

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département de GENIE CIVIL

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : Génie Civil

Spécialité : Matériaux

Par

➤ AMMER BOUDJELEL Mehdi

➤ ZAHROUI Lahcen

Intitulé

**Etude du comportement mécanique des poutres en béton à
haute performance, renforcées de fibres de verre et de
végétale**

Soutenu le :

Devant le Jury composé de :

Dr. ammar noui	Université de BBA	Président
Dr.Kessal Oussama	Université de BBA	Encadrant
Dr. Belkadi Ahmed Abderraouf	Université de BBA	Co-encadrant

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu de nous avoir donné la force, le courage et la persistance pour accomplir ce modeste travail.

À Monsieur BELKADI abderraouf et KESSAL oussama qui nous a guidées à chaque étape de la réalisation de ce travail.

Nos remerciements s'adressent à monsieur AMMAR NOUI d'avoir accepté d'évaluer ce modeste travail et de présider le jury de soutenance.

Nous tenons à remercier monsieur ABD LATIF pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant d'examiner cet humble travail.

Nous tenons à remercier monsieur BILLEL de nous avoir aidées dans la réalisation de la partie expérimentale.

Nous tenons à remercier tous les techniciens du laboratoire pour leur attitude professionnelle, leur modestie et leur bonne humeur. Ils nous ont beaucoup facilité le travail.

Dédicaces

Merci Allah de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire et la patience d'aller jusqu'au bout du rêve...

À celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, ma mère

À l'école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années de mes études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner de l'aide et à me protéger, mon père

À la personne qui m'as toujours accompagné dans ma vie .Ta présence à mes côtés m'a permis de réussir et de donner toujours le meilleur de moi merci ma femme

À mes sœurs

À la princesse SELMA et le prince MOUHAMED

À mes amies

Je prie pour l'âme de ma sœur repose en paix .

MEHDI

Dédicace

Je tiens à dédier ce travail aux personnes les plus chères à mon cœur, ma mère qui a
su être à mes cotés dans les moments difficiles

à mon père, car c'est grâce à leurs soutiens que j'ai pu arriver à ce stade ;
je souhaite que ce travail soit à la hauteur de tout ce qu'ils ont pu faire pour moi.

A mes sœurs

à mes frères

A tous mes amis et mes collègues.

LAHCEN

Résumé

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, les capacités structurales nécessaires pour résister aux sollicitations auxquelles elles sont soumises. Parmi les technologies envisagées, l'utilisation des matériaux composites et des mortiers de résine est très prometteuse. L'une de ces approches consiste à restaurer ou à augmenter la capacité des bétons en réparant ou en renforçant les structures existantes, en les adaptant à l'évolution des contraintes opérationnelles, ce qui peut s'inscrire dans une approche de développement durable. Dans notre étude, nous avons cherché à comprendre la meilleure façon de renforcer une poutre BHP qui peut se fissurer en raison de la charge de flexion au point 03. A cet effet, nous avons étudié 3 méthodes de renforcement des poutres BHP endommagées : Fibre de Lin vs fibre de verre, nombre de couche des fibres de lin (1 à 3 couches) et traitement thermique des fibres de lin (20°C et 80°C).

Les résultats ont montré que le renforcement de poutre en béton soumise a la flexion avec la fibre de lin est promoteurs ,par rapport à celle du verre dans le coté économique et écologique .

Mots clés :

Renforcement des poutres, composite avec des fibres, fibre de lin, fibre de verre
traitement thermique

Abstract

In Algeria, as elsewhere in the world, a large part of the national heritage and transport infrastructures have reached the end of their useful life. Studies and expertise have shown the urgency of developing rehabilitation techniques to restore structures such as old buildings, the structural capacities necessary to withstand the stresses to which they are subjected. Among the technologies considered, the use of composite materials and resin mortars is very promising. One of these approaches consists in restoring or increasing the capacity of the concretes by repairing or reinforcing the existing structures, adapting them to the evolution of the operational constraints, which can be part of a sustainable development approach. In our study, we sought to understand the best way to reinforce a BHP beam that may crack due to the bending load at point 03. For this purpose, we studied 3 methods of strengthening damaged BHP beams: Flax vs fiberglass, number of layers of flax fibers (1 to 3 layers) and heat treatment of flax fibers (20°C and 80°C).

The results showed that concrete beam reinforcement subjected to bending with flax fiber is promoters compared to that of glass in the economic and ecological side .

Keywords

Reinforcement of beams, composite with fibers, flax fiber, fiberglass heat treatment

ملخص

في الجزائر ، كما في أي مكان آخر في العالم ، وصل جزء كبير من التراث الوطني والبنى التحتية للنقل إلى نهاية عمرها الإنتاجي. أظهرت الدراسات والخبرات الحاجة الملحة لتطوير تقنيات إعادة التأهيل لترميم المباني مثل المباني القديمة والقدرات الهيكلية اللازمة لتحمل الضغوط التي تتعرض لها. من بين التقنيات التي تم النظر فيها ، يعد استخدام المواد المركبة وقذائف الهاون الراتنجية واعدة للغاية. يتمثل أحد هذه الأساليب في استعادة أو زيادة قدرة الخرسانة من خلال إصلاح أو تعزيز الهياكل القائمة ، وتكييفها مع تطور القيود التشغيلية ، والتي يمكن أن تكون جزءاً من نهج التنمية المستدامة. في دراستنا ، سعينا إلى فهم أفضل طريقة لتقوية حزمة BHP التي قد تتشقق بسبب حمل الانحناء عند النقطة 03. لهذا الغرض ، درسنا 3 طرق لتقوية حزم BHP التالفة Flax: مقابل الألياف الزجاجية ، عدد طبقات من ألياف الكتان (من 1 إلى 3 طبقات) والمعالجة الحرارية لألياف الكتان (20 درجة مئوية و 80 درجة مئوية).

بينت النتائج أن تسليح العارضة الخرسانية المعرضة للانحناء بألياف الكتان هي مادة محفزة مقارنة بالزجاج في الجانب الاقتصادي والبيئي .

Sommaire

Résume.....	5
Abstract.....	6
LISTE DES FIGURES	10
Liste des tableaux.....	11
Introduction générale	2
1.1 Introduction.....	5
1.1.1 Causes de la dégradations mécaniques des bétons :	6
a) Erreurs de conception et d'exploitation	6
b) Défauts d'exécution	6
c) Phénomène des Chocs.....	7
d) L'abrasion.....	7
e) Les fissures.....	7
1.1.2 Causes des dégradations par agression chimique des bétons :	7
1.1.3 Causes des dégradations physiques des bétons :	8
a) Séisme	8
b) Incendie	8
1.2 Dégradation mécanique	9
1.2.1 Mode de fissuration et rupture par effort Tranchant.....	9
1.2.2 Rupture par cisaillement et flexion.....	9
1.2.3 Rupture par cisaillement et compression.....	10
1.2.4 Rupture par cisaillement avec glissement	10
1.2.5 Rupture par coupure	11

1.3	Conclusion	11
2.1	Introduction.....	13
2.2	Le renforcement des structures en béton armé (BA)	13
2.3.	Méthodes de réparations	13
2.3.1.	Méthodes non structurales	13
➤	Préparation de la surface à réparer	13
➤	Protection des armatures :	14
➤	Réparation du béton dégradé	14
2.3.2.	Méthodes structurales	15
a)	Adjonction d'armature complémentaire :	15
b)	Renforcement des structures par béton projeté :	16
c)	Projection d'un béton avec un ajout d'armatures.....	17
d)	Réparation ou renforcement par précontrainte additionnelle.....	18
e)	Réhabilitation renforcement avec plaques d'acier	18
f)	Adjonction de matériaux composites (Polymères Renforcés en Fibres.....	18
•	Introduction.....	Erreur ! Signet non défini.
•	Définitions et avantages	19
•	Propriétés du tissu et de la résine de collage.....	19
2.4.	Conclusion	20
3.1.	Introduction.....	22
3.2	Composition du béton :	22
3.2.1	Granulats (sable et gravier).....	23
3.3	Formulation de BHP	24
3.3.1	Procédure e de la formulation.....	24
3.3.2	Composition retenue.....	24
3.4	Préparation des poutres	25
3.4.1	Dimension des poutres.....	25

3.4.2	Coffrage	25
3.4.3	Coulage des poutres	26
3.6	Configuration générale du système d'essai	27
3.7	Fibre de lin :	27
3.8.	Fibre de verre :	28
3.9	Mode opératoire de renforcement	28
3.10	Conclusion	30
4.1	Introduction	32
4.2	Paramètres d'étude	32
4.3	Caractéristiques à l'état frais et durci des BHP	33
4.4	Etude du comportement flexionnel des poutres armées	33
4.4.1	Effet le nombre des couches de fibre de lin	33
4.4.2	Effet de traitement thermique de la fibre de lin	35
4.4.3	Comparaison entre les modes de renforcement	35
4.5	Conclusion	37
	Références	39

LISTE DES FIGURES

Figure 1. 1 Poutre dégradée.	7
Figure 1. 2 Effet de la carbonatation dans les bétons armés.....	8
Figure 1. 3 Rupture par cisaillement et flexion (Godycki-Cwirko, 1972).....	10
Figure 1. 4 Rupture par cisaillement et compression (Godycki-Cwirko, 1972).....	10
Figure 1. 5 Rupture par cisaillement avec glissement.	11
Figure 1. 6 Rupture par coupure(Godycki-Cwirko, 1972).	11
Figure 3. 1 Courbes granulométriques des granulats utilisés.	24
Figure 3. 2 <i>Caractéristiques géométriques des poutres préparées</i>	25
Figure 3. 3 Le coffrage utilisé.....	26
Figure 3. 4 Coulage les poutres en BHP.	26
Figure 3. 5 Résine.	27
Figure 3. 6 Dispositif d'essai adopté pour les essais de flexion.	27
Figure 3. 7 La lin.....	28
Figure 3. 8 Fibres de verre.	28
Figure 3. 9 Création de fissure et nettoyage.	29
Figure 3. 10 préparation des matériaux.....	29
Figure 3. 11 Différentes poutres renforcées.....	30
Figure 4. 1 Affaissement du BHP essai de cône d'Abrams.....	33
Figure 4. 2 Courbe charge déformation.	34
Figure 4. 3 Mode de rupture de la poutre 3L.	34
Figure 4. 4 Courbe charge déformation.	35
Figure 4. 5 Courbe charge déformation pour différents modes de renforcement.	35
Figure 4. 6 Mode de rupture (a) fibre de verre 1V (b) fibre de lin 1L.	36

Figure 4. 7 Courbe charge déformation.	36
---	----

Liste des tableaux

Tableau 1. 1 Causes de fissuration du béton frais et du béton durci.....	6
Tableau 3. 1 Composition Chimique du ciment et du fumé de silice.	23
Tableau 3. 2 Composition minéralogique du ciment.	23
Tableau 3. 3 Propriétés physiques et mécaniques des agrégats.	23
Tableau 3. 4 Composition des bétons étudiés pour 1m ³ de béton.	25
Tableau 4. 1 Caractéristiques des BHP utilisés.....	33

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Le béton est la deuxième substance la plus consommée par l'homme après l'eau, c'est actuellement le matériau de construction le plus utilisé dans le monde. Chaque année, des milliards de mètres cubes de béton sont utilisés dans le monde pour construire divers projets, notamment des bâtiments, des structures, des barrages et des centrales nucléaires. Le béton fait partie de notre cadre de vie et a gagné sa place par sa simplicité de fabrication, sa facilité de mise en place, ses propriétés mécaniques, son isolation phonique, sa résistance au feu, sa durabilité et sa variété de formes. Les critères économiques sont évalués en fonction de la disponibilité et du coût des matières premières.

Avec une longue histoire d'innovation du béton dans le développement du génie civil, il existe de nombreuses structures plus anciennes qui ne peuvent plus supporter les conditions de chargement actuelles, comme les ponts, qui sont soumis à des conditions d'exploitation plus sévères. Le développement économique rapide a conduit à une augmentation continue du nombre et du poids des véhicules. Par conséquent, les charges de contraintes effectives ne correspondent plus aux charges de calcul de l'ancien pont. En raison de la détérioration des matériaux causée par l'environnement, comme l'action de l'eau, les produits chimiques qui accélèrent le processus de détérioration et le vieillissement, la durée de vie de la structure est considérablement réduite. Face à ce problème, ces structures doivent être reconstruites ou réparées pour s'adapter aux conditions de chargement actuelles afin d'assurer la sécurité des usagers.

Le béton a fait des progrès indéniables en termes de résistance et de compacité au cours des trois dernières décennies. Ainsi, au début des années 1980 les Béton Haute Performance (BHP) ont vu le jour. Ces bétons ont eu une résistance à la compression supérieures à 60 MPa sont aujourd'hui de plus en plus utilisés dans les grands ouvrages, les avantages apportés par ces bétons sont donc encore plus importants d'un point de vue sécuritaire et économique. Comparé au béton ORDINAIRE et, BHP ce dernier a un meilleur compactage, une meilleure résistance à l'eau et une durabilité à long terme. Dans la démarche écologique, nous préconisons l'utilisation de fibres naturelles dans le béton pour réduire la fissuration due aux charges de flexion.

Introduction générale

Le but de ce travail est de renforcer des poutres en BHP par trois méthodes différentes telles que : la réparation par l'introduction des barres de verre dans la partie inférieure de la poutre, l'utilisation des tissus de verre et des tissus de lin.

Notre mémoire se divise en deux chapitres théoriques et deux chapitres consistent à une étude expérimentale.

Chapitre 1 destiné à la généralité sur les différents types de dégradation des éléments en béton.

Chapitre 2 dédié aux différentes méthodes de renforcement et de réparation des éléments structuraux

Chapitre 3 consiste à la caractérisation des matériaux de base et méthodologie d'essai

Chapitre 4 concerne résultats et discussions.

Chapitre 1.

Généralité sur les dégradations des bétons

1.1 Introduction

Le béton à base de ciment est largement utilisé dans les constructions en génie civil. Par contre, il peut dégrader à cause d'une exposition à des conditions environnementales sévères, y compris la chaleur, les chocs répétitifs, l'érosion chimique...etc. Les fissures et les dégradations dans le béton réduisent l'efficacité de ses opérations...etc.

Par conséquent, certain nombre d'ouvrages en béton armé nécessitent des entretiens, des réparations ou des reconstructions.

Il faut bien comprendre l'origine des dégradations afin d'éviter qu'elles ne réapparaissent une fois l'ouvrage réparé. Concevoir et réaliser une réparation sur une structure en béton est un problème complexe qui ne relève pas seulement d'un savoir-faire technique.

Dans ce chapitre on abordera les dégradations principales des bétons dues aux différentes causes telles que : chimiques, choc-mécaniques, choc-thermiques...etc.). De plus, on va s'intéresser aux différents modes de ruptures des bétons à cause des choc-mécaniques.

La dégradation du béton est sa perte de performance elle se manifeste par détérioration, déformation ou changement de ces propriétés. La fissure constitue le signe d'une première manifestation apparente de dégradation possible, comme elle peut prendre l'aspect des éclats ou couleurs de rouille. Le tableau I.1 regroupe les différentes causes de la dégradation des bétons.

Béton frais	Hydrique	Retrais capillaire
		Tassement plastique
	Mécanique	Déformation du coffrage
Vibration		
Béton durci	Hydrique	Retrait de dessiccation
		Retrait endogène
		Retrait différentiel
	Thermique	Chaleur hydratation
		changement de température
		Gel
	Chimique	Corrosion de fers d'armature
		Retrait de carbonatation
		Alcali - réaction
	Mécanique	Charge de service
		Surcharge
		Délabement

Tableau 1. 1 Causes de fissuration du béton frais et du béton durci.

1.1.1 Causes de la dégradations mécaniques des bétons :

Il y a plusieurs causes qui provoquent les détériorations mécaniques des éléments structurants en bétons armé telles que :

a) Erreurs de conception et d'exploitation

Les différentes erreurs de conception peuvent être résumées comme suit :

- Un tassement.
- Une poussée à vide dans les escaliers.
- Une surcharge que la structure ne peut subir.
- Un manque déjoint.
- Un manque d'armatures.

b) Défauts d'exécution

Les défauts d'exécution sont dus généralement à :

- Une mauvaise position des armatures d'aciers.
- Une mauvaise mise en œuvre du béton.
- Un mauvais coffrage.
- Une mauvaise formulation du béton.
- Un recouvrement insuffisant des armatures d'aciers.

c) Phénomène des Chocs

Le phénomène de choc peut provenir de :

- Les chocs des véhicules sur ponts.
- Les chocs de bateaux sur piles.
- La mauvaise manutention d'éléments préfabriqués.

d) L'abrasion

Le phénomène d'abrasion est dû généralement à :

- Une circulation intense de l'eau (barrages),
- Les charges mécaniques répétées (chaussées, dallage industriel),
- L'action du courant d'eau sur corps immergés ou flottants (piles de ponts, plateforme, etc.).

e) Les fissures

Les différents types de fissures sont :

- Les fissures mécaniques (due à la compression, à la traction, à la flexion ou au cisaillement).
- Les fissures dues au retrait (un retrait plastique, un retrait thermique, etc.).
- Les fissures dues au gel.
- Les fissures dues à la corrosion (Kahalerras & Younes, 2016)



Figure 1. 1 Poutre dégradée. (Godycki-Cwirko, 1972).

1.1.2 Causes des dégradations par agression chimique des bétons :

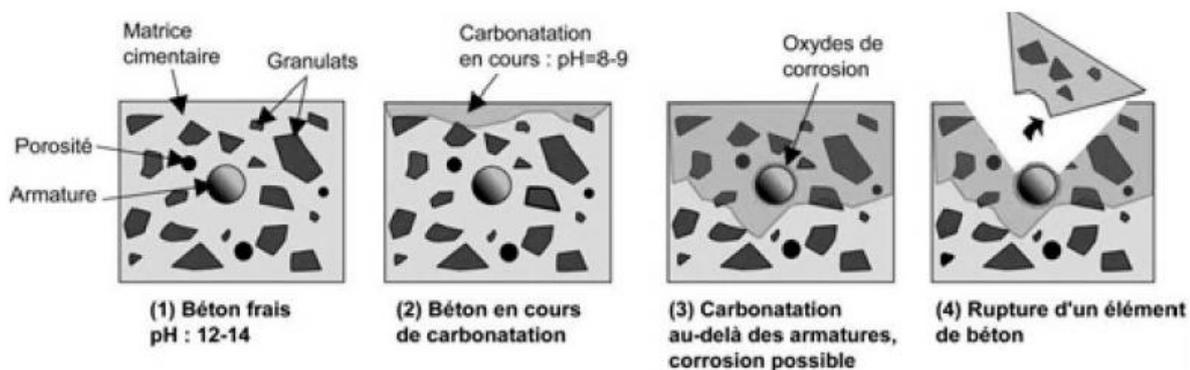
La dégradation peut provenir d'une attaque chimique par un agent se trouvant :

- Sous forme de gaz d'origine naturelle ou industrielle.
- Sous forme liquide.

- Sous forme solide du sol ou résidu industriel.

Elle peut aussi être d'origine interne :

- Carbonatation du béton
- Corrosion des armatures
- Attaque par les sulfates
- Attaque par des acides
- Alcali-réaction.



D'après "Solutions béton - Ouvrages d'Art - Hors série 2012"
L'actualité chimique - octobre-novembre 2007

Figure 1. 2 Effet de la carbonatation dans les bétons armés(OUZAA, K. (2015).

1.1.3 Causes des dégradations physiques des bétons :

Les causes de dégradations physiques des bétons sont :

a) Séisme

Se référer aux codes de calcul dans les zones sismique, limiter le degré d'endommagement par des mesures constructives.

b) Incendie

Le béton a une résistance au feu convenable en cas d'incendie :

En 1h la température est de 350°C à une profondeur de 3 cm vis-à-vis de la couche superficielle du béton, et à une profondeur de 7.5 cm elle est de 100°C.

A 570°C : fissuration des granulats quartzeux.

A 800°C décarbonatation du CaCO_3 .

La vaporisation brutale de l'eau implique un éclatement du béton.

Dans la partie suivante on va s'intéresser aux dégradations mécaniques des bétons durcis qui font la partie de notre recherche.

1.2 Dégradation mécanique

1.2.1 Mode de fissuration et rupture par effort Tranchant

Pour ce qui concerne les modes de rupture, plusieurs possibilités sont envisageables, en fonction de la quantité d'armatures longitudinales et transversales, de la forme de la section, de l'adhérence des armatures au béton et du mode d'ancrage des barres au-dessus des appuis, en fonction de la géométrie de la poutre le rapport l/h est généralement utilisé pour distinguer les différents types de poutre en béton armé, où l est la distance entre l'appui et le point d'application de la charge et h la hauteur effective de la section de la poutre. Ainsi, les poutres sont classées comme suit :

- Poutre très profondes $L/h \leq 1$.
- Poutres profondes $1 < L/h \leq 2,5$
- Poutres élancées $2.5 < L/h \leq 6$.
- Poutres très élancées $L/h > 6$

1.2.2 Rupture par cisaillement et flexion

Ce type de rupture se caractérise par la disposition des fissures représentées sur la figure 1.3. Il peut apparaître quand la poutre est relativement ramassée et n'est pas suffisamment armée à la flexion sur toute sa longueur. Dans le cas de réduction d'armature en fonction du diagramme des moments, la limite d'écoulement de l'acier de l'armature principale est atteinte en dehors du centre de la poutre, dans la zone de l'action simultanée de l'effort tranchant et du moment fléchissant (T et M). Ceci conduit à un cheminement excessif de la fissure oblique et finalement à la rupture qui se traduit par l'écrasement du béton dans la zone au-dessus de cette fissure.

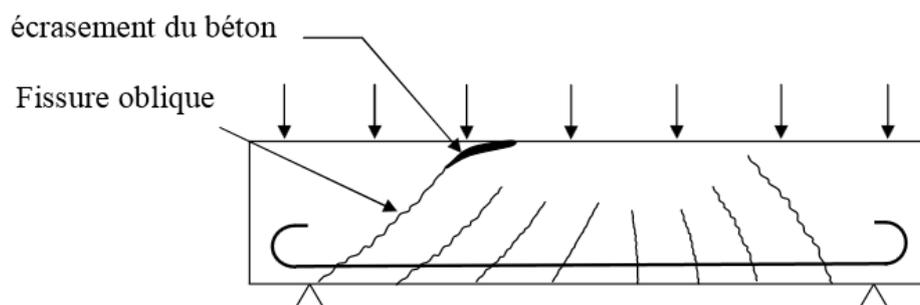


Figure 1. 3 Rupture par cisaillement et flexion (Godycki-Cwirko, 1972).

1.2.3 Rupture par cisaillement et compression

Ce mode de rupture peut intervenir dans les poutres dont l'armature principale est relativement importante, et l'armature transversale faible ou même inexistante. La cause de la rupture est la destruction du béton par séparation et glissement dans la zone de compression au-dessus de l'extrémité de la fissure oblique. A cet endroit, un pseudo d'articulation se forme, autour de laquelle a lieu une rotation des deux parties de la poutre séparées par la fissure oblique (figure 1.4), avec un glissement tangentiel simultané.

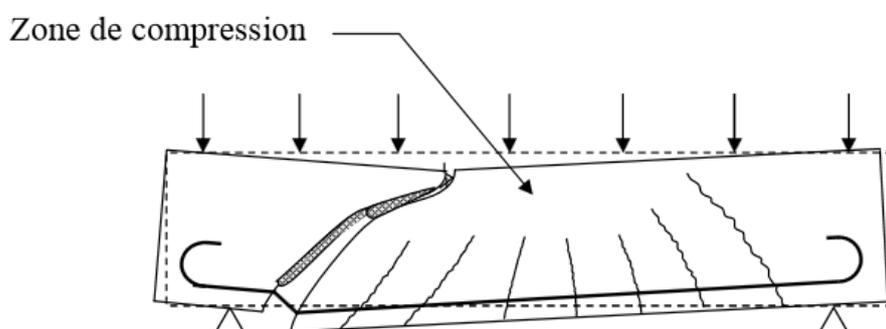
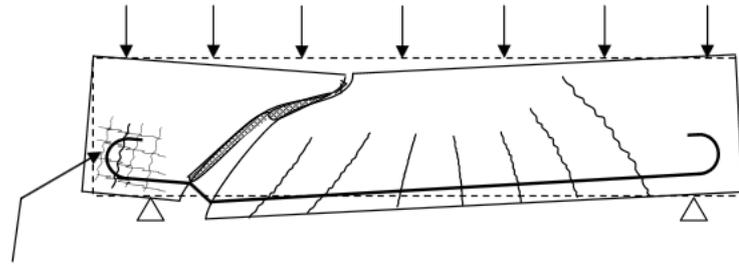


Figure 1. 4 Rupture par cisaillement et compression (Godycki-Cwirko, 1972).

1.2.4 Rupture par cisaillement avec glissement

Après l'apparition des premières fissures obliques, l'ouverture de l'une d'elles augmente avec la charge et de nombreuses petites fissures inclinées s'ouvrent au niveau de l'armature principale (figure 1.5), l'adhérence de l'acier au béton disparaît graduellement. Finalement, l'épuisement de la capacité portante de l'élément est causé par le glissement des armatures principales dans l'encrage au-dessus de l'appui. Dans ce cas, les crochets des barres lisses provoquent des éclatements visibles sur les faces frontales de la poutre si l'armature locale transversale n'est pas convenablement prévue.



Glissement des armatures

Figure 1. 5 Rupture par cisaillement avec glissement(Godycki-Cwirko, 1972).

1.2.5 Rupture par coupure

La rupture par coupure ne peut intervenir que dans le cas d'un effort transversal très important avec un faible moment fléchissant sur des poutres minces, donc surtout quand une force concentrée est appliquée près de l'appui(Godycki-Cwirko, 1972).

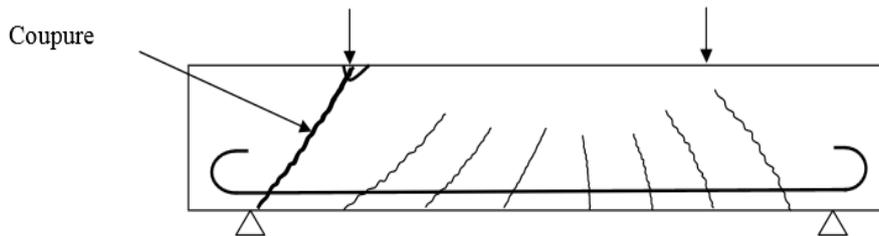


Figure 1. 6 Rupture par coupure(Godycki-Cwirko, 1972).

1.3 Conclusion

Dans cette partie on a étudié différentes dégradations des bétons à cause aux différents facteurs. On a trouvé que le type de fissuration et le mode de rupture se différent en fonction du matériau de construction (la composition, la position des aciers...etc) et le facteur qui provoque la détérioration.

Chapitre 2.

Les modes de renforcement et de réparation des poutres

2.1 Introduction

Dans le secteur du bâtiment, il existe plusieurs interventions de réhabilitation, de maintenance, de réparation et de renforcement, correspondant à des éléments différents afin d'augmenter leur durée de vie. Dans ce chapitre on va démontrer les différents modes, système et renforcement des différents éléments structuraux et non structuraux.

2.2 Le renforcement des structures en béton armé (BA)

Dans les structures en béton armé, les éléments constitutifs peuvent être divisés en deux catégories :

- les éléments verticaux (poteaux, voiles)
- les éléments horizontaux (poutres, dalles).

Le renforcement est une opération qui consiste à augmenter le niveau de service et en particulier (augmentation de la ductilité, de la résistance) d'une construction pour en permettre l'utilisation dans des conditions non prévues à l'origine ou de lui procurer une protection suffisante contre des sollicitations dont il n'a pas été tenu compte dans les calculs (OUZAA, 2015). Un renforcement peut être associé à une réparation.

2.3. Méthodes de réparations

2.3.1. Méthodes non structurales

La réparation par reprise du béton dégradé suit généralement l'ordre chronologique suivant :

➤ Préparation de la surface à réparer

Afin d'assurer une bonne adhérence au niveau de la surface de reprise, il devient indispensable de prévoir une bonne préparation de la surface et créer un support sain et propre. Les techniques les plus fréquemment utilisées pour la préparation des surfaces sont : le sablage (à sec ou humide), le décapage à l'eau à haute pression.

Dans la plupart des cas, les produits de réparation s'appliquent sur une surface humide afin de faciliter l'effet de l'accrochage.

➤ **Protection des armatures :**

Lors de la réparation des structures comportant des aciers apparents, il est nécessaire d'assurer une protection des aciers en place qui auront au préalable été débarrassés de la rouille (décapage par sablage, jet d'eau à haute pression ou brosse métallique).

➤ **Réparation du béton dégradé**

Les produits de ragréage peuvent être soit à base de liant hydraulique, à base de résines de synthèse ou bien mixtes à base de ciment et de polymère organique réactif. Le choix du produit adéquat dépend de ses caractéristiques mécaniques et physico-chimiques.

➤ **Traitement des fissures**

Il existe plusieurs techniques de traitement des fissures. Le choix de la technique adaptée est en fonction des caractéristiques de la fissuration : ouverture (microfissures, fissures fines, fissures moyennes...), profondeur, activité (fissures ouvertes, fermées, mortes, actives...), tracé, géométrie, exposition aux intempéries (fissures sèches, humides, saturées, ruisselantes...), présence d'eau libre ou sous pression... de l'état et du type de support. Parmi ces techniques (Gourbeyre et al., 2021) :

Injection: elle consiste à faire pénétrer dans la fissure un produit qui va créer une continuité mécanique ou une étanchéité entre les parties disjointes. Elle s'applique à des fissures dont l'ouverture est au moins comprise entre 0.1 et 0.2 mm. L'injection par un produit souple permet son adaptation aux mouvements générés par les variations thermiques et hygrothermiques. L'injection par un produit rigide permet d'assurer la continuité de la matière.

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

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

Pontage : il est destiné à recouvrir une fissure au moyen d'un produit souple adhérent à la surface du support (revêtement, feuille préfabriquée...) afin de rétablir

une étanchéité à l'air ou à l'eau ou empêcher la pénétration de matières solides en laissant libres les mouvements de la fissure.

Protection généralisée : ce traitement consiste à mettre en œuvre sur la surface de la structure fissurée un revêtement qui ferme les fissures. Il est applicable lorsque la fissuration est anarchique et concerne l'ensemble du support.

Le choix des produits à utiliser est fonction de l'ouverture des fissures, de la présence éventuelle d'eau et de l'activité des fissures.

2.3.2. Méthodes structurales

Les réparations structurales peuvent être effectuées soit par ajout de forces ou de matière, dont la solution retenue pour renforcer ou réparer un élément doit satisfaire ces conditions :

Le monolithisme de l'élément doit être réalisé, afin de permettre un fonctionnement mécanique satisfaisant.

Les qualités des matériaux d'adjonction doivent être au moins égales à celles des matériaux constitutifs de l'ouvrage à renforcer ou à réparer.

a) Adjonction d'armature complémentaire :

Il s'agit là d'enlever le béton dans les zones où les aciers sont corrodés. Les armatures existantes conservées doivent être bien soignées afin d'éviter une continuité de leurs dégradations. Les armatures complémentaires doivent s'opposer à la fissuration et contribuer à la résistance des sections ainsi renforcées.

La liaison s'effectue par soudure ou bien par scellement tout en respectant les longueurs de recouvrement et d'ancrage. La géométrie d'origine doit être régénérée avec des mortiers riches pour augmenter l'adhérence et la résistance mécanique de sections finales.

b) Mise en place des armatures complémentaires

A cette étape des travaux, un contrôle du diamètre résiduel des armatures les plus fortement attaquées sera effectué (à l'aide d'un pied à coulisse par exemple). Les armatures supplémentaires de même nature seront mises en place, par scellement, soudure, ou des systèmes explicite de fixation (cheville, tiges collées, boulonnage), afin de restituer la section initiale, avec une tolérance de 5%, en tenant compte des longueurs d'ancrage et de recouvrement, et des armatures de couture. Dans le cas de soudure, celles-ci devront être effectuées, selon les normes en vigueur, après que la soudabilité de l'acier ait été vérifiée.

c) Protection des armatures

La protection des armatures consiste à appliquer sur toute la surface de celles qui sont dégagées, un produit assurant une protection vis-à-vis de la corrosion. Ce traitement n'est réellement nécessaire que si, pour des raisons techniques, l'enrobage final ne peut pas avoir la valeur prévue dans les règlements, pour un environnement donné. Il est également fonction de la nature du produit de reconstitution du parement. On devra également s'assurer de la compatibilité avec les traitements ultérieurs (électriques notamment). Cette application doit suivre immédiatement le décapage, car l'oxydation des armatures risque de s'amorcer et de compromettre la bonne tenue de la réparation (PERCHAT, 1993).

d) Réfection des bétons

La réfection des bétons consiste à rétablir l'enrobage des armatures par la mise en œuvre d'un mortier riche. Ce dernier doit respecter les critères :

- De la tenue d'aplomb de l'élément.
- D'une résistance mécanique supérieure ou égale au béton support.
- D'adhérence supérieure ou égale à la cohésion du support,
- D'imperméabilité à l'eau et aux agents agressifs,
- D'un coefficient de dilatation thermique équivalent au béton support.
- D'une bonne protection d'aciers.

Ces critères sont assurés par l'utilisation de mortiers à base de résine pour améliorer les propriétés de l'apport, surtout lorsqu'il réagit dans la partie de l'interface où il y a plusieurs phénomènes tels que : l'influence du retrait en termes de glissement sur l'interface du béton initial et le béton nouveau.

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 (Kahalerras & Younes, 2016).

e) Renforcement des structures par béton projeté :

Cette technique, est utilisée tant pour le renforcement de structures insuffisantes ou défailtantes que pour la réparation d'ouvrages endommagés.

Un béton projeté est constitué d'un mélange de granulats, de ciment et d'eau avec parfois des ajouts tels que les adjuvants, les fibres ou les fumées de silice, projeté grâce à de l'air comprimé, sur une paroi. L'ajout de ces produits confère au béton des

propriétés spécifiques à court terme (lors de la mise en œuvre) et à long terme, à savoir :

-les adjuvants permettent l'obtention et le maintien de la fluidité, grâce à des stabilisateurs de prise introduits à la sortie de la centrale pour une optimisation des conditions de transport, de la consistance initiale, grâce à des activateurs introduits quelques mètres avant la lance, l'efficacité grâce à des accélérateurs de prise (raidisseurs) introduits en bout de lance.

-L'adjonction de fibres confère au béton projeté des propriétés complémentaires qui dépendent de la quantité et du type de fibres : cohésion améliorée du béton frais, limitation des effets du retrait, amélioration possible des caractéristiques mécaniques (résistance accrue au cisaillement et à la flexion).

-L'utilisation de fumée de silice améliore l'aptitude à la projection (béton plus collant) ainsi que la durabilité (béton plus dense).

Il faut distinguer deux techniques de projection, suivant le moment d'introduction de l'eau dans la chaîne : par voie sèche avec ou sans pré-mouillage (l'eau est introduite au niveau de la lance), et par voie mouillée (l'eau est introduite au malaxage du béton).

f) Projection d'un béton avec un ajout d'armatures

Lorsqu'il s'agit de réparation ou de renforcement structural, l'étude doit comporter une étude de fonctionnement de la structure et des conditions dans lesquelles sont repris les efforts tant à vide que sous charges d'exploitation, pendant et après les travaux. Dans les cas d'un renforcement avec un ajout d'armatures, il convient de préciser les conditions de mise en charge de l'élément à renforcer soit sous l'effet des charges d'exploitation seules, soit sous l'effet des charges permanentes. Si nous prenons l'exemple d'un poteau dégradé qui nécessite un renforcement, il peut être intéressant de faire participer le béton projeté à la reprise des charges permanentes, pour cela, il est nécessaire de précéder à un étalement du poteau accompagné d'un vérinage actif, de placer les aciers de renfort, de projeter le béton, puis de décroître. Pour reconstituer des sections précises de béton ou pour dresser des arrêtes, il est souvent nécessaire d'utiliser des coffrages, ceux-ci constituent cependant des obstacles qui gênent la projection et qui peuvent provoquer la formation de zones mal compactées, en raison d'un piégeage de rebonds dans les angles. Il est donc préférable de procéder d'abord à l'enrobage des aciers, puis de ne mettre en place les coffrages que pour la projection

de la couche de finition. Il a été vérifié que lorsque les règles de l'art relatives à l'exécution du béton projeté sont respectées, le plan de liaison entre béton projeté et béton support ne constitue pas systématiquement un plan de faiblesse. Dans la grande majorité des cas, la rupture se produit soit dans le béton support, soit dans le béton projeté. Cet essai permet de définir les conditions d'acceptation d'une réparation par béton projeté du point de vue de son adhérence sur le support, cette adhérence est ainsi jugée satisfaisante.

g) Réparation ou renforcement 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, recomprimer les zones tendues, sans ajouter d'excès de contraintes dans les zones comprimées.

h) Réhabilitation renforcement avec plaques d'acier

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. Ces plaques sont généralement facilement inspectables pour faire le suivi des dégradations. 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.

i) Adjonction de matériaux composites (Polymères Renforcés en Fibres

Le renforcement de la structure par collage, resté favori dans le bâtiment, n'a connu qu'un développement limité dans le domaine du génie civil.

Afin d'affranchir de ce type de renfort, les groupes de recherches ont entrepris d'autres actions en utilisant d'autres matériaux appelés : matériaux composites. Cette voie est plus prometteuse, et consiste à développer une technique permettant le renforcement des structures en béton, en acier par imprégnation et collage d'un tissu sec à base de fibres. (un polymère renforcé en fibre de carbone PRFC).

Définitions et avantages

Les fibres utilisées généralement dans le domaine du génie civil sont les fibres de carbone. Ces fibres sont obtenues par pyrolyse de fibres organiques, réticulées et orientées en atmosphère contrôlée.

Elles s'utilisent essentiellement sous forme de matériaux composites pour conférer aux produits finis le meilleur des propriétés physiques, statiques et dynamiques. Ces matériaux présentent une contrainte de rupture très élevée pour une densité cinq fois moindre que celle de l'acier.

Les composites issus de fibres de carbone bénéficient sans équivalent et de propriétés physiques très étendues.

- Grande résistance en traction (avec haut module d'élasticité)
- Grande résistance à la fatigue.
- Légèreté
- Grande résistance à l'usure
- Absorption des vibrations
- Grande résistance à la corrosion

Propriétés du tissu et de la résine de collage

D'un transport et d'une manutention faciles, le tissu ne pèse que 0.8 Kg/m², le tissu en fibre de carbone peut être aisément découpé sur place à la forme désirée, sa mise en œuvre n'exige qu'un échafaudage léger.

A l'inverse des tôles d'acier, le TFC (tissu de fibre de carbone) ne nécessite aucune pression de contact pendant le durcissement de la résine.

Sa faible épaisseur, de l'ordre de 1mm, permet son entraînement en traction par la résine durcie, sans flexion parasite.

La résine est utilisée à double fin, elle réalise à la fois l'imprégnation du tissu et son collage au support. Il en résulte, d'une part, une grande simplicité de mise en œuvre et, d'autre part, un fonctionnement mécanique amélioré, le renfort ne comportant qu'une seule surface de contact. La résine peut être appliquée sur un support humide, après mélange de deux composants, sa durée de prise et de durcissement est de quelques heures ; cette durée varie faiblement en fonction de la température.

2.4. Conclusion

Vus que les matériaux composites aient une grande flexibilité en s'adaptant aux formes géométriques les plus complexes des éléments renforcés, et pour leur légèreté par rapport aux aciers, leur facilité de manutention, de transport et de mise en œuvre sur site, ainsi que leurs résistances mécaniques assez importante que les autres moyens de renforcements. Ces multiples avantages, mécanique et physico-chimique permet l'utilisation des matériaux composites comme méthode de renforcement et de réhabilitation des structures en béton armé.

Chapitre 3

Méthodologie d'essai

Chapitre 3 : Caractérisation des matériaux de base et méthodologie d'essai

3.1. Introduction

Le but du présent chapitre est de présenter les caractéristiques des matériaux utilisés, les compositions des bétons et le dispositif expérimental mis en place.

Lors de cette étude expérimentale investie au laboratoire de Génie Civil de l'Université MOUHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI de BORDJ BOU ARRERIDJ, plusieurs éprouvettes de béton sont confectionnées, dans lesquels nous essayons de valoriser le comportement d'un béton renforcé par des fibres de verres, lin, carbone et végétales. À la lumière des résultats des essais mécaniques à la compression et à la traction par flexion trois points. Pour les besoins des essais mécaniques de compression et de traction, nous avons réalisé plusieurs gâchés de fibres. Pour chaque variante, un total de trois éprouvettes a été réalisées. Le programme expérimental de notre étude est subdivisé en deux parties :

La première partie est consacrée à la confection des poutres en BHP formulé selon la méthode de Sherbrooke puis testées sous une charge de flexion quatre points.

La seconde partie est consacrée en premier lieu à la réparation avec plusieurs méthodes de poutre pré-fissurée.

3.2 Composition du béton :

Dans Le béton étudié dans ce travail est un béton de haute performance (BHP), confectionné à partir d'un ciment Portland CEM I/42.5 R délivré par la cimenterie de LAFARGE wilaya de BISKRA ; Sa surface spécifique Blaine (SSB) est de 3400cm²/g et sa densité de 3.2.

La fumée de silice utilisée a une densité de 2.2 et une SSB de 8755 cm²/g. L'adjuvant utilisé est un superplastifiant haut réducteur d'eau commercialisé sous le nom MEDAFLOW30 délivré par la société GRANITEX, sa densité est de 1.07 avec un extrait sec de 30%.

Le détail de la composition chimique du ciment et du fumé de silice et minéralogique du ciment sont présentés dans les tableaux 3.1, 3.2.

Chapitre 3 : Caractérisation des matériaux de base et méthodologie d'essai

Tableau 3. 1 Composition Chimique du ciment et du fumé de silice.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Cl	P.A.F
Ciment (%)	21.79	4.29	5	64.37	/	2.11	0.24	/	0.87
Fumée de silice (%)	88.72	0.78	2.54	/	3.70	1.06	2.817	0.141	/

Tableau 3. 2 Composition minéralogique du ciment.

Minéraux	C3S	C2S	C3A	C4AF
Teneur (%)	63.26	14.43	2.49	15.9

3.2.1 Granulats (sable et gravier)

Dans cette étude on a utilisé un sable (0-5) avec un équivalent de sable selon la norme (EN 18-598) de 90.30% et un module de finesse après correction d'ordre 2.5 ; pour les granulats concassés deux fractions ont été utilisées (3/8 et 8/16). Les propriétés physiques et mécaniques des granulats utilisés sont présentés dans le tableau 3.3. L'analyse granulométrique des granulats utilisés réaliser selon la norme (NF EN 933-5) est représenté dans la figure 3.1.

Tableau 3. 3 Propriétés physiques et mécaniques des agrégats.

Propriétés	Sable	Gravier	
	(0/5)	(3/8)	(8/16)
ρ (g/cm³)	2.62	2.61	2.67
γ (g/cm³)	1.48	1.48	1.47
LA (%)	/	21.04	17.80
A (%)	4	3.27	1.25

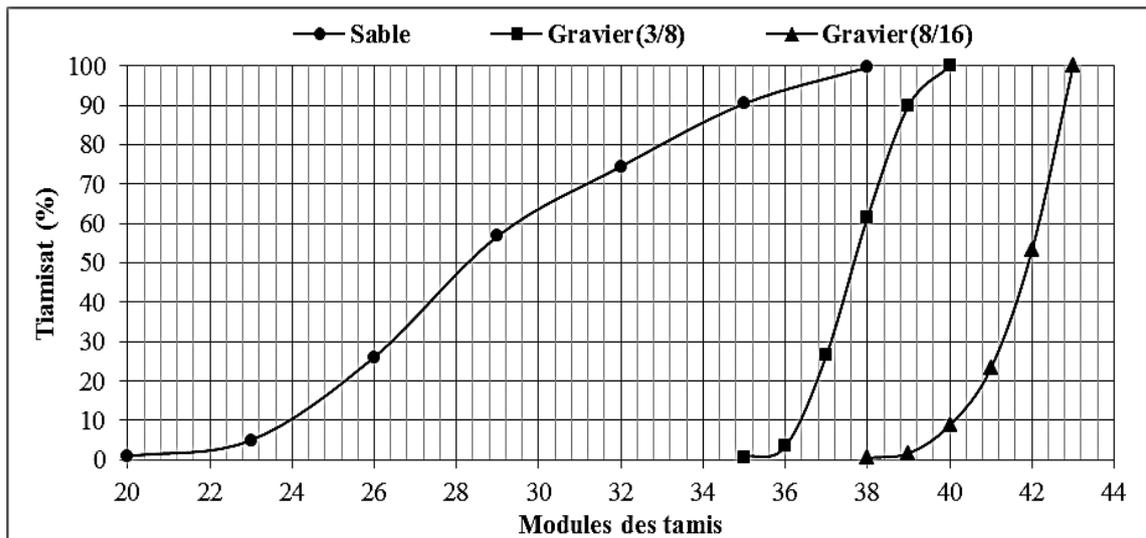


Figure 3. 1 Courbes granulométriques des granulats utilisés.

3.3 Formulation de BHP

Pour la formulation de béton à haute performance une méthode développée à l'université de Sherbrooke a été utilisée. Cette méthode très simple suit la même approche que la norme ACI 211-1.IL Il s'agit d'une combinaison de résultats empiriques et de calculs basés sur la méthode des volumes absolus. La quantité d'eau contenue dans le super plastifiant est considérée comme une partie de la quantité d'eau de gâchage.

3.3.1 Procédure e de la formulation

La procédure de formulation commence par le choix de cinq caractéristiques particulières du BHP ou des matériaux utilisés :

1. le rapport eau / liant ;
2. le dosage en eau ;
3. le dosage en super plastifiant ;
4. le dosage en gros granulat ;
5. la teneur en air.

3.3.2 Composition retenue

Les bétons testés ont été confectionnés selon la méthode de l'université de Sherbrooke avec un rapport E/L = 0.30. Le tableau 3.4 regroupe les dépenses on matériaux pour 1 m³ de béton frais.

Chapitre 3 : Caractérisation des matériaux de base et méthodologie d'essai

Tableau 3. 4 Composition des bétons étudiés pour 1m³ de béton.

Constituants	Ciment	FS	Eau	G 3/8	G 8/15	Sable	SP
Quantités (Kg/m ³)	406.9	40.9	139,2	356,10	676,22	761,524	5.5

3.4 Préparation des poutres

3.4.1 Dimension des poutres

Des poutres en béton à haute performance ont été fabriquées puis testées sous une charge de flexion trois points (*Figure 3.2*). Les poutres ont une section transversale rectangulaire de 100×100 mm², et une longueur totale de 400 mm.



Figure 3. 2 Caractéristiques géométriques des poutres préparées.

3.4.2 Coffrage

Ces moules démontables, constitués de tôle d'acier, ont été imprègnés par un agent démoulant pour faciliter l'extraction des poutres après la prise du béton. Tous ont la même section transversale de 100mm x 100mm (largeur x hauteurs) et une longueur de 400 mm.



Chapitre 3 : Caractérisation des matériaux de base et méthodologie d'essai

Figure 3. 3 Le coffrage utilisé.

3.4.3 Coulage des poutres

Le coulage des poutres a été réalisé en 2 couches, chacune vibrée pendant 30 secondes à l'aide d'une table vibrante. Après 24 h de séchage, les poutres ont été retirées et conservé dans l'eau de laboratoire à une température de 25 °C.



Figure 3. 4 Coulage les poutres en BHP.

3.5 La résine

Désigne un produit polymère (naturel, artificiel ou synthétique) qui est une matière de base pour fabriquer par exemple des matières plastiques, textiles, peintures (liquides ou en poudre), adhésifs, vernis, mousses de polymère. Elle peut être thermoplastique ou thermodurcissable



Chapitre 3 : Caractérisation des matériaux de base et méthodologie d'essai

Figure 3. 5 Résine.

3.6 Configuration générale du système d'essai

Les poutres sont placées sur un bâti approprié pour être soumises à la flexion « trois points ». Il s'agit d'une machine équipée d'une cellule de charge de 400 kN de capacité maximale, pilotée en déplacement (1,0mm/mn). La machine se compose d'une traverse supérieure mobile et d'une traverse inférieure qui permet de mettre en place les spécimens. L'acquisition de la flèche a été accomplie à l'aide d'un capteur de déplacement, l'enregistrement s'effectue numériquement chaque 0.5 kN.

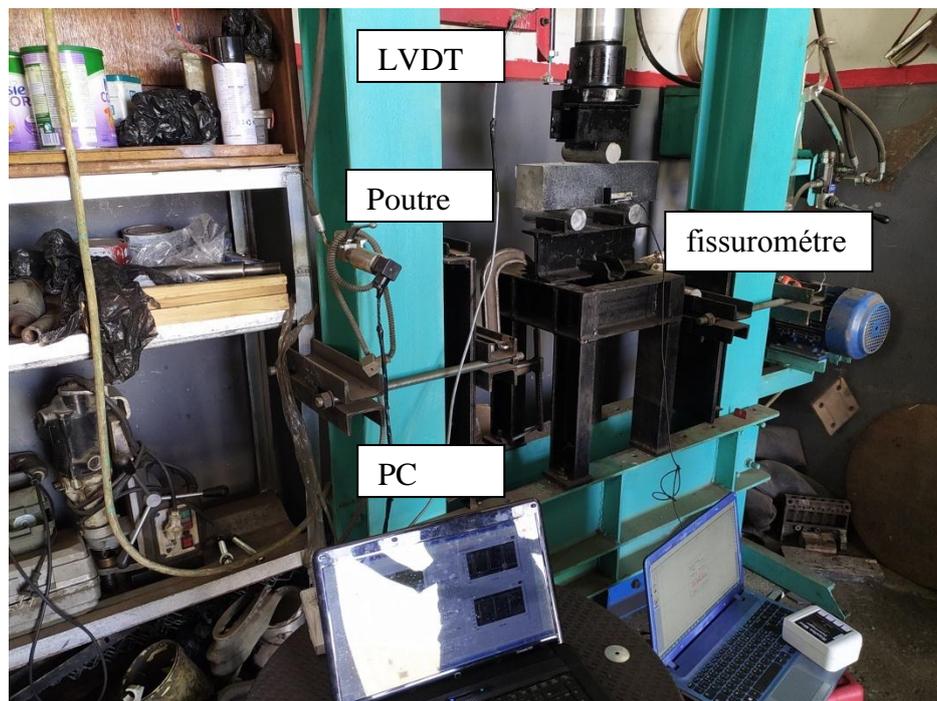


Figure 3. 6 Dispositif d'essai adopté pour les essais de flexion.

3.7 Fibre de lin :

Le lin est une fibre cellulosique dérivée de la tige de la plante de lin ou d'un tissu fabriqué à partir de ces fibres. Les fibres de lin sont beaucoup plus fortes et plus brillantes que le coton; ils donnent des tissus froids et absorbants qui se froissent facilement.

Chapitre 3 : Caractérisation des matériaux de base et méthodologie d'essai



Figure 3. 7 La lin.

3.8. Fibre de verre :

La fibre de verre est un **filament de verre**. Par extension, les plastiques à renfort de verre sont aussi appelés fibre de verre. Les fibres de verre, constituent avec les verres creux, les verres plats et les verres cellulaires.



Figure 3. 8 Fibres de verre.

3.9 Mode opératoire de renforcement

- Tout d'abord on a créé des fissures dans les échantillons pour diminuer la résistance du béton.
-

Chapitre 3 : Caractérisation des matériaux de base et méthodologie d'essai



Figure 3. 9 Création de fissure et nettoyage.

- Laver le tissu de lin et le sécher à l'air libre.
- Couper le tissu de lin et de verre sur les mesures de l'échantillon.
- Mélanger le MEDAPOXY REP.
- Préparer la barre de verre traitée ou non traitées avec du laitier.



Figure 3. 10 préparation des matériaux.

Chapitre 3 : Caractérisation des matériaux de base et méthodologie d'essai

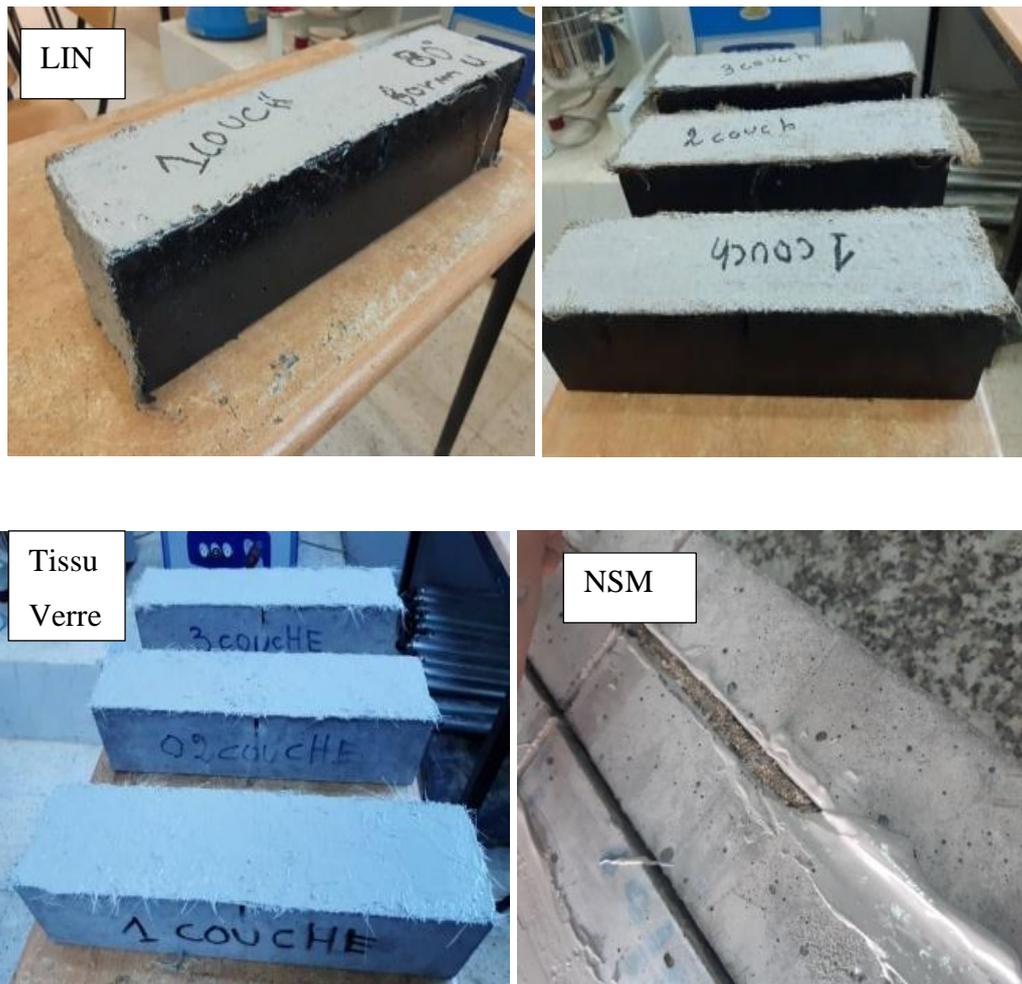


Figure 3. 11 Différentes poutres renforcées.

3.10 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons décrit les essais de caractérisation des matériaux de base des différents mélanges. Les constituants sont conformes aux normes et recommandations pour leur utilisation dans les bétons hydrauliques. Ce qui nous facilite l'adoption d'une approche de formulation adéquate. Ces caractéristiques intrinsèques des différents constituants nous permettent de comprendre les modifications apportées aux performances des différents mélanges sous différentes sollicitations.

De plus, on a montré différents modes de renforcement des poutres.

Chapitre 4

Résultats et discussions

4.1 Introduction

Notre travail de recherche a pour objectif de voir la meilleure méthode de renforcement des poutres en BHP probablement fissurées dues à la charge de flexion en 03 points.

Ce chapitre présente les résultats expérimentaux vis-à-vis du renforcement à la flexion de poutres en BHP renforcées par des fibres naturelles et de verre avec une résine polymère. Les fibres sont des fibres de Lin et deux méthodes de disposition sont appliquées : la méthode de collage externe (EB) sur la façade inférieure de la poutre et la méthode de collage externe sur la façade inférieure et latérale. Le programme expérimental est réalisé sur un lot de poutre : des poutres rectangulaires (10 x 10 x 40 cm³). Pour évaluer la capacité de la fibre de Lin par rapport aux fibres courantes (fibre de carbone, fibre de verre...) une comparaison avec un renforcement par fibre de verre sera réalisée avec les mêmes configurations de renforcement.

Le but de ce travail est l'évaluation de la capacité de renforcement des fibres de Lin notamment dans le renforcement à la flexion avec une comparaison avec les fibres classiques, comme les fibres de verre. En outre, les normes de calcul existantes et les recherches qui expriment l'effet d'un renforcement FRP à la flexion de structure en béton armé n'utilisent que les cas de fibres courantes : fibres de carbone, fibres de verre... A travers cette étude, la possibilité d'appliquer les codes de calcul, prévus pour les cas de fibres de carbone ou fibres de verre, au calcul de la capacité à la flexion de structures renforcées par des fibres de Lin sera étudié.

4.2 Paramètres d'étude

La littérature a permis d'identifier les paramètres qui influencent le comportement flexionnel de poutres renforcées par matériaux composites courants (CFRP, GFRP, AFRP...). Pour des soucis de comparaison, dans le cas de la nouvelle application de fibre de Lin dans le renforcement de poutres béton armé, les paramètres suivants sont étudiés :

- Fibre de Lin vs fibre de verre
- Nombre de couche des fibres de lin (1 à 3 couches)
- Traitement thermique des fibres de lin (20°C et 80°C).

4.3 Caractéristiques à l'état frais et durci des BHP

Le tableau 4.1 regroupe les différentes caractéristiques des BHP utilisés pour confectionner les poutres à l'état frais et durci.

Tableau 4. 1 Caractéristiques des BHP utilisés.

Résistance à la compression à 28 jours (MPa)	Ouvrabilité (Affaissement) (cm)
60.4	10

D'après le tableau 4.1 on constate que notre BHP subit une bonne fluidité et une bonne résistance mécanique.



Figure 4. 1 Affaissement du BHP essai de cône d'Abrams.

4.4 Etude du comportement flexionnel des poutres armées

4.4.1 Effet le nombre des couches de fibre de lin

Figure 4.2 illustre l'effet des couches de la fibre de lin sur le comportement flexionnel des poutres en BHP.

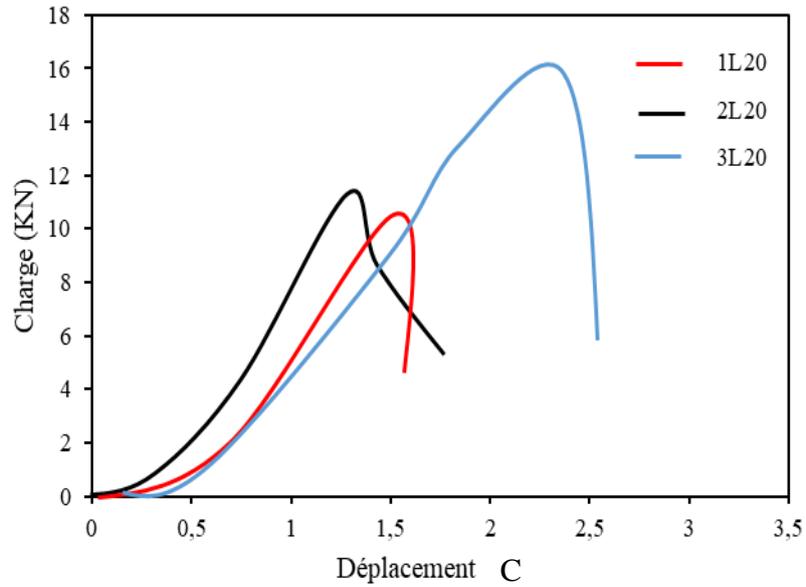


Figure 4. 2 Courbe charge déformation.

La poutre 3L20 est renforcée de façon continue par 3 couches de Lin présente un meilleur comportement flexionnel que celles avec une et deux couches. Cette augmentation de la résistance est de 60% par rapport 1L20. La ruine est initiée par une rupture au niveau du renfort. En effet, au droit de la fissure la couche superficielle du béton a rompu (figure 4.3).

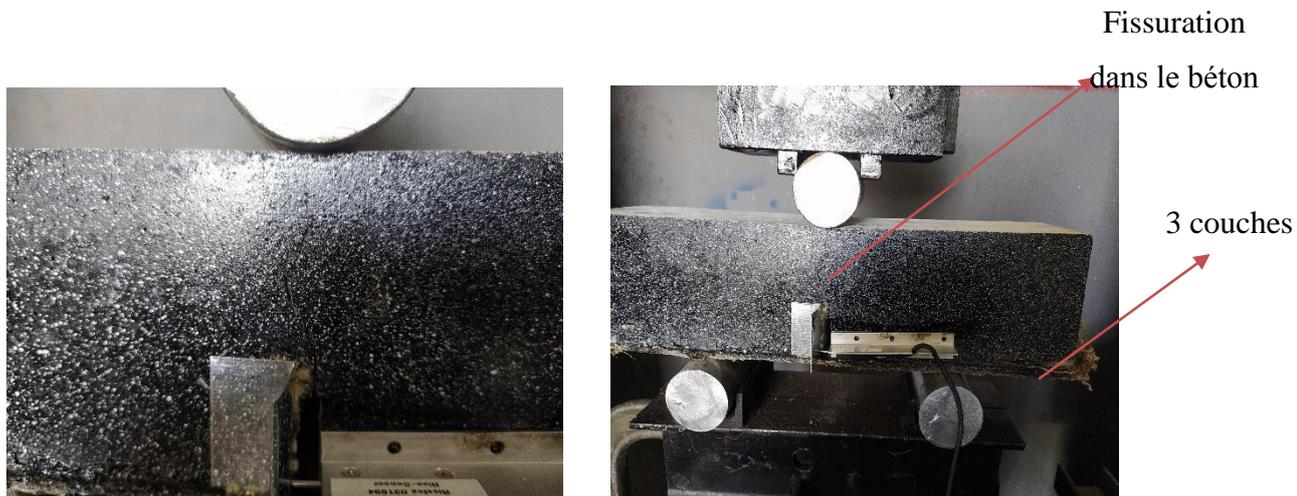


Figure 4. 3 Mode de rupture de la poutre 3L.

4.4.2 Effet de traitement thermique de la fibre de lin

Figure 4.4 illustre l'effet de traitement thermique de la fibre de lin (80°C) sur le comportement flexionnel des poutres en BHP.

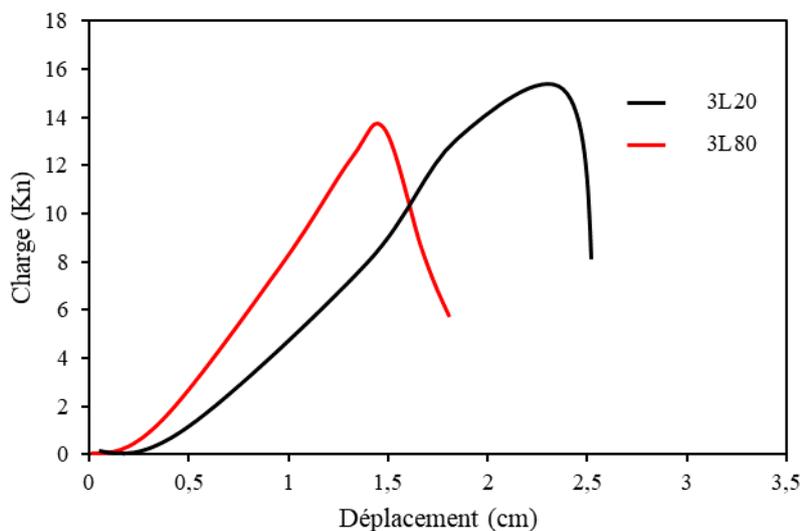


Figure 4. 4 Courbe charge déformation.

D'après la figure 4.4 on constate que le traitement thermique à 80 °C n'est pas un effet significatif. Le meilleur comportement concerne les poutres renforcées avec des fibres conservées à 20°C.

4.4.3 Comparaison entre les modes de renforcement

Figure 4.5 illustre l'effet de mode de traitement (verre vs lin) sur le comportement flexionnel des poutres en BHP.

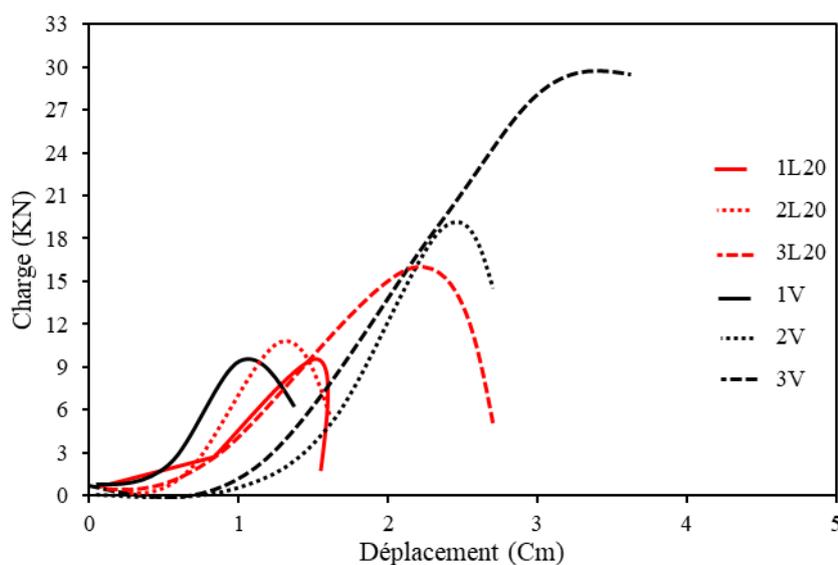


Figure 4. 5 Courbe charge déformation pour différents modes de renforcement.

Chapitre 4 : Résultats et discussions

D'après la figure 4.5 on constate que le renforcement par des tissus de verre révèle des résultats comparables par rapport au renforcement avec des fibres de lin. Cependant l'utilisation de 3 couches de fibre de verre montre une résistance élevée par rapport au 3L20. Figure 4.6 illustre le mode de rupture des poutres renforcées.

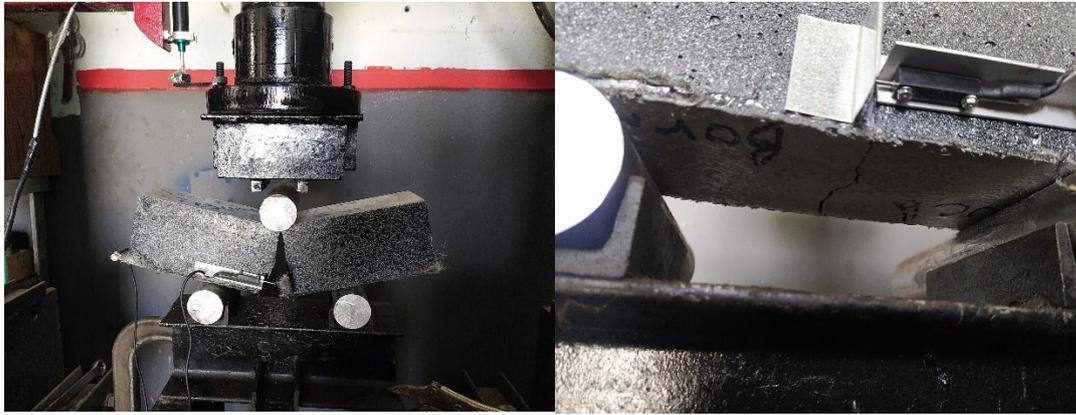


Figure 4. 6 Mode de rupture (a) fibre de verre 1V (b) fibre de lin 1L.

4.4.4. Effet de traitement des barres de renforcement

Figure 4.7 montre l'effet de traitement de barre de verre sur le comportement des poutres.

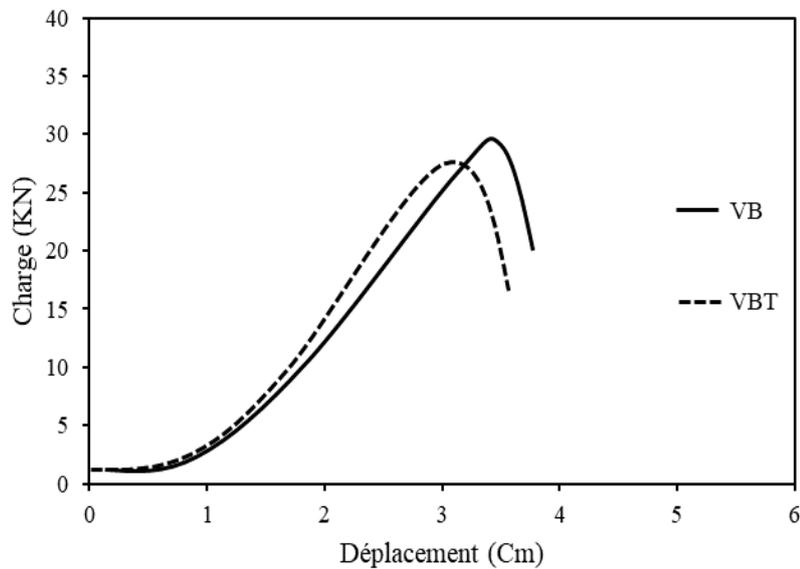


Figure 4. 7 Courbe charge déformation.

Chapitre 4 : Résultats et discussions

D'après la figure 4.7 on constate que le traitement de barre par laitier n'est pas un effet significatif. Le meilleur comportement concerne les poutres renforcées avec de barre sein.

4.5 Conclusion

D'après cette recherche on peut conclure que :

- Le renforcement des poutres ou des éléments structuraux est un sujet important afin d'augmenter leur durée de vie et leur durabilité.
- On a appliqué les paramètres de renforcement suivants : composite avec : la fibre de Lin, fibre de verre, nombre de couche des fibres de lin (1 à 3 couches), le nombre de couche des fibres de verre (1 à 3 couches) et traitement thermique des fibres de lin (20°C et 80°C).
- La nouvelle technique de renforcement par la fibre de lin est montrée une efficacité par rapport ceux avec fibre de verre.
- L'effet de traitement thermique de la fibre de lin est moins efficace par rapport à la fibre témoin

Conclusion générale

L'objectif de ce mémoire est l'évaluation de la capacité des fibres naturelles (fibre de Lin) dans le renforcement à la flexion des poutres en béton. Le programme de mémoire est basé sur des tests expérimentaux. Les paramètres suivants sont étudiés dans le test expérimental :

- Fibre de Lin vs fibre de verre
- Nombre de couche des fibres de lin (1 à 3 couches)
- Traitement thermique des fibres de lin (20°C et 80°C).
- Traitement des barre de verre (méthode NSM)

L'étude de bibliographie a confirmé l'efficacité de renforcement à la flexion des poutres béton par des renforts de fibre de carbone et fibre de verre par des méthodes de renforcement : collage externe (EB), le collage dans des rainures en surface du béton (NSM), et le collage dans des réservations perforées au sein de la section de béton (ETS) ...et l'interaction entre le renfort du composite par le collage externe et le renfort interne de l'acier transversal.

Dans l'étude expérimental, le test expérimental est réalisé sur des essais de flexion simple trois points sur des poutres rectangulaires avec le renforcement par des fibres de Lin et fibre de verre. Les résultats montrent que le système de renforcement par fibre de Lin peut augmenter significativement la capacité en flexion de poutre béton de 10 à 33% par rapport poutre sans renforcement. En comparant entre les deux renforcements par fibre de lin et fibre de verre, le résultat montre que le renforcement par fibre de lin présente une capacité mécanique équivalence à celle de fibre de verre dans le renforcement en flexion de poutres béton.

De plus, le traitement thermique des fibres de lin n'est pas recommandé. Ce résultat est contradictoire ceux qu'a trouvé dans la littérature.

Références

- Godycki-Cwirko, T. (1972). LE CISAILLEMENT DANS LE BETON ARME.
- Gourbeyre, Y., Tourneur, C., Béranger, E., Blériot, P., Beucler, V. B., & Braisaz, T. (2021). E Annexe 6: La dégradation des bétons (*Circuits de refroidissement semi-ouverts* (pp. 133-144). EDP Sciences.
- Kahalerras, A. N., & Younes, Y. S. (2016). Recherche bibliographique sur la réhabilitation des voiles et des poutres en béton armé.
- OUZAA, K. (2015). RÉHABILITATION DES STRUCTURES.
- PERCHAT, J. (1993). Béton armé: Règles BAEL: 4. Pièces soumises à des sollicitations normales. *Techniques de l'ingénieur. Construction*, 3(C2306), C2306. 2301-C2306. 2340.