforcement des structures	11
Figure 2.2 : Schémas du principe de renforcement des poteaux en béton armé par chemisage en béton armé.....	17
Figure 2.3 : Schémas du principe de renforcement des poteaux en béton armé par chemisage métallique	18
Figure 2.4 : Schémas du principe de renforcement des poteaux par des fibres	18
Figure 2.5 : Schéma du principe de renforcement des poutres en flexion par chemisage en béton armé.	19
Figure 2.6 : Schéma du principe de l'application des fibres pour le renforcement des poutres en flexion	19
Figure 2.7 : Renforcement d'une poutre par des bandes pultrudées	20
Figure 2.8 : Tôles perforées en composites (réhabilitation des ouvrages d'arts : Freyssinet	20
Figure 2.9 : Renforcement des piles de pont à l'aide de composite carbone	21
Figure 2.10 : Renforcement des murs de soutènement Treillis soudés et béton projeté	21
Figure 2.11 : Renforcement d'une dalle de plancher par des composites	22
Figure 2.12 : Renforcement des surfaces non planes par des composites	22
Figure 2.13 : Mise en place du renforcement par des composites	22
Figure 2.14 : Essai de compression sur le béton confinée par des composites	23
Figure 2.15 : Essai de compression sur un poteau en béton confinée par des composites	23

CHAPITRE 3

Figure 3.1: d'éprouvettes de dimensions 10×20	26
Figure 3.2 : d'éprouvettes de dimensions 10×40	27
Figure 3.3 : grille utilisée comme renfort	27
Figure 3.3 : nature du renfort	28
Figure 3.4 : Description du paramètre de conception.....	29
Figure 3.5 : Schéma des éprouvettes utilisées	29
Figure 3.6 : Photographies des éprouvettes utilisées	30

Figure 3.7 : Schéma de la préparation de la grille de renfort	30.
Figure 3.8 : Photographie de la préparation de la grille de renfort	31
Figure 3.9 : Description des différentes étapes de coulage	32
Figure 3.10 : Machine d'essais de compression IBERTEST 200KN	33
Figure 3.11 : Mise en place des éprouvettes.....	34
Figure 3.12 : Exemple de visualisation des résultats	34

CHAPITRE 4 :

Figure 4.1 : Ecrasement de l'éprouvette en béton témoin.....	36
Figure 4.2 : Rupture de l'éprouvette confinée par la grille	37
Figure 4.3 : Evolution de la force en fonction du temps.....	37
Figure 4.4 : Evolution de la course en fonction du temps	37
Figure 4.5 : Evolution de la force en fonction de la course	38
Figure 4.6 : Histogramme de la force maximale	38
Figure 4.7 : Histogramme de la course maximale	39
Figure 4.8 : Ecrasement de l'éprouvette en béton témoin.....	39
Figure 4.9 : Rupture de l'éprouvette confinée par la grille	40
Figure 4.10 : Evolution de la force en fonction du temps	40
Figure 4.11 : Evolution de la course en fonction du temps	41
Figure 4.12 : Evolution de la force en fonction de la course	41
Figure 4.13 : Histogramme de la force maximale	41
Figure 4.14 : Histogramme de la course maximale	42
Figure 4.15 : Evolution de la force en fonction de la course : $h/D=2$ et $h/D=4$	42
Figure 4.16 : Force limite en fonction de l'élanement h/D	43
Figure 4.17 : course limite en fonction de l'élanement h/D	43

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE 1 :

Tableau 1.1 : <i>Résistances des ciments</i>	4
Tableau 1.2 : <i>Teneur minimale de ciment</i>	5
Tableau 1.3 : <i>Classement de granulats</i>	6
Tableau 1.4 : Valeurs moyennes de la porosité totale	9

CHAPITRE 3 :

Tableau 3.1 : caractéristique des agrégats utilisés	28
Tableau 3.2 : composition du béton	28

Introduction Générale.

Introduction Générale

Le matériau béton est un matériau vivant qui se modifie tout au long de sa vie utile. Ce changement est le résultat soit de modifications ou de rénovations, soit d'une altération de sa capacité de support due à une augmentation des charges appliquées. Dans la plupart des cas, ils nécessitent un renfort.

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.

Dans le cadre de ce projet de fin d'étude, nous présentons, une technique de confinement du béton par intégration d'un renfort lors du coulage. Cette technique que l'on appellera "*confinement interne*" est analysée en tenant compte de différents paramètres.

Les différentes parties développées dans ce travail sont comme suit :

Le chapitre 1 est consacré à une présentation du matériau béton et de ses principales propriétés. Le chapitre 2 est consacré à une synthèse des différentes techniques de renforcement des structures. Le chapitre 3 est consacré à la description du protocole expérimentale. Les résultats obtenus sont présentés dans le chapitre 4. Enfin nous terminons ce travail par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre 1 :

Généralité sur le

matériau béton.

1.1. Introduction :

On appelle béton la pierre artificielle obtenue à la suite du durcissement d'un mélange intime de matériaux inertes appelés « granulats » avec du ciment et de l'eau dosé de façon à obtenir au moment de la mise en place une consistance normale, et après durcissement, la résistance et la qualité requises.

La possibilité de varier les propriétés du béton dans de larges limites en utilisant des composants aux qualités correspondantes et en appliquant des méthodes de traitement mécanique et physico-chimique a permis au béton d'être le matériau le plus utilisé dans le monde.

Les facteurs qui sont à prendre en compte dans l'étude de la composition d'un béton sont nombreux. Les méthodes actuellement connues permettent de tenir compte des dizaines de paramètres que l'on peut résumer comme suit ; les matériaux utilisés, les moyens de fabrication et le milieu de conservation.

1.2. Le matériau béton :

On sait que le béton est le matériau obtenu en solidarifiant par une pâte de ciment un squelette granulaire composé de sable et de gravier. Comme le liant a des propriétés hydrauliques, ces bétons sont aussi appelés bétons hydrauliques.

1.2.1. Classification des bétons :

L'utilisation du béton est loin de se limiter à une application. Il est classé suivant sa résistance caractéristique obtenue sur des éprouvettes cylindriques, cubiques et prismatiques testées à l'âge de 7, 14 et 28 jours.

La recommandation CEB-FIR classe le béton, en fonction de sa résistance caractéristique comme suit ;

- C12..... utilisé seulement pour le béton non armé.
- C16 ,C20 utilisé pour le béton armé.
- C25,C30 ,C35.....utilisé pour le béton armé ou précontraint .
- C40,C45,C50.....utilisé pour le béton précontraint.
- C60,C70,C80.....utilisé pour les bétons spéciaux .

1.2.2. Composition du béton :

L'étude d'une composition de béton consiste, toujours, à rechercher conjointement deux qualités essentielles qui sont la résistance et l'ouvrabilité. Or ces deux qualités sont étroitement liées. En effet elles varient en sens inverse.

La recommandation CEB-FIR recommande un dosage minimal de (300 kg/m³) et un rapport (E/C) maximal de 0,65. Elle recommande des dosages pour les différentes caractéristiques qui doivent être respectés.

Le dosage des différents constituants du béton dépend du type de matériau recherché, ce dernier étant fixé par l'utilisateur. Les propriétés physiques, chimiques et mécaniques du béton dépendent de sa composition et de facteurs extérieurs.

1.3. Le ciment :

Les ciments sont des poudres fines obtenues par la cuisson à haute température (vers 1450 °C), et le broyage d'un mélange minérale (calcaire + agrile en général). Ces poudres constituées de sels minéraux anhydres instables (en particulier les silicates et aluminates de chaux) forment avec l'eau une pâte capable par hydratation de faire prise et de durcir progressivement (plus ou moins rapidement), d'où le nom de liants hydrauliques par opposition aux liants aériens à base de chaux grasse et maigre, qui ne peuvent durcir qu'en contact avec l'air.

Le ciment utilisé est généralement un ciment de classe « portland » avec ou sans constituants secondaires CPA ou CPJ. La classe et la qualité du ciment doivent être choisies en fonction de la nature de l'ouvrage à construire, de ses caractères structurales, de sa destination et des diverses qualités requises compte tenu notamment des circonstances climatiques et locales : temps chaud, temps froid, présence d'eau agressives etc....

1.3.1. Type de ciment :

La nouvelle normalisation comporte cinq types principaux de ciment:

- CEM I : ciment Portland (CPA)

- CEM II : ciment Portland compose (CPJ)
- CEM III: ciment de haut fourneau (CHF)
- CEM IV: ciment pouzzolanique (CPZ)
- CEM V : ciment au laitier et au cendres (CLC)

1.3.2. Caractéristiques mécaniques de ciments :

Les ciments se caractérisent par leurs classes de résistances à la compression mesurées à 28 jours d'âge, exprimées en MPa. Les nouveaux ciments comportent quand à eux trois classes de résistance indiquées dans le tableau ci-dessous:

CLASSES	RESISTANCE MINIMALE GARANTIE (MPA)		RESISTANCE NORMALE (MPA)	
	A 2jours limite inférieur	7 jours limite inférieur	28 jours limite inférieur	28 jours limite inférieur
32.5	-	-	32.5	52.5
32.5R	13.5	-	32.5	52.5
42.5	12.5	-	42.5	62.5
42.5R	20	-	42.5	62.5
52.5	20	-	52.5	-
52.5R	20	-	52.5	-

Tableau 1.1 : Résistances des ciments.

D'après la norme AFNOR la teneur minimale en ciment est déterminée de la manière suivante:

MATERIAU DE CONSTRUCTION	TENEUR MINIMALE EN CIMENT (KG/M ³)
Béton non armé (coulé gros masse)	150 à 250
Béton de route	300 à 325
Béton armé ordinaire	300 à 350
Béton spéciale (préfabriqué, précontraint...)	350 à 450

Tableau 1.2 : *Teneur minimale de ciment.*

1.3.3. Propriétés du ciment :

La mouture d'un ciment est caractérisée par sa surface spécifique ou surface développée total des grains contenus dans une masse donnée. Cette finesse, mesurée conventionnellement selon la norme NF P 15-4420 est exprimée en cm²/g, elle varie de 1700 à 3500 cm²/g. La masse volumique des ciments est en générale de 800 à 1200 kg/m³ on compte en moyenne 1100 kg/m³ pour un ciment en vrac non tassé. La fin de prise correspond au moment où la pâte est devenue un bloc rigide (il n'existe pas d'essai normalisé) ; elle ne peut se définir avec précision.

1.4. Granulats :

On appelle (granulats) les matériaux inertes, sables et graviers ou cailloux issus de carrières, blocs de roche concassés et broyés, ou des granulats roulés, extraits du lit des rivières qui entrent dans la composition du béton. Ces matériaux sont quelques fois appelés (agrégats).

La taille des granulats varie en fonction de celle du coffrage, de la densité d'acier pour les éléments en béton armé, et du type de béton recherché. Les granulats comprennent les sables et pierrailles sont classés en fonction de leurs grosseurs.

1.4.1. Différents types de granulats :

Les granulats sont classés en fonction leurs dimensions par criblage sur des tamis à mailles carrées dont les dimensions intérieures sont en mm. Le tableau suivant détermine les classes des granulats.

APPELLATION	MAILLES CARREES DES TAMIS (MM)	
	Farine, fillers	<0.08
sable	0.08<D<0.310	Petits
	0.310<D<1.250	Moyens
	1.250<D<5.00	Gros
gravillons	5.00<D<8.00	Petits
	8.00<D<12.50	Moyens
	12.50<D<25.00	Gros
Pierres cases	25.00<D<40.00	Petits
	40.00<D<63.00	Moyens
	63.00<D<100.00	Gros

Tableau 1.3 : *Classement de granulats.*

1.5. Eau de gâchage :

L'eau de gâchage et la quantité d'eau totale ajoutée au mélange sec de béton elle est nécessaire pour l'hydratation du liant, le mouillage des granulats et la facilité de mise en place du béton. Cette eau a une grande importance, elle est soumise à certaines exigences est à même fait l'objet d'une norme (NF18-303). On conçoit donc, en premier lieu, que les impuretés nocives pour les granulats ne doivent pas être apportées par l'eau de gâchage.

1.5.1. Caractéristiques physiques :**1.4.1. Différents types de granulats :**

L'eau de gâchage des bétons doit être propre, c-à-d ne pas contenir de matières en suspension au-delà de certaines valeurs permises. Les tolérances réglementaires sont les suivantes :

-2g/l pour les bétons type A et type B.

-5g/l pour le béton type C.

Les matières en suspension n'ont pas la même nocivité.

- béton type A : béton de haute qualité à résistance élevée.

- béton type B : béton à faible perméabilité.

- béton type C: béton à faible résistance peut ou non armé.

1.6. Propriétés principales du béton :

L'importance du matériau de béton nous oblige à étudier ses propriétés à l'état frais et à l'état durci.

1.6.1. Béton à l'état frais :**1.6.1.1. Maniabilité (ouvrabilité) :**

L'ouvrabilité est une qualité essentielle du béton ; elle peut se définir comme la facilité offerte à la mise en oeuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage. Pour étudier la maniabilité il faut étudier la fluidité.

1.6.1.2. Fluidité :

La fluidité est évaluée par la capacité du béton de couler sous l'action de poids propres ou d'une vibration. Il existe plusieurs essais permettant de mesurer l'ouvrabilité.

- Affaissement au cône d'Abrams «slump-test» EN 18-451.

- Etalement à la table à secousses «flow-test» EN 12-358

- Essai Wébé «essai de consistance» ISO 4410.

1.6.1.3. Ressuage :

C'est la remontée éventuelle d'eau à la surface d'un béton avant prise. Cette remontée est liée au tassement sous l'effet de leur poids des éléments solide (ciment granulat) qui composent le matériau.

1.6.1.4. Ségrégation :

C'est la séparation des petits et des gros grains dans le béton lors des différentes manutentions et en particulier le transport. La ségrégation conduit à l'hétérogénéité du béton et par conséquent à la diminution de la résistance.

1.6.2. Béton durci :**1.6.2.1. Retrait :**

C'est un phénomène de raccourcissement qui accompagne la prise du ciment on peut l'assimiler à l'effet d'un abaissement de température entraînant un raccourcissement. Les valeurs moyennes en mm/m sont comme suit :

- en France $\Delta L/L = 2 \times 10^{-4}$ à 3×10^{-4} suivant les régions.
- dans les régions très humides $\Delta L/L = 1 \times 5 \times 10^{-4}$ à 2×10^{-4}
- dans les régions très sèches (Sahara) : $\Delta L/L = 5 \times 10^{-4}$

1.6.2.2. Dilatation :

On admet, en moyenne, un coefficient thermique de 1×10^{-5} ; ce coefficient est assez difficile à préciser, il dépend en particulier de la nature et de grosseur du granulat ainsi que des qualités propres du béton, il pourrait aller, d'après certaines études, de 0.6×10^{-5} à 1.4×10^{-5} par °C.

1.6.2.3. Fluage :

C'est phénomène de déformations différées du béton sous l'effet d'une charge constante, indéfiniment appliquée.

1.6.2.4. Durabilité :

Un béton durable est un béton capable de résister à un degré satisfait aux attaques chimiques et à tout processus de détérioration. Il conserve sa forme originale et sa qualité quand il est exposé à son environnement.

1.6.2.5. Porosité :

La porosité du béton est le degré de remplissage de son volume par les pores d'air ou d'eau. Ces pores peuvent être fermés ou ouverts ayant des dimensions plus au moins grandes. On peut retenir les valeurs suivantes pour les bétons traditionnels :

QUALITE DE BETON	POROSITE EN % DE VOLUME
Excellent	10 à 11
Satisfaisant	12 à 15
Médiocre	16 à 18
Mauvais et très mauvais	> 22

Tableau 1.4 : Valeurs moyennes de la porosité totale.

1.6.2.6. Perméabilité :

C'est l'aptitude du béton à laisser pénétrer l'eau ou autre liquide sous pressions.

Elle dépend de plusieurs facteurs :

- la porosité.
- le rapport E/C.
- la compacité.
- régime du durcissement.
- distribution et la taille des pores

1.6.2.8. Résistance mécanique

La résistance mécanique est une propriété intrinsèque du béton. Elle détermine dans la plus part des cas les qualités d'un béton. La résistance d'un béton dépend de l'activité du ciment, du rapport E/C, de la granularité, de degré d'impureté des granulats, de degré de porosité, du mode de cure,etc.

Le béton en service est soumis aux différentes sollicitations d'où plusieurs aspects de résistance.

- résistance à la compression.
- résistance à la traction
- résistance au cisaillement.

Chapitre 2 :

Renforcement des

Structures en Génie-

Civil.

2.1. Introduction :

Le béton ordinaire constitue certainement l'un des matériaux de construction les plus durables. Certains ouvrages demeurent en excellent état après plus d'un siècle d'exploitation sous des conditions climatiques particulièrement rigoureuses et sévères.

Il est quelquefois surprenant de constater que certains ouvrages récents présentent une détérioration importante, cela nécessitera une protection et une maintenance appropriée. Ces désordres rencontrés sont très souvent dus au vieillissement des matériaux, ce qui a une incidence directe sur la durabilité du béton.

Dans tous les cas, il est impérativement indispensable de procéder à des méthodes, soient de renforcement, soient de réparation, et cela suite à une inspection d'analyses et de méthodologie d'un bon diagnostic. Ces travaux de réhabilitation ou de rénovation des structures, ont essentiellement pour but de remédier à des désordres survenus au cours du temps et causés soit par des agressions physico-chimiques, soit par un phénomène de fatigue sous des chargements cycliques ou suite à des sollicitations accidentelles.

L'avantage de la réhabilitation par rapport à la démolition puis la reconstruction est de limiter, voire supprimer les pertes d'exploitation, ainsi nous pouvons retenir quatre raisons principales peuvent être retenues pour une éventuelle réhabilitation et ce par ordre d'importance:

- La remise en conformité vis-à-vis des règlements en vigueur.
- Les dégradations et désordres que subissent les matériaux.
- Les changements de fonctionnalité.
- L'esthétique.

Dans ce chapitre, nous présentons les méthodes les plus utilisées dans le domaine de renfort des structures dont l'incorporation des profils métalliques, l'augmentation de section structurelle et celle plus récente du renforcement à base d'adjonction de matériaux composites extérieurs.

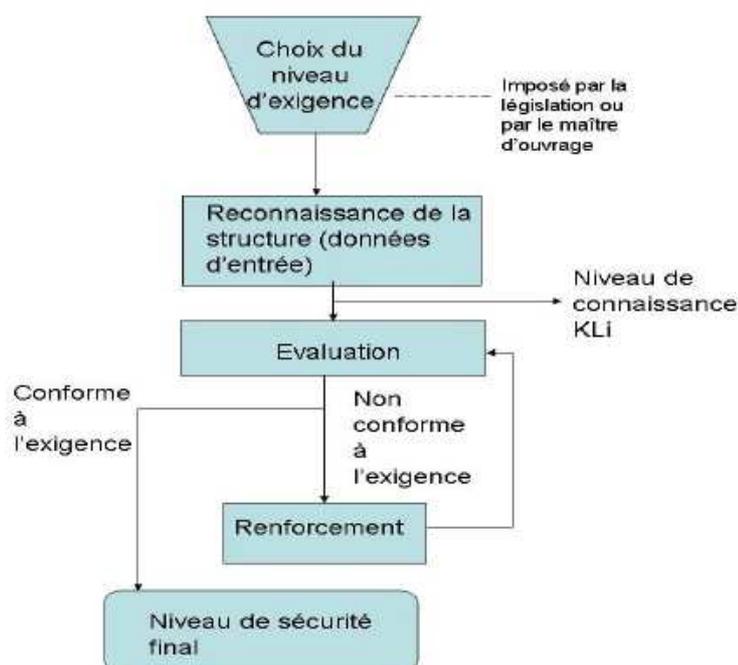


Figure 2.1 : Démarche générale du renforcement des structures.

2.2. Problématique du renforcement :

Le projet d'une structure consiste à définir avec précision chacun des éléments qui la composent ainsi que la manière de la construire, le tout en accord avec son usage ou sa fonction finale. Le schéma de sa conception et, plus tard, de sa construction est toujours le même.

Si une structure est bien conçue et correctement exécutée, elle n'aura besoin d'aucun renforcement au moment de sa mise en service. Cependant, suite à des erreurs dans le projet ou dans l'exécution, ou suite à diverses circonstances lors de la vie en service, des renforts peuvent s'avérer nécessaires. Ce changement de circonstances implique que la nouvelle structure, issue du « projet actualisé », soit plus exigeante que l'antérieure.

Toutes les causes de renforcement peuvent être considérées comme une modification des données initiales du projet, par exemple, le problème du vieillissement qui est traité comme une structure nouvelle avec des matériaux de moindre résistance.

2.3. Nécessité d'un renforcement :

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

- * Accroissement des charges qui sollicitent la structure ; anciens ponts soumis au trafic actuel eu augmentation.
- * Défauts dans le projet ou dans l'exécution ; dimensions insuffisantes des éléments structurels.
- * Rénovation des structures anciennes.
- * Changement de la forme de la structure ; élargissement de portées de calcul.
- * Dégâts dans la structure ; suite à des impacts contre la structure.
- * Nécessité d'améliorer les conditions en service ; diminuer les flèches.

2.4. Techniques de renfort :

Le choix d'une ou des méthodes de réparation et de renforcement est défini en relation étroite avec la nature et le degré d'importance des désordres constatés lors d'un diagnostic. Ce choix est tributaire de matériaux de construction utilisés, des techniques choisies, et de critères économiques.

Parmi les nombreuses procédures, les plus courantes sont :

- * Incorporation de profils en acier : il s'agit de construire une structure parallèle à celle déjà existante qui supporte les charges. Ce type de structure demande beaucoup d'espace, il est seulement viable pour de grands renforcements.

- * Collage d'éléments préfabriqués : cette méthode nécessite des ouvrages spéciaux associés.

- * Addition d'armatures en acier sans augmentation de la section en béton : cette technique est normalement employée pour le remplacement d'une ancienne armature, en cas de corrosion.

- * Augmentation de la section en béton avec ou sans addition d'armature en acier. Le béton peut être coulé ou projeté.

- * Adjonction de platines en acier. L'acier collé au béton augmente la section structurelle résistante. On l'utilise dans les poutres, dalles, murs, piliers.

* Adjonction de lamelles ou bandes de matériaux composites. Le concept est le même que dans le cas précédent, à la différence que l'élément résistant incorporé est fait de lamelles de matériaux composites, habituellement, de résine époxy et de fibres de carbone.

2.5. Préparation des surfaces en béton :

Le fonctionnement d'un renfort dépend de la transmission correcte des efforts entre le béton existant et l'élément additionné. Il doit exister une adhérence parfaite dans l'interface béton-élément de renfort.

La préparation des surfaces consiste à éliminer la laitance superficielle du béton (couche très faible), à nettoyer les particules de poussière (graisses ou saletés), à éliminer les cloques, à créer le degré d'humidité adapté pour accueillir les éléments qui seront ajoutés.

Les opérations de préparation superficielle consistent à traiter les surfaces par moyens manuels ou mécaniques : bouchardage, poinçonnage, nettoyage des poussières et graisses, efflorescence par broissage, jet de sable, hydro nettoyage, jet d'eau-sable. Le jet de sable est le plus approprié.

2.6. Illustration de quelques techniques de renforcement :

2.6.1. Méthode d'addition d'armature en acier :

Le béton aura été enlevé dans les zones où l'armature est dégradée ou corrodée. On ajoute la nouvelle armature en faisant la liaison par soudure, en respectant les longueurs de recouvrement et de scellement.

Après la mise en place des armatures, la géométrie d'origine doit être régénérée avec des mortiers améliorés à base de résines qui augmentent l'adhérence et les résistances mécaniques de l'ensemble.

2.6.2. Méthode traditionnelle d'augmentation des sections avec ou sans armatures :

Il s'agit d'augmenter la section d'origine en béton à l'aide d'un coffrage de manière à envelopper l'élément existant. Le béton sera coulé dans ce coffrage. Il faut utiliser un micro béton auto nivelant et auto compactable pour remplir les interstices

sans l'usage d'aiguilles vibrantes. La préparation du support est très importante, il est donc nécessaire de faire des décaissés dans le béton pour améliorer la transmission des efforts, de traiter les surfaces avec une peinture primaire de résine époxy. Ces décaissés seront remplis en béton avant le séchage des résines. S'il s'agit d'un renforcement avec armatures, il faudra mettre cette armature en place et réaliser le bétonnage par coulage ou pompage. Le béton devra être traité avec des adjuvants pour éviter la vibration et le compactage.

Les endroits les plus communs pour ce type de renfort sont les piliers soumis à compression (en plaçant des couronnes autour de l'élément à renforcer), les éléments (poutres ou dalles) soumis à des moments fléchissant et à des efforts de cisaillement et la partie comprimée des dalles ou plaques.

2.6.3. Augmentation des sections avec ou sans armatures. Mise en œuvre par projection du béton :

La préparation est similaire à celle réalisée dans la méthode précédente, mais la mise en place du béton se fait par projection mécanique avec une lance de projection située au bout d'un tuyau qui transporte le mélange depuis une pompe. Il existe deux types de projection ; voie sèche : transport de ciment et agrégats secs, addition d'eau à la sortie de la lance, voie humide : transport par le tuyau du mélange avec de l'eau.

2.6.4. Méthode d'adjonction des platines en acier :

Il s'agit du type de renfort le plus utilisé pour les dalles, les poutres en béton et les piliers en compression. L'union de la platine à la structure peut se faire par collage, vissage, rivetage ou ancrage.

Du point de vue de la transmission des efforts, la meilleure technique est celle du collage. L'adhésif n'apporte pas de résistances mécaniques, mais il doit transmettre les efforts. Pour ce faire, il doit respecter certaines caractéristiques :

- manipulation facile,
- dosage simple,
- longue durée entre sa mise en oeuvre et celle du renfort,
- bonne adhérence béton-acier (après durcissement),
- résistance à la température,

- dilatation similaire à celle du béton et de l'acier.

Il existe des résines acryliques, furanique, polyester, etc., mais la plus performante est la résine époxy. Pour ce type de renfort, la surface du béton doit être lisse, régulière, sèche, soignée et débarrassée de poussières, peintures, huiles, etc.

La qualité de l'acier des platines doit être inférieure à la qualité de l'acier des armatures. L'épaisseur doit être d'environ 3 mm. La platine doit être propre, non rouillée et traitée contre la corrosion.

L'exécution se réalise par application de la colle, placement des platines et pression uniforme de 40 N/m². Les platines peuvent aussi être appliquées pour la reprise d'efforts tranchants, sur les côtés des poutres, afin de couvrir les fissures d'effort tranchant qui présentent une inclinaison de 45°.

On considère le renfort de piliers avec profils en angle comme un renfort par platines en acier. Il s'agit d'un cas de compression.

Les inconvénients du renfort avec platines en acier sont les suivants :

- les platines en acier doivent être découpées en atelier,
- leur transport n'est pas facile,
- les longueurs sont limitées,
- l'adaptabilité aux irrégularités du support n'est pas toujours garantie,
- le croisement des platines est difficilement réalisable dans le cas d'un renfort de dalles,
- parfois des étais sont nécessaires pour travailler,
- des problèmes de durabilité face à la corrosion ou à la fatigue.

2.6.5. Méthodes d'adjonction de matériaux composites :

Ce système de renfort est composé de deux produits : un adhésif de résine époxy et des lamelles de composite constituées de polymères renforcés de fibres de carbone enveloppés dans une résine époxy [lamelles « carbon fibre reinforced polymer » (CFRP)].

Mis à part le matériau utilisé, cette méthode est analogue à celle des platines en acier. Toutefois, cette différence de matériau permet d'éviter tous les inconvénients mentionnés ci-dessus.

2.6.5.1. Les matériaux composites :**2.6.5.2. Lamelles en CFRP « carbon fibre reinforced polymer » :**

Le système de renfort le plus utilisé est à base de lamelles constituées par un composite de matrice polymérique de résine époxy renforcée par des fibres de carbone (CFRP). Les fibres de carbone ont un comportement pratiquement élastique, sans aucune réserve plastique. Elles sont donc fragiles et représentent 100 % des déformations subies. Les lamelles CFRP sont fabriquées par extrusion en bandes de 250 à 500 mètres avec plus de 60 % de fibres (en volume). Le support en béton doit être traité de manière adéquate pour obtenir une surface régulière et propre offrant une bonne résistance. Les lamelles seront appliquées sur des supports nettoyés et soignés. Les lamelles sont plus flexibles et adaptables aux irrégularités mais cela ne veut pas dire que les concavités ou le manque de rugosité soient acceptables.

2.6.5.3. Exécution :

On applique l'adhésif époxy en couche de 1 mm sur la surface déjà préparée ainsi que sur la face supérieure des lamelles CFRP, préalablement traitées en usine pour avoir la rugosité adéquate, et qui doivent également être propres.

Dans le délai du temps d'application de la résine époxy, les lamelles seront posées à l'aide d'un rouleau pour exercer une pression. L'excédent de résine doit être nettoyé.

Il est recommandé d'ancrer les lamelles dans un béton sain et de disposer de la longueur nécessaire. Certains cas sont traités avec des platines, lamelles croisées, vissées ou rivetées.

2.6.5.4. Avantages du renfort avec des lamelles composites :

Si l'on compare ce type de renfort à la solution avec des platines en acier, le renfort avec des lamelles composites comporte de nombreux avantages. En effet, les lamelles sont cinq fois plus légères que l'acier, dix fois plus résistantes (donc plus optimisées), d'une faible épaisseur et d'une grande flexibilité (donc plus faciles à transporter).

D'autre part, les unions par soudure n'étant pas nécessaires, leur longueur n'est pas limitée. Grâce à ces caractéristiques, elles s'adaptent plus facilement aux supports ; les croisements de lamelles peuvent se faire sans travaux complémentaires ; on constate moins d'interférence avec le reste des éléments de l'ouvrage ; elles ne produisent pas de bulles d'air durant le collage et ne nécessitent pas d'étais ni d'autre système de maintien provisoire.

Quant à leur durabilité et à leur résistance, elles ne subissent pas de corrosion ni d'autres attaques chimiques ; elles offrent une meilleure résistance au feu et à la fatigue.

Face au feu, que le renfort soit fait avec des platines en acier ou avec des lamelles, la ruine est provoquée par la dégradation de la résine époxy. Mais l'acier se dégrade beaucoup plus vite et présente des risques de chutes par décollage.

Les CFRP, par contre, restent accrochées plus longtemps et la transmission de chaleur est moins rapide que dans l'acier ; de plus, comme elles sont légères, les risques d'accident sont écartés. Le système de renfort avec matériaux composites est aussi recommandé dans certains cas de béton précontraint.

2.7. Illustration des différentes techniques de renforcement :

L'objectif de ce paragraphe est de présenter quelques schémas et image qui permettent d'illustrer les différentes techniques de renforcement des éléments des structures.

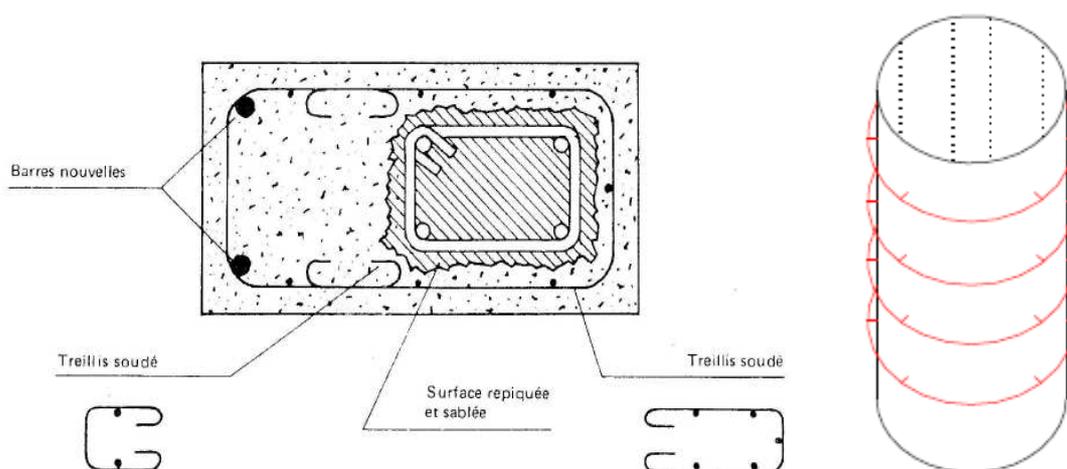


Figure 2.2 : Schémas du principe de renforcement des poteaux en béton armé

par chemisage en béton armé

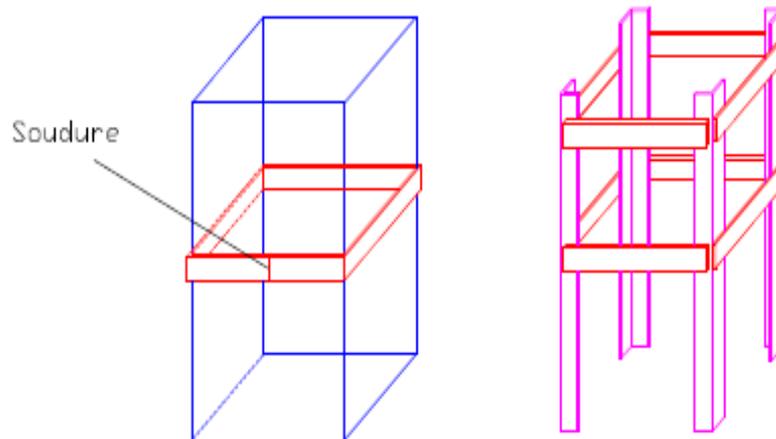


Figure 2.3 : Schémas du principe de renforcement des poteaux en béton armé par chemisage métallique.

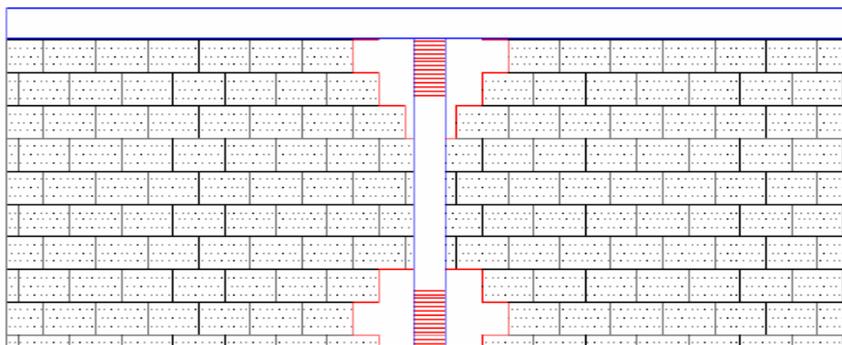


Figure 2.4 : Schémas du principe de renforcement des poteaux par des fibres.

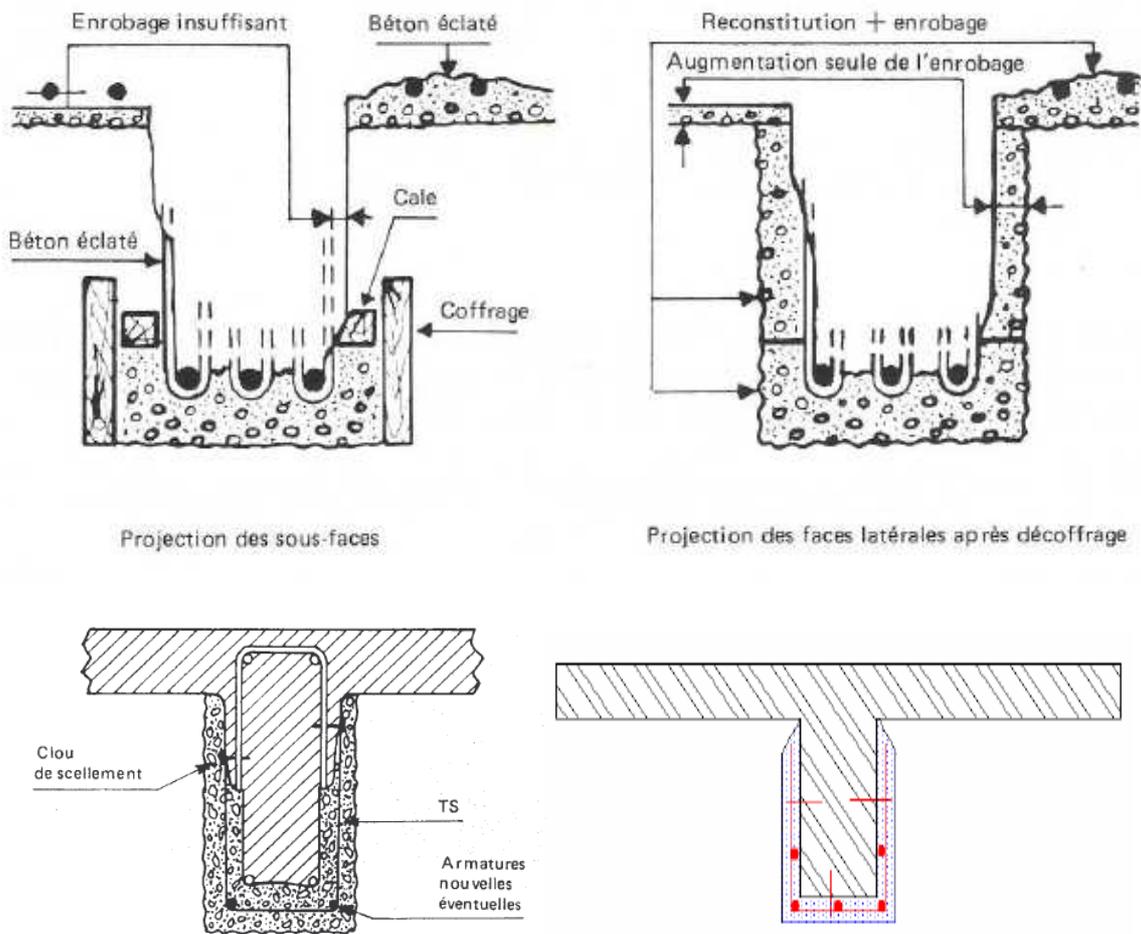


Figure 2.5 : Schéma du principe de renforcement des poutres en flexion par chemisage en béton armé.

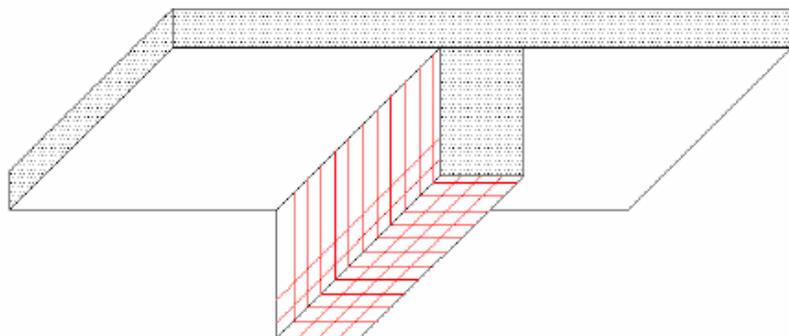


Figure 2.6 : Schéma du principe de l'application des fibres pour le renforcement des poutres en flexion.



Figure 2.7 : *Renforcement d'une poutre par des bandes pultrudées.*



Figure 2.8 : *Tôles perforées en composites. (Réhabilitation des ouvrages d'arts : Freyssinet).*



a : mise en place du composite.



b : enceinte de durcissement.

Figure 2.9 : Renforcement des piles de pont à l'aide de composite carbone.



Figure 2.10 : Renforcement des murs de soutènement : Treillis soudés et béton projeté.

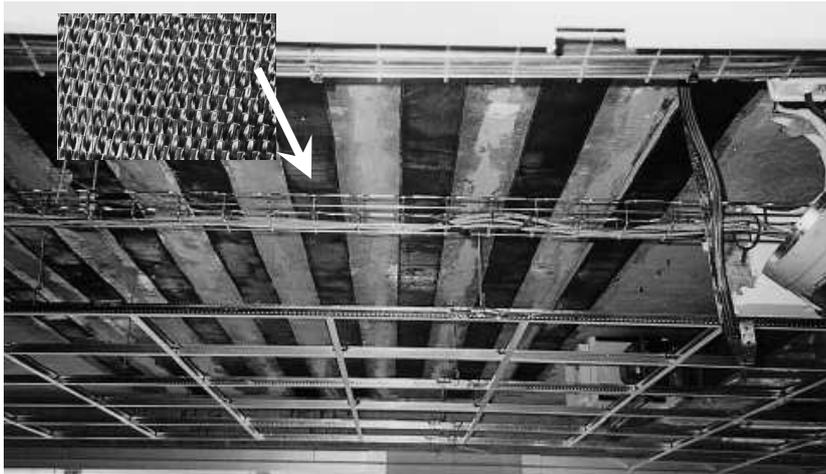


Figure 2.11 : *Renforcement d'une dalle de plancher par des composites.*

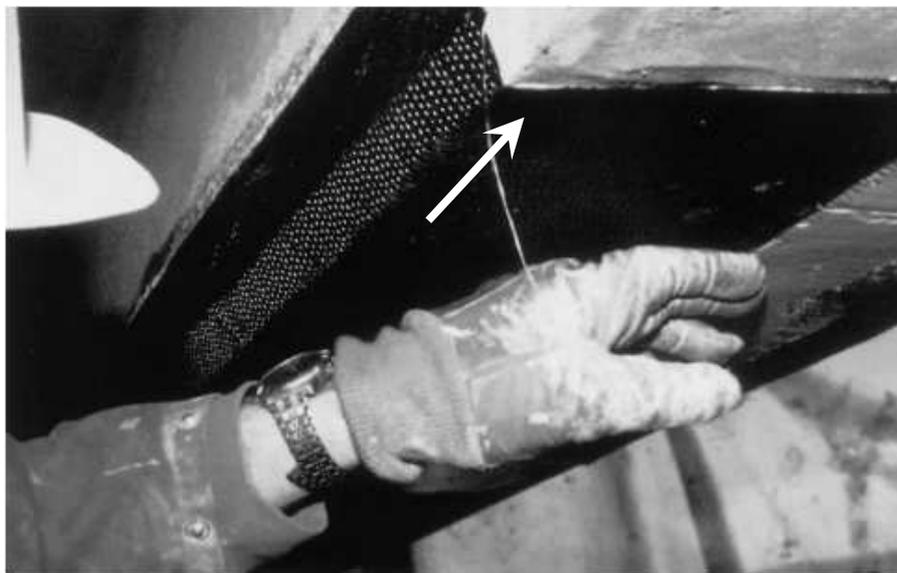


Figure 2.12 : *Renforcement des surfaces non planes par des composites .*



Figure 2.13 : *Mise en place du renforcement par des composites.*



a : confinement au carbone.

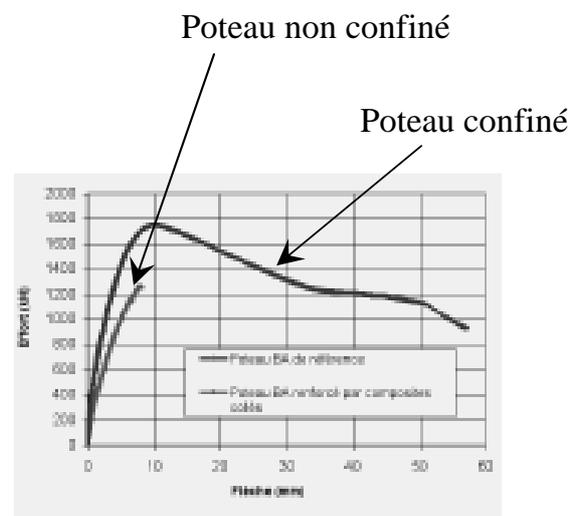


c : confinement au Kevlar.

Figure 2.14 : Essai de compression sur le béton confinée par des composites.



a : Protocole expérimental.



b : courbe de comportement.

Figure 2.15 : Essai de compression sur un poteau en béton confinée par des composites.

2. 8. Conclusion :

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. Quant à la technique des lamelles collées, les règles ne sont pas encore complètes et parfois même elles sont contradictoires. De nombreuses études expérimentales sont actuellement en cours.

Aucun type de renfort ne peut être recommandé car il faut 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 de choisir la solution la mieux adaptée à la situation, après en avoir étudié tous les paramètres.

Chapitre 3 :

Procédure

expérimentale et

matériaux.

3.1. Introduction :

La caractérisation du comportement mécanique du béton confiné a été effectuée par approche expérimentale au niveau du laboratoire de Matériaux, département de Génie civil, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Notre étude expérimentale consiste à caractériser les paramètres du comportement des cylindres confinés par des grilles en polypropylène sous une sollicitation de compression et dans le but de mettre en évidence l'apport apporté par cette technique de confinement dans l'amélioration des caractéristiques mécaniques de l'élément testé par rapport à au même élément non confiné.

3.2. Description du protocole expérimental :

Dans notre étude nous allons décrire les différentes étapes d'élaboration de deux type d'éprouvettes cylindriques de dimensions 10x20 et 10x40 (voir figure 3.1 et 3.2). En Plus des éprouvettes réalisées à base d'un béton témoin, qui serviront bien sûre de référence, nous réalisons des éprouvettes à base de béton confiné par l'introduction d'une grille.



Figure 3.1: d'éprouvettes de dimensions 10×20.



Figure 3.2 : d'éprouvettes de dimensions 10×40.



Figure 3.3 : grille utilisée comme renfort.

3.2.1 Matériaux utilisés :

a- Béton :

De manière générale, les principaux ingrédients employés sont le sable, le gravier, le ciment, le tout gâché avec de l'eau.

Ciment : le ciment utilisé est un ciment portland de type CPJ-CEMII/B 42,5.

Sable : le sable utilisé provient d'une sablière, stocké à l'université, lavé, séché et conservé à l'intérieur du laboratoire (sable sec et propre).

Gravier : (3/8) stocké à l'université, lavé, séché et conservé au laboratoire.

L'eau de gâchage : l'eau utilisée dans cette étude est l'eau du robinet, qui est une eau potable, donc propre.

a.1- La composition du béton :

Constituants	Masse pour 1m ³ de béton
Le ciment	350
Le sable	824,4
Le gravier (3/8)	784,4
L'eau	200

Tableau 3.1 : caractéristique des agrégats utilisés**a.2- Méthodologie expérimentale :**

l'utilisation de la méthode de dreux gorisse nous donne les quantités qu'il faut pour les six éprouvettes :

Constituants	Volume (litre)
Ciment	5,426
Sable	18,763
Gravier	9,709
Eau	3,301
E/C	0,61

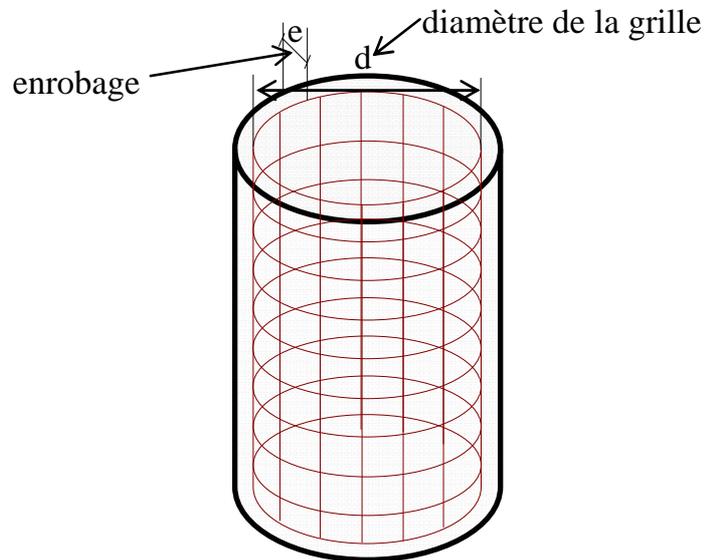
Tableau 3.2 : composition du béton.**b- Le matériau renfort :**

Le renfort utilisé est sous forme de grille en polypropylène. Ce choix est dicté par sa disponibilité sur le marché.



Figure 3.3 : nature du renfort.**3.2.2. Paramètres de conception :**

Dans la cadre de cette étude, l'enrobage considéré est de 1cm.

**Figure 3.4 :** Description du paramètre de conception.**3.3. Mode d'élaboration des éprouvettes :****3.3.1. Préparation des moules :**

Nous avons fabriqué trois éprouvettes ayant un élancement de rapport $(h/d)=4$ en faisant superposé deux moules de dimensions 10×20 , et trois autres d'élancement $(h/d)=2$. Toutes les éprouvettes ont été réalisées à partir de la même gâchée.

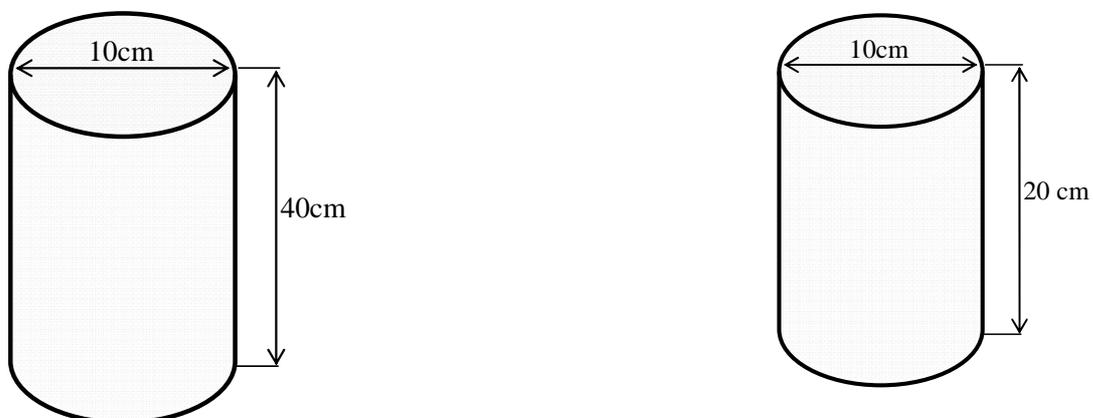
**Figure 3.5 :** Schéma des éprouvettes utilisées.



Figure 3.6 : Photographies des éprouvettes utilisées.

3.3.2. 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 : $d_i=10-2 \times e_i$

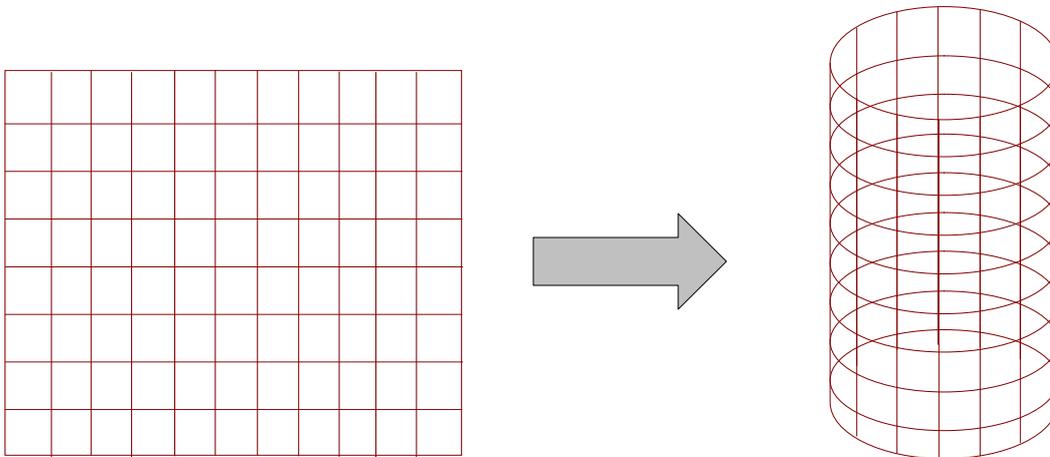


Figure 3.7 : Schéma de la préparation de la grille de renfort.



Figure 3.8 : Photographie de la préparation de la grille de renfort.

3.3.3. Malaxage et mise en œuvre du béton :

-Après avoir pesé les quantités des matériaux utiles, nous avons bien mélangé jusqu'à l'obtention d'une consistance homogène du mélange.

-Les éprouvettes étant rincées avec de l'huile de vidange.

- La mise en place du filet dans les moules en veillant à respecter sa position finale (enrobage de 1cm) surtout lors de l'opération du coulage.

-Le remplissage des moules s'exécute en trois couches compactées, deux fois par le vibreur et une fois par la table vibrante pendant un certain temps.

-le démoulage a été effectué après 24h.



Figure 3.9 : Description des différentes étapes de coulage.

3.3.4. Décoffrage des éprouvettes et conservation :

Après une durée de 24 heures. Elles sont placées dans un milieu humide de conservation pour le durcissement pendant 28 jours.

3.4. Description de l'essai de compression :

Les essais mécaniques sont effectués sur une presse hydraulique de marque IBERTEST pilotée par un ordinateur (voir figure). 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 et ce, jusqu'à la rupture.

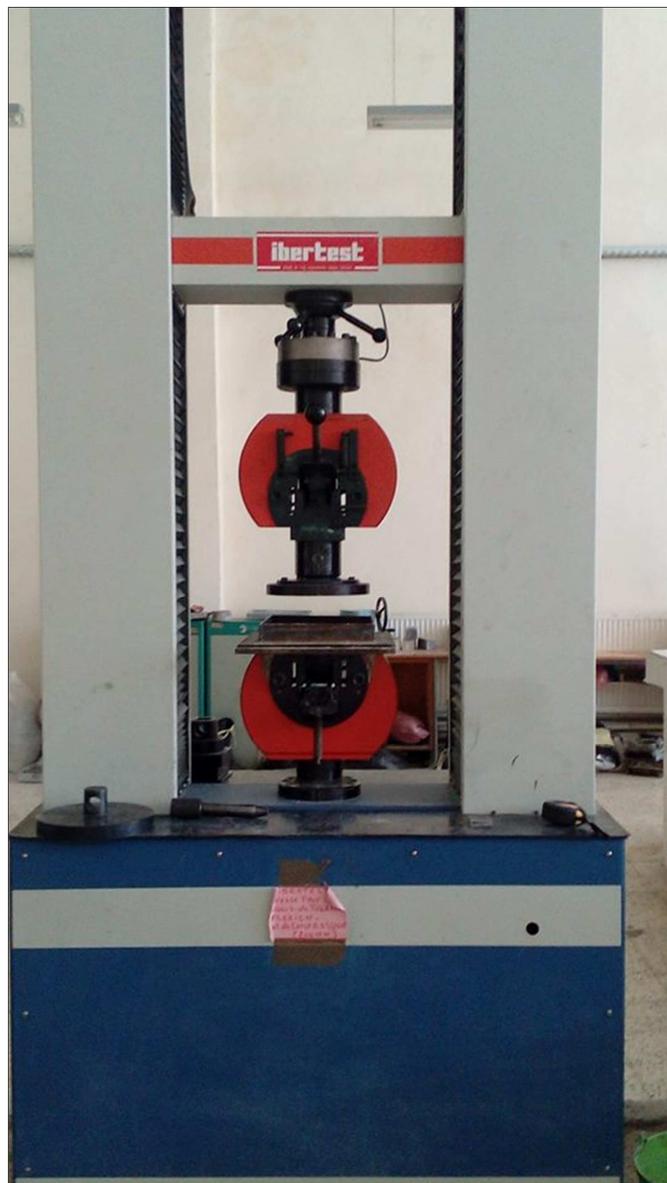


Figure 3.10 : Machine d'essais de compression *IBERTEST 200KN*.**Figure 3.11 :** Mise en place des éprouvettes.**Figure 3.12 :** Exemple de visualisation des résultats.

3.5. Conclusion du chapitre :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents matériaux utilisés dans cette étude avec leurs caractéristiques, la formulation des différents mélanges. Ainsi que la nature du renfort et sa disposition.

Nous avons présenté le programme expérimental retenu dans cette recherche et présenté les modes de préparation des éprouvettes cylindrique de dimension différents.

Chapitre 4

Analyse des résultats et discussions.

4.1. Introduction :

Notre étude expérimentale consiste à caractériser les paramètres du comportement des cylindres confinés par une grille, sous une sollicitation de compression et ce dans le but de mettre en exergue l'apport apporté par cette technique de confinement dans l'amélioration des caractéristiques mécaniques de l'élément testé par rapport à l'élément non confiné.

4.2. Présentation des résultats expérimentaux :

Dans ce paragraphe, nous présentons les différents résultats expérimentaux obtenus. Nous rappelons que deux type d'éprouvette ont été réalisé en considérant deux élancements ; rapport hauteur sur le diamètre de 2 et 4.

4.2.1. Elancement $h/D = 2$ (éprouvette 10x20) :

Les figures 4.1 et 4.2 Représentent les modes de rupture des éprouvettes testées. Ce que nous pouvons constater est que lors de l'écrasement, l'éprouvette confinée présente une certaine tenue alors celle non confinée s'effrite complètement.



Figure 4.1 : *Ecrasement de l'éprouvette en béton témoin.*



Figure 4.2 : Rupture de l'éprouvette confinée par la grille.

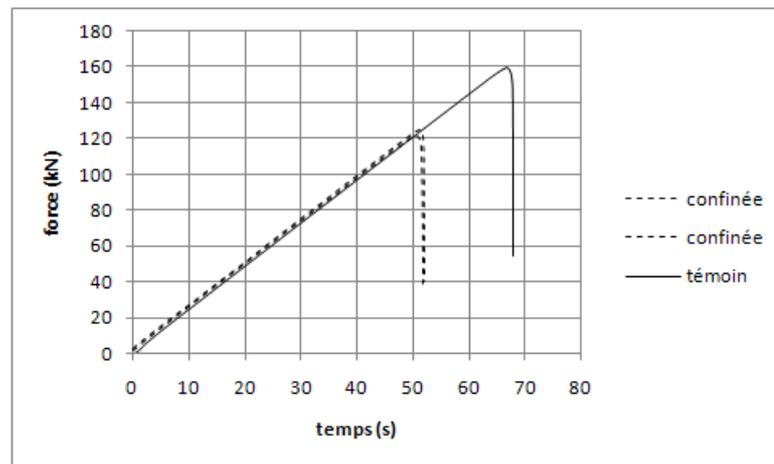


Figure 4.3 : Evolution de la force en fonction du temps .

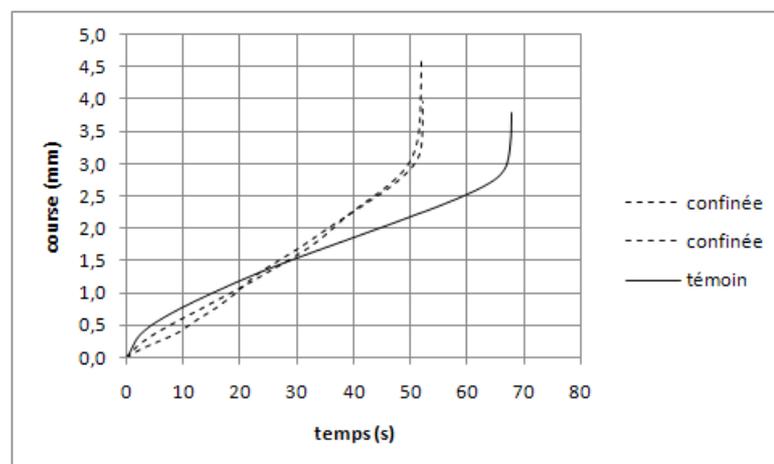


Figure 4.4 : Evolution de la course en fonction du temps.

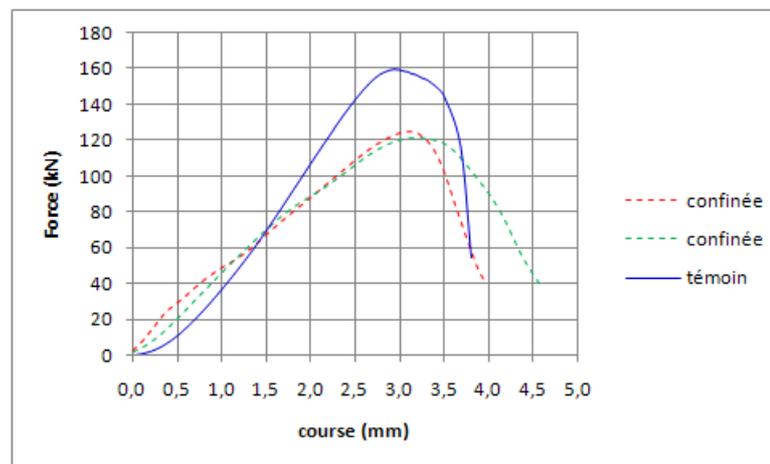


Figure 4.5 : Evolution de la force en fonction de la course.

Les figures 4.3, 4.4 et 4.5 représentent les courbes expérimentales obtenues. La figure ci-dessus représente l'évolution de la force en fonction de la course, obtenue en compression des éprouvettes confinées et non confinées. Les deux courbes montrent une première phase présentant une augmentation linéaire de la charge appliquée, suivit d'une phase non linéaire jusqu'à ce que la charge maximale soit atteinte, puis une diminution de la charge appliquée est observée, ceci correspond à l'apparition des fissures et leur propagation dans les éprouvettes. Nous observons aussi sur les deux figures 4.6 et 4.7, que la force maximale est de l'ordre de 160KN pour le béton témoin correspondant à un déplacement inférieur à 3 mm. Pour le béton confiné, On observe aussi que la force maximale est de l'ordre de 125 KN correspondant à un déplacement supérieur à 3 mm. Il est clair que nous constatons une diminution de la charge limite alors que nous avons une augmentation du déplacement limite.

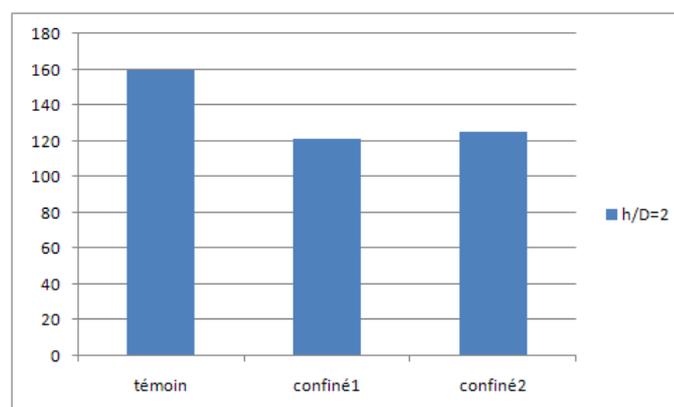


Figure 4.6 : Histogramme de la force maximale.

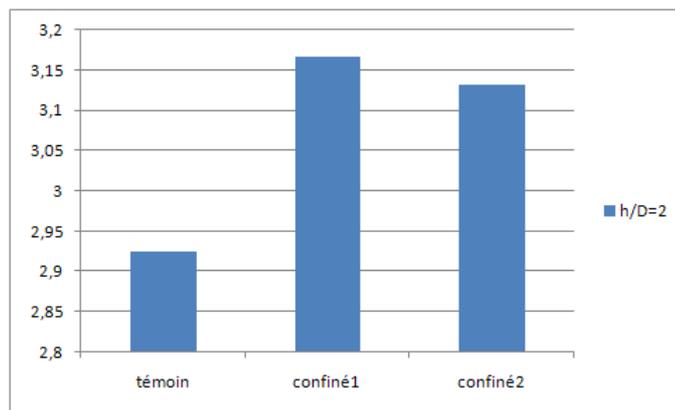


Figure 4.7 : Histogramme de la course maximale.

Nous pouvons expliquer ce phénomène par le fait qu'au début de l'essai, la grille apporte une certaine résistance ce qui montre sa mobilisation. Cependant au-delà d'un certain déplacement c'est l'effet contraire qui se produit. Ceci est du probablement à la dimension de la maille de la grille qui est très importante par rapport aux gros grains de notre béton (3-8). Ajouter à cela nous pouvons inclure l'effet de l'enrobage de la grille.

4.2.2. Elancement $h/D = 4$ (éprouvette 10x40) :

Les figures 4.8 et 4.9 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 que pour l'éprouvette dont $h/D=2$.



Figure 4.8 : Ecrasement de l'éprouvette en béton témoin.



Figure 4.9 : Rupture de l'éprouvette confinée par la grille.

Les figures 4.10, 4.11, 4.12, représentent les courbes expérimentales obtenues pour l'éprouvette 10x40.

La figure 4.12, représente l'évolution de la force en fonction de la course, obtenue en compression des éprouvettes confinées et non confinées. De la même manière que pour l'éprouvette d'élanement $h/D=2$, les courbes montrent une première phase présentant une augmentation linéaire de la charge appliquée, suivie d'une phase non linéaire jusqu'à ce que la charge maximale soit atteinte, puis une diminution de la charge appliquée est observée, ceci correspond à l'apparition des fissures et leur propagation dans les éprouvettes.

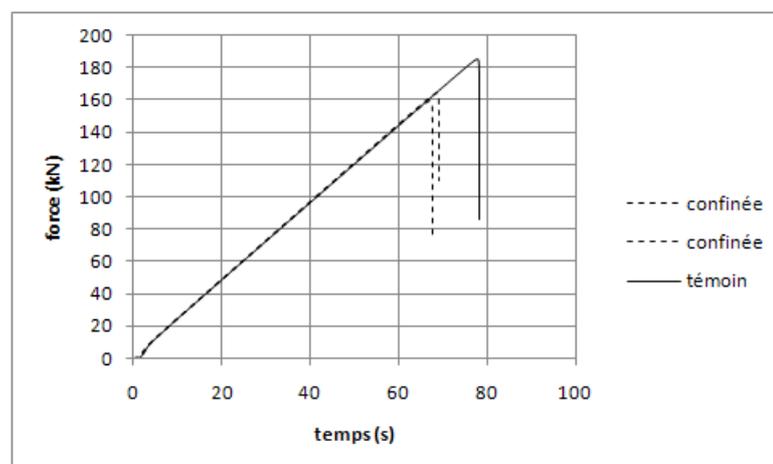


Figure 4.10 : Evolution de la force en fonction du temps.

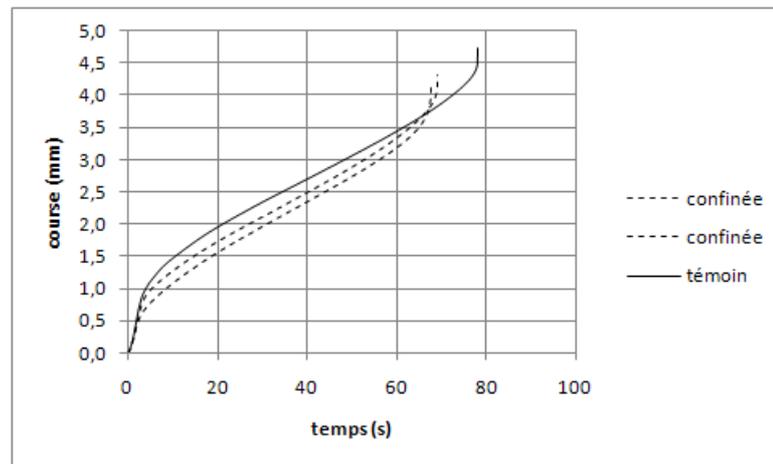


Figure 4.11 : Evolution de la course en fonction du temps.

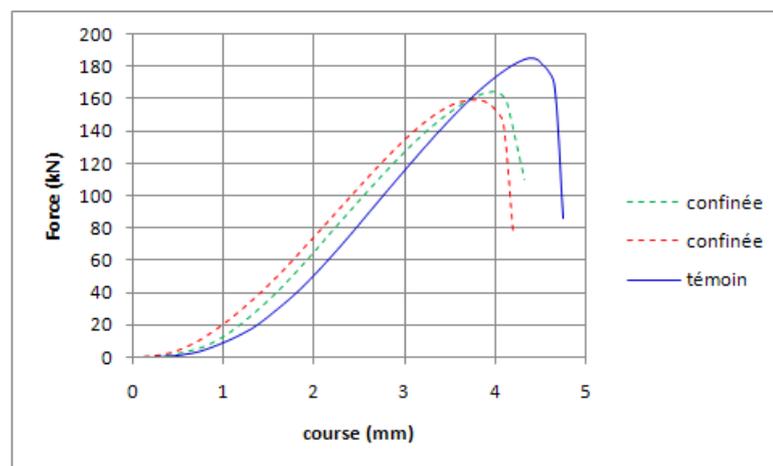


Figure 4.12 : Evolution de la force en fonction de la course.

On observe aussi que la force maximale est de l'ordre de 185 kN pour le béton témoin correspondant à un déplacement de l'ordre de 4,4 mm. Pour le béton confiné, on observe aussi que la force maximale est entre 160 et 165 kN correspondant à un déplacement inférieur à 4 mm. Il est clair que nous constatons une diminution de la charge limite et du déplacement limite.

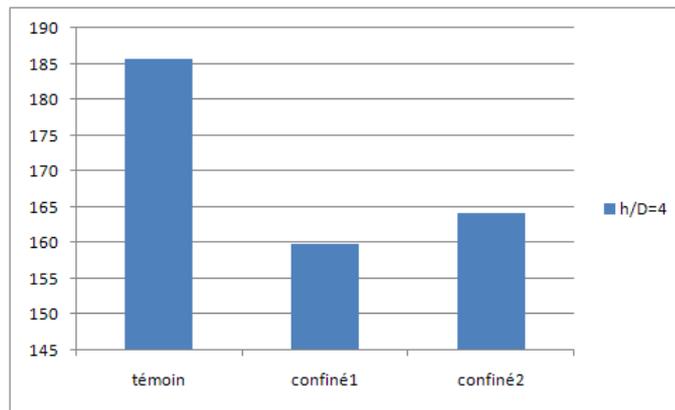


Figure 4.13 : Histogramme de la force maximale.

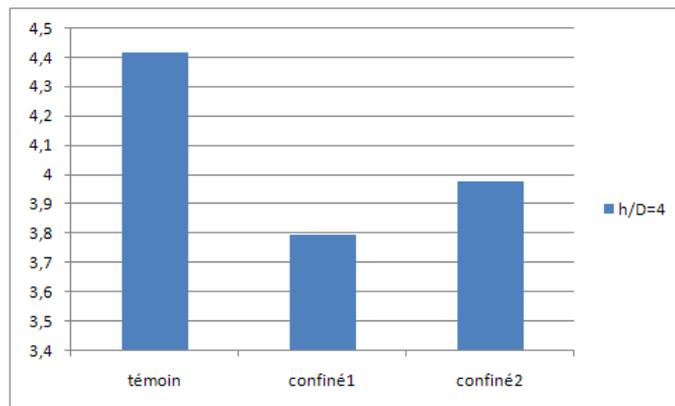


Figure 4.14 : Histogramme de la course maximale.

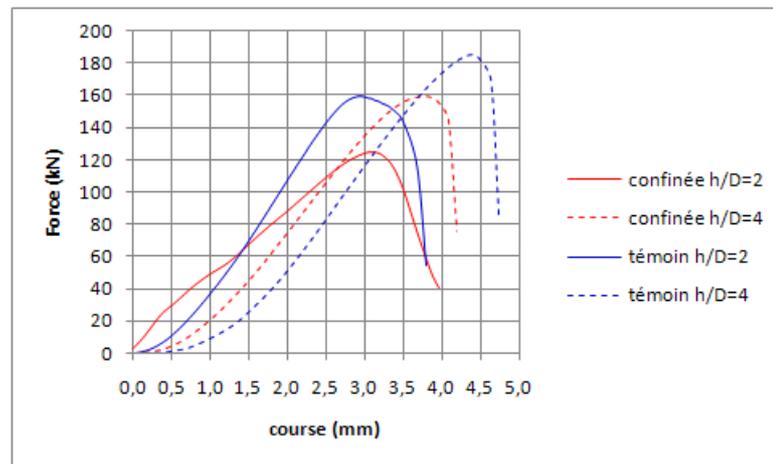


Figure 4.15 : Evolution de la force en fonction de la course : $h/D=2$ et $h/D=4$.

Sur la figure 4.15, nous avons représenté les courbes des éprouvettes testées. Ce que nous constatons que les courbes des éprouvette d'élancement $h/D=4$ se situe en dessous des courbes des éprouvettes d'élancement $h/D=2$.

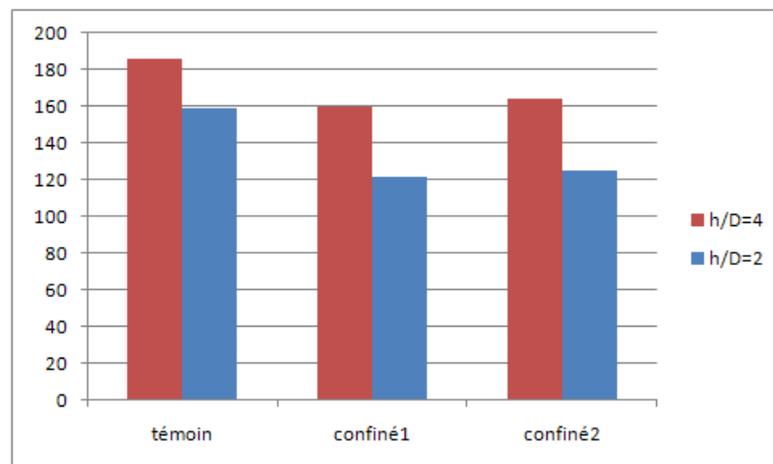


Figure 4.16 : Force limite en fonction de l'élancement h/D .

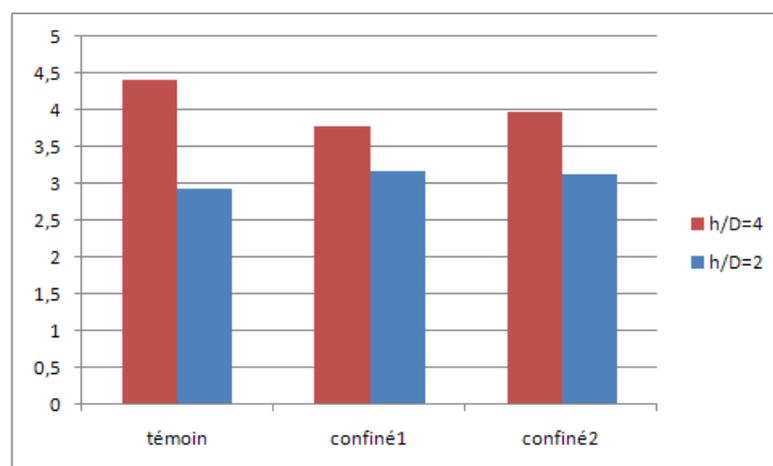


Figure 4.17 : course limite en fonction de l'élancement h/D .

4.3. 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 rigidité au béton alors qu'initialement nous avons un éclatement de l'éprouvette.

- L'intégration de la grille a provoqué la chute de la résistance et cela est du probablement à la dimension des mailles de la grille qui est importante par rapport aux gros grains de notre béton qui est de 8mm. Ainsi nous pouvons conclure que compte tenu du fait que la maille est très importante il n'y a pas suffisamment de matière pour retenir le béton et donc le taux de confinement est très faible.

Concernant l'enrobage, nous pensons que l'enrobage choisi a provoqué l'éclatement de la partie non confinée. Ceci a engendré la diminution de la section de l'éprouvette et ainsi la force limite.

Conclusion Générale.

Conclusion Générale

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. Ainsi ce projet de fin d'étude s'inscrit dans ce cadre de recherche. Nous avons tenté à travers cette étude d'étudier une solution parmi d'autres solutions qui permettent d'améliorer les propriétés du béton. Cette solution consiste à confiner d'une manière interne le béton.

Ce confinement est assuré par intégration d'une grille pendant le coulage. Cette technique est nouvelle vu qu'actuellement la tendance est vers le confinement externe en utilisant les matériaux composites.

A travers cette étude, nous avons montré que l'intégration d'une grille dont les dimensions de la maille sont importantes par rapport à la dimension du plus gros grain a pour effet de diminuer la résistance.

Nous avons essayé de montrer aussi l'effet de l'élancement. Concernant ce point aucune tendance claire n'est apparue.

Ceci nous amène à réfléchir pour des travaux futurs sur la base des points suivants :

- Reprendre le travail avec des grilles avec des mails de l'ordre du plus gros grain.
- Voir l'effet de l'enrobage.
- Tester des élancements plus importants pour se rapprocher de la réalité.

Ce travail nous a permis de nous initier à des travaux de recherche, à explorer expérimentalement une idée de conception et surtout à avoir un esprit critique par rapport à des résultats expérimentaux qu'il faut impérativement interpréter.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] BENTAYEB F., KAITTAHAR, A. CHATEAUNEUF. <<New technique for reinforcement of columns confined by embedded composite grid >>, *Construction and building materials* 2007

[2] R.DUPAIN, R.LNCHON, JC SAINT ARROMAN, <<Granulats, sols, ciments et bétons>>

[3] <<Nouveau guide du béton : composants et propriétés >>

[4] <<Eurocode –renforcement des structures>>

[5] Y.KALOUGHALI <<Caractérisation expérimentale du comportement des panneaux multicouches>>, thèse de master ; université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou 2016.

[6] H.BELHANACHI <<Réhabilitation et renforcement des poteaux en béton armé >>, thèse de magister, université Bentouri de Constantine 2009.

[7] S.YAHYAOUI <<Etude de la durabilité des éléments fissurés en béton armé rigidifiés par les matériaux composites>> thèse de magister, université M'Hamed Bougara de Boumerdes 2006.

[8]. Document scientifique et techniques AFGC, réparation et renforcement des structures en béton au moyen de matériaux composites, année 2007.

[9]. Document scientifique et techniques AFGC, réparation et renforcement des structures en béton au moyen de matériaux composites, année 2003.

[10]. J.A.CALGARO, maintenance et réparation des ponts, ENPC, année 1997.

[11]. J.V.MIRANDA, techniques et systèmes de renfort des structures en béton 2004

[12] Perfectionnement sur les techniques de réhabilitation et de renforcement des structures, rencontres scientifiques, SOCOTEC-CTC année 2002.

[13]. MOSLEY W.H, HULSE R, BUNGEY J.H.. "Reinforced concrete design to Eurocode 2". Eurocode 2. EDITIONS ROWE LTD CHIPPENHAM WILTS. Londres. Grande-Bretagne (1996).