



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



Université Amar Telidji - Laghouat

Faculté de génie civil et architecture

Département de génie civil

MÉMOIRE DE MASTER

Présenté par

Belkhire Mohammed Adnane et Soualmi Nour El Zamene

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Civil

Option : Structure

Thème

**PERFORMANCE MECANIQUE DES BETONS
AUTOPLACANTS CONFINES EXTERIEUREMENT PAR
DIFFERENT TYPE DES GRILLES**

Jury de soutenance :

Nom et prénom	Grade	Qualité
Mr. Bouziani Tayeb	Professeur	Président
Mm. Bellakehal Haizia	Maître de conférences A	Examinatrice
Mr. Benabed Benchaa	Professeur	Rapporteur
Mr. Boukhelkhal Aboubakeur	Maître de conférences B	Co-rapporteur

LAGHOUCAT, 2020

Dédicace

Afin d'être reconnaissante envers ceux qui m'ont encouragé à effectuer ce travail, je dédie cette mémoire : À ma très chère mère et à mon très cher père qui n'ont cessé de me combler par leur amour et leur tendresse.

A mes frères Abderzzak et Ayoub, pour leurs encouragements tout au long de ces années À ma très chère sœurs Aridj et Soundos, pour son soutien moral, et pour tous les sentiments d'affection et d'amour qui représentent pour moi le pilier de tous mes efforts.

À toute ma famille, et spécialement mon Grand-père et ma grand-mère.

À mes amis : Islam, Radouan, Nouh et Abdou.

A mon ami et binôme :

Soualmi Nour El Zamene

En témoignage de l'attachement et des souvenirs que nous avons passés ensemble.

Et à tous ceux que ma réussite leur tient à coeur.

Dédicace

Afin d'être reconnaissante envers ceux qui m'ont encouragé à effectuer ce travail, je dédie ce mémoire : À ma très chère mère Pour souci de rester éveillé et de sa fatigue, son éducation n'est que salutations et révérence et à mon très cher père A mes frères Oussama et Houcine, pour leurs encouragements tout au long de ces années.

À mes amis :

Islam, Badreddine, Halim

Et

*Mohammed, Maarouf, Lamine, Yacine, Aïssa,
Marouane, Anouar, Moussa, Hami*

A mon ami et binôme :

Belkhire Mohammed Adnane

En témoignage de l'attachement et des souvenirs que nous avons passés ensemble.

Et à tous ceux que ma réussite leur tient à cœur.

REMERCEMENTS

*Tous nos remerciements et notre reconnaissance envers
Pr. Benabed Betchaa, et Dr. Boukhelkhal Aboubakeur, enseignants
chercheurs au département de génie civil de l'université Amar Telidji
à Laghouat qui ont consacré et sacrifié une partie de leurs temps pour
nous orienter et conseiller pour arriver à finaliser ce travail de
recherche.*

*Nous remercions Monsieur Bouziani Tayeb, professeur à l'université
Amar Telidji de Laghouat, et Madame Bellakehal Haizia, Maître de
conférences A à l'université Amar Telidji de Laghouat qui ont accepté
de faire partie du jury de soutenance.*

*Nous sincères remerciements sont aussi adressés à l'ensemble d'équipe
de laboratoire de recherches de génie civil pour ses aides et ses conseils
tout au long de la réalisation de la partie expérimentale.*

*Nous remercions également toute l'équipe de laboratoire de travaux
public à Laghouat pour son aide dans la réalisation des essais
d'écrasement des éprouvettes.*

*Enfin, nous exprimons nos vifs remerciements à tous ceux qui ont
contribué de près ou de loin à notre formation d'études, en particulier
l'ensemble des enseignants du département de génie civil de Laghouat.*

Résumé

Ce travail vise à étudier l'effet du confinement extérieur des colonnes avec différents types des grilles. L'objectif principal est de quantifier l'apport en résistance et en déformation que peut confère le confinement aux colonnes et son influence sur le mode de rupture sous compression uniaxiale. Pour cette raison, des cylindres de dimensions 16*32cm en bétons autoplaçant ont été préparés et confinés extérieurement avec des grilles plastiques, végétales et métalliques de forme différente : losange, triangle et carré. Les résultats obtenus montrent qu'il est possible d'augmenter substantiellement la ductilité des colonnes, et dans certains cas, leur résistance. On a constaté également, lors de l'écrasement que le mode de rupture du béton autoplaçant confiné est très influencé par la présence des grilles.

Mots clés : béton confiné, grilles, confinement extérieure, comportement mécanique, mode de rupture.

ملخص

يهدف هذا العمل إلى دراسة تأثير الحصر الخارجي للأعمدة بمختلف أنواع الشبكات. الهدف الرئيسي هو تحديد المساهمة في المقاومة والتشوه التي يمكن أن يعطيها الحصر الخارجي للأعمدة وتأثيرها على طريقة تحطم العينات تحت تأثير الضغط أحادي المحور. لهذا السبب، تم تحضير أسطوانات بأبعاد 16 * 32 سم من الخرسانة ذاتية الرص وحصرها خارجياً بشبكات مختلفة في نوع مادتها: بلاستيك، حديد ونباتية وفي أشكالها: معين، مثلث، مربع. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أنه من الممكن زيادة ليونة الأعمدة بشكل كبير، وفي بعض الحالات مقاومتها. وقد وجد أيضاً أثناء التحطم أن تكسر الخرسانة يتأثر بشدة بوجود الشبكات.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة المحصورة، الشبكات، الحصر الخارجي، سلوك الميكانيكي، طريقة تحطم العينات.

Abstract

This work aims to study the effect of the exterior confinement of columns with different types of grids. The main objective is to quantify the contribution in resistance and in deformation that the confinement can confer on the columns and its influence on the mode of failure under uniaxial compression. For this reason, cylinders of dimensions 16 * 32cm of self-consolidating concrete were prepared and confined externally with plastics, vegetable and metals grids of different shape of meshes: (rhombus, triangle, square). The results obtained showed that it is possible to significantly increase the ductility of the columns, and in some cases their resistance. It was also found that the failure mode of concrete is strongly influenced by the presence of the grids.

Key words: confined concrete, grilles, exterior confinement, mechanical behavior, mode of failure.

Table des matières

Dedicace.....	II
Remerciements	III
Résumé.....	IV
Liste des figures	VII
Liste des tableaux	VII
Introduction générale	X

Chapitre 1 : Etude bibliographique sur le renforcement et le confinement des éléments en béton

1.1 Introduction	3
1.2 Matériau béton	3
1.2.1 Historique	3
1.2.2 Les types du béton	4
1.2.3 Dégradation du béton.....	5
1.2.4 Les types de dégradation	6
1.2.4.1. Pathologies d'origine physique.....	6
1.2.4.2 Pathologies d'origine mécanique.....	8
1.2.4.3 Pathologies d'origine chimique	9
1.2.5 Les Techniques de réparation des structures dégradées	11
1.3 Renforcement du béton par confinement à partir des matériaux composites	12
1.3.1 Définition.....	12
1.3.2 Caractéristique générale	13
1.3.2.1 Renfort	13
1.3.2.2 Matrice	15
1.3.4 Avantages des matériaux composites	16
1.3.5 Mécanisme de confinement	17
1.3.5.1 Les techniques de confinement des colonnes	17
1.3.5.2 Confinement des colonnes à l'aide de PRF	19
1.3.5.3 Confinement des colonnes à l'aide des grilles composites.....	21

Chapitre 2 : Caractérisation des matériaux et protocole expérimental

2.1 Introduction	26
2.2 Caractérisation de matériaux	26
2.2.1 Granulats	26
2.2.1.1 Masses volumiques	26
2.2.1.2 Coefficient d'absorption d'eau des granulats (C_{Ab} %) : NF P18-555	27
2.2.1.3 Equivalent de sable (E_s) : NF P18-597	28
2.2.1.4 L'analyse granulométrique : NF P94-056	29
2.2.1.5 Module de finesse (M_f) : NF P18-360	29
2.2.2 Superplastifiant	30
2.2.3 Ciment	30
2.2.4 Poudre de marbre	31
2.2.5 Les grilles	32
2.3 Formulation du béton autoplaçant	34
2.4 Procédure de malaxage	34
2.5 Caractérisation du béton autoplaçant à l'état frais	35
2.5.1 Essai d'étalement	35
2.5.2 Essai à l'entonnoir en V	35
2.5.3 Essai à la boîte en L	36
2.5.4 Essai de ségrégation dynamique au tamis	36
2.6 Procédure de confinement	37
2.7 Confection et préparation des éprouvettes	38
2.8 Exécution de l'essai	38

Chapitre 3 : Analyse et discussion des résultats

3.1 Introduction	40
3.2 Caractérisation du BAP à l'état frais	40
3.3 Comportement mécanique du BAP non confiné	41
3.4 Comportement mécanique du BAP confiné par des grilles plastiques	42
3.5 Comportement mécanique du BAP confiné par des grilles métalliques	42

3.6 Comportement mécanique du BAP confiné par des grilles végétales.....	43
3.7 Mode de rupture des colonnes.....	47
3.7.1 Rupture du béton non confiné.....	47
3.7.2 Rupture du béton confiné par des grilles plastiques.....	47
3.7.3 Rupture du béton confiné par des grilles métallique.....	48
3.7.4 Rupture du béton confiné par des grilles végétal.....	49
3.8 Comparaison entre confinement intérieur et extérieur.....	51
Conclusion générale.....	54
Références bibliographiques.....	55

Liste des figures

Figure 1.1: Dégradation d'un ouvrage soumis au gel-dégel.	6
Figure 1.2: Effet de séisme.....	6
Figure 1.3: Retrait après le bétonnage.....	7
Figure 1.4: Tassement différentiel.....	8
Figure 1.5: Carbonatation du béton et conséquences sur la structure.	9
Figure 1.6: Fissurations grossières dues à l'alcali-réaction.....	10
Figure 1.7: Influence de la corrosion des armatures dans la structure.	10
Figure 1.8: Constituants d'un matériau composite.....	12
Figure 1.9: Organigramme des principaux matériaux de renforts.	14
Figure 1.10: Organigramme des principales familles des matrices.....	15
Figure 1.11: Utilisation des PRF dans le génie civil.	18
Figure 1.12: Confinement des poteaux par stratification directe.	19
Figure 1.13: Système de confinement par appareil d'enroulement filamentaire.	19
Figure 1.14: Chemisage par coquille préfabriquées.....	20
Figure 1.15: Action de confinement d'un composite PRF.....	21
Figure 1.16: Exemples d'arrangements des grilles composite.	22
Figure 1.17 : Courbe contrainte-déformation de béton témoin et confiné par des grilles plastiques.	22
Figure 1.18 : Courbe contrainte-déformation du béton témoin et confiné par des grilles métalliques.	23
Figure 1.19 : Courbe contrainte-déformation du béton témoin et béton confiné avec les différentes grilles végétales.....	23
Figure 2.1 : Essai de coefficient d'absorption.....	27
Figure 2.2 : Essai de l'équivalent de sable.	28
Figure 2.3 : Courbes d'analyse granulométrique de sable et de gravier 8/15 et 3/8	29
Figure 2.4 : Ciment de GICA.	31
Figure 2.5 : Poudre de marbre.....	31
Figure 2.6 : grille plastique de forme : triangulaire, rectangulaire, losange.....	32
Figure 2.7 : Grilles d'Alfa et Métalliques Carrée.....	33
Figure 2.8 : Essai d'étalement au cône d'Abrams.	35

Figure 2.9 : Essai v-funnel.	35
Figure 2.10 : Essai de boîte en L.	36
Figure 2.11 : Essai de stabilité au tamis.	36
Figure 2.12 : Arrangements des grilles composites - techniques 1	37
Figure 2.13 : Arrangements des grilles composites - techniques 2	37
Figure 2.14 : Durcissement des éprouvettes.....	38
Figure 2.15 : Procédure de l'essai de compression et dispositif de déformation verticale.	39
Figure 3.1: Courbe contrainte-déformation du BAP non confiné (témoin).	41
Figure 3.2: Courbes contrainte-déformation de béton témoin et de béton confiné par différentes grilles plastiques.....	42
Figure 3.3: Courbes contrainte-déformation du béton témoin et béton confiné avec les grilles métalliques.....	43
Figure 3.4: Courbes contrainte-déformation du béton témoin et béton confiné avec les différentes grilles végétales.....	44
Figure 3.5: Diagramme de contraintes maximales de BAP témoin et des bétons confinés par de différents types de grilles.....	45
Figure 3.6: Diagramme des déformations Max de BAP témoin et de béton confiné par les différentes grilles.....	45
Figure 3.7: Diagramme des déformations ultimes de BAP témoin et de béton confiné par les différentes grilles.....	46
Figure 3.8: Modules d'élasticité (E) de béton témoin et de béton confiné par les différentes grilles.....	46
Figure 3.9: Mode de rupture de béton témoin.....	47
Figure 3.10: Mode de rupture du BAP confiné par des grilles plastiques.....	48
Figure 3.11: Mode de rupture du BAP confiné avec des grilles métalliques.....	48
Figure 3.12: Mode de rupture du BAP confiné avec des grilles végétales.....	49

Liste des tableaux

Tableau 2.1: Propriétés physiques des granulats.....	30
Tableau 2.2: Propriétés chimiques de ciment et poudre de marbre.....	32
Tableau 2.3: Les caractéristiques de grilles plastique, métalliques et végétales.....	33
Tableau 2.4: Formulation du BAP pour 1m ³	34
Tableau 3.1: Résultats obtenus et valeurs préconisées par l'EFNARC	40
Tableau 3. 2: Résultats expérimentaux des variantes étudiées.....	50
Tableau 3. 3: Résultats de gains de résistance et ductilité en compression axiale.....	51
Tableau 3. 4: Résultats des gains de résistance et ductilité en compression axiale des cylindres confinés extérieurement et intérieurement.....	52

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le béton fait partie de notre cadre de vie, c'est l'un des matériaux de construction les plus utilisés dans le monde. En effet, la simplicité de sa fabrication et de sa mise en place, son aspect durable et économique en plus des performances mécaniques qu'il assure, ont légitimé son utilisation pour réaliser les ouvrages les plus divers. Le béton est utilisé dans tous types de construction : bâtiments, ouvrages d'art, monuments...

Aujourd'hui, le béton doit répondre aux exigences les plus strictes en termes de performances mécaniques, de durabilité, d'ouvrabilité, d'environnement et d'aspect. Cependant, les structures en béton sont exposées à un problème majeur c'est la dégradation. Les causes de dégradation structurelle sont nombreuses, parmi lesquelles nous mentionnons : la corrosion des armatures, les actions accidentelles, un changement de l'exploitation....

Afin d'éviter la démolition des structures en béton en raison de leur exposition aux facteurs de dégradation, plusieurs techniques ont été développées pour renforcer les éléments structurels et prolonger leur durée de vie ainsi que pour augmenter leur résistance et ductilité. Parmi ces techniques : le renforcement par confinement à l'aide des matériaux composites.

Beaucoup d'observations ont montré que la rupture des colonnes, peut avoir comme conséquence l'effondrement total des structures, particulièrement pendant des tremblements de terre. Ainsi, la résistance et la ductilité des colonnes sont les paramètres les plus importants dans n'importe quelle structure [1].

Plusieurs chercheurs ont rapporté que le confinement de béton par arrangement approprié du renfort transversal a comme conséquence un accroissement significatif de la résistance et de la ductilité. L'objectif principal de cette recherche est d'étudier expérimentalement le comportement mécanique des cylindres de béton autoplaçants confinés extérieurement par des grilles de différentes formes et de différents matériaux (plastique, métallique et végétale).

Ce mémoire est composé de trois chapitres avec une introduction générale et une conclusion générale :

- Le premier chapitre présente une étude bibliographique sur le renforcement en confinement des éléments structuraux en béton.

- Le deuxième chapitre est consacré en premier lieu à la caractérisation des matériaux utilisés. Ensuite, nous décrivons la méthode de formulation et les essais réalisés aux états frais et durcis.
- Le troisième chapitre est destiné à l'analyse et la discussion de différents résultats obtenus.

Chapitre 1

Etude bibliographique sur le
renforcement et le confinement
des éléments en béton

1.1 Introduction

Les études et recherches concernant la durabilité du béton connaissent un engouement et un développement accru, notamment à travers les effets résultants de l'exposition des ouvrages en béton aux actions climatiques et environnementales.

La durabilité d'un ouvrage caractérise sa capacité à conserver dans les conditions prévues les fonctions d'usage pour lesquelles il a été conçu (fonctionnement structurel, sécurité, confort des usagers... etc.) et à maintenir son niveau de fiabilité et son aspect, dans son environnement, avec des frais de maintenance et d'entretien aussi réduits que possible.

Aujourd'hui, la durabilité est appréhendée en considérant un ensemble de propriétés dont, bien sûr, la résistance mécanique à 28 jours. Les autres caractéristiques prises en compte visent à assurer l'adéquation entre les propriétés physico-chimiques du béton et les contraintes qui s'appliquent à l'ouvrage. Les caractéristiques à prescrire pour garantir la pérennité des ouvrages sont désormais plus complètes et plus précises. Elles dépendent de l'environnement auquel sera soumis l'ouvrage et se traduisent par des spécifications sur la nature et le dosage minimal en ciment, la compacité minimale, la valeur maximale du rapport Eau/Ciment, l'enrobage minimal et la teneur maximale en chlorures dans le béton.

1.2 Matériau béton

1.2.1 Historique

Depuis son invention, le béton a toujours été considéré comme le matériau de construction des ouvrages de génie civil par excellence. La principale qualité du béton est son excellente résistance à la compression mais son principal défaut est sa faible résistance à la traction qui ne représente qu'environ 10% de sa résistance en compression. La plus grande partie des ouvrages de génie civil est conçue pour une durée de 100 ans en moyenne, mais le béton est un matériau relativement fragile, puisqu'environ de 30% des ouvrages nécessitent une réparation pour assurer la sécurité des usagers avant d'arriver à leur limite de vie utile.

Vers 2600 avant JC, les Assyriens et les Babyloniens ont employé l'argile comme un matériau liant. Cependant, les Egyptiens ont utilisé un ciment à base de chaux et de gypse. Déjà connu et utilisé par les grecs et, surtout les romains, le mortier est un matériau destiné à assurer dans les ouvrages en maçonnerie la liaison entre les éléments constitutifs. La chaux (CaO) fut, bien avant le ciment, le constituant de base des mortiers, les romains réinventent et améliorent la technique du mortier. Ce ciment romain fut utilisé jusqu'au 17^{ème} siècle. En 1756.

En 1824 l'anglais **Joseph Aspdin** qui a fait breveter le ciment portland en 1824 [2]. De même, en 1849 **Josèphe Monier** [3] a inventé le béton armé à partir de l'idée de renforcer les bacs à fleurs qu'il construisait en béton en y incorporant des barres en fer qui permet au béton de supporter partiellement les contraintes de traction. Cette nouvelle invention a été brevetée en 1967. En 1928 **Eugène Freyssinet** [4] a inventé le béton précontraint pas fils adhérents. Dans les années 1980 les bétons à haute performance ont été fabriqués aux Etat – Unis et au Japon dont la résistance à la compression atteint 100 MPa. En laboratoire, on obtient des résistances supérieures à 600 Mpa [2].

A partir du milieu du 19^{ème} siècle , le ciment est non seulement un liant ou, plus exactement, la base de différentes liants (mortiers pour les éléments secs de la construction (pierres de tailles, briques) mais surtout la clés d'un matériau nouveau qui va ouvrir des perspectives immenses au bâtiments et aux travaux publics : le béton depuis cette époque, son histoire celle de l'amélioration de ses techniques de la fabrication et de mise en œuvre est indissociable de l'évolution de l'architecture

1.2.2 Les types du béton

Avec les nouveaux moyens technologiques, la famille des bétons est en constante évolution. Le béton est un matériau dont la composition peut évoluer. On peut adapter son dosage at ses constituants en fonction des performances recherchées il existe plusieurs types de béton :

- Béton léger,
- Béton lourd,
- Béton fibré,
- Béton ordinaire,
- Béton autoplaçant,
- Les bétons hauts performances,
- Béton à durcissement rapide,
- Béton compacte au rouleau

➤ Béton autoplaçant

Après la recherche du gain maximum de résistance et de durabilité, une étape supplémentaire été franchie avec les bétons autoplaçants (BAP). Plus qu'une nouvelle famille de béton, les BAP constituent davantage une nouvelle technologie de construction. Celle-ci visait en effet au

départ (fin des années 1980, au Japon) à optimiser la productivité des constructions en béton. Par béton autoplaçant (BAP), on désigne un béton très fluide, très déformable, stable et mis en œuvre sans vibration (la compaction des BAP s'effectuant par le seul effet gravitaire). Il confère à la structure une qualité au moins équivalente à celle correspondant au béton classique mis en œuvre par vibration, il garantit à la structure la résistance et la durabilité [5].

Les avantages de béton autoplaçant sont :

- Avantages techniques
 - Facilité et rapidité dans la mise en œuvre du béton ;
 - Bétonnage en milieux fortement ferrailés ;
 - Réalisation d'éléments de forme complexe.
- Avantages économiques
 - Réduction du coût de la main d'œuvre et du temps de bétonnage ;
 - Absence de systèmes de vibration réduisant ainsi les coûts et les nuisances sonores dans et au voisinage du chantier.
- Avantages écologiques
 - Diminution de la quantité de CO₂ émise par l'industrie cimentaire (due à la réduction de la quantité de ciment nécessaire au BAP)
 - Utilisation des additions minérales (poudre de marbre poudre de calcaire)

1.2.3 Dégradation du béton

Le béton armé est le matériau de base le plus utilisé dans le génie civil depuis plus d'un siècle. Il peut se dégrader et perdre une part de ses propriétés sous l'influence de causes multiples qui peuvent être liées à sa qualité originelle ou à des sollicitations d'exploitation ou d'environnement. Des pathologies apparentes ou cachées peuvent survenir. Afin de connaître leur nature, leur étendue et leur potentialité d'évolution, on établit un diagnostic nécessaire pour la prise des décisions relatives à la maintenance de l'ouvrage concerné.

1.2.4 Les types de dégradation

1.2.4.1. Pathologies d'origine physique

a) - Gel-dégel

La Figure 1. 1 représenté le phénomène de gel-dégel dans les zones où le climat est très froid, l'eau absorbée par le béton gèle si elle est exposée à des températures inférieures à 0°C, le béton augmente de volume et la pression résultante pourra éclater ou épaufrer la surface du béton.

L'eau infiltrée dans le béton augmente de 9 % en volume lors du gel. Cette augmentation de volume engendre des contraintes internes créant ainsi des fissurations [6]. La succession des cycles d'humidification et de gel élargit peu à peu ces microfissures qui amèneront la destruction en surface du béton.



Figure 1.1: Dégradation d'un ouvrage soumis au gel-dégel.

b) - Séisme

Un séisme est une manifestation de la tectonique des plaques. Il se traduit en surface par une vibration du sol provenant d'un déplacement brutal de la roche. En surface, un séisme peut dégrader ou détruire des bâtiments, produire des décalages de la surface du sol de part et d'autre des failles, **la Figure 1. 2** représente un effondrement du pont de l'effet de séisme (cisaillement des poteaux) et une autre effondrement d'une maison de l'effet de tassement de terre



Figure 1.2: Effet de séisme.

c) - Retrait

Le retrait est un phénomène physico-chimique qui existe de façon systématique au sein du béton. Il correspond à l'action du départ de l'eau excédentaire du béton vers l'extérieur de

l'élément de structure. Le symptôme caractéristique de l'action du retrait sur un ouvrage est la fissuration qui peut être soit orientée, soit multidirectionnelle (**Figure 1.3**).

Les différents types de fissures de retrait peuvent être classés, suivant leur ordre chronologique d'apparition, en trois types [7] :

- Fissures apparaissant une ou deux heures après le bétonnage : ces fissures sont provoquées par le tassement du béton frais. Elles sont relativement profondes et ouvertes et affectent les surfaces horizontales provoquant un gradient vertical de l'ensemble des caractéristiques physiques et mécaniques.
- Fissures apparaissant juste après le décoffrage : ces fissures affectent aussi bien les surfaces horizontales que les parements verticaux. Ces fissures sont généralement fines et peu profondes, mais elles peuvent être plus ouvertes lorsque le retrait thermique en est la cause.
- Fissures apparaissant plusieurs jours ou plusieurs mois après le décoffrage : ces fissures sont créées par le retrait à long terme. Ce retrait résulte du départ de l'eau en raison de la mise en équilibre hygrométrique de la structure en béton avec son milieu extérieur.



Figure 1.3: Retrait après le bétonnage.

1.2.4.2 Pathologies d'origine mécanique

a) - Chocs

Le béton est susceptible de s'épauprer quand il est soumis à des ondes de choc. Ceci est dû aux différentes vitesses de propagation des ondes dans les différents matériaux (les agrégats, le liant et les armatures) [8].

b) - Défauts de conception

La plupart du temps, ce type d'erreurs résulte d'une insuffisance consécutive à des oublis ou à des impasses au niveau des études, parfois aussi d'un manque de coordination entre le bureau d'études et le chantier.

c) - Tassement différentiel

Lorsqu'un sol tasse d'une façon inégale sous les différents points d'une fondation, on dit qu'il y a un tassement différentiel. Il se manifeste soit par un basculement soit par de graves désordres dans les éléments non structuraux et parfois dans la structure elle-même si les efforts sont incompatibles avec la sécurité des matériaux. **La Figure 1.4** présente le tassement différentiel d'un bâti individuel



Figure 1.4: Tassement différentiel.

1.2.4.3 Pathologies d'origine chimique

a) - Carbonatation

La carbonatation est un phénomène de vieillissement naturel des matériaux. Elle conduit à la formation du carbonate de calcium par réaction chimique entre le portlandien et le gaz carbonique présent dans l'air. Le taux de présence du gaz carbonique varie en fonction du milieu où se trouve l'ouvrage.

Cette réaction contamine la basicité des bases alcalines présentes dans la solution interstitielle du béton conduisant à une diminution du Ph du béton de 13 à une valeur avoisinant 8 voire moins [7]. $CO_2 + C(OH) \rightarrow CaCO_3 + H_2O$



Figure 1.5: Carbonatation du béton et conséquences sur la structure.

b) - Attaque des sulfates

Les sulfates peuvent se rencontrer essentiellement dans les zones agricoles où on utilise les engrais et fertilisant du sel, Les sulfates peuvent aussi provenir des fumées et des résidus dégagés par les industries chimiques, En réaction avec la pâte de ciment, trois composés peuvent se former en fonction de la concentration en sulfates. Du Ph et de la température, l'ettringite, le gypse et la thaumasite.

c) - Alkali-réaction

Les alcali-réactions sont des réactions chimiques entre certaines formes de silice ou de silicate contenus dans les granulats et les alcalins du béton. Les mécanismes de l'alcali-réactions sont complexes et font toujours l'objet de travaux de recherche. Les principales conséquences de cette réaction consistent en la formation d'un gel expansif, entraînant un gonflement du béton. Ce gonflement engendre à son tour des contraintes internes au sein de la structure. Il en résulte une expansion de la structure, ainsi qu'une création de fissures de différentes formes (**Figure 1.6**). Les études ont montré que trois conditions doivent être simultanément remplies pour que ces réactions aient lieu [9] :

- Le granulats doit être réactif.
- Une grande concentration en alcalins.
- Un taux d'humidité relativement élevé compris entre 80 et 85%.



Figure 1.6: Fissurations grossières dues à l'alcali-réaction.

d) – La corrosion des armatures

Certaines attaques chimiques conduisent à la corrosion des armatures, On peut définir la corrosion comme la transformation des métaux en composé divers sous de phénomènes naturels, La dégradation causée par ce phénomène est facile à déceler. Les symptômes en sont : Une surface oxydée, piquée, laissant apparaître en général des plaques et écailles d'oxydes facilement détachables, d'aspect rouge brun, typique [8].

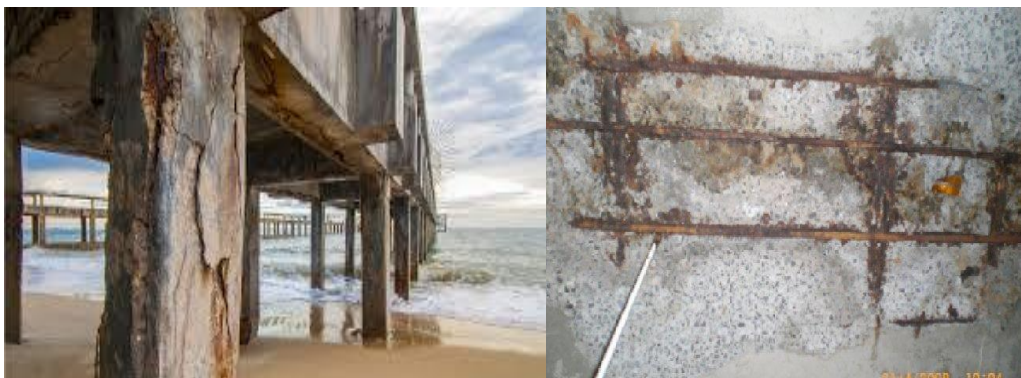


Figure 1.7: Influence de la corrosion des armatures dans la structure.

1.2.5 Les Techniques de réparation des structures dégradées

Différentes techniques de réparation et de maintenance des ouvrages sont utilisées depuis de nombreuses années. Le choix de la méthode de réparation et des matériaux à mettre en œuvre sont défini en fonction de la nature et de l'importance des dégradations constatés.

- **Protection :** Pour assurer par exemple des fonctions d'étanchéité ou à limiter les phénomènes de corrosion.

- **Réparation** : Restituer les caractéristiques initiales de portance (rigidité/résistance).
- **Renforcement** : Améliorer les performances de la structure vis-à-vis des conditions d'exploitations modifiées ou augmenter la durée de vie de l'ouvrage Armé.

Les techniques de réparation du béton dégradé les plus connues et les plus utilisées c'est le renforcement du béton par confinement par des matériaux composites dans la section suivante ce qui nous intéresse au cas de renforcement des structures par confinement en utilisant les matériaux composites.

1.3 Renforcement du béton par confinement à partir des matériaux composites

1.3.1 Définition

Depuis une dizaine d'année, l'utilisation des matériaux composites a connu un essor important que soit dans l'industrie mécanique, dans l'aéronautique et surtout dans la construction civile. Ces matériaux sont susceptibles de substituer l'acier, en vue de leurs avantages qu'ils présentent à savoir : la résistance, la légèreté et l'insensibilité à la corrosion. Les matériaux composites à base de fibres sont une solution très attractive pour répondre au besoin de renforcement et de réhabilitation des constructions en béton armé.

De plus ils présentent un avantage économique, car ils peuvent être mis en œuvre directement sur les structures par moulage au contact ou par stratification directe. Ceci permet de réduire considérablement le poids propre des structures et leurs coûts liés à la manipulation des matériaux ainsi que les problèmes liés aux interruptions de trafic. Cette section permet tout d'abord de comprendre le principe, les types et comportement typique des matériaux composites utilisés dans la construction [10].

Un matériau composite est une combinaison de deux ou plusieurs matériaux distincts à l'échelle macroscopique, dans le but de produire un matériau possédant des propriétés meilleures que celles de ses constituants pris séparément. En effet, un matériau composite est constitué de deux phases inertes : la matrice et le renfort, lequel se présente le plus souvent sous forme de fibres. La matrice, généralement ductile mais possédant une résistance et une rigidité faible, sert de milieu de transfert des efforts vers les fibres. Ces matériaux disposent d'atouts important par rapport aux matériaux traditionnels, ils apportent de nombreux avantages fonctionnels [11] :

- La légèreté ;

- Grande résistance à la fatigue Grande résistance à la fatigue ;
- Une bonne isolation électrique ;
- Faible vieillissement sous l'action de l'humidité de la chaleur et de la corrosion.

Toutefois, un certain nombre de désavantages sont associés aux matériaux composites :

- Cout important du passage matériau métallique à matériau composite, prenant en compte le cout matériau (des constituants) et le cout associe au procédé de fabrication ;

Dispersion plus importante, induisant un surcout des campagnes de qualification matériaux due aux nombres de répétitions d'essais imposées

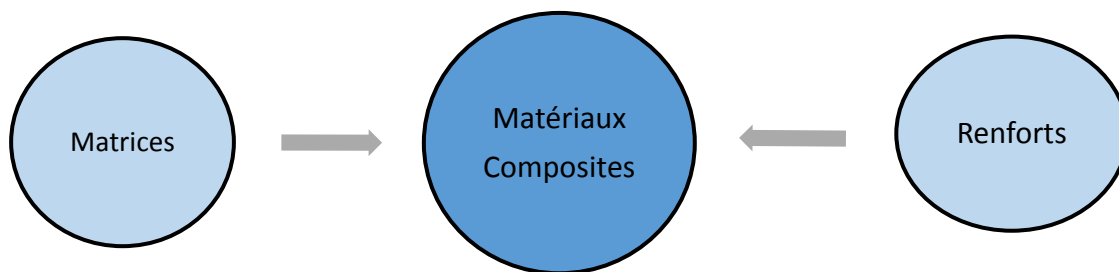


Figure 1.8: Constituants d'un matériau composite.

1.3.2 Caractéristique générale

Un matériau composite est une combinaison de deux ou plusieurs matériaux distincts à l'échelle macroscopique, dans le but de produire un matériau possédant des propriétés meilleures que celles de ses constituants pris séparément. En effet, un matériau composite est constitué de deux phases inertes, la matrice et le renfort, lequel se présente le plus souvent sous forme de fibres. La matrice, généralement ductile mais possédant une résistance et une rigidité faible, sert de milieu de transfert des efforts vers les fibres.

Les matériaux composite base de fibre sont composés d'un renfort noyé dans une matrice, les composites unidirectionnelles sont les plus courants, le comportement mécanique des matériaux composites dépend de plusieurs facteurs principaux : le type de fibres, le types de matrice et leu fraction volumique respective [10].

1.3.2.1 Renfort

Les causes qui conduisent à un renfort structurel sont aussi nombreuses que le nombre de structures elles-mêmes, chaque cas doit être considéré comme un cas particulier. Les plus fréquentes sont [6].

- Accroissement des charges qui sollicitent la structure :
 - Changement d'usage de la structure (exemple : bâtiment d'habitation Réhabilité en centre commercial) ;
 - Augmentation du niveau d'activité dans la structure (exemple : anciens Ponts soumis au trafic actuel) ;
 - Installation de machinerie lourde dans les bâtiments industriels.
- Défauts dans le projet ou dans l'exécution :
 - Armature insuffisante ou mal placée, mauvais matériaux ;
 - Dimensions insuffisantes des éléments structurels.
- Rénovation des structures anciennes :
 - Prise en compte de renforts par des sollicitations non considérées au moment du projet ou de la construction (vibration, actions sismiques et autres), connaissance des insuffisances de la méthode de calcul utilisée lors de la conception, ainsi que des limitations montrées par des structures calculées durant une époque où une période ;
 - Vieillesse des matériaux avec une perte des caractéristiques initiales.
 - Changement de la forme de la structure :
- Suppression de poteaux, piliers, murs porteurs, élargissement de portées de calcul ;
 - Ouverture de passages en dalles pour escaliers ou ascenseurs.
- Dégâts dans la structure :
 - Corrosion et diminution de la section des armatures dans le béton ;
 - Incendies.

Les renforts contribuent à améliorer la résistance mécanique à la traction et la rigidité des matériaux composites ils se présentent souvent sous forme filamentaire. Parmi les fibres les plus connues en génie civil, on peut citer : le carbone, le verre et l'aramide comme montré à la

Figure 1.9, Les renforts fibres se présentent sous formes différentes :

- Sous forme de roving : c'est un assemblage de fils de bases parallèles groupés sans torsion ;

- Sous forme de tissu : ce tissu est formé par l'entrecroisement perpendiculaire des roving ;
- Sous forme de mat : c'est un matelas de fils coupés ou continus à ensimage plastique aggloméré par un liant à solubilité rapide ou lente dans la résine [11].

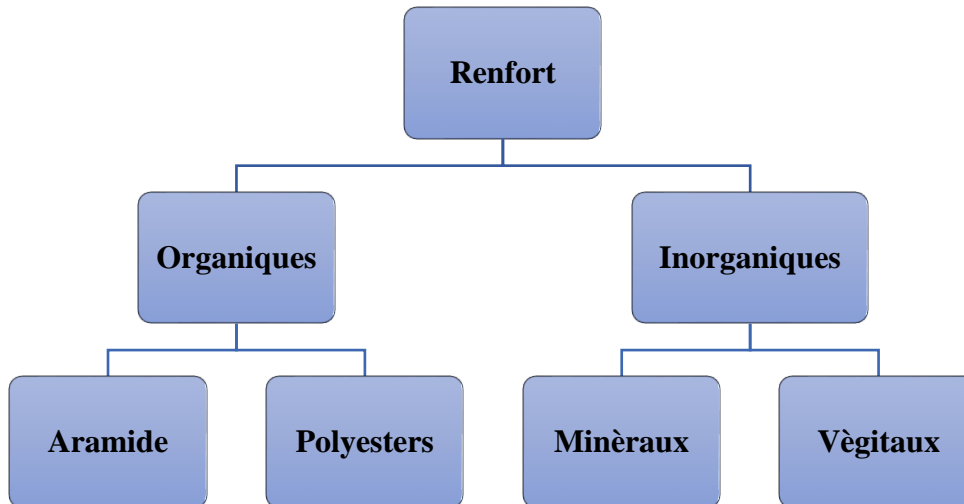


Figure 1.9: Organigramme des principaux matériaux de renforts.

1.3.2.2 Matrice

Les matrices sont des matériaux isotropes elles ont pour rôle de transférer les contraintes apportées sur le matériau aux fibres, de les protéger contre les agressions extérieures et donnent la forme du matériau. Elles doivent être en outre assez déformable et présenter une certaine compatibilité avec le renfort. Ainsi, pour pouvoir apporter aux matériaux composites des propriétés mécaniques élevées, les résines doivent posséder des masses volumiques faibles [12].

- Matrices thermodurcissables

Les résines thermodurcissables ont des propriétés mécaniques élevées. Ces résines ne peuvent être mises en forme qu'une seule fois. Elles sont en solution sous forme de polymère non réticulé en suspension dans des solvants. Les résines polyesters insaturées, les résines de condensation (phénoliques, amioplastes, furaniques) et les résines époxy sont des résines Thermodurcissables [13].

- Matrices thermoplastiques

Les résines thermoplastiques ont des propriétés mécaniques faibles. Ces résines sont dures et solides qui nécessitent une transformation à très haute température. Les polychlorures de vinyle

(PVC), les polyéthylènes, polypropylène, polystyrène, polycarbonate polyamide sont quelques exemples de ces résines thermoplastiques. De même que pour les résines thermodurcissables, les matériaux les plus performants ont des caractéristiques mécaniques élevées et une masse volumique faible [14].

- **Matrices métalliques et céramiques**

Sont utilisées respectivement pour les applications hautes (<500°C) et très hautes températures (>1000°C). Ce type de matrice ne peut être associé qu'à des fibres Sic ou des fibres de carbone. Le cout de fabrication de ces matériaux est très élevé [15].

- **Les Matrices thermostables**

Elles présentent de bonnes propriétés mécaniques jusqu'à des températures relativement élevées (<300°C) pour des matrices organiques. Elles sont utilisées pour la fabrication de circuits imprimés (matrice bismaleimides) ou pour des pièces aéronautiques.

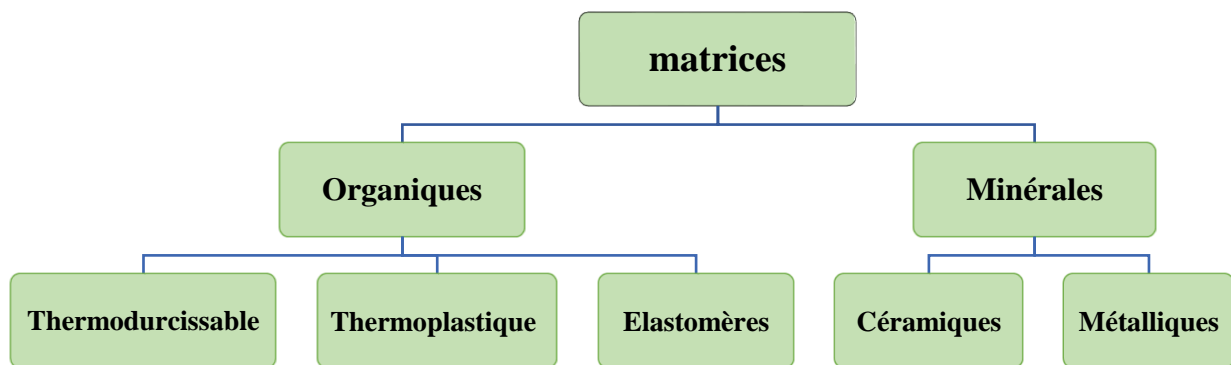


Figure 1.10: Organigramme des principales familles des matrices.

1.3.4 Avantages des matériaux composites

Les matériaux composites présentent des avantages tels que [8] :

- Résistance mécanique : pour une même section d'acier, la résistance des fibres de composites est plus élevée ;
- Poids : la densité des matériaux composites représente 20% de celle des platines d'acier ; pour une même résistance ultime le poids de PRF (Polymère Renforcé en Fibre) est inférieur de 10% au poids des platines d'acier ;
- Maniabilité : les bandes des matériaux composites présentent une large flexibilité qui facilite la mise en œuvre et son application dans les zones confinée ;
- Vu la difficulté d'assemblage et de transport sur site des platines d'acier, les PRF sont beaucoup plus concluants que ces derniers ;

- Facilité de préparation de surfaces ;
- Le non nécessité d'une fixation mécanique : comparativement aux platines d'acier, cependant le collage des matériaux composites doit être minutieux ;
- La durabilité du système de renfort : la bonne tenue des matériaux composites à la corrosion par rapport à celle des platines d'acier, qui peuvent être contaminés par le chlorure ou leurs zones de fixation seront fissurées ;
- Réduction du risque gel- dégel : la mise en œuvre du bandage des matériaux composites favorise une bonne étanchéité vis-à-vis de la formation du phénomène gel- dégel ;
- La maintenance et entretien : le système de renforcement de matériaux composites n'exige pas un entretien, par contre le renforcement par les platines d'acier demande une maintenance périodique continue ;
- Réduction du temps d'exécution et mise en œuvre : la préparation, le transport et la mise en œuvre des platines d'aciers prend un temps considérable par rapport à l'application des matériaux composites ;
- L'aptitude de précontrainte dans les matériaux composites : un nouveau champ des bandes plates de précontrainte des composites est appliquée afin de compenser la perte de tension dans l'élément structurel et réduire ainsi les fissures.

1.3.5 Mécanisme 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 le béton présente le comportement d'un béton confiné [16], Les enveloppes circulaires, en raison de leur forme, fournissent une pression d'emprisonnement uniforme et continue autour de la circonférence cependant, dans le cas d'enveloppes sous forme carré ou rectangulaire, la pression d'emprisonnement s'applique uniquement aux coins de ce fait partie du noyau de béton demeurer non confinée [17] [18] .

1.3.5.1 Les techniques de confinement des colonnes

Il est bien reconnu qu'un bon confinement évitera la rupture fragile des éléments en béton armé comprimé. Ce confinement augmentera à la fois la résistance et la ductilité, ce qui conduit à une capacité de dissipation d'énergie plus élevée, donc préférable dans le concept de conception sismique. Le renforcement des colonnes en béton par recouvrement en matériaux composites est une technique très efficace pour leur comportement structural.

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 tension 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 [19] :

-L'augmentation de la ductilité :

- En raison du confinement, le béton se rompt à un plus haut niveau de déformation qu'un béton non confiné ;
- Selon le degré de confinement, la déformation à la rupture du béton peut être augmentée plusieurs fois.

-L'augmentation de la résistance :

- La pression latérale exercée par l'enveloppe de composites augmente la résistance en compression du noyau du 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.

1.3.5.2 Confinement des colonnes à l'aide de PRF

Le renforcement par collage extérieur de matériaux composites FRP (Polymère renforcé de fibres) offrent des propriétés très intéressantes en termes de : force, légèreté, résistance chimique et facilité d'application, constitue une bonne solution à la préoccupation du besoin de réhabilitation des structures. Ces techniques sont les plus attirantes pour leur exécution rapide et bas coûts de main d'œuvre [18]. L'utilisation des PRF dans le génie civil se concentre essentiellement sur deux volets comme il est montré sur la **Figure 1.11** [19].

- La réhabilitation des structures existantes par des techniques d'application externe visant à améliorer les performances en flexion, en cisaillement ou en compression d'éléments structuraux ;
- Les nouvelles constructions que ce soit comme barres d'armature internes dans les structures en béton ou comme éléments structuraux en PRF (profilés).

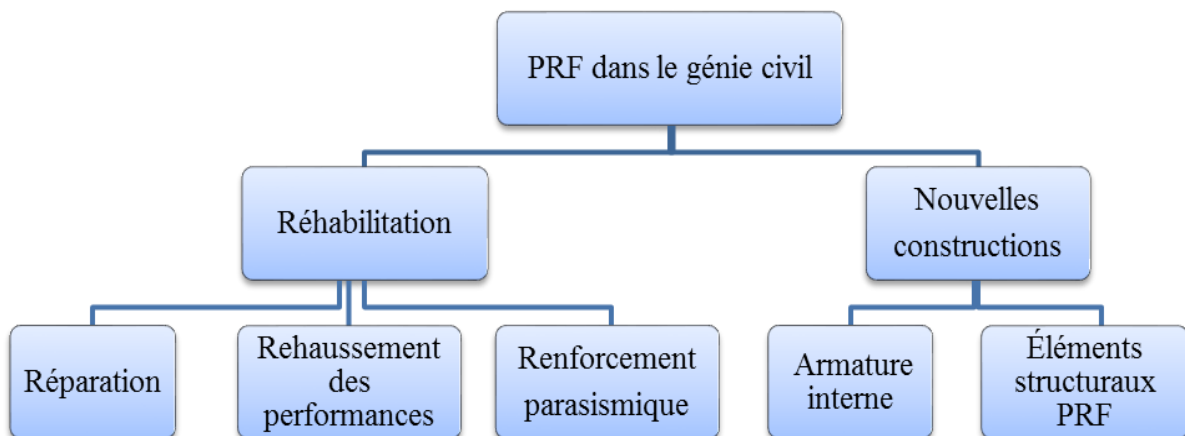


Figure 1.11: Utilisation des PRF dans le génie civil.

Plusieurs techniques différentes ont été développées pour renforcer des colonnes existantes en béton armé en utilisant des composites « PRF ». Les méthodes de renforcement peuvent être classés dans trois catégories en fonction de la méthode adoptée pour construire le composite «PRF » à savoir : la stratification directe, l'enroulement filamentaire et le chemisage par coquille préfabriquée en « PRF » :

-La stratification directe :

- Sur chantier la stratification directe (stratification au contact) est la technique la plus utilisée pour le renforcement des colonnes en utilisant les composites PRF (**Figure 1.12**). Dans cette méthode, les draps de fibres unidirectionnelles ou tissées sont imprégnés par les résines du polymère et enveloppés ensuite autour des colonnes dans un processus de moulage au contact, avec l'orientation des fibres principales dans la direction de confinement.



Figure 1.12: Confinement des poteaux par stratification directe.

-Enroulement filamentaire :

- La fibre peut être pré-imprégné (la résine est déjà mélangée avec la fibre), puis déposé avant polymérisation sur la surface de béton (**Figure 1.13**).



Figure 1.13: Système de confinement par appareil d'enroulement filamentaire.

-Chemisage par coquille préfabriquées :

- Ce processus consiste à préfabriquer des plaques ou des lamelles qui sont installées, une fois durcies, sur la surface du béton en utilisant un adhésif.
- Il faut suivre la même préparation de surface du béton que précédemment puis la plaque est collée sur le béton.

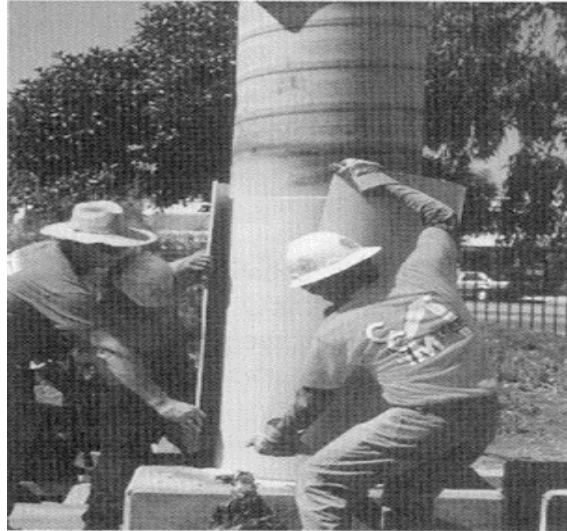


Figure 1.14: Chemisage par coquille préfabriquées.

1.3.5.3 Confinement des colonnes à l'aide des grilles composites

Dans cette section nous discutons différentes études antérieures sur le confinement des colonnes par des matériaux composites (FRP) et de différent grilles (plastique, métallique et végétale).

➤ **Riad Benzaid, (2008) [20] :**

Cet auteur a conduit des essais sur des colonnes en béton (prismatique carrée), renforcés en extérieur par un composite en fibres de verre. Les paramètres considérés sont le nombre de couches de composite et le rayon faisant le coin. Un total de 21 prismes de dimension 100 x 100 x 300 mm ont été examinés sous compression uniaxiale. Ces derniers ont été divisés en 3 groupes représentatifs : Section R1 carrée tranchante, section R2 carrée avec un rayon faisant le coin égal à 8 mm, et section R3 carrée avec un rayon faisant le coin de 16 mm. Le rayon des coins a été garanti par le coffrage de béton. A partir de leurs essais les auteurs ont conclu que :

- Le confinement externe avec des FRP peut de manière significative augmenter la force des spécimens sous l'effort axial.
- Le nombre de couches de matériaux de FRP et le rayon faisant le coin sont les paramètres principaux, ayant une influence significative sur le comportement des spécimens. Les

résultats d'essai ont montré que l'efficacité de confinement pourrait être augmentée en augmentant la rigidité de l'enveloppe externe appliquant des couches multiples et un bon rayon faisant le coin.

- L'adhérence de FRP avec la surface de colonne augmente la capacité de charge et la ductilité axiales des colonnes. Les enveloppes FRP résistent à des déformations latérales dues à l'effort axial, ayant pour résultat un effort de confinement du noyau de béton, retardant la rupture et augmentant de ce fait la résistance à la compression et la déformation ultimes du béton.
- Le rayon faisant le coin dans les colonnes carrées a affecté le comportement. Il détermine l'effet de concentration de contrainte. Un plus grand rayon peut augmenter la zone forte de contrainte et diminuer la concentration de contrainte. Ainsi la pression de confinement est réduite dans une section carrée, due à la concentration des efforts aux coins. Ce problème est résolu en employant une section carrée avec des coins circulaires.

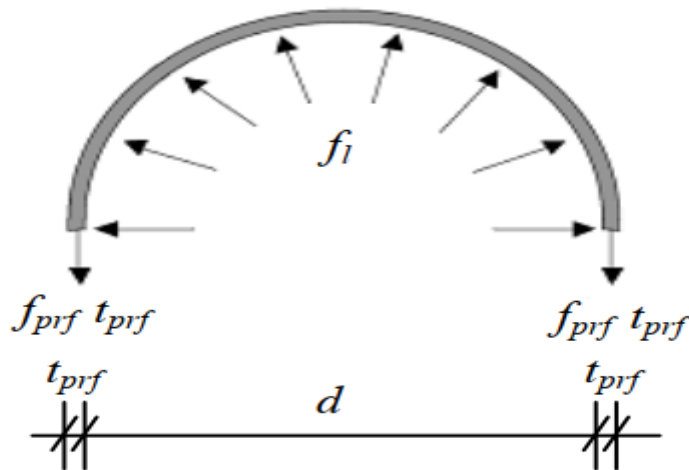


Figure 1.15: Action de confinement d'un composite PRF.

➤ **Belkacem, B et Djilali Ben Fredj, Y, (2019) [9] :**

Le travail consiste en une analyse expérimentale et analytique d'une technique de confinement de cylindres en béton autoplaçant par des grilles composites de différent types et différent forme et épaisseur de maille, plastiques (losange, rectangulaire, triangulaire), Métalliques (losange, carrée), et végétales (fibres d'Alfa de forme care de maille 1 cm^2 et 2 cm^2 , fibres palmier) disposées circonférentiellement tout le long du pourtour du cylindre avec en enrobage de 20 mm, et totalement intégrées dans la matrice béton (**Figure 1.16**). L'objectif principal est de quantifier l'apport en résistance et en déformation que peut conférer le confinement par des

grilles plastiques, métalliques et végétales aux colonnes et son influence sur le mode de rupture sous compression uniaxiale. Dans leur travail, les auteurs ont étudié les effets de la forme de maille (losange, carrée, rectangulaire, et triangulaire) et la nature des grilles sur le comportement mécanique du BAP.

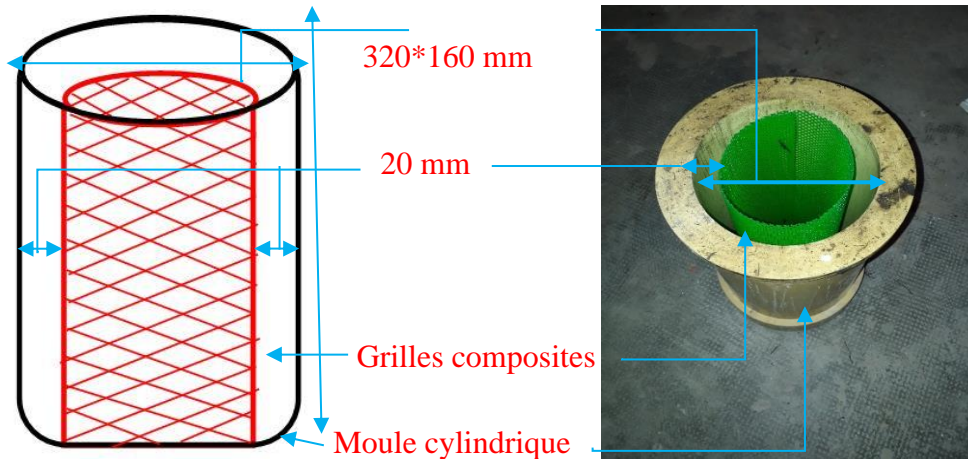


Figure 1.16: Exemples d'arrangements des grilles composite.

- **Comportement mécanique du BAP confiné et non confiné**

Les **Figure 1.17, 18, 19** regroupe les courbes contrainte-déformation du BAP confiné par des grilles plastiques, métalliques, végétales de différente géométrie (épaisseur, forme de maille). Afin de mieux estimer l'efficacité de confinement utilisé une comparaison avec le BAP non confiné a été réalisée.

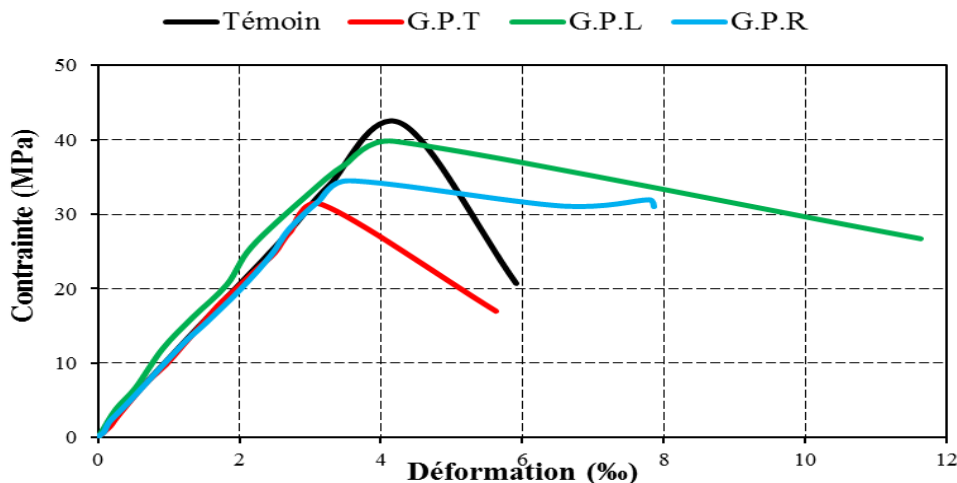


Figure 1.17: Courbe contrainte-déformation de béton témoin et confiné par des grilles plastiques.

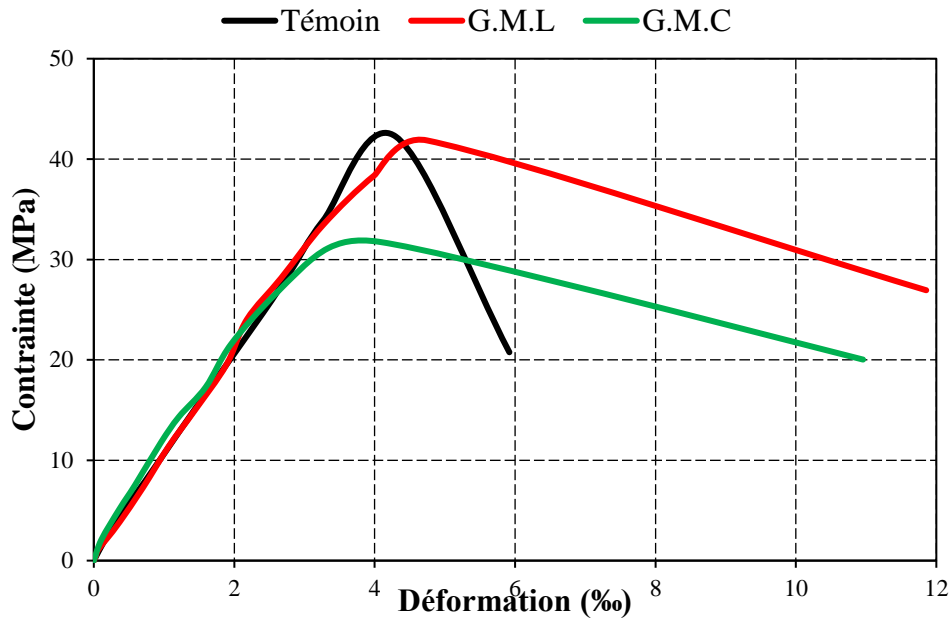


Figure 1.18: Courbe contrainte-déformation du béton témoin et confiné par des grilles métalliques.

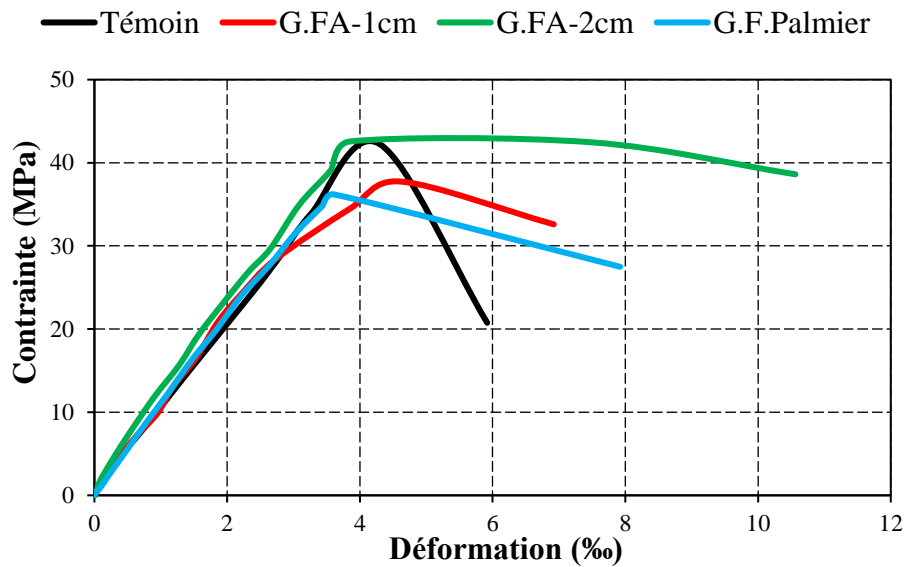


Figure 1.19: Courbe contrainte-déformation du béton témoin et béton confiné avec les différentes grilles végétales.

Nous constatons que tous les cylindres confinés avec les différentes grilles composites ont subi une loi de comportement qui se décompose en trois phases, comme est le cas dans d'autres travaux de recherche [21], [22] :

1) Une première phase pratiquement linéaire avant microfissuration du béton qui reste similaire au BAP témoin (non confiné) jusqu'à environ 50% de la charge de rupture, donc le module d'élasticité est peu sensible à la présence du composite.

2) Une deuxième phase courbée de la partie ascendante au cours de laquelle le béton se microfissure et les fibres de grilles se mettent en tension.

3) Une troisième phase descendante au cours de laquelle l'effort est repris par les fibres des grilles composites qui rassemblent le béton fissuré jusqu'à la rupture.

Dans ce travail, le confinement des cylindres de béton est obtenu par l'intégration circonférentielle dans la matrice béton, des grilles plastiques (GPL, GPC, GPT), grilles métalliques (GML, GMC), grilles végétales (GFA-1cm, GFA-2cm, GFPalmier). Les différentes grilles offrent des modules d'élasticité et des rigidités variées pouvant modifier le comportement mécanique du béton confiné sous une charge axiale de compression, améliorant ainsi sa ductilité et dans certains cas sa résistance.

- Pour le cas du béton confiné par des grilles plastiques, une diminution de résistance par rapport au béton non confiné est enregistrée. Ceci est dû probablement à la rigidité des grilles qui fait concentrer toute la charge de compression au niveau de la couche d'enrobage, ce qui provoque la rupture de l'éprouvette à ce niveau. Tandis que, on a observé une nette amélioration de ductilité pour les bétons (GPL) et (GPR) de l'ordre 96,45% et 32,77% respectivement. Cette amélioration de ductilité est due à l'allongement (déformation à la rupture) importante des grilles permettant d'augmenter la déformation du béton confiné. Pour les bétons confinés par (GPT), une diminution de ductilité est enregistrée due à sa grande épaisseur qui fait séparer la section de béton d'enrobage au béton de cœur de l'éprouvette testé aboutissant à une mauvaise adhérence.
- Les bétons confinés par des grilles métalliques (GML), (GMR) ont enregistré une amélioration remarquable de ductilité de l'ordre de 100,33% et 85,13%, cela est dû à l'effet de confinement par compression des grilles, qui empêche l'amorce et par la suite la propagation des fissures dans le béton. En termes de résistance, on remarque que le confinement du béton par les grilles GML a donné des valeurs similaires à celles du béton non confiné. Par contre, une faible résistance de colonnes confinées par GMC est enregistrée par rapport au béton de référence.
- Le confinement du béton par des grilles végétales GFA-1cm, GFA-2cm, GFPalmier améliore la ductilité. Un gain de ductilité de l'ordre de 16,89%, 78,37%, 33,78% est obtenu pour GFA-1cm, GFA-2cm et GFPalmier respectivement.

- Le confinement du béton par GFA-2cm augmente légèrement la résistance du béton par rapport au confinement par GFA-1cm et GFPalmier.

En générale, les différents résultats obtenus, montrent clairement que la ductilité des colonnes confinées augmente par rapport aux colonnes non confinées. Ce qui influence positivement le rendement mécanique du béton.

Synthèse

L'objectif de ce chapitre est d'étudier les différents phénomènes physique et chimique, mécanique et qui peuvent conduire à la dégradation des structures en béton armé.

Les différentes méthodes de renforcement du béton par confinement en utilisant des matériaux composites ont été présentées à savoir : stratification directe et l'enroulement filamentaire ou coquille préfabriquée (PRF, grille composite).

Chapitre 2

Caractérisation des matériaux
et protocole expérimental

2.1 Introduction

La caractérisation des matériaux (Béton, composite) qui constituent les corps d'épreuve, conduit à étudier les propriétés physiques et chimique de chaque matériau. Les résultats obtenus sur chaque constituant. On permet d'identifier et classifiez chaque matériau selon les normes technique.

2.2 Caractérisation de matériaux

2.2.1 Granulats

Dans cette étude on utilise le béton autoplaçants qui caractérisé par des granulats et le liant chimique. Les granulats sont le sable alluvionnaire qui a été extrait de l'oued M'zi (région de Laghouat), et un gravillon concassé (classes 3/8 et 8/15) d'origine calcaire de la région de Laghouat. Les résultats de l'analyse granulométrique ainsi les caractéristiques physiques de différents granulats sont présentées dans le **Tableau 2.1**.

2.2.1.1 Masses volumiques

Pour étudier la formulation d'un béton et trouver des quantités de béton en fonction du volume des moules à réaliser, il est indispensable de connaître les deux types de masses volumiques des granulats :

➤ **Masse volumique apparente : NF P18-555**

C'est la masse du matériau par unité de volume celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides. Elle est exprimée en kg/m^3 , notée γ_{ap} et donnée par :

$$\gamma_{ap} = \frac{M}{V}$$

M : Masse du matériau (kg).

V : Volume totale de l'échantillon (m^3)

Il s'agit de remplir un volume de 1 dm^3 et on détermine la masse totale, la masse de l'échantillon sera :

$$M = M_T - M_R$$

M_R : Masse du récipient (kg).

M_T : la masse totale

▪ Masse volumique absolue : **FN P18-555**

C'est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains. Elle est exprimée en kg/m^3 , notée γ_{ap} et donnée par :

$$\gamma_{ab} = \frac{M_s}{V_2 - V_1}$$

M : Masse des grains solides (kg).

V_1 : Volume de l'eau (m^3).

V_2 : Volume total (eau + grains solides).

*2.2.1.2 Coefficient d'absorption d'eau des granulats (C_{Ab} %) : **NF P18-555***

La plupart des granulés contiennent de la poussière et des fissures qui recouvrent la surface extérieure, permettant une absorption d'eau allant de 0 à 30% du poids sec des granulés. La détermination du coefficient d'absorption d'eau permet d'évaluer la quantité d'eau retenue par la porosité des granulats afin d'en tenir compte pour le dosage en eau efficace lors de la formulation des bétons.

On détermine un coefficient d'absorption qui est le rapport de masse de l'eau de l'échantillon par la masse sèche de l'échantillon. Cette imbibition est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24 h à 25°C , (**Figure2.1**).



Figure2.1: Essai de coefficient d'absorption

Le coefficient d'absorption d'eau (A_b) est défini par la relation :

$$C_{Ab} = \frac{M_a - M_s}{M_s} \times 100$$

M_s : Masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105°C.

M_a : Masse de l'échantillon Saturé.

2.2.1.3 Equivalent de sable (Es) : NF P18-597

L'essai de l'équivalent de sable est nécessaire avant d'utiliser le sable, son objectif est d'étudier le degré de pureté du sable en trouvant les proportions variables d'impuretés fines nocives et le rapport des éléments argileux dans les grains de sable.

L'équivalent sable est le pourcentage de hauteur du précipité par rapport à la hauteur totale du liquide lave-glace, (**Figure2.2**).

On distingue l'équivalent sable visuel (Esv) :

$$Esv = (h_2/h_1) \times 100$$

On distingue l'équivalent sable du piston (Esp) :

$$Esp = (h'_2/h_1) \times 100$$

h_2 : La hauteur de sable pur avec une règle.

h'_2 : La hauteur de sable pur avec une piston

h_1 : La hauteur de l'impureté plus la hauteur de sable pur



Figure2.2 : Essai de l'équivalent de sable.

2.2.1.4 L'analyse granulométrique : NF P94-056

L'analyse granulométrique est régie par la norme NF P94-056. L'essai consiste à déterminer les dimensions et la répartition des grains de différents granulats utilisés. Le résultat est montré sous forme de courbe granulométrique (**Figure 2.3**).

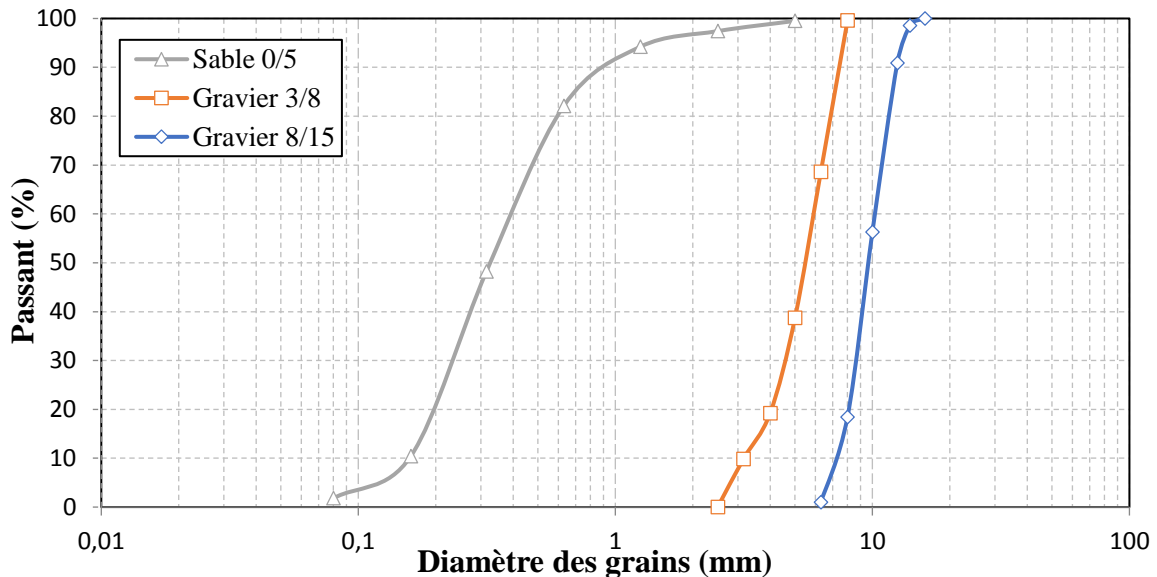


Figure 2.3: Courbes d'analyse granulométrique de sable et de gravier 8/15 et 3/8

2.2.1.5 Module de finesse (M_f) : NF P18-360

Le module de finesse d'un sable comme le 1/100 ème de la somme des refus exprimés en pourcentages (%) sur les différents tamis suivants : (0.125 ; 0.250 ; 0.5 ; 1 ; 2 ; 4, mm).

$$M_f = \frac{\sum \text{refus} (\%)}{100}$$

Dans le sable

$$M_f = \frac{(0.26+3.49+8.45+32.48+89.18+98.22)}{100} = 2,32$$

Selon l'indice d'équivalent de sable obtenu de 87.5% ,on conclut que le sable qui on a utilisé est un sable très propre, signe d'absence presque totale des fines argileuses. Le module de finesse obtenu est de 2.32, cette valeur s'inscrit dans les limites (1,8 et 3,2) préconisées pour les sables destinés à la composition du béton. Le sable utilisé classé par une granulométrie

étalée selon le coefficient d'uniformité ($C_u=2,35$) et sable mal gradué le coefficient de courbure ($C_c=0,71$)

Tableau 2.1: Propriétés physiques des granulats.

Caractéristique		Sable	Gravier 3/8	Gravier 8/15
Coefficient d'absorption (%)		0,56	4,97	3,84
Masse volumique absolue (kg /m ³)		2,62	2,67	2,67
Masse volumique apparente (kg /m ³)		1,56	1 ,28	1,27
Equivalent du sable (%)	Piston	87,50	/	/
	Visual	95,05		
Module de finesse		2,32	/	/

2.2.2 Superplastifiant

Le superplastifiant (SP) utilisé dans cette étude est MEDAFLOW 30. C'est un superplastifiant haut réducteur d'eau de troisième génération fabriqué par la société Granitex (ALGER). Il est conçu à base de poly carboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons. Le MEDAFLOW 30 permet d'obtenir des bétons et mortier de très haute qualité. En plus de sa fonction principale de dispersion des particules fines, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable.

2.2.3 Ciment

Tous les bétons ont été fabriqués avec un ciment Portland au calcaire CEM II /A-L 42,5 N de groupe industriel des ciments d'Algérie (GICA). Ce ciment convient pour la fabrication de mortiers et tout travaux de béton armé, développant des résistance moyennes.



Figure 2.4: Ciment de GICA.

2.2.4 Poudre de marbre

La poudre de marbre est un déchet résultant des opérations de sciage, façonnage et lustration de la pierre de marbre [23]. Cette pierre d'origine calcaire est caractérisée par sa beauté, sa diversité et son aspect lisse et brillant qui font d'elle l'une des roches les plus nobles qui puisse exister. Le marbre est utilisé pour des objets esthétiques aussi bien dans les maisons (revêtements muraux, des dallages, éléments sanitaires), dans les jardins publics que sur les voies. Lorsque la pierre de marbre est transportée de la carrière de marbrier vers l'usine, elle est découpée en de petites pierres dépendant des dimensions de l'élément que le fabricant veut produire. Ces petites pierres sont ensuite façonnées et lustrées de telle manière à obtenir l'aspect recherché. Pendant ces opérations une quantité importante de marbre qui représente presque 20% à 30% des pierres utilisées au début devient des déchets qui seront rejetés par la suite dans la nature [24]. L'utilisation de ces déchets est très nécessaire, d'une part pour éviter la pollution de la nature et d'autre part pour préserver les ressources naturelles. La composition chimique ainsi les propriétés physiques de la poudre de marbre sont données dans le **Tableau 2.2**.



Figure 2.5: Poudre de marbre.

Tableau 2.2: Propriétés chimiques de ciment et poudre de marbre.

Elément	Ciment	Poudre de marbre
SiO ₂ (%)	20,14	0,42
CaO (%)	63,47	56,01
MgO (%)	2,12	0,12
Al ₂ O ₃ (%)	3,71	0,13
Fe ₂ O ₃ (%)	4,74	0,06
SO ₃ (%)	2,67	0,01
K ₂ O (%)	0,47	0,01
TiO ₂ (%)	0,21	0,01
Na ₂ O (%)	0,69	0,43
P ₂ O ₅ (%)	0,06	0,03
Perte au feu(%)	0,5-3	42,78
Densité spécifique	3,1	2,7
Finesse (cm ² /g)	3200	3600







2.2.5 Les grilles

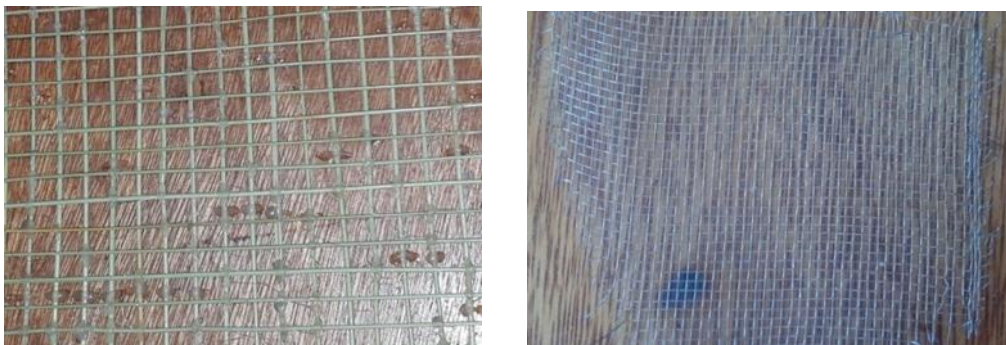
Dans notre travail on a utilisé trois types de grilles plastique (Triangulaire, Rectangulaire, Losange), métalliques (carrée) et végétales (carrée). Les caractéristiques des grilles utilisées sont présentées dans le **Tableau 2.3** et les **Figures 2.6** et **2.7**.



Figure 2.6: Grille plastique de forme : triangulaire, rectangulaire et losange.

Tableau 2.3: Les caractéristiques de grilles plastique, métalliques et végétales.

Grilles	Forme	Dimensions de maille (mm)	Epaisseur (mm)	Poids (g/m)	Nombre de Maille (Maille/m ²)	Résistance de traction (N)	Déformation à la rupture (mm)
GPT		5×5×5	5	3037	44627	20	1,24
GPL		3×3	2	3315	35420	50	/
GPR		3×2	1	3315	131794	8	0,875
GMC		1.5×1.5	0.5	3555	376584	100	0,384
GFA-1		10×10	3	248	9801	/	/
GFA-2		20×20	3	124	2451	/	/


Figure 2.7: Grilles d'alfa et métalliques de forme carrée.

2.3 Formulation du béton autoplaçant

Notre formulation repose sur le remplacement d'une partie du ciment par des fines minérales (Poudre de marbre) et la composition de béton autoplaçant utilisée dans cette étude a été faite d'après une étude précédant réalisée par **Dr : Boukhelkhal [25]**. La composition testée à partir de plusieurs mélanges de mortier autoplaçants Afin d'obtenir la quantité nécessaire de superplastifiant donc nous avons obtenu une quantité de 1.2% de poids de ciment. La formulation de béton autoplaçants est donnée dans le **Tableau 2.4**

Tableau 2.4: Formulation du BAP pour 1m³.

Constituants	Poids en Kg /1m³
Sable	884.69
Gravier 8/15	532,09
Gravier 3/8	262,92
Ciment	425,80
Poudre de marbre	41,21
Eau	222,85
Superplastifiant	5.84

2.4 Procédure de malaxage

On procède à un malaxage sec de la poudre, du sable et des gravillons pendant 30 secondes pour homogénéiser le mélange. Puis on ajout 70% de l'eau de gâchage avec un débit régulier dans les 60 secondes suivantes. Durant toute la minute suivante, on introduit régulièrement le superplastifiant avec l'eau restante (après les avoir mélangés). Le malaxage est continué pendant 5 autres minutes. Le malaxage est arrêté ensuite pendant 2 minutes, puis recommencé durant 30 secondes avant le déchargement.

2.5 Caractérisation du béton autoplaçant à l'état frais

2.5.1 Essai d'étalement

La **Figure 2.8** présente le procédé de l'essai de l'étalement cette essai est plus courant, car le plus facile à mettre en œuvre, il est utilisé pour estimer la fluidité des BAP sans confinement. Cet essai s'effectue comme un essai d'affaissement au cône d'Abram on mesure le diamètre moyen (moyenne sur deux diamètres orthogonaux) de la galette de béton obtenue. En 2002, les recommandations en termes d'étalement admissible définissaient la fourchette 600-850 mm [26].



Figure 2.8: Essai d'étalement au cône d'Abrams.

2.5.2 Essai à l'entonnoir en V

L'essai de l'entonnoir en V est utilisé pour caractériser la déformabilité et la viscosité des BAP par la mesure de temps d'écoulement d'un échantillon de 10 litres de béton à travers un entonnoir en forme de « V » et le temps d'écoulement est déterminé suivant une procédure très simple : c'est le temps mesuré à partir de l'ouverture de l'orifice jusqu'à l'écoulement total du béton. Des temps d'écoulement courts indiquent une grande déformabilité (faible viscosité), dans le cas contraire, c'est-à-dire des temps d'écoulement longs (**Figure 2.9**) [27].

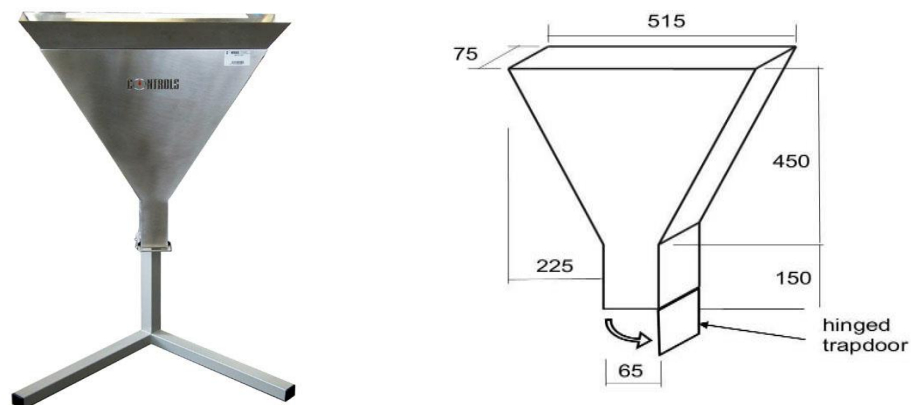


Figure 2.9: Essai v-funnel.

2.5.3 Essai à la boîte en L

La boîte en L permet de tester la mobilité du béton en milieu confiné et de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage inacceptables. La partie verticale du L est remplie de béton en une seule fois. Après ouverture de la trappe, le béton s'écoule à travers un ferrailage standard (41 mm entre 3 barres \varnothing 12) qui correspond à des ouvrages très ferrillés mais qui peut être éventuellement allégé (59 mm d'espace libre entre deux barres) comme montrée a la **Figure 2.10** [26].

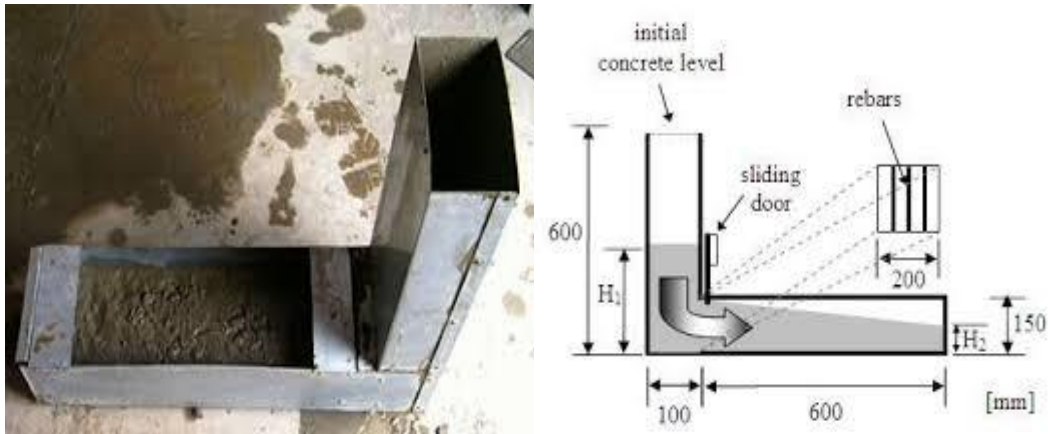


Figure 2.10: Essai de boîte en L.

2.5.4 Essai de ségrégation dynamique au tamis

L'essai vise à qualifier les bétons autoplaçants vis-à-vis du risque de ségrégation. Cet essai complète les essais permettant d'apprécier la mobilité, en milieu confiné ou non, en caractérisant la stabilité. L'essai de stabilité au tamis consiste à évaluer le pourcentage en masse de laitance (P_{laitance}) d'un échantillon de béton ($4,8 \pm 0,2$ kg) passant à travers un tamis ayant des mailles de 5 mm d'ouverture [27]. Après 2 min d'attente, le pourcentage de laitance qui est passée au travers du tamis est calculé **Figure 2.11** représente la procédure de l'essai.



Figure 2.11: Essai de stabilité au tamis.

2.6 Procédure de confinement

Dans ce travail, deux techniques de confinement extérieurement sont envisagées :

- La première technique consiste à disposer la grille (plastique, métallique et végétale) sur la surface extérieure de l'éprouvette puis on coule le béton comme le montre la **Figure 2.12**.



Figure 2.12: Arrangements des grilles composites - techniques 1.

- Dans la deuxième technique, les l'éprouvette sont coulées et à l'âge de 28 jours les grilles sont collées sur la surface latérale de l'éprouvette pour simuler le cas de renforcement d'un poteau existant comme le montre à la **Figure 2.13**.



Figure 2.13 : Arrangements des grilles composites - techniques 2.

2.7 Confection et préparation des éprouvettes

Après chaque malaxage (24 l), on remplit trois cylindres de même model de grille. Les différentes grilles composites ont été soigneusement disposées à l'intérieur de moules cylindriques, les dimensions standard des moules de diamètre de 160 mm avec une hauteur de 320 mm. Après 24h de coulage ont décoffrée et sont ensuite conserve dans une chambre humide. À l'âge de 28 jours, nous effectuons un surfaçage de toutes les éprouvettes afin d'assurer une répartition uniforme de la force de compression sur la surface des cylindres (**Figure 2.14**).



Figure 2.14: Dursissement des éprouvettes.

2.8 Exécution de l'essai

Tous les cylindres sont soumis à une compression uniaxiale jusqu'à la rupture moyennant une presse hydraulique de type MATEST de capacité égale à 2000 KN (disponible aux laboratoires de travaux publique à Laghouat). Le contrôle de déplacement est assuré par un comparateur digital d'une précision de 0,001 mm. Un taux de chargement quasi statique est appliqué avec une vitesse de 0,5 KN/s. le comparateur a bute de mesurer le déplacement pour déterminer la déformation, et l'écran de la presse hydraulique indique les valeurs des forces en KN. On lire les valeurs de comparateur et l'écran en même temps pour d'être capable designer les courbes contrainte-déformation de chaque variant. Pour assurer des bonnes lectures, nous avons utilisés deux caméras vidéo tout le long de l'essai. Le dispositif utilisé pour mesurer le déplacement intrinsèque du béton est donné sur la **Figure 2.15**



Figure 2.15: Procédure de l'essai de compression et dispositif de déformation vertical.

Synthèse

- Afin d'obtenir un BAP de haute résistance tous les composants de BAP doivent être de bonne qualité donc dans ce chapitre nous avons fait tous les essais nécessaires à la caractérisation des matériaux utilisés (ciment, sable, gravie 3/8,8/15 poudre de marbre et superplastifiant).
- Nous avons également fait des essais pour vérifier les propriétés de la composition étudiée à l'état frais (essai de l'étalement, de l'entonnoir en V, la boîte en L, ségrégation dynamique au tamis).
- Le comportement mécanique des BAP élaborés avec différents types et formes des grilles est ensuite étudié.

Chapitre 3

Analyse et discussion des résultats

3.1 Introduction

Cette partie présente les résultats expérimentaux obtenus et leurs analyses dans cette étude. On commence par la caractérisation du BAP à l'état frais, puis on donne les résultats du comportement mécanique du BAP à l'état durci. L'analyse de ce comportement est basée sur l'interprétation des courbes de la contrainte- déformation. En raison de la crise sanitaire, nous n'avons pas eu l'occasion d'établir les deux techniques de confinement, mais nous avons pu terminer les essais concernant la technique de confinement extérieure.

3.2 Caractérisation du BAP à l'état frais

Les résultats obtenus des essais de caractérisation des BAP à l'état frais ainsi que les valeurs préconisées par l'EFNARC sont récapitulés dans le **Tableau 3.1**.

Tableau 3.1: Résultats obtenus et valeurs préconisées par l'EFNARC

Essai		Classe	Résultat	Valeur limite	Conclusion
Étalement	Diamètre (mm)	SF1		550-650	
		SF2	660	660-750	Acceptable
		SF3		760-850	
V-Funnel	Temps d'écoulement (sec)	VS1/VF1		≤ 8	
		VS2/VF2	8,95	9-25	Acceptable
L-Box	Rapport des Hauteurs (H_2/H_1)	PA1			
		PA2	0,81	$\geq 0,8$ avec 3 barres	Acceptable
Résistance à la ségrégation	Laitance passant à travers le Tamis (%)	SR1		≤ 20	
		SR2	6,8	≤ 15	Acceptable

D'après les résultats obtenus, nous avons un étalement au cône d'Abrams de 660 mm qui représente un BAP de classe (SF2). Le temps de découlement de l'essai de V-funnel est 8.95 secondes de classe (VS2/VF2). On peut dire que le BAP utilisé caractérisé par une capacité de remplissage et de passage très adéquate et convient parfaitement pour la réalisation de tous types d'éléments de structures et ouvrages. Le résultat d'essai de la boîte en forme L (L-Box) exprime par le taux de passage à travers les armatures et les obstacles dans les milieux

confinés. D'après le tableau 3.1 nous avons obtenu un rapport H_2/H_1 supérieur à 80%, ce qui montre une meilleure capacité d'écoulement du BAP dans les milieux confinés et ferrailés. La résistance à la ségrégation du BAP décrite par l'essai de stabilité au tamis montre que ce BAP homogène et stable et ne présente aucun risque de ségrégation. A l'issu des résultats d'essais de caractérisation du BAP à l'état frais et en se basant sur les résultats obtenus on peut conclure que le BAP utilisé dans cette étude permet la réalisation de parements de grande qualité avec une texture de surface plus fine et plus fidèle à la peau coffrant utilisée. Les aspects satinés, lisses ou très structurés recherchés par les architectes sont alors plus facilement réalisables.

3.3 Comportement mécanique du BAP non confiné

La courbe de la **Figure 3.1** présente l'allure contrainte-déformation de BAP non confiné sous un chargement axial de compression. D'après la figure, nous constatons que la courbe présente une pente initiale jusqu'à un point d'inflexion, suivie d'une zone de déformation plastique. La contrainte augmente jusqu'à une valeur maximale de 42,25 MPa, puis une diminution atteignant une contrainte ultime de valeur de l'ordre de 20 MPa. Tandis que la déformation reste en augmentation avec l'augmentation de la contrainte appliquée jusqu'à une valeur de l'ordre de 6 %.

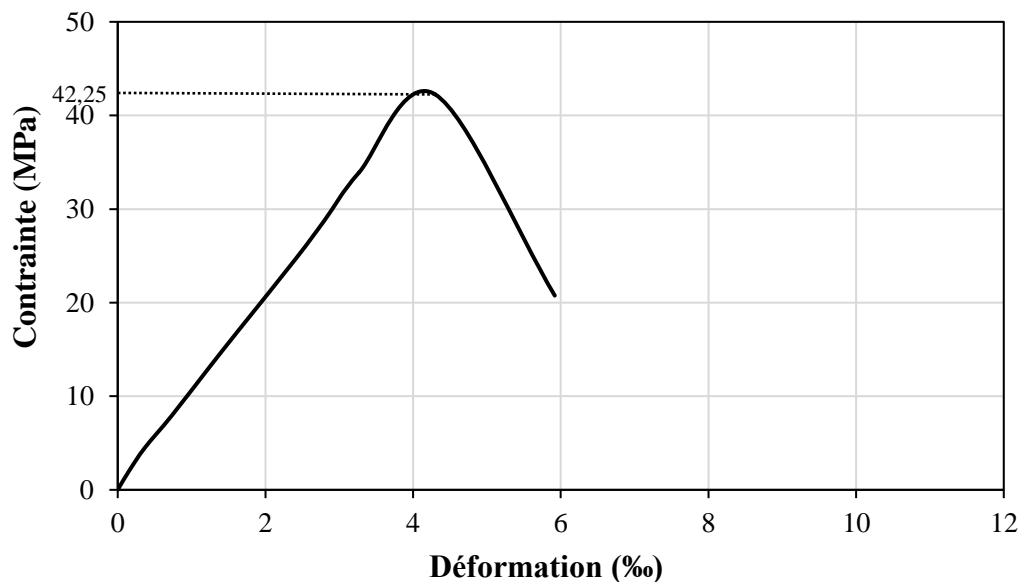


Figure 3.1: Courbe contrainte-déformation du BAP non confiné (témoin).

3.4 Comportement mécanique du BAP confiné par des grilles plastiques

La **Figure 3.2** regroupe les courbes contrainte-déformation du BAP confiné par des grilles plastiques de différente géométrie (épaisseur, forme de maille). Afin de mieux estimer l'efficacité de confinement utilisé une comparaison avec le BAP non confiné a été réalisée. La figure ci-dessus montre que l'allure générale de la courbe contrainte-déformation du BAP témoin et tous les cylindres confinés par les grilles plastique est d'une tendance presque similaire. Elle est caractérisée par une partie ascendante qui représente la phase élastique du matériau jusqu'à la rupture. Le BAP confiné par GPT nous a donné une meilleure contrainte de 45,93 MPa par rapport au BAP non confiné et celui confiné par les deux autres grilles plastiques. Ceci grâce à la bonne adhérence du GPT avec le béton. La deuxième partie de la courbe représente la phase plastique du composite, qui varie considérablement d'une variante de confinement à l'autre. Les cylindres du BAP confinés par GPL donnent une meilleure ductilité qui est traduit par une valeur de déformation de l'ordre de 8,1%.

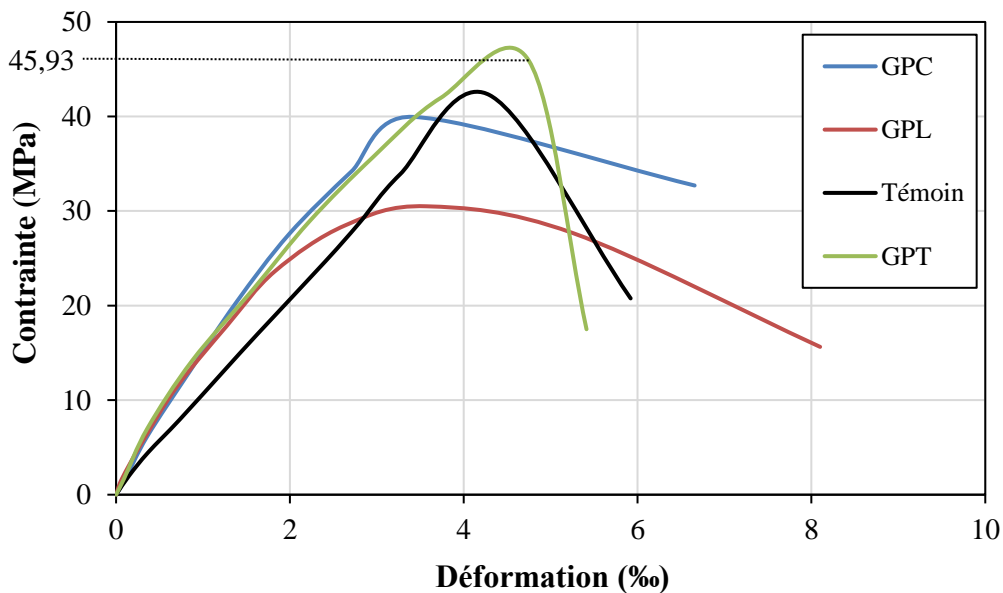


Figure 3.2: Courbes Contrainte-déformation de béton témoin et de béton confiné par différentes grilles plastiques.

3.5 Comportement mécanique du BAP confiné par des grilles métalliques

Figure 3.3 représente les courbes contrainte-déformation des cylindres confinés par des grilles métalliques carrées comparées au béton non confiné. D'après les résultats obtenus, nous remarquons que les deux BAP ont presque la même contrainte maximale, avec une différence de l'ordre de 2,36 MPa. D'autre part, nous constatons qu'il y'a une similarité de la

déformation ultime entre GMC et le béton de référence avec une valeur de l'ordre 5%. Le comportement mécanique des deux cylindres BAP non confiné et BAP confiné par les grilles métalliques est presque identique à cause : les grilles sont affectées par le phénomène de corrosion d'une part, et d'autre part la mauvaise adhérence entre les grilles métalliques et béton car l'épaisseur des grilles est très faible.

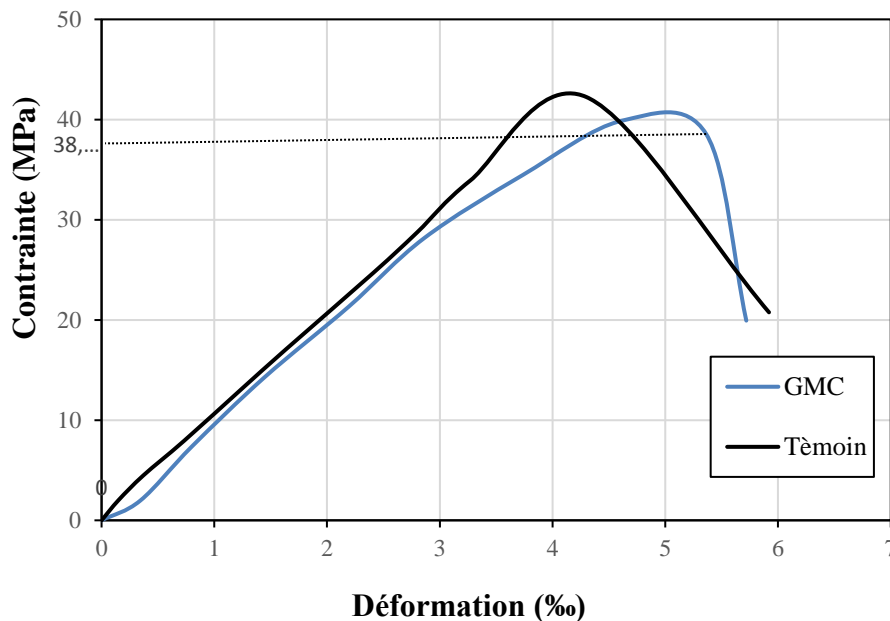


Figure 3. 3: Courbes contrainte-déformation du béton témoin et béton confiné avec les grilles métalliques.

3.6 Comportement mécanique du BAP confiné par des grilles végétales.

La Figure 3.4 regroupe les différentes courbes contrainte-déformation de BAP confiné par grille végétale d'alfa avec deux maillages (1cm, 2cm) et le BAP non confiné. Nous remarquons les valeurs de la contrainte maximale des béton confiné par les fibres d'alfa (1 et 2 cm) sont presque identiques, (35,34 MPa et 34,91 MPa respectivement). Les déformations obtenues montrent que le béton confiné par les grilles d'alfa (GFA-1) est caractérisé par une zone plastique importante en comparaison avec le béton témoin et même par rapport au béton confiné par les grilles d'alfa (GFA-2). Les grilles d'alfa (GFA-1) ont données des performances excellentes en terme de contrainte et de ductilité. Ce qui va améliorer le comportement des éléments structuraux dans les zones sismiques .

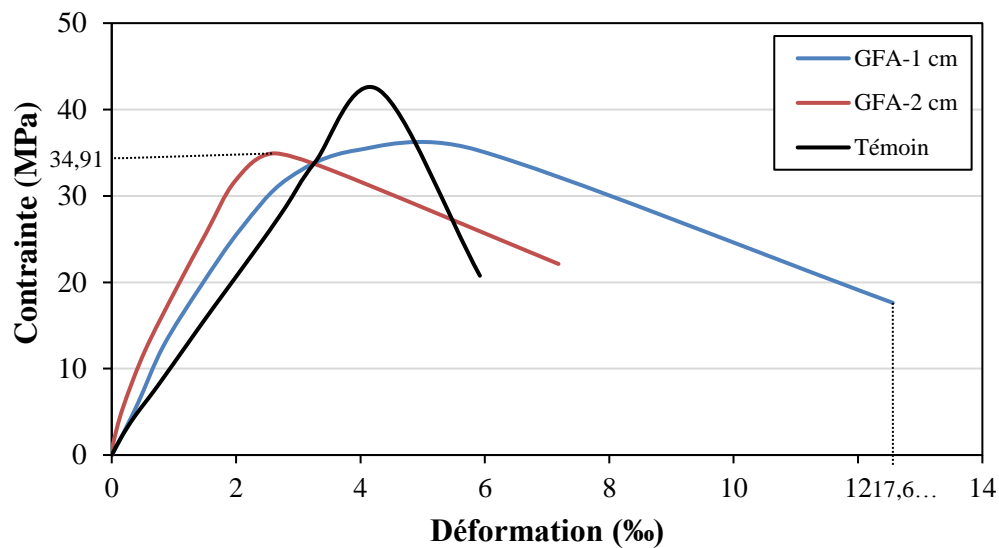


Figure 3.4: Courbes Contrainde-déformation du béton témoin et béton confiné avec les différentes grilles végétales.

Les Figures 3.5, 3.6, 3.7 et 3.8 représentent respectivement les contraintes maximales, les déformations maximales, les déformations ultimes et les modules d'élasticité du BAP témoin et du BAP confiné par les différents types de grilles (plastiques, métalliques et végétales). A travers cette présentation nous avons essayé de comparer les différents résultats obtenus afin de déterminer la meilleure performance mécanique du composite BAP-grilles.

La Figure 3.5, représente le diagramme des contraintes maximales des mélanges étudiés. Nous remarquons que le cylindre confiné par des grilles plastique de forme triangulaire donne la meilleure contrainte maximale (45,93 MPa). Par contre les BAP confinés par les autres grilles ont donné des valeurs inférieures à celles du BAP non confiné (42,25MPa), avec une moyenne de contrainte de 36,12 MPa.

La Figure 3.6 Représente le diagramme des déformations maximales des mélanges étudiés, Nous remarquons que le cylindre (GFA -1) et GPT donne la meilleure déformation maximale de l'ordre 5,85‰ et 4,75‰ respectivement par rapport au BAP non confinée avec une déformation de 4,3‰. Les autres cylindres donnent des valeurs inférieures à ce dernier, avec une moyenne de contrainte de 3,55‰.

La Figure 3.7 révèle que les déformations ultimes obtenues sous l'effet de la charge axiale de compression de tous les mélanges étudiés sont supérieures par rapport à la déformation du béton témoin (5,92‰). Les cylindres (GPT et GMS) ont enregistré des valeurs de déformation proches à la valeur de déformation du béton témoin

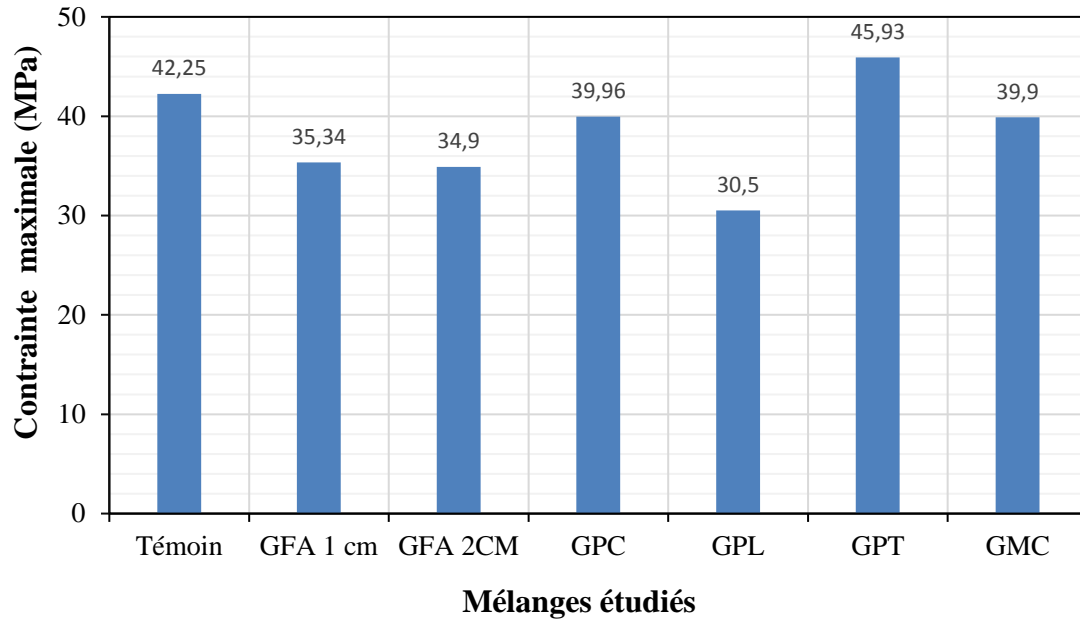


Figure 3.5: Diagramme de contraintes maximales de BAP témoin et des bétons confinés par de différents types de grilles.

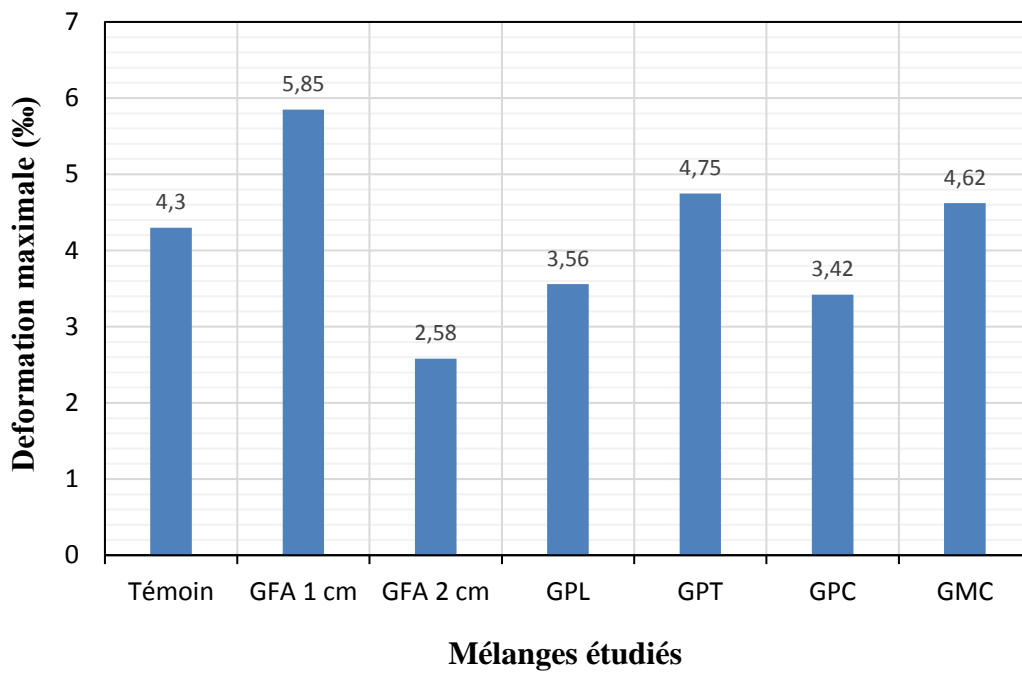


Figure 3.6: Diagramme des déformations Max de BAP témoin et de béton confiné par les différentes grilles.

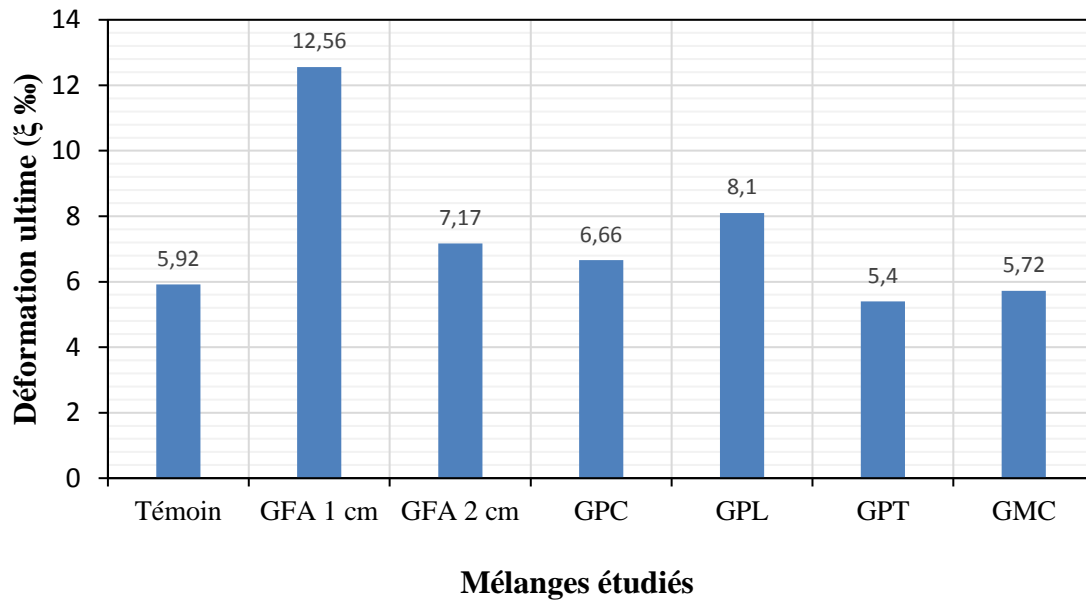


Figure 3.7: Diagramme des déformations ultimes de BAP témoin et de béton confiné par les différentes grilles.

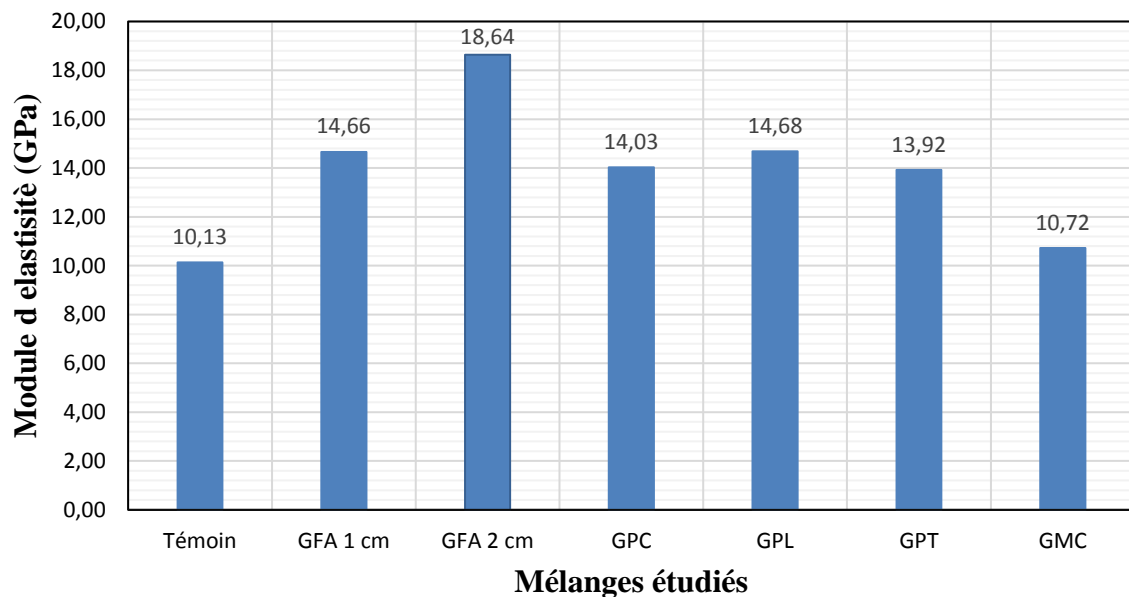


Figure 3.8 : Modules d'élasticité (E) de béton témoin et de béton confiné par les différentes grilles.

La Figure 3.8 représente les modules d'élasticité de toutes les variantes étudiées. Les résultats montrent que toutes les valeurs obtenues sont supérieures à celle du béton non confiné. On remarque aussi une similarité des valeurs entre le BAP non confiné et GMC (10,13 GPa et 10,72 GPa) respectivement. Enfin, le BAP confiné par les grilles d'alfa a donné le module d'élasticité maximal avec une valeur de 18.64 GPa.

3.7 Mode de rupture des colonnes

L'analyse des éprouvettes rompues lors de l'essai de compression axiale, nous permet de mieux évaluer l'apport de renforcement de l'éprouvette du béton par les différentes grilles (plastiques, métalliques et végétales) sur sa ductilité et sa résistance ainsi que son mode de rupture en visualisant les ouvertures des lèvres des fissures.

3.7.1 Rupture du béton non confiné

Les colonnes non confinées ont toutes subies des ruptures normales de cisaillement associées à des degrés de fissuration plus ou moins importantes. Nous avons observé une petite destruction de l'éprouvette du béton avec une forme conique.



Figure 3.9: Mode de rupture de béton témoin.

3.7.2 Rupture du béton confiné par des grilles plastiques

Le confinement des éprouvettes par des grilles plastiques de différente forme (losange, rectangle, triangulaire) permet d'avoir un bon comportement à la rupture. On a observé sur l'éprouvette des fissures qui n'ont pas une ouverture importante. Pour le type (GPR), nous remarquons qu'il y'a des fissurations multiples et désintégrations de certaine partie du béton. Pour les types (GPL) et (GPT), on a observé peu de fissuration (1 et 2 fissures) et la forme de cylindre garde presque son état initial. En effet, les grilles exercent une précontrainte radiale de compression sur l'anneau grâce à l'adhérence entre la grille et le béton. L'épaisseur de grille joue un rôle important dans la formation de fissures ce qui influé en général sur le comportement des cylindres même après écrasement.

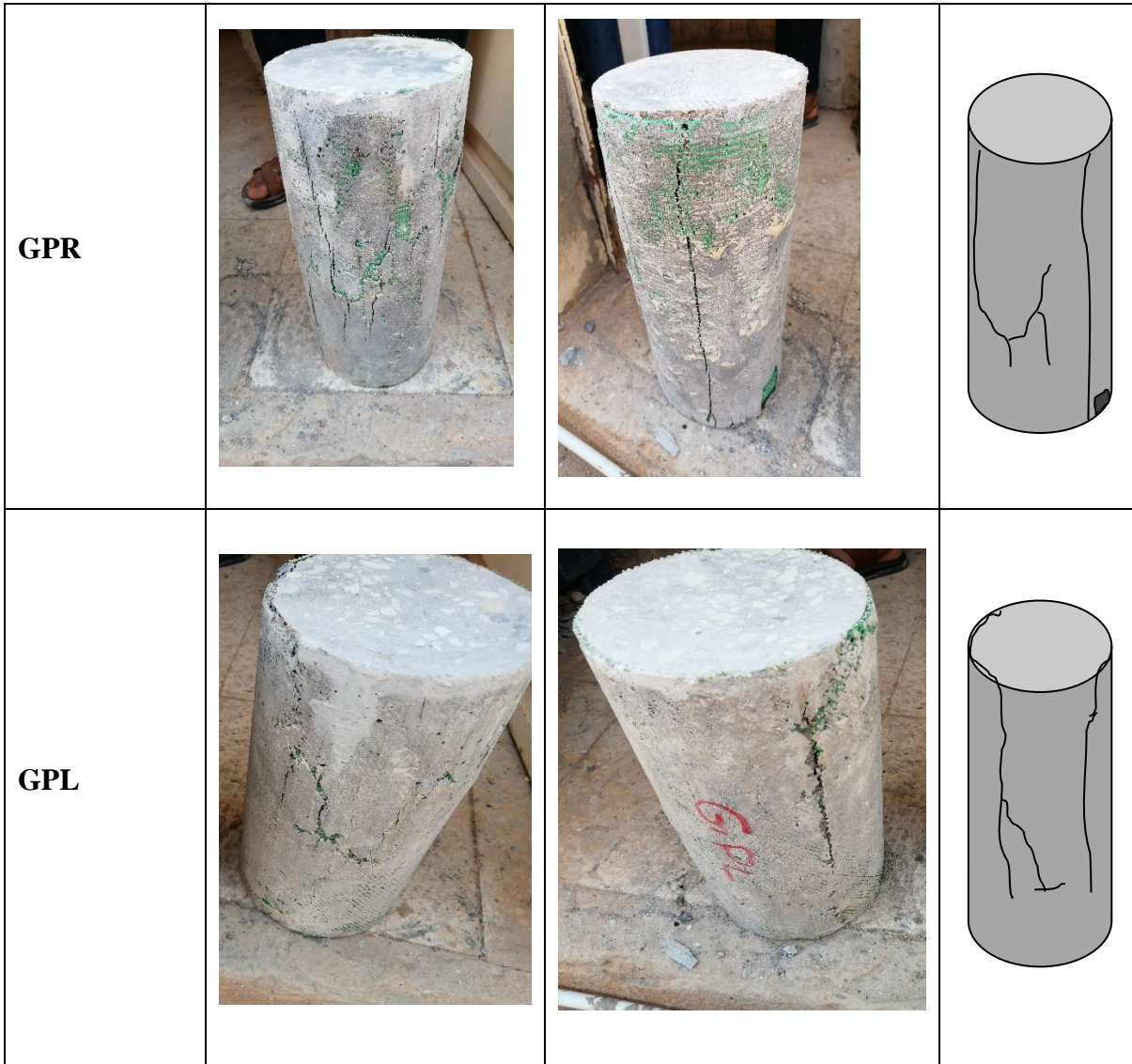


Figure 3.10: Mode de rupture du BAP confiné par des grilles plastiques.

3.7.3 Rupture du béton confiné par des grilles métallique



Figure 3.11: Mode de rupture du BAP confiné avec des grilles métalliques.

Pour les colonnes en BAP confinées par des grilles métalliques (GMC), on a observé sur l'éprouvette de béton des fissures multiples et importantes avec désintégrations du béton de surface.

3.7.4 Rupture du béton confiné par des grilles végétal

Pour le cas des colonnes confinées avec des grilles végétales, on a observé l'apparition de macro-fissures sur la surface de l'éprouvette. L'examen des éprouvettes confinées avec (GFA-1cm) révèle des fissures importantes en terme de nombre et épaisseur par rapport au béton confiné avec (GFA-2cm). Les colonnes du béton sont endommagées mais elles ont gardées leurs formes initiales après rupture.

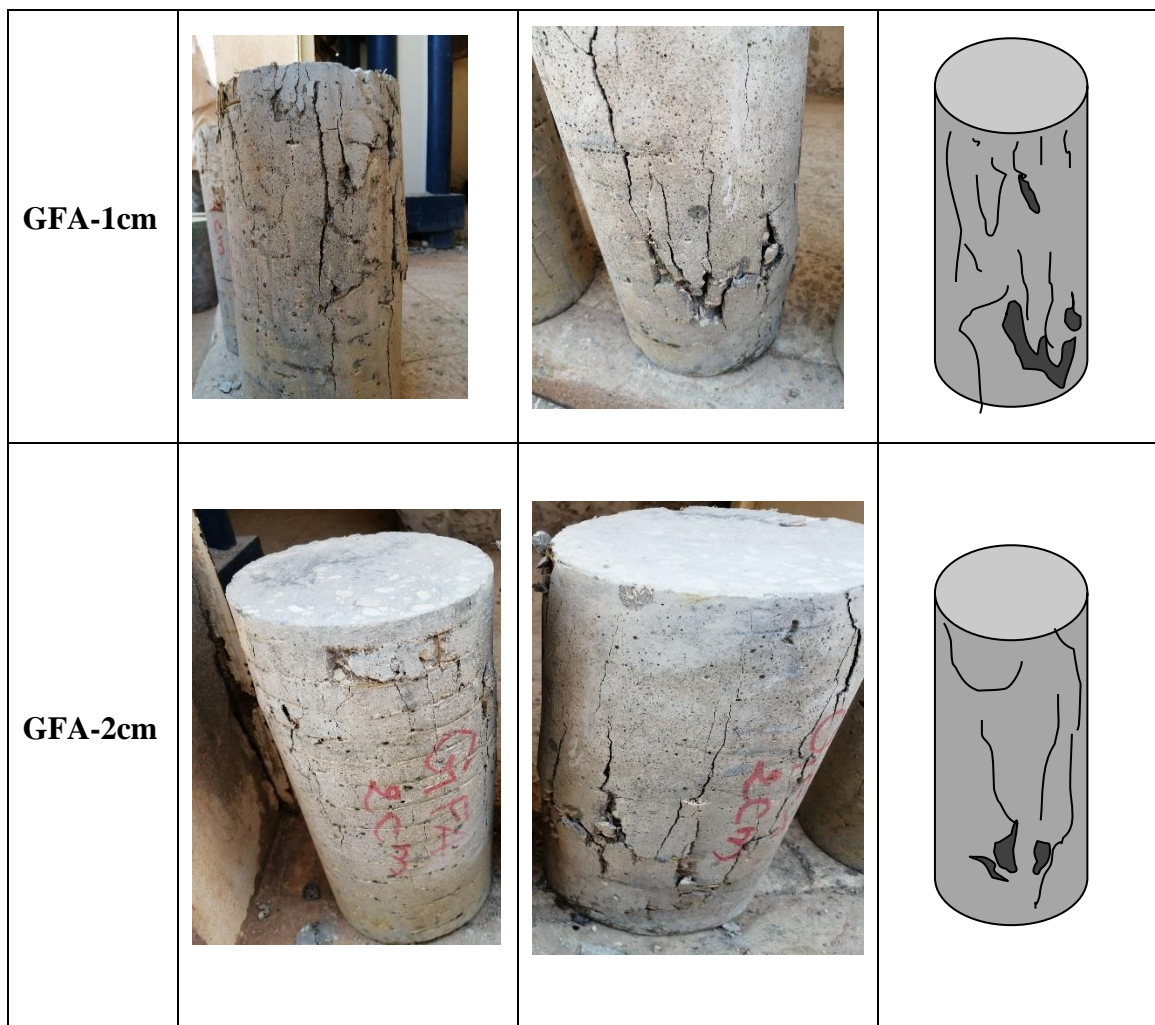


Figure 3.12 : Mode de rupture du BAP confiné avec des grilles végétales.

- Le **Tableau 3.2** regroupe les valeurs de tous les résultats expérimentaux : les contraintes maximales, Les déformations maximales et ultimes des mélanges étudiés.

Tableau 3.2: Résultats expérimentaux des variantes étudiées.

Mélanges étudiés		BAP non confiné			BAP confiné				
		f_{co} (MPa)	ε_{cu} (‰)	ε_u (‰)	f_{cc} (MPa)	ε_{cc} (‰)	ε_{cu} (‰)	ε_{cc} / ε_{co}	f_{cc} / f_{co}
BAP témoin		42,25	4,30	5,92					
Grilles Plastiques	GPC				39,96	3,42	6,66	0,8	0,95
	GPL				30,50	3,75	8,1	0,87	0,71
	GPT				45,93	4,75	5,41	1,10	1,09
Grilles Métalliques	GMC				39,89	4,62	5,72	1,07	0,94
Grilles Végétales	GFA-1				35,34	5,86	12,56	1,36	0,83
	GFA-2				34,91	2,58	7,18	0,6	0,82

Afin de mieux montrer l'intérêt de l'utilisation de différentes grilles de confinement, les résultats sont présentés sous forme de gain de résistance (GR) et gain de ductilité (GD) en utilisant les formules (3.1) et (3.2). Le tableau 3.2 résume les résultats obtenus.

$$GR = \frac{f_{cc} - f_{co}}{f_{co}} \times 100 \quad (3.1)$$

$$GD = \frac{\varepsilon_{cu} - \varepsilon_u}{\varepsilon_u} \times 100 \quad (3.2)$$

Tableau 3.3: Résultats de gains de résistance et ductilité en compression axiale.

Type de gain.		Gain de résistance GR(%)	Gain de ductilité GD(%)	E (GPa)
Béton non confiné 'BNC'				10,14
Grilles plastiques	GPC	-5,42	12,5	14,03
	GPL	-27,81	36,82	14,68
	GPT	8,71	-8,61	13,92
Grilles métalliques	GMC	-5,59	-3,38	10,72
Grilles végétales	GFA-1cm	-16,36	112,16	14,66
	GFA-2cm	-17,37	21,28	18,64

3.8 Comparaison entre confinement intérieur et extérieur

D'après les résultats de tableau, on remarque que les meilleures performances obtenues sont celles des BAP confinés par des grilles plastiques de maille forme losange et végétale (GFA-1 cm) ainsi que par des grilles métalliques carrée.

Dans le but de faire une comparaison entre la technique de confinement extérieur et la technique de confinement intérieur [9], On a regroupé le résultat de gains de résistance et ductilité en compression axiale des différents cylindres dans le **tableau 3.4**.

Tableau 3. 4: Résultats des gains de résistance et ductilité en compression axiale des cylindres confinés extérieurement et intérieurement.

Type de gain.		Confinement extérieur			Confinement Intérieur		
		Gain de résistance GR(%)	Gain de ductilité GD(%)	E (GPa)	Gain de résistance GR(%)	Gain de ductilité GD(%)	E (GPa)
Béton non confiné 'BNC'				10,14			10,14
Grilles plastiques	GPL	-27,81	36,82	14,68	-5,36	9,45	13,74
	GPT	8,71	-8,61	13,92	-25,96	-4,89	10,79
Grilles métalliques	GMC	-5,59	-3,38	10,72	-24,85	85,13	10,74
Grilles végétales	GFA-1	-16,36	112,16	14,66	-10,67	16,89	9,82
	GFA-2	-17,37	21,28	18,64	0,75	78,37	11,64

D'après le tableau 3.4, on remarque que pour les deux techniques de confinement (intérieurement et extérieurement) la contrainte maximale est toujours inférieure à celle du béton non confiné. A l'exception, les BAP confiné extérieurement par les grilles plastiques triangulaires GPT ont donné un gain de résistance d'une valeur de (8.71 %) par rapport au béton témoin. Les cylindres confinés intérieurement (GPL, GMC) et extérieurement (GFA-1), ont enregistré la meilleure performance en terme de ductilité. Tous les cylindres confinés extérieurement ont donné les meilleurs résultats en termes de module d'élasticité en comparaison avec les cylindres confinés intérieurement et qui ont donné des valeurs de module d'élasticité inférieures aux celles du béton de référence.

Synthèse

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents résultats d'une investigation expérimentale sur le comportement des colonnes circulaires en béton autoplacant de dimension (16 x 32 cm) confinées extérieurement par des grilles de différents natures et formes (plastiques, métalliques, et végétales). En suit nous avons également comparé les différents paramètres mécaniques obtenus par les BAP confiné extérieurement avec les même BAP confiné intérieurement [9].

D'après les analyses des différents résultats, on a observé que la majorité des cylindres étudiés ont donné des résultats intéressants en termes de contrainte et ductilité. Les meilleures performances mécaniques sont obtenues pour les colonnes confinées par GFA-1cm, GFA-2cm et GPL.

CONCLUSION

GENERALE

Conclusion générale

Cette étude a pour but d'évaluer le comportement mécanique du BAP confinés par des matériaux composites utilisés en vue de renforcer des éléments structuraux, en particulier les poteaux. Pour mener cette étude nous avons procédé à la technique du confinement extérieur des cylindres de dimensions 16*32cm en béton autoplaçant avec des grilles de différentes formes (losange, triangle, carré) et origines : (plastiques, végétales, métalliques).

D'après les résultats des essais expérimentaux, on peut conclure les points suivants :

- La fluidité, la capacité de passages et la ségrégation dynamique sont les caractéristiques avantageuses du béton autoplaçant ;
- La composition GPT présente la valeur de contrainte la plus grande par rapport aux compositions ;
- Les meilleures performances mécaniques on résistance sont obtenues pour les colonnes confinées par GFA-1cm, GFA-2cm, GPT et GPL ;
- Certains types de grilles utilisés offrent au béton autoplaçant confiné une ductilité supérieure par rapport au béton autoplaçant non confiné ;
- Les BAP de GPL et GFA-1cm ont donné la meilleure ductilité ;
- Les déformations ultimes obtenues sous l'effet de la charge de compression de tous les mélanges étudiés sont supérieures par rapport à la déformation du béton témoin sauf BAP de GPT ;
- Les modules d'élasticité de toutes les variantes étudiées sont supérieurs à celui du béton non confiné, ce qui permet d'augmenter la rigidité des bétons ;
- Le confinement du béton par les différents types de grilles a influencé plus ou moins le mode de rupture des éprouvettes.

Références bibliographiques

- [1] **Ghernouti. Youssef** : « Conception et analyse mécanique de confinement des éléments cylindriques en béton a renforts mixte, thèse de doctorat », Université de Boumerdes 2009, pp. 177.
- [2] **Jean-Pierre Adam** ; « La Construction romaine. Matériaux et techniques ». Sixième édition. Grands manuels picards, 2011.
- [3] **Jean-Pierre Adam et Neville M** ; « Propriétés des bétons ». Editions Eyrolles, Paris, 2000.
- [4] **Freyssinet E** :« Progrès pratiques des méthodes de traitement mécanique des bétons », Deuxième Congrès de l'Association internationale des ponts et charpentes, octobre 1936
- [5] **Breysse D** : « Méthodologie d'évaluation non destructive de l'état, » Association Française de Génie Civil. Editeur : Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 1er Edition, p. 556.
- [6] **Calgaro J. et Lacorex R.** : « Maintenance et réparation des ponts, » Presses de l'Ecole Nationale des ponts et chaussées, pp. 11-19, 1997.
- [7] **Ferrier E**, « comportement de l'interface composite-béton sous des sollicitations de fluage thermo stimulé et en fatigue oligocyclique. Application au calcul prévisionnel de la durabilité de poutres BA renforcée, » Thèse de doctorat, université Lyon1, 1999.
- [8] **Zein El Abidine Ould El hacen**: « Renforcement du béton par les matériaux composites », Mémoire de Master Académique **Université de Tébessa Algeria, p. 8, 2016**
- [9] **Belkacem Bilal et Djilali Ben Fredje Youssef** : « Etude du comportement mécanique des béton autoplaçant confines par des grilles composites », mémoire de master en génie civil, Université Amar Telidji – Laghouat, pp 7, 2019
- [10] **Abdelmadgide Si Saalem** : « Développement d'une poutre en béton-composite : analyse expérimentale et modélisation », Thèse de Doctorat 3ème Cycle L.M.D, P12, 2016

- [11] **Lakhdari Loubna** et **Maamouuri Ghania**, « Optimisation numérique des paramètres de confinement des cylindres en béton par des bandes composites », Mémoire de Master, Université de Bejaia, 2018,
- [12] **Raphaëlle Sadone** ; « Comportement de poteaux en béton armé renforcés par matériaux composites, soumis à des sollicitations de type sismique, et analyse d'éléments de dimensionnement », thèse de Doctorat, 12 décembre 2011.
- [13] **Charewicz A.** et **Daniel I.M.** « Damage Mechanisms and accumulation in graphite epoxy laminates ». *Composite Materials fatigue and fracture* », ASTM STP 907, pp. 274-297, 1986.
- [14] **Abdelmadjid Si Salem** ; « Développement d'une poutre en béton-composite : analyse expérimentale et modélisation » Thèse de Doctorat, Université Mouloud Mammeri de TiziOuzou, 2016.
- [15] **Mayes JS, Hansen AC.** « Composite laminate failure analysis using multi continuum theory», *Comp Sci Technol*, 64, pp 379–394, 2004.
- [16] **Yahiaoui, souad.** «Étude expérimentale de la durabilité des éléments fissures en béton arme rigidifiés par les matériaux composites,» *Thèse de magister*, 2006.
- [17] **Park R. et. Paulay T.** «Reinforced concrete structure, » John Wiley and sons, New York, N.Y,21-23, p. pp.1975.
- [18] **W. Z. e. L. Z. Wu G,** «Design-oriented stress-strain model for concrete prisms confined with FRP composites, » *journal of construction and building materials*, pp. 21(5), 1107-1121., 2007.
- [19] **Hafida,B** «Etude du renforcement des colonnes en béton par des recouvrements en matériaux composites,» Thèse de Doctorat l'Université 8 Mai 1945, p. 30, 2013.
- [20] **Riad Benzaid** « Performances des colonnes en béton confiné avec des enveloppes externes en composites (PRFC) » Université de Jijel. BP. 1998
- [21] **Baron, J** « Résistance à la propagation des fissures ». Béton hydraulique ; presse de L'ENPC-PARIS-1982
- [22] **Gorisse, F** « Essais et contrôle des bétons ». Edition Eyrolles,1978.

- [23] **Celik, E.** «Geological and technical characterization of Iscehisar (Afyon- Turkey) marble deposits and the impact of marble waste on environmental pollution, » *Journal of Environmental Management*, pp. 87: 106-16, 2008.
- [24] **Alyamac K A I R.** «A preliminary concrete mix design for SCC with marble powders’’, *Construction Building Materials*, »pp 23: 1201–10, 2009.
- [25] **Boukhelkhal A,** « Rhéologie, caractérisation physico-mécanique et durabilité des bétons autoplaçants à base de la poudre de marbre, » pp 170, 2012
- [26] **Association Française de Génie Civil « AFGC », Bétons autoplaçants- Recommandations provisoires, 2002.**
- [27] **Centre Scientifique et Technique de la Construction « CSTC », Caractériser et contrôler un béton autocompactant in situ, France, p 2,3,4, 2005.**