



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

BELKACEM Bilal et DJILALI BEN FREDJE Youcef

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Génie Civil

Option : Structure

Thème

**ETUDE DU COMPORTEMENT MECANIQUE DES BETONS
AUTOPLACANTS CONFINES PAR DES GRILLES
COMPOSITES**

Jury de soutenance :

Nom et prénom	Grade	Qualité
Pr. BOUZIANI Tayeb	Professeur	Président
Dr. BELAIDI Akram Salah Eddine	Maître de conférences A	Examineur
Dr. BENABED Benchaa	Maître de conférences A	Rapporteur
Dr. BOUKHELKHAL Aboubakeur	Maître de conférences B	Co-rapporteur

LAGHOUCAT, 2019

REMERCIEMENTS

Tous nos remerciements et notre reconnaissance envers **Dr. BENABED Benchaet** 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 Messieurs **BOUZIANI Tayeb**, professeur à l'université AMAR TELIDJI de LAGHOUAT, et **BELAIDI Akram Salah Eddine**, Maître de conférences (A) à l'université AMAR TELIDJI de LAGHOUAT qui ont accepté de faire partie du jury de soutenance.

Nos 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 leur aide de faire les essais de compression, en particulier le directeur Monsieur **Yousri Aloui**

Un grand merci à Monsieur **El Hadi Benhorma**, doctorant au département de génie mécanique, pour son aide à la réalisation d'essai de traction des grilles utilisées.

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.

Dédicace

C'est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères au monde mes chers parents, pour leur amour et bonté et que sans eux je n'aurai jamais pu atteindre mon objectif, que Dieu me les garde

A mes chers frères Walid et Abd-nour.

A mes chères sœurs et leurs maries respectifs ainsi qu'à leurs enfants Adam, Belkais, Lokman, Muslim, Hafsa et Koussai.

A tout la famille Belkacem et Zarrouk,

A mon binôme Youcef pour laquelle je souhaite une vie plein de joie et de réussite.

A tous mes amis.

Hichem, Redouane, Sid-ahmed, Mouhmed, Abdou, Hamza, Bilal, Chakibe Nabil, Abd-rahim, Fouad, Imed, Ayoub, Roumaissa, Mereim, Nawal et Tinhinan.

A toute la promotion 2019

BELKACEM BILAL

Dédicace

C'est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail aux plus chères à mes parents rachid et yamina mrabet, pour leur amour et bonté et que sans eux je n'aurai jamais pu atteindre mon objectif, que Dieu me les garde.

A mes chers frères side-ahmed, abdelkrime, bilel et ma chère sœur hayate. Ainsi qu'à toutes mes oncles, l'épouses de mes oncles, mes cousines pour leurs soutien et encouragements durant tout mon cursus.

A toutes mes amies mohamed, side_ahmed, redouane, hicham, bilal, abdullah, karim, abdulwahabe, mohamed, azzdine, abdurazak, hicham, moloud, hacène, houcine, soufien, nani, abdeljalil, baroud, ali, bahziz, ayoub, abderahmen, noureddine, attabi, bouzidid, omar, et nacer.

A mon binôme Bilal pour laquelle je souhaite une vie plein de joie et de réussite.

A tous mes amis.

A toute la promotion 2019.

Youss.

Résumé

Ce travail consiste en une analyse expérimentale et analytique d'une nouvelle technique de confinement de cylindres en béton autoplaçant par des grilles composites disposées circonférentiellement tout le long du pourtour du cylindre et totalement intégrées dans la matrice béton. 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.

Neuf mélanges de bétons autoplaçants (BAP) ont été préparés, dont un de référence (BAP non confiné) et huit comportant différents types de grilles (plastiques, métalliques et végétales) avec différentes formes des mailles (losange, carré et triangle). Les paramètres de formulation à savoir Eau/Liant et Superplastifiant/Liant ont été sélectionnés respectivement 0,4 et 0,9%. Les éprouvettes testées sont de type cylindrique de dimensions 16*32cm.

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. La confrontation des résultats expérimentaux avec les résultats analytiques a donné une bonne concordance.

Mots clés : béton autoplaçant, confinement, grilles composites, résistance, ductilité.

ملخص

يتمحور هذا العمل حول تحليل تجريبي و تحليل نظري لتقنية جديدة من احتواء الأسطوانات الخرسانية بواسطة شبكات مركبة ، متموضعة محيطياً على طول محيط الأسطوانة و مغروسة داخلها. الهدف الرئيسي هو تحديد مساهمة من ناحية المقاومة و التشوه المتحصل عليهما من خلال تعزيز الأعمدة و تأثيرها على نمط تكسرها تحت تأثير الضغط أحادي المحور.

تم إعداد تسعة خلائط من الخرسانة ذاتية الرص ، واحد مرجعي و ثمانية يحتويون أنواع مختلفة من الشبكات (البلاستيكية، المعدنية والنباتية). ذات أشكال مختلفة (مربع، مثلث) وقد تم صياغة كل الخلائط باستعمال نسب ماء/رابط و ملدن متفوق/ رابط مساوية على التوالي ل 0.4 و 0.9٪. العينات المختبرة هي من النوع الأسطواني ذات أبعاد 16 * 32 سم.

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، وقد أعطت المقارنة بين النتائج التجريبية والنتائج التحليلية توافقاً جيداً.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة ذاتية الرص، الاحتواء، الشبكات المركبة، مقاومة، ليونة.

Abstract

This work consists of an experimental and analytical analysis of a new technique of confinement of self-compacting concrete cylinders by composite grids arranged circumferentially all along the periphery of the cylinder and totally integrated into the concrete matrix. The main objective is to quantify the resistance and deformation contribution that confinement can give to columns and its influence on the uniaxial compression failure mode.

Nine mixtures of Self-compacting concrete (SCC) have been prepared, including one reference (unconfined BAP) and eight with different types of grids (plastic, metallic and vegetable) with different shape of mesh (lozenge, square and triangle) . The formulation parameters namely Water / Binder and Superplasticizer/Binder were selected 0.4 and 0.9%, respectively. The tested specimens are cylindrical and have dimensions of 16 * 32cm.

The results obtained show that it is possible to substantially increase the ductility of the columns, and in some cases their strength. It was also found during the compressive test that the failure mode of the confined self-compacting concrete is very influenced by the presence of the grids. The comparison of the experimental results with the analytical results gave a good concordance.

Key words: self-compacting concrete, confinement, composite grids, strength, ductility.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	II
DEDICACE	III
RÉSUMÉS.....	V
LISTE DES FIGURES.....	IX
LISTE DES TABLEAUX	XI
INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre 1 : Etude bibliographique sur le renforcement et le confinement des elements structuraux en beton	
1.1. Introduction	3
1.2. Matériau béton	3
1.2.1. Historique	3
1.2.2. Béton autoplaçant	4
1.3. Dégradations du béton	5
1.3.1. Définition.....	5
1.3.2. Les types de dégradations :.....	5
1.3.2.1. Pathologies d'origine chimique :	5
1.3.2.2. Pathologies d'origine mécanique :	8
1.3.2.3. Pathologies d'origine physique :	9
1.4. Renforcement du beton par confinement.....	11
1.4.1. Définition.....	11
1.4.2. Matériaux composites	11
1.4.2.1. Caractéristiques générales :	12
1.4.3. Mécanisme de confinement.....	15
1.4.4.1. Définition	15
1.4.4.2. Comportement du béton confiné	15
1.4.4. Méthode de confinement	18

1.4.4.1.	<i>Béton confine avec des composites PRF (polymères renforcés en fibres) :</i>	18
1.4.4.2.	<i>Béton confine par des grilles Geernouti [38]</i>	22
Synthèse		27

Chapitre 2 : Caractérisation des matériaux et essais réalisés

2.1.	Introduction	28
2.2.	Caractérisation des matériaux	28
2.2.1.	<i>Les granulats</i>	28
2.2.2.	<i>Superplastifiant</i>	29
2.2.3.	<i>Ciment.....</i>	29
2.2.4.	<i>Poudre de marbre</i>	30
2.2.5.	<i>Les Grilles</i>	31
2.2.5.1.	<i>Grilles plastiques</i>	31
2.2.5.2.	<i>Grilles métalliques</i>	32
2.2.5.3.	<i>Grilles végétales</i>	33
2.3.	Formulation du béton autoplaçant	34
2.4.	Procédure de malaxage.....	34
2.5.	Méthodes expérimentales	34
2.4.1.	<i>Caractérisation béton autoplaçant frais.....</i>	34
2.4.1.1.	<i>Essai d'étalement.....</i>	34
2.4.1.2.	<i>Essai à l'entonnoir en V.....</i>	35
2.4.1.3.	<i>Essai à la boîte en L</i>	36
2.4.1.4.	<i>Essai de ségrégation dynamique au tamis.....</i>	36
2.4.2.	<i>Procédure de confinement.....</i>	37
2.4.3.	<i>Mise en œuvre de béton autoplaçants</i>	37
2.4.4.	<i>Procédure de d'essai.....</i>	38
Synthèse		39

Chapitre 3 : Analyse et discussion des résultats

3.1. Introduction	40
3.1.1. <i>Caractérisation du BAP à l'état frais.....</i>	40
3.1.2. <i>Comportement mécanique du BAP durci</i>	42
3.1.2.1. <i>Comportement mécanique du BAP non confiné</i>	42
3.1.2.2. <i>Comportement mécanique du BAP confiné par des grilles plastiques.....</i>	43
3.1.2.3. <i>Comportement mécanique du BAP confiné par des grilles métalliques.....</i>	43
3.1.2.4. <i>Comportement mécanique du BAP confiné par des grilles végétales</i>	44
3.2. Synthèse.....	50
3.2.1. <i>Déformation axial en fonction de la contrainte axiale</i>	50
3.2.2. <i>Comportement mécanique du BAP confiné et non confiné.....</i>	50
3.2.3. <i>Influence de la forme de la maille des grilles sur le comportement du BAP confiné.</i>	51
3.2.4. <i>Mode de rupture des colonnes.....</i>	52
3.2.4.1. <i>Rupture du béton de référence</i>	52
3.2.4.2. <i>Rupture du béton confiné par des grilles plastiques</i>	52
3.2.4.3. <i>Rupture du béton confiné par des grilles métalliques</i>	54
3.2.4.4. <i>Rupture du béton confiné par des grilles végétales.....</i>	54
3.3. Modèles analytiques de confinement	56
3.3.1. <i>Confrontation des résultats expérimentaux et analytiques</i>	58
Synthèse.....	61
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	62
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	64
ANNEXE A : ESSAI DE TRACTION DES GRILLES	68
ANNEXE B : COURBES CONTRAINTE-DEFORMATION DU BETON CONFINES PAR DIFFERENTS TYPES DE GRILLES.	69

LISTE DES FIGURES

Chapitre 1

Figure 1.1 : carbonatation du béton et conséquences sur la structure [13].	6
Figure 1.2 : Influence de la corrosion des armatures dans la structure[14].	6
Figure 1.3 : épaufrures dues à l'alcali-réaction [14].	7
Figure 1.4 : tassement différentiel [14].	8
Figure 1.5 : effet de séisme [18]	9
Figure 1.6 : Dégradation d'un ouvrage soumis au gel dégel.	9
Figure 1.7 : Retrait après le bétonnage [20].	10
Figure 1.8 : Composants d'un matériau composite.	13
Figure 1.9 : Constituants d'un matériau composite[26].	13
Figure 1.10 : Courbes contraintes déformations d'un béton confiné et non confiné [29].	16
Figure 1.11 : Effet de la pression de confinement [31].	17
Figure 1.12 : Mécanisme de confinement de béton [33].	17
Figure 1.13 : Action du confinement d'un composite PRF .	18
Figure 1.14 : confinement des poteaux par stratification directe [29].	20
Figure 1.15 : confinement des poteaux par enroulement filamentaire [29].	20
Figure 1.16 : Coquille PRF préfabriquée [38].	21
Figure 1.17 : Modes de rupture des spécimens [37].	22
Figure 1.18 : forme des grilles utilisées [38].	22
Figure 1.19 : Exemples dispositions des grilles composites [38].	23
Figure 1.20 : Contrainte-déformation du béton témoin (non confiné) [38].	24
Figure 1.21 : Contrainte-déformation de béton témoin et de béton confiné avec les différentes grilles disposées à l'intérieur [38].	24
Figure 1.22 : Gain de résistance de déformation axiale du béton confiné avec les différentes grilles disposées à l'intérieur [38].	25

Chapitre 2

Figure 2.1 : Analyse granulométrique de sable et de gravier 8/15 et 3/8.....	28
Figure 2.2 : Essai d'étalement.....	35
Figure 2.3 : Essai d'écoulement « V funnel».....	35
Figure 2.4 : Essai de la boîte en L.....	36
Figure 2.5 : Essai de stabilité au tamis.....	36
Figure 2.6 : Arrangements des grilles composites	37
Figure 2.7 : Procédure de d'essai	38

Chapitre 3

Figure 3.1 : Domaines de classification des bétons étendus au cas des BAP [43].	41
Figure 3.2 : Contrainte-déformation du BAP non confiné (témoin).....	42
Figure 3.3 : Contrainte-déformation de béton témoin et de béton confiné par différentes grilles plastiques.....	43
Figure 3.4 : Contrainte-déformation du béton témoin et béton confiné avec les différentes grilles métalliques.	44
Figure 3.5 : Contrainte-déformation du béton témoin et béton confiné avec les différentes grilles végétales.....	45
Figure 3.6 : contraintes maximales de BAP témoin et des bétons confinés par de différents types de grilles.....	46
Figure 3.7 : Les déformations correspondent à contraintes maximales de BAP témoin et de béton confiné par les différentes grilles.	46
Figure 3.8 : Les déformations ultime de BAP témoin et de béton confiné par les différentes grilles.....	47
Figure 3.9 : Les module d'élasticité (E) de béton témoin et de béton confiné par les différentes grilles.....	48
Figure 3.10 : Mode de rupture de béton témoin.....	52
Figure 3.11 : Mode de rupture du BAP confiné par des grilles plastiques.	53
Figure 3.12 : Mode de rupture du BAP confiné avec des grilles métalliques.....	54
Figure 3.13 : Mode de rupture du BAP confiné avec des grilles végétales.	55
Figure 3.14 : Courbe contrainte-déformation du béton confiné [38].....	56

Figure 3.15 : Confrontation des courbes contrainte-déformation expérimentales et analytiques des BAP confinés par GPL.....59

Figure 3.16 : Confrontation des courbes contrainte-déformation expérimentales et analytiques des BAP confinés par GML60

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre 1

Tableau 1.1 : Comparaison entre composites et acier.....	12
Tableau 1.2 : Résultats expérimentaux, gains de résistance et ductilité en compression axiale [38].....	25

Chapitre 2

Tableau 2.1 : Propriétés physiques des granulats.	29
Tableau 2.2 : Propriétés physico-mécaniques du ciment [39].	29
Tableau 2.3: Propriétés chimiques de ciment et poudre de marbre [39].	30
Tableau 2.4: Caractéristiques de grilles plastique.....	31
Tableau 2.5: Caractéristiques de grilles métalliques.....	32
Tableau 2.6: Caractéristiques de grilles végétales.	33
Tableau 2.7: Formulation du BAP pour 1m ³	34

Chapitre 3

Tableau 3.1 : Valeurs préconisées pour les essais du BAP selon EFNARC et les résultats obtenus.	40
Tableau 3.2 : Résultats expérimentaux des variantes étudiées	48
Tableau 3.3 : Résultats de gains de résistance et ductilité en compression axiale.....	49
Tableau 3.4 : Synthèse des quelques modèles du béton confiné.	58
Tableau 3.5 : Comparaison des résultats expérimentaux et analytiques de BAP confinés par GPL	59
Tableau 3.6 : Comparaison des résultats expérimentaux et analytiques de BAP confinés par GML.	60

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le béton est le matériau structural le plus utilisé pour la construction des infrastructures sociales et industrielles. Toutefois, pour construire des structures durables et fiables, il est nécessaire, non seulement de développer un béton de qualité, mais aussi d'assurer une mise en place correcte afin de répondre aux exigences demandées pour la mise en service de la structure.

Les structures actuelles se caractérisent par la complexité de leurs modèles telles que les formes variables et les courbures multiples, ainsi que leur forte concentration en armatures, ce qui rend l'application des bétons usuels à ces types d'ouvrages très difficiles avec des défaillances structurales très probables.

L'un des problèmes majeurs dans le domaine de la construction est la dégradation des structures. Les causes sont multiples, on peut citer des erreurs lors de l'étude ou de l'exécution, un accroissement des charges, un changement de l'exploitation de la structure, la corrosion des armatures, des actions accidentelles telles que les séismes ou les chocs...

Le renforcement des structures en génie civil a pour but de rendre les éléments structuraux plus résistants, plus rigides et plus stable et d'éviter par conséquent toute rupture brutale.

Les matériaux composites utilisés pour le renforcement des structures, apportent de nombreux avantages fonctionnels : légèreté, résistance mécanique, et chimique, Maintenance réduite, liberté de formes. Ils permettent d'augmenter la durée de vie grâce à leurs propriétés mécaniques et chimiques. Ils contribuent à l'amélioration de la sécurité grâce à une meilleure tenue au choc et au feu. Ils offrent également une meilleure isolation thermique et phonique.

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

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.

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 et analytiquement le comportement mécanique des cylindres de béton autoplaçants confinés par des grilles de différentes formes (losange, carré et triangle) et de différents matériaux (plastique, métallique et végétale).

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

- 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

1.1. Introduction

La durabilité d'un ouvrage dépend de nombreux paramètres dont la qualité de sa conception, des matériaux utilisés, de sa réalisation ainsi que des diverses conditions d'usage, d'exploitation et de maintenance. Le béton résiste au temps qu'il fait et au temps qui passe. Mais les ouvrages en béton peuvent nécessiter des opérations de réparation ou de renforcement pour augmenter leur durée d'utilisation ou offrir de nouvelles fonctionnalités.

Afin d'assurer la sécurité et le prolongement de la durée de vie des constructions, l'une des méthodes curatives utilisées est le renforcement des structures en béton. L'une des premières techniques qui a été utilisée est le collage des éléments en acier sur les faces exposées aux sollicitations dues aux efforts de chargements. Mais la grande sensibilité de ce matériau à la corrosion, ainsi que son poids élevé a fait que son utilisation présente des inconvénients. De ce fait, les matériaux composites sont alors utilisés comme substitut potentiel à l'acier dans plusieurs domaines du Génie Civil. Les chercheurs ont introduit la notion de confinement du béton à l'aide de matériaux composites à base de fibres de verres, de carbone, aramide et autre. Le renforcement des éléments consiste à améliorer leurs caractéristiques mécaniques de manière à ce qu'elles offrent une meilleure solidité aussi bien en état de service qu'en état de résistance ultime.

1.2. Matériau béton

1.2.1. Historique

Le béton est un matériau de construction qui existait depuis dizains d'année avant JC, il est caractérisé par sa bonne résistance à la compression et sa faible résistance à la traction. Un matériau similaire été connu des égyptiens et des romains mais l'essor réel tel qu'on le connaît aujourd'hui est dû à l'anglais Joseph Aspdin qui a fait breveter le ciment portland en 1824 [1]. Vers 2600 avant JC, les assyriens et les babyloniens ont employé l'argile comme un matériau liant.

Les égyptiens ont utilisé un ciment à base de chaux et de gypse. De même, en 1849 Josèphe Monier [2] 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 [3] a inventé le béton précontraint comportant des 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. Quelques années après (en 1989), le béton autoplaçant a été développé par des chercheurs de l'université de Tokyo [4].

1.2.2. Béton autoplaçant

Le béton autoplaçant ou BAP est un béton capable de se mettre en place dans les coffrages les plus complexes et très encombrés uniquement sous l'effet de la pesanteur. Ainsi, ce type de béton ne requiert aucun moyen de vibration pour consolider le mélange avec comme résultat un produit très homogène [5].

Un BAP doit être apte à passer à travers les armatures les plus serrées avec, cependant, une vitesse dépendante de la viscosité du mélange. Pour remplir cette condition, le béton doit être très fluide, c'est à-dire très déformable. Or ceci n'est possible que si le rapport eau/ciment est élevé ou si le béton contient un superplastifiant. Seulement, la fluidité n'est pas la seule propriété recherchée, car il faut bien s'assurer de l'homogénéité de l'ensemble pâte-granulats. De façon corollaire, le mélange du BAP doit être très cohésif et très stable lors de la mise en place et cela jusqu'à son durcissement. Ceci implique que le BAP doit présenter le minimum de tassement et de sédimentation des particules solides et éviter de présenter un ressuage trop fort, car cela génère une hétérogénéité des propriétés mécaniques, telle qu'une chute d'adhérence des armatures en partie supérieure des levées par rapport à celles situées en zone inférieure lors du coulage [6].

Une bonne stabilité liée, entre autres, à la viscosité du mortier et de son seuil de cisaillement nécessite soit l'ajout d'un agent de viscosité afin d'améliorer la cohésion de l'ensemble, soit d'augmenter la teneur en matière cimentaire et de réduire la teneur en eau libre. Aussi une bonne stabilité est liée à une optimisation de la compacité granulaire. Or l'augmentation de la teneur en liant n'est pas sans conséquence sur la durabilité, vu le dégagement de la chaleur et le risque de nuire à la capacité de remplissage [7]. Cette complexité amène à combiner différents paramètres pour obtenir la résistance à la compression recherchée. Mais avant d'atteindre cette étape, il est indispensable de s'assurer d'une part de la bonne capacité de remplissage de ces bétons, donc une déformabilité supérieure à celle des bétons ordinaires [8]. D'autre part, il faut s'assurer de la stabilité du mélange et éviter, par conséquent, la ségrégation [9, 10].

Très souvent, la satisfaction de ces deux exigences entraîne un compromis. Autrement dit, en plus de garantir un étalement compris entre 550 et 850 mm et d'assurer une très bonne

capacité de remplissage, il faut que l'agent de viscosité introduit pour améliorer la viscosité ne réduise pas les performances mécaniques du béton [11, 12]. En effet, l'utilisation d'un agent colloïdal peut augmenter l'air occlus et réduire la résistance du béton.

Les avantages de béton autoplaçant :

- Absence de vibration pour sa mise en place.
- Facilité et rapidité de la mise en œuvre.
- Amélioration des conditions de travail suite à l'absence de nuisances sonores.
- Excellent remplissage des coffrages et le Béton de qualité et surface plane, régulière.
- Possibilité de bétonner des formes complexes.

1.3. Dégradations du béton

1.3.1. Définition

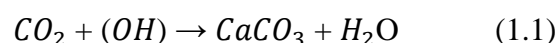
Le béton armé est le matériau de base le plus utilisé dans le génie civil depuis plus d'un siècle. Il peut se dégrader et perdre une part de ses propriétés sous l'influence de causes multiples qui peuvent être liées à sa qualité originelle ou à des sollicitations d'exploitation ou d'environnement. Des 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.

1.3.2. Les types de dégradations

1.3.2.1. Pathologies d'origine chimique

- a. Attaque des chlorures et Carbonatation- corrosion des aciers :

La carbonatation est un phénomène de vieillissement naturel des matériaux. Elle conduit à la formation du carbonate de calcium par réaction chimique entre la portlandite 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. Lorsque la profondeur de la carbonatation atteint les armatures, le film de carbonatation disparaît et les armatures sont dépassivées ainsi le diamètre des armatures diminue ce qui conduit à une diminution de la résistance. Cette carbonatation pourrait aussi conduire à la rouille qui est une matière expansive qui peut causer l'éclatement du béton (**Figure 1.1**).



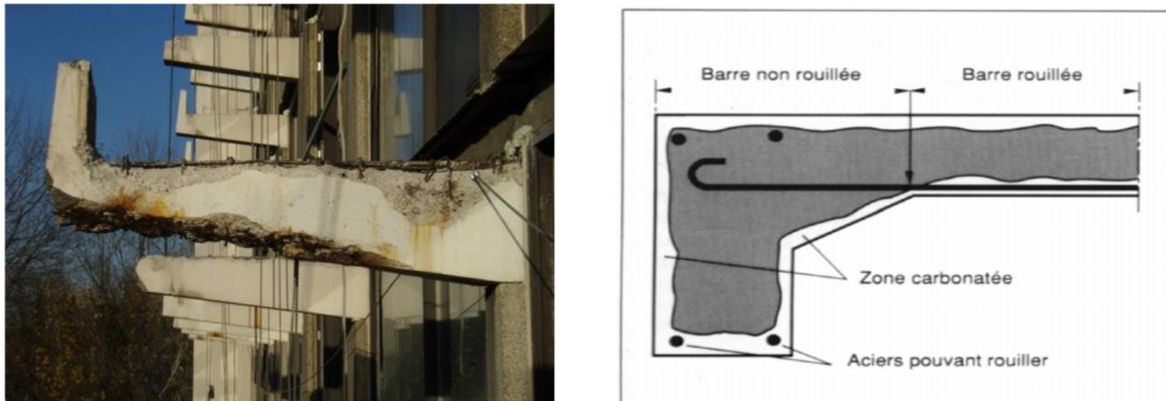


Figure 1.1 : carbonatation du béton et conséquences sur la structure [13].

Certaines attaques chimiques conduisent à la corrosion des armatures. On peut définir la corrosion comme la transformation des métaux en composé divers sous l'action 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.

L'attaque par les chlorures forme avec la carbonatation la cause principale de la corrosion des armatures. Les chlorures se rencontrent principalement dans l'eau de mer et l'eau de gâchage. Cette corrosion est due à un mécanisme similaire à celui de la carbonatation par pénétration des ions de chlore dans la matrice du béton.

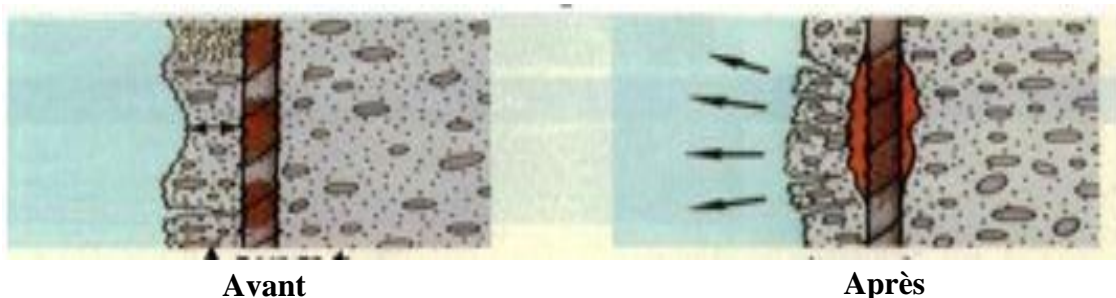


Figure 1.2 Influence de la corrosion des armatures dans la structure [14].

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, eaux souterraines, remblais contenant des sulfates, pluies acide, avec la chaux et les aluminates du ciment. 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. Cette chaîne est présentée dans les travaux de [15].

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 1.3**). Les études ont montré que trois conditions doivent être simultanément remplies pour que ces réactions aient lieu :

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

Outre le gonflement et la fissuration, l'alcali-réaction a pour conséquence de diminuer les propriétés mécaniques du béton. Le phénomène d'alcali-réaction et ses conséquences sur le béton est traité en détail dans les travaux de [16].



Figure 1.3 : épaufrures dues à l'alcali-réaction [14].

1.3.2.2. *Pathologies d'origine mécanique*

a. Chocs

Les désordres induits par l'exploitation d'un ouvrage constituent une cause non négligeable de dégradation du béton. Il s'agit le plus souvent d'action accidentelle de type mécanique qui se concrétise par des chocs [17]. Le béton est susceptible de s'épaufrer 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).

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 un tassement différentiel.



Figure 1.4 : tassement différentiel [14].

1.3.2.3. Pathologies d'origine physique

a. 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. Il peut aussi provoquer des chutes de blocs, une liquéfaction des sols.



Figure 1.5 : Effet de séisme [18].

b. 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 épauffer 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 [19]. La succession des cycles d'humidification et de gel élargit peu à peu ces microfissures qui amèneront la destruction en surface du béton.



Figure 1.6 : Dégradation d'un ouvrage soumis au gel dégel.

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.

Les différents types de fissures de retrait peuvent être classés, suivant leur ordre chronologique d'apparition, en trois types [17] :

- 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.

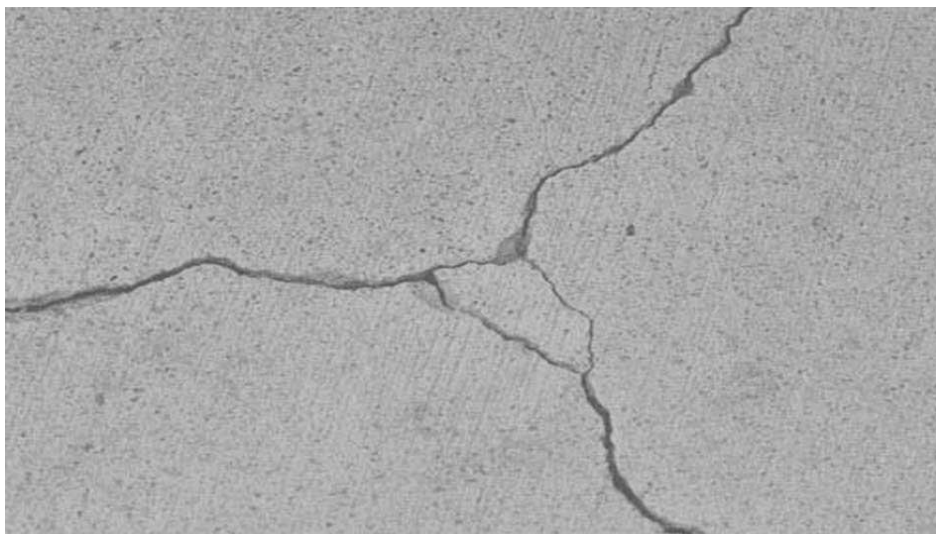


Figure 1.7: retrait après le bétonnage [20].

1.4. Renforcement du béton par confinement

1.4.1. Définition

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

Le confinement des colonnes de béton se réalise à l'aide d'enveloppes en matériaux composites à base de fibres de verre, de carbone et d'aramide métallique, plastique et de végétal etc.... Les différents composites offrent des modules d'élasticité et des rigidités variant pouvant modifier le comportement axial et radial du béton confiné. La notion de renforcement ayant pour objectif d'améliorer les performances de la structure vis-à-vis de conditions d'exploitations modifiées ou d'augmenter la durée de vie de l'ouvrage.

1.4.2. Matériaux composites

L'intégration des matériaux composites dans le domaine du génie civil s'est avérée une source de plusieurs nouvelles applications. Les recherches récentes sur les composites ont amené les ingénieurs à s'intéresser à l'utilisation de ces nouveaux matériaux dans le domaine de la construction. Depuis peu, on retrouve des cas pratiques de leur application dans différents ouvrages de génie civil.

Le développement des technologies dans le domaine de la production de fils et fibres d'origine organique, céramique ou métallique et dans le domaine de la transformation des matières plastiques a permis une évolution rapide de l'utilisation de structures en matériaux composites. Cette évolution est notamment due aux propriétés de résistances, de rigidité et de

faible poids des matériaux composites par rapport à celle des matériaux conventionnels. Cependant l'optimisation de la conception de telles structures nécessite d'appréhender le comportement des matériaux composites. Dans le cas des structures dites à haute performances mécaniques, ces dernières se présentent généralement sous forme de poutre de plaque ou de coque.

L'épaisseur est obtenue par superposition de couches ou de strates élémentaires réalisant un stratifié multicouche. Ces couches sont constituées d'une matrice essentiellement par des fibres présentant des caractéristiques mécaniques élevées.

Ces fibres sont soit alignées parallèlement (fibres unidirectionnelles) soit croisées (tissus) ou orientées aléatoirement (mats). Ce renfort confère généralement aux matériaux une très forte anisotropie mécanique. Ces matériaux de concevoir des outils de calcul performants prenant en compte leur comportement spécifique [21, 22].

Tableau 1.1 : Comparaison entre composites et l'acier.

Critère	Composites	Acier
Poids propre	Bas	Elevé
Résistance en traction	Très élevé	Elevé
Epaisseur	Très basse	Basse
Corrosion	non	Oui
Longueur des plaques	Illimitée	Limitée
Manutention	Facile, flexible	Difficile, rigide
Capacité de chargement	Direction longitudinale	Toute direction
Coût de matériau	Elevé	Bas
Coût des installations	Bas	Elevé
Application	Pas d'équipement	Appareil de lavage et d'attache

1.4.2.1. Caractéristiques générales

Un matériau composite consiste dans le cas général d'une ou plusieurs phases discontinues réparties dans une phase continue. La phase discontinue a habituellement des propriétés mécaniques supérieures à celles de la phase continue. La phase continue est appelée

la matrice, la phase discontinue est appelée le renfort et la **Figure 1.9** montre un matériau composite.

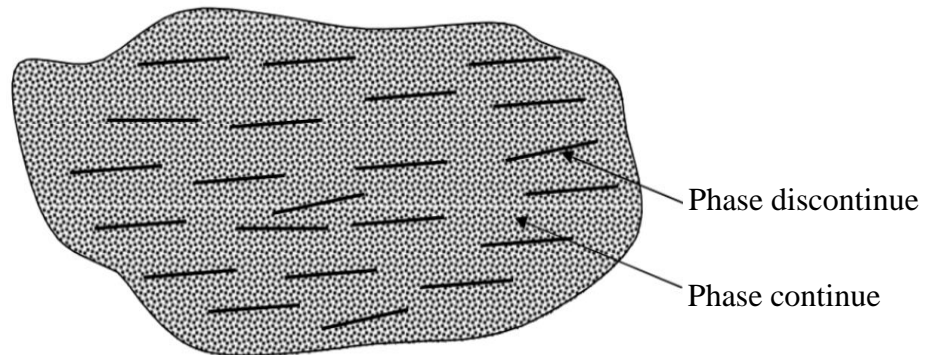


Figure 1.8: Composants d'un matériau composite.

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 qui excèdent celles de ses constituants [23]. En fait, un matériau composite est constitué de deux phases inertes l'une par rapport à l'autre, la matrice et le matériau de renfort, lequel se présente le plus souvent sous forme de fibres. La matrice, généralement ductile mais possédant une résistance et une rigidité faibles. Sert de milieu de transfert des efforts vers les fibres, plus rigides et plus résistantes [24] (**Figure 1.9**).

En utilisant un ensemble de fibres plutôt qu'un seul élément de dimension équivalente, on obtient une meilleure résistance, puisqu'on a moins de chance de faire face à une rupture soudaine causée par un défaut. On y observe de plus une diminution de la propagation des fissures en comparaison avec une tige constituée d'un seul élément [25].

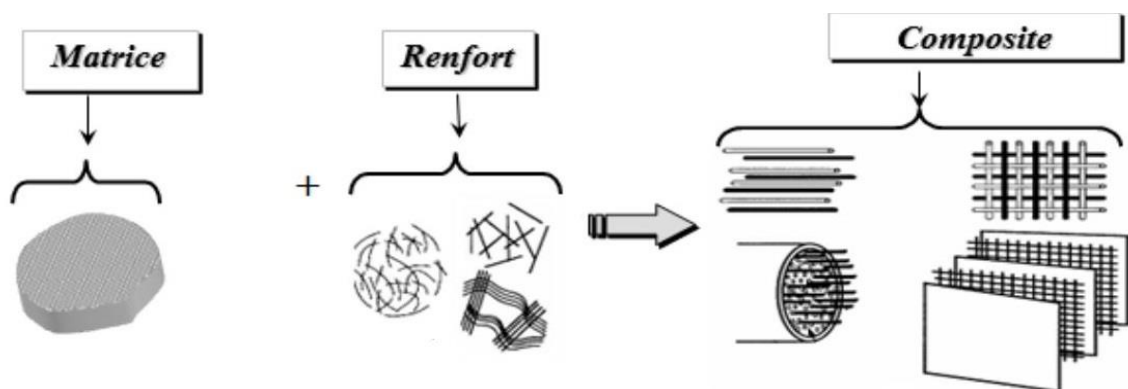


Figure 1.9: Constituants d'un matériau composite [26].

En général, les matériaux composites présentent une excellente résistance en tension et une grande rigidité. Ces propriétés mécaniques peuvent toutefois être variable, puisqu'elles sont étroitement liées aux caractéristiques propres des fibres et de la matrice du composite ainsi qu'à leurs proportions respectives [22]. D'autre part, leur masse volumique est environ quatre fois inférieure à celle de l'acier, ce qui en facilite la manipulation et l'installation en chantier. Par surcroît, le problème de corrosion ne se pose pas [17].

a. Matrice

Les matrices ont pour rôle de transférer les sollicitations aux fibres et de les maintenir en position, elles doivent donc être assez déformables et présenter une bonne compatibilité avec les fibres, leur concentration massique doit être relativement faible de manière à conserver aux composites leurs caractéristiques mécaniques élevées. Les matrices utilisées dans la fabrication des composites peuvent être minérales ou organiques, actuellement 99% des matrices utilisées sont des matrices organiques.

b. Les renforts

Le comportement des matériaux composites dépend principalement du pourcentage de fibres et des propriétés mécaniques des constituants. Ce sont les renforts fibreux qui donnent aux composites leurs propriétés hautement directionnelles, leur imposant un comportement anisotrope et essentiellement linéaire élastique jusqu'à la rupture. Les renforts les plus utilisés sont les fibres de verre, d'aramide et de carbone.

c. Charges et additifs

Les charges ou additifs sont des substances organiques, minérales, ou végétales qu'on ajoute à la résine, pour améliorer certaines propriétés et réduire le prix du matériau composite. Pour une résine donnée, le choix des charges ou des additifs est déterminé en fonction des modifications recherchées, d'une manière générale ce choix devra satisfaire un certain nombre d'exigences :

- Compatibilité avec la résine de base.
- Uniformité de qualité et de granulométrie.
- Faible action abrasive.
- Bas prix de revient.

➤ Les charges

Il existe plusieurs types de charges :

- Les charges organiques.
- Les charges minérales.
- Les charges oxydes hydrates et métalliques Poudre et micro sphères.

➤ Les additifs

Les additifs se trouvent en faible quantité, quelques pourcentages de moins, par contre les charges peuvent atteindre des dizaines de pourcentage et interviennent comme étant :

- Lubrifiants et agents de démoulage
- Pigments et colorants.
- Agents anti- ultraviolet.
- Agents anti-retraits.

1.4.3. Mécanisme de confinement

1.4.4.1. Définition

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

1.4.4.2. Comportement du béton confine

Plusieurs auteurs ont prouvé que le confinement des colonnes en béton chargées axialement augmente la résistance et la ductilité de ces colonnes d'une quantité considérable. Lorsque le béton est soumis à une compression axiale, celui-ci se déforme latéralement. Cette déformation produit une fissuration qui augmente avec l'accroissement de la charge et qui conduit finalement à la rupture du béton. Si le béton est retenu latéralement de façon à réduire cette déformation, la résistance du béton et sa ductilité seront augmentées. Ce phénomène est communément appelé confinement du béton [27]. Le confinement de béton qui consiste à empêcher ces déformations peut être réalisé soit par une enveloppe externe, soit par un faible espacement entre les étriers.

La **Figure 1.10** présente les courbes typiques contraintes déformations pour des bétons confinés et non confinés. Cette figure met en évidence les différences de comportement entre ces deux bétons. Le confinement augmente en général deux caractéristiques du béton : la résistance en compression $f_{cc} > f_{co}$ et la déformation correspondant à la contrainte ultime de compression $\epsilon_{cc} > \epsilon_{co}$.

Le confinement augmente considérablement le pouvoir absorbant d'énergie du béton. Ainsi dans des régions sismiques, le renfort est fourni pour confiner les bétons et par conséquent pour augmenter la ductilité des colonnes et des poutres [28].

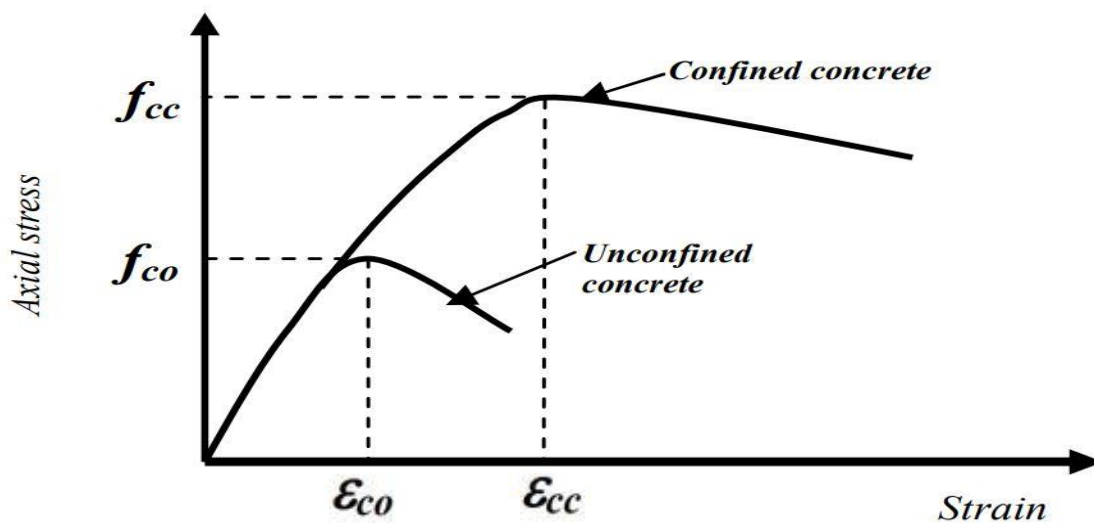


Figure 1.10 : Courbes contraintes déformations d'un béton confiné et non confiné [29].

La **Figure 1.11** montre l'effet de la pression de confinement sur le comportement en compression du béton. Richart et al. [30], ont signalé que la pression de confinement latérale augmente la contrainte à laquelle l'effort maximal est atteint. Les pressions de confinement latérales réduisent la tendance pour l'augmentation interne de fissuration et minimisent la propagation de ces fissures, de ce fait on aura une augmentation de la résistance et de la ductilité du béton confiné.

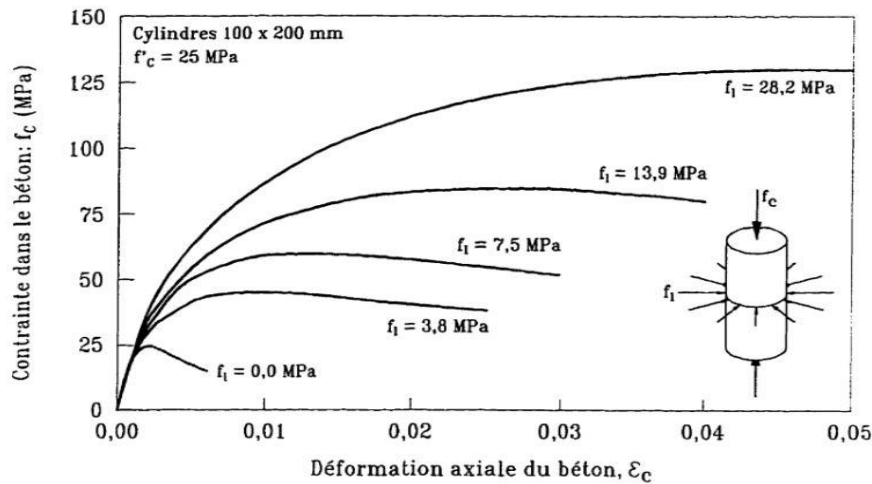


Figure 1.11 : Effet de la pression de confinement [31].

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'intense 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 [32]. Les enveloppes circulaires, en raison de leur forme, fournissent une pression d'emprisonnement uniforme et continue autour de la circonférence (Figure 1.12.b) cependant, dans le cas d'enveloppes sous forme carré ou rectangulaire, la pression d'emprisonnement s'applique uniquement aux coins (Figure 1.12.a) de ce fait partie du noyau de béton demeurer non confinée [33-34].

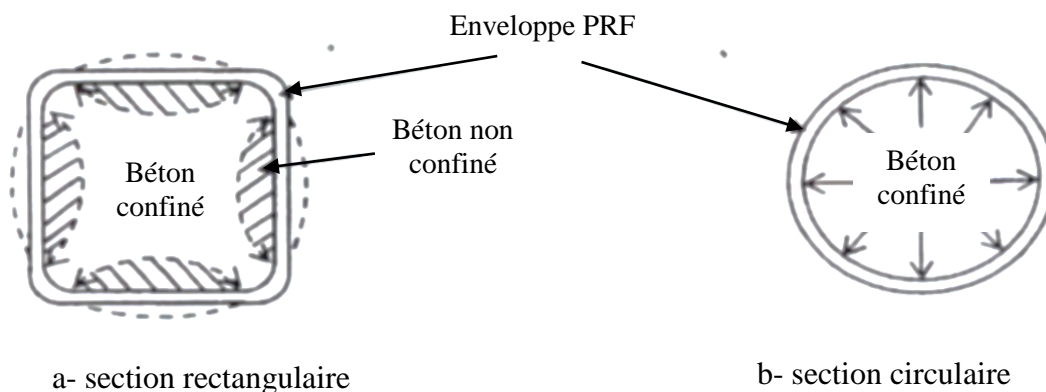


Figure 1.12 : Mécanisme de confinement de béton [33].

1.4.4. Méthodes de confinement

Une grande partie du patrimoine national et des infrastructures de transport ont atteint la fin de leur durée de vie utile. Des études et expertises ont montré l'urgence de développer des techniques de réhabilitation permettant de redonner aux structures telles que les anciens édifices et les ponts, les capacités structurales nécessaires pour résister aux sollicitations auxquelles elles sont soumises. Parmi les techniques envisagées, l'utilisation des matériaux composites est très prometteuse. L'une de ces méthodes consiste à améliorer le comportement mécanique des colonnes en béton armé par l'application d'un confinement réalisé par l'enroulement et le collage externe d'une enveloppe en matériaux composites.

1.4.4.1. Béton confiné avec des composites PRF (polymères renforcés en fibres).

Lorsqu'une colonne confinée avec des matériaux composites PRF est soumise à une compression axiale, le béton s'étend latéralement et cette expansion sera confinée par l'enveloppe de PRF. La **Figure 1.13** représente l'action du confinement d'un composite PRF.

L'action de confinement exercée par le composites PRF sur les colonnes de section circulaire est illustrée sur la **Figure 1.13**. Pour les sections circulaires, le béton est soumis à un confinement uniforme, et la pression maximale de confinement fournie par le PRF est en rapport direct avec l'épaisseur et la résistance du PRF ainsi que le diamètre de section du béton confiné. Cette pression de confinement se calcule pour les sections Circulaires par la formule suivante :

$$f_l = \frac{2f_{prf}t_{prf}}{d} = \frac{f_{prf}\rho_{prf}}{2} \quad (1.2)$$

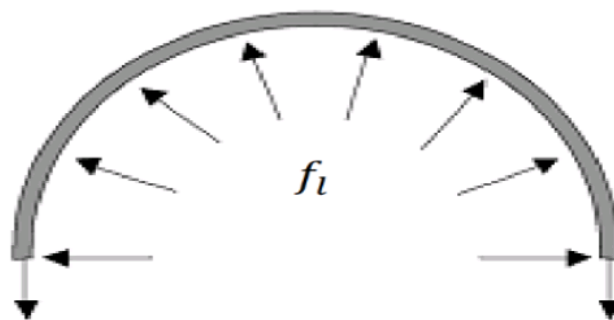


Figure 1.13: Action du confinement d'un composite PRF [38].

Où f_l est la pression de confinement latérale due au PRF; f_{prf} est la résistance à la traction du composite PRF (égale à $E_{prf} \cdot \varepsilon_{prf}$); t_{prf} : l'épaisseur totale du PRF, d le diamètre de la section du béton ; E_{prf} le module d'élasticité du composite PRF.

ε_{prf} est la déformation ultime de traction du composite PRF et ρ_{prf} est le rapport volumétrique du PRF donné par l'équation suivante (pour une colonne entièrement enveloppée par PRF :

$$\rho_{prf} = \frac{\pi d t_{prf}}{\pi d^2 / 4} = \frac{4 t_{prf}}{d} \quad (1.3)$$

L'utilisation de PRF en tant que renfort externe pour les structures en béton, telles que les colonnes, est très répandue en Europe, au Japon et en Amérique du Nord [35]. Des colonnes de béton ont été déjà renforcées avec succès en utilisant des enveloppes PRF [36], cependant, les PRF sont employées dans les nouvelles constructions, impliquant le confinement des colonnes en béton. La recherche a prouvé que les tubes de PRF ont le potentiel de remplacer l'acier conventionnel [37]. L'action de confinement du tube est créée par la contrainte passive à la dilatation transversale du béton sous la compression uniaxiale. Le tube de PRF met le béton sous la compression triaxiale, un effort qui augmente la résistance à la compression du béton confiné par suppression des fissures initiales dans le noyau du béton. Des tubes préfabriqués de PRF peuvent être utilisés en tant que coffrage permanent pour confiner des colonnes et pour agir en tant qu'enveloppe protectrice contre les effets de l'environnement dur. Ainsi les avantages potentiels d'employer les PRF pour confiner le béton sont tout à fait attractifs à plus d'un titre.

* Ils existent plusieurs techniques pour confiner les colonnes existantes en béton armé en utilisant des composites PRF. Trois méthodes sont les plus utilisées à savoir : La stratification directe, l'enroulement filamentaire et le chemisage par coquille préfabriquée en PRF.

a. Stratification directe

La stratification directe est la technique la plus utilisée pour le renforcement des colonnes en utilisant les composites PRF (**Figure 1.14**). 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 1.14 : confinement des poteaux par stratification directe [29].

b. Enroulement filamentaire

Le principe de l'enroulement filamentaire est semblable à celui de la stratification directe, sauf que la technique de l'enroulement filamentaire utilise la fibre continue au lieu des tissus afin que l'enroulement des filaments puisse être traité automatiquement au moyen d'une machine contrôlée par ordinateur (**Figure 1.15**). Une telle technique permet la précision de l'épaisseur du PRF, l'orientation de la fibre et le control de la fraction du volume ce qui mène à une meilleure performance.

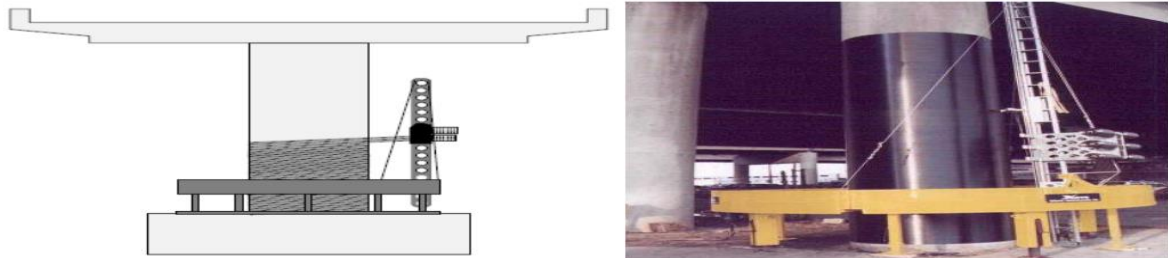


Figure 1.15: confinement des poteaux par enroulement filamentaire [29].

c. Chemisage par coquille préfabriquée

Les colonnes et poteaux en B.A peuvent aussi être renforcés en utilisant des chemises en PRF sous forme de coquilles préfabriquées.

Les coquilles sont fabriquées sous conditions contrôlées en utilisant la fibre en voile ou bondes avec l'imprégnation de résine effectuée avant l'installation.

Elles peuvent être fabriquées en demi-cercles ou demi-rectangles selon la forme du poteau à confiner (**Figure 1.16**). Pour un confinement efficace, un contact total entre la colonne et la coquille en PRF est essentiel.

Cela peut être assuré soit en liant la coquille à la colonne par adhésives ou en injectant un coulis ou mortier de ciment dans l'espace entre la coquille et la colonne.

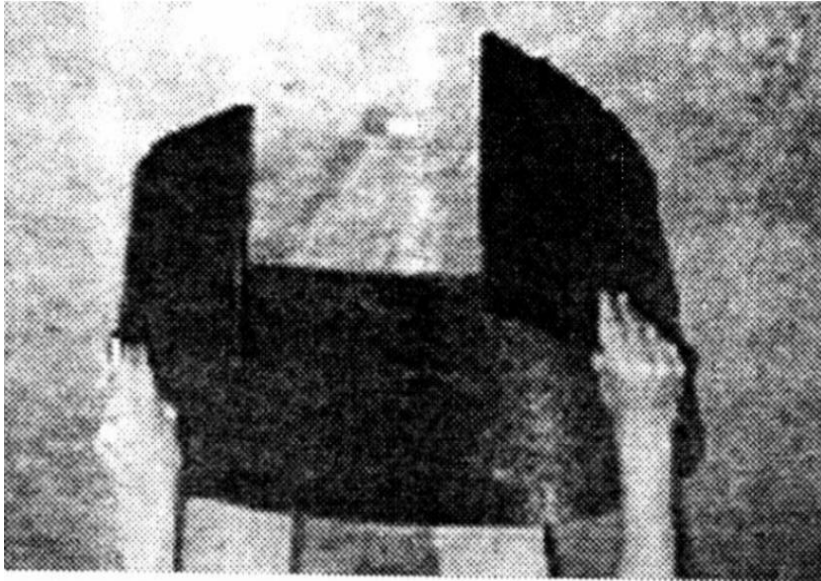


Figure 1.16 : Coquille PRF préfabriquée [38].

Saafi et al. [37], Ont conduit des études expérimentales et analytiques pour évaluer les performances des colonnes de béton confinées avec des tubes de GPRF et de GPRF. Les variables d'essai ont inclus le type de fibres, l'épaisseur du tube et la résistance à la compression du béton. Trente cylindres de béton (18 tubes en PRF remplis du béton et 12 cylindres de béton témoin) ont été examinés. Ils ont constaté que les colonnes renforcées par les tissus en fibres de carbone ou en fibres de verre montrent une croissance significative de la résistance et la ductilité comparées à celles des spécimens non confinés. Le taux d'accroissement dépend de l'épaisseur du tube, des propriétés mécaniques du tube composite et de la résistance du béton témoin. Le mode de rupture des spécimens composites a été généralement marqué par la rupture du tube de fibre avec l'éclatement le long de la mi-hauteur du spécimen la **Figure 1.17**. Dans le cas des tubes de fibre de carbone, la rupture était plus soudaine et a été accompagnée de la rupture simultanée du tube composite et de l'écrasement du noyau de béton.

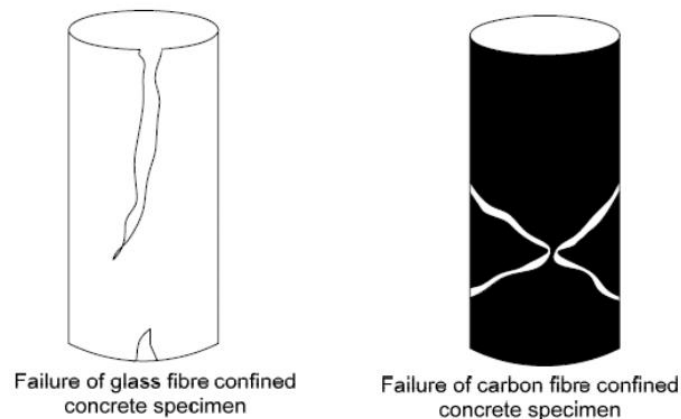


Figure 1.17 : Modes de rupture des spécimens [37]

1.4.4.2. Béton confiné par des grilles *Gernouti* [38].

a. Définition

Le confinement des colonnes de béton est obtenu par l'intégration circonférentielle dans la matrice béton, des grilles alvéolées à mailles de différentes formes. Les différentes grilles offrent des modules d'élasticité et des rigidités variées pouvant modifier le comportement axial et radial du béton confiné, améliorant ainsi sa résistance et sa ductilité.

b. Etudes précédentes sur le confinement de béton par des grilles composites (les travaux réalisés)

Le phénomène de confinement de béton a été le sujet d'un certain nombre de travaux au cours des 100 dernières années. Cette partie présente une revue des résultats des travaux sur le confinement des colonnes en béton par des grilles [38].

c. Méthode expérimental

Afin d'évaluer l'efficacité de confinement fourni par les grilles composites alvéolées, pour augmenter la résistance et la ductilité de béton, 15 variantes de confinement par des grilles composites intégrées circonférentiellement dans la matrice des éprouvettes cylindriques de diamètre 16 cm avec une hauteur de 32 cm, ont été élaborées, dont six variantes sont confinées par une seule grille (3 grilles disposées à l'extérieur et trois disposées à l'intérieur), 9 variantes sont confinées simultanément par 2 grilles circonscrites l'une dans l'autre dont 3 variantes sont confinées par des grilles identiques et 6 par des grilles hybrides.

Après démoulage, les spécimens ont été conservés dans un bac d'eau pendant 28 jours. Tous les cylindres sont soumis à une compression uniaxiale jusqu'à la rupture. Dans ce qui suit, nous allons discuter juste le confinement par des grilles extérieures et intérieures.

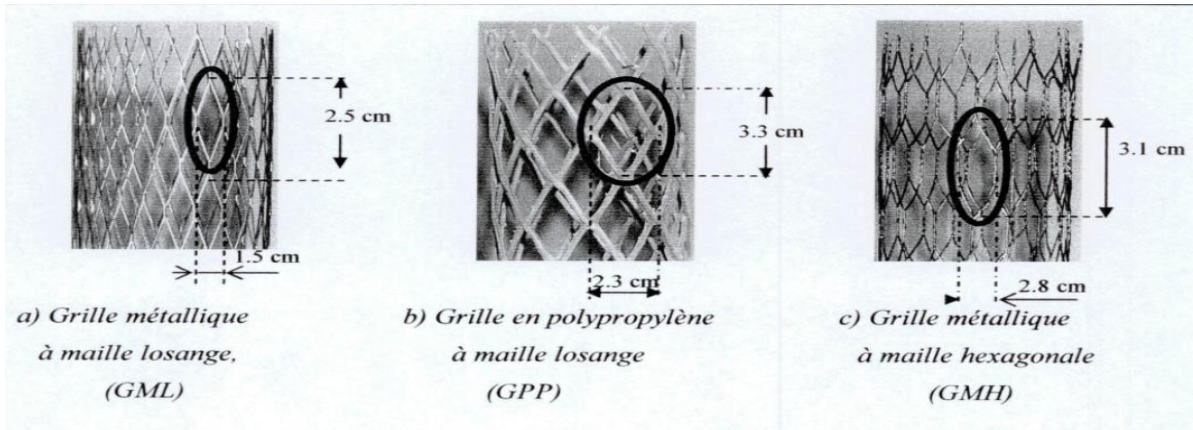


Figure 1.18 : forme des grilles utilisées[38].



Figure 1.19: Exemples dispositions des grilles composites [38].

d. Résultats expérimentaux

Les résultats des essais sont présents graphiquement sous forme de courbes « contrainte-déformation ».

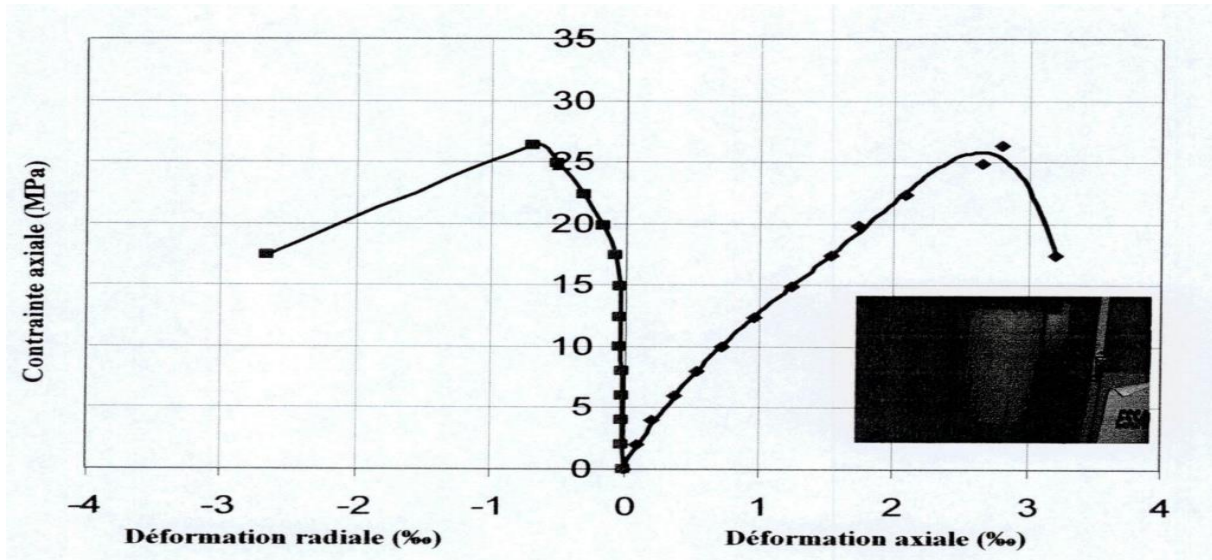


Figure 1.20: contrainte-déformation du béton témoin (non confiné)[38].

- Résultats expérimentaux des cylindres confinés par des différentes grilles disposées à l'intérieur :

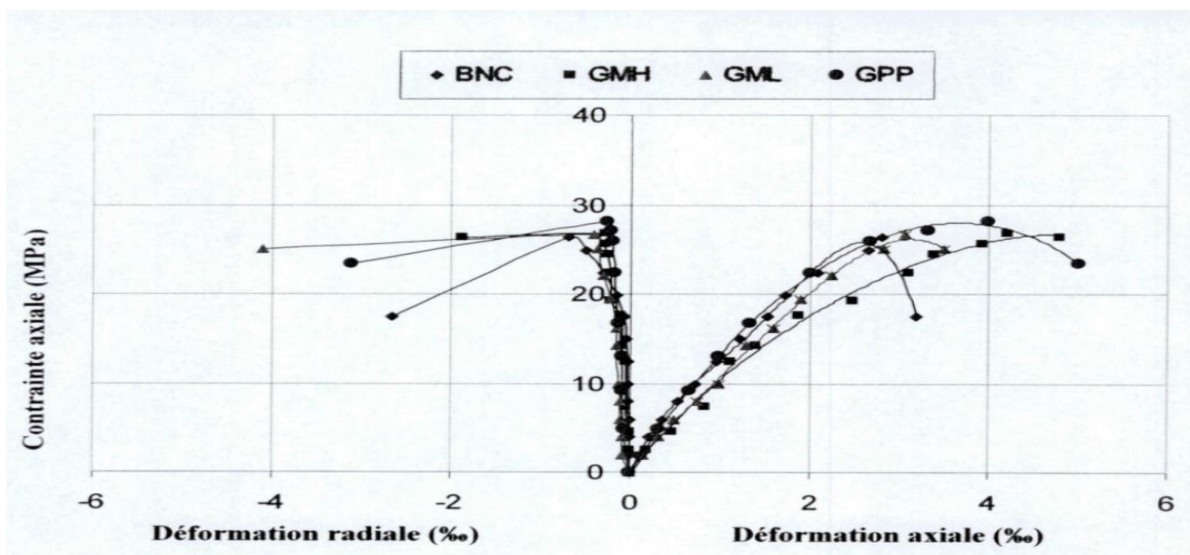


Figure 1.21: Contrainte-déformation de béton témoin et de béton confiné avec les différentes grilles disposées à l'intérieur [38].

**Tableau1.2 : Résultats expérimentaux, gains de résistance et ductilité en compression axiale
[38].**

	Béton de référence			Béton confiné					Gain de résistance (%)	Gain de ductilité (%)
	f_{co} (MPa)	ε_{co} (‰)	ε_u (‰)	f_{cc} (MPa)	ε_{cc} (‰)	ε_{cu} (‰)	f_{cc}/f_{co}	$\varepsilon_{cc}/\varepsilon_{co}$	GR	GD
BNC	26,36	2,8	3,2							
GMH				26,85	4,2	4,8	1,01	1,5	1,85	50
GML				31,08	3,05	3,5	1,01	1,21	17,9	9,37
GPP				32,27	4	5	1,07	1,43	18,4	56,25

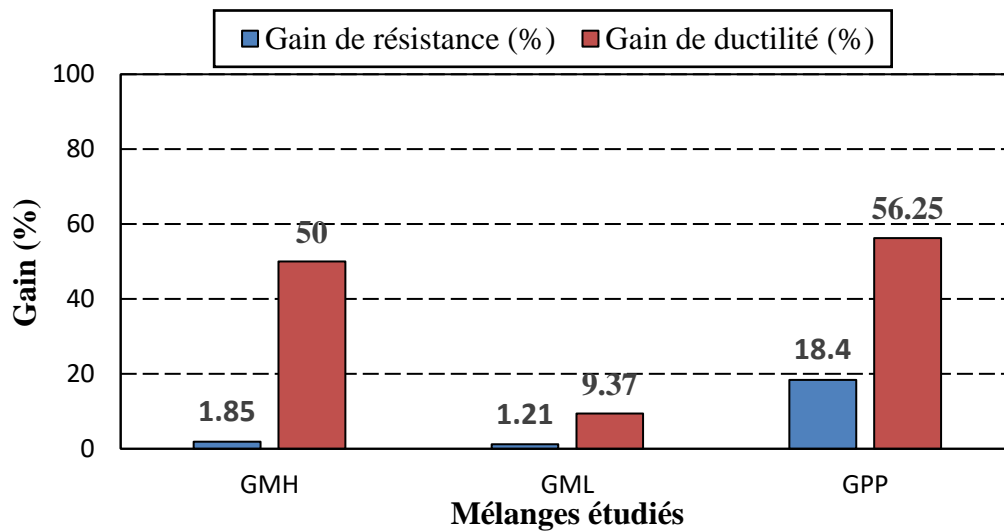


Figure 1.22: Gain de résistance de déformation axiale du béton confiné avec les différentes grilles disposées à l'intérieur [38].

e. Discussion des résultats

❖ Comportement du béton confiné et non confiné

- Pour le cas des colonnes de béton confinés par une grille disposée à l'intérieur une faible augmentation de résistance due probablement à la rigidité des grilles qui fait concentrer tout la charge de compression au niveau de la couche d'enrobage, ce qui provoque la rupture de l'éprouvette à ce niveau.

❖ Influence de type de forme de maille de sur la résistance et la ductilité :

- Tous les types de grilles ont améliorés le comportement composite de béton confiné et pour toutes les variantes de confinement.
- Les grilles en polypropylène ont donné meilleures caractéristiques de point de vue résistance et ductilité par rapport aux autres grilles métalliques.
- Les grilles métalliques hexagonales et losanges ont donné une légère amélioration de résistance et de ductilité pour tous les cas de confinement.
- L'amélioration des caractéristiques dans le cas des grilles en polypropylène est due à l'allongement important de ce matériau par rapport aux grilles métalliques, ce qui donne au béton une grande déformation et un intervalle de temps plus large avant sa rupture finale. Les grilles en polypropylène présentent une maille de forme losange avec des dimensions supérieures à celle des grilles métalliques
- Ce qui facilite la circulation du mélange de béton à l'état frais ainsi que le remplissage des moules.

❖ Mode de rupture des colonnes

• *Rupture du béton de référence*

Les colonnes non confinées ont toutes subies des ruptures normales de cisaillement de fissuration plus ou moins importante avec une destruction presque totale.

• *Rupture du béton confiné par les grilles métalliques de forme losange et hexagonale :*

Les modes de rupture sont variables en fonction de l'emplacement des grilles :

- Pour les colonnes confinées à l'intérieur, rupture au niveau de la couche d'enrobage.

• *Rupture du béton confiné par les grilles en polypropylène de forme losange :*

Le mode de rupture est amélioré, en effet, au début de chargement, les fissurations sur la surface de béton qui s'intensifient lentement au fur et à mesure de l'augmentation de la charge axiale sans qu'il y ait une destruction totale de l'éprouvette.

Conclusion du chapitre 1

L'étude bibliographique concernant le renforcement des structures nous a permis de conclure que :

- Il existe plusieurs facteurs pouvant jouer un rôle important dans les différents processus de dégradation du béton. Dans de nombreux cas, les dégâts résultent de la combinaison de divers mécanismes élémentaires (chimiques, physiques et mécaniques). Donc le recours au renforcement est plus que nécessaire.
- Le renforcement de béton par matériaux composites, permet d'éviter tous les inconvénients mentionnés au cours de renforcement par les autres méthodes, en effet, les composites confèrent aux structures renforcées des performances mécaniques intéressantes.

L'analyse critique et objective de cette recherche bibliographique nous conduit à s'intéresser au problème de renforcement des éléments structuraux par les matériaux composites et plus précisément le cas de confinement des cylindres en béton par des grilles de différentes natures ...). Les travaux antérieurs réalisés ont permis d'avoir une expérience sur le confinement.

Chapitre 2

Caractérisation des
matériaux
et essais réalisés

2.1. Introduction

Le comportement rhéologique et mécanique du béton autoplaçant confiné par des grilles composites est le résultat d'une interaction complexe entre ses divers constituants, pour cette raison, nous allons dans un premier temps caractériser les matériaux utilisés dans cette étude. Nous précisons également les différentes méthodes d'essais utilisés ainsi que leurs modes opératoires et les références de leurs normes correspondantes.

2.2. Caractérisation des matériaux

2.2.1. Les granulats

Dans cette étude on a utilisé deux types de granulats : un sable alluvionnaire qui a été extrait de l'oued M'zi (région de Laghouat), 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 la **Figure 2.1** et le **Tableau 2.1**.

La valeur de l'équivalent de sable montre que le sable utilisé est très propre, signe d'absence presque totale des fines argileuses. Le module de finesse obtenu est de 1,85, cette valeur s'inscrit dans les limites (1,8 et 3,2) préconisées pour les sables destinés à la composition du béton de structure. Le sable est caractérisé par une granulométrie italée et il est classé selon le module de finesse comme un sables moyen.

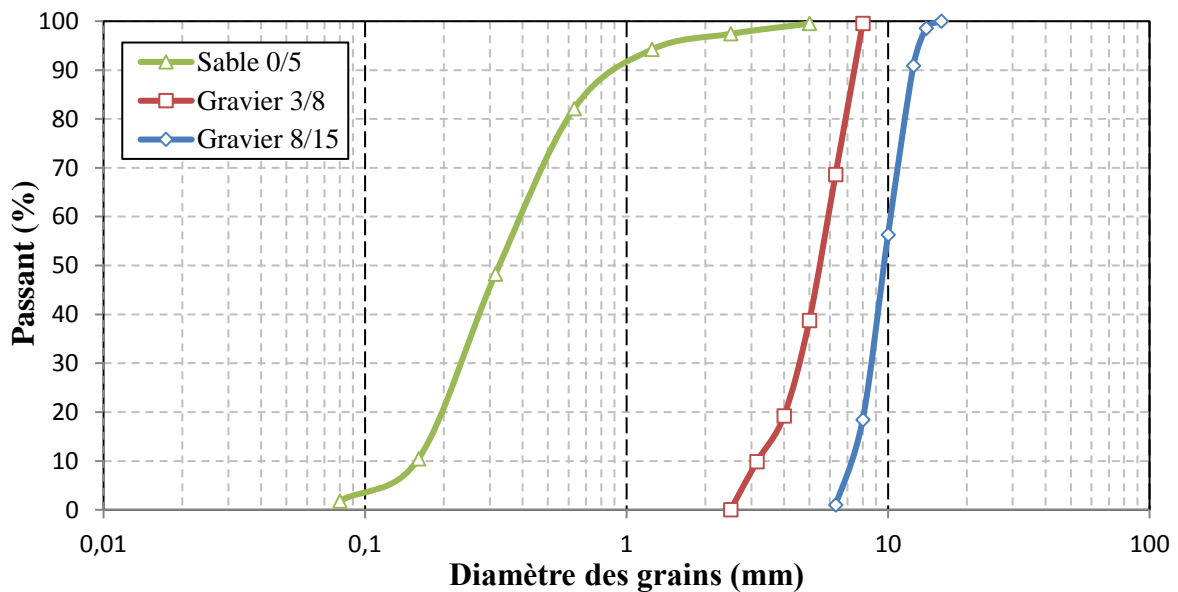


Figure 2.1: Analyse granulométrique de sable et de gravier 8/15 et 3/8.

Tableau 2.1 : Propriétés physiques des granulats.

Granulat	Sable alluvionnaire	Gravier 3/8	Gravier 8/15
Coefficient d'absorption (%)	1,16	4,85	3,48
Masse volumique absolue (kg /m ³)	2,47	2,5	2,5
Masse volumique apparente (kg /m ³)	1,51	1 ,29	1,24
Equivalent du sable (%)	90,28	/	/
Module de finesse	1,85	/	/

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 CEM I 42,5R ES (Mokaouem). C'est un ciment gris résistant aux sulfates, résultant de la mouture d'un clinker contenant un faible taux d'aluminates de calcium avec une proportion de gypse. La composition chimique et les propriétés physico-mécanique et du ciment utilisé sont données aux **Tableaux 2.2** et **2.3**.

Tableau 2.2: Propriétés physico-mécaniques du ciment [39].

Paramètre	Valeur
Consistance normale de la pâte (%)	27
Début de prise (minutes)	> 60
Fin de prise (minutes)	240 à 400
Résistance à la compression à 28 jours (MPa) \geq 42,5	

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 [40]. 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 [41]. 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 2.3**.

Tableau 2.3: Propriétés chimiques de ciment et poudre de marbre [39].

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



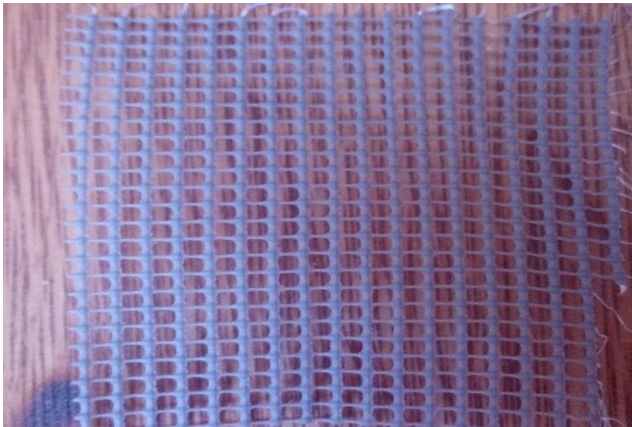
2.2.5. *Les Grilles utilisés*

Dans notre travail on a utilisé trois types de grilles (plastique, métalliques et végétales).

Les caractéristiques sont présentées dans les **tableaux 2.4, 2.5 et 2.6 (Annexe A)**.

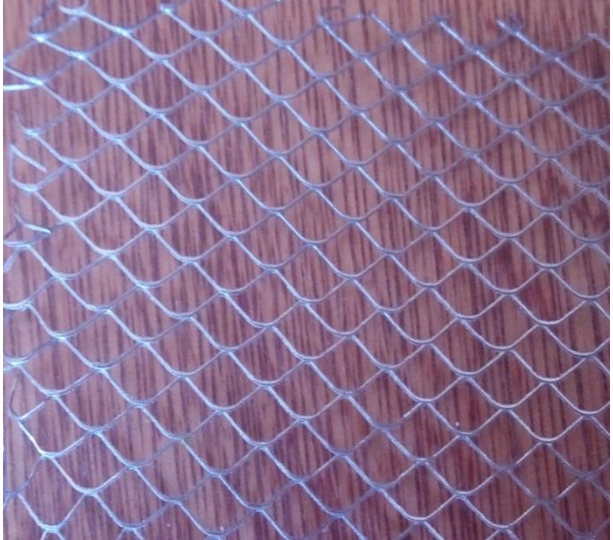

2.2.5.1. *Grilles plastiques*

Tableau 2.4: Caractéristiques des grilles plastiques.

Caractéristiques de grilles	Photos
<p style="text-align: center;">GPT</p> <p>Forme de maille : triangulaire. Dimension de maille : 5 X 5 X 5 mm. Epaisseur : 5 mm. Poids : 3037,26 g / m². Nombre de maille : 44627 mailles / m². Résistance à la traction : 20 N. Déformation à la rupture : 1,24 mm/mm.</p>	
<p style="text-align: center;">GPL</p> <p>Forme de maille : losange. Dimension de maille : 3 X 3 mm. Epaisseur : 2 mm. Poids : 331,5 g / m². Nombre de maille : 35420 mailles / m². Résistance à la traction : 50 N.</p>	
<p style="text-align: center;">GPR</p> <p>Forme de maille : rectangulaire. Dimension de maille : 3 X 2 mm. Epaisseur : 0,5 mm. Poids : 331,5 g / m². Nombre de maille : 131794 mailles / m². Résistance à la traction : 8 N. Déformation à la rupture : 0,875 mm/mm.</p>	

2.2.5.2. *Grilles métalliques*

Tableau 2.5: Caractéristiques de grilles métalliques.

Caractéristiques de grilles	Photos
<p style="text-align: center;">GML</p> <p>Forme de maille : losange Dimension de maille : 5 X 5 mm. Epaisseur : 1 mm. Poids : 407,5 g / m². Nombre de maille : 16000 mailles / m². Résistance à la traction : 90 N. Déformation à la rupture : 0,123 mm/mm</p>	
<p style="text-align: center;">GMC</p> <p>Forme de maille : carré. Dimension de maille : 1,5 X 1,5 mm. Epaisseur : 0,5 mm. Poids : 355,5 g / m². Nombre de maille : 376584 mailles / m². Résistance à la traction : 100 N. Déformation à la rupture : 0,384 mm/mm</p>	

2.2.5.3. *Grilles végétales*

Tableau 2.6: Caractéristiques de grilles végétales.

Caractéristiques de grilles	Photos
<p style="text-align: center;">GFA-1cm</p> <p>Forme de maille : carré Dimension de maille : 10 X 10 mm Epaisseur : 3 mm Poids : 248g / m² Nombre de maille : 9801 mailles / m²</p>	
<p style="text-align: center;">GFA-2cm</p> <p>Forme de maille : carré Dimension de maille : 20 X 20 mm Epaisseur : 3 mm Poids : 124 g / m² Nombre de maille : 2451 mailles / m²</p>	
<p style="text-align: center;">GFPalmier</p> <p>Epaisseur : 4 mm. Poids : 347,13 g / m². Forme : tissu. Résistance à la traction : 72 N Déformation à la rupture : 0,024 mm/mm.</p>	<p><i>Grilles en fibres d'Alfa</i></p>
	 <p><i>Grilles en fibres de Palmier</i></p>

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 Boukhelkhal [39]. La composition obtenue est représentée dans le **Tableau 2.7**.

Tableau 2.7: Formulation du BAP pour 1m³.

Constituants	Poids en kg pour 1m ³
Sable	803,20
Gravier 8/15	534,08
Gravier 3/8	263,25
Ciment	412,54
poudre de marbre	39,92
Eau	220,39
Superplastifiant	4,07

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 début régulier dans les 60 secondes suivantes. Durant toute la minute suivante, on introduit régulièrement le superplastifiant avec l'eau restante (après les avoir mélangé). 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. Méthodes expérimentales

2.4.1. Caractérisation du béton autoplaçant frais

2.4.1.1. Essai d'étalement

L'essai le 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 [9].

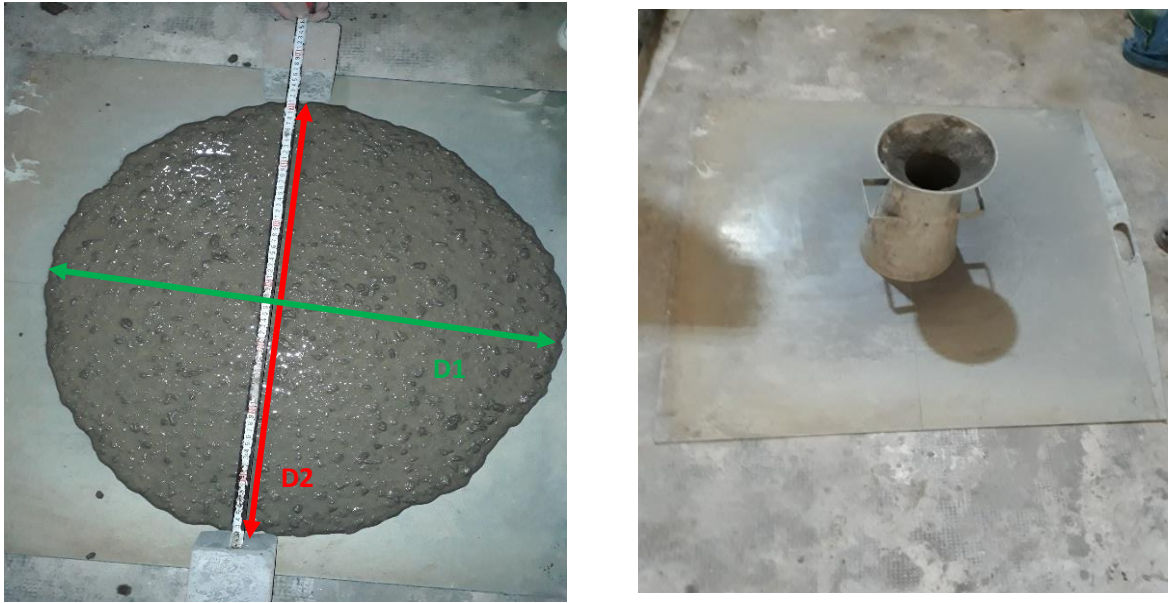


Figure 2.2: Essai d'étalement.

2.4.1.2. 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 la déformabilité est estimée la classe celons [42].

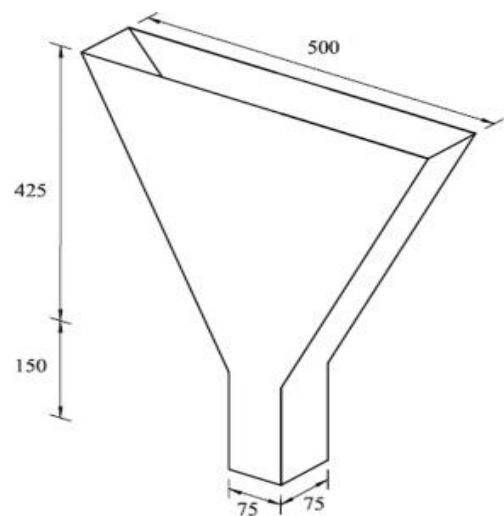


Figure 2.3: Essai d'écoulement «V funnel».

2.4.1.3. 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 $\text{\O} 12$) qui correspond à des ouvrages très ferrillés mais qui peut être éventuellement allégé (59 mm d'espace libre entre deux barres) (Figure 2.4).

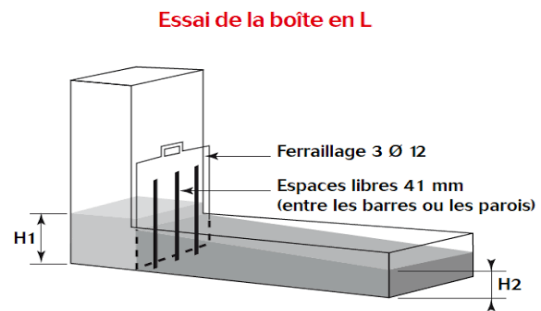


Figure 2.4: Essai de la boîte en L.

2.4.1.4. Essai de ségrégation dynamique au tamis

Appelé aussi essai de caractérisation de la ségrégation des bétons autoplaçants, il 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 [42]. Après 2 min d'attente, le pourcentage de laitance qui est passée au travers du tamis est calculé (Figure 2.5).



Figure 2.5: Essai de stabilité au tamis.

2.4.2. Procédure de confinement

La nouvelle technique proposée dans ce travail, consiste à intégrer circonférentiellement le long du contour, dans la matrice béton, des grilles plastiques, métalliques et végétales. Dans les études antérieures, il été trouvé que l'intégration des grilles dans la matrice béton permet de confiner le béton, ce qui lui confère une plus grande réserve de résistance et de ductilité. Généralement, les grilles vont jouer deux principaux rôles, le premier consiste à confiner le béton, ce qui lui confère une plus grande réserve de résistance, et le deuxième à évite lors de l'écrasement, les débris de béton, qui restent emprisonnés à l'intérieur des grilles, ce qui permettra de prolonger le temps pour une destruction totale de l'élément.

La technique proposée assure la continuité de béton dans la structure, puisque les grilles utilisées présentent des mailles de dimensions qui concordent bien avec la granulométrie du béton, ce qui évite le problème de la rupture. Dans notre travail, on veut illustrer les effets de section des grilles (maille) et la nature des grilles sur le comportement du BAP. La **Figure 2.6** présente un modèle de confinement.

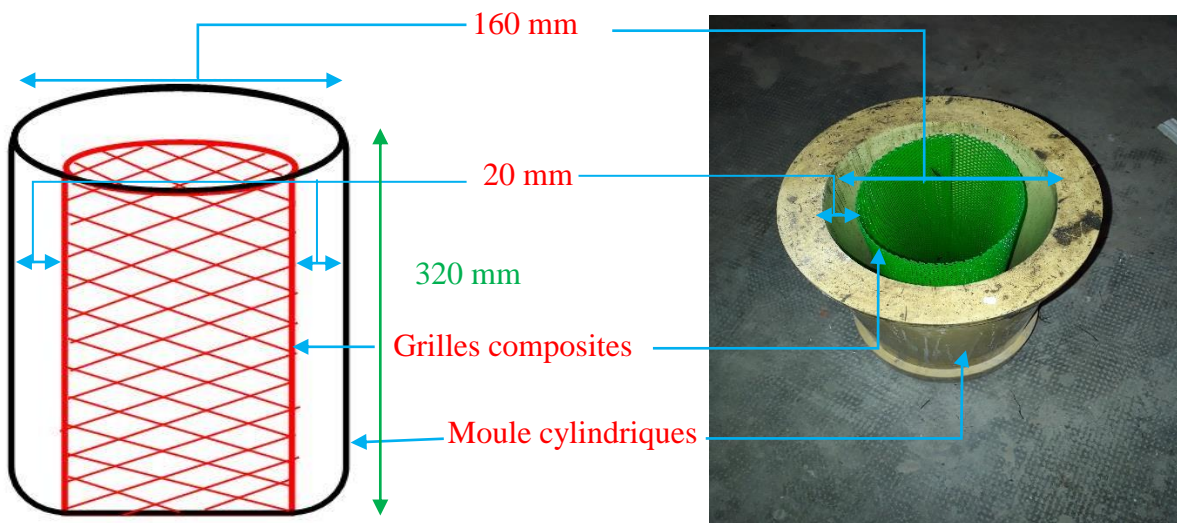


Figure 2.6: Arrangements des grilles composites

2.4.3. Mise en œuvre de béton autoplaçants

Après chaque malaxage (24 L), on remplit trois cylindres de même modèle de grille. Les différentes grilles composites ont été soigneusement disposées à l'intérieur de moules cylindriques à un enrobage de 20 mm, les dimensions standard des moules de diamètre de 160 mm avec une hauteur de 320 mm. Après 24h de coulage on a démoulé 24 éprouvettes et sont conserver 28 jours dans la chambre humide.

2.4.4. Procédure de d'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 pour de chargement quasi statique est appliqué avec une vitesse de 0.5 kn/s. Le comparateur pour mesurer le déplacement pour déterminer la déformation, et l'écran de la presse hydraulique indique les valeurs des forces en kn. Les valeurs de comparateur et l'écran en même temps pour d'être capable designer les courbes contrainte-déformation de chaque éprouvette. Pour assurer des bonnes lectures, nous avons utilisés deux caméras vidéo tout le long de l'essai. Le dispositif de déformation utilisé pour mesurer le déplacement intrinsèque du béton est donné sur la **Figure 2.7-b**.



(a) surfaçage



(b) diapositive de déformation



(c) presse hydraulique



(d) Visualisation des forces et de déformation

Figure 2.7 : Procédure de d'essai

Synthèse

Cette partie nous nous intéressons par la caractérisation des matériaux utilisés (sable alluvionnaire, gravillon concassé (classes 3/8 et 8/15), ciment, poudre de marbre, superplastifiant et grilles composites), on passe ensuite à la description de la méthode de formulation et de la procédure des essais effectués aux états frais et durcis.

Les différentes compositions de béton autoplaçant sont confinées par des grilles de différentes formes (losange, carré et triangle) et de différentes natures (plastiques, métalliques et végétales).

Le comportement mécanique du béton autoplaçant confiné est étudié en mesurant la contrainte et la déformation correspondante. Les courbes de comportement permettent de tirer plusieurs informations à savoir : la contrainte maximale, la déformation maximale, la déformation ultime ainsi le module d'élasticité.

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 basé sur l'interprétation des courbes de la contrainte- déformation. Enfin on essaye d'établir des corrélations des résultats obtenus avec les modèles présentés dans la littérature.

3.1.1. Caractérisation du BAP à l'état frais

Les essais de caractérisation des BAP frais sont donnés en détails dans le chapitre précédent. Nous résumons dans le **Tableau 3.1** les résultats obtenus ainsi que les valeurs préconisées suivant les recommandations de EFNARC.

Tableau 3.1 : Valeurs préconisées pour les essais du BAP selon EFNARC et les résultats obtenus.

Essai		Classe	Valeur limite	Résultat	conclusion
Etalement	Diamètre (mm)	SF1	550-650		
		SF2	660-750		
		SF3	760-850	760	acceptable
V-Funnel	Temps d'écoulement (sec)	VS1/VF1	≤ 8		
		VS2/VF2	9-25	9	acceptable
L-Box	Rapport des Hauteurs (H_2/H_1)	PA1	$\geq 0,8$ avec 2 barres		
		PA2	$\geq 0,8$ avec 3 barres	0,83	acceptable
Résistance à la ségrégation	Laitance passant à travers le Tamis (%)	SR1	≤ 20		
		SR2	≤ 15	10	acceptable

D'après les résultats obtenus nous avons un étalement au cône d'Abrams de 760mm qui représente un BAP de classe SF3 (acceptable). Le temps de découlement de l'essai de V-funnel est 9 secondes de classe VS2/VF2. On peut dire que le BAP utilisé caractérisé par une capacité de remplissage 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. Nous avons obtenu un rapport H_2/H_1 supérieur à 80%, ce qui montre une meilleure capacité d'écoulement du BAP.

La résistance à la ségrégation du BAP décrite par l'essai de stabilité au tamis montre que ce BAP ne présente pas du risque de ségrégation, homogène et stable.

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.

Actuellement, tous les BAP sont donc regroupés dans la classe des bétons fluides. Les expériences menées dans ce domaine ont permis d'étendre la classification en fonction des différences existant entre les BAP et de déterminer différents domaines d'emploi, selon leurs propriétés [43 ,44 ,45], comme le montre la **Figure 3.1** :

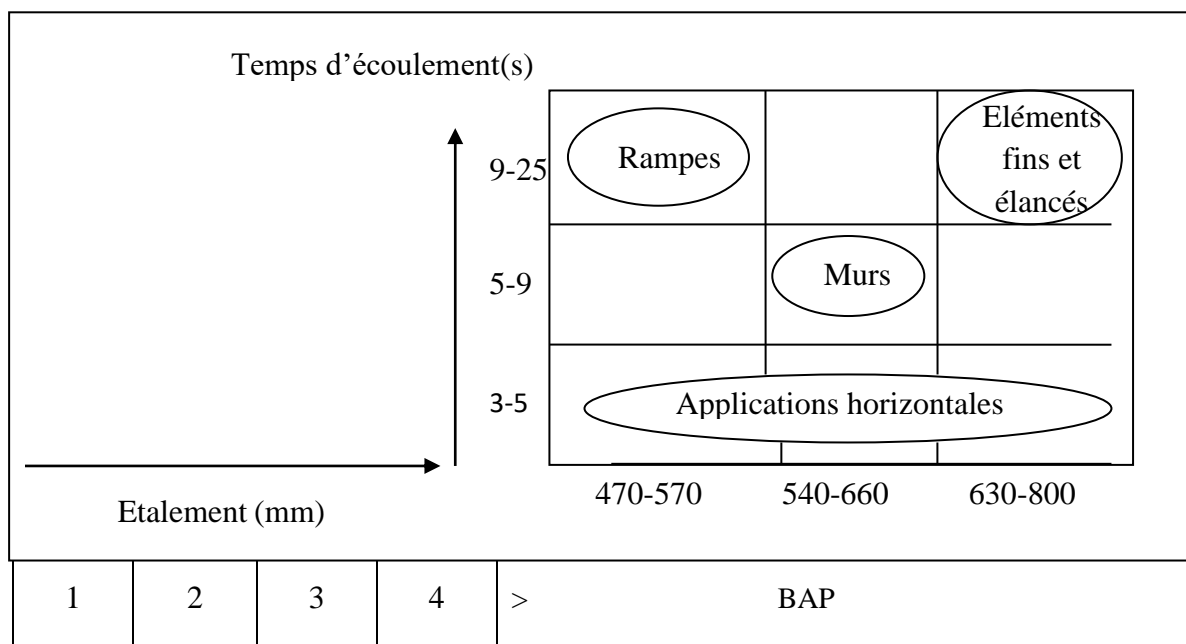


Figure 3.1 : Domaines de classification des bétons étendus au cas des BAP [43].

3.1.2. Comportement mécanique du BAP durci

Afin d'étudier le comportement mécanique du BAP confiné avec différents types de grilles (plastique, métallique et végétale), les cylindres du béton sont soumis à un chargement uniaxial en compression jusqu'à la rupture de ces derniers. La vitesse de chargement utilisée durant l'essai était constante de l'ordre de 0,5 kn/s.

Le raccourcissement axial des échantillons est mesuré par un montage équipé d'un comparateur de déplacement digital installé dans le sens vertical. Cette acquisition manuelle des données, a été relativement délicate au moment de la lecture à une vitesse suscitée du chargement. Les résultats des essais sont présentés graphiquement sous forme de courbes « contrainte-déformation ».

3.1.2.1. Comportement mécanique du BAP non confiné

La courbe de la **Figure 3.2** présente l'allure contrainte-déformation de BAP non confiné sous un chargement axial de compression.

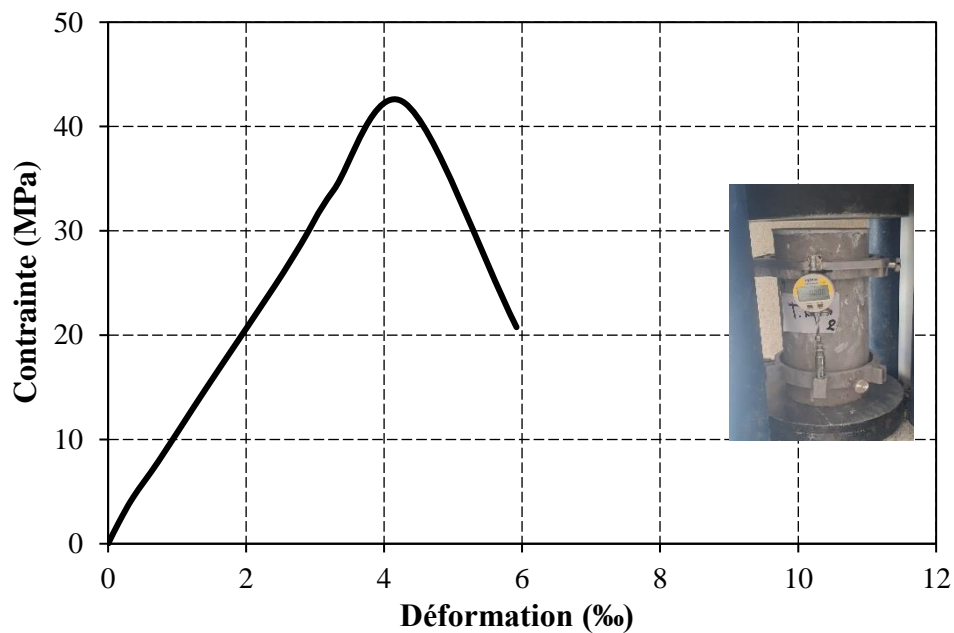


Figure 3.2 : Contrainte-déformation du BAP non confiné (témoin).

D'après la **Figure 3.2**, 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 42,25MPa, 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 %.

3.1.2.2. Comportement mécanique du BAP confiné par des grilles plastiques

La **Figure 3.3** 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.

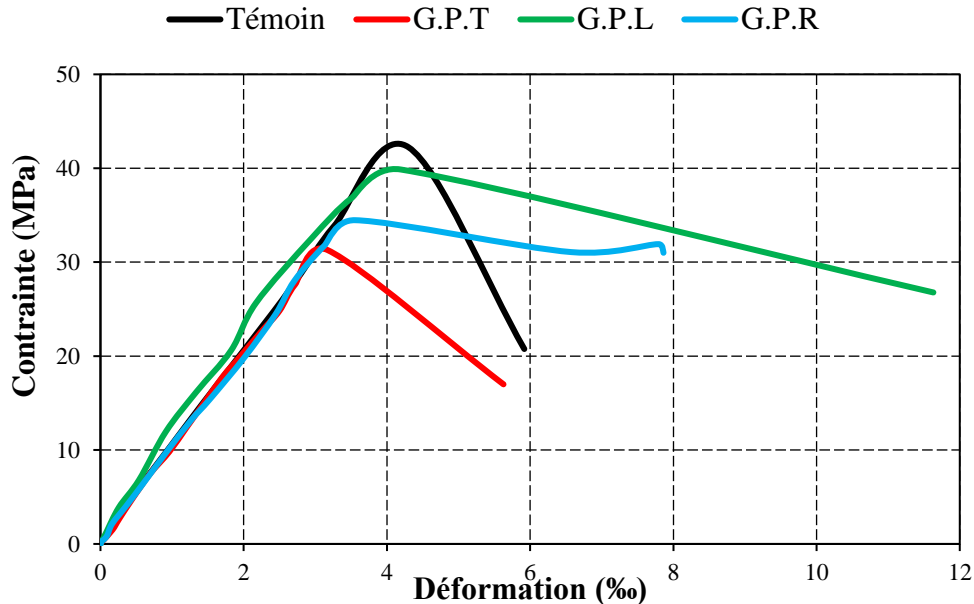


Figure 3.3 : Contrainte-déformation de béton témoin et de béton confiné par différentes grilles plastiques.

La **Figure 3.3** montre que l'allure générale de la courbe contrainte-déformation du BAP témoin et tous les cylindres confinés est d'une tendance similaire. Elle est caractérisée par une parité ascendante qui représente la phase élastique du matériau jusqu'à la rupture. Le BAP non confiné donne une meilleure contrainte de 42,25 MPa par rapport au BAP confiné. Ceci peut être expliquer par la mauvaise adhérence du matériau béton-grille. 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 G.P.L donnent une meilleure ductilité qui est traduit par une valeur de déformation de l'ordre de 12%.

3.1.2.3. Comportement mécanique du BAP confiné par des grilles métalliques

Les courbes contrainte-déformation de différents cylindres confinés par des grilles métalliques comparées au béton de référence sont illustrées dans la **Figure 3.4**. D'après les résultats obtenus, nous constatons que le BAP confiné par GML offre le meilleur comportement mécanique avec une contrainte maximale très similaire à celle du BAP non

confiné. Par contre, le BAP confiné par GMC est caractérisé par une contrainte inférieure à celle du BAP de référence. D'autre part les déformations des cylindres confinés augmentent sous l'effet de la contrainte appliquée par rapport à celles du BAP témoin. Nous avons enregistré des déformations ultimes presque identiques du BAP confiné par GML et GMC et de l'ordre de 12‰ et 11‰ respectivement. Les déformations obtenues montrent que ces bétons sont caractérisés par une zone plastique importante en comparaison avec le béton témoin et même par rapport au béton confiné par des grilles plastiques.

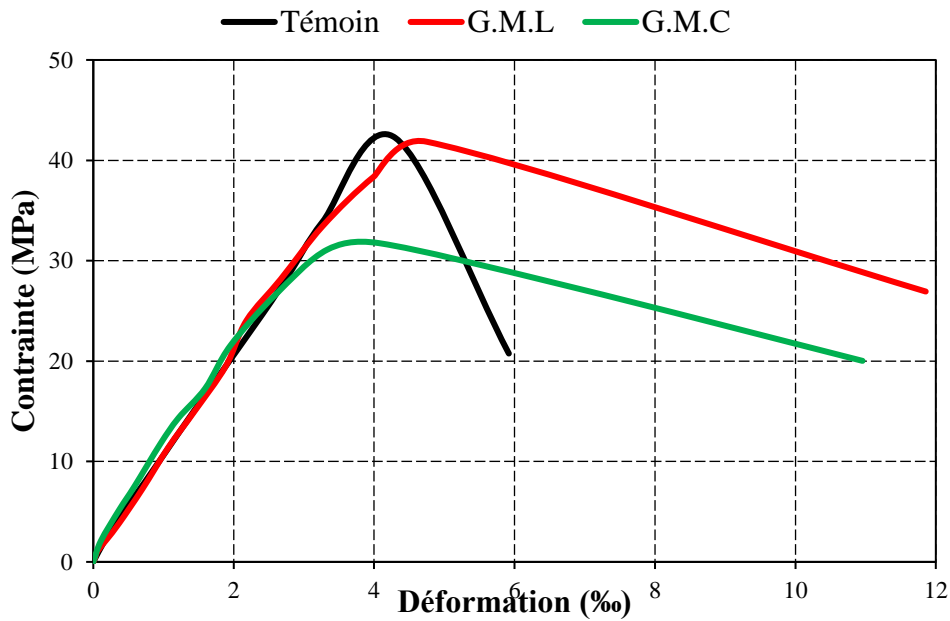


Figure 3.4 : Contrainte-déformation du béton témoin et béton confiné avec les différentes grilles métalliques.

3.1.2.4. Comportement mécanique du BAP confiné par des grilles végétales

La **Figure 3.5** regroupe les différents résultats obtenus de contrainte-déformation des BAP confinés par des grilles végétales. Nous constatons que l'allure générale de la courbe-déformation des cylindres sous l'effet de la charge de compression est similaire et caractérisée par une phase ascendante et phase descendante. Le BAP confiné par GFA-2cm obtient une meilleure capacité portante par rapport aux autres types de confinement (GFA-1cm et GFPalmier). Notons que la valeur de la contrainte enregistrée est identique à celle du béton témoin de l'ordre de 42 MPa. De point de vue de ductilité, la déformation la plus importante a été enregistrée par le composite BAP-GFA-2cm avec une valeur de 11‰, ce qui signifie sa meilleure ductilité vis-à-vis le chargement mécanique. Ait Tahar et Bahar

(2013) [46] ont examiné l'influence de la dimension des mailles de grilles composites sur la résistance mécanique et la ductilité des matériaux confinés. Les résultats obtenus ont montré que les matériaux confinés par des grilles dont la taille de maille est petite sont caractérisés par une meilleure performance mécanique (résistance ultime et ductilité) par rapport à ceux confinés par des grilles avec des mailles de taille grande. Ces résultats obtenus sont en contradiction avec les résultats de notre étude en utilisant des grilles avec des mailles de dimensions 1 cm et 2 cm. Ceci est peut-être expliquer par la non similarité des conditions de réalisation d'essais à savoir : le type de confinement (matériau) et la technique de confinement

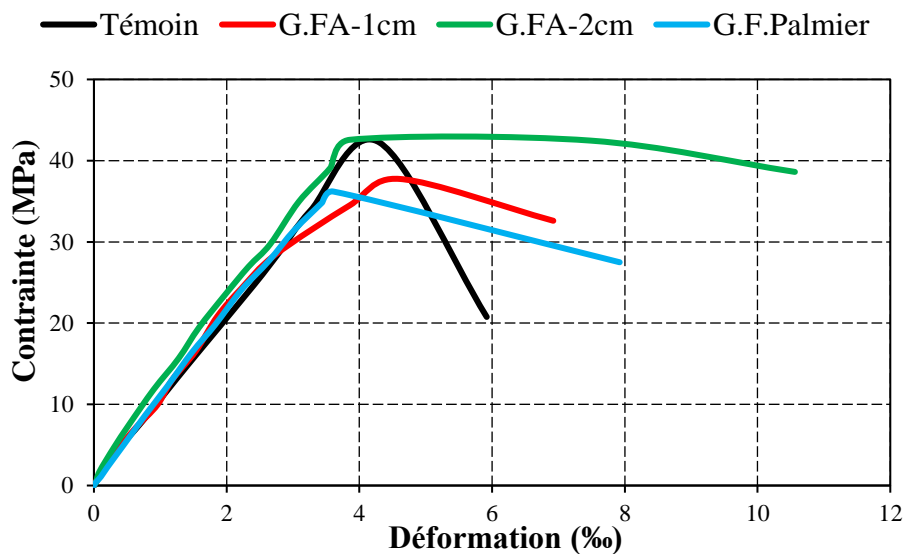


Figure 3.5 : Contrainte-déformation du béton témoin et béton confiné avec les différentes grilles végétales.

Les **Figures (3.6-3.9)** représente 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.

D'après la **Figure 3.6**, nous remarquons que les contraintes maximales des mélanges étudiés sont inférieures en comparaison avec le béton témoin. Ces mélanges ont une classe de résistance nominale de 30 MPa. Les bétons confinés par GML, GPL, GFA-2cm ont donnés des contraintes maximales similaire à la contrainte maximale du béton témoin avec une classe de résistance de 40 MPa. Les autres figures de chaque grille sont situées dans l'**Annexe B**.

La **Figure 3.7** montre que les valeurs de la déformation maximale de tous les mélanges sont inférieures à celle du béton témoin, sauf pour les BAP confinés par GML et GPL. La forme losange de la maille des grilles permet de donner une rigidité supplémentaire au béton confiné pour supporter les contraintes croissantes appliquées.

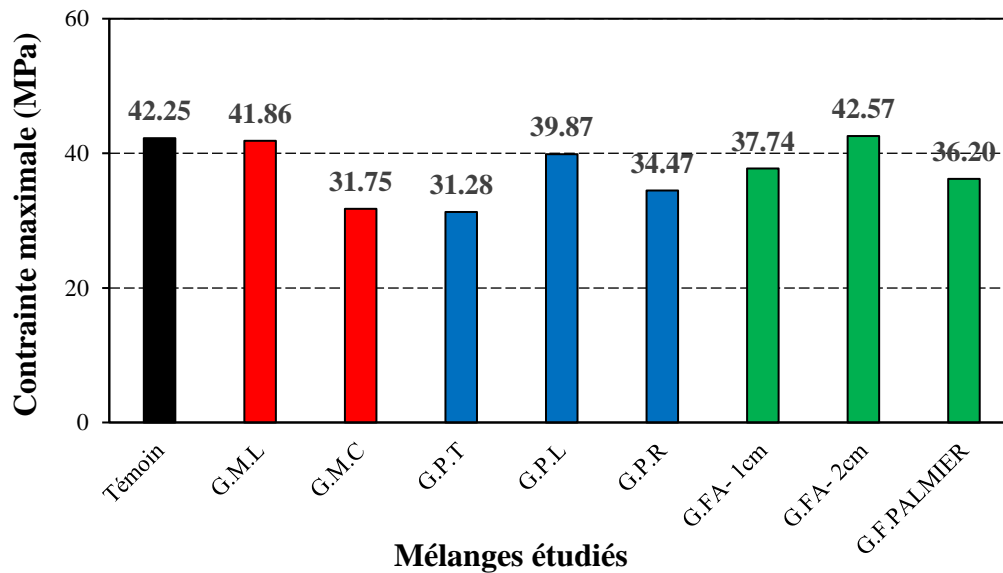


Figure 3.6 : contraintes maximales de BAP témoin et des bétons confinés par de différents types de grilles.

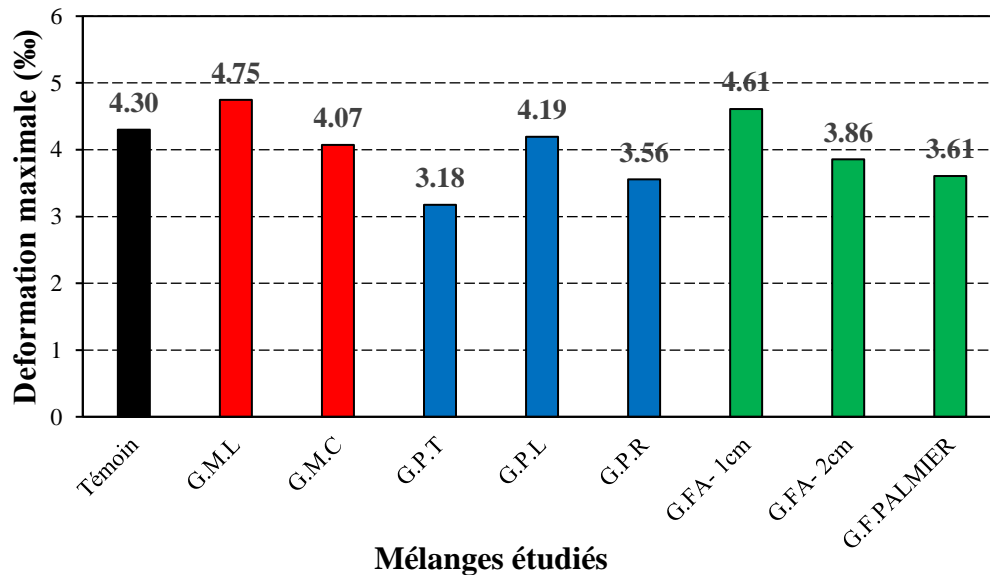


Figure 3.7 : Les déformations correspondent à contraintes maximales de BAP témoin et de béton confiné par les différentes grilles.

La **Figure 3.8** 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. Ces résultats obtenus ont montré l'efficacité du confinement proposé dans l'amélioration de la ductilité des mélanges. Nous signalons que le béton confiné par GPT donne la valeur de déformation la plus faible, et ceci peut-être dû à l'épaisseur grande de cette grille par rapport aux autres types des grille, ce qui probablement influe sur l'adhérence entre le béton et la grille.

La **Figure 3.9** qui représente les modules d'élasticité de toutes les variantes étudiées, montre que toutes les valeurs obtenues sont presque similaires à celle du béton non confiné, Ceci est dû la similarité de la phase ascendante de la courbe contrainte- déformation pour chaque mélange utilisée pour la détermination de la valeur du module d'élasticité qui représente la pente de cette courbe.

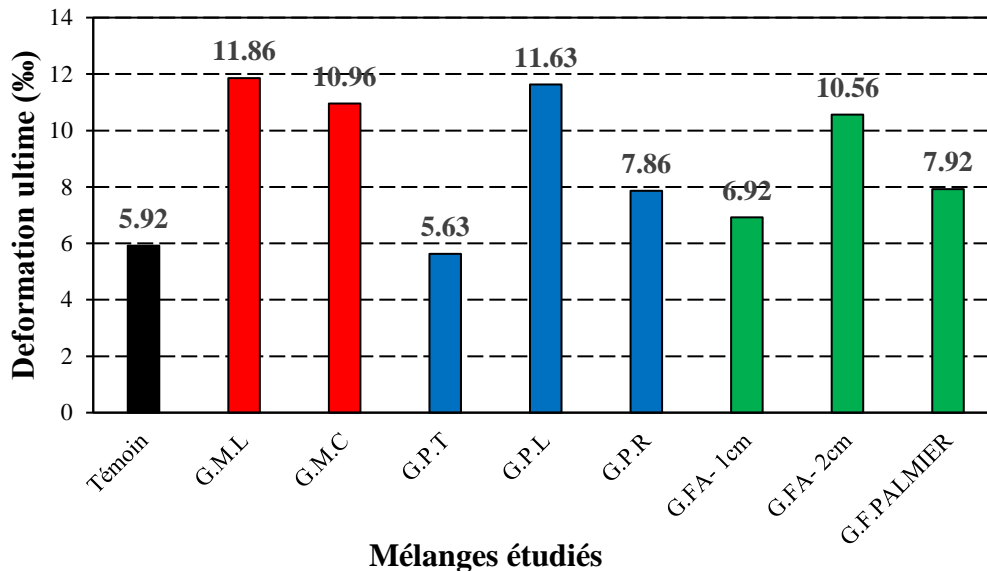


Figure 3.8 : Les déformations ultime de BAP témoin et de béton confiné par les différentes grilles.

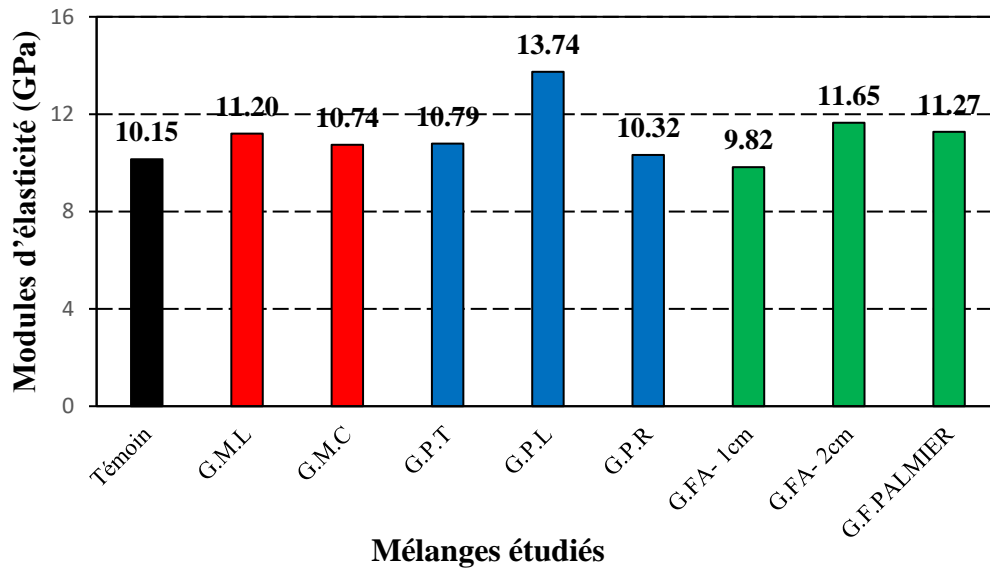


Figure 3.9 : Modulus d'élasticité (E) de béton témoin et de béton confiné par les différentes grilles.

- Le **Tableau 3.2** suivant 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_{co} (‰)	ϵ_u (‰)	f_{cc} (MPa)	ϵ_{cc} (‰)	ϵ_{cu} (‰)	$\epsilon_{cc}/\epsilon_{co}$	f_{cc}/f_{co}
BAP témoin		42,25	4,30	5,92					
Grilles plastiques	G.P.T				31,28	3,18	5,63	0,74	0,74
	G.P.L				39,87	4,19	11,63	0,97	0,94
	G.P.R				34,47	3,56	7,86	0,83	0,82
Grilles métalliques	G.M.L				41,86	4,75	11,86	1,10	0,99
	G.M.C				31,75	4,07	10,96	0,94	0,75
Grilles végétales	G.FA-1cm				37,74	4,61	6,92	1,07	0,89
	G.FA-2cm				42,57	3,86	10,56	0,90	1,01
	G.F.PALMIER				36,20	3,61	7,92	0,83	0,86

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	G.P.T	-25,96	-4,89	10,79
	G.P.L	-5,63	96,45	13,74
	G.P.R	-18,41	32,77	10,32
Grilles métalliques	G.M.L	-0,92	100,33	11,20
	G.M.C	-24,85	85,13	10,74
Grilles végétales	G.FA-1cm	-10,67	16,89	9,82
	G.FA-2cm	0,75	78,37	11,64
	G .F. PALMIER	-14,31	33,78	11,27

D'après les résultats de tableau, on remarque que les meilleures performances obtenues sont celles des BAP confinés par des grilles plastiques et métalliques de maille forme losange ainsi que par des grilles végétales. GFA-2cm. On peut expliquer que cette amélioration en terme de résistance et de ductilité des BAP est attribué aux propriétés mécaniques très élevées des grilles de maille de forme losange par rapport aux autres grilles. Pour les BAP confinés par GFA-2cm, cette amélioration de performance mécanique est procurée par la taille des mailles de grille GFA-2cm, qui permet une bonne adhérence entre le béton et la grille, en diminuant les poussées exercées par les granulats sur les grilles.

3.2. Synthèse

Les résultats obtenus des différents tests réalisés sur les différents spécimens permettent de faire les observations et les analyses suivantes :

3.2.1. *Déformation axial en fonction de la contrainte axiale*

Typiquement, toutes les courbes des bétons confinés présentent une pente initiale qui suit celle du béton non confiné jusqu'à un point d'inflexion, suivie d'une zone de grande déformation plastique en arrivant à l'effondrement du matériau. Selon l'efficacité du confinement, le niveau de contrainte, la zone plastique varie considérablement d'une variante de confinement à l'autre.

3.2.2. *Comportement mécanique du BAP confiné et non confiné*

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 [47, 48] :

- 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 microfisse 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 circumférentielle 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 son 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 enregistrés 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.

3.2.3. Influence de la forme de la maille des grilles sur le comportement du BAP confiné.

D'après les résultats obtenus, on peut conclure que tous les types de grilles utilisés pour le confinement ont améliorés le comportement mécanique du béton à l'exception, le confinement par GPT d'une maille triangulaire on a remarqué une diminution des propriétés mécaniques. Notant que l'épaisseur de cette grille (G.P.T) est plus grande par rapport aux autres types des grilles, ce qui éventuellement influe sur la zone d'interface béton-grille et conduit à une mauvaise adhérence. Les meilleures performances mécaniques sont obtenues pour les colonnes confinées par GPL, GML et GFA-2cm. GPL et GML ont des mailles de forme losange, cette forme permet une meilleure distribution des efforts de tension sur les quatre côtés de la maille. Ghernouti (2009) [38] a étudié le comportement mécanique du béton ordinaire confiné par des grilles métalliques et des grilles polypropylène avec des

mailles en forme hexagonale et losange. Il a trouvé que les grilles avec des mailles en forme losange améliorent la résistance à la compression et la ductilité des composites. Les grilles GFA-2cm présentent une maille de forme carrée de dimension 2cm x 2cm, ce qui facilite la circulation du béton frais et l'obtention d'un béton plus homogène, que ce soit au niveau de la couche d'enrobage ou le cœur du béton.

3.2.4. 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.

3.2.4.1. Rupture du béton de référence

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 destruction presque totale de l'éprouvette du béton avec une forme de cône

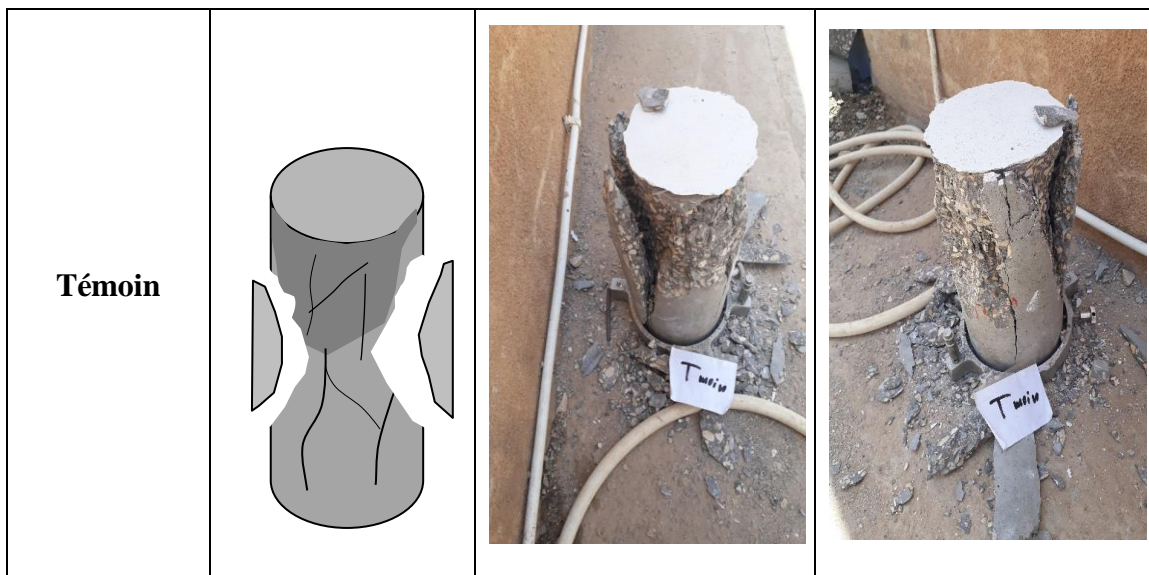


Figure 3.10 : Mode de rupture de béton témoin

3.2.4.2. Rupture du béton confiné par des grilles plastiques

Le confinement des éprouvettes par des grilles plastiques de différente forme (losange, rectangle) permet d'avoir un bon comportement à la rupture. On a observé sur l'éprouvette de béton des fissures qui n'ont pas une ouverture importante. En effet, les grilles exercent

une précontrainte radiale de compression sur l'anneau, ce qui permet à l'éprouvette de garder sa forme presque totale après rupture et lors de l'écrasement.

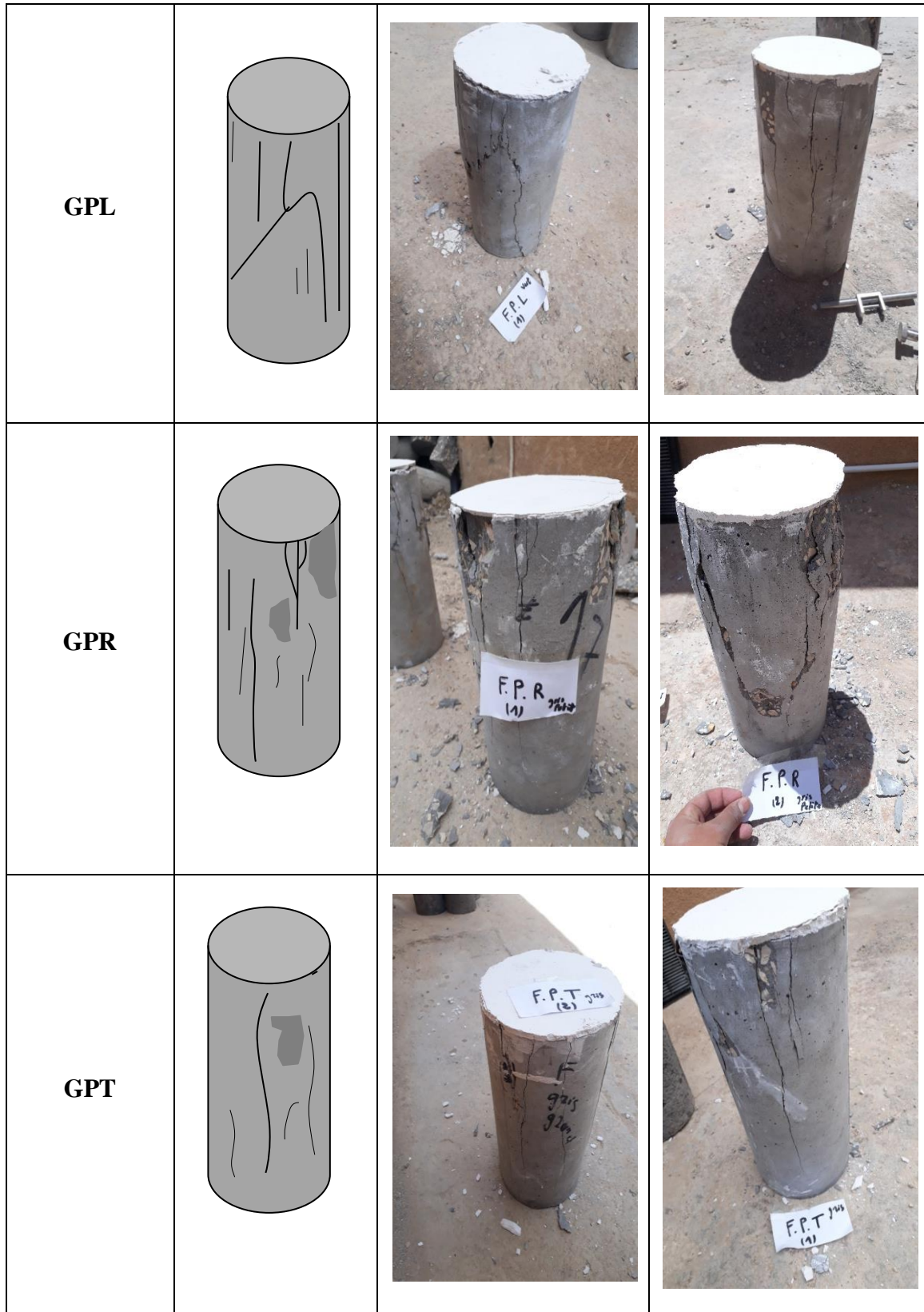


Figure 3.11 : Mode de rupture du BAP confiné par des grilles plastiques.

3.2.4.3. Rupture du béton confiné par des grilles métalliques

Pour les colonnes en BAP confinées par des grilles métalliques ont subis le même mode de rupture que celui des grilles plastiques. Des fissures qui n'ont pas une largeur importante.

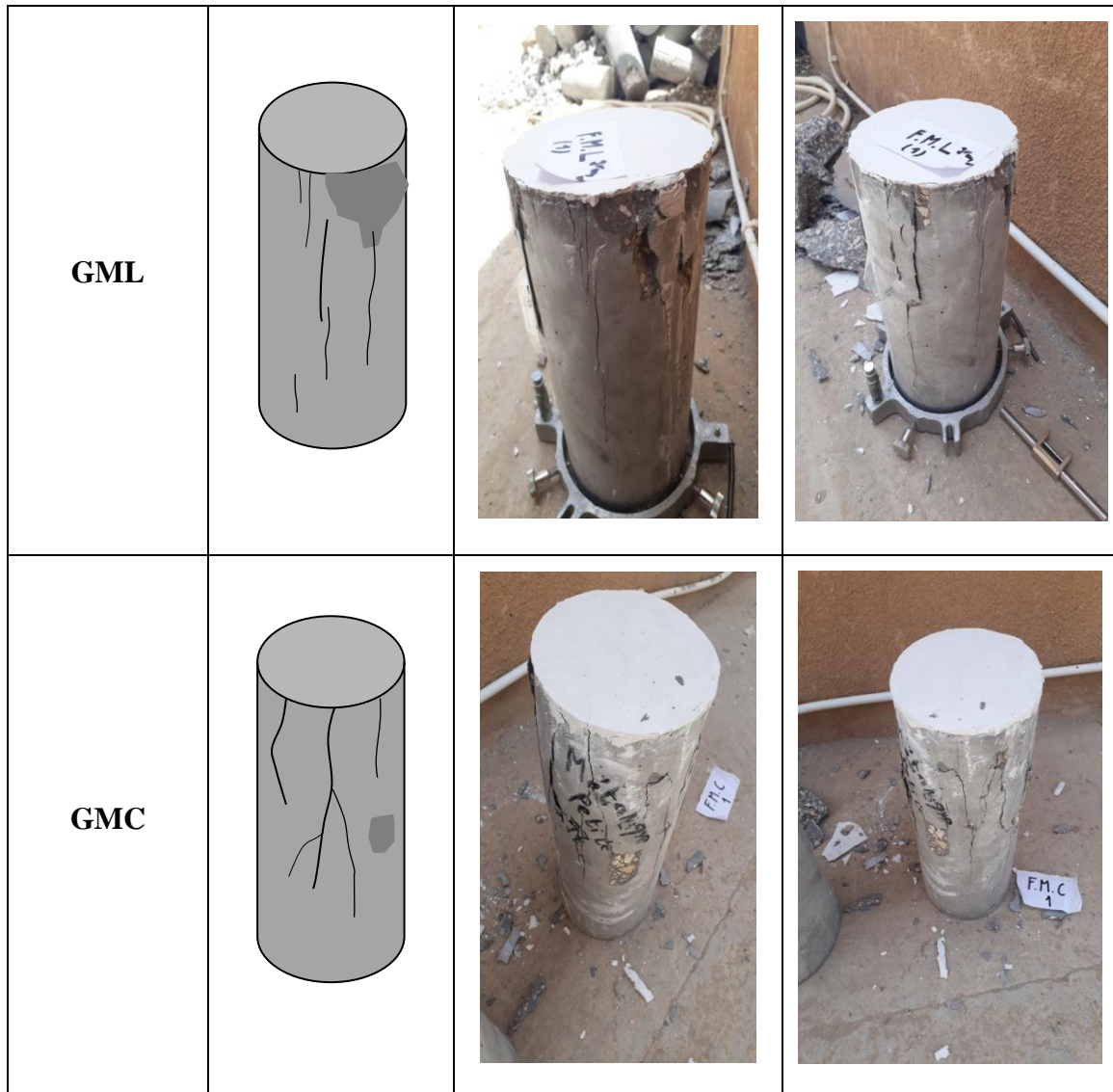


Figure 3.12 : Mode de rupture du BAP confiné avec des grilles métalliques.

3.2.4.4. Rupture du béton confiné par des grilles végétales

Pour le cas des colonnes confinées avec des grilles végétales, on a observé l'apparition de macro fissures sur la surface de l'éprouvette, ces colonnes de béton sont endommagées mais ils ont presque gardé leurs formes initiales après rupture.

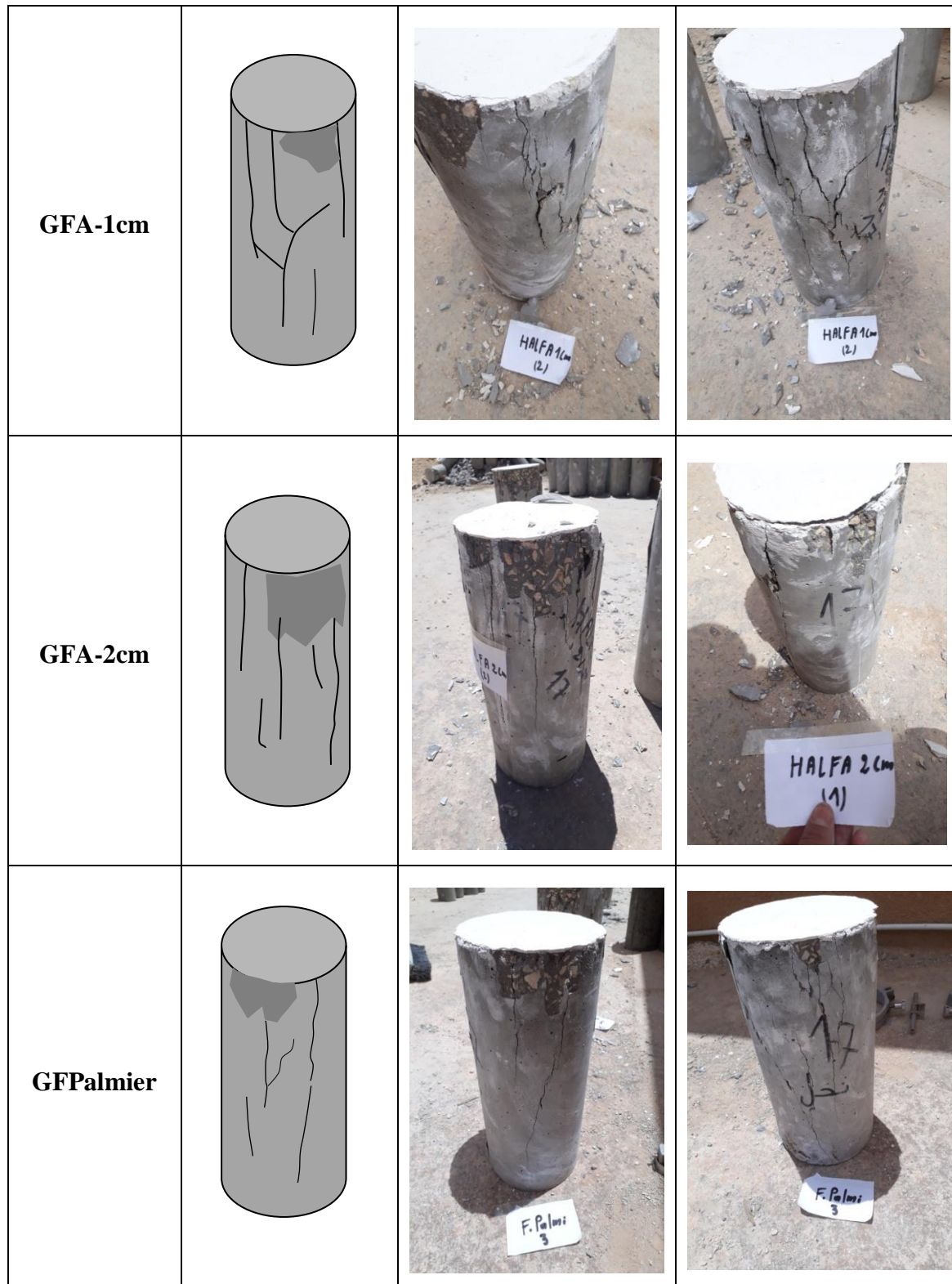


Figure 3.13 : Mode de rupture du BAP confiné avec des grilles végétales.

Les résultats de l'étude du mode de rupture en fonction de la nature du confinement montrent que l'aspect général du mode de fracturation est similaire pour toutes les composites analysées. On remarque l'absence de l'éclatement ou désintégration de l'éprouvette, et on retrouve une ou plusieurs macro-fissures parallèles à l'axe de chargement principal, ce qui diffère nettement du comportement du béton non confiné qui représente des fracturations importantes en forme conique. Vu constate que ces bandes correspondent à une ruine totale de l'éprouvette du béton non confiné, est accompagnée d'un non déchaussement de granulats ce qui montre la bonne adhésion matrice cimentaire-granulats dans le cas des BAP. On met donc en évidence l'effet positif et favorable du confinement dans l'amélioration surtout de la ductilité des matériaux.

3.3. Modèles analytiques de confinement

Le modèle constitutif du béton joue un rôle important dans l'analyse des structures en béton. Puisque le béton est constitué par les matériaux granulaires, son comportement mécanique dépend intensivement de la pression volumétrique (contrainte de confinement). Par conséquent, le comportement contrainte-déformation du béton confiné et non confiné est sensiblement différent.

La courbe contrainte-déformation du béton est constamment caractérisée par deux régions : une région AB parabolique ascendante et une deuxième région BC descendante linéaire. Une courbe contrainte-déformation typique de béton confiné déterminé par le modèle proposé est schématisée dans la **Figure 3.14**.

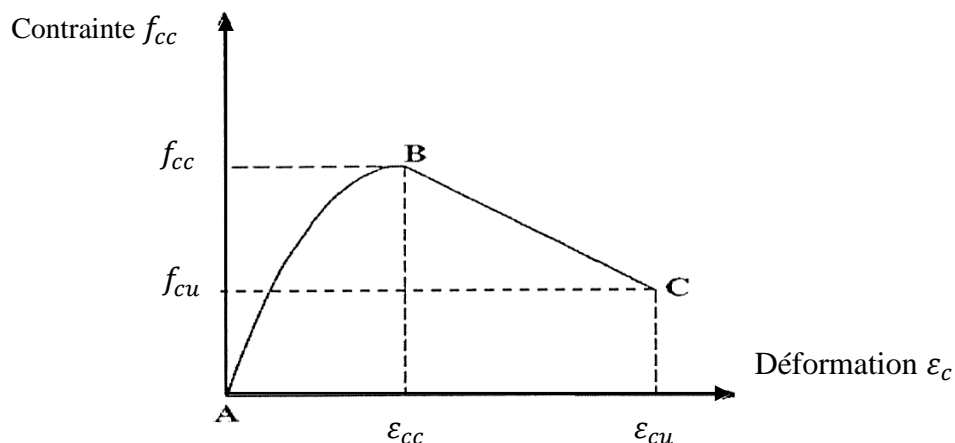


Figure 3.14 : Courbe contrainte-déformation du béton confiné [38].

$$\left\{ \begin{array}{l} f_c = f_{cc} \left[2 \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \right) - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \right)^2 \right] \text{ si } 0 < \varepsilon_c < \varepsilon_{cc} \dots\dots\dots \text{AB} \quad (3.3) \\ f_c = f_{cc} + E_{des} (\varepsilon_c - \varepsilon_{cc}) \text{ si } \varepsilon_{cc} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu} \dots\dots\dots \text{BC} \quad (3.4) \\ f_c = 0 \text{ si } \varepsilon_c \geq \varepsilon_{cu} \end{array} \right.$$

E_{des} est le taux de détérioration du béton confiné, et il peut être développé à partir de l'analyse de régression.

$$E_{des} = \frac{f_{cc} - f_{cu}}{\varepsilon_{cc} - \varepsilon_{cu}} \quad (3.5)$$

f_{cu} : La contrainte ultime de rupture du béton confiné ;

ε_{cu} : La déformation ultime ;

f_{cc} : La contrainte axiale maximale au pic ;

ε_{cc} : La déformation axiale qui correspond au pic.

Dans la littérature, plusieurs modèles analytiques et numériques tentent de représenter les courbes contrainte-déformation en compression pour les bétons confinés. **Le Tableau 4.3** illustre certains des modèles de confinement proposés de contrainte – déformation pour tracer la courbe contrainte – déformation du béton confiné. Ces modèles varient en complexité et en précision dans les calculs.

Les **Tableaux (3.5-3.7)** représentent les comparaisons des résultats expérimental et analytiques des trois modèles choisis dans cette étude, Richart et al (1928), Ghernouti 2009 et modèle de Ait tahar et al (2012) respectivement. **Les Figures 3.15, 3.16** illustrent la confrontation des courbes contrainte-déformation expérimentale et théoriques de GML et GPL.

Tableau 3.4 : Synthèse des quelques modèles du béton confiné.

Auteurs	Résistance du béton	Déformation correspondante
Richart et al (1928) [30]	$f_{cc} = f_{co} + K_1 f_L$ $K_1 = 4,1$	$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[1 + K_2 \frac{f_l}{f_{co}} \right]$ $K_2 = 5K_1$
Fardisand Khalili (1982) [49]	$\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = \left[1 + 4.4 \left(\frac{2f_f}{D \cdot f'_{co}} \cdot t_f \right) \right]$	$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} + 0.001 \left(\frac{E_f}{D \cdot f'_{co}} \cdot t_f \right)$
Saafi and al (1999) [50]	$\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = \left[1 + 2.2 \left(\frac{f_l}{f'_{co}} \right)^{0,84} \right]$	$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} [1 + (537\varepsilon_f + 2.6) \left(\frac{f_{cc'}}{f_{co}} - 1 \right)]$
Ghernouti (2009) [38]	$f_{cc} = f_{co} + K_1 f_L$ $K_1 = 2,5$	$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[1 + K_2 \frac{f_l}{f_{co}} \right]$ $K_2 = 5K_1$
Ait tahar et al (2012) [51]	$f_{cc} = f_{co} \left[1 + 1,33 \left(\frac{f_l}{f_{co}} \right)^{0,72} \right]$	$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[1 + (1,33)^{0,75} \left(\frac{f_l}{f_{co}} \right) \right]$

3.3.1. Confrontation des résultats expérimentaux et analytiques

Afin de vérifier la confrontation de la courbe contrainte-déformation expérimentale avec celle donnée par les modèles analytiques décrites par la littérature résultats expérimentaux et analytiques des modèles (Ait Tahar 2012 [51], Ghernouti 2009 [38], Richart et al 1928 [30]). Nous avons considéré les meilleurs mélanges : BAP confinés par GPL et BAP confinés par GML. Les **Figures 3.15** et **3.16** montrent les courbes contrainte-déformation expérimentales et analytiques obtenues par chaque modèle. Une comparaison des valeurs des paramètres (f_{cc} , f_{cu} , ε_{cc} , ε_{cu}) expérimentaux et analytiques est résumée dans les **Tableaux 3.5** et **3.6** des mélanges choisis. D'après les figures des courbes contrainte-déformation, on remarque une bonne concordance entre les résultats expérimentaux et numériques en termes du comportement global des cylindres confinés sous chargement de compression pour les deux cas considérés. Les modèles offrent une amélioration très nette en termes de ductilité, c.-à-d. un domaine plastique est bien supérieur à celui de la courbe expérimentale. Les contraintes maximales données par les essais expérimentaux sont légèrement plus élevées comparativement à celles prédites par les modèles numériques. En effet, chaque modèle analytique est limité par les conditions et les hypothèses utilisées par l'auteur, et également

par les conditions d'expérimentation : nature de matériau et la technique de confinement. Cependant, une meilleure corrélation des valeurs de contraintes et déformations ultimes est obtenue par le modèle de Richart et al (1928) [30] en comparaison avec les valeurs expérimentales.

Tableau 3.5 : Comparaison des résultats expérimentaux et analytiques de BAP confinés par GPL.

GPL				
Paramètres du modèle	Valeur expérimentale	Valeur analytique		
		Ait tahar et al [51]	Ghernouti [38]	Richart et al [30]
K	/		2,5	4,1
f_{co}	42,25 MPa	/	/	/
f_{cc}	39,87MPa	45,57 MPa	44,33 MPa	45,66 MPa
ε_{cc}	4,19‰	4,41‰	5,36‰	6,04‰
f_{cu}	26,78MPa	23,48 MPa	22,84 MPa	24,17 MPa
ε_{cu}	11,63‰	6,21‰	8,89‰	10,79‰

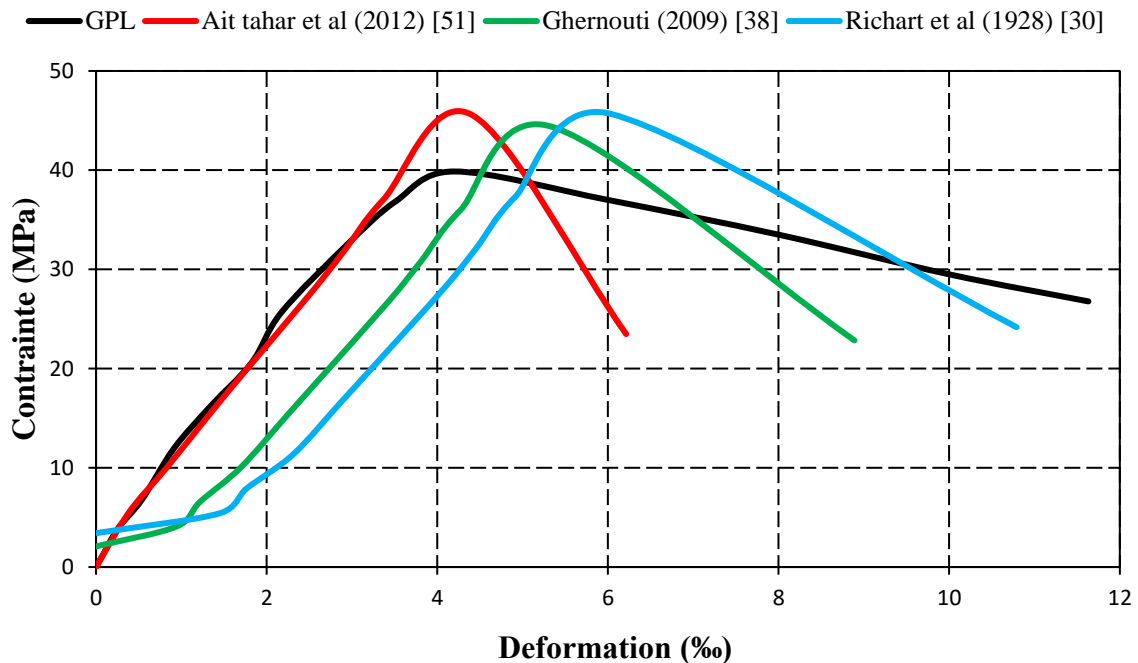


Figure 3.15 : Confrontation des courbes contrainte-déformation expérimentales et analytiques des BAP confinés par GPL.

Tableau 3.6 : Comparaison des résultats expérimentales et analytiques de BAP confinés par GML.

GML				
Paramètres du modèle	Valeur expérimentale	Valeur analytique		
		Ait tahar et al [51]	Ghernouti [38]	Richart et al [30]
K	/	/	2,5	4,1
f_{co}	42,25 MPa	/	/	/
f_{cc}	41,86MPa	45,33 MPa	44,12 MPa	45,32 MPa
ε_{cc}	4,75‰	4,39‰	5,25‰	5,86‰
f_{cu}	26,93MPa	23,28 MPa	22,63 MPa	23,83 MPa
ε_{cu}	11,86‰	6,18‰	8,59‰	10,30‰

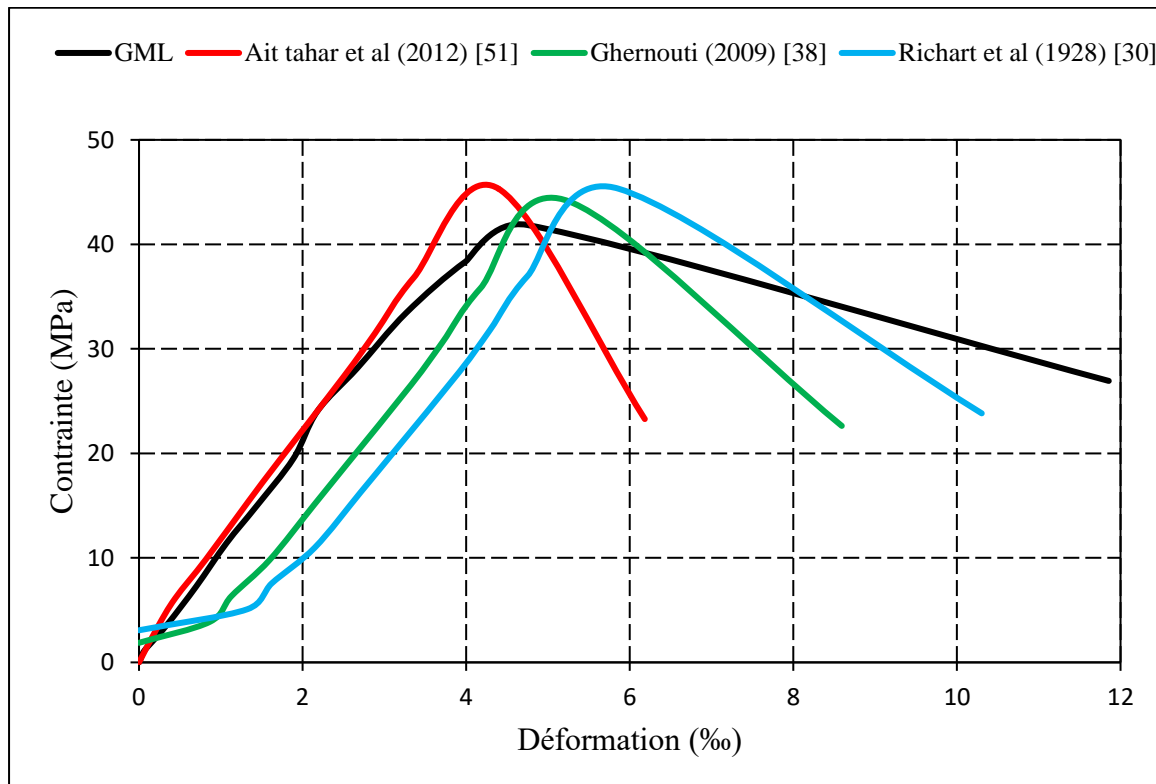


Figure 3.16 : Confrontation des courbes contrainte-déformation expérimentales et analytiques des BAP confinés par GML

Synthèse

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents résultats d'une investigation expérimentale sur le comportement des colonnes circulaires en béton autoplaçant de dimension (16 x 32 cm) confinées à l'aide des grilles de différents natures et formes (plastiques, métalliques, et végétales).

L'analyse des différents résultats montre que le confinement par les matériaux composites engendre un apport considérable en ductilité. Une influence est directement observée sur le mode de rupture ou on observe aussi que lors de l'écrasement, les débris de béton restent emprisonnés à l'intérieur des grilles et le cœur de l'éprouvette reste sain. Ce qui permettra de prolonger le temps pour une destruction totale de l'élément.

D'après les résultats obtenus on peut conclure que Les meilleures performances mécaniques sont obtenues pour les colonnes confinées par GML et GPL, de forme de maille losange.

D'après les trois modèles choisis on a trouvé que le modèle de Richart et al [30] donne une bonne concordance entre les résultats analytiques et expérimentaux en termes du comportement global.

CONCLUSION
GENERALE
ET
PERSPICTIVES

CONCLUSION GENERALE

Cette recherche s'intéresse au problème de renforcement des éléments structuraux plus précisément le confinement des cylindres en béton autoplaçant par des grilles de différentes formes (losange, carré et triangle) et de différentes natures (plastiques, métalliques et végétales).

A cet égard, des cylindres de dimensions 16*32cm en bétons autoplaçants (BAP) ont été préparés, comportant les différents types de grilles. L'analyse du comportement mécanique des composites élaborées est basée sur la construction des courbes de la contrainte-déformation ainsi que la détermination des contraintes et déformations maximales et ultimes.

Les résultats des essais expérimentaux nous ont permis d'aboutir aux conclusions suivantes :

- Le béton autoplaçant formulé présente de bonnes caractéristiques de point de vue de fluidité, de capacité de passage et de ségrégation dynamique.
- Les résistances sont presque similaires par rapport au BAP non confiné sauf GPT
- Les différents types de grilles utilisés offrent au béton autoplaçant confiné une ductilité supérieure par rapport au béton autoplaçant non confiné.
- Pour le cas du BAP confiné par des grilles plastiques GPL et GPR, une amélioration de la ductilité de l'ordre 96,45% et 32,77% a été notée.
- Pour les éprouvettes confinées par des grilles métalliques GML et GMC, on a remarqué une augmentation considérable de la ductilité respectivement de 100,33% et 85,13%.
- Pour le béton autoplaçant confiné par des grilles végétales (GFA-1cm, GFA-2cm, GFPalmier) une amélioration de la ductilité par environ 16,89%, 78,37% et 33,78% a été enregistrée.
- Les meilleures performances sont obtenues pour les BAP confinés par des grilles dont la forme des mailles est de losange.
- 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.

- Les modules d'élasticité de toutes les variantes étudiées sont presque similaires à celle du béton non confiné, Ceci est dû la similarité de la phase ascendante de la courbe contrainte-déformation.
- Une influence est directement observée sur le mode de rupture ou on observe aussi que lors de l'écrasement, les débris de béton restent emprisonnés à l'intérieur des grilles et le cœur de l'éprouvette reste sain. Ce qui permettra de prolonger le temps pour une destruction totale de l'élément contrairement au béton témoin qui présente une rupture brutale. Ce qui est avantageux de point de vue sécurité.
- D'après les trois modèles choisis on a trouvé que le modèle de Richart et al [30] donne une bonne concordance entre les résultats analytiques et expérimentaux en termes du comportement global.

PERSPECTIVES

Le présent travail de recherche a été limité à l'étude du comportement des bétons autoplaçant confinés intérieurement par des grilles plastiques, métalliques et végétales. Pour enrichir et élucider cette étude nous recommandons aux futures chercheurs de :

- Examiner le comportement mécanique des colonnes de différente forme (carrée, rectangulaire, losange) confinées intérieurement et extérieurement ;
- Etude plus profonde sur le comportement des bétons confinés par des grilles plastiques à l'extérieur afin d'éviter le problème de corrosion.
- Utiliser des jauges pour une évaluation exacte des déformations ;
- Etudier l'effet de confinement sur la résistance à la traction par fendage.
- Etudier le comportement au feu des bétons confinés surtout par des grilles plastiques.
- Faire des simulations à l'aide des logiciels tels que : ABAQUS et ANSYS.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Jean-pierre Adam ; la construction romaine. Matériaux et techniques, sixième édition. Grands manuels picards, 2011.
- [2] Adam et Neville. M ; propriétés des bétons . Editions Eyrolles, paris, 2000.
- [3] Freyssinet E, progrès pratiques des méthodes de traitement mécanique des bétons »,Deuxième congrès de L'Association internationale des ponts et charpentes, octobre1963.
- [4] Okamura H. and Ouchi M., Self-compacting concrete. Development, present and future, Proceedings of First International RILEM Symposium on Self- Compacting Concrete (PRO 7), Stockholm, Suède, pp. 3-15 September 1999
- [5] khayat k, Les bétons autonivelants, les bétons, bases et données pour leur formulation , pp.479-483,eyrolles,1997.
- [6] Hadad O, Les congres international sur la technologie et la durabilité du béton à Alger, Les 24,25 et 26 Mai 2004.
- [7] Abib Z., fondation et caractérisation des bétons autoplaçants , université des sciences et de la technologie. Thèse de magistère en génie civil, Université Houari Boumediene, 2006.
- [8] Sedrant T., Rhéologie et rhéomètre des béton-Application aux bétons autonivelants , thèse de doctorat en structure et matériaux, Ecole Nationale des ponts et chaussées de Nantes, 1999.
- [9] Association Française de Génie Civil « AFGC », Bétons autoplaçants-Recommandations provisoires, juillet 2002,63 pages.
- [10] Ecoles française du béton (EFB), mis en ligne par le lycée du bâtiment saint-lambert, internet,2004.
- [11] Seddik A. Le béton autoplaçant sous conditions locales, thèse de magistère en génie civil, université de Sétif (Algérie), 2008.
- [12] Béton autoplaçant-wikipédia en ligne, www.wikipédia.org.
- [13] Vénuat M., La pratique des ciments mortier et béton . Moniteur technique, éditions du moniteur , 1989.

- [14] Ould El Hacem .Z, Renforcement du béton par les matériaux composites, mémoire de master, Université de Tébessa 2016, p126
- [15] Deloye F.X., Identification rapide des ciments sur chantier , Bulletins liaison laboratoire des ponts et chaussées, 1989 ; 65-70.
- [16] Mohamed I., contribution à l'étude du confinement du béton alcali-réactif par matériaux composites carbone époxy . Thèse de doctorat, Université lyon1, 2004.
- [17] Calgaro J. et Lacroix R., Maintenance et réparation des ponts . Presses de l'Ecole Nationale des ponts et chaussées, 1997, pp.11-19.
- [18] Le coin de pierre-génie civil, <http://jfjpm-genie-civil.blogspot.com/>.
- [19] Ferrier E., comportement de l'interface composite-béton sous des sollicitations de fluage thermostimulé et en fatigue oligocyclique. Application au calcul prévisionnel de la durabilité de poutres BA renforcées . Thèse de doctorat, université Lyon1, 1999.
- [20] METZDER BTP <https://www.metzger-btp.fr>.
- [21] Berthelot J.M., Matériaux composites-comportement mécanique et analyse des structures, 3em édition, p. 642, 1999
- [22] Gay D., matériaux composites . Edition hermès. p672.paris1989.
- [23] McKenna JK et Erki M.A., strengthening of Reinforced concrete Flexural member using Externally Applied steel plates and fibre composites sheets .a survey, Canadian journal of civil Engineering, 21:16-24, 1994
- [24] Dorlot J.M., BailouJ.p et Masounave J., Des matériaux . Edition de l'école polytechnique de Montréal, 2eme édition, canada, p467 .1986.
- [25] Meier U., « carbon fiber-reinforced polymers : modem Materials in Bridge ». engineering, structural engineering international, 1, 7-12,1992,
- [26] Berthelot, J.M., Matériaux composites, comportement mécanique et analyse des structures. Livre, éditions : Lavoisier, 2005.
- [27] Richard Maranda., analyse par élément finis de poteaux mixtes avec section d'acier en de classe 4. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de maitrise en sciences appliquées (génie civil), école polytechnique de Montréal, décembre 1998.
- [28] Sheikh S.A et UZUMERIS.M., strength and ductility of tied concrete columns . Journal of the structural Division, 106(5), 1079-1102 1980,.

- [29] Lakhdari L et Maamouri G, Optimisation numérique des paramètres de confinement des cylindres en béton par des bandes composites, Mémoire de Master, Université de Bejaia, 2018, p. 109.
- [30] Richart F.E., Brandtzaeg A et Brown R.L ; « a study of the failure of concrete under combined compressive stresses ». University of Illinois, Engineering Experimental station, urbana, Bulletin N^o 185, p 104 1928.
- [31] Daniel Mongeau., Effet des étriers a haute limite élastique sur le comportement des poteaux en béton a haute performance . Mémoire de maîtrise en sciences appliquées, spécialité : génie civil, université de Sherbrooke, 1996.
- [32] Park R et Paulay T., Reinforced concrete structure , john wiley and sons, new york, N.Y,21-23 pp.1975.
- [33] Wu G, Wu Z.S et Lü Z.T ., Design-oriented stress-strain model for concrete prisms confined with FRP composites . journal of construction and building materials, 2007, 21(5), 1107-1121.
- [34] Lam L et teng J.G., Design-oriented stress-strain Model for FRP confined-concrete in rectangular columns . journal of reinforced plastics and composites, 22 ; pp 1149-1186, 2003.
- [35] Nihon-Konkurīto-Kōgaku-Kyōkai, Tokio. Non-metallic (FRP) reinforcement for concrete structures : proceedings of the third international symposium, Sapporo, Japan, 14 - 16 October 1997.
- [36] Saadatmanesh H et Ehsani M.R., strength and ductility of concrete columns Externally Reinforced with fibre straps .ACI structural journals vol.91,NO.4,434-447pp.JuL-Aug.1994.
- [37] Saafi M; Toutanji A.H et Li Z., Behaviour of concrete columns confined with fibreReinforced polymer Tubes .ACI Materials journal,Vol.96,No.4,500-509pp.JuL-Aug.1999.
- [38] Ghernouti Y, Conception et analyse mécanique de confinement des éléments cylindriques en béton a renforts mixte, thèse de doctorat, Université de Boumerdes 2009, p. 177.
- [39] Boukhelkhal A., Rhéologie, caractérisation physico-mécanique et durabilité des betons autoplaçants à base de la poudre de marbre poudre de marbre, mémoire de magister, Université de Laghouat, p.170, 2012,

- [40] Celik, M.Y., and Sabah, E, Geological and technical characterization of Iscehisar (Afyon-Turkey) marble deposits and the impact of marble waste on environmental pollution ”, *Journal of Environmental Management*, 87: 106–16, 2008
- [41] Alyamac, K.E., and Ince, R, A preliminary concrete mix design for SCC with marble powders”, *Construction Building Materials*, 23: 1201–10, 2009.
- [42] EFNARC, “ Specification and Guidelines for Self-compacting Concrete ”, European Federation of Producers and Applicators of Specialist Products for Structures, EFNARC, Norfolk, UK, February,p.32 2002,.
- [43]Walraven, *Structural aspect of self-compacting concrete*, proceedings of the third international RILEM conference on SCC, Reykjavik, Islande, pp 15-22, août 2003.
- [44] Bétons Autoplacants-Monographie d’ouvrages en BAP, B.52, collection techniqueCimBéton, p.152, 2003.
- [45]Projet National BAP, Aide à la rédaction de cahier des charges techniques pour le Bétons Auto-Plaçants (BAP), Mars 2005.
- [46] Ait tahar K , Bahar R, Influence of the dimensions of the mesh of the fiber grid reinforcement of composite materials, *Key Engineering Materials* Vol. 550 ,pp 9-16, 2013.
- [47] Baron J., «Résistance a la propagation des fissures . Béton hydraulique ; presse de L’ENPC-PARIS-1982.
- [48] Gorisse F., *Essais et contrôle des bétons .* Edition Eyrolles,1978.
- [49] Fardis, M.N. et Khalili, H.H. FRP-encased concrete as a structural material, *Magazine of Concrete Research*, Vol. 34, No. 121, pp. 191-202, 1982.
- [50] Saafi, M.; Toutanji, A. H.; and Li, Z.; Behaviour of Concrete Columns Confined with Fibre Reinforced Polymer Tubes, *ACI Materials Journal*, 96(4): 500- 509, 1999.
- [51] Ait tahar, K ; Taouche, F ; Bouamara, Y, Parametric analysis of the models of confinement of the concrete column, *Key Engineering Materials* Vol. 498 pp 1-14, 2012

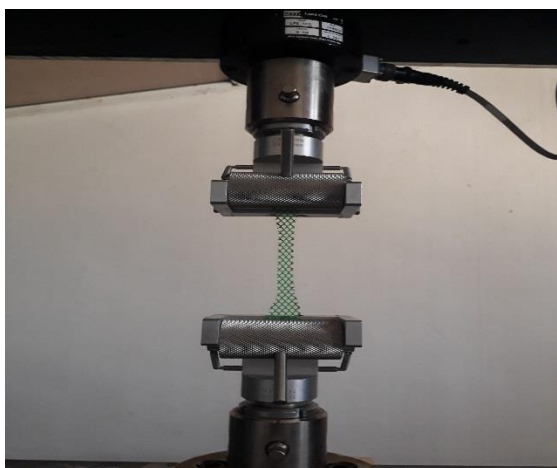
ANNEXES

ANNEXE A : ESSAI DE TRACTION DES GRILLES.

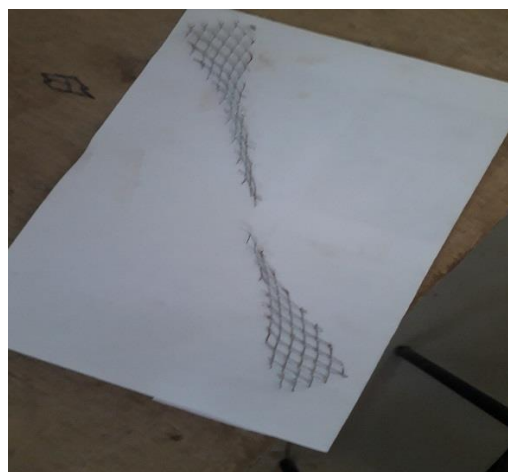
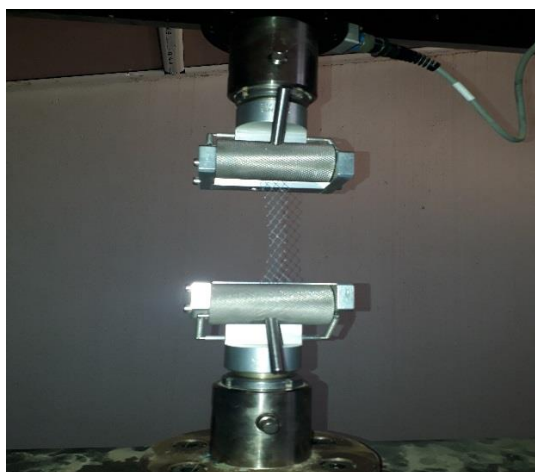
- ✓ Machine de traction



- ✓ Essai par traction de GPL

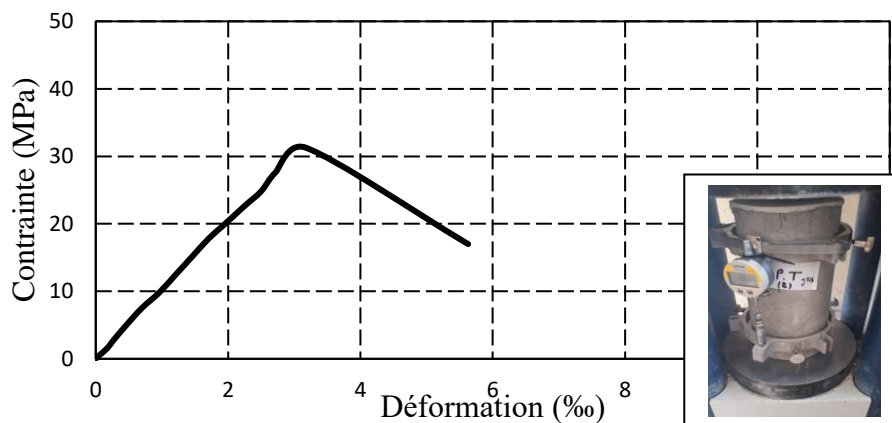


- ✓ Essai par traction de GML

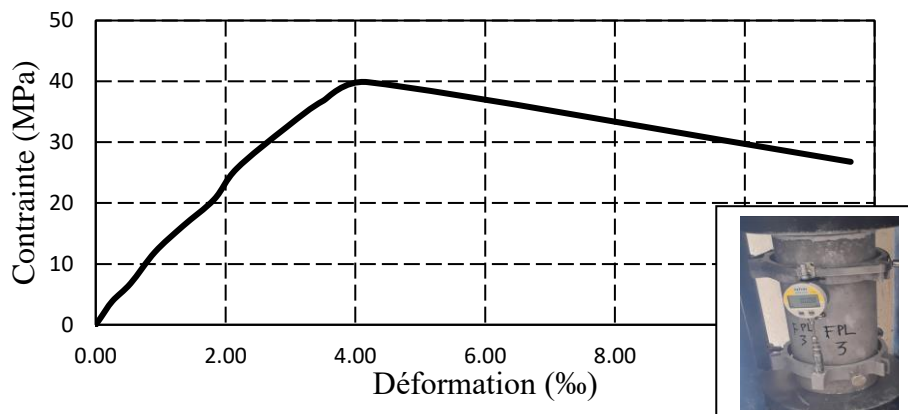


ANNEXE B : COURBES CONTRAINTE-DEFORMATION DU BETON CONFINES PAR DIFFERENTS TYPES DE GRILLES.

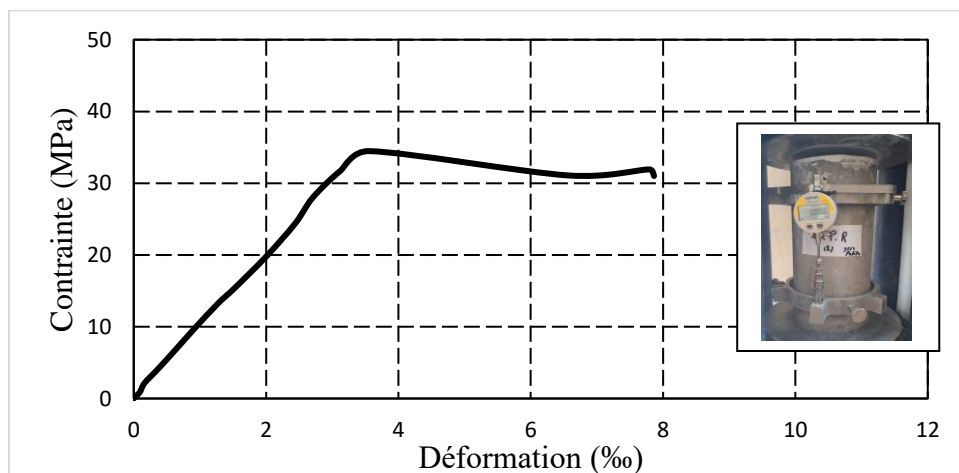
- ◆ Contrainte-déformation du béton confiné par une grille plastique de forme triangulaire (GPT).



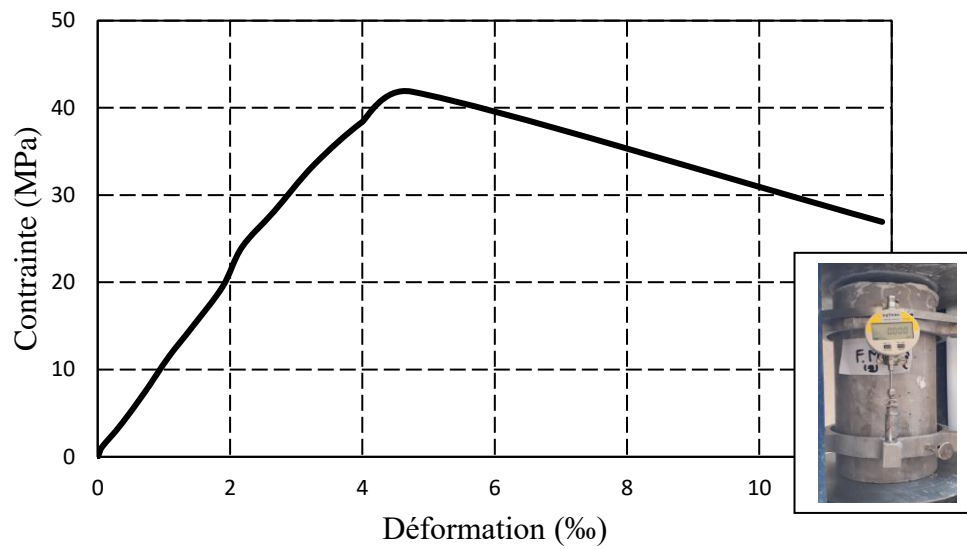
- ◆ Contrainte-déformation du béton confiné avec de grille plastique de forme losange (GPL).



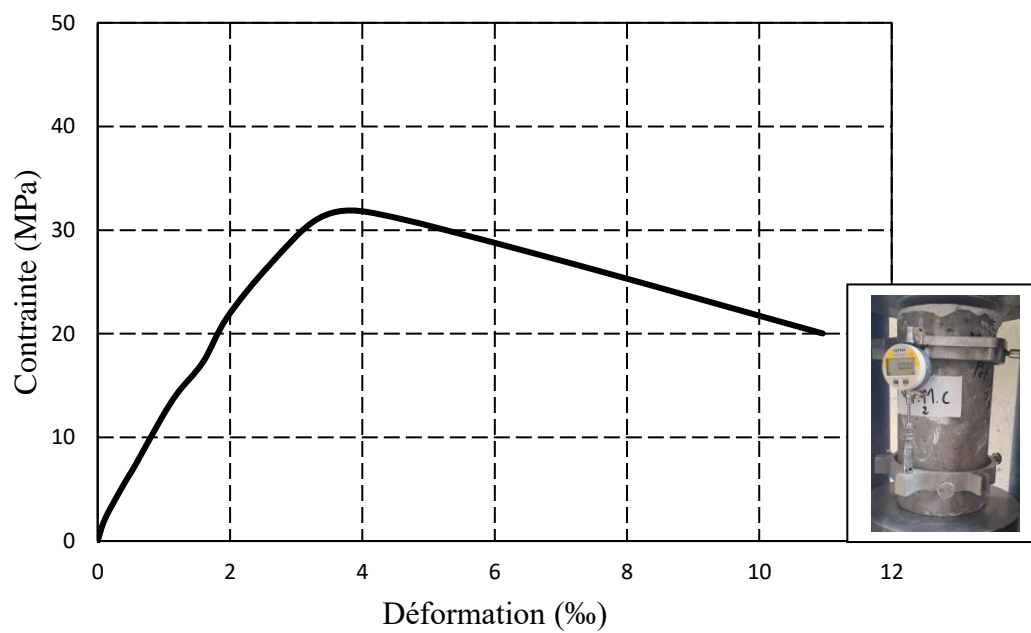
- ◆ Contrainte-déformation du béton confiné avec de grille plastique de forme rectangle (GPR).



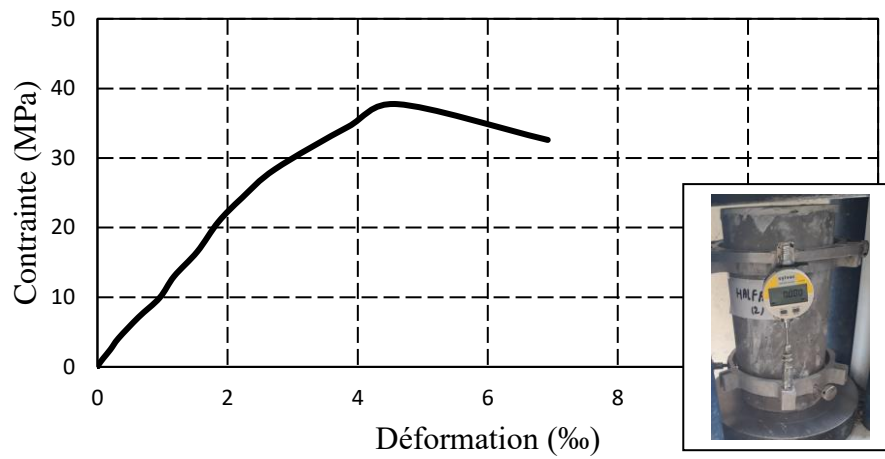
- ◆ Contrainde-déformation du béton confiné avec de grille métallique de forme losange (GML).



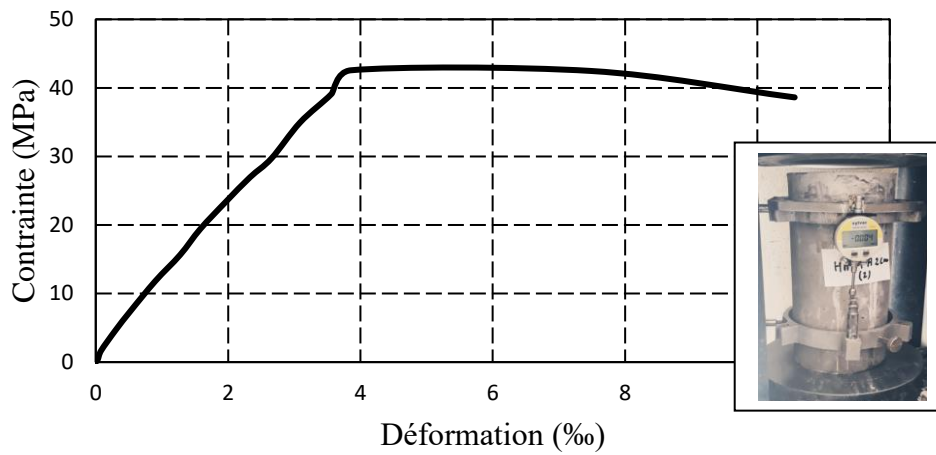
- ◆ Contrainde-déformation du béton confiné avec de grille métallique de forme rectangle (GMC).



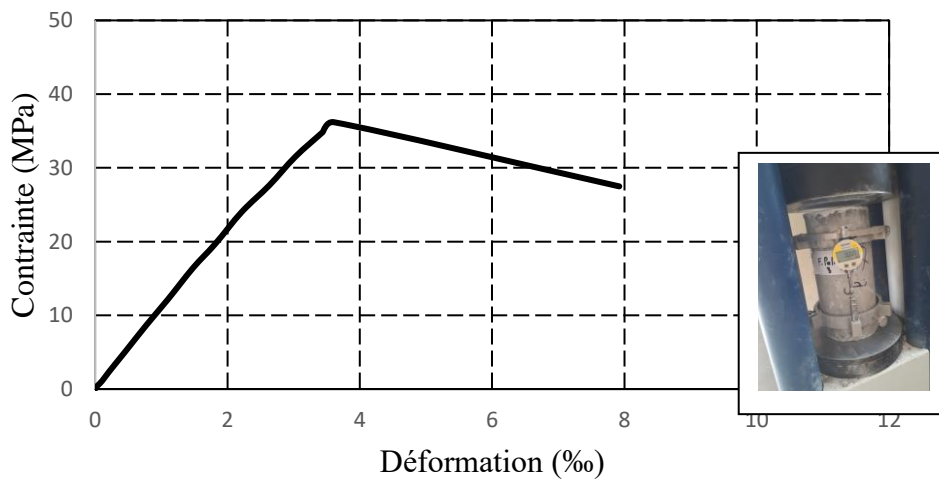
- ◆ Conainte-déformation du béton confinée avec de fibre végétale alfa1cm (FA1cm).



- ◆ Conainte-déformation du béton confinée avec de fibre végétale alfa2cm (FA2cm).



- ◆ Conainte-déformation du béton confinée avec de fibre végétale de palmier.



المؤطر: بن عابد بن شاعة

الإسم: بلال

اللقب: بلقاسم

مقرر مساعدا: بوخلخال ابوبكر

الإسم: يوسف

اللقب: جيلالي بن فرج

يتمحور هذا العمل حول تحليل تجريبي و تحليل نظري لتقنية جديدة من احتواء الأسطوانات الخرسانية بواسطة شبكات مركبة ، متموضعة محيطياً على طول محيط الأسطوانة و مغروسة داخلها. الهدف الرئيسي هو تحديد مساهمة من ناحية المقاومة و التشوه المتحصل عليهما من خلال تعزيز الأعمدة و تأثيرها على نمط تكسرها تحت تأثير الضغط أحادي المحور.

تم إعداد تسعة خلائط من الخرسانة ذاتية الرص، واحد مرجعي و ثمانية يحتون أنواع مختلفة من الشبكات (البلاستيكية، المعدنية والنباتية). ذات أشكالاً مختلفة (مربع و مثلث) وقد تم صياغة كل الخلائط باستعمال نسب ماء/رابط و ملدن متفوق/ رابط مساوية على التوالي ل 0.4 و 0.9٪. العينات المختبرة هي من النوع الأسطواني ذات أبعاد 16 * 32 سم.

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، وقد أعطت المقارنة بين النتائج التجريبية و النتائج التحليلية توافقاً جيداً.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة ذاتية الرص، الاحتواء، الشبكات المركبة، مقاومة، ليونة.

Name: BELKACEM

First name: Bilal

supervisor: BENABED.B

Name: DJILALI BEN FREDJE

First name: Youcef

co-supervisor: BOUKHELKHAL.A

This work consists of an experimental and analytical analysis of a new technique of confinement of self-compacting concrete cylinders by composite grids arranged circumferentially all along the periphery of the cylinder and totally integrated into the concrete matrix. The main objective is to quantify the resistance and deformation contribution that confinement can give to columns and its influence on the uniaxial compression failure mode.

Nine mixtures of Self-compacting concrete (SCC) have been prepared, including one reference (unconfined BAP) and eight with different types of grids (plastic, metallic and vegetable) with different shape of mesh (lozenge, square and triangle) . The formulation parameters namely Water / Binder and Superplasticizer/Binder were selected 0.4 and 0.9%, respectively. The tested specimens are cylindrical and have dimensions of 16 * 32cm.

The results obtained show that it is possible to substantially increase the ductility of the columns, and in some cases their strength. It was also found during the compressive test that the failure mode of the confined self-compacting concrete is very influenced by the presence of the grids. The comparison of the experimental results with the analytical results gave a good concordance.

Key words: self-compacting concrete, confinement, composite grids, strength, ductility.

Nom: BELKACEM

Prénom: Bilal

Encadreur: BENABED.B

Nom: DJILALI BEN FREDJE

Prénom: Youcef

Co- Encadreur: BOUKHELKHAL.A

Ce travail consiste en une analyse expérimentale et analytique d'une nouvelle technique de confinement de cylindres en béton autoplaçant par des grilles composites disposées circonférentiellement tout le long du pourtour du cylindre et totalement intégrées dans la matrice béton. 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.

Neuf mélanges de bétons autoplaçants (BAP) ont été préparés, dont un de référence (BAP non confiné) et huit comportant différents types de grilles (plastiques, métalliques et végétales) avec différentes formes des mailles (losange, carré et triangle). Les paramètres de formulation à savoir Eau/Liant et Superplastifiant/Liant ont été sélectionnés respectivement 0,4 et 0,9%. Les éprouvettes testées sont de type cylindrique de dimensions 16*32cm.

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. La confrontation des résultats expérimentaux avec les résultats analytiques a donné une bonne concordance.

Mots clés : béton autoplaçant, confinement, grilles composites, résistance, ductilité.