

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOD MAMMARI TIZI-OUZOU
FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Génie Civil

Option : Structures

Thème :

« Etude expérimentale d'un béton confiné à base de déchets de poudre de verre coloré »

Etudié par : M^{elle} DAHLAL CHANEZ

Devant le jury :

M^{me} HADDAD. O

M.C.B

UMMTO

Présidente

M^{me} KHELOUL. F

M.C.A

UMMTO

Examinatrice

M^{me} AKMOUSSI. O

M.C.B

UMMTO

Encadreur

M. BEN CHABANE. T

PhD

UMMTO

Invité

Promotion 2019/2020

Remerciements

“Le mémoire que je présente ici devant le jury composé de M^{me} HADDAD et de M^{me} KHELOUI n’aurait pas existé sans l’appui de plusieurs personnes que je tiens, en avant-propos, vivement à remercier. Parmi elles, ma promotrice M^{me} AKMOUSSI, qui a su accueillir ma proposition de recherche et m’a aidée à en préciser l’objet : de part sa présence et soutien. Les enseignements de M. BEN CHABANE Tarik et M. BOUHRAOUA Rachid m’ont fait découvrir le domaine de la pratique.

Aussi, les enseignements de M. HAMIZI Mohand le responsable de formation « Structures » m’ont été bénéfiques durant mon cycle de Master. Mon travail de recherche prend en compte ces aspects essentiels dont l’importance saute à mes yeux. Il me revient de citer M. HANNACHI Naceur Eddine qui avec rigueur et cordialité a accompagné mon année dans les moments de rédaction.

Faut-il enfin rappeler l’apport de mes proches ? Ma très chère mère / mon cher père / ma sœur Hamama, ont été à mes côtés et sans eux et sans leur bienveillance critique ce travail n’aurait pas vu le jour.”

Chanez

Dédicaces

A mes très chers parents, source de vie, d'amour, d'affection, d'espoir et de motivation !

A tous mes proches, spécialement ma sœur Hamama !

A tous mes ami(e)s, tout particulièrement Fazia et Yasmine !

A vous cher lecteur !

Chanez

Table des matières

Résumé	
Abstract	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Les différents déchets utilisés dans les bétons	
I.1 Introduction	3
I.2 Définition de déchet	3
I.3 Gestion des déchets.....	3
I.4 Recyclage des déchets.....	3
I.5 Technique de recyclage.....	4
I.5.1 Procédés de recyclage	4
I.5.2 La chaîne de recyclage	4
I.6 Déchets utilisés dans le Génie Civil.....	4
I.6.1 Déchets divers	4
I.7 Recyclage des déchets de verre.....	7
I.7.1 Définition du verre	7
I.7.2 Poudre de verre	8
I.7.3 Le verre dans les bétons	8
I.7.4 Réaction alcali-silice du verre.....	9
I.7.5 Réaction pouzzolanique du verre.....	9
I.8 Conclusion	10

Chapitre II : Généralités sur matériaux composites

II.1 Introduction	11
II.2 Définition d'un matériau composite	11
II.3 Structures et matériaux composites	11
II.3.1 Les composants élémentaires des matériaux composites	12
II.3.1.1 Renforts	12
II.3.1.2 Les fibres de verre	12
II.3.1.3 Les fibres de carbone	13
II.3.1.4 Les fibres de polymères	14
II.3.1.5 Les fibres métalliques ou céramiques	14
II.3.1.6 Les microbilles pleines ou creuses	14
II.3.1.7 Les principaux renforts minéraux	15
II.3.2 Matrices	15
II.3.2.1 Les matrices organiques	15
II.3.2.2 Les matrices carbonées	16
II.3.2.3 Les matrices métalliques	16
II.3.2.4 Les matrices céramiques	16
II.4 Mise en forme	17
II.5 Environnement	17
II.6 Structures composites stratifiées	17
II.6.1 Désignation des structures stratifiées	18
II.6.2 Désignation des structures sandwiches	19
II.7 Structures composites tissées multidirectionnelles	20
II.7.1 Le matériau composite 2D tissé SiC-SiC	20

II.7.2 Le matériau composite Aerolor 32 C/C	21
II.8. Principaux composites	21
II.8.1 Quelques exemples de matériaux composites	21
II.8.1.1 Les composites naturels	21
II.8.1.2 Les composites artificiels	21
II.9 Conclusion	22

Chapitre III : Confinement du béton

III.1 Introduction	23
III.2 Confinement	23
III.3 Comportement de béton non confiné en compression	23
III.4 Comportement du béton confiné	26
III.5 Mécanisme de confinement	28
III.6 Etudes antérieures sur le confinement de béton par les matériaux composites	29
III.7 Les différentes techniques de confinement du par matériaux composites	30
III.8 Mise en œuvre	31
III.9 Conclusion	31

Chapitres IV : Investigation expérimentale

IV.1 Introduction	33
IV.2 Caractérisation des matériaux utilisés	33
IV.2.1 Constituants du béton	33
IV.2.2 Ajouts minéraux	34
IV.3 Fabrication du béton	36
IV.4 Essais sur le béton durci	38
IV.4.1 Essais de résistance à la compression	38

IV.5 Confinement des éprouvettes de béton	39
IV.5.1 Tissu en fibres de verre	40
IV.5.2 Tissu recyclé	41
IV.6 Essais sur béton confiné.....	43
IV.6.1 Essais de résistance à la compression	43
IV.7 Conclusion	44

Chapitre V : Interprétation des résultats

V.1 Introduction	45
V.2 Présentation des résultats du béton non confiné.....	45
V.2.1 Résistance en compression des bétons à 28 jours	46
V.2.2 Courbes contrainte-déformation.....	49
V.3 Présentation des résultats du béton confiné.....	51
V.3.1 Mode de rupture	52
V.3.2 Résistance à la compression	54
Conclusion générale	58
Références bibliographiques	60

Liste des figures

Figure I.1 : Recyclage du verre	5
Figure I.2 : Ciment durci.....	6
Figure I.3 : Boue rouge	6
Figure I.4 : Poudre de verre issue du recyclage des bouteilles en verre	8
Figure I.5 : Indices d'activité pouzzolanique du verre utilisé dans des conditions différentes	10
Figure II.1 : Schéma illustratif d'un matériau composite	11
Figure II.2 : Tissu en fibres de verre.....	13
Figure II.3 : Tissu en fibres de carbone	13
Figure II.4 : Fibres polymère	14
Figure II.5 : Fibres métalliques.....	14
Figures II.6 : Différents types de matrice	15
Figure II.7 : Stratifié constitué de couches parfaitement liées.....	18
Figure II.8 : Désignation du stratifié.....	19
Figure II.9 : Désignation d'une âme nid d'abeilles	19
Figure II.10 : -D Sic-Sic- matériau avec deux directions de renfort.....	20
Figure II.11 : Géométrie tri-orthogonale de l'Aerolor 32.....	20
Figure III.1 : Loi de comportement du béton en compression sous chargement statique	24
Figure III.2 : Courbes contrainte-déformation pour des bétons de différentes résistances	25
Figure III.3 : Courbes contraintes déformations d'un béton confiné et non confiné	26
Figure III.4 : Effet de la pression de confinement.....	27

Figure III.5: Mécanisme de confinement du béton (a) Section rectangulaire, (b) Section circulaire.....	28
Figure III.6 : Les différentes techniques de confinement du béton par matériau composite : (a) Un seul type ; (b) Deux types ; (c) trois types.....	30
Figure IV.1 : Constituants du béton.....	34
Figure IV.2 : Poudre de verre coloré.....	35
Figure IV.3 : Sable de verre coloré.....	35
Figure IV.4 : Confection, moulage et démoulage des éprouvettes.....	37
Figure IV.5 : Conservation des éprouvettes dans l'eau pendant 28j.....	38
Figure IV.6 : La machine de compression.....	38
Figure IV.7 : Eprouvettes après écrasement.....	39
Figure IV.8 : Tissu en fibres de verre utilisé.....	40
Figure IV.9 : Tissu recyclé.....	41
Figure IV.10 : Eprouvettes confinées avec tissu recyclé et fibres de verre.....	42
Figure IV.11 : La machine de compression.....	43
Figure IV.12 : Essai de compression avec les comparateurs LVDT sur une éprouvette.....	43
Figure V.1 : Résistance à la compression des bétons avec 5% de poudre de verre.....	47
Figure V.2 : Résistance à la compression des bétons avec 10% de poudre de verre.....	47
Figure V.3 : Résistance à la compression des bétons avec 15% de poudre de verre.....	48
Figure V.4 : Evolution de la résistance en fonction du pourcentage en sable de verre.....	49
Figure V.5 : Courbes contrainte-déformation à la compression du béton avec 5% de poudre de verre.....	50

Figure V.6 : Courbes contrainte-déformation à la compression du béton avec 10% de poudre de verre	50
Figure V.7 : Courbes contrainte-déformation à la compression du béton avec 15% de poudre de verre.....	51
Figure V.8 : Eprouvettes confinées avec tissu en fibres de verre après écrasement.....	52
Figure V.9 : Eprouvettes confinées avec tissu recyclé après écrasement.....	53
Figure V.10 : Contrainte à la compression des bétons confinés avec tissu en fibres de verre.	54
Figure V.11 : Contrainte à la compression des bétons confinés avec tissu recyclé.....	54
Figure V.12 : Contrainte à la compression des bétons confinés avec les différents tissus.	55
Figure V.13 : Courbes contrainte-déformation à la compression des bétons confinés avec tissu en fibres de verre.....	56
Figure V.14 : Courbes contrainte-déformation à la compression des bétons confinés avec tissu recyclé.....	57
Figure V.15 : Courbes contrainte-déformation à la compression des bétons confinés avec les différents tissus.....	57

Liste des tableaux

Tableau IV.1 : Dosage des constituants du béton pour le programme expérimental	34
Tableau IV.2 : Les quantités des matériaux utilisés pour les différents essais.....	36
Tableau IV.3 : Les caractéristiques de la résine utilisée.....	39
Tableau IV.4 : Fiches technique du tissu en fibres de verre.....	40
Tableau IV.5 : Les caractéristiques du tissu recyclé.....	41
Tableau IV.6 : Type de confinement par série d'éprouvettes.....	42
Tableau V.1 : Notation et compositions des éprouvettes de béton en poudre de verre coloré (PVC) et sable de verre coloré (SVC).....	45
Tableau V.2 : Résultats d'essai de compression des bétons étudiés.....	46
Tableau V.3 : Type de confinement des éprouvettes.....	52

RESUME

Le recyclage et la valorisation des déchets sont aujourd'hui considérés comme une solution d'avenir afin de répondre au déficit entre production et consommation et de protéger l'environnement. Plusieurs déchets peuvent être recyclés et utilisés dans le domaine de génie civil, l'incorporation des déchets de verre dans la matrice béton nous permet de pérenniser et de préserver les ressources naturelles.

D'autre part, les matériaux composites sont largement utilisés dans le confinement des colonnes en béton pour répondre aux besoins d'amélioration de leurs performances mécaniques. Les différentes techniques et modèles de confinement par collage de ces matériaux composites rapportés dans la littérature scientifique ont confirmés que la pression latérale du confinement est en fonction des caractéristiques géométriques et mécaniques des composites.

Dans ce travail, nous avons étudié le comportement en compression, des cylindres en béton à base de déchets de poudre de verre coloré confiné, par deux matériaux composites : le tissu de fibres de verre et un tissu recyclé issu lui aussi de l'industrie de récupération des déchets. Trois types de confinement ont été adoptés à savoir : confinement total, partiel et hélicoïdal, en respectant les caractéristiques géométriques, les résultats obtenus en termes d'évolution des contraintes et des variables d'endommagement montrent une amélioration en matière de résistance et de ductilité des spécimens étudiés.

Mots clés : Recyclage, poudre de verre coloré, confinement, expérimentation.

ABSTRACT

Recycling and recovery of waste are now seen as a solution of the future in order to meet the deficit between production and consumption and to protect the environment. Several wastes can be recycled and used in the field of civil engineering, the incorporation of glass waste into the concrete matrix allows us to sustain and preserve natural resources.

On the other hand, composite materials are widely used in the containment of concrete columns to meet the needs of improving their mechanical performance. The different techniques and models of confinement by bonding of these composite materials reported in the scientific literature have confirmed that the lateral pressure of the confinement is a function of the geometric and mechanical characteristics of the composites.

In this work, we studied the behavior in compression of concrete cylinders made from waste coloured glass powder confined by two composite materials: the glass fiber fabric and a recycled fabric also from the glass industry waste recovery. Three types of confinement have been adopted namely: total, partial and helical confinement, with respect the geometric characteristics, the results obtained in terms of evolution of the stresses and of the damage variables show an improvement in strength and ductility of the specimens studied.

Keywords: Recycling, coloured glass powder, confinement, experimentation.

INTRODUCTION GENERALE

Le développement de nouveaux matériaux est devenu sans cesse le besoin des utilisateurs (constructeurs). Ceux-ci recherchent toujours des matériaux plus performants, plus économiques et qui durent plus longtemps. Les chercheurs sont le plus souvent amenés à optimiser les solutions déjà utilisées, mais dans certains cas, ils doivent complètement repenser le problème et envisager de « nouveaux matériaux ». Cependant, on ne découvre plus de nouveaux matériaux, mais on crée plutôt de nouvelles associations de matériaux. L'un des résultats de cette association est l'aboutissement à un matériau composite.

Au cours de ces dernières années, l'industrie de la transformation des matériaux composites a bénéficié d'une croissance rapide, soutenue en particulier par la diversité des applications. Les matériaux composites disposent d'atouts importants par rapport aux matériaux traditionnels.

Afin de prolonger la durée de vie des structures en génie civil et d'assurer la sécurité des usagers, les structures en béton peuvent nécessiter un renforcement au cours de leur durée de service. La majorité des dommages des structures en béton causés par des déficiences au niveau de détails de construction des éléments structuraux, bien que les causes qui conduisent à un renfort structurel soient aussi nombreuses que le nombre de structures elles-mêmes.

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 des expertises ont montré l'urgence de développer des techniques de réhabilitation permettant de redonner aux structures telles que les anciens édifices et les ponts, les capacités structurales nécessaires pour résister aux sollicitations auxquelles elles sont soumises. Parmi les techniques envisagées, l'utilisation des matériaux composites est très prometteuse. L'une de ces méthodes consiste à améliorer le comportement mécanique des colonnes en béton armé par l'application d'un confinement réalisé par l'enroulement et le collage externe d'une enveloppe en matériaux composites.

Les premières recherches sur l'application de ce nouveau matériau destinées aux ouvrages de génie civil datent de 1980, bien que ce soit plutôt vers 1990 que le matériau est utilisé, d'abord sur une base expérimentale, puis progressivement sur une base commerciale. Le confinement des colonnes en béton se réalise à l'aide d'enveloppes en matériaux composites à base de fibres de verre, de carbone ou d'aramide en utilisant des résines durcissant à température ambiante. Cette technique est largement employée pour son efficacité et sa facilité de mise en œuvre.

Les principaux objectifs de ce travail de recherche sont résumés comme suit :

- L'amélioration de la résistance à la compression du béton à base de déchets de verre coloré confiné avec des bandes de composites en fibres de verre.
- La comparaison entre les trois types de confinement (confinement total, partiel et hélicoïdal) des cylindres en béton à base des déchets de verre coloré et du tissu recyclé.

Pour répondre à la problématique posée, nous avons scindé le mémoire en deux parties :

La première partie de ce mémoire est une synthèse bibliographique qui comporte trois chapitres :

- 1- Les différents déchets utilisés dans les bétons
- 2- Généralités sur les matériaux composites
- 3- Confinement des bétons

La deuxième partie est consacrée à l'étude expérimentale répartis en deux chapitres :

- 4- Investigation expérimentale, dans ce chapitre, les principales étapes de l'expérimentation et les différentes variantes de l'étude considérées sont présentées.
- 5- Résultats et interprétations, dans ce chapitre, nous avons présenté et interprété les différents résultats de notre étude.

Et enfin, nous avons terminé ce travail par une conclusion générale.

I.1 INTRODUCTION

Devant les besoins croissants des ressources en matériaux et aux exigences de préservation de l'environnement dans une vision de développement durable, il est devenu nécessaire et pertinent de prospecter et d'étudier toutes les possibilités de réutilisation et de valorisation des déchets et sous-produits industriels notamment dans le domaine de génie civil.

En général, le recyclage des déchets dans une utilisation comme granulats pour la confection des bétons de structure permet d'une part d'assurer une économie des ressources naturelles, de réduire les coûts des matériaux, et les émissions de gaz à effet de serre. D'autre part il permet d'améliorer la qualité et les performances du béton de construction. D'où l'idée d'utiliser les déchets issus du verre en substitution du ciment et le sable de verre en substitution du sable.

I.2 DEFINITION DE DECHET

Un déchet tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon (loi française du 1975 du code de l'environnement).

Le déchet est de plus en plus considéré, au début du XXI^e siècle, comme un héritage problématique de la révolution industrielle et de l'urbanisation. Les possibilités d'élimination montrent leurs limites et l'accent est davantage mis sur la réutilisation et le recyclage. On parle parfois de « recyclat » quand il y a réutilisation de ces « matières premières secondaires ».

I.3 GESTION DES DECHETS

La gestion des déchets est la collecte, le transport, le traitement, la réutilisation ou l'élimination des déchets. Habituellement elle se produit par l'activité humaine, afin de réduire leurs effets sur la santé publique ou l'environnement. Les recherches ont été orientées, ces dernières décennies, sur la réduction de l'effet des déchets sur la nature et l'environnement et sur leur valorisation. La gestion des déchets concerne tous les types de déchets, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, chacun possédant sa filière spécifique. Les manières de gérer les déchets diffèrent selon qu'on se trouve dans un pays développé ou en voie de développement, dans une ville ou dans une zone rurale, que l'on ait affaire à un particulier, un industriel ou un commerçant [1].

I.4 RECYCLAGE DES DECHETS

Le recyclage est le procédé de traitement des différents types de déchets et des sous-produits qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent. Il constitue une activité importante dans les pays développés. Le recyclage a deux conséquences écologiques bénéfiques : la réduction du volume de déchets et préservation des ressources naturelles. C'est une des activités économiques de la société de consommation. Certains procédés sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres sont complexes, coûteux et peu rentables [2].

I.5 TECHNIQUE DE RECYCLAGE

I.5.1 Procédés de recyclage

Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage : chimique, mécanique et organique. Le recyclage dit « chimique » utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants. Le recyclage dit « mécanique » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer. Le recyclage dit « organique » consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz. [3]

I.5.2 La chaîne de recyclage

- **Collecte de déchets**

Les opérations de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets. Les déchets non recyclables sont incinérés ou enfouis aux centres d'enfouissement techniques. Les déchets collectés pour le recyclage ne sont pas destinés ni à l'enfouissement ni à l'incinération mais à la transformation. La collecte s'organise en conséquence. La collecte sélective, dite aussi séparative et souvent appelée à tort tri sélectif est la forme la plus répandue pour les déchets à recycler. Le principe de la collecte sélective est le suivant : celui qui crée le déchet le tri lui-même. A la suite de la collecte, les déchets, triés ou non, sont envoyés dans un centre de tri où différentes opérations permettent de les trier de manière à optimiser les opérations de transformation. Le tri manuel est une de ces opérations.

- **Transformation**

Une fois triés, les déchets sont pris en charge par les usines de transformation. Ils sont intégrés dans la chaîne de transformation qui leur est spécifique. Ils entrent dans la chaîne sous forme de déchets et en sortent sous forme de matière prête à l'emploi.

- **Commercialisation et consommation**

Une fois transformés, les produits finis issus du recyclage sont utilisés pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs et consommés, pour être en fin de vie, à nouveau jetés, récupérés et recyclés.

I.6 DECHETS UTILISES DANS LE GENIE CIVIL

I.6.1 Déchets divers [4]

- **Verre de récupération**

Des millions de tonnes de verre sont récupérés chaque année et une voie de recyclage du verre consiste à l'utiliser dans les matériaux de construction. Il est utilisé sous deux formes principales : les granulats (taille > 4 mm) et les poudres (taille < 4 mm). Les granulats sont utilisés en remplacement de graves dans les bétons et lui procurent une résistance moindre. Les poudres (sables et fines) sont utilisées dans les mortiers en remplacement du sable mais aussi dans l'industrie du ciment pour fines.



Figure I.1 : Recyclage du verre [5]

- **Pneus usagers**

Les matériaux cimentaires ont une capacité de déformation très limitée ainsi qu'une faible résistance à la traction, ce qui les rend sensibles à la fissuration, notamment la fissuration due au retrait. A titre d'exemple, les dallages, les chaussées et plus généralement les éléments mis en place en grande surface se fissurent sous l'effet du retrait. Ainsi, l'incorporation de granulats en caoutchouc issus du broyage de pneus usagés dans un mortier confère au composite obtenu une plus grande capacité de déformation avant localisation de la macro-fissure. Il en résulte que le composite cimentaire incorporant des granulats en caoutchouc a une grande résistance à la fissuration de retrait.

- **Ciment durci**

Dans le cas où un sac de ciment est en contact avec l'eau ou l'air, la poudre se cristallise. Cette recristallisation du ciment est suivie d'une réaction d'hydrolyse. Ces deux réactions sont rapides et provoquent le durcissement du ciment. Il devient inutilisable comme liant sur le chantier. Le ciment ainsi durci devient automatiquement un déchet. Il peut être concassé et utilisé comme granulat de béton. Ce déchet est produit accidentellement ou par négligence, il est donc important d'éliminer le ciment durci et d'œuvrer pour empêcher sa production.



Figure I.2 : Ciment durci [5]

- **Résidus d'incinérateurs**

L'incinération des déchets domestiques et industriels entraîne la production de grandes quantités de résidus solides. Ces résidus comportent toutefois certaines matières délétères, ce qui compromet leur utilisation en tant que composants du béton. Ainsi, l'aluminium entraîne la dilatation par suite de l'évolution de l'hydrogène, les métaux ferreux font tacher le béton et les sels de plomb et de zinc solubles nuisent à la prise du ciment. Cependant, d'autres résidus sont bénéfiques pour les mortiers et bétons comme la fumée de silice, les cendres volantes.

- **Boues rouges**

Les boues rouges sont des résidus industriels issus du processus d'extraction d'aluminium à partir de la bauxite (procédé de Bayer). Elles sont stockées soit au fond des océans (en France, en Allemagne), soit près des usines comme au Canada. Elles sont de consistance assez plastique pour être formées en boules, chauffées à des températures de 1260 à 1310°C, elles sont transformées en granulats denses et résistants pouvant entrer dans la composition de bétons de résistances convenables.



Figure I.3 : Boue rouge [5]

- **Granulats recyclés issus de déchets de démolition**

Le béton constitue presque 75%, en poids de tous les matériaux de construction. Il en suit donc que la plus grande partie de rebuts de démolition est constituée de béton. Par ailleurs, les sinistres fournissent des millions de tonnes de débris de béton.

Aujourd'hui, les producteurs de granulats recyclés ont une politique de sélection des matériaux de démolition. Ainsi, on distingue cinq catégories de matériaux de démolition en fonction de leur nature:

- les bétons armés sans enduit ni plâtre ;
- les matériaux composés de briques, de tuiles, de graves, de pierres et de blocs rocheux, etc.
- les matériaux mélangés avec une faible teneur en plâtre, bois, plastique, etc.
- les mauvais matériaux avec une teneur en bois, plâtre, plastique : supérieure à 10%,
- les autres matériaux n'entrant pas dans les catégories précédentes.

➤ **Granulats de déchets de production de l'industrie du béton**

Les granulats de déchets de production ont deux origines :

- les débris de béton générés tout au long des étapes de la production; ils résultent du nettoyage des installations de fabrication et du transport du béton frais (chutes de béton); il peut également s'agir de béton provenant de gâchées non utilisées ou non utilisables.
- Les produits défectueux, mal formés, partiellement cassés ou d'aspect non conforme; à ces produits défectueux s'ajoutent les produits ayant fait l'objet d'essais de résistance à la rupture [6].

➤ **Sables de fonderies**

Les sables de fonderie sont des sous-produits de l'industrie de la fonderie. Dans le procédé de moulage de pièces métalliques, les fonderies utilisent un sable fin siliceux associé à d'autres matériaux tels que l'argile ou des liants organiques (résines phénoliques). Quand le sable n'est plus réutilisable pour l'industrie de la fonderie, il est mis en décharge. Les sables de fonderie sont donc susceptibles de constituer une matière première d'un coût assez faible pour la fabrication des bétons hydrauliques. Toutefois la réglementation relatif à l'élimination des sables de fonderie contenant des liants organiques de synthèse, précise les conditions de la réutilisation de ces sables: «les sables de fonderie peuvent être utilisés pour la fabrication de produits à base de liants hydrauliques si leur teneur en phénol est inférieure à 5 mg/kg de sable rapporté à la matière sèche » [7].

I.7 RECYCLAGE DES DECHETS DE VERRE

I.7.1 Définition du verre

Le verre est un matériau ou un alliage dur, fragile (cassant) et transparent à la lumière visible. Le plus souvent, le verre est constitué d'oxyde de silicium (silice SiO_2 , le constituant principal du sable). Parmi tous les types de verre, le plus courant est le verre sodocalcique. Du point de vue physique, le verre est un matériau amorphe, c'est à dire non cristallin. De ce fait, il présente un désordre structural important. Sa structure microscopique est telle qu'il n'existe aucun ordre à grande distance. Il peut

même être vu comme un « réseau » tridimensionnel, semblable à celui d'un cristal, mais dans lequel seul l'ordre à courte distance est conservé [8].

I.7.2 Poudre de verre

Cette poudre est issue de la récupération de bouteilles en verre. La poudre de verre est obtenue en sélectionnant uniquement les bouteilles de couleurs verte et blanche. Celle-ci sont nettoyées afin d'éliminer les étiquettes en papier, séchées, concassées et finement broyées (figure I.4) [9].



Figure I.4 : Poudre de verre issue du recyclage des bouteilles en verre [5]

I.7.3 Le verre dans les bétons

Du fait de sa nature amorphe et qu'il contienne des quantités relativement appréciables de silice, le verre est en général considéré comme étant pouzzolaniques s'il est broyé finement. Ainsi il pourrait être utilisé en remplacement du ciment Portland dans les bétons. Plusieurs travaux ont été conduits dans les années soixante sur l'utilisation du verre comme granulats dans les bétons. Cependant ces travaux ont montré que tous les bétons ont gonflé et fissuré. Depuis, l'idée a été en partie abandonnée. Ce n'est que depuis une quinzaine d'année que le sujet est redevenu d'actualité. En effet, pour des raisons économiques et environnementales, l'utilisation du verre recyclé dans les ciments et bétons a suscité l'intérêt d'innombrables municipalités et celles-ci ont encouragé de nouvelles études [10].

I.7.4 Réaction alcali-silice du verre

Le remplacement partiel du granulat naturel ou du ciment par le verre dans les bétons, améliore ses propriétés mécaniques notamment les résistances en compression. Toutefois, certains travaux conseillent l'utilisation de ce matériau, en prenant certaines précautions. Effectivement, les bétons à base de verre sont confrontés à un problème lié à leur durabilité. La silice du verre en combinaison avec les alcalins du ciment donne naissance à des produits gonflants qui entraînent l'endommagement des bétons. La réaction alcali-silice du verre dépend de différents paramètres. La bibliographie a montré que le processus de la réaction alcali-silice en général avec des granulats de verre est un phénomène complexe influencé par plusieurs facteurs. [11]

Les paramètres qui conditionnent la réaction alcali-silice du verre :

- La taille des grains de verre
- Teneur en verre
- La porosité et la réaction alcali-silice du verre
- Les éléments mineurs et la réaction alcali-silice.

La réaction alcali-silice se produit en général dans un délai de l'ordre de plusieurs dizaines d'années après la fabrication du béton [12].

I.7.5 Réaction pouzzolanique du verre

L'activité pouzzolanique du verre a été évaluée par diverses méthodes: les tests mécaniques sur éprouvettes de mortier et béton à base de ciment ou sur des mortiers à base de chaux, ou encore tests chimiques de consommation de chaux notamment par; l'essai Chapelle, ATG, DRX. La Figure (I.5) présente les résultats de quelques travaux effectués entre les années 2000 et 2008 qui traitent de l'activité pouzzolanique du verre. L'indice d'activité est défini comme étant le rapport de la résistance du mélange avec verre à la résistance du mélange témoin. Il a été difficile, voire impossible, de rassembler des travaux tous faits dans des mêmes conditions. Toutefois les conclusions suivantes se dégagent nettement [13]:

- La taille des grains de verre joue un rôle prépondérant sur l'activité pouzzolanique du verre: plus les grains de verre sont fins, meilleure est son activité pouzzolanique;
- La résistance des mortiers et bétons diminue à mesure que leur teneur en verre augmente. Le verre de couleur brune est le verre qui possède la plus faible activité pouzzolanique derrière le verre vert puis le verre blanc;
- Pour des résistances optimales, il est plus intéressant de substituer le sable que le ciment par le verre;
- Une température élevée joue un rôle important dans l'activation du verre;
- Le verre, comparé à d'autres pouzzolanes notamment la cendre volante, développe rapidement son activité pouzzolanique;
- L'utilisation simultanée d'un verre et d'une pouzzolane en remplacement partiel du ciment pourrait conduire à des synergies intéressantes.

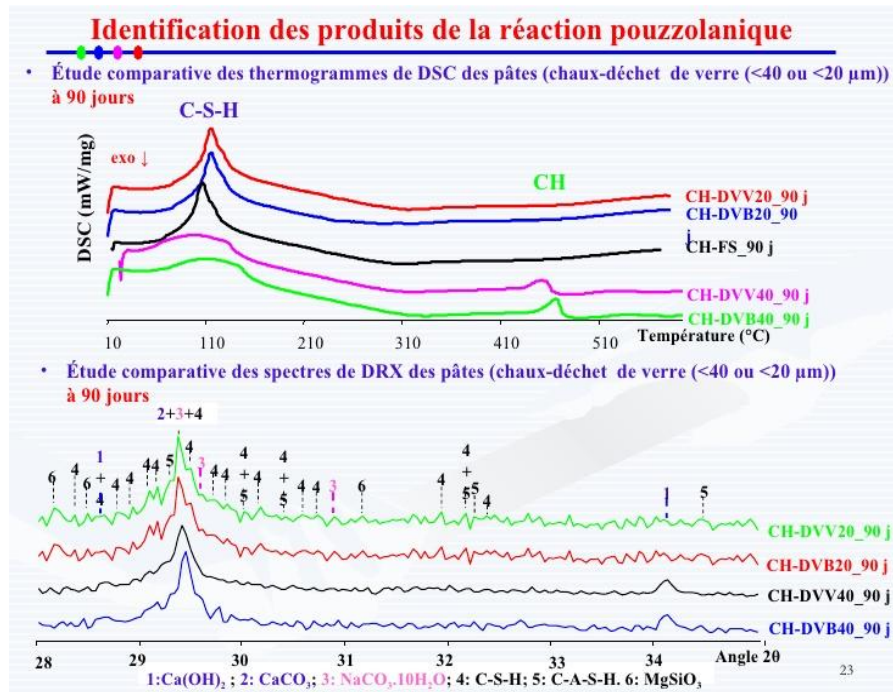


Figure I.5: Indices d'activité pouzzolanique du verre utilisé dans des conditions différentes.

L'effet de l'ajout du verre a été beaucoup traité dans plusieurs travaux. Cependant, les mécanismes des réactions se manifestant en fonction de la taille des grains ont été négligés. Nous avons vu qu'en général, les pouzzolanes sont utilisées pour former des C-S-H capables de fixer des alcalins ce qui réduirait la réaction alcali-silice. [14]

I.8 CONCLUSION

Le béton est un matériau qui est souvent perçu comme un lieu potentiel pour les déchets, en raison de sa nature composite et parce qu'il est largement utilisé. Ce qui signifie que si un déchet peut être utilisé dans le béton, alors certainement de grandes quantités de ces déchets peuvent être recyclées.

II.1 INTRODUCTION

Les matériaux composites sont des matériaux à hautes performances mécaniques. Ils se développent aujourd'hui dans pratiquement tous les domaines.

Le mot « composite » signifie constitué de deux ou plusieurs phases différentes. Ainsi, un matériau composite est un assemblage d'au moins deux composants dont les propriétés se complètent.

Le nouveau matériau hétérogène ainsi constitué aura des performances que seuls ses composants ne possèdent pas. L'adjonction de plusieurs composants permet d'améliorer certaines qualités (légèreté, rigidité, résistance, etc.) ce qui favorise l'utilisation des matériaux composites dans différents secteurs industriels [15].

II.2 DEFINITIONS D'UN MATERIAU COMPOSITE

Un matériau composite est un matériau hétérogène, constitué de l'assemblage de deux ou de plusieurs matériaux de natures différentes. Leur association est complémentaire et permet d'aboutir à un matériau dont les performances recherchées seront supérieures à celles des composants pris séparément. Un matériau composite est constitué, dans le cas le plus général, d'une ou plusieurs phases discontinues réparties dans une phase continue. La phase discontinue, appelée renfort ou matériau renforçant, est habituellement plus dure, avec des propriétés mécaniques supérieures à celles de la phase continue, appelée matrice.

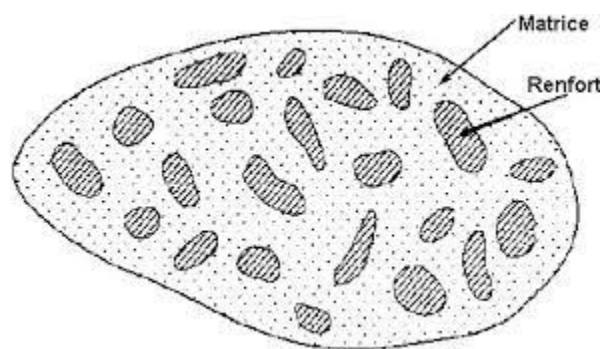


Figure II.1 : Schéma illustratif d'un matériau composite [5]

II.3 STRUCTURES ET MATERIAUX COMPOSITES

Au sens strict du terme, il faut parler de matériau ou de structure composite dès lorsqu'une pièce est constituée de plusieurs types de constituants. Le but recherché dans ces associations est de combiner les propriétés de plusieurs classes de matériau en vue d'obtenir des propriétés moyennes améliorées. Les métaux sont en général tenaces (ils présentent une bonne résistance à la propagation brutale de fissures) et ductiles (ils présentent des déformations importantes

avant de se rompre), mais de masse volumique élevée. Les matières plastiques sont légères mais présentent de faibles propriétés mécaniques. Les céramiques sont rigides et résistantes, mais fragiles. L'art de l'ingénieur dans la conception et l'utilisation de matériaux ou de structures composites réside dans le fait de placer le bon matériau sous la bonne forme (morphologie des renforts), et au bon endroit (notion de répartition spatiale). Les composites sont donc intrinsèquement des matériaux hétérogènes. Pris sous cette acception, le terme "composite" recouvre pratiquement l'ensemble des matériaux. Ainsi les matériaux métalliques eux-mêmes sont des alliages, composés de plusieurs phases, de microstructure et/ou de composition distincte : il suffit de changer d'échelle pour passer de l'image d'un milieu homogène à celle d'un milieu hétérogène. Le type d'approche à utiliser se décidera d'une part en fonction du rapport entre les dimensions de la structure à modéliser et une dimension caractéristique du milieu à représenter, d'autre part en fonction du but poursuivi (schématisation globale d'un système ou étude locale). Ceci conduit à utiliser plutôt le terme de structure composite lorsqu'il est naturel de modéliser séparément chaque matériau dans la pièce à traiter [16].

II.3.1 Les composants élémentaires des matériaux composites

II.3.1.1 Renforts

Les composites artificiels sont souvent renforcés soit par des fibres, soit par des composants fabriqués à base de fibres (torons, assemblage de fibres tordues ensemble ; tissus ; mats, ou nappes). Chacune d'entre elles s'impose dans une application particulière en raison de ses propriétés spécifiques et de son prix.

II.3.1.2 Les fibres de verre

Ce sont les plus anciennes (1940) et les moins chères des fibres du marché, et celles dont on réalise le plus fort tonnage. Elles sont fabriquées par extrusion du verre au travers d'une filière percée de trous de 1 à 2mm de diamètre, puis étirées jusqu'à obtenir des diamètres de 5 à 15mm, enduites et bobinées. Il existe différentes variétés (E,R,S) selon la proportion de chaque composant (SiO_2 , Al_2O_3 , B_2O_3 , CaO , MgO), les meilleures propriétés sont obtenues pour les plus fortes proportions de silice (verre S, 65%).



Figure II.2 : Tissu en fibres de verre [5]

II.3.1.3 Les fibres de carbone

Doivent leurs propriétés à la très forte anisotropie des cristallites de graphite qui les composent. Elles sont fabriquées à partir de fibres de polymère (par exemple polyacrylonitrile) préalablement tissées, et carbonisées sous tension en plusieurs étapes, oxydation (100 à 200°C), puis pyrolyse (1500 à 2500°C). Selon la température et le temps de cuisson, les fibres présentent une "haute résistance"(HR) ou un "haut module" (HM).

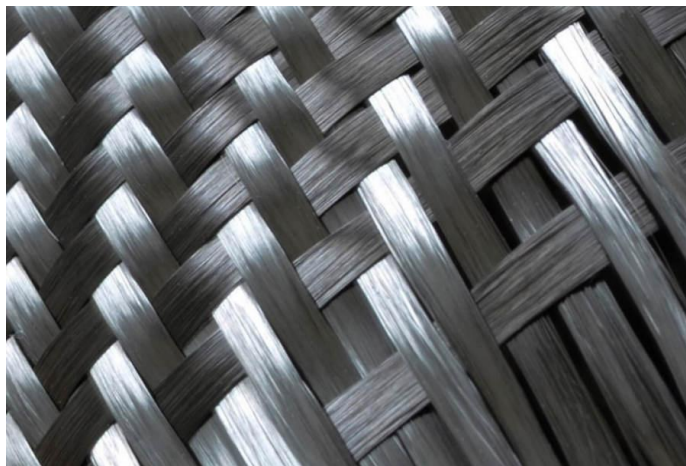


Figure II.3 : Tissu en fibres de carbone [5]

II.3.1.4 Les fibres polymère

Les plus connues sont des fibres de polyamides, connues sous la marque commerciale de "Kevlar". De prix élevé, elles servent essentiellement à fabriquer des câbles.



Figure II.4 : Fibres polymère [5]

II.3.1.5 Les fibres métalliques ou céramiques

Ce sont les plus chères de toutes les fibres, en raison de leur difficulté de fabrication. Les fibres de bore sont obtenues par réduction à 1100°C de chlorure de bore, qui se dépose sur un fil de tungstène. La même procédure expérimentale est utilisée pour produire des fibres de carbure de silicium (SiC).



Figure II.5 : Fibres métalliques [5]

II.3.1.6 Les microbilles pleines ou creuses

Peuvent être produites en verre, carbone ou polystyrène. Elles ont un taux volumique de charge qui peut atteindre 50%. Le composite résultant a des propriétés mécaniques isotropes.

II.3.1.7 Les principaux renforts minéraux

Sont le mica et l'amiante. L'un et l'autre sont des composés naturels dont les propriétés ne permettent pas d'atteindre les résistances obtenues avec les fibres. Le mica se présente sous forme de paillettes, dont l'intérêt est d'offrir un renforcement bidirectionnel.

L'amiante (mélange d'oxydes de magnésium, de silice et d'eau, comportant également du sodium, du fer,...) se présente sous forme de fibrilles de 20nm, dont il est possible de détacher des fibres de plusieurs centimètres. Son caractère cancérigène a maintenant conduit à un abandon complet. [17]

II.3.2 Matrices

La matrice incorpore les fibres ou les éléments de renfort, auxquels elle doit adhérer suffisamment bien pour que le transfert de charge soit optimal.

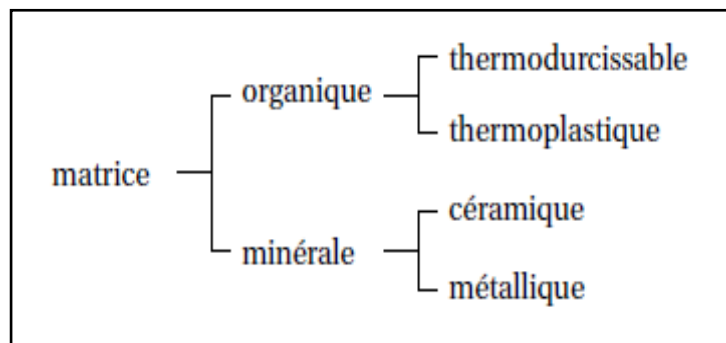


Figure II.6 : Différents types de matrice [5]

II.3.2.1 Les matrices organiques

Ces matrices sont faites de matières plastiques. Il convient de distinguer les matrices thermoplastiques, à chaîne linéaire, très répandues, et les polymères thermodurcissables, ou résines, aux propriétés mécaniques plus élevées. Dans cette dernière catégorie se rangent les résines de polyester, les résines époxydes, qui peuvent être utilisées jusqu'à 200°C, les résines phénoliques ou les résines polyamides, qui supportent des températures de 400°C. Dans le cas des CMO (composites à matrice organique) les principales matrices utilisées sont [18]:

- **Les thermodurcissables :**

- les résines polyesters insaturés (UP),
- les résines époxyde (EP),
- les résines vinylester,
- les résines phénoliques (PF),
- les résines polyamides thermodurcissables (PIRP).

- **Les thermoplastiques :**

Comme le polypropylène, le polyamide, le polyétherimide (PEI), le poly(sulfure de phénylène) (PPS) et la poly(éther-éther-cétone de phénylène) (PEEK) pour la réalisation de pièces de structure et d'aéronautique.

II.3.2.2 Les matrices carbonées

Sont fabriquées par décomposition d'une matière organique à haute température. La matière peut être un liquide (imprégnation en phase liquide), ou un hydrocarbure gazeux (décomposition chimique en phase vapeur). Le second procédé est plus rapide que le premier, qui peut durer plusieurs mois pour obtention d'une densification suffisante, mais moins reproductible. Le carbone se dépose en grains sur les fibres, assurant leur bonne liaison. [19]

II.3.2.3 Les matrices métalliques

Elles présentent plusieurs avantages, comme une bonne ductilité, une bonne résistance à certains solvants, une meilleure tenue en température que les résines, une meilleure usinabilité. A l'inverse, elles sont plus difficiles à mettre en œuvre, de densité plus élevée, et des problèmes peuvent apparaître aux interfaces fibres-matrices du fait de la réactivité des matériaux.

Dans le cas des CMM (composites à matrice métallique) le matériau composite est constitué :

- d'une matrice métallique (ex. : aluminium, magnésium, zinc, nickel) ;
- d'un renfort métallique ou céramique (ex. : fils d'acier, particules de S_iC , carbone, alumine, poudre de diamant).

II.3.2.4 Les matrices céramiques

Elles sont particulièrement intéressantes en raison de leur caractère réfractaire. Ces matrices sont utilisées dans des pièces qui doivent subir sans dommage de très hautes températures (Tuiles de protection thermique, brûleurs). Le point faible des céramiques, à savoir leur très faible résistance à la rupture en traction, est partiellement masquée par l'insertion de fibres

dans la matrice. Des charges (minérales, organiques ou métalliques) et additifs sont presque toujours incorporés à la matrice.[20]

II.4. MISE EN FORME

La mise en forme des matériaux composites peut avoir lieu par des procédés manuels ou mécanisés. Dans l'ensemble, les outils nécessaires aux procédés mécanisés s'amortissent en produisant en moyenne et grande série ; c'est pourquoi les procédés manuels sont plus adaptés à la petite série du point de vue économique. Parmi les procédés manuels, on distingue :

- le moulage par projection simultanée ;
- le drapage de pré-imprégnés (catalyse à haute température, souvent sous vide) ;
- le moulage au contact ;
- le moulage sous vide ;
- l'infusion.

II.5. ENVIRONNEMENT

La plupart des composites sont à base de polymères thermodurcissables, ce qui les rend difficilement recyclables. Cette contrainte va donc à l'encontre du développement durable. On peut aussi voir de nouvelles recherches axées sur les bio composites notamment avec des fibres issues de plantes. Les bio composites sont des matériaux formés par une matrice (résine) et un renfort de fibres naturelles provenant usuellement des plantes ou de la cellulose (fibre de bois, chanvre, etc.). De plus, ils contribuent au respect de l'environnement car ils sont biodégradables. Ces bio-composites ne sont pas encore prêts à être mis sur le marché pour des secteurs de pointe. [21]

II.6 STRUCTURES COMPOSITES STRATIFIEES

Les structures composites stratifiées sont constituées de couches successives de renforts imprégnés de résines. Les couches sont également nommées plis. Les structures stratifiées réalisées à partir de matériaux composites sont constituées d'empilements de nappes unidirectionnelles ou bidirectionnelles. Ces nappes sont formées de renforts en fibres longues liées par de la résine. Le rôle du renfort est d'assurer la fonction de résistance mécanique aux efforts. La résine assure quant à elle la cohésion entre les renforts de manière à répartir les sollicitations mécaniques. Une structure stratifiée est schématisée par un empilement de monocouches homogènes dans l'épaisseur et d'interfaces inter-laminaires. La couche et

l'interface sont les deux entités appelées méso-constituants, comme illustré sur la figure (II.7), qui forment les bases des modèles dédiés à l'étude des structures stratifiées.[22]

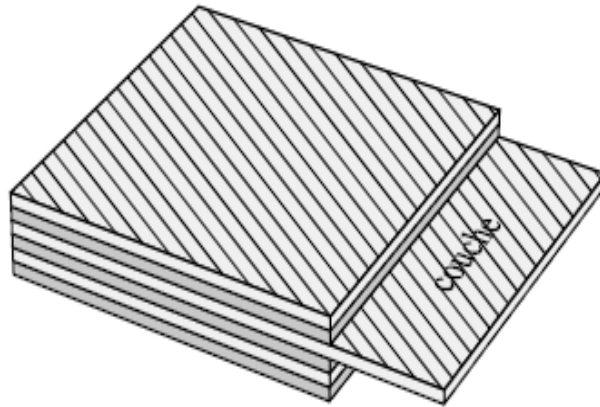


Figure II.7 : Stratifié constitué de couches parfaitement liées [5].

II.6.1 Désignation des structures stratifiées

Les structures stratifiées à base de tissus unidirectionnels sont constituées d'un grand nombre de couches ou plis. L'épaisseur d'une couche dépend de son grammage. L'épaisseur de chacune des couches est généralement très faible, de l'ordre de 0,125 mm pour un matériau carbone époxy de type Aéronautique et 0,3 mm pour ceux qui sont utilisés dans l'Industrie Nautique. Ces structures stratifiées sont constituées de couches unidirectionnelles avec des fibres orientées de façon différente d'une couche à l'autre afin d'obtenir les propriétés mécaniques souhaitées pour la structure finale. La désignation des structures stratifiées est délicate car il faut préciser les axes de référence.

Un stratifié est codifié de la façon suivante [23]:

- Chaque couche est désignée par un nombre indiquant la valeur en degré de l'angle que fait la direction des fibres avec l'axe de référence x . Sur les figures II.8(a) et II.8(b), les couches sont représentées décalées les unes par rapport aux autres. La structure stratifiée est décrite de bas en haut ;
- Les couches sont nommées successivement entre crochet en allant de la face inférieure à la face supérieure. Les couches successives sont séparées par le symbole « / » comme l'exemple de la figure I.8(a): $[-45/45/-45/-45/45/-45]$;
- Les couches successives d'un même matériau et de même orientation sont désignées par un indice numérique, comme l'exemple de la figure II.8(b) : $[0/45_2/90/-45_2/0]$;
- En cas de stratification hybride (différents matériaux dans un même stratifié), il faut préciser par un indice la nature de la couche ;

- En cas de structures symétriques, la moitié est codifiée et le symbole s indique la symétrie: $[-45/45/-45/-45/45/-45]$ devient $[-45/45/-45]_s$ et $[0/45/45/90/-45/-45/0]$ devient $[0/45/2/90/-45/2/0]_s$.

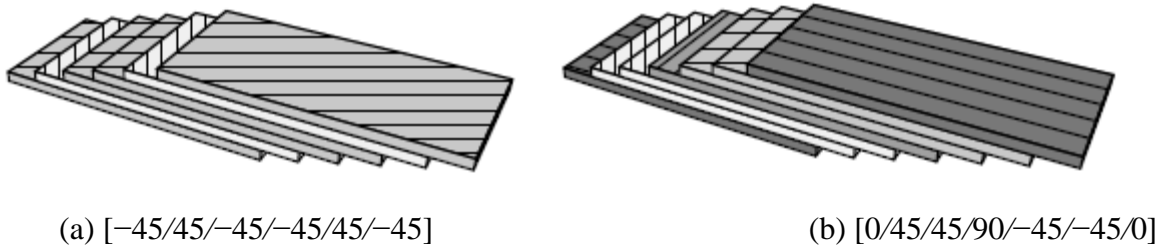


Figure II.8 : Désignations du stratifié [5].

II.6.2 Désignation des structures sandwich

Les structures composites subissant des sollicitations de type flexion ou torsion sont généralement construites en matériaux sandwich. Une structure sandwich est composée d'une âme et de deux peaux en matériaux composites. L'assemblage est réalisé par collage à l'aide d'une résine compatible avec les matériaux en présence. Les âmes les plus utilisées sont de type nid d'abeilles, âme ondulée ou mousse. Les peaux sont généralement constituées de structures stratifiées. Une âme nid d'abeilles est présentée sur la figure II.9. Ces structures ont une grande rigidité en flexion et torsion. L'âme de la structure sandwich résiste principalement aux contraintes de cisaillement et de compression hors plan, les peaux inférieures et supérieures supportent quant à elles les efforts dans leur plan.[24]

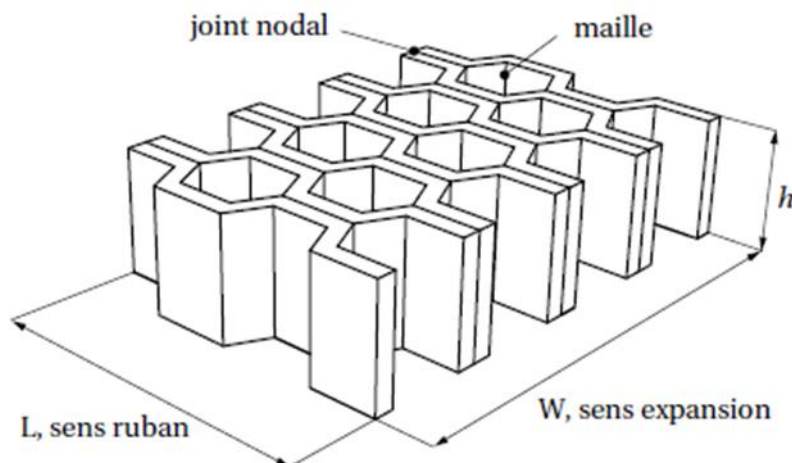


Figure II.9 : Désignation d'une âme nid d'abeilles [5]

II.7 STRUCTURES COMPOSITES TISSEES MULTIDIRECTIONNELLES

Il est possible de créer des pièces en matériaux composites de type tridimensionnelles massives ou des formes de révolution. Des tissages volumiques de type 2D (deux directions de renfort), 3D-Évolutif (deux directions de renfort et un piquage dans la troisième direction), 3D (trois directions de renfort), 4D (quatre directions de renfort), ou plus sont élaborés dans l'industrie aéronautique. Il est également possible de tisser des cylindres ou des cônes afin de réaliser des réservoirs ou des tuyères. Dans ces derniers cas, les fils de renforts s'entrecroisent en hélice. Quelques exemples de matériaux composites multidirectionnels sont maintenant présentés. Les structures massives sont principalement utilisées dans le domaine aéronautique et restent très marginales en raison de leur coût de production très élevé.

II.7.1 Le matériau composite 2D tissé SiC-SiC

Le matériau composite 2D tissé SiC-SiC (fibre-céramique/matrice-céramique) a deux directions de renfort comme illustré sur les figures II.10(a) et II.10(b). Ce type de matériau est destiné à des utilisations thermo structurales (température d'utilisation de 1 000°C à 1 400°C). Ce type de matériau est réalisé par la Société Européenne de Propulsion / Groupe Snecma. Il est étudié pour être utilisé dans les parties chaudes des structures : moteurs d'avions, moteurs fusées et protections thermiques.

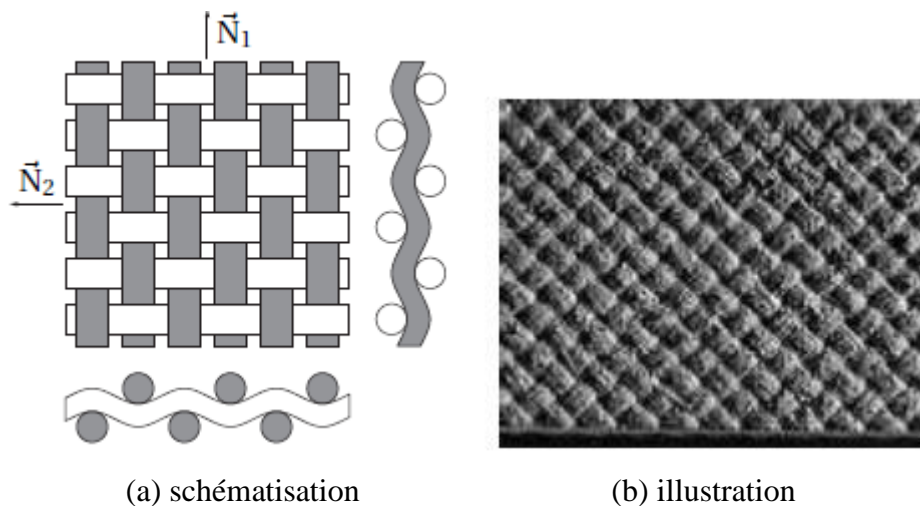


Figure II.10 : -D Sic-Sic- matériau avec deux directions de renfort [5].

II.7.2 Le matériau composite Aerolor 32 C/C

L'Aerolor 32 est un matériau thermo structural réalisé par l'Aérospatiale. C'est un composite à renfort et matrice de carbone renforcé par trois directions de fibres, comme indiqué sur la figure II.11. La matrice est infiltrée dans les blocs préalablement tissés au moyen de mèches de 3 000 filaments.[25]

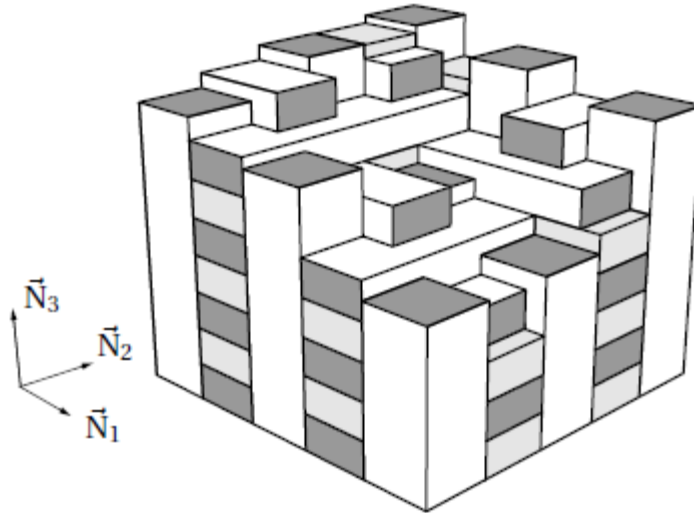


Figure II.11 : Géométrie tri-orthogonale de l'Aerolor 32 [5]

II.8 PRINCIPAUX COMPOSITES

II.8.1 Quelques exemples de matériaux composites

II.8.1.1 Les composites naturels

- Le bois et les textiles naturels sont des composites à base d'une matrice en lignine et hémicellulose et de renforts en fibre de cellulose,
- L'os est un composite à base d'une matrice en collagène et de renforts en hydroxyapatite ((HA) est une espèce minérale de la famille des phosphates, de formule $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$, usuellement écrite $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ pour souligner le fait que la maille de la structure cristalline comprend deux molécules).

II.8.1.2 Les composites artificiels

- les matériaux rigides communément appelés « fibre de verre » et « fibre de carbone » sont des composites respectivement de fibres de verre et fibres de carbone et de diverses résines rigides (notamment époxyde),
- le Micarta est un composite de fibres (initialement coton ou papier) imprégnées à haute pression avec des résines phénoliques durcissantes telles que la Bakélite,

- les panneaux de bois agglomérés comme le contreplaqué utilisé en menuiserie, construction, ébénisterie,
- les cloisons de plaques de plâtre, très utilisées dans le bâtiment hors intempéries,
- le béton armé en génie civil est un composite de béton et d'acier,
- le GLARE, composé principalement d'aluminium et de fibre de verre, est utilisé en aéronautique,
- l'acier damassé était un composé de plusieurs feuilles d'acier de nuances différentes.

II.9 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté une introduction aux matériaux composites, donnant une description de leurs constitutions, leurs propriétés ainsi que leurs structures.

L'introduction dans le domaine de génie civil de ces matériaux composites, présente de nombreux avantages fonctionnels tel que :

Une légèreté du tissu.

Une mise en œuvre aisée.

Une liberté de formes.

III.1 INTRODUCTION

Le renforcement des structures en béton armé est l'une des méthodes curatives utilisées pour la réhabilitation des infrastructures afin d'en assurer la sécurité et le prolongement de la durée de vie. Différentes techniques de renforcement sont apparues. L'une des premières à être utilisée est le collage d'éléments d'acier sur les surfaces exposées aux sollicitations dues aux efforts de chargement. Afin d'éviter les inconvénients liés à l'utilisation de l'acier comme matériau de renforcement, tel que sa très grande sensibilité à la corrosion, son poids élevé et sa grande rigidité. Les matériaux composites, sont alors apparus comme substitut potentiel à l'acier dans le domaine du génie civil, et particulièrement dans les nouvelles constructions et en réhabilitation. Parmi les grands avantages des matériaux composites, on compte leur légèreté et leur insensibilité à la corrosion, ce qui les destine à être utilisés dans plusieurs configurations : barres d'armature, câbles de pré ou post-contrainte ou encore des plaques de renforcement et de réhabilitation d'éléments structuraux en béton armé, tels que les poutres, les dalles, les colonnes et les murs [26].

III.2 CONFINEMENT

Le béton est une matière particulièrement solide, c'est pour cela qu'il est de plus en plus utilisé dans le cadre de monuments de grande envergure. Cependant, sa solidité peut être remise en cause : malfaçons lors de la mise en œuvre, conditions climatiques défavorables (comme climat particulièrement humide ou à haute salinité), ou encore charges supérieures à ce qui avait été prévu lors de la conception du projet. Ces 'imprévus' mettent à mal la structure en béton armé, qui va devoir être renforcée pour éviter de se fissurer par exemple. De par leur composition, leurs formes et leur application, les tissus carbonés sont particulièrement bien adaptés à ce type de contraintes. Ils permettent d'en renforcer la résistance mécanique. Sa légèreté et sa faible épaisseur permettent une mise en place simple et rapide. De plus, les matériaux en fibre de carbone ne subissent pas les effets de la corrosion, ennemi insidieux du béton armé [26].

III.3 COMPORTEMENT DE BÉTON NON CONFINE EN COMPRESSION

Bien que le béton soit constitué de matériaux élastiques et fragiles (granulats, pâte de ciment), son comportement en compression, que l'on traduit principalement par une relation contrainte-déformation, est non linéaire et présente une certaine pseudo-ductilité liée à la microfissuration du matériau. En effet, lorsque le béton est soumis à des contraintes supérieures à 40% de sa résistance en compression, la microfissuration s'initie et tend à se

propager parallèlement au chargement lors de son augmentation. La relation contrainte-déformation tend alors à se courber graduellement, traduisant une perte de rigidité, jusqu'à une augmentation plus rapide des déformations au-delà d'une contrainte de 70 à 80% de la résistance en compression qui mène à la rupture par fissuration parallèle à l'axe de chargement. La figure III.1 illustre la relation contrainte-déformation (σ - ε) du béton en compression [27].

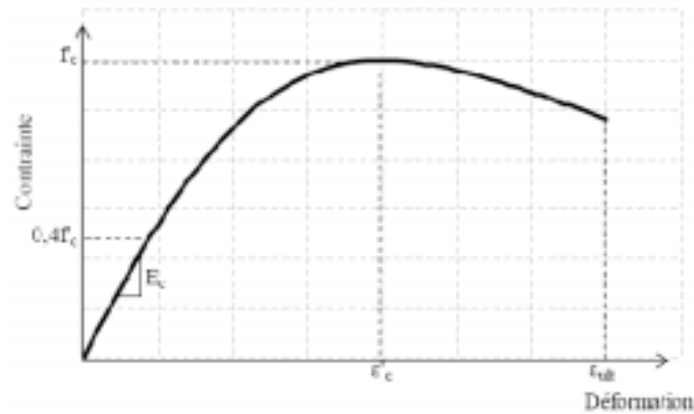


Figure III.1: Loi de comportement du béton en compression sous chargement statique [28].

Une certaine résistance subsiste après la rupture et se traduit par une branche descendante dont l'allure dépend des conditions et procédures de l'essai, jusqu'à la déformation ultime du matériau, généralement admise à 0.0035. Cette valeur n'est en réalité pas constante, elle tend à diminuer avec l'augmentation de la résistance ultime [29].

La réponse du béton à la compression uniaxiale est déterminée habituellement en chargeant des cylindres de béton dont le rapport entre la hauteur et le diamètre est de 2. La figure (III.2) montre les courbes contraintes – déformations obtenues sur des cylindres en béton chargés en compression uniaxial.

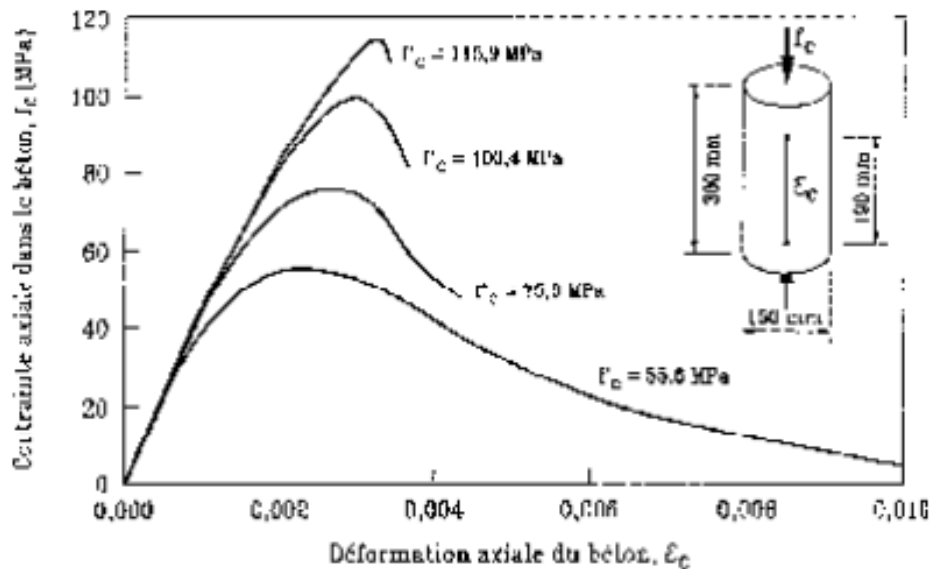


Figure III.2: Courbes contrainte-déformation pour des bétons de différentes résistances [28]

En observant les courbes contraintes déformations des bétons à haute performances illustrées par la figure (III.2), on remarque que, plus la résistance augmente, plus la courbe descendante devient abrupte, tandis que la rigidité et la linéarité initiale de la courbe augmentent. On peut donc s'attendre à observer un comportement plus fragile des poteaux en béton à haute performance. De plus, à cause de la plus faible expansion latérale des BHP, l'acier transversal serait sollicité plus tardivement, ce qui entraînerait une diminution de l'efficacité du confinement. **Sheikh, Shah et Khoury (1994)**, ont observé que pour une charge axiale constante, les poteaux en BHP présentaient une ductilité inférieure à ceux construits en béton ordinaire.

L'augmentation de la résistance de 33 à 54 MPa a entraîné une baisse de la ductilité structurale de l'ordre de 30 %. En comparant deux paires de poteaux construits avec du béton de 50 et 100 MPa,

Azizinamini et al (1994), ont observé que le déplacement maximal du poteau de 100 MPa était d'environ 25 % inférieur à celui du poteau construit avec du béton moins résistant.

Cependant, en comparant la ductilité calculée en utilisant le déplacement élastique corrigé en fonction des résultats expérimentaux, ils arrivèrent à la conclusion qu'une augmentation de la résistance n'entraînait pas nécessairement une diminution de la ductilité.

III.4 COMPORTEMENT DU BETON CONFINE

Plusieurs auteurs ont prouvé que le confinement des colonnes en béton chargées axialement augmente la résistance et la ductilité de ces colonnes d'une quantité considérable.

Lorsque le béton est soumis à une compression axiale, celui-ci se déforme latéralement. Cette déformation produit une fissuration qui augmente avec l'accroissement de la charge et qui conduit finalement à la rupture du béton. Si le béton est retenu latéralement de façon à réduire cette déformation, la résistance du béton et sa ductilité seront augmentées. Ce phénomène est communément appelé confinement du béton [11]. Le confinement du béton qui consiste à empêcher ces déformations, peut être réalisé soit par une enveloppe externe, soit par un faible espacement entre les étriers.

La figure (III.3) présente les courbes typiques contraintes déformations pour des bétons confinés et non confinés. Cette figure met en évidence les différences de comportement entre ces deux bétons. Le confinement augmente en général deux caractéristiques du béton: la résistance en compression $f_{cc} > f_{co}$ et la déformation correspondant à la contrainte ultime de compression $\epsilon_{cc} > \epsilon_{co}$.

Le confinement augmente considérablement le pouvoir absorbant d'énergie du béton. Ainsi dans des régions sismiques, le renfort est fourni pour confiner le béton et par conséquent pour augmenter la ductilité des colonnes et des poutres [29].

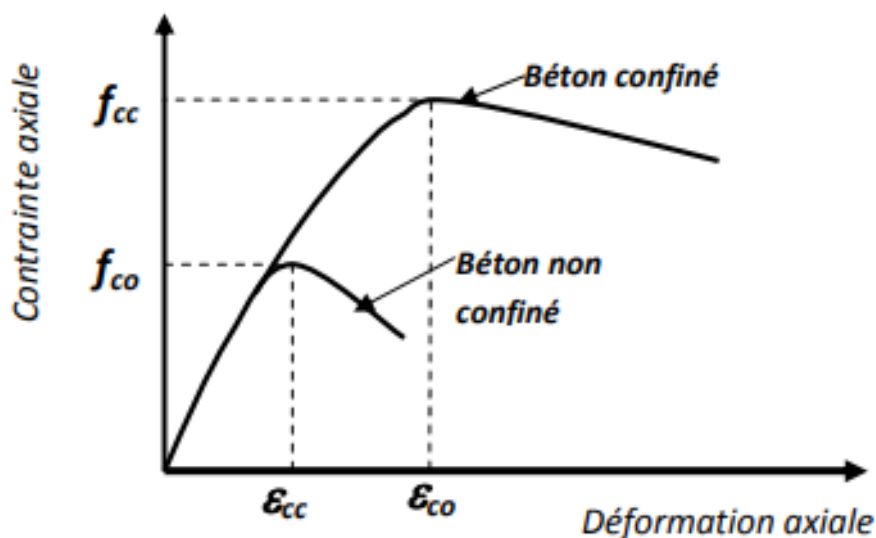


Figure III.3: Courbes contraintes déformations d'un béton confiné et non confiné [28].

La figure (III.4) montre l'effet de la pression de confinement sur le comportement en compression du béton. **Richart, Brantzaeg et Brown**, ont signalé que la pression de confinement latérale augmente considérablement la force et la rigidité des cylindres de béton et augmente la contrainte à laquelle l'effort maximal est atteint. Les pressions de confinement latérales réduisent l'attente à l'augmentation interne de la fissuration et minimisent la propagation de ces fissures, de ce fait on aura une augmentation de la résistance et de la ductilité du béton confiné.

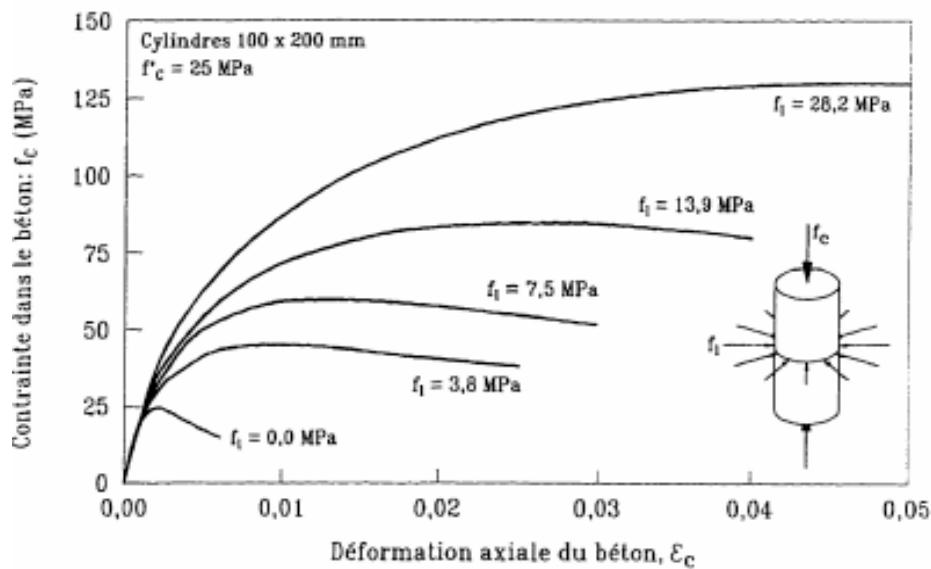


Figure III.4: Effet de la pression de confinement [28].

La plupart des recherches sur le confinement du béton se sont inspirées du modèle de **Richart et al (1928)**, qui a été développé pour des cylindres soumis à une pression hydraulique, **Richart et al** ont remarqué que la résistance en compression du béton confiné f_{cc} augmentait en fonction de la pression appliquée.

III.5 MECANISME DE CONFINEMENT

Dans la pratique, les colonnes sont confinées par un renfort latéral, généralement sous forme de spirales en acier étroitement aligné ou d'enveloppes. Pour un faible effort appliqué au béton, le renfort latéral est à peine soumis à une contrainte, ainsi le béton présente le comportement d'un béton non confiné. Quand les efforts approchent de la résistance uniaxiale, la fissuration interne s'intensifie et provoque des déformations latérales élevées.

Le renfort latéral, applique alors une réaction d'emprisonnement au béton et par conséquent ce dernier présente le comportement d'un béton confiné [30].

Les enveloppes circulaires, en raison de leur forme, fournissent une pression d'emprisonnement uniforme et continue autour de la circonférence (figure III.5.b). Cependant, dans le cas d'enveloppes sous forme carré ou rectangulaire, la pression d'emprisonnement s'applique uniquement aux coins (figure III.5.a), de ce fait une partie du noyau de béton demeure non confinée [30].

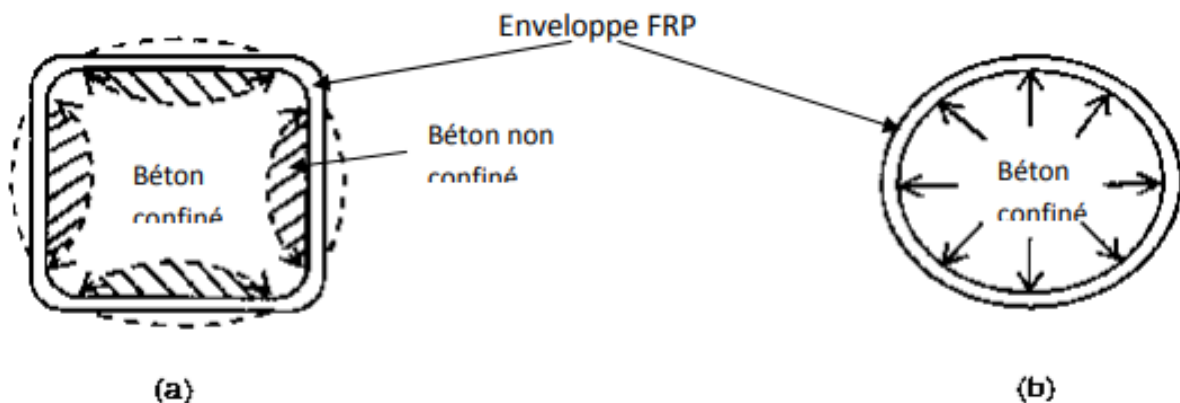


Figure III.5: Mécanisme de confinement du béton (a) Section rectangulaire, (b) Section circulaire [28].

III.6 ETUDES ANTERIEURES SUR LE CONFINEMENT DE BETON PAR LES MATERIAUX COMPOSITES

Le phénomène de confinement du béton a été le sujet d'un certain nombre de travaux au cours des 100 dernières années. Cette partie présente une revue de littérature des résultats de travaux antérieurs liés à la réhabilitation et le renforcement de colonnes en béton par les matériaux composites ainsi la présentation des différents modèles développés en conséquence.

L'idée d'augmenter la capacité en compression des colonnes en béton armé (BA) n'est pas nouvelle. Au début du 20^{ème} siècle, les ingénieurs ont observé que les colonnes de béton avec un renforcement longitudinal développent des fissures longitudinales et une déformation latérale importante, sous une grande charge de compression. En 1903 **Considere**, a suggéré l'utilisation d'un renfort transversal afin de ralentir la déformation latérale. Il a effectué un programme expérimental et a trouvé que des cercles circonférentiels, une fois placés à un espacement approprié, augmentent considérablement la résistance et la ductilité des colonnes de béton.

En 1928-29, Richart et autres, ont effectué une série d'essais utilisant la pression hydraulique pour le confinement des colonnes de béton circulaires. Ces colonnes étaient ainsi soumises aux efforts de compression triaxiaux. Ils ont observés que l'augmentation de la résistance était directement proportionnelle à la force de pression de confinement.

Plus tard en 1930 et 1933, **ACI** a dirigé une recherche approfondie et a développé des expressions pour la résistance à la compression des colonnes renforcées avec de l'acier longitudinal et latéral.

Après cela, beaucoup de chercheurs ont effectué des travaux dans ce secteur et ont proposé des modèles pour prédire le comportement des colonnes de béton confinées. Cette recherche a été également faite sur des colonnes renforcées par des enveloppes en acier et des tubes en acier remplis de béton.

Les matériaux composites à base de fibres (FRP) ne sont utilisés pour le confinement du béton que depuis le début des années 1980. Avec le progrès dans le domaine des matériaux composites, plusieurs études ont été effectuées sur le confinement des colonnes de béton avec des FRPs [11]. Ils ont constaté que les colonnes confinées avec des FRPs montrent une augmentation considérable de la résistance à la compression et la ductilité par rapport aux méthodes de confinement conventionnelles.

Les travaux effectués par de nombreux chercheurs pour étudier le comportement des colonnes de béton confinées, sont présentés par ordre chronologique comme suit :

Kurt (1978), a suggéré l'utilisation des pipes en plastique : chlorure polyvinylique (PVC), et styrène de but adénine d'acrylonitrile (ABS), rempli de béton. L'étude a été réalisée pour évaluer l'augmentation de la résistance des colonnes courtes et longues. Les diamètres des pipes s'étendent de 38 mm à 100 mm et les longueurs varient de 200 mm à 1450 mm. La résistance de béton à 28 jours était 20.6 MPa. Les spécimens ont été examinés sous une charge de compression axiale.

Il a constaté que la résistance ultime des colonnes de béton a augmenté en raison de l'emprisonnement fourni par les pipes en plastique (PVC et ABS). La résistance des colonnes courtes a augmenté 3.3 fois la pression d'éclat des tubes. Il a également observé une augmentation de ductilité. L'augmentation de la résistance et de la ductilité des colonnes intermédiaires était inférieure à celles des colonnes courtes. Aucune conclusion n'a été tirée pour les colonnes longues.[31]

III.7 LES DIFFERENTES TECHNIQUES DE CONFINEMENT DU BETON PAR MATERIAU COMPOSITE

Le confinement des colonnes de béton se réalise à l'aide d'enveloppes en matériaux composites à base de fibres de verre, de carbone et d'aramide. Les différents composites offrent des modules d'élasticité et des rigidités variés pouvant modifier le comportement axial et radial du béton confiné.

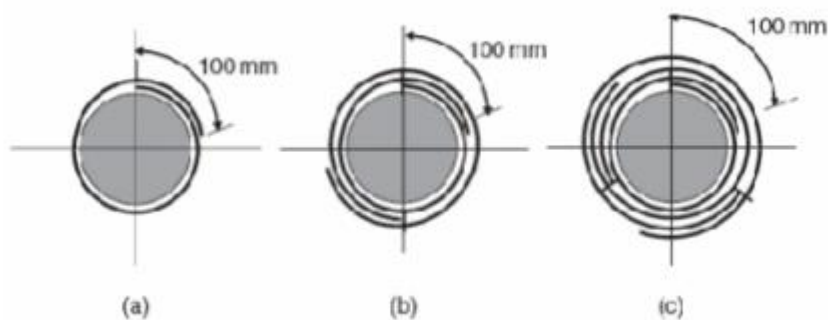


Figure III.6 : différentes techniques de confinement du béton par matériau composite :

(a) Un seul type; (b) Deux types; (c) Trois types [28]

III.8 MISE EN ŒUVRE

Ces matériaux « haute technologie » demandent cependant certaines conditions pour être appliqués au mieux. En effet, en plus de la préparation du support, la pose nécessite que la zone en travaux soit abritée le plus possible, du vent, de la pluie et autres intempéries et à une température entre 10 et 35° C. En effet, humidité, froid ou grosse chaleur peuvent modifier la viscosité et la durée de polymérisation de la colle, au point que l'adhérence peut être compromise. De la même façon qu'on ne colle pas un autocollant sur une surface poussiéreuse et mouillée par exemple, la pose d'un plat ou tissu carbone doit se faire dans des conditions optimales pour porter ses fruits[32].

III.9 CONCLUSION

La détérioration des colonnes et les exigences de réhabilitation sismiques requièrent un renforcement des colonnes qui peut être procuré par un confinement additionnel, afin d'assurer une résistance et une capacité de déformation adéquate. Différents matériaux peuvent être utilisés soit les plaques d'acier, les câbles en composite et les feuilles en composite.

Pour les poteaux, l'effet de confinement fourni par l'enveloppe externe provient des forces de pression radiales générées par la courbure de l'enveloppe. Celle-ci étant soumise à des efforts de tensions dus à la dilatation latérale du béton. Les enveloppes de matériaux composites appliquées aux colonnes augmentent le confinement du béton.

Jusqu'à ce jour, les expériences conduites par des chercheurs ont démontré une augmentation significative en ductilité et en résistance reliée à l'utilisation d'enveloppe de composites.

Les bénéfices de cette technique de renforcement sont multiples :

- L'augmentation de la ductilité :
 - en raison du confinement, le béton se rompt à un plus haut niveau de déformation qu'un bétonnon confiné;
 - selon le degré de confinement, la déformation à la rupture du béton peut être augmentéeplusieurs fois.

- L'augmentation de la résistance :

- la pression latérale exercée par l'enveloppe des composites augmente la résistance en compression du noyau du béton et de la section de béton constituant l'enrobage; la capacité axiale et latérale de la colonne est, par conséquent, plus élevée.

- L'application aux colonnes de différentes géométries :

- la flexibilité des composites permet d'envelopper les colonnes de différentes géométries sans diminution de leur moment d'inertie.

- La légèreté :

- la faible densité des composites simplifie la construction et réduit les coûts de mise en œuvre.

- L'esthétique :

- l'enveloppe de composites ne modifie pas l'apparence des colonnes ou des structures.

- La durabilité :

- Certaines fibres, comme la fibre de carbone, résistent très bien aux variations de température, aux cycles de gel dégel et à l'humidité.

IV.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous allons présenter les trois étapes munies lors de l'étude expérimentale investie au laboratoire de Génie Civil de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. La première consiste en la réalisation des éprouvettes en béton, en seconde étape, le collage des renforts sur les supports en béton et enfin la troisième étape concerne la réalisation des essais de compression.

IV.2 CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES

IV.2.1 Constituants du béton

Le béton est un matériau composite constitué de granulats gros et fins (gravier ou pierre concassée, sable), de ciment et d'eau. Le mélange entre le ciment et l'eau forme une pâte qui durcit. La pâte de ciment hydratée et le sable constituent le mortier. Celui-ci a pour rôle de lier les granulats pour former un conglomérat solide. La formulation de ce béton a été déterminé à partir de la méthode de DREUX-GORISSE.

1) Ciment : C'est un liant hydraulique qui se présente sous forme d'une poudre minérale fine s'hydratant en présence d'eau. Il forme une pâte faisant prise et qui durcit progressivement à l'air ou dans l'eau. C'est le constituant fondamental du béton puisqu'il permet la transformation d'un mélange sans cohésion en un corps solide.

Un seul type de mélange de béton a été utilisé pour la fabrication des différents spécimens à étudier. Le ciment utilisé est un ciment de type CPJ-CEMII/42.5R produit par LAFARGE Algérie.

2) Granulats : Ils constituent le squelette du béton. Ils doivent être chimiquement inertes vis-à-vis du ciment, de l'eau et de l'air. Il est possible de produire des granulats à béton qui peuvent être d'origine détritique (essentiellement alluvionnaire), sédimentaire, métamorphique ou éruptive.

Les granulats sont lavés et séchés à l'étuve à une température de 105 °C, ils sont mis dans des sacs pour éviter qu'ils reprennent de l'humidité et stockés au laboratoire de l'université.

3) Eau : De façon générale, l'eau de gâchage doit avoir les propriétés de l'eau potable. Il est exclu d'employer de l'eau de mer qui contient environ 30g/l de chlorures de sodium, pour la fabrication de bétons armés ou précontraints. L'eau de gâchage utilisée est l'eau du

robinet, c'est une eau très propre. Les différents constituants du béton sont résumés dans la figure (IV.1).

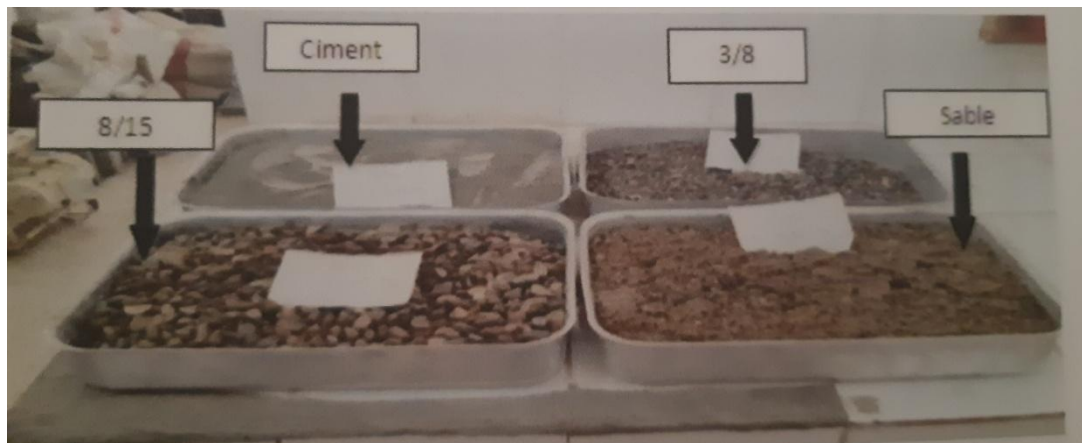


Figure IV.1 : Constituants du béton.

Les fractions massiques utilisées pour un volume de 1 m³ de béton sont données dans le tableau (IV.1).

Tableau IV.1 : Dosage des constituants du béton pour le programme expérimental.

Composant (Kg/m ³)	Masse pour 1 m ³ de béton (Kg)
Ciment	400
Sable 0/3	586
Gravier 3/8	272
Gravier 8/16	1003
Eau	200
E/C	0,5

IV.2.2 Ajouts minéraux

- **La poudre de verre**

La poudre de verre (Figure IV.2) provient essentiellement des déchets de verre de bouteilles colorées. Elles sont ramassées puis lavées et séchées. Le verre est concassé par un broyeur au niveau du laboratoire de département de Génie Civil de l'université de Boumerdès.



Figure IV.2 : Poudre de verre coloré.

- **Sable de verre**

Le sable de verre (Figure IV.3) provient essentiellement des déchets de verre de bouteilles. Après lavage et séchage de ces dernières, le verre est concassé puis séché à une température de 105 °C dans l'étuve. Ensuite il est passé au broyage. La classe granulaire du déchet de verre recyclé est formée du sable (0/3).



Figure IV.3 : Sable de verre coloré.

IV.3 FABRICATION DU BETON

Pour uniformiser les essais, on a décidé de travailler avec des granulats secs. Il a donc fallu mettre en étuve tous les granulats pour sécher pendant au moins 24 heures. Après séchage, faire en sorte que tous les granulats soient ramenés à température ambiante et les mettre en sac pour éviter qu'ils reprennent de l'humidité et de poussière.

On a préparé les moules de forme cylindrique (16/32) prévus pour les éprouvettes de béton, les moules sont huilés pour faciliter le décoffrage.

Les pesées des matériaux à utiliser ont été faites : gravillons, ciment, eau, poudre de verre et sable de verre. En ce qui concerne l'analyse granulométrique et l'équivalent de sable l'étude a été faite précédemment (voir le mémoire de SEDKI Meriem page 36-50). Les quantités sont données dans le tableau (IV.2) :

Tableau IV.2 : Les quantités des matériaux utilisées pour les différents essais.

Notation	Ciment (Kg)	Sable (0/3) (Kg)	Gravier (3/8) (Kg)	Gravier (8/16) (Kg)	Eau (Kg)	Poudre de verre (Kg)	Sable de verre (Kg)	Affaissement (cm)
BT	8,896	13,027	6,056	22,31	4,448	0	0	1
5P 0S	8,4512	13,027	6,056	22,31	4,448	0,4448	0	1,5
5P5S	8,4512	12,3756	6,056	22,31	4,448	0,4448	0,6513	3,5
5P10S	8,4512	11,7243	6,056	22,31	4,448	0,4448	1,3027	3,8
5P15S	8,4512	11,07295	6,056	22,31	4,448	0,4448	1,95405	1,5
10P 0S	8,0064	13,027	6,056	22,31	4,448	0,8896	0	3
10P5S	8,0064	12,3756	6,056	22,31	4,448	0,8896	0,6513	2
10P10S	8,0064	11,7243	6,056	22,31	4,448	0,8896	1,3027	3,2
10P15S	8,0064	11,07295	6,056	22,31	4,448	0,8896	1,95405	3,8
15P0S	7,5616	13,027	6,056	22,31	4,448	1,3344	0	3,5
15P5S	7,5616	12,3756	6,056	22,31	4,448	1,3344	0,6513	4
15P10S	7,5616	11,7243	6,056	22,31	4,448	1,3344	1,3027	3
15P15S	7,5616	11,07295	6,056	22,31	4,448	1,3344	1,95405	3

Le malaxeur utilisé pour la fabrication des bétons est un malaxeur à axe vertical. Après avoir déterminé les proportions de chaque composant, la séquence de malaxage retenue a été la suivante :

- Humidifier tout le matériel à utiliser ;
- Introduire le sable et le sable de verre, les gravillons dans le malaxeur ;
- Mettre le malaxeur en marche pour homogénéiser le mélange pendant 30s ;
- Laisser le malaxeur en marche et ajouter progressivement l'eau de pré-humidification et le mélanger pendant 30s ;
- Ajouter le ciment et la poudre de verre, ensuite mélanger le tout durant 30s ;
- Verser l'eau restante graduellement et laisser malaxer pendant 60s ;
- Effectuer immédiatement les essais de caractérisation du béton frais.
- Remplir les moules des éprouvettes par simple versement (avec vibration).

La mise en place a été effectuée dans les différents moules destinés aux échantillons correspondants aux essais programmés. Les bétons ont subi des vibrations pour mieux compacter le béton et éliminer les bulles d'air à l'intérieur. Le démoulage a été effectué après 24h.



Figure IV.4 : Confection, moulage et démoulage des éprouvettes.

Une fois le décoffrage est fait, les échantillons ont été émergés dans l'eau pour éviter l'évaporation de l'eau (Figure IV.5).



Figure IV.5 : Conservation des éprouvettes dans l'eau pendant 28jours.

IV.4 ESSAIS SUR BETON DURCI

IV.4.1 Essais de résistance à la compression (NF EN 12390-3)

Les essais de compression ont été réalisés sur 39 éprouvettes, en utilisant la machine de compression de type «AUTOTEST» (figure IV.6). Les 36 éprouvettes de béton sont à base de déchets de poudre et de sable de verre coloré et les 3 éprouvettes restantes sont celles du béton témoin. La vitesse d'écrasement utilisée est de 0.5 KN/s afin d'avoir les valeurs de résistance maximale et force maximale. Ensuite, nous avons déduit la meilleure variante à utiliser pour la suite de notre expérimentation.



Figure IV.6 : La machine de compression.



Figure IV.7 : L'état des éprouvettes après écrasement.

IV.5 CONFINEMENT DES EPROUVETTES DE BETON

On a préparé 18 autres éprouvettes de béton toujours en forme cylindrique (16/32) à base de déchets de poudre de verre coloré en prenant comme meilleure variante (5% de poudre de verre coloré et 0% de sable de verre coloré (5POS)) car c'est le type de béton qui a donné la meilleure résistance. Puis nous avons confiné ces éprouvettes avec deux types de renforts : le tissu de verre et le tissu recyclé. Pour fixer ces renforts, nous avons utilisé une résine de type **MEDAPOXY STR**, c'est une résine époxy destiné à la stratification sur différents supports. Les caractéristiques de la résine sont données dans le tableau (IV. 3).

Tableau IV.3 : Les caractéristiques de la résine utilisée [33].

Densité	1,1±0,05
Viscosité (à 25°C)	11000 MPa.s
DPU (à 20°C et 65°HR)	1h 15mn
Temps de durcissement (à 20°C et 65°HR)	Hors poisse : 6h Dur : 16h
R _C	>70 MPa
R _f	> 25 MPa
Adhérence sur béton	> 3 MPa
Durée de mise en service (à 20°C)	10 j

IV.5.1 Tissu en fibres de verre

Les fibres de verres sont obtenues à partir de silice et d'additifs. Le verre est coulé en fusion à 1250°C à travers une filière en platine-rhodium ; après refroidissement, les filaments sont étirés pour obtenir des fibres continues. Suivant les applications auxquelles elles sont destinées, les fibres de verre sont réparties en trois catégories :

- Fibres E : pour les composites grandes diffusions (GD) ;
- Fibres D : pour les applications dans la construction électrique (circuits imprimés) ;
- Fibres R : pour les composites hautes performances (HP).

Les fibres de verre ont un excellent rapport performance-prix qui les placent de loin au premier rang des renforts utilisés actuellement dans la construction de structures composites.

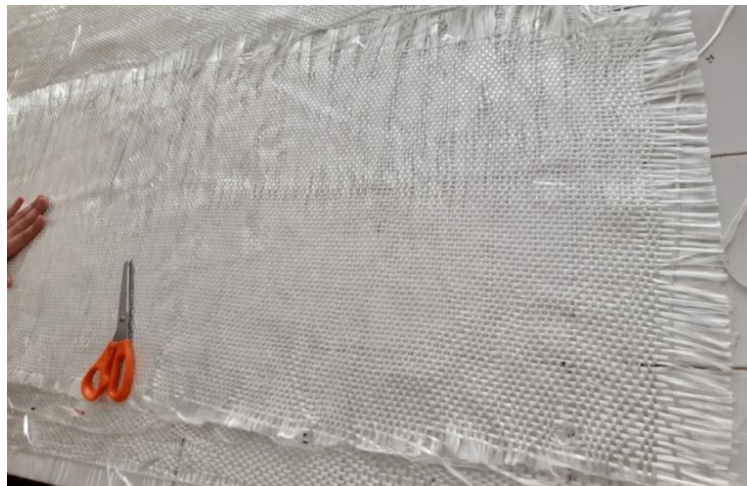


Figure IV.8 : Tissu en fibres de verre utilisé.

Les caractéristiques techniques du tissu en fibre de verre sont données dans le tableau (IV. 4).

Tableau IV. 4 : Fiche technique du tissu en fibres de verre. [34]

Spécifications	Caractéristiques
Nature	Tissu de fils de verre tissés
Couleur	Blanc
Format	1 m ²
Masse surfacique	270 g/m ²
Propriétés	Très souple et déformable, idéal pour des formes complexes. Grande facilité de manipulation et de découpe. Bonne mouillabilité, compatibilité avec les résines polyesters et époxydes.

IV.5.2 Tissu recyclé

Nous avons utilisé un tissu issu de l'emballage perdu des cimenteries voir figure (IV.9). Les caractéristiques de ce tissu sont données dans le tableau (IV.5).



Figure IV.9 : Tissu recyclé.

Tableau IV.5 : Les caractéristiques du tissu recyclé.

Largeur (mm)	55
Epaisseur (mm)	1,5
Résistance à la traction (MPa)	126,4
Allongement à la rupture	28,62
Coefficient de striction Z	99,88%
Module de Young (MPa)	869,8

Nous avons utilisé un tissu de renforcement de structures, à base de fibres de verre et un tissu recyclé :

- 09 éprouvettes renforcées avec le tissu recyclé :
 - 03 éprouvettes : confinement total avec 5 bandes de 55cm de longueur et 6cm de largeur.
 - 03 éprouvettes : confinement partiel avec 3 bandes espacées de 3cm.
 - 03 éprouvettes : confinement hélicoïdale avec une bande de 1,65m de longueur et 6cm de largeur et un espacement de 3cm.

- 09 éprouvettes renforcées avec le tissu en fibre de verre :
- 03 éprouvettes : confinement total avec 5 bandes de 55cm de longueur et 6cm de largeur.
 - 03 éprouvettes : confinement partiel avec 3 bandes espacées de 3cm.
 - 03 éprouvettes : confinement hélicoïdale avec une bande de 1,65m de longueur et 6cm de largeur et un espacement de 3cm.

La figure (IV.10) montre l'état des éprouvettes après confinement de trois manière (total, partiel et hélicoïdal) en utilisant les deux tissus (fibres de verre et recyclé).



Figure IV.10 : Eprouvettes confinées avec tissu recyclé (à gauche) et fibres de verre (à droite).

La notation des différentes éprouvettes confinées est donnée dans le tableau (IV.6).

Tableau IV.6 : Type de confinement par série d'éprouvettes.

Notation	Nombre d'éprouvettes	Type de confinement
CTTR	3	Confinement total avec tissu recyclé
CPTR	3	Confinement partiel avec tissu recyclé
CHTR	3	Confinement hélicoïdal avec tissu recyclé
CTFV	3	Confinement total avec fibres de verre
CPFV	3	Confinement partiel avec fibres de verre
CHFV	3	Confinement hélicoïdal avec fibres de verre

IV.6 ESSAIS SUR BETON CONFINE

IV.6.1 Essais de résistance à la compression (NF EN 12390-3)

Les essais de compression ont été réalisés sur 18 éprouvettes, en utilisant la machine de compression de type «RP 3000 XP» figures (IV.11) et (IV.12). La vitesse d'écrasement utilisée est de 0.5 KN/s afin d'avoir les valeurs de la résistance maximale et force maximale pour chaque éprouvette et pour chaque type de confinement. Les 18 éprouvettes de béton confiné sont confectionnées avec 5% de poudre de verre et 0% de sable de verre (5POS).



Figure IV.11 : La machine de compression.



Figure IV.12 : Essai de compression avec les comparateurs LVDT sur une éprouvette confinée.

IV.7 CONCLUSION

Dans cette partie, nous avons exposé le matériel et la méthode utilisée pour le type de confinement adopté dans cette étude : hélicoïdales, partielles, et totales. En utilisant deux types de tissu : le tissu recyclé et le tissu en fibres de verre.

La campagne expérimentale a été exposée, en commençant par la description des matériaux utilisés, ainsi que leurs compositions. Le mode de confinement y est bien décrit, en mettant l'accent sur les différentes étapes du confinement, allant de la préparation des spécimens en béton jusqu'à l'obtention d'éprouvettes confinées prêtes à être soumises à un essai de compression. La procédure de ces essais est également détaillée dans ce chapitre, en vue d'étudier la comparaison entre le tissu en fibres de verre et le tissu recyclé. Une démarche qui s'inscrit dans le cadre du développement durable. Les différents résultats de ces essais de compression sont exposés dans le chapitre V.

V.1 INTRODUCTION

A travers ce chapitre nous allons présenter et interpréter les résultats obtenus à l'issue des essais de compression menés sur le comportement des cylindres de béton non confiné pour avoir la variante qui donne la meilleure résistance et des cylindres de béton confiné par collage partiel, hélicoïdal et total par des bandes en tissu recyclé et en tissu en fibres de verre sur les faces externes. Les résultats des différents essais en termes d'évolution des contraintes, des déformations et d'évolution des variables d'endommagement des différents cylindres sont présentés et discutés, sous forme d'histogrammes et de graphiques contrainte-déformation.

V.2 PRESENTATION DES RESULTATS DU BETON NON CONFINE

Pour tous les essais de compression nous avons confectionné 39 éprouvettes cylindriques (16x32) cm², soit 12 éprouvettes pour les bétons avec ajout de 5% de poudre de verre, 12 éprouvettes pour les bétons avec ajout de 10% de poudre de verre, 12 éprouvettes pour les bétons avec ajout de 15% de poudre de verre et 03 éprouvettes pour le béton témoin. Nous avons confectionné 3 éprouvettes de béton pour chaque variante d'étude. Le tableau (V.1) présente les notations et compositions des éprouvettes

Tableau V.1 : Notation et compositions des éprouvettes de béton en poudre de verre coloré (PVC) et sable de verre coloré (SVC).

Notation	Composition en %
BT (Béton Témoin)	0% PVC 0% SVC
5P0S	5% PVC 0% SVC
5P5S	5% PVC 5% SVC
5P10S	5% PVC 10% SVC
5P15S	5% PVC 15% SVC
10P0S	10% PVC 0% SVC
10P5S	10% PVC 5% SVC
10P10S	10% PVC 10% SVC
10P15S	10% PVC 15% SVC
15P0S	15% PVC 0% SVC
15P5S	15% PVC 5% SVC
15P10S	15% PVC 10% SVC
15P15S	15% PVC 15% SVC

V.2.1 Résistance en compression des bétons à 28 jours

Les essais de compression, sur les éprouvettes cylindriques, ont été réalisés à 28 jours d'âge. Ils ont permis de déterminer la valeur moyenne de la résistance en compression du béton. Les résultats des résistances obtenus à 28 jours sont présentés dans le tableau (V.2).

Tableau V.2 : Résultats d'essai de compression des bétons étudiés.

Béton	Résistance à 28 jours (MPa)
BT	37,7
5P0S	34,3
5P5S	31,4
5P10S	30,3
5P15S	33,7
10P0S	28,51
10P5S	29,6
10P10S	31,8
10P15S	31,3
15P0S	32,6
15P5S	27,5
15P10S	29,5
15P15S	29,8

Nous avons représenté sous forme d'histogramme, les résistances moyennes enregistrés pour les différentes variantes de béton étudiés dans les figures ci-dessous.

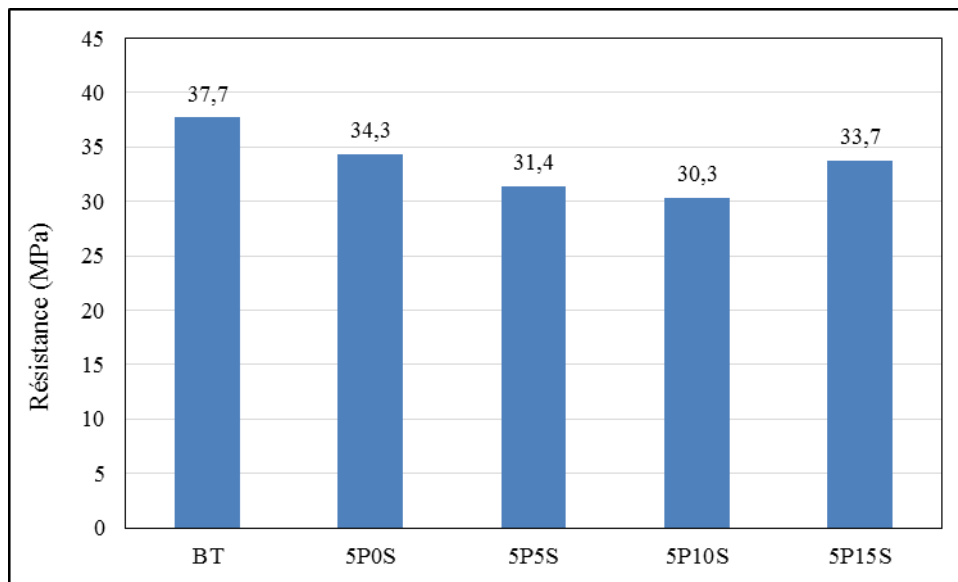


Figure V.1 : Résistance à la compression des bétons avec 5% de poudre de verre.

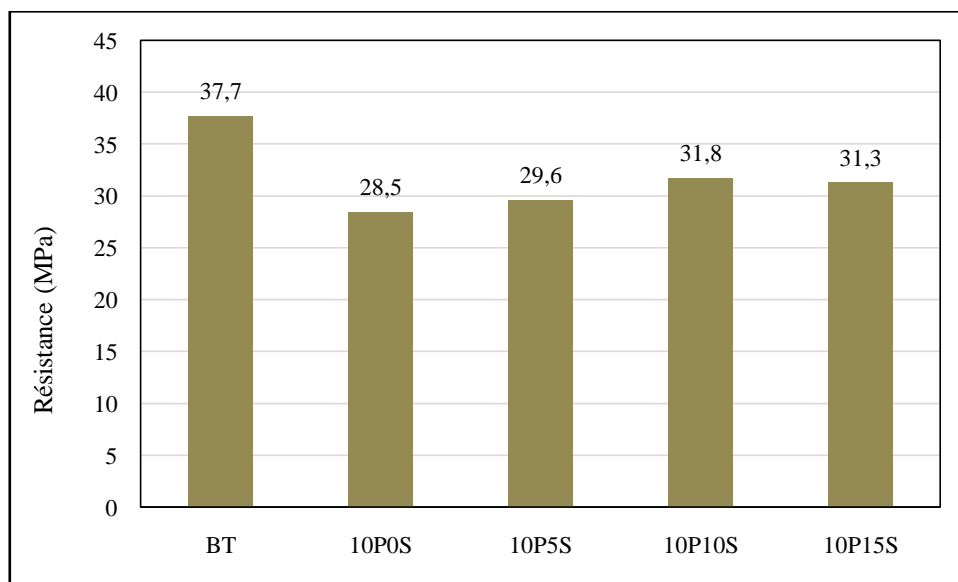


Figure V.2 : Résistance à la compression des bétons avec 10% de poudre de verre

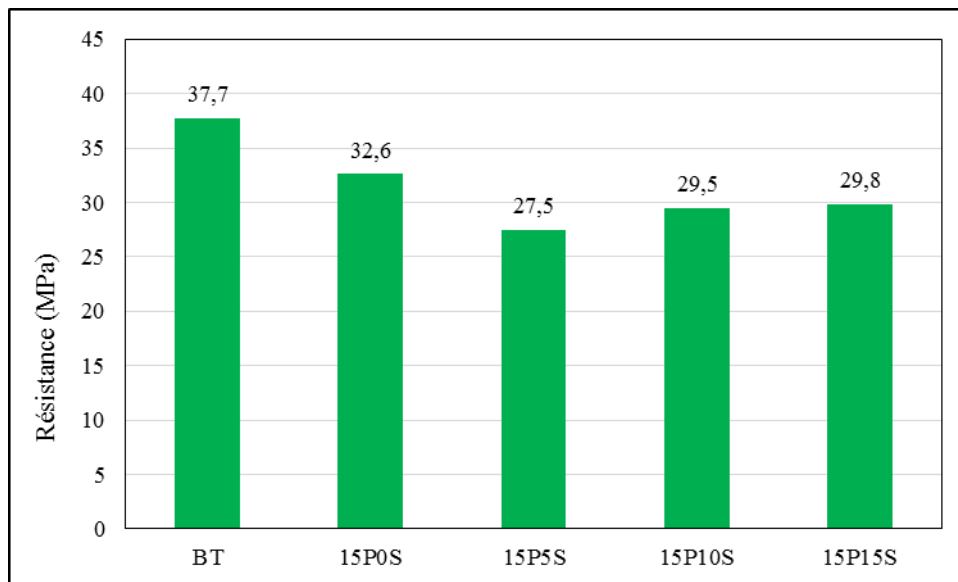


Figure V.3 : Résistance à la compression des bétons avec 15% de poudre de verre.

Sur ces figures, on constate que les bétons avec ajout de la poudre de verre et pour les différents pourcentages en sable de verre étudiés (0% ; 5% ; 10% ; 15%) ont présenté des résistances légèrement inférieures comparées à la résistance du béton témoin.

Les bétons avec un ajout de 5% et 10% de la poudre de verre ont présenté des résistances supérieures par rapport aux bétons avec un ajout de 15% de la poudre de verre. La meilleure résistance est donnée par la variante (5P0S) qui est de l'ordre de 34,3 MPa. Alors que la plus petite résistance est donnée par la variante (15P5S) qui est de l'ordre de 27,5 MPa.

Pour un ajout de 5% de poudre de verre, les bétons étudiés avec les différents pourcentages en sable de verre ont présenté une chute de résistance qui varie entre 3,4 MPa et 7,4 MPa.

Alors que pour les bétons avec un ajout de 10% de la poudre de verre cette chute varie entre 5,9 MPa et 9,2 MPa.

Pour les bétons avec un ajout de 15% de poudre de verre, les bétons étudiés avec les différents pourcentages en sable de verre ont présenté une chute de résistance qui varie entre 5,1 MPa et 10,2 MPa.

Cette chute de résistance peut s'expliquer par le fait que la réaction pouzzolanique de la poudre de verre ajouté à notre béton, n'a pas eu le temps de se développer correctement à 28 jours, car ce n'est qu'à partir de 90 jours que cette réaction commence à se développer. Ce phénomène s'explique par l'interaction entre la silice réactive qui se situe dans la poudre de verre et la portlandite libérée par l'hydratation du ciment ce qui donne à la poudre de verre la propriété de fixer la chaux. Ceci a été constaté par plusieurs auteurs [35-38].

L'évolution de la résistance en fonction du pourcentage en sable de verre est représentée en figure (V.4).

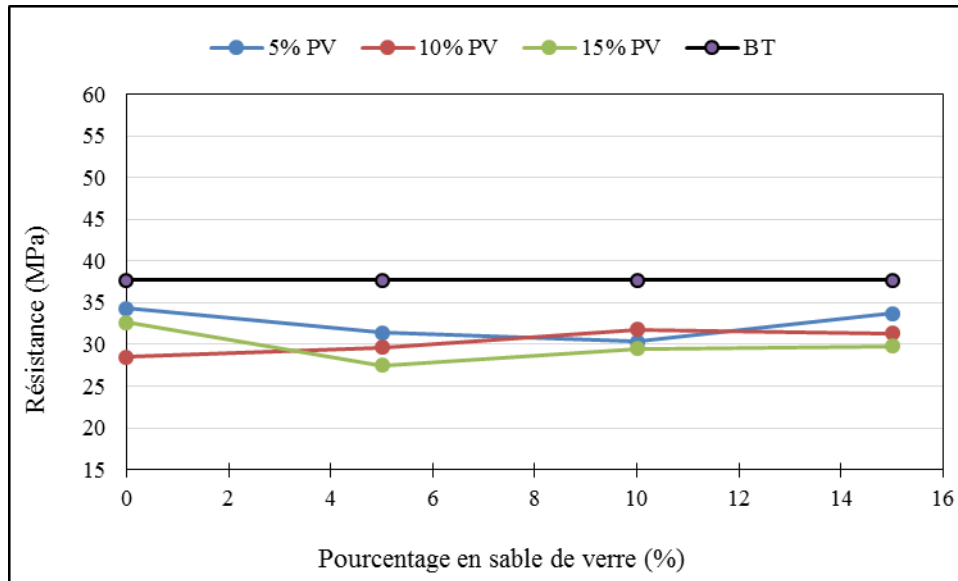


Figure V.4 : Evolution de la résistance en fonction du pourcentage en sable de verre.

Pour les bétons avec 5% de poudre de verre, la résistance des différentes variantes est comprise entre 34,3 MPa et 30,3 MPa, pour un ajout de 10% de poudre de verre, la résistance varie entre 31,8 MPa et 28,5 MPa et pour un ajout de 15% de poudre de verre, la résistance est comprise entre 32,6 MPa et 27,5 MPa. Comme on peut constater, les résistances à la compression de toutes les variantes étudiées sont supérieures à 25 MPa.

V.2.2 Courbes contrainte-déformation

Nous avons représenté les résultats des essais de compression sous forme de courbes contrainte-déformation. L'essai de compression est utilisé pour déterminer les caractéristiques mécaniques suivantes : résistance à la compression, module d'élasticité E. La mise sous contrainte à la compression doit être effectuée sans choc et d'une manière continue. Les résultats sont présentés sur les figures (V.5), (V.6) et (V.7).

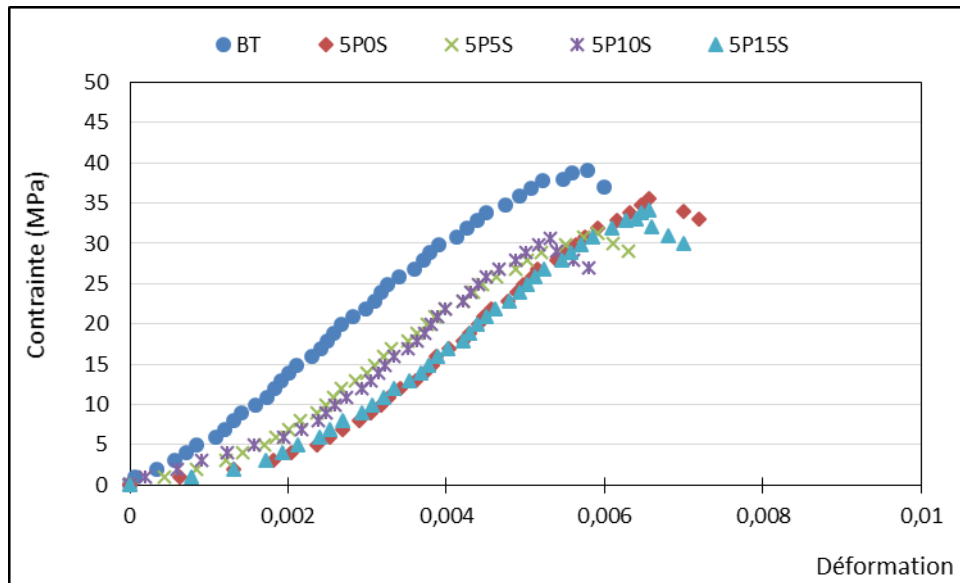


Figure V.5 : Courbes contrainte-déformation à la compression du béton avec 5% de poudre de verre.

Pour les bétons avec un ajout de 5% de poudre de verre, on constate une légère diminution de la résistance et de la pente (partie élastique) par rapport au béton témoin. Les variantes (5P5S) et (5P10S) ont présenté la même pente avec une différence de résistance de 1 MPa. On constate aussi que les variantes (5P0S) et (5P15S) ont présenté la même pente avec une différence de résistance de 0,6 MPa.

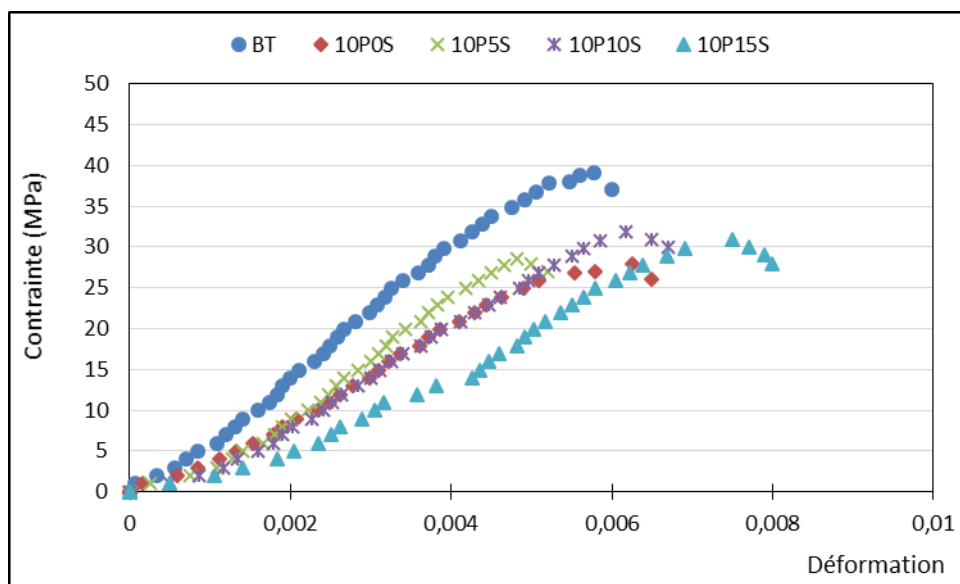


Figure V.6 : Courbes contrainte-déformation à la compression du béton avec 10% de poudre de verre.

Pour les bétons avec un ajout de 10% de poudre de verre, les variantes (10P0S), (10P5S) et (10P10S) ont présenté des courbes contrainte-déformation avec une même pente. Alors que la variante (10P15S) a présenté une pente inférieure à celles des variantes précédentes.

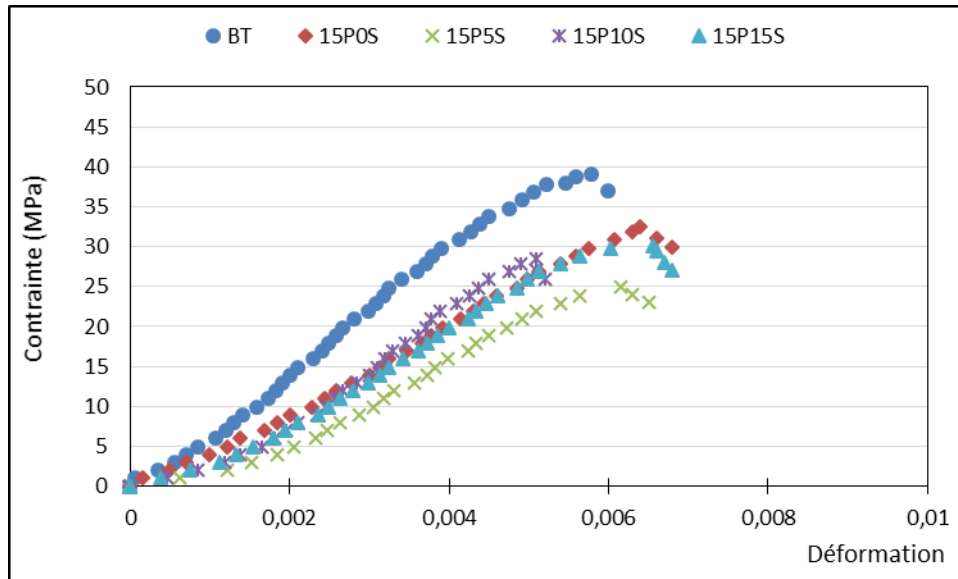


Figure V.7 : Courbes contrainte-déformation à la compression du béton avec 15% de poudre de verre.

Pour les bétons avec un ajout de 15% de poudre de verre, les variantes (15P0S), (15P10S) et (15P15S) ont présenté des courbes contrainte-déformation avec une même pente. Alors que la variante (15P5S) a présenté une pente inférieure à celles des variantes précédentes.

V.3 PRESENTATION DES RESULTATS DU BETON CONFINE

Parmi toutes les variantes des bétons étudiés, la meilleure résistance en compression est donnée par la variante (5P0S). Donc nous avons pris cette variante comme étant le béton témoin. Nous avons étudié sur cette variante trois types de confinement : confinement total, confinement partiel et confinement hélicoïdal en utilisant deux tissus : tissu en fibres de verre et tissu recyclé (déchet).

Tableau V.3 : Type de confinement des éprouvettes.

Notation	Type de confinement
BT (Béton Témoin)	5% PVC 0% SVC
CTFV	Confinement total du béton avec fibres de verre
CPFV	Confinement partiel du béton avec fibres de verre
CHFV	Confinement hélicoïdal du béton avec fibres de verre
CTTR	Confinement total du béton avec tissu recyclé
CPTR	Confinement partiel du béton avec tissu recyclé
CHTR	Confinement hélicoïdal du béton avec tissu recyclé

V.3.1 Mode de rupture

Les figures (V.8) et (V.9) montrent l'état des éprouvettes confinées après écrasement à l'essai de compression.

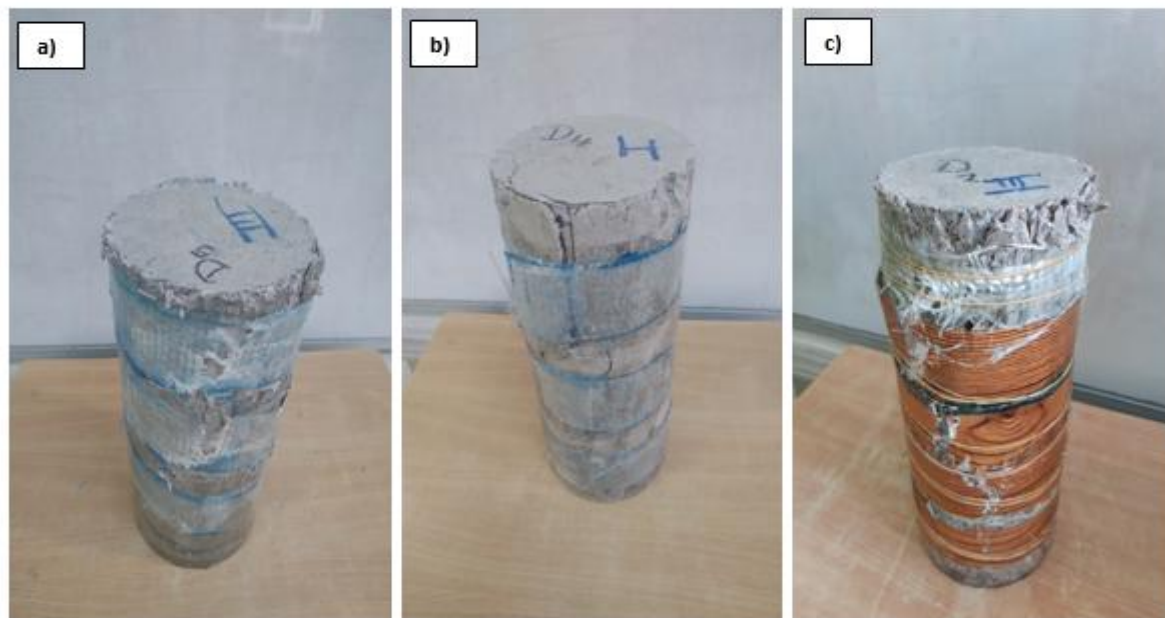


Figure V.8 : Eprouvettes confinées avec tissu en fibres de verre après écrasement.

a) : confinement hélicoïdal, b) : confinement partiel, c) : confinement total.

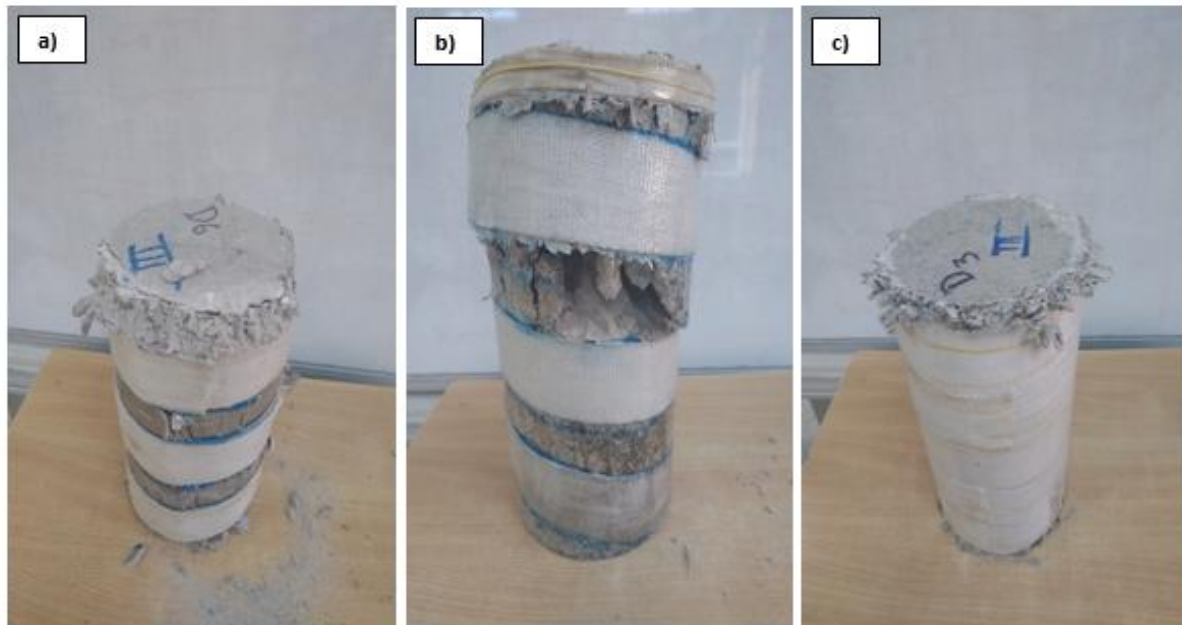


Figure V.9 : *Eprouvettes confinées avec tissu recyclé après écrasement.*

a) : confinement partiel, b) : confinement hélicoïdal, c) : confinement total.

Les figures (V.8) et (V.9), nous montrent l'état des éprouvettes après essai de compression, où on voit des fissurations sur la face externe des éprouvettes, décollement du renfort pour les éprouvettes confinées avec le tissu en fibres de verre et celles avec le tissu recyclé. On constate aussi une déchirure du tissu en fibres de verre pour les éprouvettes confinées hélicoïdalement. Alors que pour le tissu recyclé, aucune déchirure n'est constatée pour les trois types de confinement.

V.3.2 Résistance à la compression

Les contraintes à la compression des bétons confinés avec tissu en fibres de verre et tissu recyclé sont données dans les figures (V.10) et (V.11).

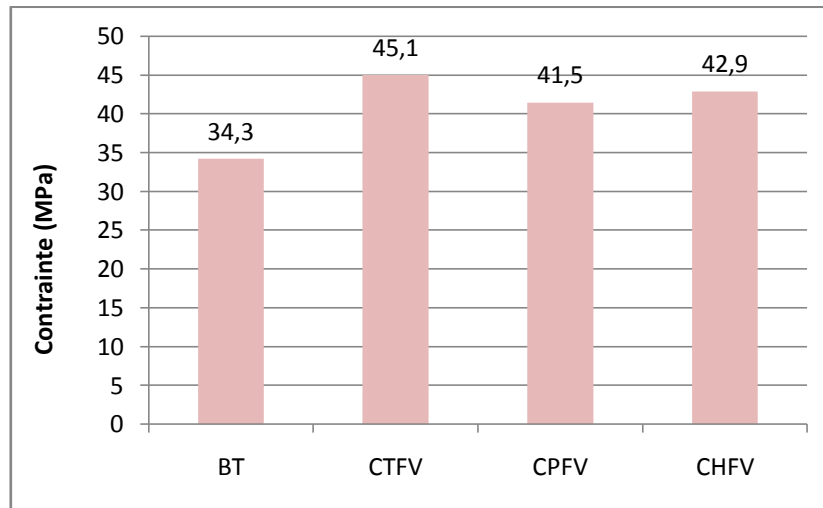


Figure V.10 : Contrainte à la compression des bétons confinés avec tissu en fibres de verre.

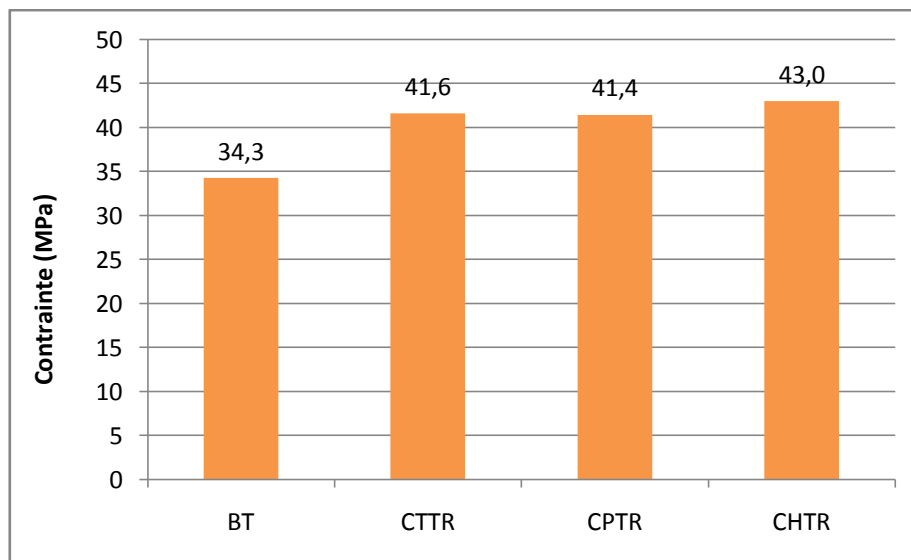


Figure V.11 : Contrainte à la compression des bétons confinés avec tissu recyclé.

Les deux figures (V.10) et (V.11) nous montrent les contraintes du béton à la compression du béton confiné avec le tissu en fibres de verre et le tissu recyclé de manière totale, partielle et hélicoïdale comparées au béton témoin. La contrainte maximale est atteinte par le béton confiné de manière totale avec le tissu en fibres de verre (CTFV), d'une valeur de 45.06 MPa. Pour le béton confiné avec le tissu recyclé, la contrainte maximale est atteinte par le béton de manière hélicoïdale (CHTR) avec une valeur de 43 MPa.

On constate que tous les bétons confinés avec tissu en fibre de verre ou en tissu recyclé ont présenté des résistances supérieures à celle du béton témoin.

- Comparaison des contraintes entre les différents tissus avec les trois types de confinement :

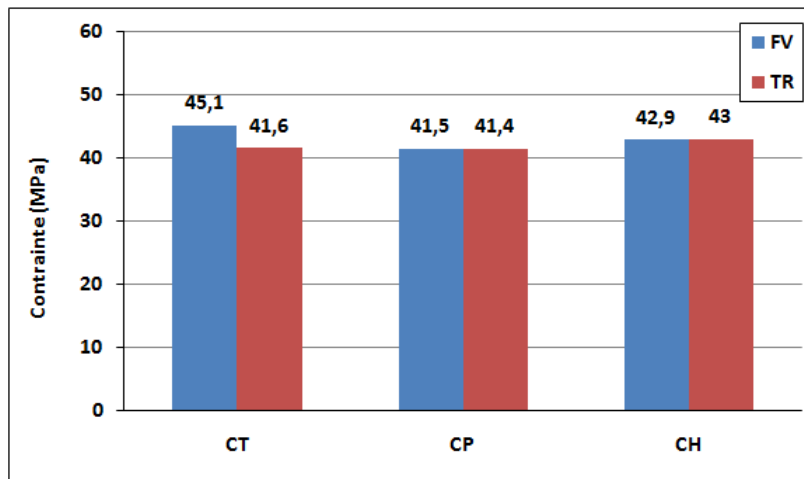


Figure V.12 : Contrainte à la compression des bétons confinés avec les différents tissus.

La figure (V.12) nous montre la comparaison de la contrainte à la compression des bétons confinés avec les différents tissus selon les trois types de confinement. Pour le confinement total, la contrainte du béton confiné avec le tissu en fibres de verre (CTFV) est supérieure à la contrainte du béton confiné avec le tissu recyclé (CTTR) de 7.67%. Alors que pour les confinements partiel et hélicoïdal, les contraintes des bétons confinés avec le tissu en fibres de verre et les bétons confinés avec le tissu recyclé ont présenté pratiquement les mêmes contraintes.

Les courbes contrainte-déformation des différents bétons étudiés avec les trois types de confinement sont présentées sur les figures (V.13), (V.14) et (V.15).

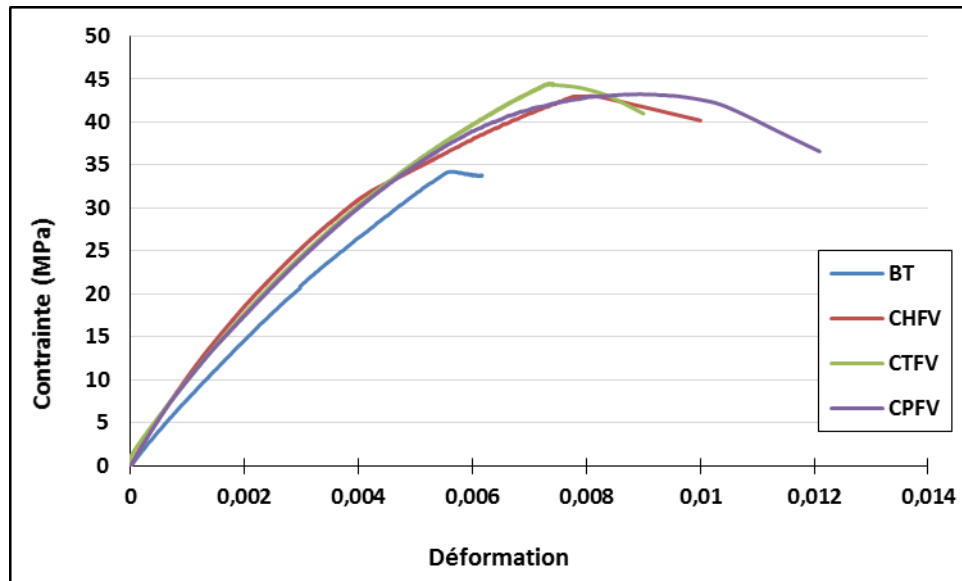


Figure V.13 : Courbes contrainte-déformation à la compression des bétons confinés avec tissu en fibres de verre.

Sur la figure (V.13), on constate, que les bétons confinés avec le tissu en fibres de verre ont présenté des résistances au pic supérieures à celle du béton témoin. La plus grande résistance est atteinte avec un confinement total. Aussi on remarque que la pente des courbes des bétons confinés est légèrement supérieure à celle du béton témoin. La plus grande déformation est donnée par le béton confiné partiellement.

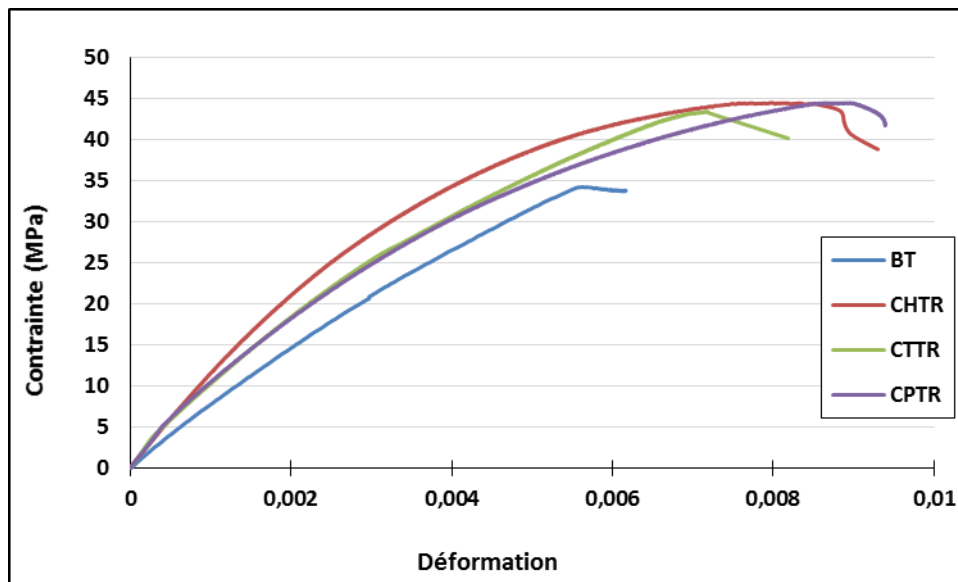


Figure V.14 : Courbes contrainte-déformation à la compression des bétons confinés avec tissu recyclé.

On constate que les bétons confinés avec le tissu recyclé ont présenté des résistances et des pentes supérieures par rapport à celle du béton témoin. Le béton confiné de manière hélicoïdale a présenté une pente supérieure à celle des autres bétons confinés. Aussi les bétons confinés de manière partielle et hélicoïdale ont présenté de meilleures résistances comparées au béton confiné de manière totale.

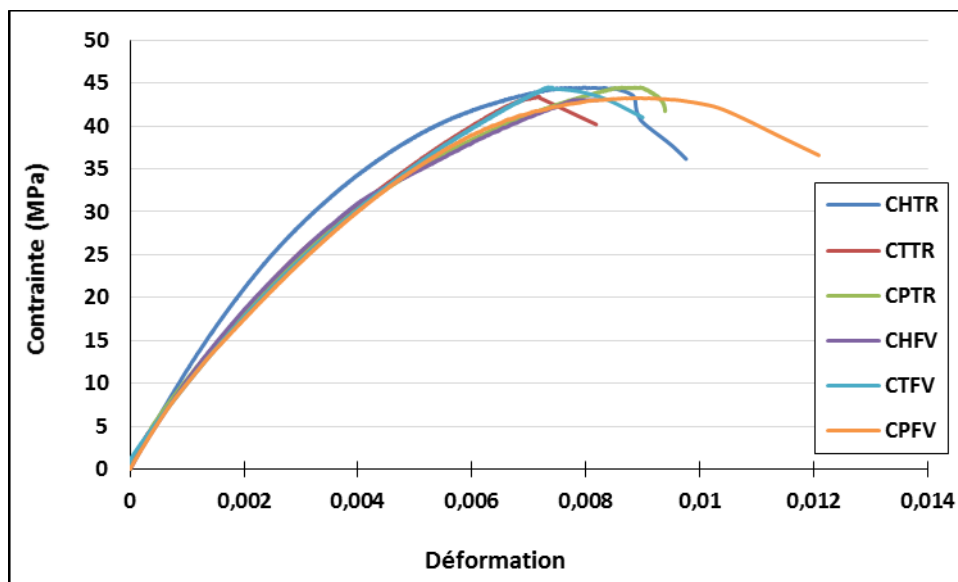


Figure V.15 : Courbes contrainte-déformation à la compression des bétons confinés avec les différents tissus.

Sur la figure (V.15), on a comparé tous les bétons confinés avec les différents tissus et selon les trois types de confinement. Le béton confiné avec le tissu recyclé de manière hélicoïdale (CHTR) a présenté une pente légèrement supérieure par rapport à celles des autres bétons.

CONCLUSION GENERALE

La valorisation des déchets dans le génie civil est un secteur important dans la mesure où les produits que l'on souhaite obtenir ne sont pas soumis à des critères de qualité très rigoureux. Dans plusieurs pays du monde, différents déchets sont utilisés dans le domaine de la construction et spécialement dans le ciment ou béton comme poudre, fibres ou agrégats.

Ce travail s'intéresse à la valorisation du déchet de verre. Ce dernier est ajouté au béton sous forme de poudre ou de sable. Les propriétés à l'état durci (résistance à la compression) des différents bétons réalisés (confinés avec tissu recyclé ou tissu en fibres de verre) sont analysées et comparées par rapport au béton témoin qui contient 5% de poudre de verre et 0% de sable de verre (5P0S).

La résistance à la compression est comparée entre les bétons confinés en tissu recyclé et les bétons confinés en tissu de fibre de verre en utilisant trois types de confinement : partiel, hélicoïdal et total.

Sur la base des résultats obtenus on conclut que :

- Les bétons avec ajout de la poudre de verre et pour les différents pourcentages en sable de verre étudiés (0% ; 5% ; 10% ; 15%) ont présenté des résistances légèrement inférieures comparées à la résistance du béton témoin. Les bétons avec un ajout de 5% et 10% de la poudre de verre ont présenté des résistances supérieures par rapport aux bétons avec un ajout de 15% de la poudre de verre. Aussi nous avons constaté que les résistances à la compression de toutes les variantes étudiées sont supérieures à 25 MPa. La meilleure résistance est donnée par la variante (5P0S) qui est de l'ordre de 34,3 MPa.
- Les courbes contrainte-déformation ont montré que la pente des bétons avec ajout de la poudre et sable de verre est inférieure par rapport à la pente du béton témoin.
- La contrainte maximale est atteinte par le béton confiné de manière totale avec le tissu en fibres de verre (CTFV), d'une valeur de 45.06 MPa. Pour le béton confiné avec le tissu recyclé, la contrainte maximale est atteinte par le béton confiné de manière hélicoïdale (CHTR) avec une valeur de 43 MPa. Tous les bétons confinés avec tissu en fibre de verre ou en tissu recyclé ont présenté des résistances supérieures à celle du béton témoin.

- En comparant les contraintes à la compression des bétons confinés avec les différents tissus selon les trois types de confinement, on constate que pour le confinement total, la contrainte du béton confiné avec le tissu en fibres de verre (CTFV) est supérieure à la contrainte du béton confiné avec le tissu recyclé (CTTR) de 7.67%. Alors que pour les confinements partiel et hélicoïdal, les contraintes des bétons confinés avec le tissu en fibres de verre et les bétons confinés avec le tissu recyclé ont présenté pratiquement les mêmes contraintes.
- Les bétons confinés ont présenté des résistances et des pentes supérieures par rapport à celle du béton témoin.
- Parmi tous les bétons confinés avec les différents tissus et selon les trois types de confinement, le béton confiné avec le tissu recyclé de manière hélicoïdale (CHTR) a présenté une pente légèrement supérieure par rapport à celles des autres bétons.

Afin d'assurer trois aspects importants sur le plan : résistance, économie et écologie on peut opter pour le confinement hélicoïdal avec du tissu recyclé.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **Oubraham C** (2012) « Simulation du comportement instantané et différé d'une zone fléchie en béton armé » ; Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [2] **BOURMATTE Nadjoua** (2017) « granulats recyclés de substitution pour bétons hydrauliques : béton de démolition - déchets de briques - déchets de verre » Thèse de doctorat Université des Frères Mentouri Constantine.
- [3] **MAMERY Serifou** (2013) Béton à base de recyclats : « Influence du type de recyclats et rôle de la formulation » Université Sciences et Technologies - Bordeaux I.
- [4] **AMARNI-Akila** (2015) « Valorisation des déchets de verre dans les bétons étude expérimentale », mémoire de fin d'étude, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [5] **Internet** : Google images
- [6] **Bahia Arab, Rachid Mehaddene, Yacine Bouchnab.** (2017) « Substitution du ciment CPA par la poudre de verre dans les mortiers à hautes performances » Laboratoire Géo-matériaux, Environnement et Aménagement, Université Mouloud Mammeri, Déchets Sciences et Techniques, N°75.
- [7] **Rachida IDIR** (2009) « Mécanismes d'action des fines et des granulats de verre sur la réaction alcali-silice et la réaction pouzzolanique », Thèse de doctorat, Université de Toulouse.
- [8] **Christian Desachy** (2001) « Les déchets sensibilisation à une gestion écologique » 2eme édition paris.
- [9] **Achili Kahina,** (2016/2017) « Poudre de verre dans le béton » mémoire master génie civil structure, Université Mouloud Mammeri.
- [10] **Pascale Maes** (2004) « Gestion des déchets de chantier », Guide méthodologique AFNOR.
- [11] **Brahim Djemaci** (2012) "la gestion des déchets municipaux en Algérie : Analyse prospective et éléments d'efficacité" thèse de doctorat, université de Rouen.
- [12] **Melhyas KPLE** (2015) « ETUDE DES VOIES DE VALORISATION DES DECHETS MENAGERS AU BENI », thèse de doctorat, Université de Lorraine, soutenue le 24 Novembre, p238.

[13] **Carter, G, J** "Contrôles « environnementaux et biologiques de la minéralogie et de la microstructure des coquilles bivalves ». Dans la croissance squelettique des organismes aquatiques. Enregistrements biologiques de la charge environnementale. (Ed. D.C Rhodes et R.A.Lutz) .plenum press, pp 69-115.

[14] **ZEGHAD MOHAMED** (2018) Recyclage des déchets inorganiques dans les nouveaux bétons : bétons autoplaçants (BAP), bétons fibrés ultra-hautes performances (BFUHP) ‘’, thèse de doctorat, Tizi-Ouzou.

[15] **AMRIOU Abderrachid**, (2019) « Matériaux composites », Thèse de doctorat, Université de Bordj Bou Arreridj, avril.

[16] **Site web:** mms2.ensmp.fr

[17] **Ahmed, O. et van Gemert, D.** (1999) Effect of longitudinal carbon fiber reinforced plastic laminates on shear capacity of reinforced concrete beams”, Proceedings of the Fourth International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures, Baltimore, Maryland, USA, edited by Dolan, C.W., Rizkalla, S.H. and Nanni, A., pp. 933-943, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA.

[18] **Abdalla, H.A.** (2002) Evaluation of deflection in concrete members reinforced with fibre reinforced polymer FRP bars”, Composites structures, Vol. 56, pp. 63-71.

[19] **AFGC:** Association française de génie civil (2003) “Réparation et renforcement des structures en béton au moyen des matériaux composites”, Documents scientifiques et Techniques - Recommandations provisoires-, Décembre 2003, 148 p.

[20] **Bardonnet, P.** (1992) “Résines époxy”, Technique de l’ingénieur, Traité Plastiques et Composites, A 3 465, A 3 466.

[21] **Bessière, J.F.** (1996) “La potentialité des matériaux composites de synthèse dans l’architecture”, Mémoire de fin d’études, École d’architecture de Paris Belleville.

[22] **Berbain, F., Chevalier, A et Choudin, C.** (1997) “Mise en œuvre des composites, Méthodes et Matériels”, A 3 720, Technique de l’Ingénieur, Traité Plastiques et Composites, volume AM 5.

[23] **Berreuer, L., De Maillard, B., et Nösperger, S.** (2002) “L’industrie française des matériaux composites”, Etude stratégique réalisée par Nodal Consultants pour le compte de la DiGITIP / SIM, Rapport final, Révision 2 du 13 mai 2002.

[24] **Mitsubishi Chemical Corporation Replark.** (1986) “Design guidelines of FRP for concrete structures”, Japanese Standard Association.

[25] **Master Builders, Inc. and Structural Preservation Systems.** (1998) “MBrace Composite Strengthening System: Engineering Design Guidelines”, 2nd edition. Cleveland, OH: Master Builders, Inc.

[26] **Youssef , M.N., Feng M.Q., et Mosallam A.S.** (2007) “ stress-strain model for concrete confined by FRP composites” Composites: Part B, Vol. 38, pp. 614-628.

[27] **Mr TREEA TAYEB.** (2011) « Etude paramétrique des modèles de confinement d'un cylindre en béton », Université de Tizi-Ouzou.

[28] **Ould El Hacem Zein El Abidine** (Mai 2016) : Renforcement du béton par les matériaux composites. Université de Tbesa.

[29] **Ahmed, S.H. et Shah, S.P.** (1982) “Stress-strain curves of concrete confined by spiral reinforcement”, ACI Journal, Vol. 79, No. 6, pp. 484-490.

[30] **Ballinger, C., Maeda, T. et Hoshijima, T.**(1993) “Strengthening of reinforced concrete chimneys, columns and beams with carbon fiber reinforced plastics”, Proceedings of the international Symposium on Fiber-reinforced-Plastic Reinforcements for Concrete Structures, ACI SP-138, pp. 243-248.

[31] **Berthet, J.F., Ferrier E. et Hamelin P.** (2005) “Compressive behavior of concrete externally confined by composite jackets”, Part A: experimental study”. Construction and Building Materials, Vol. 19, pp. 223-232.

[32] **Site web :** NOVEBETON

[33] **Site web :** www.granitex-dz.com

[34] **Site web :** www.quickfds.com

[35] **Tagnit-Hamou A, Nkinamubanzi P-C.**(2002) Les ajouts cimentaires et le développement durable. Note trimestrielle d'information du Centre d'Etudes et de Services Technologiques de l'Industrie des Matériaux de Construction, n° 08, p. 9–11.

[36] **Kojima T, Tagagi N and Haruta K.**(2000)Expandingcharacteristics of mortar in glass powderproducedfromwastebottles. 11 th International conference on Alkali AggregateReaction, Quebec.

[37] **Ana Mafalda Matos.** (2012)Durability of mortarusingwaste glass powder as cement replacement. Construction and Building Materials, 36, 205–215.

[38] **Kamali M,Ghahremaninezhad A.**(2015)Effect of glass powders on the mechanical and durabilityproperties of cementitiousmaterials. Construction and buildingmaterials, – Elsevier.