

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ DE BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées  
Département Génie Civil

**Mémoire de fin d'étude**

Présenté par :

SAAD AHCENE  
RAHAL SAID

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 2** en :  
Filière : Génie Civil  
Option : Matériaux de Génie Civil

**Thème :**

**Conception et analyse expérimentale du comportement mécanique des  
éléments tubulaires en béton composite**

**Devant le jury composé de :**

HAMI . B	MCB	UAMOB	PRESIDENT
LAOUCHEDI. D	MAA	UAMOB	EXAMINATRICE
PR AIT TAHAR. K	PR	UAMOB	PROMOTEUR
Dr. BOUAMRA. Y	MCA	UAMOB	CO- PROMOTEUR

---

*Année Universitaire 2021 / 2022*

## REMERCIEMENTS

*Nos remerciements à dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné;*

*Grâce à de nombreuses personnes, que nous aimerions citer et remercier ici après; ce travail de recherche a pu être réalisé*

*Dans un premier temps, Nous souhaitons remercier très sincèrement le Pr Ait tahar K, notre promoteur, pour le temps qu'il a consacré à notre encadrement, en particulier pour ses différentes propositions conceptuelles des tubes en béton composite, ainsi que pour les précieux conseils et son aide à l'interprétation et analyse des résultats.*

*Tous les membres du jury qui ont nous ont fait l'honneur d'accepter d'examiner ce travail ; nous tenons également à les remercier et nous leur exprimons toute notre profonde reconnaissance ;*

*Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation ainsi que tout le personnel du laboratoire et administratif;*

*Pour finir, nos remerciements vont enfin à tous nos amis (es) et collègues de la promotion 2022.*

## DEDICACES

*Je dédie ce modeste travail*

*A mes chers parents*

*A ma famille*

*A tous mes amis*

**RAHAL Said**

## DEDICACES

*Je dédie ce modeste travail*

*A mes chers parents*

*A ma famille*

*A tous mes amis*

**SAAD AHCENE**

## ***Résumé***

Le développement de nouvelles conceptions qui répondent aux exigences de résistance et d'exploitation ; de plus en plus rigoureuses ; constitue une préoccupation constante chez les chercheurs. L'objectif consiste à améliorer les performances de résistance des éléments en béton et de prolonger leur durée de vie, en proposant de nouvelles combinaisons et types de renforcement, en recourant de plus en plus aux matériaux innovants en particulier les matériaux composites, au vu de leurs performances mécaniques élevées comparées aux matériaux traditionnels..

L'analyse du comportement des conduites en béton constitue un des problèmes les plus délicats posés à l'ingénieur de génie civil ; du fait, que le choix conceptuel dépend de plusieurs facteurs tels que la composition du béton, le type de renforcement, les conditions de pose, les conditions géotechniques locales, les charges et surcharges accidentelles appliquées sur la conduite, etc.

Cette étude envisage à qualifier et quantifier le comportement en compression, traction par fendage et flexion des éléments tubulaires en béton- composite, en analysant le comportement global et l'observation du mode de ruine des éprouvettes. Notre travail de recherche est donc totalement consacré à l'analyse expérimentale de différentes conduites en béton composite en utilisant plusieurs variantes afin de mettre en exergue l'influence du type de renforcement sur les résistances ultimes en compression et flexion ainsi que le mode de rupture. Des éprouvettes cylindriques et tubulaires de dimensions normalisées  $2.5*16*32 \text{ cm}^3$  ont été testées sous une charge de compression axiale et soumises à des essais de fendage. Des éprouvettes prismatiques de dimensions normalisées  $4*4*16 \text{ cm}^3$ , de sections droites rectangulaires, ont été testées également sous une charge concentrée de flexion 3-points, puis des cubes de dimensions  $4*4*4 \text{ cm}^3$ , récupérés des essais de flexion ont été testés sous une charge de compression uni axiale jusqu'à la rupture. La confrontation des résultats montrent que la résistance, la déformabilité et le mode de rupture sont affectés d'une manière significative.

**Mots clés** : élément tubulaire en béton, composite, fibres, renforcement, essais.

## ***ABSTRACT***

Development of new designs that meet strength and operating requirements; more and more rigorous; is a constant concern among researchers. The objective is to improve the resistance performance of concrete elements and to extend their lifespan, by proposing new combinations and types of reinforcement, by resorting more and more to innovative materials, in particular composite materials, in view of their high mechanical performance compared to traditional materials.

The analysis of the behavior of concrete pipes constitutes one of the most delicate problems posed to the civil engineer; because the design choice depends on several factors such as the composition of the concrete, the type of reinforcement, the laying conditions, the local geotechnical conditions, the accidental loads and overloads applied to the pipe, etc.

This study intends to qualify and quantify the behavior in compression, tension by splitting and bending of the tubular elements in concrete-composite by analyzing the global behavior and the observation of the failure mode of the specimens. Our research work is therefore totally devoted to the experimental analysis of different composite concrete pipes using several variants in order to highlight the influence of the type of reinforcement on the ultimate resistances in compression and bending as well as the failure mode.

Cylindrical and tubular specimens of standardized dimensions  $2 \times 16 \times 32$  cm<sup>3</sup> were tested under a compression load and subjected to Brazilian tests. Prismatic specimens of standardized dimensions  $4 \times 4 \times 16$  cm<sup>3</sup>, of rectangular cross sections, were tested under a concentrated 3-point bending load, then cubes of dimensions  $4 \times 4 \times 4$  cm<sup>3</sup>, recovered from the bending tests were tested under uniaxial compressive load until failure. The confrontation of the results show that the resistance, the deformability and the failure mode are significantly affected.

**Keywords:** Concretetubularelement, composite, fibres, reinforcement, tests.

## ملخص

تطوير تصميمات جديدة تلبى متطلبات القوة ومجال الاستعمال؛ أكثر وأكثر صرامة؛ هو مصدر قلق دائم بين الباحثين. الهدف هو تحسين أداء المقاومة للعناصر الخرسانية وإطالة عمرها ، من خلال اقتراح تركيبات وأنواع جديدة من التعزيز ، من خلال اللجوء أكثر فأكثر إلى المواد المبتكرة ، وخاصة المواد المركبة ، في ضوء أدائها الميكانيكي العالي مقارنة بأداء المواد التقليدية.

يشكل تحليل سلوك الأنابيب الخرسانية واحدة من أكثر المشاكل حساسية التي يتعرض لها المهندس المدني ؛ لأن اختيار التصميم يعتمد على عدة عوامل مثل تكوين الخرسانة ونوع التعزيز وظروف التمديد والظروف الجيوتقنية المحلية والأحمال العرضية والأحمال الزائدة المطبقة على الأنبوب ، إلخ..

تهدف هذه الدراسة إلى تأهيل وقياس السلوك في الانضغاط والتوتر عن طريق الانقسام والانحناء للعناصر الأنبوبية في الخرسانة المركبة من خلال تحليل السلوك العام ومراقبة نمط انكسار العينات. لذلك فإن عملنا البحثي مكرس بالكامل للتحليل التجريبي لأنابيب الخرسانة المركبة المختلفة باستخدام عدة متغيرات من أجل تسليط الضوء على تأثير نوع التعزيز على المقاومة النهائية في الانضغاط والانحناء بالإضافة إلى نمط الانكسار. تم اختبار العينات الأسطوانية والأنبوبية ذات الأبعاد القياسية 2 \* 16 \* 32 سم تحت ضغط وخضعت للاختبارات البرازيلية. تم اختبار العينات المنشورية ذات الأبعاد القياسية 4 \* 4 \* 16 سم 3 ، من المقاطع العرضية المستطيلة ، تحت حمل ثني مركّز من 3 نقاط ، ثم تم اختبار المكعبات ذات الأبعاد 4 \* 4 \* 4 سم 3 ، المسترجعة من اختبارات الانحناء تحت حمل ضغط أحادي المحور حتى الانكسار. تظهر مقارنة النتائج أن المقاومة والتشوه ونمط الانكسار تتأثر بشكل كبير.

**الكلمات الرئيسية:** عنصر أنبوبي في الخرسانة، مواد مركبة، والألياف، والتسليح، والاختبارات.

# Table des matières

Remerciements.	
Dédicaces.	
Résumé.	
Table des matières.	
Liste des figures.	
Liste des tableaux.	
Introduction générale .....	1

## CHAPITRE I : REVUE DE LA DOCUMENTATION BLIOGRAPHIQUE

I.1. Introduction.....	4
I.2 Les bétons de fibres .....	4
I.2.1 Les fibres .....	5
I.2.2 Les différents types de fibres.....	5
I.2.3 Les bétons de fibres métalliques .....	11
I.2.4 Les bétons De Déchets De Caoutchouc .....	13
I.3 Les conduites en béton.....	16
I.3.1 Introduction .....	16
I.3.2 Conduites en béton armé de tôle d'acier .....	17
I.3.3 Classification .....	19
I.4 Conclusion .....	19

## CHAPITRE II : MATERIAUX, CARACTERISATION ET VARIANTES D'ETUDE

II.1 Introduction.....	20
II.2 Caractérisation des matériaux .....	20
II.2.1 Analyse granulométrique par tamisage .....	20
II.3 Formulation du béton.....	29
II.4 Réalisation des éprouvettes.....	31
II.5 Les renforts.....	32
II.5.1 Grilles .....	32
II.5.2 Déchet pneumatiques 2.5/5.....	34
Conservation des éprouvettes .....	35
II.6. Modalités d'essai de résistance mécanique.....	35
II.6.1 Essai de rupture par compression.....	35



II.6.2 Essai de rupture par flexion .....	35
II.6.3. Nomenclature des éprouvettes.....	40

### **CHAPITRE III : PRESENTATION DES RESULTATS ET DISCUSSION**

III.1 Introduction.....	41
III.2 Essais mécaniques .....	41
III.2.1 Essai de compression simple du béton .....	41
III.2.2 Essai de fendage (essai brésilien).....	42
III.2.3 Essai de traction par flexion.....	42
III.3 Présentation des résultats et analyses .....	43
Conclusion Générale .....	63
Références Bibliographiques.....	66

# Liste des Figures

<b>FigureI.1.</b> Fibres de verre .....	6
<b>FigureI.2.</b> Fibres polypropylènes .....	7
<b>FigureI.3.</b> Fibres métalliques .....	8
<b>Figure I.4.</b> Les différentes formes de fibres métalliques.....	9
<b>Figure I.5.</b> Fibres en caoutchouc.....	10
<b>Figure1.6</b> Différentes sollicitations mécaniques.....	11
<b>FigureI.7.</b> Processus de recyclage de déchets de caoutchouc.....	11
<b>Figure I.8.</b> Etat de comportement ' $\sigma$ - $\epsilon$ '.....	13
<b>FigureI.9</b> Influence de G.C .sur l'affaissement.....	14
<b>FigureI.10.</b> Variation de la masse volumique du béton incorporant des G.C .....	15
<b>Figure I.11.</b> Défaut d'adhérence entre le caoutchouc et la matrice cimentaire vu au vidéo microscope,(grossissement x100) .....	16
<b>Figures I.12.</b> Conduites en béton .....	17
<b>Figure I.13.</b> Tuyaux en béton armé tôle d'acier.....	18
<b>Figure. I.14.</b> Exemples de Tuyaux d'assainissement .....	19
<b>FigureII.1.</b> Série des tamis .....	21
<b>FigureII.2</b> Gravier 8/15 de chelghoum laid -MILA.....	22
<b>FigureII.3.</b> Gravier 3/8 el hachimia .....	23
<b>Figure II.4</b> Sable djamaa d'EL OUED.....	24
<b>Figure II.5.</b> Courbe du granulat sable djamaa .....	26
<b>Figure1I.6</b> Sac de ciment.....	27
<b>FigureII.7.</b> L'eau potable .....	28
<b>Figure II.8 a)</b> -Dispositif spécial pour la confection des spécimens tubulaires.....	31
<b>Figure II.8 b)</b> spécimen tubulaire .....	32
<b>Figure II.8 c)</b> éprouvettes prismatiques.....	32
<b>FigureII.9</b> Grille métallique .....	33
<b>FigureII.10.</b> Fibres polypropylène(PP) .....	33
<b>Figure II.11.</b> Déchets pneumatiques .....	34

<b>Figures II.12. Eprouvtes démoulées .....</b>	<b>34</b>
<b>Figure II.13. Conservation des éprouvettes dans une chambre humide .....</b>	<b>35</b>
<b>Figure. II.14. . Dispositifs de rupture en compression des cubes.....</b>	<b>36</b>
<b>Figure. II.15. Dispositifs de rupture en compression des cylindriques .....</b>	<b>36</b>
<b>Figure. II.16. Dispositifs de rupture en flexion.....</b>	<b>37</b>
<b>Figure. II.17. Essai de traction par fendage .....</b>	<b>38</b>
<b>Figure. II.18.</b>	
a) -Essai de traction par flexion 4x4x16 cm, .....	38
b) essai de compression des éprouvettes 4x4x4 cm , .....	38
c) – essai de fendage sr des cylindres de forme tubulaire .....	39
<b>FigureIII.1. Essai de compression .....</b>	<b>41</b>
<b>FigureIII.2. Machine d’essai de traction par flexion .....</b>	<b>42</b>
<b>FigureIII.3 Histogramme de la contrainte de compression pour les cylindres .....</b>	<b>45</b>
<b>Figure III.4. Histogramme de la contrainte de compression (4*4*4) .....</b>	<b>45</b>
<b>Figure III.5 Epreuve et mode de rupture .....</b>	<b>46</b>
a)-avant l’écrasement,.....	46
b)- après écrasement par compression.....	46
<b>Figure III.6 Histogramme des contraintes de traction par flexion (4*4*16).....</b>	<b>47</b>
<b>Figure III.7 Epreuve et mode de rupture .....</b>	<b>47</b>
a)-avant écrasement, .....	47
b)- après écrasement par flexion .....	47
<b>Figure III.8 Histogramme de la contrainte de compression de l’essai de fendage.....</b>	<b>48</b>
<b>Figure III.9 . Epreuve et mode de rupture .....</b>	<b>48</b>
a)-avant l’écrasement.....	48
b)- après écrasement par compression par fendage.....	48
<b>Figure III.10. Histogramme de la contrainte de compression axiale .....</b>	<b>51</b>
<b>Figure III.11 Epreuve et mode de rupture .....</b>	<b>51</b>
a)-avant l’écrasement.....	51
b)- après écrasement par compression axiale .....	51
<b>Figures III.12. Histogramme des contraintes de traction par flexion (4*4*16).....</b>	<b>52</b>
<b>Figure III.13. Histogramme de la contrainte de compression de l’essai de fendage.....</b>	<b>52</b>

<b>Figure. III.14.</b> Eprouvette et mode de rupture .....	53
a)-avant écrasement .....	53
b)- après écrasement par fendage .....	53
<b>FigureIII.15.</b> Histogramme de la contrainte de compression axiale .....	54
<b>FigureIII.16.</b> Eprouvette et mode de rupture .....	54
a)-avant écrasement .....	54
b)- après écrasement par compression axiale .....	54
<b>FigureIII.17.</b> Histogramme de la contrainte de compression de l'essai de fendage .....	55
<b>Figure III.18.</b> Mode de rupture du spécimen BFM .....	55

# Liste des Tableaux

<b>Tableau I.1.</b> Propriétés des différents types de fibres .....	6
<b>Tableau I.2.</b> Caractéristiques de fibres de carbone .....	10
<b>Tableau I.3.</b> Composition moyenne d'un pneu VL en Europe.....	11
<b>Tableau II.1</b> Dimensions nominales des tamis .....	21
<b>Tableau II.2.</b> Caractéristiques physiques du gravier 8/15.....	22
<b>Tableau II.3.</b> Analyse granulométrique du gravier 8/15.....	23
<b>Tableau II.4.</b> Caractéristiques physiques de gravier 3/8 de « El'hachimia ».....	24
<b>Tableau II.5.</b> Analyse granulométrique du Gravier 3/8.....	24
<b>Tableau II.6</b> Résultats de l'analyse granulométrique du sable 0/3... ..	25
<b>Tableau II.7</b> Les résultats d'essai d'équivalence de sable .....	26
<b>Tableau II.8.</b> Caractéristiques physiques du ciment CPJ 42.5 Lafarge .....	27
<b>Tableau II.9.</b> Résistance à la compression et à la flexion .....	28
<b>Tableau II.10.</b> Composition chimique du ciment CPJ 42.5 Lafarge .....	28
<b>Tableau II.11</b> Composition minéralogique du ciment CPJ 42.5 Lafarge .....	28
<b>Tableau II.12.</b> Coefficient granulaire G.....	29
<b>Tableau II.13</b> Correction sur le dosage en eau en fonction de D .....	29
<b>Tableau II.14</b> Valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment .....	29
<b>Tableau II.15. Compacité du béton .....</b>	<b>30</b>
<b>Tableau II.16.</b> Les proportions de la formulation du béton pour 1 m <sup>3</sup> .....	30
<b>Tableau II.17.</b> Composition du béton pour un cylindre .....	31
<b>Tableau II.18.</b> Caractéristiques techniques des fibres métalliques.....	33
<b>Tableau II.1:</b> Références des cylindres étudiés.....	40
<b>Tableau III.1</b> Béton témoin (BT) .....	43
<b>Tableau III.2.</b> Béton avec grille en polymère (BPP) .....	43
<b>Tableau III.3.</b> Béton avec gomme pneumatique (BDP) .....	44
<b>Tableau III.4</b> Béton avec gomme pneumatique et grille en pp (BDP&BPP) .....	44
<b>Tableau III.5.</b> Béton témoin.....	49

<b>Tableau III.6</b> Béton avec gomme pneumatique (BDP) .....	49
<b>Tableau III.7.</b> Béton avec grille en polymère (BPP) .....	49
<b>Tableau III.8.</b> Béton avec gomme pneumatique+ grille en pp (BDP&BPP) .....	50
<b>Tableau III.9.</b> Béton avec grille FM et mélange FM + DP.....	50

---

---

# **INTRODUCTION GENERALE**

---

---

## INTRODUCTION GENERALE

Le béton permet de fabriquer rapidement et à moindre coût des conduites de gros diamètre. Grâce à son poids élevé et à la qualité des matériaux, la conduite en béton est très solide et durable par rapport aux conduites en plastiques ou en fer.

C'est pour cela qu'on l'emploie généralement dans l'acheminement des eaux claires ou usées en viabilisation et voirie, et hors réseaux d'adduction.

Pour supprimer le coût du renforcement des conduites en béton par une armature ou bi-armature de treillis soudé, des chercheurs proposent un renforcement à l'aide de fibres métalliques Dramix hautes performances. La solution consiste en une combinaison d'une double cage d'armatures et des fibres hautes performances galvanisées Dramix RC-80/60-CN. La triple protection des fibres métallisées galvanisées donne sa pérennité à la conduite.

Le béton renforcé par fibres métalliques est une alternative au béton renforcé traditionnel pour certains domaines d'application. Une fois mélangées au béton, les fibres d'acier procurent un renforcement discontinu, tri dimensionnellement orienté, isotrope. Les fibres d'acier pontent les fissures dès de très faibles ouvertures, transfèrent les contraintes et développent une résistance du béton après fissuration.

Différents types de fibres (matière, forme, taille, etc.) sont disponibles, qui varient quant aux effets dans le béton. C'est pourquoi le béton renforcé par fibres métalliques ne peut pas être simplifié en "béton avec fibres d'acier"

Les conduites en béton sont d'une grande utilité pour le transport des eaux de ruissellement ou usées. Pour des conduites en béton de diamètre supérieur à 500 mm, un renforcement avec une âme en tôle d'acier épaisse est généralement effectué.

Le comportement mécanique des conduites en béton est un phénomène complexe qui dépend de plusieurs facteurs. Le choix conceptuel dépend des charges appliquées sur la



conduite et des caractéristiques mécaniques intrinsèques des matériaux afin de prévoir les déformations radiales du diamètre de la conduite.

Il est admis que la fabrication en béton armé de la conduite en béton n'est pas généralement celui qu'on pratique dans la construction (treillage métallique noyé dans le béton), mais plutôt un mélange de paillettes d'acier incorporé dans le béton, ce qui optimise les performances et la longévité des conduites.

L'étude du comportement mécanique entreprise dans le cadre de ce travail de recherche permettra de contribuer à l'amélioration de la conception et à la fabrication des conduites en béton en associant d'autres matériaux pour une amélioration de la déformabilité, résistance et détérioration des conduites ; ces objectifs sont autant d'arguments qui expliquent la nécessité de développer de nouvelles techniques de renforcement afin d'améliorer le comportement mécanique et les programmes de maintenance et de renouvellement adaptés. C'est dans ce cadre que s'inscrit le thème de notre étude « Contribution à l'étude du comportement mécanique des éléments tubulaires en béton composite ».

### **Structuration du mémoire**

Le mémoire est constitué de trois chapitres liés directement à la thématique considérée et est terminé par une conclusion générale

- ✓ Après une **introduction générale**, où la problématique et les objectifs escomptés sont clairement posés, le **chapitre 1** est totalement consacré à une revue de la documentation qui a permis d'exposer les enjeux techniques liés au renforcement du matériau béton par des fibres et grilles, utilisé dans la réalisation des conduites. Le présent chapitre décrit la méthodologie de confection des conduites en béton, les matériaux de renforcement utilisés et le comportement mécanique. Une attention particulière est accordée aux fibres et aux conduites.
- ✓ Le **second chapitre** est consacré à la caractérisation des matériaux utilisés et à la présentation des différentes variantes de conduites ou éléments tubulaires réalisés et testés sous une charge de compression uni axiale, et de traction par flexion. Des essais de fendage sont réalisés également pour estimer les résistances en traction pour chaque

variante de renforcement. Le programme expérimental et les idées sous-jacentes sont présentés en premier. Les matériaux choisis et les variantes de conduites réalisées et testées sont décrits dans la section suivante. Enfin, les équipements utilisés lors de l'expérimentation sont présentés.

- ✓ Le **troisième** chapitre est consacré à la **présentation et discussion** des différents résultats de l'analyse expérimentale des différents spécimens d'étude.

L'influence du type de renfort utilisé est mise en évidence ainsi que les modes de rupture sont analysés en tenant compte des résultats obtenus, en termes de résistances et des évolutions des contraintes. L'analyse des résultats permettra de montrer clairement les effets de l'ajout des renforts métalliques et de la gomme pneumatique (déchets des pneus) sur les résistances, le comportement global et le mode de rupture.

Une conclusion générale et des perspectives de développement terminent le mémoire.

---

---

**CHAPITRE I : REVUE DE LA  
DOCUMENTATION BLIOGRAPHIQUE**

---

---

## **REVUE DE LA DOCUMENTATION BIBLIOGRAPHIQUE**

### **I.1.1 Introduction**

La conduite en béton fait partie de la famille des bétons préfabriqués. Elle est la plus souvent utilisée dans les systèmes d'égouttage. L'égouttage permet d'évacuer toutes les eaux qui transitent par les habitations : eaux de pluie, les eaux de lavage, les eaux de drainage et les eaux usées... C'est un réseau de canalisations enterrées sous la maison qui constitue le gros œuvre sanitaire.

Un tuyau en béton est un tuyau de gros diamètre fabriqué en BA permettant l'écoulement d'un fluide. Il est constitué d'un ou de plusieurs éléments en ciment, béton, armature en fer, céramique ou fonte.

Ce chapitre est totalement dédié à la présentation d'une revue de la documentation afin d'exposer les enjeux techniques liés au renforcement du matériau béton par des fibres qui sera utilisé dans la réalisation des conduites. Ainsi, la méthodologie de confection des conduites en béton, les matériaux de renforcement utilisés et le comportement mécanique seront décrites d'une manière succincte. Une attention particulière est accordée aux fibres et composites, matériaux susceptibles d'être utilisés pour le renforcement.

### **I.2 Les bétons de fibres**

Le béton de fibre est un béton conventionnel auquel on a ajouté des fibres durant le malaxage.. Les microfibrilles sont utilisées pour réduire la fissuration et améliorer la durabilité. Le béton de fibre présente de bonnes performances mécaniques surtout en traction par flexion. La présence des fibres permet de s'opposer au développement et propagation rapide des fissures. Les applications des bétons de fibres sont diverses : chaussées bétonnées des routes et de piste d'atterrissage des aérodromes, éléments préfabriqués, renforcement des ouvrages dégradés ; etc. [1].

Cependant, l'emploi des bétons de fibres nécessite une connaissance rigoureuse et approfondie des paramètres qui gouverne le comportement mécanique, tels que, la longueur, le pourcentage des fibres (fraction volumique /massique), l'élancement, la nature ; etc.[2].

En général, il a été montré par plusieurs chercheurs que l'incorporation des fibres dans la matrice cimentaire permet de contrôler le mécanisme de la fissuration et que la rupture en traction du béton de fibres d'acier, devient ductile au lieu de fragile.

Les propriétés du béton de fibres dépendent de la qualité de la matrice cimentaire et des

Caractéristiques de fibres. La matrice considérée est identique à la matrice d'un béton courant, Enfin, actuellement diverses fibres de formes et de dimensions différentes liées aux technologies d'élaboration sont proposées sur le marché.

### **I.2.1 Les fibres**

Les fibres sont définies comme des éléments discontinus, de nature variable, des formes sensiblement cylindriques, d'un diamètre et longueur variable. Elles sont réparties dans la matrice soit d'une façon aléatoire ou orientation préférentielle.

Il existe un grand nombre de fibres qui se différencient par leur origine (naturelles, artificielles et synthétiques), leur forme (droite, ondulée, aiguille, ...etc.), leur dimension (macro ou micro -fibre) et aussi par leurs propriétés mécaniques. Cependant, pour faire un choix de fibres à utiliser pour des applications, il est nécessaire de tenir compte de la compatibilité de la fibre avec la matrice, et le mode de performance du composite[4, 1].

### **I.2.2 Les différents types de fibres**

Les différentes fibres actuellement disponibles peuvent être classées selon leur origine en :

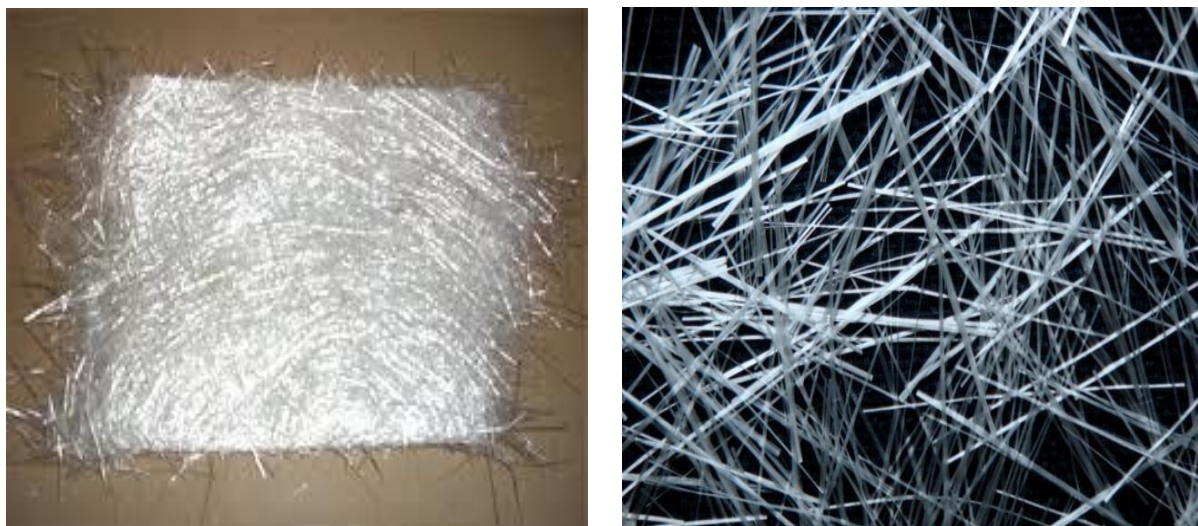
- ✓ Fibres naturelles minérales et végétales: amiante, cellulose;
- ✓ Fibres synthétiques d'origine minérale: verre, carbone, fibres métalliques;
- ✓ Fibres synthétiques organique: polyamides, polypropylène, acrylique, kevlar,aramide.

**Tableau I.1.** Propriétés des différents types de fibres[5].

Type de fibre	densité	Diamètre	Résistance à traction (MPa)	Module d'élasticité (MPa)	Déformation à la rupture (%)
Métallique	7,80	100-1000	500-2600	210 000	0,5-3,5
Verre					
E	2,54	8-15	2000-4000	72 000	3,0-4,8
RA	2,70	12-20	1500-3700	80 000	2,5-3,6
Synthétique					
Acrylique	1,18	5-17	200-1000	17 000-19 000	28-50
Aramide	1,44	10-12	2000-3100	62 000-120 000	2-3,5
Carbone	1,90	8-0	1800-2600	230 000-380 000	0 ;5-1,5
Nylon	1,14	23	1000	5 200	20
Polyester	1,38	10-80	280-1200	10 000-18 000	10-50
Polyéthylène	0,96	25-1000	80-600	5 000	12-100
Polypropylène	0,90	20-200	450-700	3 500-5 200	6-15
Naturelle					
Cellulose	1,50	25-125	350-2000	10 000-40 000	
Sisal			280-600	13 000-25 000	3,5
Noix de coco	1,12-1,15	100-400	120-200	19 000-25 000	10-25
Bambou	1,50	40-400	350-500	33 000-40 000	
Jule	1,02-1,04	100-200	250-350	25 000-32 000	1,5-1,9
Herbe d'éléphant		425	180	4 900	3,6

### I.2.2.1 Les fibres de verre

Les fibres de verre sont, grâce à leurs qualités mécaniques et leur rigidité, des renforts très efficaces, mais elles sont sensibles aux alcalis libérés par l'hydratation du ciment(protectionouimprégnationnécessaire).Ellessecaractérisentparlarésistanceàlatractionde 3000 Mpa et une résistance au feu (jusqu'à 800 C)



**FigureI.1.** Fibres de verre. [6]

Sur chantier les mortiers de fibres de verre sont très utilisés pour les enduits extérieurs

monocouches ainsi que pour certains procédés d'isolation thermique. En préfabrication, les domaines d'application sont très vastes : les panneaux de façade minces de 10 à 15 mm d'épaisseur ou panneaux sandwich à isolant incorporé, éléments de bardage et éléments décoratifs, mobilier urbain, éléments divers (coffrets, coffrages, habillages), produit d'assainissements (tuyaux, caniveaux).

### **I.2.2.2 Les fibres de polypropylène**

Les polypropylènes sont des fibres fréquemment utilisées dans le bâtiment, en particulier dans la réalisation des panneaux décoratifs, revêtement de façades, de tuyaux et pieux [7].

En général ; leurs caractéristiques mécaniques ont des valeurs faibles comparativement à celles des fibres métalliques, mais leur insensibilité chimique, leur souplesse, permettent une incorporation très facile dans le matériau béton, la répartition des fibres est facile et ne nécessite pas de précaution particulière lors de malaxage [8] ; alors que leur allongement à la rupture (15 à 20%), favorise la « ductilité » du béton.



**FigureI.2.** Fibres polypropylènes. [9]

L'inconvénient majeur des fibres de polypropylène est leur faible résistance au feu: leur température de fusion est d'environ 160 °C mais leur fusion n'affecte pas la résistance du béton.

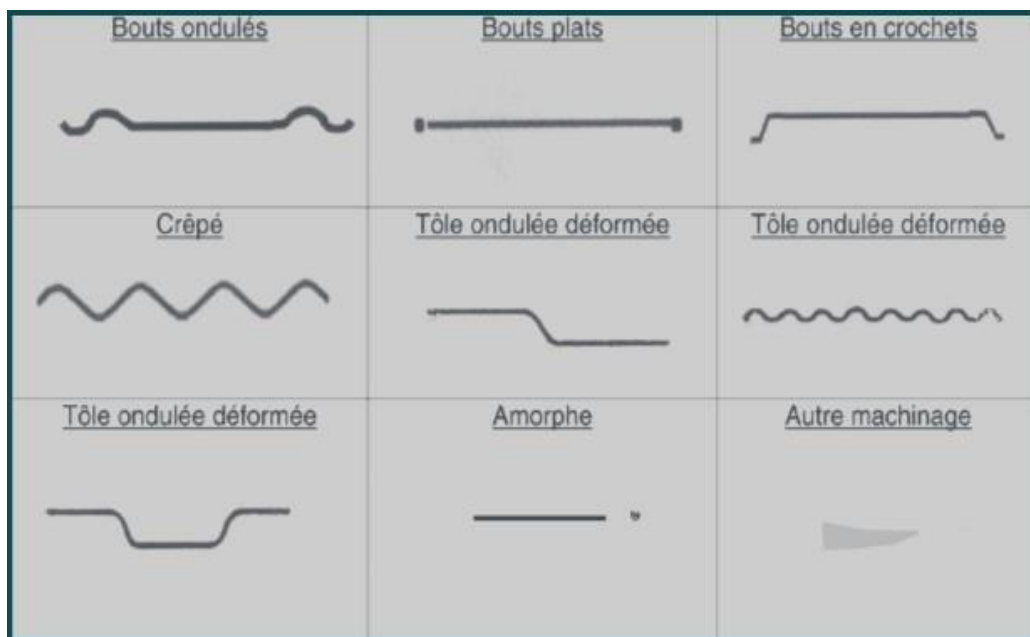
Les fibres de polypropylène améliorent la maniabilité du béton et sa cohésion. Ces propriétés sont intéressantes pour les pièces à démoulage immédiat (bordures, tuyaux).

La résistance à la fissuration due au « premier retrait » et la résistance aux chocs constituent les avantages les plus importantes des bétons de fibres de polypropylène. Les dosages couramment pratiqués sont de l'ordre de 0.05 à 0.2 en volume (0.5 à 2 Kg de fibres par m<sup>3</sup> de béton).

### **I.2.2.3 Les fibres métalliques**

La particularité des fibres métalliques réside dans leur très bonne compatibilité avec le béton elles sont de types et de formes variées. Les fibres métalliques sont caractérisées par un module d'élasticité élevé, par conséquent, elles confèrent au béton une meilleure résistance à la traction, au choc et améliorent sa ductilité. Leurs formes et leurs dimensions améliorent leur ancrage et leur adhérence (fibres, copeaux, fibres tréfilées, ondulées, déformées aux extrémités, en tête de clou).

Du fait de leurs propriétés, l'utilisation des fibres connaît un essor important et trouve un vaste domaine d'application (réduction des risques de fissuration, espacer les joints de retrait, augmenter la résistance aux chocs)



**Figure I.3. Fibres métalliques.[10]**

L'amélioration de la résistance en traction permet de diminuer les dimensions des pièces: dallages, parkings, pistes, bétons projetés en galeries, tunnels, talus, éléments préfabriqués divers : tuyaux, caniveaux, garages, pieux de fondation. Les fibres métalliques, notamment d'acier, restent le plus important de type des fibres, des nombreuses recherches ont été faites pour développer leur emploi dans le béton.



La recherche de l'adhérence au béton a donné naissance à une grande variété de fibres susceptibles, par leur forme ou leur état de surface, de mieux s'ancrer dans le béton :

- fils étirés et coupés, ondulés crantés, torsadés, avec crochets...
- fibres usinées à surface rugueuse ;
- fibres de fonderie.



**Figure I.4.** Les différentes formes de fibres métalliques. [11]

#### **I.2.2.4 Les fibres de carbone**

On trouve une grande variété de fibres de carbone, en général, elles sont élaborées à partir d'un polymère de base appelé précurseur (fibres orientées et réticulées).

On distingue les fibres de carbone acryliques et précurseur brai (Résidu de raffinerie issu du pétrole ou de la houille) [7]. Leurs fragilités et leurs coûts élevés constituent les deux inconvénients majeurs.

L'incorporation de fibres de carbone dans une matrice cimentaire confère au béton composite d'excellentes propriétés physico-mécaniques [8].

Les caractéristiques des fibres de carbone sont résumées dans le tableau (I.2).

**Tableau I.2.** Caractéristiques de fibres de carbone [7]

Caractéristiques	Carbone HR (haute résistance)	Carbone HM (haut module d'Young)	Carbone THM (très haut module d'Young)	Carbone HM(brai) (haut module à base de brai)
Masse volumique (Kg/m <sup>3</sup> )	1750	1810	1950	2000
Diamètre en (µm)	5 à 7	5 à 7	5 à 7	12
Module de Young en (GPA)	230	400	600	280
Contrainte à la rupture en (MPa)	3000-4000	2800	2000	2000-2400

### I.2.2.5 Déchets de caoutchouc issus des pneumatiques

Les déchets de pneus usagés provenant de l'industrie automobiles, ne cessent d'augmenter chaque année. L'utilisation des méthodes propres d'élimination des déchets, afin de protéger l'environnement vis-à-vis leurs effets nocifs est une question d'actualité [12],[ 13].

La valorisation à travers l'utilisation de granulats en caoutchouc issus de broyage de pneus usagés, en substitution volumique des granulats naturels dans la confection du béton constitue une alternative, à faible coût économique et sur tout écologique, aux granulats minéraux conventionnels épuisables [14][15].

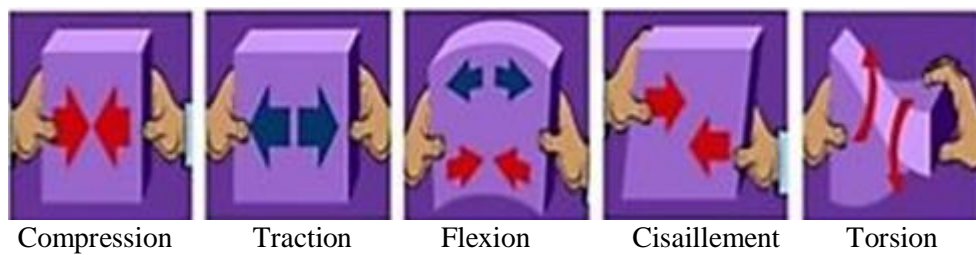
Les propriétés de caoutchouc sont : bonne étanchéité, bonne absorption des chocs..., son incorporation dans les matériaux cimentaires, peut améliorer leurs propriétés physiques (mauvaise étanchéité, mauvaise isolation acoustique et thermique,...)[16], [17].



**Figure I.5.** Fibres en caoutchouc

**Tableau I.3.** Composition moyenne d'un pneu VL en Europe[19].

Matériaux/éléments	Pourcentage massique
Caoutchouc	48
Noir de carbone	22
Acier	15
Textile	5
Oxyde de zinc	1
Soufre	1
Additif	8



**Figure1.6** Différentes sollicitations mécaniques [20].



**FigureI.7.** Processus de recyclage de déchets de caoutchouc [22].

### I.2.3 Les bétons de fibres métalliques

‘Le béton de fibres’ est un béton composé d’une matrice cimentaire renforcée par des

fibres. les fibres sont incorporées en petite quantité d'une manière aléatoire dans le malaxeur lors du gâchage des constituants du béton ou peuvent être disposées selon une orientation privilégiée en utilisant des patches de fibres. Le mélange des fibres métalliques avec le béton doit être particulièrement soigné, il faut éviter la formation des pelotes à partir de l'agglomération de certaines fibres.

Les avantages des bétons de fibres sont la facilité de mise en œuvre et leurs performances mécaniques comparativement au béton ordinaire. L'emploi de super plastifiant est en particulier recommandé pour compenser la diminution d'ouvrabilité provoquée par l'incorporation de fibres. En général, Les dosages en fibres sont de l'ordre de 0.3 à 2% en volume, soit 25 à 160 Kg/m<sup>3</sup>. L'utilisation des bétons de fibres métalliques a été réalisée au début des années 60. Après les travaux de Romualdi sur l'arrêt de la propagation des fissures dans une matrice fragile par des fibres réparties, beaucoup de chercheurs par la suite se sont intéressés au BFM, en particulier au fonctionnement des fibres et leur interaction avec la matrice cimentaire. [21]

### **1.2.3.1 Propriétés mécaniques des bétons de fibres métalliques**

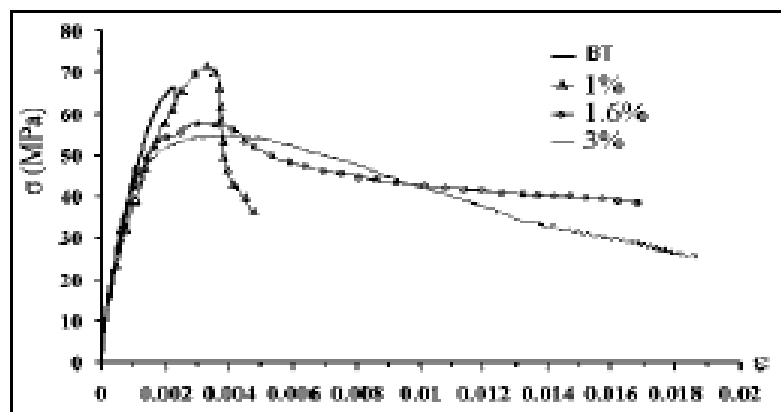
Le comportement du béton de fibres métalliques en compression, a été étudié par plusieurs chercheurs. Les avis diffèrent ; il y'a ceux qui révèlent que l'ajout des fibres au sein d'une matrice améliore la résistance à la compression d'autres, au contraire, ont constaté qu'il n'y a pas d'amélioration à titre indicatif on peut citer les travaux de qui ont conclu que l'ajout des fibres diminue la résistance en compression, alors que d'autres chercheurs ont montré dans leurs majorités une légère augmentation de l'effort maximum de compression en fonction de l'augmentation de la teneur en fibres.

S'agissant du comportement en traction par flexion, L'ajout des fibres métalliques, permet d'augmenter cette résistance en diminuant la propagation et le développement rapide des fissures (c couture de la macro fissuration).

D'une manière générale, l'ajout des fibres métalliques dans la matrice du béton, s'oppose aux contraintes de traction ainsi qu'à la propagation rapide des fissures et améliore ainsi la ductilité du béton. En effet, plusieurs études ont montré l'apport positif des fibres métalliques dans l'amélioration des caractéristiques mécaniques des bétons, à titre indicatif, on peut citer les travaux d'AIT TAHAR K, qui ont montré que la résistance à la traction par flexion augmente avec le pourcentage des

fibres incorporées dans la matrice du béton. Qui témoignent d'une amélioration très significative de la portance du matériau dans la phase plastique, après la première fissuration.

Le comportement des bétons de fibres sous sollicitations impulsionnelles (chocs), est intéressant. D'après plusieurs études réalisées par NAAMAN (1984), REINHARDT et AL (1986), RAZANI et AL (1988), BAILLY (1990), BAILLY et KHODRI (1991), MINDESS et YAN (1993) [23]; on constate une nette augmentation de l'énergie dissipée et de l'effort maximal atteint sur une éprouvette ou sur un élément de structure quant' on utilise un béton fibré au lieu d'un béton non fibré



**Figure I.8.** Etat de comportement 'σ- ε' en compression en fonction du pourcentage de fibres.[18]

## **I.2.4 Les bétons De Déchets De Caoutchouc**

### **I.2.4.1 Définition**

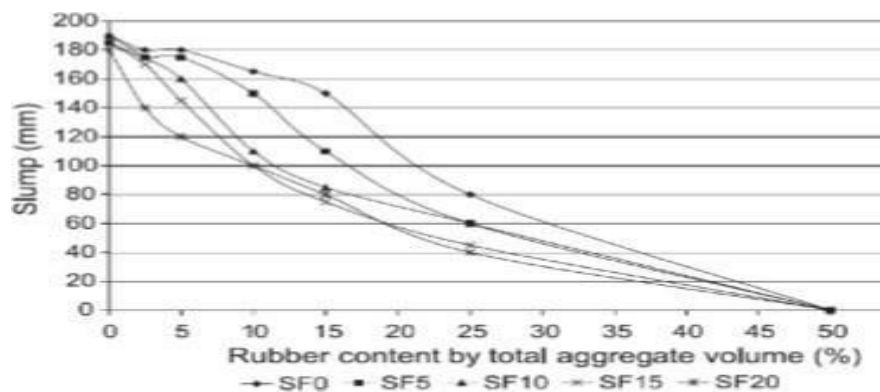
Le béton de déchets de caoutchouc est obtenu incorporant dans la masse de béton des déchets plastiques.

### **I.2.4.2 Propriété du béton de déchets de caoutchouc**

#### **I.2.4.2.1 Propriétés à l'état frais**

Güneyisi et al. [23] ont étudié des propriétés mécaniques des bétons de caoutchouc où 0% à 20% de la masse du ciment est remplacée par la masse de fumée de silice (SF). Les résultats obtenus montrent que l'affaissement du béton diminue avec l'augmentation de caoutchouc. Pour le dosage de 50% de G.C., l'affaissement est presque nul. La **Figure I. 17** illustre l'évolution de l'affaissement en fonction du dosage en G.C. et du dosage X% de la fumée de silice SF

L'étude réalisée par Khaloo et al. [24] a indiqué une conclusion un peu différente par rapport à d'autres auteurs. En effet, d'après cette étude le béton incorporant des G.C. a une maniabilité acceptable en termes de facilité de manipulation, de placement et de finition **Figure 9**. Néanmoins, leurs résultats montrent que la procédure ordinaire pour évaluer l'affaissement n'est pas appropriée à ce composite cimentaire. Ils ont donc suggéré qu'il Fallait chercher d'autres méthodes pour mesurer correctement l'affaissement du béton incorporant des granulats sen caoutchouc.



**Figure I.9** Influence de G.C .sur l'affaissement [23].

La masse volumique Le béton incorporant des G.C. en substitution des granulats naturels est plus faible que celle du béton ordinaire. Si on se réfère à la classification des bétons légers établie par l'ACI Comité 213 [25], avec l'incorporation de G.C. on peut envisager la production de bétons légers de structure.

Comme le montre la **Figure I.18**, Güneyisi et al. [23] ont observé une chute de 25% de la masse volumique avec un taux de substitution de 50% de G.C. par rapport au béton de référence, **alors que** Kaloush et al. [25] ont indiqué une diminution de la masse volumique d'environ de 102 kg/m<sup>3</sup> pour chaque 22,7 kg de G.C. ajouté,

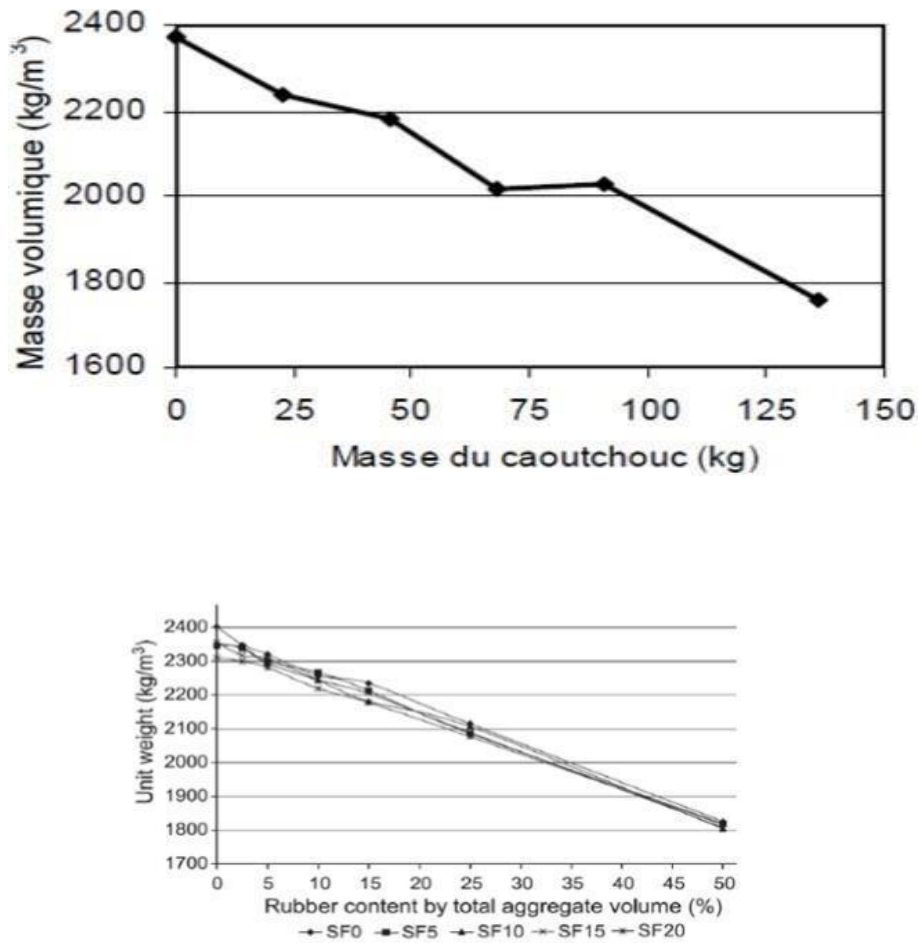


Figure I.10. Variation de la masse volumique du béton incorporant des G.C [28],[26].

#### I.2.4.2.2 Propriétés à L'état Durci

La caractéristique principale des des matériaux cimentaires durcis est la résistance en compression à un âge donné. L'étude de cette résistance en compression peut permettre d'avoir une idée globale sur la qualité du béton. On verra que en général, la résistance en compression du béton dépend de plusieurs paramètres tels que: le type et dosage des matériaux utilisés, la nature des granulats, la porosité, la condition de réalisation et de cure, etc. [27].

Les différents travaux réalisés par différents chercheurs sur les matériaux cimentaires contenant des grains de caoutchouc ont montré que la substitution de granulats naturels par

des G.C. entraînent inévitablement une chute de la résistance en compression. Des défauts d'adhérence entre la matrice cimentaire et les grains de caoutchouc.



**Figure I.11.** Défaut d'adhérence entre le caoutchouc et la matrice cimentaire vu au vidéo microscope,(grossissement x100) [27].

### **I.3 Les conduites en béton**

#### **I.3.1 Introduction**

Utilisée principalement dans l'écoulement des eaux pluviales, la VRD (voirie et réseaux divers) et l'assainissement, la **conduite en béton** est solide et économique. Les conduites en béton ne sont pas généralement employées pour l'écoulement et la circulation des fluides corrosifs, agressifs ou polluants. Les propriétés d'étanchéité ne sont pas suffisantes.

Le béton permet de fabriquer rapidement et à moindre coût des tuyaux de gros diamètre qui, grâce à leur poids élevé, resteront en place une fois posés sans requérir d'enfouissement profond, de fouilles aménagées et de recouvrements très protecteurs.

Les utilisations de la buse en béton sont nombreuses, que ce soit :

- à l'horizontale dans les ouvrages de canalisation, de franchissement et d'écoulement des eaux pluviales, fossés et cours d'eau,
- à la verticale pour les regards de fosse ou de réseau, chemisage d'excavation, de forage et de puits...

La conduite en béton la plus courante est de forme cylindrique, mais il existe également des buses en béton de section ovale et même polygonale. elle est généralement confectionnée



de façon à pouvoir être raccordée à chacune de ses extrémités à une autre conduite du même type et du même diamètre sans raccord spécifique à insérer entre les deux. Pour ce faire, chaque conduite béton est usinée avec une extrémité mâle et une extrémité femelle. L'extrémité femelle est munie d'un joint polymère ou fibre, afin d'assurer l'étanchéité de la jonction.



**Figures I.12. Conduites en béton[29]**

### **I.3.2 Conduites en béton armé de tôle d'acier**

Les conduites en béton armé de tôle d'acier sont constituées d'une paroi en béton contenant une tôle d'acier cylindrique, qui assure l'étanchéité et la résistance, et une armature transversale rigidifiée avec une armature longitudinale.

Ces conduites, de même que la conduite en béton précontraint, peuvent être fabriquées avec deux types de joints : soudure (rigide) et élastique (flexible avec embout métallique et anneau élastomère en caoutchouc). La longueur utile des conduites varie entre 6 et 7 m, et la gamme des diamètres fabriqués est comprise entre 1000 et 2500 mm



**Figure I.13.** Tuyaux en béton armé tôle d'acier [31]

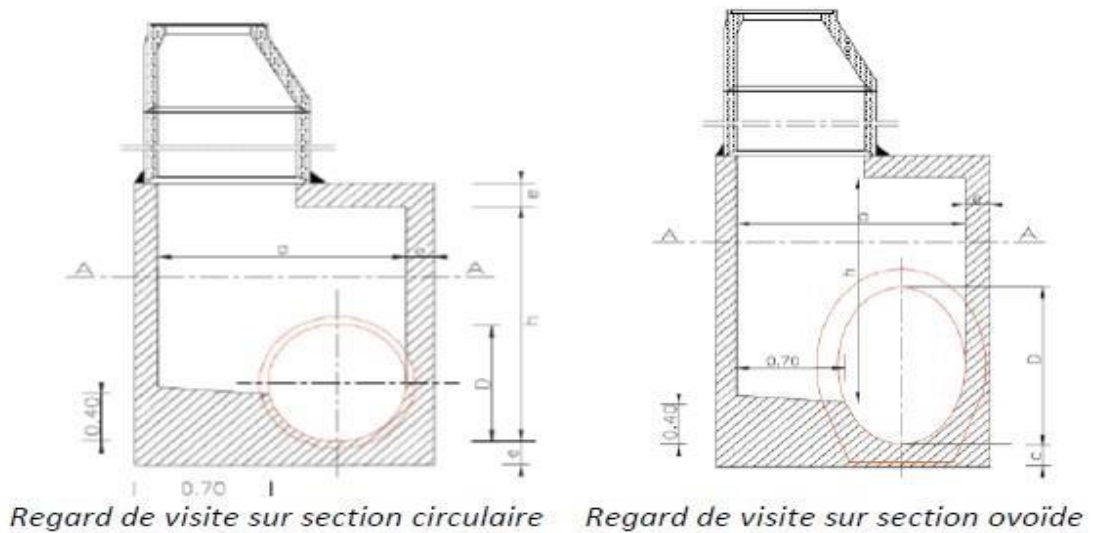
**Avantages des tuyaux en béton armé tôle d'acier:**

- Fabrication en série à la demande du client.
- Haute résistance aux effets des impacts.
- Grande durabilité.
- Aucune conservation ni maintenance n'est nécessaire.
- Diminution de la perte de charge au cours du temps.
- Ils ne sont pas polluants.
- Protection par passivation permanente des parties métalliques contre la corrosion.
- Ils ne modifient pas les caractéristiques organoleptiques de l'eau.
- Ces tuyaux ne sont pas sensibles aux effets de fatigue causés par les variations de pression.
- Le tuyau en béton armé tôle d'acier n'est pas affectée par la corrosion causée par les courants induits (vagabonds).
- Le comportement des tuyaux en béton armé tôle d'acier contre des efforts d'ovalisation est supérieur aux autres matériaux. En effet, ils ont une grande rigidité transversale.
- Ils satisfont à toutes les exigences contenues dans les normes UNE-EN 639, 641 et 642. Instruction de l'Institut Eduardo Torroja pour les tuyaux en béton armé ou précontraint.

### I.3.3 Classification

#### I.3.3.1 Classification selon l'utilisation

On distingue deux grandes classes de tuyaux : - les tuyaux forcés destinés à transporter un fluide sous pression, généralement l'eau, soit l'eau potable, soit l'eau courante; - les tuyaux à écoulement libre servant à l'écoulement des eaux par gravité ce sont les tuyaux d'assainissement. Regard de visite sur section circulaire Regard de visite sur section ovoïde



**Figure. I.14.** Exemples de Tuyaux d'assainissement.[32]

### I.4 Conclusion :

A travers cette recherche bibliographique nous avons constaté que même s'il y a beaucoup d'études sur le comportement mécanique des conduites en béton, cependant, il est admis que la fabrication en béton armé de la conduite en béton n'est pas généralement celui qu'on pratique dans la construction (treillage métallique noyé dans le béton), mais plutôt un mélange de paillettes d'acier incorporé dans le béton, ce qui optimise les performances et la longévité des conduites. Ce constat malheureusement n'est aucunement justifié par des études ou des travaux soutenus par des expérimentations au laboratoire et in situ. Cette remarque nous a servis comme un point de départ pour les essais, en utilisant plusieurs procédés de renforcement, à savoir des grilles de nature différente et des fibres et gomme pneumatique.

---

---

**CHAPITRE II :**  
**MATERIAUX, CARACTERISATION ET**  
**VARIANTES D'ETUDE**

---

---

## **MATERIAUX, CARACTERISATION ET VARIANTES D'ETUDE**

### **II.1 Introduction**

Ce chapitre est dédié totalement à la caractérisation expérimentale effectuée au niveau de laboratoire de génie civil de l'université de Bouira, des différents matériaux utilisés pour la réalisation de nos spécimens d'essais (cylindres de forme tubulaire en béton renforcé par différentes grilles de nature différente, de fibres et gomme pneumatique). Le but consiste à mettre en évidence l'influence du type de renforcement sur le comportement mécanique, particulièrement en compression. A cet effet, plusieurs variantes de cylindres de forme tubulaire en béton renforcé de différentes manières ont été confectionnées et testées.

Dans ce chapitre, les différentes étapes de réalisation (caractérisation des matériaux, la formulation du béton, réalisation et conservation des éprouvettes, les variantes considérées et mode d'essais mécaniques sont présentées.

### **II.2 Caractérisation des matériaux :**

#### **II.2.1 Analyse granulométrique par tamisage :**

Pour déterminer les proportions des constituants du béton, on doit réaliser en premier lieu une analyse granulométrique puis on choisira une méthode de composition de béton parmi celles proposées par des spécialistes tels que Bolomey, Faury, Vallette, Dreux-Gorisse, Joisel ...etc.

L'essai est basé sur la détermination des tamisât et refus, qui renseigne sur les proportions des différents grains constituants l'échantillon.

Une série de tamis emboîtés les uns dans les autres, avec des dimensions des ouvertures décroissantes de haut vers le bas sont utilisés.

Les gravillons 3/8, 8/15 et le sable 0/3 ont été tamisés en utilisant des dimensions normalisées des tamis conformément à la norme (NF P 18-560) [23 ]:

**Tableau II. 1:** Dimensions nominales des tamis.

Module	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Tamis (mm)	0.063	0.08	0.10	0.125	0.160	0.200	0.250	0.315	0.400	0.500	0.630
Module	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Tamis (mm)	0.800	1.00	1.25	1.60	2.00	2.50	3.15	4.00	5.00	6.300	8.00
Module	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	/
Tamis (mm)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	/



**Figure II. 1:** Série des tamis.

### **Provenance de matériaux**

Les matériaux de base utilisés sont de provenance suivante:

- Sable 0/3 :de Djamaa(wilayad'Oued).;
- Gravier 3/8d'EL HACHIMIA,
- Gravier8/15 concassés: Carrière chelghom laid;

**Caractéristiques physico-mécaniques des constituants**

Les masses des constituants considérées pour la préparation des échantillons sont données comme suit :

$$M_{\text{Gravier } 8/15} = 3000 \text{ g}$$

$$M_{\text{Gravier } 3/8} = 1768.5 \text{ g}$$

$$M_{\text{Sable } 0/3} = 2270 \text{ g}$$

**a)- gravier 8/15**

Les caractéristiques physiques du gravier 8/15 sont présentés dans les tableaux II.2 et les résultats de l'analyse granulométrique dans le tableau II.3 suivants :



**Figure II.2.** Gravier 8/15 de chelghoum laid -MILA-

**Tableau II.2.** Caractéristiques physiques du gravier 8/15.

Caractéristiques	Résultats	Unités
Masse volumique absolue	2.7	g/cm <sup>3</sup>
Teneur en eau	0.10	(%)
Los Angelos	23	(%)
Micro-deval	16	(%)
Absorption	0.14	(%)
Porosité	0.37	(%)

## **CHAPITRE II..... Matériaux , caractérisation et variantes d'étude**

**Tableau II.3.**Analyse granulométrique du gravier 8/15 selon la Norme (NFEN933-1).

<b>Echantillon : GRAVIER 8/15</b>			
Masse sèche totale: $M_1=2997g$		Masse sèche des fines retirées par lavage $M_1-M_2=25g$	
Masse sèche après lavage: $M_2=2972g$			
Tamis ouverture(mm)	Masse des tamis cumulés $R_i(g)$	Pourcentage refus cumulés(%)	Pourcentage tamisât cumulés(%)
14	00	0.0	100.0
12.5	410	13.7	86.3
10	1316	43.9	56.1
8	2360	78.7	21.3
6.3	2864	95.6	4.4
5	2952	98.5	1.5
4	2964	98.9	1.1
3.15	2968	99.0	1.0
0.063	2972	99.2	0.8
Fond de tamis	2972	99.2	0.8

### **b)-Gravier 3/8**

Les caractéristiques physiques du gravier 3/8 sont présentés dans les tableaux II.4 et les résultats de l'analyse granulométrique dans le tableau II.5 suivants :



**Figure II.3.** Gravier 3/8 el hachimia



**Tableau II.4.** Caractéristiques physiques de gravier 3/8 de « El'hachimia »

Masse volumique apparente	1.49 t/m <sup>3</sup>
Masse volumique absolue	2.60 t/m <sup>3</sup>
Module de fines	4.56%
Propreté superficielle	0.87%

**Tableau II.5.** Analyse granulométrique du Gravier 3/8 de « El'hachimia » concassé

Ouverture des tamis (mm)	Masse de refus(g)	Masse de refus cumulés(g)	% cumulés De tamisât
10	0	0	100
8	40	40	93.06
6,3	445	485	49.69
5	1795	2240	25
2,5	845	2640	6.87
1,25	2065	2910	0.38
0,63	905	2999.96	0

**c)- Sable**

Le sable utilisé (0/3mm) est de la région de Djamaa (wilaya d'Oued). La densité apparente = 1.590 kg/m<sup>3</sup> et la densité spécifique = 2620 kg/m<sup>3</sup>, le module de finesse = 2,30 (sable convient pour une maniabilité satisfaisante et présente un risque limité à la ségrégation), son équivalent de sable (visible) = 91.00 (sable argileux de propreté acceptable pour les bétons de qualité courante).

**Figure II.4.** Sable djamaa d'EL OUED

**Tableau II.6.** Résultats de l'analyse granulométrique du sable 0/3.

Tamis(mm)	Refus cumulé	Refus cumulé(%)	Tamisât (%)	Mf
FOND	0	0	100	<b>2.30</b>
0.063	1.40	1.40	96.95	
0,125	4.67	6.07	93.58	
0.315	33.29	39.36	87.35	
0.630	77.09	116.45	79.64	
1.60	95.44	211.89	69.04	
2	98.42	310.71	56.29	
2.5	99.45	410.16	40.54	
3.15	99.8	509.96	27.64	
4	100	609.96	10	
5	100	709.96	0	

Pour la détermination de la finesse des sables, on calcule le moule de finesse (MF). Celui-ci correspond à 1/100 de la somme des refus cumulés des séries des tamis suivants :

$$MF = \frac{99.45 + 95.44 + 33.29 + 1.40}{100} = 2.30$$

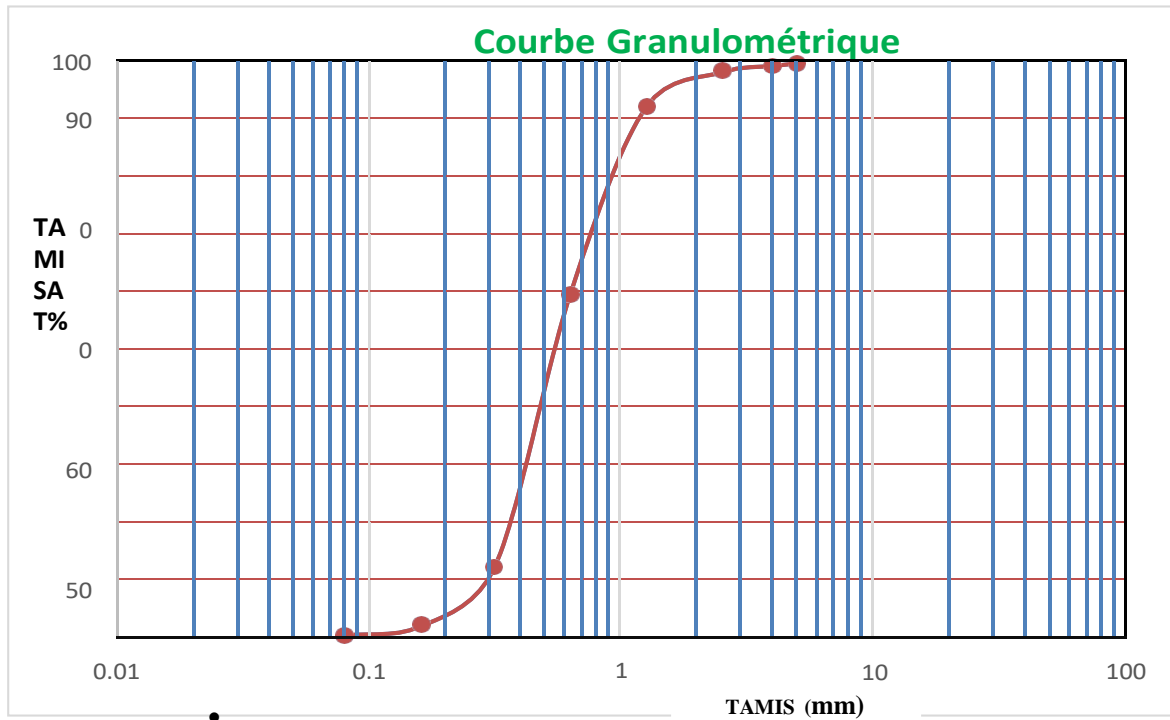
Lorsque **MF** est comprise entre :

- 1.8 et 2.2 : le sable est à majorité de grains fins
- 2.2 et 2.8 : on est en présence d'un sable préférentiel
- 2.8 et 3.3 : le sable est un peu grossier

**En conclusion :**

**2.2 < MF < 2.8 : Donc notre sable est un sable moyen.**

Il convient bien pour une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limitée. Il peut être utilisé pour la réalisation des bétons de bonne qualité.



**Figure II.5.** Courbe du granulat sable djamaa

**Equivalent de sable**

L'essai d'équivalent de sable à 10% de fines est réalisé selon la norme (NF P 18-597) [24] permet de mesurer la propreté d'un sable sur la fraction passant au tamis de 2 mm, et dont la proportion des éléments fins passant au tamis de 0.08 mm a été ramenée à 10 %. Puis on détermine le 'ES' par une valeur numérique exprimant le rapport volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui floclent par la formule suivante :

$$Es = 100 * h1/h2$$

Les résultats obtenus pour l'essai d'équivalent de sable sont mentionnés sur le tableau suivant:

**Tableau II.7.** Les résultats d'essai d'équivalente de sable.

Equivalent de sable		Limite de valeur	Observation
ESV	62.5	65% < ESV < 75%	Sable légèrement argileux
ESP	57.27	60 ≤ ESP < 70%	

D'après les résultats du **tableau15** les valeurs de l'équivalent de sable visuel et avec

## **CHAPITRE II..... Matériaux , caractérisation et variantes d'étude**

piston sont respectivement de 65% et 70%, ces dernières entrent dans les fourchettes des sable argileux, qu'on peut utiliser pour la fabrication des bétons de bonne qualité.

### **d)- Ciment**

Le ciment utilisé dans ce travail est un ciment composé de type CEM II/B 42.5N de classe de résistance 42.5, produit la cimenterie de LAFARGE.

Les caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques et mécaniques sont données dans les tableaux suivants:



**Figure II.6.** Sac de ciment

Les caractéristiques physico-mécaniques, chimiques et minéralogiques :

**Tableau II.8.** Caractéristiques physiques du ciment CPJ42.5 Lafarge

<b>Caractéristiques</b>	<b>Résultats</b>	<b>Unités</b>	<b>Norme</b>
<b>Consistance Normale</b>	28	(%)	NFEN196-3
<b>Début de prise</b>	150	(min)	NFEN196-3
<b>Fin de prise</b>	188	(min)	NFEN196-3
<b>SSB</b>	3750-5250	(Cm <sup>2</sup> /g)	NFEN196-6
<b>Expansion</b>	0.3-2.5	(g/cm <sup>3</sup> )	NFEN196-5
<b>Retrait à 28 jours</b>	<100	(µm/mm)	NFEN197-7

**Tableau II.9.** Résistance à la compression et à la flexion

Résistance «MPa»	1J	2J	7J	28J
Compression	11.556	19.215	35.429	44.929
	11.444	20.447	35.906	45.057
Flexion	1.902	4.278	5.912	6.876

**Tableau II.10.** Composition chimique du ciment CPJ 42.5Lafarge.

CaO	SiO2	AL2O3	Fe2O3	SO3	Na2O	K2O	MgO	Chlorures	PAF	insoluble
61.90	15.80	4.15	2.31	2.80	0.06	0.69	2.39	0.023	9.59	0.7-2

**TableauII.11.** Composition minéralogique ducimentCPJ42.5 Lafarge

Éléments	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	CaO	gypse	pouzzolane
%	58	15	7	8	01	06	-

**e)- L'eau de gâchage**

L'eau utilisé est l'eau potable, distribuée par le réseau du service public de la ville de Bouira qui ne contient que peu de sulfate, Sa qualité et ses caractéristiques sont conformes aux exigences de la norme NFP 18-404.

**Figure II.7.** L'eau potable

**II.3 Formulation du béton**

L'étude de la composition du béton consiste à définir le mélange optimal des différents constituants : graviers, sable, ciment et eau de gâchage, afin d'obtenir un béton de qualité souhaité. La méthode dite méthode de DREUX-GORISSE est utilisée pour notre formulation

- La résistance caractéristique souhaitée est  $f_{c28} = 25$  MPa.
- Résistance moyenne à 28 jours  $f_{c28} = 25 + 15\% 25 = 28.75$  MPa.
- L'ouvrabilité désirée est caractérisée par un affaissement au cône A = 7 cm
- Le ciment employé est : CPJ CEM II/A 42.5N donc  $f_{CE} = 42.5$  MPa
- Les granulats sont de qualité courante et  $D_{max} = 16$ mm

On peut donc calculer C/E par la formule  $f_c = G \cdot f_{CE} \left( \frac{C}{E} - 0.5 \right)$ .

Avec  $G = 0.55$

**Tableau II.12:** Coefficient granulaire G en fonction de la qualité des granulats et de  $D_{max}$ . [4]

Qualité des granulats	Dimension $D_{max}$ des granulats		
	Fins $D_{max} \leq 12.5$ mm	Moyens $20\text{mm} \leq D_{max} \leq 31.5$ mm	Gros $D_{max} \leq 50$ mm
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne, courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

**Tableau II.13:** Correction sur le dosage en eau en fonction de D. [4]

Dimension max des granulats D en mm	5	8 à 10	12.5 à 16	20 à 25	30 à 40	50 à 63.5	80 à 100
Correction sur le dosage en eau (%)	+ 15	+ 9	+ 4	0	- 4	- 8	- 12

**Tableau II.14:** Valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats. [4]

Vibration	Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats (sable en particulier)	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en Ciment						
400+Fluide	-2	0	-4	-2	-6	-4
400	0	+2	-2	0	-4	-2
350	+2	+4	0	+2	-2	0
300	+4	+6	+2	+4	0	+2
250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

**Tableau II.15.** Compacité du béton en fonction de Dmax, de la consistance et du serrage. [4]

Consistance	Serrage	Compacité (x)						
		D <sub>max</sub> = 5	D <sub>max</sub> = 8	D <sub>max</sub> = 12.5	D <sub>max</sub> = 20	D <sub>max</sub> = 31.5	D <sub>max</sub> = 50	D <sub>max</sub> = 80
Molle (TP-F1)	Piquage	0.750	0.780	0.795	0.805	0.810	0.815	0.820
	Vibration Faible	0.755	0.785	0.800	0.810	0.815	0.820	0.825
	Vibration Normale	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
Plastique (P)	Piquage	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
	Vibration Faible	0.765	0.795	0.810	0.820	0.825	0.830	0.835
	Vibration Normale	0.770	0.800	0.815	0.825	0.830	0.835	0.840
	Vibration Puissante	0.755	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
Ferme (F)	Piquage	0.755	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
	Vibration Faible	0.780	0.810	0.825	0.835	0.840	0.845	0.850
	Vibration Puissante	0.785	0.815	0.830	0.840	0.845	0.850	0.855

Note

\*Ces valeurs sont convenables pour les granulats roulés sinon il conviendra d'apporter les correctionssuivantes

Sable roulé et gravier concassé (c1 = -

0.01)Sable et gravier concassé (c1 = -

0.03)

\*Pour les granulats légers on pourra diminuer de 0.03 les valeurs de c (c2 = -0.03)

\*Pour un dosage en ciment  $C \neq 350\text{Kg/m}^3$  on apportera le terme correctif suivant

$(c_3 = (C - 350) / 5000)$

**II.4 Réalisation des éprouvettes :**

Pour les essais de compression uni axiale et de fendage, des cylindres pleins et de forme tubulaire ont été coulés dans des moules normalisés et dans des moules confectionnés pour avoir la forme en tube , (de diamètre 16cm et de hauteur 32 cm) ;puis décoffrés au bout de 48 heures plus tard. Ils ont subi par la suite, une cure d'hydratation à température de 20° constante pendant 28 jours selon la norme NF EN12390-4

Pour les essais de traction par flexion des éprouvettes prismatiques de dimensions 4x4x16 cm ont été confectionnées. Les cubes obtenus après les essais de traction par flexion ont été testés en compression uni axiale.

Avant la confection des éprouvettes, il faut que les moules sont bien nettoyés et humidifiés en utilisant une huile pour faciliter le démoulage. La confection des éprouvettes est faite en 3 couches appliquant 25 coups de piquage par couche à l'aide d'une tige métallique.

La quantité de chaque constituant pour la confection d'un cylindre en béton est donnée par la tableau II.17

**Tableau II.17.** Composition du béton pour un cylindre

<b>Variant 01</b>		<b>Variant 02</b>	
<b>Matériaux</b>	<b>Quantité (kg)</b>	<b>Matériaux</b>	<b>Quantité (kg)</b>
<b>Gravier 8/15</b>	13.13	<b>Gravier 3/8</b>	13.13
<b>Gravier 3/8</b>	13.13	<b>Sable 0/5</b>	14.95
<b>Sable 0/5</b>	14.95	<b>Ciment</b>	15
<b>Ciment</b>	15	<b>Eau</b>	7.5
<b>Eau</b>	7.5		

a)





**b)**



**c)**

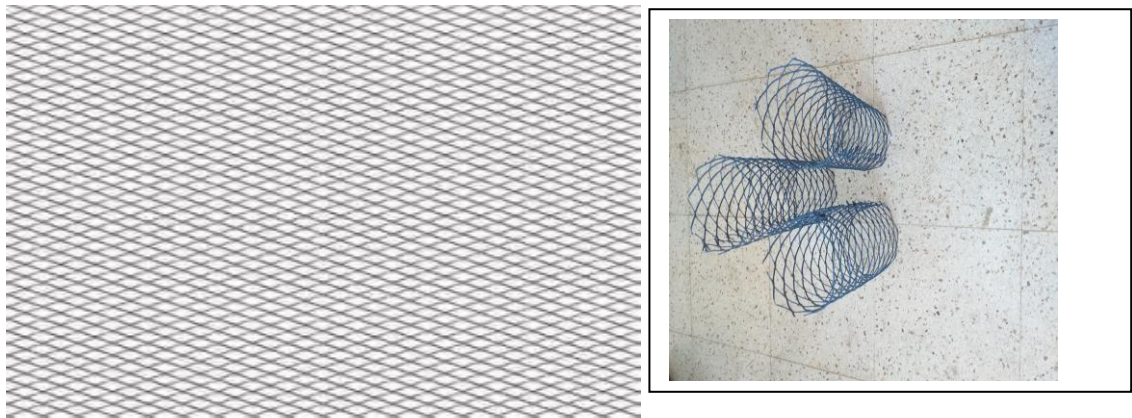


**Figure II.8.** a)-Dispositif spécial pour la confection des spécimens tubulaires, b) spécimen tubulaire et c) éprouvettes prismatiques

## **II.5 Les renforts**

### **II.5.1 Grilles**

Deux types de grilles sont utilisées, une est constituée de fils métalliques et l'autre en polypropylène.



**Figure II.9.** Grille métallique.



**Figure II.10.** Fibres polypropylène(PP).

**Tableau II.18.**Caractéristiques techniques des fibres métalliques I.

Caractéristiques	Résultats
Nature	Fil d'acier tréfilé en revêtement
Longueur	32mm
Diamètre	6.2mm
Elancement	81
Nombre de fibres	8168fibres /kg
Résistance en traction	1100Mpa(surfil)
Longueur réseau	4084mpour10Kg/m <sup>3</sup> de fibres

**II.5.2 Déchet pneumatiques 2.5/5**

La gomme pneumatique utilisée dans le béton est issue de la récupération des pneus usés.



**Figure II.11.** Déchets pneumatiques.



**Figure II.12.** Eprouvettes démoulées.

**Conservation des éprouvettes :**

La conservation des éprouvettes est faite dans un bac d'eau à une température constante de 20°C.



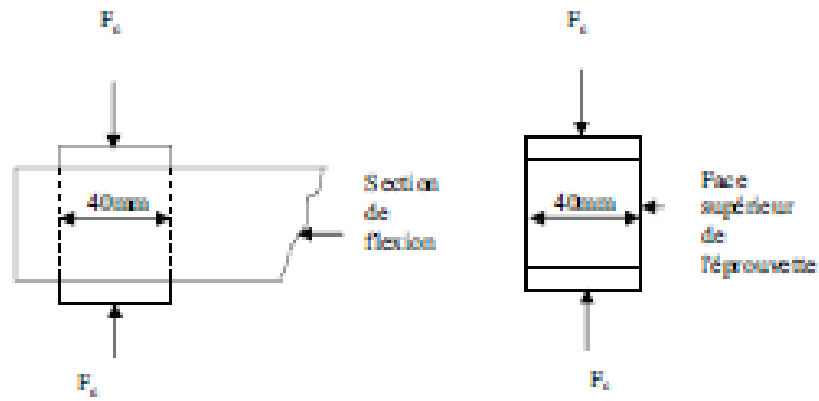
**Figure II.13:** Conservation des éprouvettes dans une chambre humide.

**II.6 Modalités d'essai de résistance mécanique**

Généralement les bétons sont classés selon leurs résistances à 28 jours. Cette dernière est souvent influencé par plusieurs facteurs entre autres le rapport E/C, le dosage et la classe de ciment, la nature et les proportions des granulats, les conditions climatiques et de mise en œuvre sans oublier l'influence des ajouts (Fillers, Fibres,...) . La mesure de la résistance se fait par les essais de flexion et de compression permettant de déterminer la contrainte de rupture de traction par flexion et la contrainte de rupture à la compression du béton de sable ou de mortier.

**II.6.1 Essai de rupture par compression :**

Cet essai est régi suivant la norme EN 196-1, exécuté avec une presse pour matériaux durs, sur les demi - éprouvettes provenant de l'essai précédent. Chaque demi prisme est essayé en compression sur ces faces latérales de moulage sous une section de Faces latérales de de moulage sous une section de 40 x 40 mm entre deux plaques de métal dur. Le demi prisme est placé entre elle de manière que son extrémité intacte dépasse d'environ 1cm



**Figure II.14.** Dispositifs de rupture en compression des cubes en béton de dimension 40x40x40mm

La résistance à la compression est calculée selon l'équation (01) suivante :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2} \dots \dots \dots (01)$$

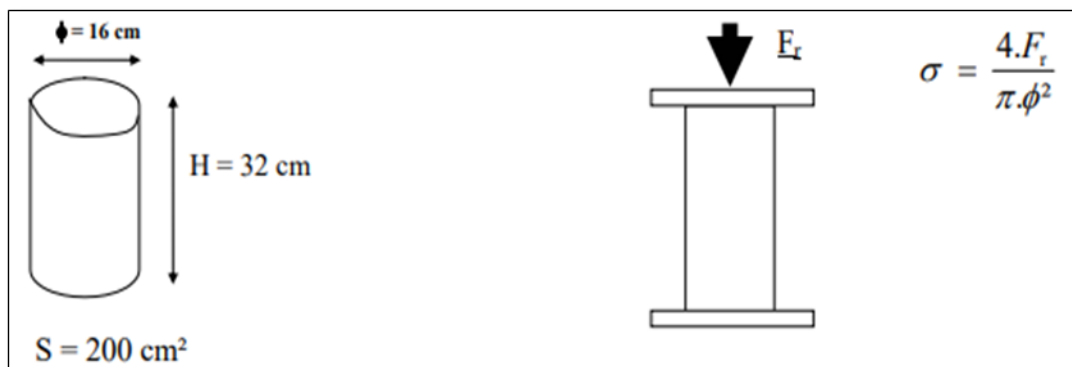
Avec :

**R<sub>c</sub>** : Résistance à la compression en (MPa);

**F<sub>c</sub>** : Charge de rupture en (N);

**b** : Côte de l'éprouvette est égal à 40mm.

Un autre essai de compression uniaxiale est utilisé pour déterminer les caractéristiques mécaniques (Résistance à la compression, module d'élasticité E et le coefficient de poisson) et la loi de comportement du béton. Cet essai consiste à exercer une force axiale de compression en utilisant une machine hydraulique de compression sur des éprouvettes normalisées, de forme cylindrique de hauteur H=32cm et de diamètre d=16cm ou sur des éprouvettes cubiques de dimensions normalisées. La charge de rupture 'F<sub>rup</sub>' est la force maximale enregistrée au cours de l'essai.



**Figure II.15.** Dispositifs de rupture en compression des éprouvettes cylindriques



**II.6.2 Essai de rupture par flexion :**

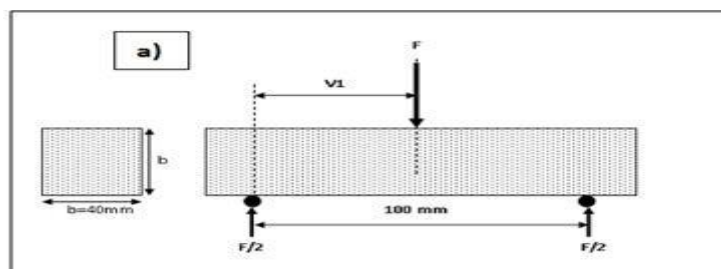
La mesure directe de la résistance à la traction par un essai de traction axiale étant délicate et difficile à réaliser. Il faut un dispositif spécifique pour réaliser un essai de traction directe sur des éprouvettes normalisées en béton.

Deux modes opératoires différents sont proposés pour déterminer cette résistance :

- Flexion d'éprouvettes prismatiques non armées.
- Fendage diamétral d'une éprouvette cylindrique (essai Brésilien).

**a)- Flexion d'éprouvettes prismatiques non armées**

Cet essai est établi suivant la norme EN 196-1. Un dispositif à rouleau utilisé en flexion (3points), comportant deux appuis à rouleau distant de 100 ou 106.7mm sur lesquels repose l'éprouvette prismatique 40x40x160mm, et un troisième rouleau équidistant des deux premiers, transmettant une charge concentrée Ff



**Figure II.16.** Dispositifs de rupture en flexion

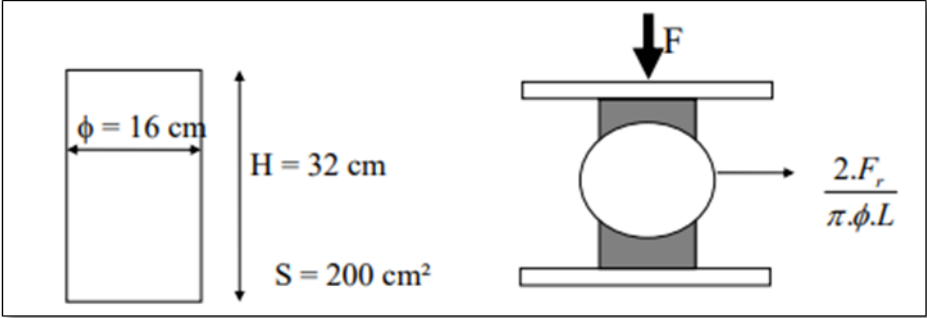
La résistance à la flexion est calculée selon l'équation (02) suivante :

$$R_f = (1.50 \cdot F_f \cdot l) / b^3 \dots\dots\dots(02)$$

Avec :

- Rf** : Résistance à la flexion en (MPa);
- Ff** : Charge de rupture de l'éprouvette en flexion (N);
- l** : Longueur qui sépare les deux appuis en (mm);
- b** : Côte de l'éprouvette est égal à 40mm;
- L** : Longueur totale de l'éprouvette.

**b)- Résistance à la traction par fendage**



**Figure II.17.** Essai de traction par fendage.

a)



b)



c)



**Figure II.18. a)** -Essai de traction par flexion des éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm,  
**b)** essaide compression des éprouvettes 4x4x4 cm , et  
**c)** – essai de fendage sr des cylindres de forme tubulaire



**II.6.3. Nomenclature des éprouvettes**

Une Nomenclature des éprouvettes a été choisie pour faciliter l'identification. Les séries d'éprouvettes réalisées sont désignées dans le tableau II.19 comme suit :

**Tableau II.3:** Références des cylindres étudiés.

	<b>Eprouvettes</b>	<b>Désignation</b>
Variante I Gravier 3/8 +8/15	BT	Béton témoin (BT)
	BPP	Béton avec grille en polymère
	BDP	Béton avec gomme pneumatique
	BDP+BPP	Béton avec gomme pneumatique et grille en pp
Variante II Gravier 3/8	BT	Béton témoin (BT)
	BPP	Béton avec grille en polymère
	BDP	Béton avec gomme pneumatique
	BDP+BPP	Béton avec gomme pneumatique et grille en pp
	FM	Béton avec grille métallique
	FM+DP	Béton avec grille métallique et gomme pneumatique

---

---

**CHAPITRE III :**  
**PRESENTATION DES RESULTATS ET**  
**DISCUSSION**

---

---

**PRESENTATION DES RESULTATS ET DISCUSSION**

**III.1 Introduction :**

La présentation et discussion des résultats expérimentaux obtenus par les différents essais réalisés au laboratoire sont présentées dans ce chapitre. L'objectif escompté consiste à mettre en exergue l'influence du type de renfort sur la résistance et le mode de rupture

**III.2 Essais mécaniques**

**III.2.1 Essai de compression simple du béton**

L'essai de compression uni axiale du béton permet de déterminer la résistance à la compression à 28 jours ainsi que l'allure de la courbe d'évolution des contraintes en fonction des déformations.

Des éprouvettes cylindriques de  $\phi 16\text{cm} \times 32\text{cm}$  sont testées selon la norme ASTM C39/C39 M-03. L'essai illustré par la figure III.1, est conduit sous un chargement quasi-statique avec un pas de 0,5 KN/m. Le chargement axial a été effectué à l'aide d'une presse hydraulique de type RP 2000 XPE. Avec une étendue de capacité de 3000 KN.

Pour les spécimens tubulaires de hauteur 32 cm et de diamètre externe  $\phi 16\text{cm}$  et interne  $\phi 11\text{cm}$ , la vitesse de chargement est réduite à un pas de 0,1 KN/m. Pour mieux visualiser et suivre les fissures engendrées par le chargement et le mode de rupture. Cette presse comporte 2 plateaux, un plateau inférieur mobile et un autre supérieur fixe. L'acquisition et le pilotage sont gérés par un ordinateur muni d'un logiciel de commande qui traite tous les résultats.

des cubes en béton de dimensions 4x4x4 cm récupérés des essais de traction par flexion sont également testées en compression



**Figure III.1 :** Essai de compression : a) machine d'essai de compression b) système LVDT.

Pour chaque variante, l'essai est conduit sur 03éprouvettes, La valeur moyenne de la résistance caractéristique du béton à 28 jours est de 24,5 MPa.

### **III.2.2 Essai de fendage (essai brésilien)**

La même machine est utilisée pour les essais de fendage. Les spécimens sont posés selon la longueur et le chargement est appliqué selon la génératrice, comme est montré dans le chapitre précédent.

### **III.2.3 Essai de traction par flexion**

La caractérisation du comportement du béton à la traction est réalisée suivant un essai de traction par flexion. Les essais sont réalisés sur des poutres prismatiques en béton, de dimensions normalisées 40x40x160 mm sur une machine de flexion universelle à l'aide d'une presse hydraulique de type RP 2000 XPE. Avec une étendue de capacité de 200 KN.

L'essai est conduit sous un chargement quasi-statique avec un pas de 0,1 KN/m. L'essai de flexion 3points est effectué jusqu'à la rupture de l'éprouvette. L'acquisition des valeurs de la charge et de la contrainte de rupture est gérée par un ordinateur muni d'un logiciel de commande qui traite tous les résultats. Un système LVDT est utilisé pour capter tous les déplacements de la poutre en fonction du chargement.



**Figure III.2.** Machine d'essai de traction par flexion

**III.3 Présentation des résultats et analyses :**

Les différents résultats des essais de compression réalisés sur les différents spécimens considérés sont résumés dans les tableaux III.1 au III. 4 et illustrés par les graphes III.3 et III.4,

**A- Variante1 : Béton avec gravier 3/8 et 8/15**

**Tableau III.1. Béton témoin (BT)**

<b>Variante 1 : Béton Témoin</b>									
Dimensions	N° D'éprouvette	Masse (g)	Masse après" cure"	compression		Brésilien		Flexion3-pts	
				F (KN)	δ (Mpa)	F (KN)	δ (Mpa)	F (KN)	δ (Mpa)
<b>BT 16*32</b>	1	7470	7690	15,5	8.65	-	-	-	-
	2	7380	7600	175,7	8,7	-	-	-	-
	3	7370	7620	173,1	8,6	-	-	-	-
	4	7280	7520	-	-	17	0,3	-	-
	5	7380	7630	-	-	45.33	0.8	-	-
	6	7340	7610	-	-	16,8	0,3	-	-
<b>4*4*16)</b>	1	560	590	45,1	28,2	-	-	1,9	4,4
	2	560	580	50	31,2	-	-	2,2	5,1
	3	560	580	46,1	28,2	-	-	2,2	5,1

**Tableau III.2. Béton avec Polyéthylène extrudé En Plastique Grille Carrée De Maille De Polypropylène (BPP)**

<b>Variante 1 : (BPP)</b>									
Dimensions	N° D'éprouvette	Masse (g)	Masse après" cure"	compression		Brésilien		Flexion3-pts	
				F (KN)	δ (Mpa)	F (KN)	δ (Mpa)	F (KN)	δ (Mpa)
<b>BPP(16*32)</b>	1	7220	7580	124.3	6.2	-	-	-	-
	2	7170	7550	141.9	7.1	-	-	-	-
	3	7520	7590	158.6	7.9	-	-	-	-
	4	7540	7610	-	-	16.9	0,2	-	-
	5	7560	7540	-	-	16.00	0.3	-	-
	6	7440	7530	-	-	16,50	0,3	-	-
<b>(4*4*16)</b>	1	570	580	53.00	33,1	-	-	2.5	5.8

**Tableau III.3. : Béton avec gomme pneumatique (BDP)**

<b>Variante 1 : (BDP)</b>									
Dimensions	N° D'éprouvette	Masse (g)	Masse après" cure"	compression		Brésilien		Flexion3-pts	
				F (KN)	δ (Mpa)	F (KN)	δ (Mpa)	F (KN)	δ (Mpa)
<b>BDP(16*32)</b>	1	6910	7050	134.7	6.7	-	-	-	-
	2	6980	7130	83.1	4.1	-	-	-	-
	3	6900	7030	119.6	5.9	-	-	-	-
	4	6970	7100	-	-	12.7	0,6	-	-
	5	6910	7050	-	-	12.8	0.6	-	-
	6	6900	7050	-	-	12.5	0,6	-	-
<b>(4*4*16)</b>	1	540	550	24.8	15.5	-	-	24.8	15.5
	2	540	550	25.8	16.1	-	-	25.8	16.1
	3	540	560	26.5	16.6	-	-	26.5	3.0

**Tableau III.4. : Béton avec gomme pneumatique et grille en pp (BDP&BPP)**

<b>Variante 1 : (BDP&amp;BPP)</b>									
Dimensions	N° D'éprouvette	Masse (g)	Masse après" cure"	compression		Brésilien		Flexion3-pts	
				F (KN)	δ (Mpa)	F (KN)	δ (Mpa)	F (KN)	δ (Mpa)
<b>BDP&amp;BPP &amp;(16*32)</b>	1	7050	7120	114. 3	5.7	-	-	-	-
	2	6920	7020	109. 1	5.4	-	-	-	-
	3	7110	7190	85.5	4.3	-	-	-	-
	4	6810	6920	-	-	12.4	0,6	-	-
	5	6940	7040	-	-	13.0	0.6	-	-
	6	6890	6890	-	-	13.0	0,6	-	-
<b>(4*4*16)</b>	1	540	550	36.0 0	22.5	-	-	1.3	3.0
	2	540	560	30.4	19	-	-	1.2	2.8
	3	540	560	33.4	20.9	-	-	1.4	3.4

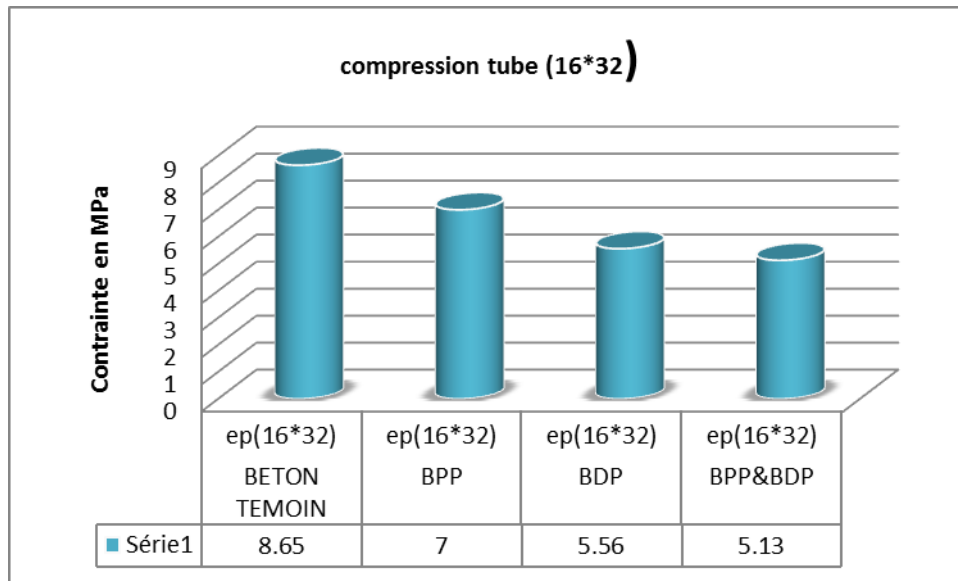


Figure III.3. Histogramme de la contrainte de compression pour les cylindres

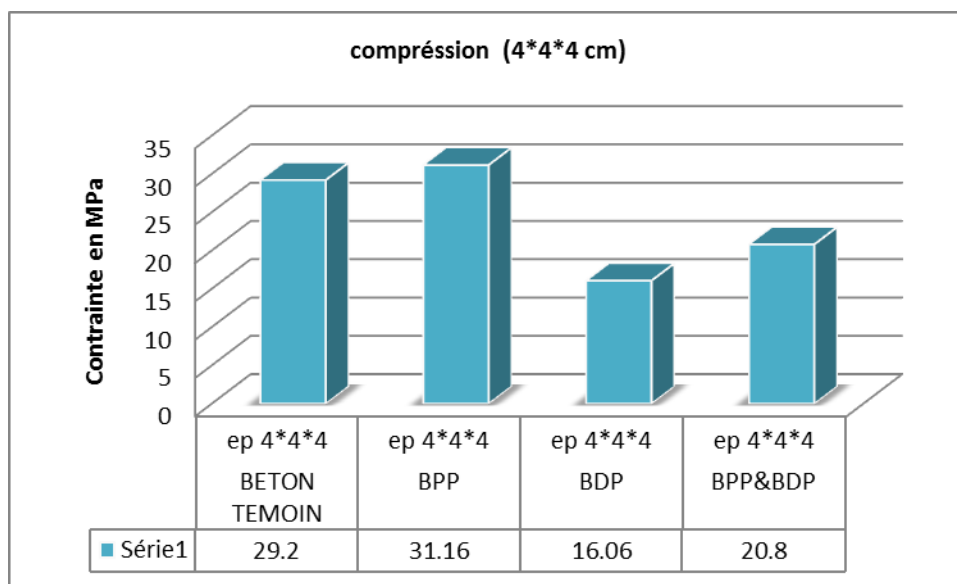


Figure III. 4. Histogramme de la contrainte de compression pour les spécimens 4\*4\*4 cm.

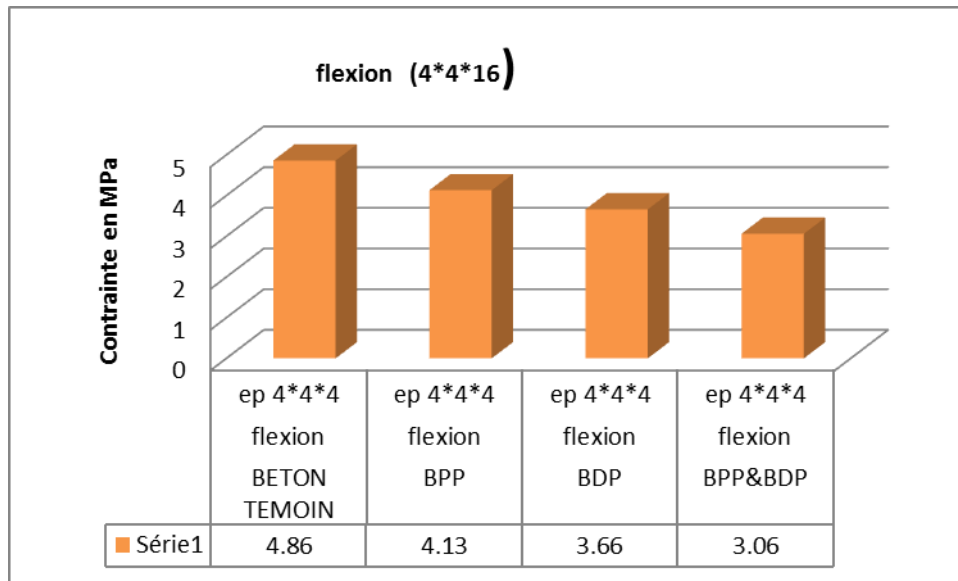


**Figure III.5.** Eprouvette et mode de rupture a)-avant l'écrasement, b)- après écrasement par compression.

Le mode de rupture observé est typique. Une fissure longitudinale apparaît le long de la hauteur du cylindre. La rupture des spécimens tubulaires est obtenue sous une charge de 15,5K N et une contrainte de rupture  $\sigma_{rup} = 8,65$  MPa, pour le spécimen en béton témoin, alors que pour le spécimen en Béton avec grille en polymère (BPP), la rupture est obtenue sous une charge de 141.9 Kn et une contrainte de  $\sigma_{rup} = 7$  MPa , pour les spécimens en béton avec gomme pneumatique (BDP) et en béton avec gomme pneumatique + grille en pp (BDP&BPP), La rupture est obtenue respectivement sous une charge de 112,47 Kn et 102,97 Kn provoquant respectivement une contrainte de  $\sigma_{rup} = 5,56$  MPa et  $\sigma_{rup} = 5,13$  MPa.

Pour le cas des spécimens de dimensions 4x4x4 cm, les résultats montrent que, pour le spécimen de référence ( témoin) la rupture est obtenue sous une charge de 47,07 Kn et une contrainte de  $\sigma_{rup} = 29,2$  MPa alors que pour les spécimens (BPP), (BDP) et (BDP&BPP), la rupture est obtenue pour une charge respectivement de 75,6 Kn , 25,7 Kn , 33,27 Kn et une contrainte de  $\sigma_{rup} = 31,17$  MPa ,  $\sigma_{rup} = 16,07$  MPa et  $\sigma_{rup} = 20,8$ MPa .



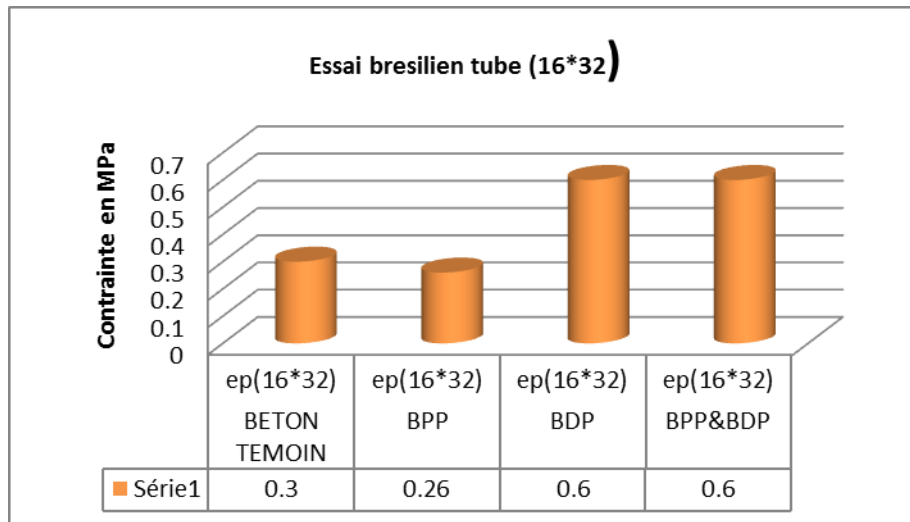


**Figure III.6.** Histogramme des contraintes de traction par flexion (4\*4\*16)



**Figure III.7.** Eprouvette et mode de rupture a)-avant écrasement, b)- après écrasement par flexion.

On peut observer que le comportement de la poutre prismatique en béton sous un charment de flexion 3 points est fragile. En effet, la rupture est obtenue au milieu de la poutre, dans la section correspondant au point d'application de la charge. Lorsque la charge ultime est atteinte la poutre se rompt brusquement, d'une manière brutale, la rupture est donc fragile. Après la rupture, la poutre est totalement subdivisée en deux parties presque similaires et identiques. La résistance du béton à la traction et le moment de rupture sont alors déduits de la charge ultime. La charge provoquant la rupture varie légèrement avec le type de renfort , elle varie entre 4,86 MPa pour le témoin, à 4,13MPa pour (BPP), 3,66 MPa pour (BDP) et 3,06 MPa pour (BDP&BPP) .



**Figure III.8.** Histogramme de la contrainte de compression de l'essai de fendage



**Figure III.9.** Epreuve et mode de rupture a)-avant l'écrasement, b)- après écrasement par compression par fendage.

D'après la figure III.9, on peut observer que la rupture du cylindre est obtenue au milieu, selon la génératrice, d'autres fissures parallèles se développent au fur et à mesure que la charge augmente jusqu'à la rupture totale de l'élément. On observe alors une fragmentation du spécimen en plusieurs débris. La charge de rupture est presque la même pour les spécimens cubiques, (témoin et BPP), elle est respectivement de 17 Kn et 16,47 Kn, alors que pour les autres spécimens, la charge de rupture diminue fortement comparativement aux deux premiers spécimens sus cités, elle est respectivement égale à 12, 7 Kn et 13 Kn. Ce résultat montre clairement que la gomme pneumatique diminue fortement la résistance du béton suite à sa mauvaise adhérence avec la matrice béton et à ses faibles caractéristiques de résistance.

**B- Variante II : Béton avec gravier 3/8 seulement**

**Tableau III.5. Béton témoin**

<b>Variante II : Béton Témoin (BT)</b>									
Dimensions	N° D'éprouvette	Masse (g)	Masse après" cure"	compression		Brésilien		Flexion3-pts	
				F (KN)	δ (Mpa)	F (KN)	δ (Mpa)	F (KN)	δ (Mpa)
<b>B T(16*32)</b>	1	7420	7470	24.01	11.9	-	-	-	-
	2	7410	7460	185.1	9.2	-	-	-	-
	3	7420	7470	-	-	16.7	0.8	-	-
<b>(4*4*16)</b>	1	560	580	43.1	27	-	-	1.5	3.5
	2	560	580	49.3	30.8	-	-	2.5	6.0
	3	560	560	48.3	30.2	-	-	1.6	3.6

**Tableau III.6. Béton avec gomme pneumatique (BDP)**

<b>Variante II : (BDP)</b>									
Dimensions	N° D'éprouvette	Masse (g)	Masse après" cure"	compression		Brésilien		Flexion3-pts	
				F (KN)	δ (Mpa)	F (KN)	δ (Mpa)	F (KN)	δ (Mpa)
<b>BDP(16*32)</b>	1	6810	7060	102.9	5.1	-	-	-	-
	2	6820	7040	86.1	4.3	-	-	-	-
	3	6770	7000	-	-	16.7	0.8	-	-
<b>(4*4*16)</b>	1	530	550	24.3	15.2	-	-	1.5	3.6
	2	540	560	23.6	14.8	-	-	1.4	3.2
	3	540	560	22.9	14.3	-	-	1.3	3.0

**Tableau III.7. Béton avec grille en polymère (BPP)**

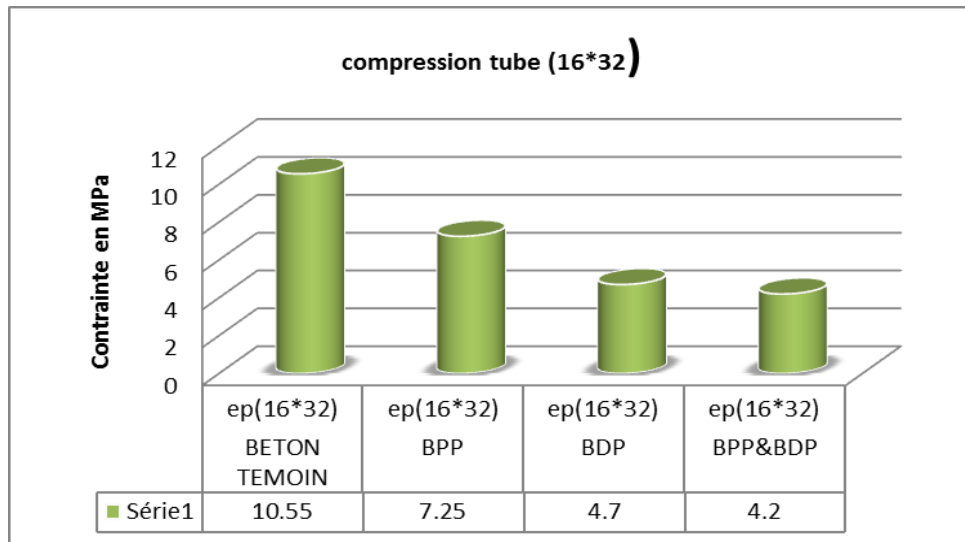
<b>Variante II : (BPP)</b>									
Dimensions	N° D'éprouvette	Masse (g)	Masse après" cure"	compression		Brésilien		Flexion3-pts	
				F (KN)	δ (Mpa)	F (KN)	δ (Mpa)	F (KN)	δ (Mpa)
<b>BPP(16*32)</b>	1	7390	7520	164.7	8.2	-	-	-	-
	2	7250	7380	127.3	6.3	-	-	-	-
	3	7330	7450	-	-	16.8	0.8	-	-
<b>(4*4*16)</b>	1	550	570	53.1	33.2	-	-	2.00	4.6
	2	560	580	49.0	30.6	-	-	2.1	5.0
	3	560	580	43.7	27.3	-	-	2.2	5.2

**Tableau III.8.** Béton avec gomme pneumatique+ grille en pp (BDP&BPP)

<b>Variante II : (BDP&amp;BPP)</b>									
<b>Dimensions</b>	<b>N° D'éprouvette</b>	<b>Masse (g)</b>	<b>Masse après" cure"</b>	<b>compression</b>		<b>Brésilien</b>		<b>Flexion3-pts</b>	
				<b>F (KN)</b>	<b>δ (Mpa)</b>	<b>F (KN)</b>	<b>δ (Mpa)</b>	<b>F (KN)</b>	<b>δ (Mpa)</b>
<b>BDP&amp;BPP (16*32)</b>	1	6620	6890	-	-	11.9	0.6	-	-
	2	6770	7030	89.8	4.5	-	-	-	-
	3	6730	6950	78.4	3.9	-	-	-	-
<b>(4*4*16)</b>	1	510	540	21.7	13.6	-	-	1.4	3.2
	2	510	540	24.5	15.3	-	-	1.3	3.1
	3	510	540	24.4	15.2	-	-	0.9	2.1

**Tableau III.9.** Béton avec grille FM et mélange FM + DP

<b>Variante II: BFM et B(FM+DP)</b>									
<b>Dimensions</b>	<b>N° D'éprouvette</b>	<b>Masse (g)</b>	<b>Masse après" cure"</b>	<b>compression</b>		<b>Brésilien</b>		<b>Flexion3-pts</b>	
				<b>F (KN)</b>	<b>δ (Mpa)</b>	<b>F (KN)</b>	<b>δ (Mpa)</b>	<b>F (KN)</b>	<b>δ (Mpa)</b>
<b>FM (16*32)</b>	1	7380	7570	158.6	7.85	-	-	-	-
	2	7480	7640	157.8	7.85	-	-	-	-
	3	7430	7630	159.1	7.85	16.8	0.8	-	-
<b>FM+DP (16*32)</b>	1	6740	6810	80.2	3.55	-	-	-	-
	2	6760	6860	81.4	3.55	12.8	0.5	-	-
	3	6610	6714	79.5	3.55	-	-	-	-

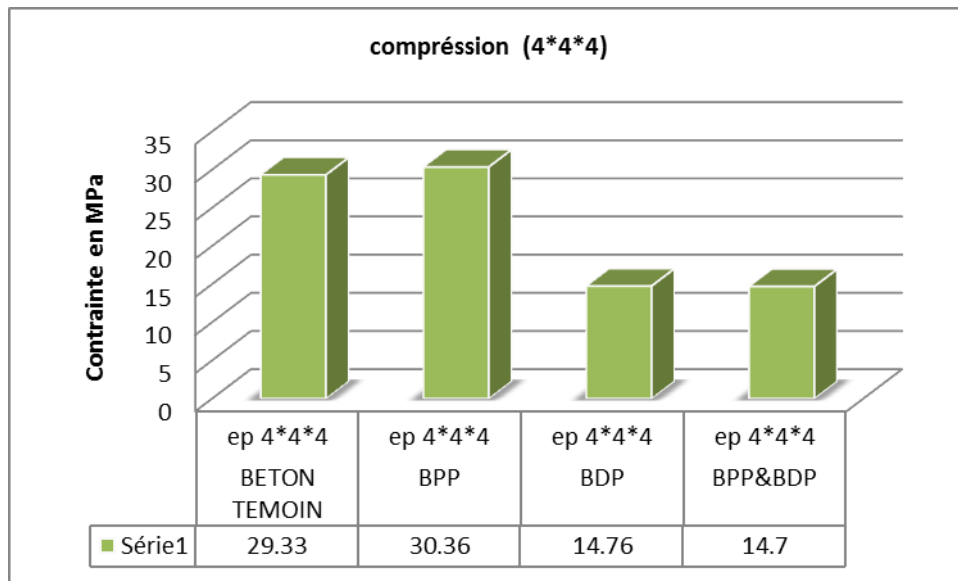


**Figure III.10.** Histogramme de la contrainte de compression axiale



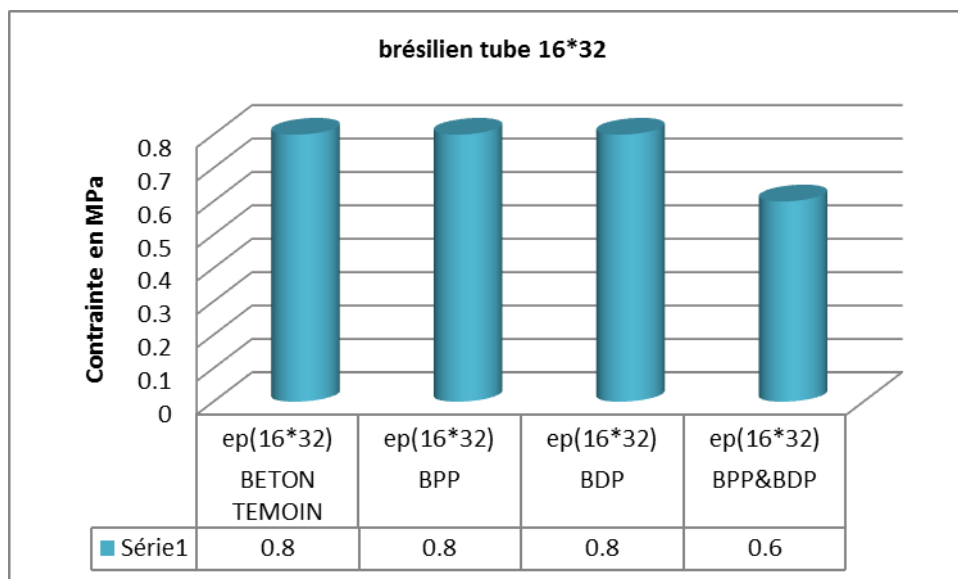
**Figure III.11.** Eprouvette et mode de rupture a)-avant l'écrasement, b)- après écrasement par compression axiale

Le mode de rupture des différents spécimens de la variante II est similaire à celui observé pour la variante 1. On constate que l'utilisation des grilles de polymères et la gomme pneumatique diminue la résistance, d'une manière importante. A titre indicatif, pour la variante de béton avec mélange FM + DP , la contrainte de rupture diminue d'environ 6.35 MPa ce qui représente une perte de 60% . .



**Figure III.12.** Histogramme des contraintes de traction par flexion (4\*4\*16)

On observe le même comportement de la poutre prismatique en béton sous un charment de flexion 3 points est fragile. La rupture est obtenue également au milieu de la poutre, dans la section correspondant au point d'application de la charge. La rupture est donc fragile. Aussi, pour les spécimens en béton avec grille en polymère (**BPP**), la contrainte de rupture  $\sigma_{rup} = 30,36$  MPa, est supérieure à celle du béton témoin (BT)  $\sigma_{rup} = 29,33$  MPa. Par contre l'ajout de la gomme pneumatique avec la grille en polymère diminue significativement la contrainte de rupture d'environ de 50%



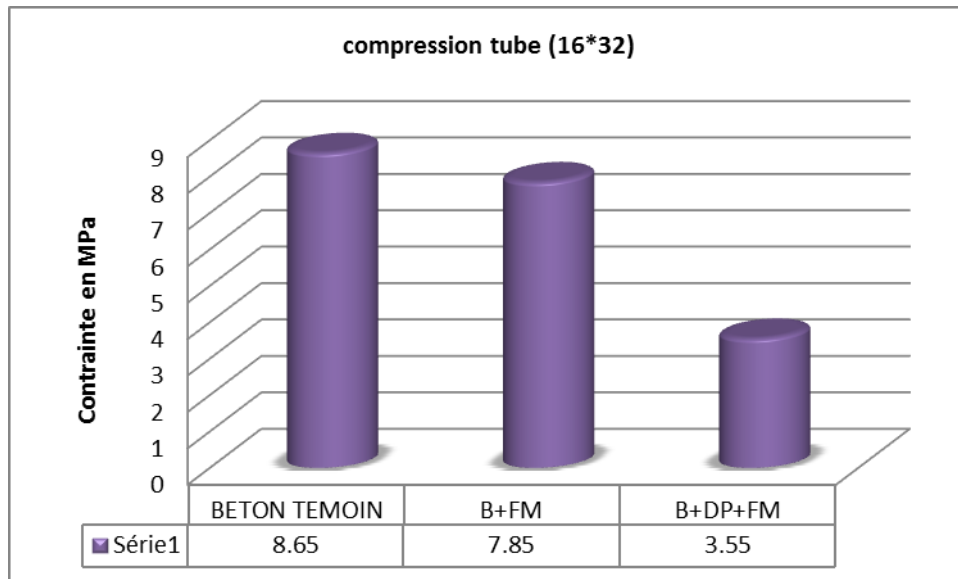
**Figure III.13.** Histogramme de la contrainte de compression de l'essai de fendage



**Figure III.14.** Epreuve et mode de rupture a)-avant écrasement, b)- après écrasement par fendage

D'après la figure III.13, on peut observer que la rupture de tous les cylindres est obtenue pour une contrainte de rupture  $\sigma_{rup} = 0,8 \text{ MPa}$  sauf pour le cas du cylindre avec le mélange BPP & BDP, la contrainte de rupture est de  $\sigma_{rup} = 0,6 \text{ MPa}$ .

Ce résultat montre clairement que la gomme pneumatique ne diminue pas la contrainte malgré sa mauvaise adhérence avec la matrice béton et ses faibles caractéristiques mécaniques, par contre un gain en quantité de béton est obtenu en substituant un pourcentage de la matrice par la gomme de caoutchouc. Le mode de rupture observé est identique à celui observé sur les spécimens de la variante I.



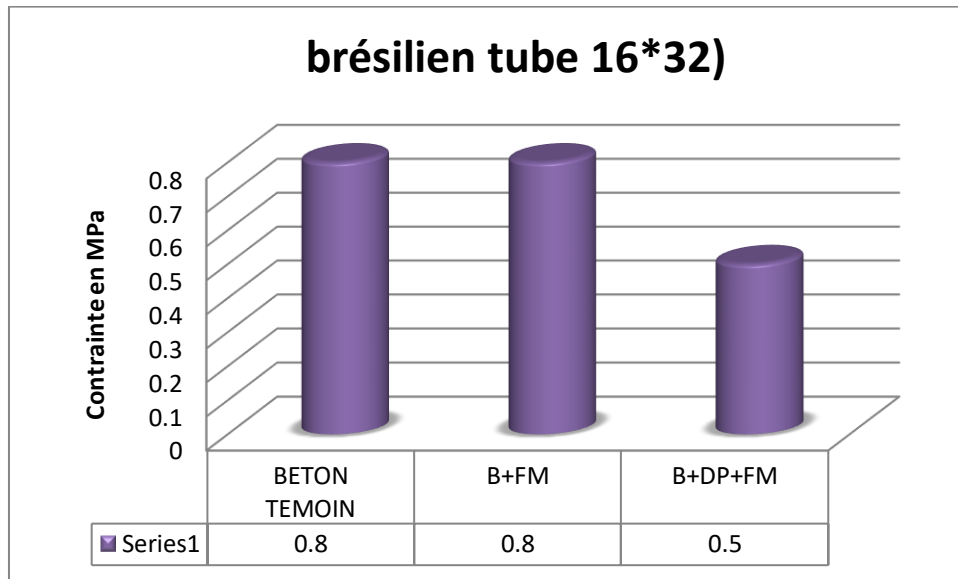
**Figure III.15.** Histogramme de la contrainte de compression axiale BFM et B(FM+DPP)



**Figure III.16.** Echantillon et mode de rupture a)-avant écrasement, b)- après écrasement par compression axiale

Le mode de rupture des différents spécimens est similaire à celui observé pour la variante 1. Une fissure longitudinale apparaît le long de la hauteur du cylindre. La rupture du spécimen B FM est obtenue sous une contrainte de rupture  $\sigma_{rup} = 7,85$  MPa, alors que pour le spécimen B(FM+DPP) la contrainte de rupture  $\sigma_{rup} = 3,55$  MPa. Ce dernier résultat confirme que l'ajout de la gomme pneumatique diminue les résistances en compression.





**Figure III.17.** Histogramme de la contrainte de compression de l'essai de fendage



**Figure III.18.** Mode de rupture du spécimen BFM

D'après la figure III.17. On constate que :

- La contrainte de rupture obtenue par l'essai brésilien, pour le spécimen (BFM) est de  $\sigma_{rup} = 0,8 \text{ MPa}$  . est égale la contrainte de rupture du spécimen avec BT ce ci à été expliqué par ce fait suite ça faible épaisseur la repase de tube culindrique ne peut pas faire partira d'une manière importante grille métallique si le premier augmente alors l'ajout des grilles métalliques permet d'augmenter fortement la résistance à la traction.
- Pour les spécimens B(FM+DP) la contrainte  $\sigma_{rup} = 0,5 \text{ MPa}$ , ce qui confirme , encore une fois que l'ajout de la gomme pneumatique dans le béton diminue la résistance.

---

---

## **CONCLUSION GENERALE**

---

---

## CONCLUSION GENERALE

La revue littéraire des différents travaux de recherche ayant porté sur les conduites en béton armé , nous a permis de constater qu'il est recommandé, lors de la fabrication des conduites en béton, d'éviter le renforcement par treillage métallique noyé dans le béton et que généralement, on utilise un mélange de paillettes d'acier incorporé dans le béton, ce qui optimise les performances et la longévité des conduites.

Ce travail de recherche consiste à étudier expérimentalement l'influence du type de renfort sur les résistances mécaniques, la déformabilité et le mode de rupture. En effet, plusieurs spécimens avec des renforts de type et nature différente ont été testés. A cet effet, on a utilisé des grilles métalliques et en polymère, et des déchets de pneumatiques (gomme).

Des combinaisons hybrides ont été également considérées.

Les différents résultats obtenus montrent que :

Essai de compression uniaxiale :

- le type et la nature du renfort influe directement sur la résistance et la déformation. Le renforcement par des grilles métalliques augmente les résistances en compression alors que, dans le cas du mélange FM et DP, une chute de résistance est obtenue, le mélange grille + déchets pneumatiques diminue la résistance en compression due à la mauvaise adhérence entre les fils de la grille métallique et la gomme pneumatique. Pour la grille en polymère, l'influence est beaucoup plus observée sur le mode de rupture. Dans le cas de l'essai de fendage, la gomme pneumatique ne diminue pas la contrainte malgré sa mauvaise adhérence avec la matrice béton composée du gravier 3/8 seulement et ses faibles caractéristiques mécaniques.
- l'utilisation des grilles de polymères et la gomme pneumatique diminue la résistance, d'une manière importante. A titre indicatif, pour la variante de béton avec mélange

FM + DP , la contrainte de rupture diminue d'environ 6.35 MPa ce qui représente une perte de 60% . .

Essai de fendage :

- La contrainte de rupture obtenue par l'essai brésilien, pour le spécimen (BFM) est de  $\sigma_{rup} = 0,8$  MPa . Cette valeur est équivalente à la contrainte de rupture du spécimen témoin BT où  $\sigma_{rup} = 0,8$  MPa donc, l'ajout des grilles métalliques permet d'augmenter fortement la résistance à la traction. Dans le cas du mélange pour les spécimens B(FM+DP) la contrainte  $\sigma_{rup} = 0,5$  MPa, ce qui confirme , encore une fois que l'ajout de la gomme pneumatique dans le béton diminue la résistance.
- la rupture de tous les cylindres est obtenue pour une contrainte de  $\sigma_{rup} = 0,8$  MPa sauf pour le cas du cylindre avec le mélange BPP & BDP, la contrainte de rupture est de  $\sigma_{rup} = 0,6$  MPa . Ce résultat montre clairement que la gomme pneumatique ne diminue pas la contrainte malgré sa mauvaise adhérence avec la matrice béton et ses faibles caractéristiques mécaniques,
- L'ajout de la gomme pneumatique dans la matrice béton permet d'améliorer la déformabilité et d'obtenir un gain en quantité de béton.

Enfin, ces résultats sont considérés comme préliminaires, à cet effet, en perspectives, il est recommandé :

- de poursuivre le travail en réalisant des tests sur des éprouvettes plus grandes pour éviter l'effet d'échelle
- considérer un renforcement hybride dans le but, non seulement d'améliorer la résistance et la déformabilité, mais également assurer l'économie
- de modéliser le comportement sous différents cas de chargement, proches de la réalité.

---

---

**REFERENCES  
BIBLIOGRAPHIQUE**

---

---

## Références Bibliographie

- [1] **Jean-Pierre Adam**, “La Construction romaine. Matériaux et techniques ”  
Sixième édition. Grands Manuel Picard, 2011.
- [2] **A. M. Neville**, “Properties of concrete”; Editions Eyrolles, Paris, 2000
- [3] **Jean-Michel Torrenti**, “BÉTON ”, Encyclopædia Universalis, consulté le 24 décembre 2018.
- [4] **George Dreux, Jean Festa**, “nouveau guide du béton et de ses constituants”,  
Edition eyrolles 1998.
- [5] **Baraka Abdelhak** ; support de cour béton armé I ; centre universitaire de  
Béchar ; Département de Génie civil et d’architecture 2005-2006.
- [6] [https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fgc.univ-batna2.dz%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fdept-gc%2Ffiles%2Fles\\_conduites.pdf&psig=AOvVaw3SsA\\_kLc2cKbOr4Orlk8TR&ust=1663788096469000&source=images&cd=vfe&ved=0CAwQr4kDahcKEwjIxq3qi6T6AhUAAAAAHQAAAAAQAw](https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fgc.univ-batna2.dz%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fdept-gc%2Ffiles%2Fles_conduites.pdf&psig=AOvVaw3SsA_kLc2cKbOr4Orlk8TR&ust=1663788096469000&source=images&cd=vfe&ved=0CAwQr4kDahcKEwjIxq3qi6T6AhUAAAAAHQAAAAAQAw)
- [7] **BARON J. et OLLIVIER J. P.** "Les bétons bases et données pour leur formulation"  
Edition Eyrolles, 1996
- [8] **CHAALAL O.** : "Contribution à l’étude de durabilité des tiges en fibres de verre comme armature à béton", Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (LCPC);  
1999, Sept-Oct.
- [9] Mémoire De Fin D’études de Thème Valorisation de la poudre de la roche siliceuse de la région de Tlemcen utilisée comme fillers dans le béton auto plaçant renforcé de fibres métalliques. Réalisé par : **DJELLAD Mohamed Nasreddine UNIVERSITE M’HAMED BOUGARA –BOUMERDES** (page28)
- [10] Mémoire de fin d’étude Présenté par : **Sebbane Housseem Eddine** .Thème :Etude des propriétés physico-mécaniques des bétons renforcés par des fibres. Année 2018/2019 (page 21)
- [11] Mémoire de fin d’étude Présenté par : **sadoun faouzi** .Thème :Etude comparative entre les mortiers renforcés avec la fibre métalliques et verre. Année 2018/2019 (page20)

## Références Bibliographie

- [12] Benkechkache.G, Étude de comportement diffère des bétons autoplaçants influence des paramètres de composition et de chargement, thèse de Magister, Université MentouriConstantine. Novembre, 2007.
- [13] **Sienkiewicz M.,Kucinska-Lipka J., Helena Janik H., Balas A.,** Progress in used typesmanagement in the European Union: A review, *Waste Management*, 32(2012) 1742-1751.
- [14] **Rashad M,A.,** comprehensive overview about recycling rubber as fine aggregate replacement in traditional cementations materials, *International Journal of Sustainable BuiltEnvironment*, 5(2016) 46–82,
- [15] **ETRMA – European Tyre& Rubber Manufacturers’ Association (Belgium),** 2010b,UsedTyres Recovery 2010 (table) – UT/Part Worn Tyres/ELT’s Europe – Volumes Situation 2010,Data downloaded from <http://www,etrma,org/default,asp> , May 2011,
- [16] **Siddique R., Naik T,R.,** Properties of concrete containing scrap-tire rubber –an overview,*Waste Management*, 24(2004) 563–569,
- [17] **Malek K,B., Marie I., ASI I.,** Promoting the use of crumb rubber concrete in developing
- [18] Bencardino) larouci belkhir contribution a l’étude du comportement mécanique de béton des fibres métalliques (les copeaux de récupérations) mémoire de masterii en génie civil, option géo matériaux et structures 2017.
- [19] **CONSTANT E,** "Le problème du pneu usagé non rechapableP,U,N,R", (siteInternet google,fr), Oct, 1997, – Mar, 1998,
- [20] **dreamstime,com/photo-stock**
- [21] Rossi, P., Les bétons de fibres métalliques. Presse de l’ENPC. 1998.
- [22] **Encyclopédie Universel ÉLASTOMÈRES ou CAOUTCHOUCS,** universalis,fr (siteInternet google,fr),avril 2015,
- [23] **Turatsinze A; Bonnet S etGranjuJ,L,"**Potential of rubber aggregates to modify propertiesof cement based-mortars: improvement in cracking shrinkage resistance", *Construction andBuilding Materials*, 21: 176-181, 2005,

- [24] **Hobbs D,W**, "The dependence of the bulk modulus, Young's modulus, creep, shrinkage and thermal expansion of concrete upon aggregate volume concentration», *Mat,Struct*, 4: 107-114, 1971,
- [25] **Neville A,M**, "Propriétés des bétons", Quatrième édition, Edition française par CRIB, Editions Eyrolles, 2000,
- [26] **Benazzouk A; Douzane O et Quéneudec, T'Kint M**, "Transport of fluids in cement-rubber composites", *Cement & Concrete Composites* 26, 21-29, 2004,
- [27] **Benazzouk A et Quéneudec M**, "Effet du caractère cellulaire des granulats sur le Comportement d'un composite ciment-caoutchouc aux cycles de gel/dégel", *Proceeding of CNR IUT Roanne*, publication de l'Université de St-Etienne, ISBN 2 86272 2200, Tome 2, pp, 477- 87, 2001,
- [28] **DUPAIN, R, LANCHON, R, J, C, SAINTARROMAN** « granulats, sols, ciments et bétons caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire », Edition castella-25, rue rouge-75005 Paris 1995
- [29] <https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fwww.bemaco.fr%2Fwp-content%2Fuploads%2F2020%2F04%2Fcollage-tuyaux-joint-integre.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.bemaco.fr%2Fpage-tuyau-beton-joint-integre%2F&tbid=5txwDEBNuwxskM&vet=12ahUKEwjAt7C3gqT6AhVEhc4BHbuEDycQMygBegUIARCxAQ..i&docid=vdKKuFgaWT03TM&w=2550&h=1700&q=conduite%20en%20b%C3%A9ton%20arm%C3%A9&ved=2ahUKEwjAt7C3gqT6AhVEhc4BHbuEDycQMygBegUIARCxAQ>.
- [30] [https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.youtube.com%2Fwatch%3Fv%3DHtZFFo4rJWs&psig=AOvVaw1pEvCosjxNMI\\_DivxujFPU&ust=1663865729221000&source=images&cd=vfe&ved=0CA0QjhqxqFwoTCMjExYatpvoCFQAAAAAdAAAAABAJ](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.youtube.com%2Fwatch%3Fv%3DHtZFFo4rJWs&psig=AOvVaw1pEvCosjxNMI_DivxujFPU&ust=1663865729221000&source=images&cd=vfe&ved=0CA0QjhqxqFwoTCMjExYatpvoCFQAAAAAdAAAAABAJ).



## **.Références Bibliographie**

[31] [https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.youtube.com%2Fwatch%3Fv%3DHtZFFo4rJWs&psig=AOvVaw081BEnR\\_VAW\\_nrj7ij9CDn&ust=1663878977272000&source=images&cd=vfe&ved=0CAwQjRxqFwoTCPj91NLepvoCFQAAAAAdAAAAABAG](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.youtube.com%2Fwatch%3Fv%3DHtZFFo4rJWs&psig=AOvVaw081BEnR_VAW_nrj7ij9CDn&ust=1663878977272000&source=images&cd=vfe&ved=0CAwQjRxqFwoTCPj91NLepvoCFQAAAAAdAAAAABAG)

[32] [https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fgc.univ-batna2.dz%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fdept-gc%2Ffiles%2Fles\\_conduites.pdf&psig=AOvVaw3SsA\\_kLc2cKbOr4Qrlk8TR&ust=1663788096469000&source=images&cd=vfe&ved=0CAwQr4kDahcKEwjIxq3qi6T6AhUAAAAAHQAAAAAQAw](https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fgc.univ-batna2.dz%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fdept-gc%2Ffiles%2Fles_conduites.pdf&psig=AOvVaw3SsA_kLc2cKbOr4Qrlk8TR&ust=1663788096469000&source=images&cd=vfe&ved=0CAwQr4kDahcKEwjIxq3qi6T6AhUAAAAAHQAAAAAQAw)