

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed khider –Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie civil et d'Hydraulique
Référence :/2020



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم الهندسة المدنية و الري
المرجع/2020

Mémoire de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en génie civil

Thème

**Contribution à l'étude des propriétés mécaniques
d'un béton de fibres**

Nom et Prénom de l'étudiant :
REMIDINI Hadjer

Encadreur : BEN AICHI Elhadj

Année universitaire : 2019 - 2020

DEDICACE

A mon cher père, qui portait fièrement son nom, il a été ma force et mon soutien dans la vie. Il m'a aidé tout au long de ma vie et même dans mes travaux pratiques en apportant les matériaux que j'utilisais,

Je l'ai beaucoup fatigué, pardonne-moi papa, le destin voulait et je l'ai perdu avant qu'il ne voie mon mémoire et le jour où j'ai obtenu mon diplôme



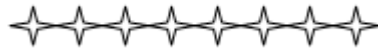
À qui tu m'as nourri d'amour et de tendresse

Au symbole de l'amour et du baume de guérison

Au cœur blanc de ma mère bien-aimée



Aux cœurs purs et tendres et aux âmes innocentes aux vents de ma vie ma sœur et mes frères: Houda, Nassim, Samir, Hammoudi.



A mes collègues de groupe matériaux en génie civil sans oublier ma chérie Amira Noubli qui m'ont ayants été mon bras droit

Remerciement

Avant tout, je remercie Dieu pour tous ses dons, la force et la santé qu'il m'a accordé afin de mener ce travail à terme.

Je tiens à remercier...

- ✚ Mon directeur du mémoire M. BEN AICHI El-hadj pour m'avoir donné la chance de réaliser ce mémoire, pour la confiance, il a manifesté un mon respect et pour m'avoir soutenu et toujours encouragé. Je lui exprime en toute sincérité ma gratitude pour sa disponibilité, sa confiance, sa gentillesse et surtout sa patience.
- ✚ Monsieur. TOUR Abd-Elmonaim - Ingénieur de laboratoire de matériaux et construction, pour m'avoir assisté dans la réalisation des éprouvettes et la conduite des essais de laboratoire, ET pour ses conseils.

Liste de notation

Liste de notation

- BT** : béton témoin.
- BF** : béton de fibre.
- BO** : béton ordinaire
- PP** : fibre polypropylène.
- R_c** : la résistance à la compression du béton.
- R_t** : résistance à la flexion.
- R_u** : Résistance de l'ultrason.
- T** : le temps.
- S** : section de l'éprouvette.
- I** : l'indice scléromètre.
- S** : sable.
- A, A'** : coefficients de la qualité des granulats et des liants.
- α** : coefficient d'écartement.
- D_{max}** : Diamètre maximal du gros granulat.
- C** : ciment.
- E** : eau.
- PC** : pierres concassée.
- G** : gravier.
- Rb** : classe du béton.
- E/C** : rapport eau sur ciment.
- ρ** : masse volumique apparente.
- γ** : masse volumique absolue.
- V** : volume.
- P (%)** : porosité.
- C (%)** : compacité.
- e (%)** : indice des vides.
- MF** : module de finesse du sable.
- E_{sv}** : équivalent de sable visuel.
- E_{sp}** : équivalent de sable par piston.

Liste de notation

- V** : la vitesse d'ultrason.
- ρ** : Masse volumique (Kg/m³).
- σ_t** : Contrainte de traction.
- F** : la charge de rupture.

Résumé

Résumé

Notre étude expérimentale consiste à étudier l'influence de l'introduction des fibres polypropylènes dans le béton ordinaire. Pour bien comprendre l'influence de ces fibres sur la résistance mécanique, on a opté pour une fibre de longueur : 12mm et on a varié le pourcentage (dosage) des fibres : **0.2%, 0.4%, 0.6% et 0.8%**

Cette étude a mis en évidence le rôle et l'influence du taux de fibres sur les caractéristiques des bétons. L'incorporation des fibres dans le béton est bénéfique pour l'amélioration de la ductilité du matériau béton connu pour sa fragilité en traction.

Les résultats obtenus montrent que l'incorporation des fibres de polypropylène affecte les caractéristiques des bétons frais. En effet, l'affaissement du béton fibré diminue en fonction du taux de substitution jusqu'à devenir très ferme. Les fibres de longueur 12mm donnent une meilleure maniabilité. Par rapport à un béton ordinaire sans fibres, il est clair que la masse volumique du béton diminue sensiblement pour les dosages en fibres de l'ordre de 0,8% pour une longueur de 12mm

Le faible dosage en fibres donne des meilleures performances mécaniques à la compression (dosage 0,2%) pour les fibres de longueur 12mm. Le taux de 0,6% en fibres de 12mm donne des résistances à la flexion bien meilleure que celles d'un béton sans fibres

Les résistances mécaniques des bétons fibrés sont proportionnelles aux masses volumiques : il y a corrélation entre masse volumique et résistance.

Mots-clés : béton, fibre polypropylène, les résistances mécaniques, ductilité

ملخص

دراستنا التجريبية هي دراسة تأثير إدخال ألياف البولي بروبيلين في الخرسانة العادية. لفهم تأثير هذه الألياف بشكل كامل على المقاومة الميكانيكية، اخترنا ألياف بطول: 12 مم وقمنا بتغيير النسبة المئوية (الجرعة) من الألياف: 0.2% ، 0.4% ، 0.6% و 0.8%.

سلطت هذه الدراسة الضوء على دور وتأثير محتوى الألياف على خصائص الخرسانة.

يعتبر دمج الألياف في الخرسانة مفيداً في تحسين ليونة مادة الخرسانة المعروفة بهشاشتها في الشد.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن دمج ألياف البولي بروبيلين يؤثر على خصائص الخرسانة الطازجة. وذلك لأن ترهل الخرسانة المسلحة بالألياف يتناقص وفقاً لمعدل الاستبدال حتى تصبح صلبة جداً. توفر الألياف بطول 12 مم معالجة أفضل. مقارنةً بالخرسانة العادية بدون ألياف ، من الواضح أن الكتلة الحجمية للخرسانة تتناقص بشكل كبير لجرعات الألياف بحوالي 0.8% بطول 12 مم. تعطي جرعة الألياف المنخفضة أداءً ميكانيكياً أفضل في الانضغاط (جرعة 0.2%) للألياف بطول 12 مم. معدل 0.6% في ألياف 12 مم يعطي مقاومة الانحناء أفضل بكثير من تلك الموجودة في الخرسانة بدون ألياف. تتناسب القوة الميكانيكية للخرسانة المسلحة بالألياف مع الكتلة الحجمية: هناك ارتباط بين الكتلة الحجمية والمقاومة.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة ، ألياف البولي بروبيلين ، القوة الميكانيكية ، الليونة

Abstract

Our experimental study is to study the influence of the introduction of polypropylene fibers in ordinary concrete. To fully understand the influence of these fibers on the mechanical strength, we opted for a fiber of length: 12mm and we varied the percentage (dosage) of the fibers: **0.2%, 0.4%, 0.6% and 0.8%**.

This study highlighted the role and influence of the fiber content on the characteristics of concrete.

The incorporation of fibers into concrete is beneficial for improving the ductility of the concrete material known for its brittleness in traction.

The results obtained show that the incorporation of polypropylene fibers affects the characteristics of fresh concrete. This is because the sag of fiber-reinforced concrete decreases according to the substitution rate until it becomes very firm. The 12mm length fibers give better handling. Compared to ordinary concrete without fibers, it is clear that the density of the concrete decreases significantly for fiber dosages of around 0.8% for a length of 12 mm.

The low fiber dosage gives better mechanical performance in compression (dosage 0.2%) for fibers of 12mm length.

The rate of 0.6% in 12mm fibers gives flexural strengths much better than those of concrete without fiber.

The mechanical strengths of fiber-reinforced concrete are proportional to the densities: there is a correlation between density and strength.

Keywords: concrete, polypropylene fiber, mechanical strengths, ductility

Sommaire

Sommaire

Chapitre I :

Introduction générale	1
1 Introduction:	2
2 Les fibres:	2
3 Differentes nature des fibres :	2
3.1 Fibres minérales :	3
3.2 Fibres végétales :	3
3.3 Fibres synthétiques :	3
3.4 Fibres artificielles :	3
3.4.1 Fibres de polypropylène	3
3.4.2 Fibres de verre	4
3.4.3 Fibres métalliques	4
4 Utilisation des fibres dans le béton:	5
4.1 Rôle des Fibre dans le Béton:	5
Amélioration des caractéristiques mécaniques :	7
Contrôle de la fissuration de retrait :	7
5 Propriétés physiques et mécaniques de fibres :	8
6 Avantages des fibres :	8
7 Critère de choix du type des fibres	9
8 Propriétés des fibres de polypropylène :	10
9 Les bétons de fibres de polypropylène	10
10 Application	11
11 Conclusion:	11

Chapitre II :

1 Introduction:	13
2 Caractéristique des matériaux:	13
2.1 Caractéristiques du Gravier :	13
2.1.1 Analyse granulométrique par tamisage NA EN 933 – 5 :	13
2.1.2 Masse volumique :	15
2.1.3 La porosité:	16
2.1.4 La compacité:	17
2.1.5 L'indice des vides:	17
2.2 Caractéristiques du Sable:	18

Sommaire

2.2.1	Analyse granulométrique NA EN 933 – 5	18
2.2.2	Modules de finesse:	19
2.2.3	Equivalent de sable : NA EN 933 – 8	20
2.2.4	Masse volumique : NF P18 – 555	21
2.2.5	La porosité:	22
2.2.6	La compacité:	23
2.2.7	L'indice des vides :	23
2.3	Caractéristiques de ciment:	24
2.4	L'eau de gâchage :	25
2.5	Caractéristique de fibre polypropylène :	25
2.5.1	Propriétés :	25
3	Calcul de la composition du béton :	26
3.1	Formulation de scramtaiev :	26
3.1.1	Le rapport C/E selon les expressions :	26
3.1.2	La quantité d'eau de gâchage :	26
3.1.3	Quantité de ciment :	27
3.1.4	Quantité de pierres concassées :	27
3.1.5	La quantité de sable :	27
3.1.6	Quantité de sable :	28
3.1.7	Quantité de fibre polypropylène pour 6 éprouvettes cubiques :	30
3.1.8	Pour éprouvette prismatique (7× 7 × 28)cm ³	30
3.1.9	Les quantités de fibre polypropylène pour éprouvettes prismatique : 31	
3.1.10	Pour éprouvette cylindrique (16× 32)cm	31
3.1.11	Les quantités de fibre polypropylène pour éprouvettes cylindriques (16× 32)cm :	32
3.1.12	Quantité des matériaux :	32
4	Le malaxage:	32
5	Les essais sur le béton :	33
5.1	Essais à l'état frais :	33
5.1.1	Essai du cône d'Abrams : NF EN 12350 – 2	33
5.1.2	Vibration:	34
5.2	Essais à l'état durci	34
5.2.1	Essais non destructifs :	34
5.2.2	Essais destructifs :	38

Sommaire

6 Conclusion :	41
<i>Chapitre III:</i>	
1 Introduction :	42
2 L'étude de béton.....	42
2.1 Etat frais.....	42
2.1.1 L'affaissement au cône d'abrams	42
2.1.2 La masse volumique :	43
3 Etat durci :.....	43
3.1 La Résistance à la compression.....	43
3.2 La masse volumique	45
3.3 La Résistance à la traction.....	46
3.3.1 Traction par flexion.....	46
3.3.2 Traction par fendage	48
4. Les résultats du scléromètre et ultrason	49
5 Conclusion	54
1 Introduction:	55
2 Conclusions générale:	55
3 Recommandations et perspectives.....	56
Références bibliographie	

Liste des figures

CHAPITRE I

Figure I. 1: différent nature de fibre.	5
Figure I. 2: fissuration dans le béton sans et avec fibres	6
Figure I. 3: comportement de charge-déformation de béton avec et sans fibres	6
Figure I. 4: texture d'un béton fibré.	7

CHAPITRE II

Figure II. 1: courbe granulométrique du gravier.	14
Figure II. 2: courbe granulométrique du sable.....	19
Figure II. 3: le ciment utilise CEM II/A 42.5[4]	24
Figure II. 4: L'affaissement de cône d'Abrams d'un béton.	34
Figure II. 5: essai sclérométriques.....	36
Figure II. 6: Abaques donnant la résistance de compression en fonction de l'indice sclérométriques IS.....	36
Figure II. 7: Essai d'ultrason.	37
Figure II. 8: La machine pour essai de compression et affichage de la résistance.....	39
Figure II. 9: Dispositif pour mesurer la résistance à la traction par flexion.....	40
Figure II. 10: Dispositif pour mesurer la résistance à la traction fendage.....	41

CHAPITRE III

Figure III. 1: Affaissement des bétons en fonction du taux de substitution en fibres.....	42
Figure III. 2: La masse volumique du béton frais en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibres polypropylène (kg/m^3).....	43
Figure III. 3: la résistance à la compression du béton en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibre.....	44
Figure III. 4: quelques échantillons de béton en fibres qui à tenir des essais destructifs et non destructifs	45
Figure III. 5: Variations de la masse volumique du béton durci (7 et 28j) en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibres:.....	46
Figure III. 6: peser des échantillons pour trouver le masse volumique du BO et BF (PP)...	46
Figure III. 7: Variation de la résistance en traction par flexion en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibres	47
Figure III. 8: l'écrasements d'échantillons prismatique ($7 \times 7 \times 28$) du BO et BF (pp) à la résistance de traction par flexion.....	48
Figure III. 9: Variation de la résistance en traction par fendage en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibres	49
Figure III. 10: essai de traction par fendage (essai brésilien).	49
Figure III. 12: mesures à la scléromètre des éprouvettes cubiques.....	50
Figure III. 11: contrôles non destructifs (scléromètre) à des éprouvettes cubiques.....	50
Figure III. 13: contrôle non destructifs (auscultation dynamique).	51
Figure III. 14: mesures à l'ultrason d'éprouvettes cubiques ($10 \times 10 \times 10$).	52
Figure III. 15: contrôles non destructifs de cylindre (sclérométriques).....	52

Liste des figures

Figure III. 16: essais d'ultrasons, sur les moules cylindres L=32cm.....	53
Figure III. 17: mesures à l'ultrason d'éprouvettes cylindrique L=32cm.	54

Liste des tableaux

CHAPITRE I

Tableau I. 1: propriétés physiques et mécaniques de certaines fibres.	9
---	---

CHAPITRE I

Tableau II. 1: Analyse granulométrique de gravier.	14
Tableau II. 2: la masse volumique apparente du gravier.	15
Tableau II. 3: la masse volumique absolue du gravier (8/15) et (15/20)	16
Tableau II. 4: la porosité du gravier (8/15) et (15/20)	17
Tableau II. 5: la compacité du gravier (8/15) et (15/20).....	17
Tableau II. 6: l'indice des vides	17
Tableau II. 7: analyse granulométrique du sable	18
Tableau II. 8: module de finesse du sable.....	19
Tableau II. 9: équivalent de sable ESv	21
Tableau II. 10: comparaison des résultants de l'équivalent de sable ESv , ESp	21
Tableau II. 11: la masse volumique apparent à l'états lâche.	22
Tableau II. 12: les résultats de la masse volumique absolue.	22
Tableau II. 13: la porosité du sable.....	23
Tableau II. 14: la compacité du sable.	23
Tableau II. 15: l'indice des vides.....	23
Tableau II. 16: les caractéristiques de ciment CPG-CEMII/A 42.5	25
Tableau II. 17: valeur des coefficients $A.A'$	26
Tableau II. 18: quantité d'eau nécessaire à la preparation du béton.....	26
Tableau II. 19: valeur de coefficient α	27
Tableau II. 20: quantité de mélange des moules cubiques ($10 \times 10 \times 10$) cm^3	30
Tableau II. 21: quantité de mélange des moules prismatique ($7 \times 7 \times 28$) cm^3	31
Tableau II. 22: quantité de mélange des moules cylindriques (16×32) cm	32
Tableau II. 23: Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams....	33

CHAPITRE III

Tableau III. 1: Variations de l'affaissement du béton en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibres polypropylène	42
Tableau III. 2: Variations de la masse volumique du béton frais en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibres polypropylène (kg/m^3).....	43
Tableau III. 3: Variations de la résistance à la compression du béton en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibres polypropylène (MPa).....	43
Tableau III. 4: variations de la masse volumique du béton durci (7 et 28j) en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibres polypropylène (kg/m^3	45
Tableau III. 5 : Variation de la résistance en traction par flexion en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibres polypropylène	47
Tableau III. 6: variation de la résistance en traction par fendage en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibres polypropylène	48
Tableau III. 7: résultat des controles non desstructifs (scléromètre)	49
Tableau III. 8: Résultat des contrôles non destructifs (auscultation dynamique).....	51

Liste des tableaux

Tableau III. 9 : résultats des contrôles non destructifs (scléromètre) cylindre.	52
Tableau III. 10: les résultats des essais, d'ultrasons, sur les moules cylindres L=32cm	53

*Introduction
générale*

Introduction générale

Le béton est l'un des matériaux de construction les plus importants de l'ère moderne, notamment avec son armature en acier, pour devenir du béton armé. Il a été utilisé depuis sa découverte environ deux mille ans dans la plupart des bâtiments, en raison de sa facilité de formation et de sa possibilité de mise en œuvre.

Le béton a de nombreuses propriétés qui le distinguent des autres matériaux, car il prend progressivement une forme solide avec le temps, car il est très résistant aux contraintes dans sa résistance à la traction, de sorte que le béton ordinaire n'est jamais utilisé dans les endroits où des contraintes de traction se produisent. Pour le surmonter, le béton armé a été inventé car c'est une excellente résistance, mais il n'est pas toujours applicable, notamment dans le cas de pièces minces qui posent des problèmes dans l'installation et la protection de l'acier.

Le béton fibreux est apparu comme une alternative au béton armé, en produisant des éléments minces et en les combinant avec le béton afin qu'ils soient capables de résister à leurs contraintes après la rupture du rang.

Les fibres sont utilisées dans le béton pour lutter contre les fissures causées par le retrait ductile et la sécheresse induite par le retrait.

L'objectif de notre étude expérimentale consiste à étudier l'influence de l'introduction des fibres polypropylènes dans le béton ordinaire .pour bien comprendre l'influence de ces fibres sur la résistance mécanique.

Le présent travail est représenté en trois chapitres

Après une Introduction générale.

Le premier chapitre présente une revue bibliographique sur le béton de fibre.

Le deuxième chapitre détaille les matériaux employés et les différents essais réalisés.

Le troisième chapitre est consacré aux résultats et discussion des résultats.

Le quatrième chapitre est conclusion général et perspective.

Chapitre I :

Le béton de fibre

1 Introduction:

Dans le monde de la construction, les ingénieurs de laboratoire rivalisent pour renouveler et développer les matériaux utilisés dans la construction en améliorant la qualité du béton et en évitant les problèmes auxquels l'installation est confrontée, tout en améliorant les propriétés physiques et mécaniques et en garantissant sa durabilité. Pour résoudre ces problèmes, les ingénieurs se sont appuyés sur l'ajout de fibres au béton.

Dans ce chapitre, je présente ce que j'ai fait avec une recherche générale sur la nature et les types différents de ces fibres qui sont utilisées, et leur effet sur le béton.

2 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. Généralement les fibres sont aussi utilisées pour définir le constituant élémentaire des structures textiles. Par ailleurs, on distingue la fibre de longueur réduite ou fibre courte, de 20 à 150 mm, et la fibre de grande longueur ou filament continu.

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 la mode de performance du composite [1] .

3 Différentes nature des fibres :

Les fibres sont ajoutées aux matériaux cimentaires afin d'améliorer leurs caractéristiques à l'état durci. Les fibres sont classées selon leur origine (naturelle, synthétique ou artificielle, leur forme (droite, ondulée, aiguille, ...etc.), leur dimension (macro ou microfibre) et aussi par leur propriétés mécaniques. Les principales fibres utilisées sont:

3.1 Fibres minérales :

Elles regroupent plusieurs sortes de fibres (amiante, alumine ... etc), et sont utilisées en grande quantité dans plusieurs applications traditionnelles. Les fibres d'amiante autrefois utilisée pour l'isolation, se sont aujourd'hui révélées cancérogènes.

3.2 Fibres végétales :

La principale fibre végétale est la cellulose qui résiste aux alcalis. Les fibres végétales résistent à la plupart des acides organiques mais sont détruite par les acides minéraux forts. Il existe quatre sortes de fibres végétales: les fibres provenant des poils, les fibres de liber. Elles sont souvent utilisées dans la fabrication du papier et dans les panneaux de construction (fibres de bois).

3.3 Fibres synthétiques :

Cette famille regroupe plusieurs types de fibres comme (nylon, polypropylène, polyester ...etc). Elles sont apparues à la fin du XIX^{ème} siècle sous le nom de rayonne. Elles sont dérivées de la cellulose naturelle. Aujourd'hui, la plupart des fibres synthétiques proviennent des produits dérivés du pétrole et de polymères géants dont la structure ressemble à celle des matières plastiques. La première fibre plastique commercialisée avec succès, le Nylon, daté de 1938. Depuis, de nombreux synthétiques, dont les fibres acrylique, l'aramide, l'oléfine et le polystyrène sont apparus. Ces fibres ont également été étudiées à des fins industrielles très précises, telles que la fabrication des matériaux d'isolation, t'issus pare-balle, les fuselages et ailes d'avion.

3.4 Fibres artificielles :

Ce type de fibre est le plus utilisé dans le domaine industriel en général et dans le domaine de génie civil en particulier. Il regroupe les fibres de verre, les fibres de carbone, les fibres d'acier et d'autre. Elles sont aujourd'hui les plus répandues dans l'industrie de la construction. Nous allons présenter quelques principales fibres utilisées pour renforcer les mortiers et bétons.

3.4.1 Fibres de polypropylène

Le polypropylène est un polymère cristallisable de la famille de polyoléfines. Il est fabriqué depuis 1954 pour l'industrie textile. Il a connu une extension croissante dans ce domaine où il apporte les avantages suivants: bonne résistance à la traction qui peut atteindre 800 MPa, déformabilité élevée.

Ces fibres sont obtenues suivant les processus d'extrusion, étirage qui confère une orientation prépondérante aux molécules et qui engendre des propriétés mécanique élevées. L'ajout des fibres de polypropylène au mortier et au béton remonte à 1960 mais ce n'est qu'à partir de 1967 qu'apparaissent des réalisations intéressantes notamment en Grande Bretagne. Ces fibres sont utilisées dans les bâtiments pour l'élaboration de panneaux décoratifs, ainsi que l'élaboration de revêtement de façades de plusieurs constructions et aussi dans la réalisation des canalisations et des pieux.

3.4.2 Fibres de verre

Ces fibres sont fabriquées à partir de verre fondu qui passe dans une filière, chauffé par effet Joule, qui comporte 50 à 800 tours d'un diamètre de l'ordre de 10 à 100 mm. Elles sont disponibles dans le commerce sous forme de bobines (découpage à la demande) ou sous forme de morceaux prédécoupés de 3, 6, 12 et 50 mm de long. Ils sont regroupés en trois types: les fibres de verre classique (silice, soude, chaux), la fibre de verre au zirconium et la fibre au borosilicate. Ces fibres sont généralement caractérisées par les propriétés suivantes:

- Bonne adhérence avec la matrice ;
- Disponibilité sous toutes les formes (coupées, continues.....) ;
- Bonne résistance à l'humidité et à la corrosion ;
- Conductivité thermique relativement faible.

3.4.3 Fibres métalliques

Ce type de fibres, qui regroupe les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, a été reste encore l'objet de recherche très importante dans le monde. On se limite aux fibres d'acier qui sont les plus utilisées dans le domaine de génie civil. En effet les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion interfaciale entre fibre et la matrice. Les fabricants des fibres d'acier ont essayé par tous les moyens d'améliorer l'adhérence en jouent sur l'irrégularité de la surface de la fibre. Ce qui les conduits aux nombreuses variété de fibre qui se différencient les unes des autres par leurs diamètre, leur section (rond, carré, rectangulaire). Leur longueur et leur mode d'opération. Les diamètres des fibres d'acier varient généralement entre 0,1 et 0,7 mm, avec des longueurs de 10 à 70 mm.

Les fibres métalliques utilisées en dallage industriel sont les plus souvent des fibres tréfilées comportant généralement des fils de 1mm de diamètre. Les différentes fibres existantes se différencient les unes des autres par le type d'ancrage actif dans la matrice du béton. Il existe des fibres fabriquées avec un ancrage dit déformable, par exemple des fibres à crochets.

Il existe d'autres types de fibres artificielles qui sont utilisés pour le renforcement des mortiers ou bétons (telles que, fibres d'amiante, fibres de cellulose...)

Chaque type de fibres présente des caractéristiques et des propriétés qui lui sont propres (dimensions (diamètre, longueur...), formes (lisse, rugueuse, plate, ondulée, crantée...), résistance à la traction et adhérence au béton, qui procurent un comportement mécanique spécifique aux structures renforcées de fibres. [2]

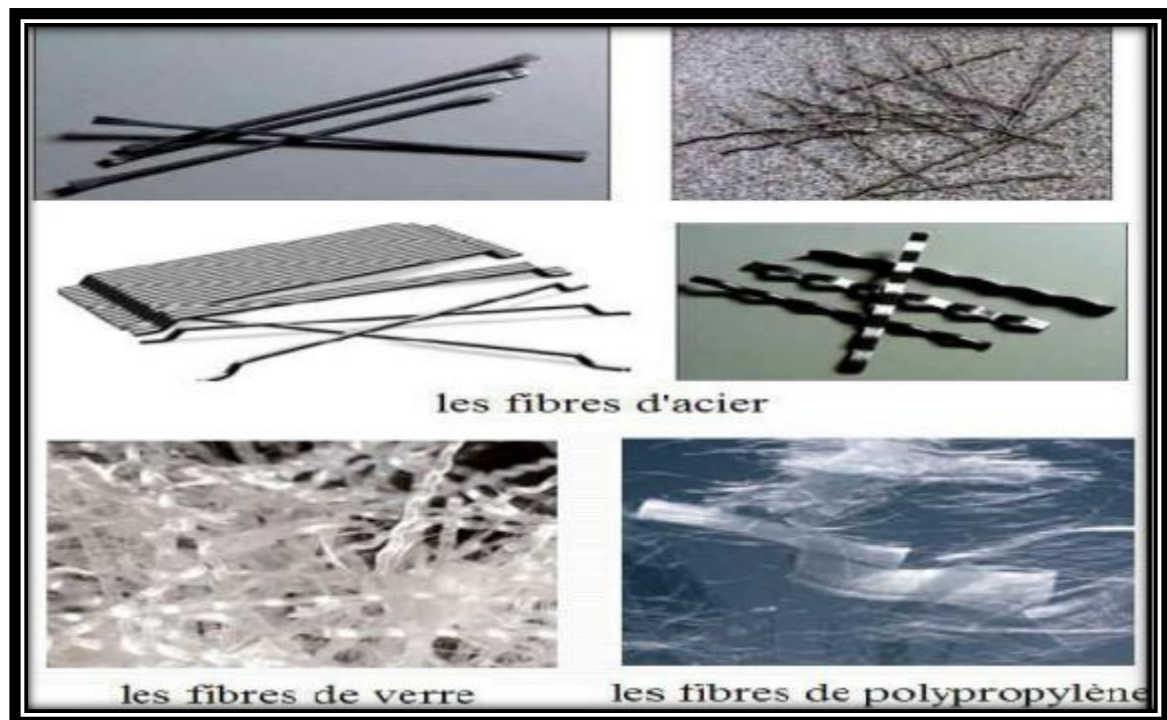


Figure I. 1: différentes natures de fibres. [2]

4 Utilisation des fibres dans le béton:

4.1 Rôle des fibres dans le Béton:

Dans les premières études, les chercheurs ont essayé, par l'incorporation de fibres dans le béton, d'augmenter ses caractéristiques mécaniques comme la résistance à la compression ou la résistance à la flexion, mais les résultats obtenus n'étaient pas ceux escomptés [3].

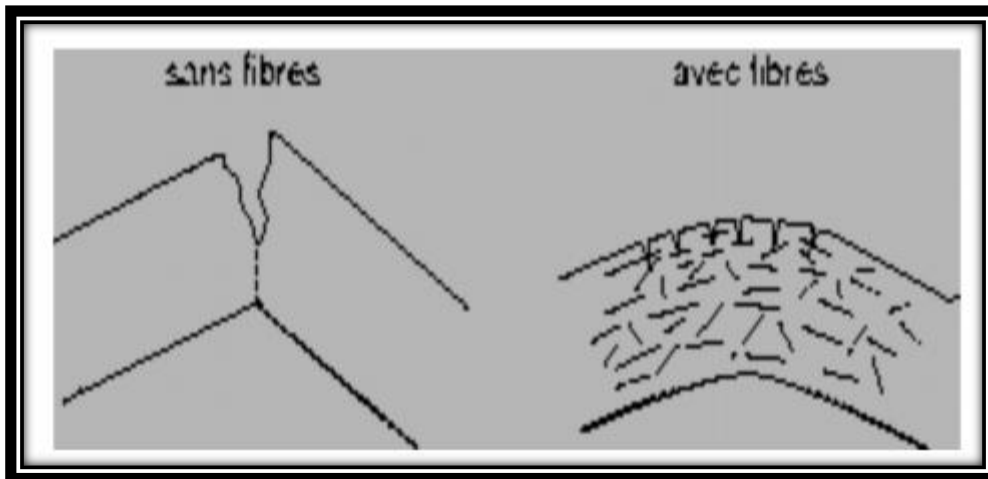


Figure I. 2: fissuration dans le béton sans et avec fibres. [3]

Il est à noter que le rôle principal des fibres dans un matériau peut-être lié à deux points essentiels:

- le contrôle de la propagation d'une fissure dans un matériau en état de service en réduisant l'ouverture des fissures, comme il est indiqué dans **la figure 1.2.**
- la transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes voir **figure1.3.**

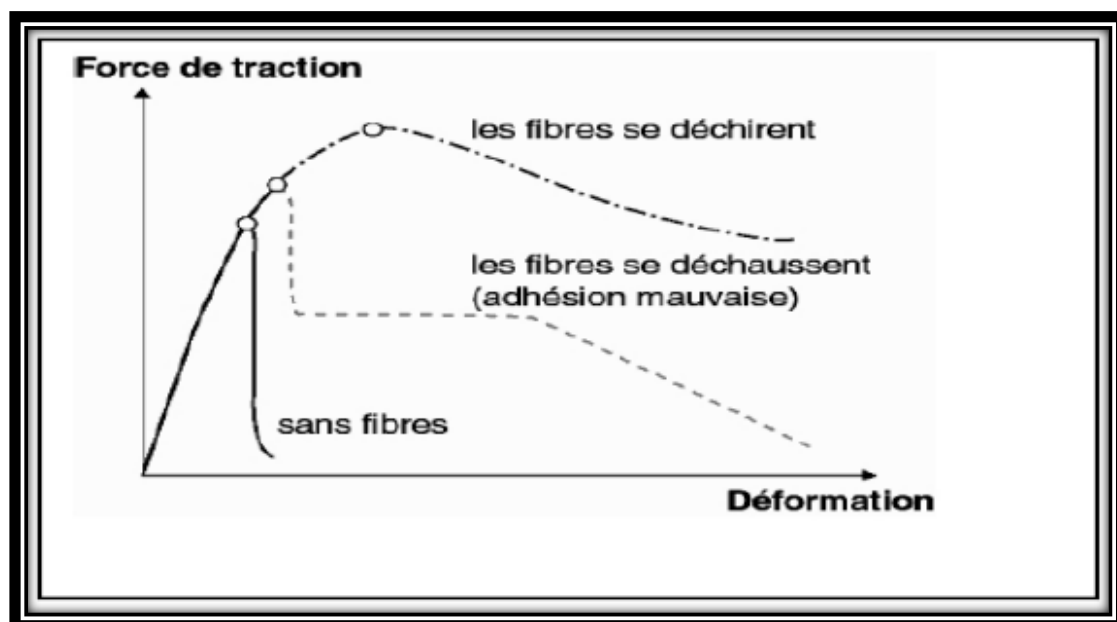


Figure I. 3: comportement de charge-déformation de béton avec et sans fibres. [3].

Amélioration des caractéristiques mécaniques :

L'utilisation de fibres augmente la ductilité du béton, c'est-à-dire ses caractéristiques en post-fissuration. De plus, l'utilisation de fibres peut apporter une amélioration en flexion, en tension, en torsion et en cisaillement ainsi qu'à la résistance aux impacts et à la fatigue. Un béton fibré continue donc à supporter des charges après la formation de fissures.

L'augmentation de la capacité en flexion est obtenue grâce à l'augmentation de la résistance résiduelle par l'utilisation des fibres. Cette propriété est aussi fonction de la nature, de la quantité et de l'efficacité des fibres utilisées. Il est important de se rappeler que la distribution uniforme des fibres dans le mélange est la condition essentielle pour obtenir une amélioration des caractéristiques mécaniques du béton fibré.

Il faut combiner tout apport de fibres dans le béton à des techniques d'insertion des fibres permettant d'éviter la formation « d'oursins ».

Contrôle de la fissuration de retrait :

Selon l'efficacité du type de fibres utilisé, il est possible de mieux contrôler et de diminuer le phénomène de fissuration et d'augmenter les propriétés mécaniques en post-fissuration. [3].



Figure I. 4: texture d'un béton fibré. [3].

5 Propriétés physiques et mécaniques de fibres :

Si le module d'élasticité de la fibre est élevé par rapport au module d'élasticité du béton, les fibres reprennent une part des charges, augmentant ainsi la résistance à la traction du matériau.

L'augmentation du rapport longueur/diamètre des fibres accroît habituellement la résistance à la flexion et la ténacité du béton. Les valeurs de ce rapport sont généralement comprises entre 100 et 200, car des fibres de trop grande longueur ont tendance à former des boules dans le mélange, créant ainsi des problèmes d'ouvrabilité.

En général, les fibres réduisent le fluage, c'est-à-dire la déformation du béton avec le temps sous une contrainte constante. Par exemple, le fluage en traction d'un béton renforcé de fibres d'acier peut représenter seulement 50 à 60 % de celui d'un béton ordinaire et le fluage en compression, 10 à 20%.

Le retrait du béton, qui est provoqué par la perte de l'eau pendant le séchage, est en partie empêché par les fibres. Le retrait du béton peut être diminué de 35 % ou moins si l'on ajoute 1,5 % de fibres par volume.

6 Avantages des fibres :

- Les fibres peuvent remplacer le treillis soudé, afin de maîtriser la fissuration de retrait, parce que les treillis soudés sont souvent utilisés pour éviter le phénomène de retrait du béton,
- Les fibres retardent la microfissuration et améliorent le comportement postfissuration en maintenant les différents blocs de béton. Elles empêchent le retrait au jeune âge et s'opposent au faïençage (le faïençage correspond à l'apparition de nombreuses fissures très fines qui forment un réseau hexagonal ou octogonal). Le retrait du béton peut être diminué de 35 % ou moins si l'on ajoute 1,5 % de fibres par volume.
- Les fibres améliorent la ductilité du béton durci et à un degré moindre la résistance à la traction.
- Les fibres augmentent la résistance au choc du béton.
- Les fibres réduisent le fluage, c'est-à-dire la déformation du béton avec le temps sous une contrainte constante. Par exemple, le fluage en traction d'un

béton renforcé de fibres d'acier peut représenter seulement 50 à 60 % de celui d'un béton ordinaire et le fluage en compression, 10 à 20 %.

Parmi les fibres les plus utilisées, nous citons les fibres d'acier, de verre, d'amiante et de polypropylène (tableau I.1).

Tableau I. 1: propriétés physiques et mécaniques de certaines fibres. [2]

Fibre	Diamètre (cm)	Densité	Allongement de rupture (%)	Module d'élasticité (GPa)	Résistance en traction (GPa)
Acier	5-500	7,8	3-4	200	1-3
Verre	9-15	2,6	2-3,5	80	2-3
Polypropylène	7,5	0,9	20,0	5	0,5
Amiante	0,02-20	2,5-3,4	2,3	200	3

Si le module d'élasticité de la fibre est élevé par rapport au module d'élasticité du béton, les fibres reprennent une part des charges, augmentant ainsi la résistance à la traction du matériau. L'augmentation du rapport longueur/ diamètre des fibres accroît habituellement la résistance à la flexion et la ténacité du béton. Les valeurs de ces rapports sont généralement comprises entre 40 et 100, des fibres de trop grande longueur ont tendance à former des oursins dans le mélange, créant ainsi des problèmes d'ouvrabilité.

En règle générale, les fibres sont éparpillées au hasard dans le béton; toutefois, si on traite le béton pour que les fibres soient alignées dans la direction des contraintes en service, on obtient de meilleure résistance en traction et en flexion. Ce procédé est assez compliqué, néanmoins, il commence à se développer en utilisant les champs magnétiques. [2]

7 Critère de choix du type des fibres

La nature, la forme, et les propriétés chimiques, physiques, et mécaniques des fibres choisies dépendent de :

- La qualité a conférée à la matrice cimentaire,
- La compatibilité avec les composantes de la matrice « ciment-granulats »,
- Une bonne adhérence avec la matrice cimentaire,
- Conservation de leurs propriétés dans le temps.

Les fibres en amiante utilisées avec le ciment ont prouvées la bonne tenue, et la durabilité du composite dans le temps; Par contre les fibres de verre leur performance mécanique chute par la réaction de ciment sur le verre (effet des alcalins) Malgré que ce problème est solutionné en partie par une mise au point d'un verre à haute teneur en zirconium l'utilisation des fibres de verre est toujours limitée.

Les fibres de nylon et polypropylène sont instables devant l'action des rayons ultraviolets ils doivent être protégés.

La technologie du béton armé a montré que l'acier a une très bonne compatibilité avec le béton :

- Protection par le ciment,
- Bonne adhérence,
- Coefficient de dilatation est presque le même,
- Grande résistance.

Par leurs propriétés et qualités les fibres métalliques sont les plus adaptables et les plus utilisées avec la matrice de béton. [4]

8 Propriétés des fibres de polypropylène :

Si leurs caractéristiques mécaniques ont des valeurs plus faibles que celles des fibres métalliques, il faut cependant mentionner leur insensibilité chimique, leur souplesse, qui rend aisée leur incorporation au béton et leur allongement à la rupture (15 à 20 %), qui favorise la « ductilité » du béton.

Comme la plupart des matières plastiques, les fibres de polypropylène sont peu résistantes au feu : leur température de fusion est d'environ 160 C mais leur fusion n'affecte pas la résistance du béton[5]

9 Les bétons de fibres de polypropylène

La fabrication du béton avec fibres de polypropylène ne soulève aucune difficulté, la répartition des fibres se faisant facilement et ne nécessitent pas de précaution particulière lors de malaxage.

Les fibres de polypropylène améliorent la maniabilité du béton et sa cohésion.

Ces propriétés sont intéressantes pour les pièces à démolage immédiat (bordures, tuyaux) en même temps qu'elles améliorent l'aspect et la précision des angles, des tranches ou arêtes des pièces moulées ou des dallages.

Le grand avantage des bétons de fibres de polypropylène est leur bonne résistance à la fissuration due au « premier retrait » ainsi que leur résistance aux chocs. Les dosages couramment pratiques sont de l'ordre de 0.05 à 0.2 en volume (0.5 à 2 Kg de fibres par m³ de béton)

10 Application

Des propriétés précédentes découlent les applications des bétons de fibres de polypropylène:

- Dallages industriels et chaussées
- Pièces préfabriquées (panneaux décoratifs)
- Sculptures
- Éléments réalisées avec coffrages glissants
- Mortiers projetés
- Enduits [5]

11 Conclusion:

Dans certaines régions, le béton fibré semble intéressant. Au niveau de son prix, la difficulté de fabrication et de mise en œuvre limite son utilisation. Bien que l'incorporation de fibres soit une délicate.

La recherche en génie civil expérimente depuis longtemps le béton fibré avec différents types de fibres, afin de fournir des analyses complémentaires pour comprendre le comportement de ce matériau.

Plusieurs expériences sont réalisées mais souvent les résultats obtenus sont très différents d'un laboratoire à l'autre, en raison des méthodes utilisées qui ne présentent pas toujours le même intérêt commercial.

Ces essais en laboratoire sont déjà étayés par un certain nombre de réalisations pratiques.

Chapitre II:
Les matériaux
employés et les
différents essais
réalisés

1 Introduction:

Dans ce chapitre, on présente les différents matériaux et matériels utilisés dans les essais de cette étude, en tenant compte des normes mondiales applicables, en plus de leurs caractéristiques. Nous on expose les calculs de formulation du béton avec l'identification des différentes essais utilisées, qu'il s'agisse de béton frais ou durci, des essais non destructifs (mesures de dureté et ultrasons) et des essais non destructifs (compression et flexion) avec leur procédures que nous menons sur du béton durci.

2 Caractéristique des matériaux:

Les matériaux utilisés dans notre étude sont des matériaux locaux, nous avons effectué des essais expérimentaux qui concernent leurs caractéristiques au laboratoire de génie civil de l'université de Biskra.

2.1 Caractéristiques du Gravier :

Les fractions de graviers utilisés dans notre étude expérimentale pour la confection des différents types de béton sont : (8/15) et (15/25).

2.1.1 Analyse granulométrique par tamisage [NA EN 933 – 5] :

- **But de l'essai :**

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différents grains constituant l'échantillon.

- **Principe de l'essai :**

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

Les masses des différents refus et tamisât sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme de tableaux et sous forme graphique.

- Préparation de l'échantillon pour l'essai :

L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme (NA EN 933-5). La masse **M** de l'échantillon pour essai doit être supérieure à **0.2D**, avec **M** exprimé en kilogrammes et **D** plus grande dimension spécifiée en millimètres.

Tableau II. 1: Analyse granulométrique de gravier.

Type de granulats	Maille de tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumuli		Tamisât (%)
			(g)	(%)	
8/15	16	52.08	52.08	1.736	98.26
	12.5	2364.34	2416.42	80.54	19.46
	10	382.36	2798.78	93.29	06.71
	8	172.1	2970.88	99.02	00.98
	6.3	23.41	2994.29	99.80	00.20
	5	0.21	2994.5	99.81	00.19
	Fond				
15/20	20	727.1	727.1	18.17	81.83
	16	2978.2	3705.3	92.63	07.37
	12.5	268.3	3973.6	99.34	07.66
	10	3.2	3976.8	99.42	07.58
	8	0.3	3977.1	99.43	09.57
	Fond				

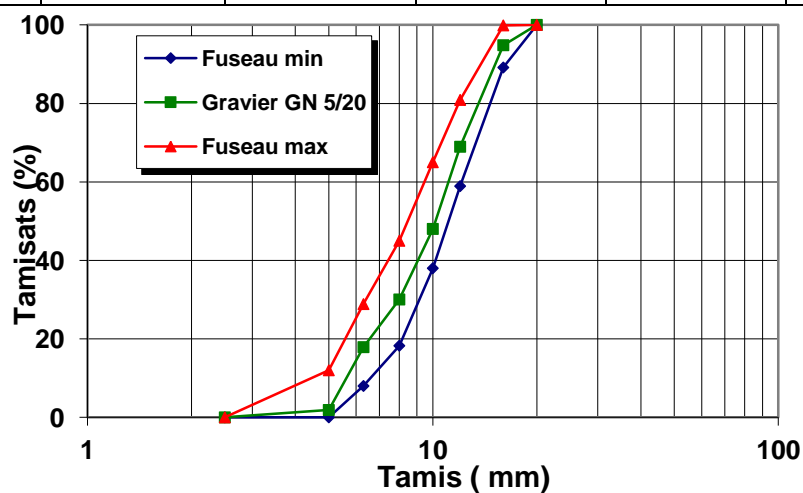


Figure II. 1: courbe granulométrique du gravier.

2.1.2 Masse volumique :

a) Masse volumique apparente :

C'est la masse d'un corps par unité de volume total y compris des vides entre les grains de constituants.

- **Mode opératoire :**

Le poids apparent est déterminé par pesage d'un volume déterminé du matériau séché jusqu'à la formulation du poids

- ✓ Peser le récipient à vide M_1 .
- ✓ On verse le gravier d'une hauteur de 10 cm dans un récipient de poids M_1
- ✓ On remplit le récipient de gravier arasé au niveau de séparé supérieure par une règle
- ✓ On pèse le récipient avec le gravier on le poids M_2
- ✓ On répète l'essai 3 fois et on prend la moyenne de la masse volumique apparente du gravier et donnée par :

$$\gamma_{app} = \frac{(M_2 - M_1)}{V}$$

M_1 : Masse de récipient

M_2 : Masse de récipient + gravier

V : Volume du récipient

Tableau II. 2: la masse volumique apparente du gravier.

fraction	V (cm ³)	M ₁ (g)	M ₂ (g)	M _{2moy} (g)	γ_{app} (g/cm ³)
8/15	5000	3613	10300	1.33	1.36
			10500	1.37	
			10600	1.39	
15/20	5000	3613	10500	1.37	1.36
			10400	1.35	
			10500	1.37	

b) la masse volumique absolue :

la masse volumique absolue (spécifique) c'est la masse d'un corps par unité de volume de la matière pleine sans aucun vide entre les grains.[1]

- **Mode opératoire :**

- ✓ remplir une éprouvette graduée avec un volume P_0 d'eau.
- ✓ peser Un échantillon sec P_1 de granulats et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer tous les bulles d'air
- ✓ le liquide monte dans l'éprouvette, lire **le poids de l'ensemble P_2**
- ✓ la masse volumique est alors :

$$\rho_g = \frac{\rho_1 \times \rho_e}{(\rho_0 + \rho_1 - \rho_2)}$$

Tableau II. 3: la masse volumique absolue du gravier (8/15) et (15/20)

fraction	M (g)	$V_1 (cm^3)$	$V_2 (cm^3)$	$\rho_{app}(cm^3)$	$\rho_{appmoy} (g/cm^3)$
8/15	300	400	520	2.5	2.43
			530	2.3	
			520	2.5	
15/20	300	400	500	3	2.76
			510	2.3	
			500	3	

2.1.3 La porosité:

C'est le rapport entre le volume des vides d'un matériau et son volume total, elle représente donc le degré de remplissage de son volume occupé par les vides.

La porosité est exprimée en pourcentage (%) et définie par la relation :

$$P(\%) = \frac{V_v}{V_t} \times 100$$

On peut exploiter les résultats des masses volumiques pour déterminer la porosité de notre gravier d'où :

$$P(\%) = \left(1 - \frac{\gamma}{\rho}\right) \times 100$$

Tableau II. 4: la porosité du gravier (8/15) et (15/20)

Gravier	Porosité P(%)
8/15	44.03
15/20	50.72

2.1.4 La compacité:

C'est le quotient du volume des grains solides et le volume total du matériau, elle est exprimée en pourcentage (%) et donner par relation suivante :

$$C(\%) = \frac{V_s}{V_t} \times 100$$

Aussi

$$C(\%) = 1 - P$$

Tableau II. 5: la compacité du gravier (8/15) et (15/20)

Gravier	Compacité C(%)
8/15	55.97
15/20	49.28

2.1.5 L'indice des vides:

C'est le rapport entre le volume occupé par les vides et le volume de la partie solide des grains, V étant le volume total occupé par les granulats.

$$e(\%) = \frac{V_v}{V_s}$$

Aussi

$$e(\%) = \frac{(1 - c)}{c}$$

Tableau II. 6: l'indice ds vides

Gravier	Indice des vides e(%)
8/15	0.80
15/20	1.02

2.2 Caractéristiques du Sable:

Le sable utilisé dans nos travaux est un sable de **lioua** (région à biskra), couramment utilisé pour la construction

2.2.1 Analyse granulométrique [NA EN 933 – 5]

- **But de l'essai :**

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différents grains constituant l'échantillon.

- **Principe de l'essai :**

Faire passer l'échantillon tester à travers une série des tamis décroissante de plus grand à plus petit ; et faire peser le refus dans chaque tamis.

- **Mode opératoire :**

Le mode opératoire est identique à celui cité précédemment dans la partie de graviers, la seule différence est la durée de l'essai qu'elle été 3 minutes dans le cas des sables.

Les résultats de l'analyse granulométrique du sable représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau II. 7: analyse granulométrique du sable

Fraction	Maille de tamis (mm)	Refus partiel	Refus cumuli		Tamisât (%)
			(g)	(%)	
0/5	5	0	0	0	100
	2.5	118.5	118.5	5.925	94.075
	1.25	106.2	224.7	11.235	88.76
	0.630	132.9	357.6	17.88	82.12
	0.315	309.8	667.4	33.37	66.63
	0.16	221	888.4	44.42	55.58
	0.08	78.3	966.7	48.335	51.66
	Fond				

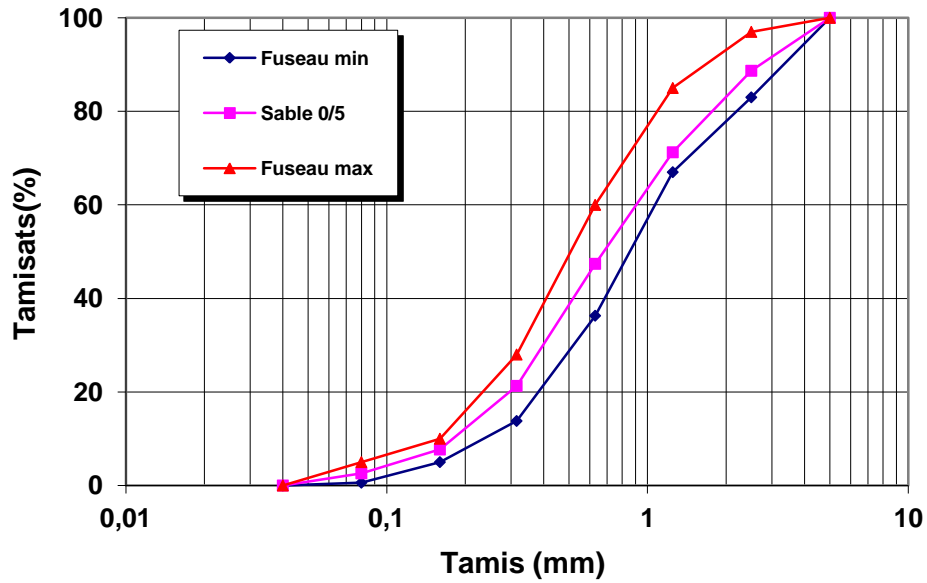


Figure II. 2: courbe granulométrique du sable.

2.2.2 Modules de finesse:

Le module de finesse d'un sable est égal au 1/100 de la somme de refus exprimés en pourcentage sur les différents tamis.

Tableau II. 8: module de finesse du sable.

Quantité du sable	Module de finesse
Gros	> 2.5
Moyen	2 à 5
Fin	1.5 à 2
Très fin	1 à 1.5

$$M_f = \frac{0.16;0.315;0.63;1.25;2.5;5}{100} = \sum \frac{R_i}{100}$$

$$M_f = \frac{44.42+33.37+17.88+11.23+5.92}{100} = 1.128 \Rightarrow M_f = 1.23$$

Après l'analyse granulométrique on trouve que, le module de finesse du sable testé est égal à :

$M_f = 1.23$, $M_f; \{1 \text{ à } 1.5\} \Rightarrow$ valeur d'un **très fin**

2.2.3 Equivalent de sable : [NA EN 933 – 8]

- **But de l'essai :**

Cet essai consiste à déterminer la quantité d'éléments fins (argile, limons, impuretés) contenus dans le sable par rapport à la quantité d'éléments sableux.

- **Mode opératoire :**

- ✓ remplir l'éprouvette d'une solution la même jusqu'au premier repère.
- ✓ A l'aide d'un entonnoir, verser l'échantillon (10cm) de sable 120g dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser les bulles d'air et favoriser le moulage de l'échantillon.
- ✓ Laisser reposer pendant 10 min.
- ✓ Boucher l'éprouvette à l'aide d'un bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20 cm de secousses horizontales en 30 s à la main à l'aide de l'agitateur mécanique.
- ✓ Retirer le bouchon de l'éprouvette, le rincer avec la solution la même au-dessus de l'éprouvette et rincer ensuite les parois de celle-ci.
- ✓ Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette tout en imprimant au tube un léger piquage.
- ✓ Après 20 min de dépôt, lire la hauteur h_1 , de la partie supérieure de flocculat jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règle.
- ✓ Mesurer également avec la règle la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

$$E_{SV} = \frac{h_2}{h_1} \times 100\% \quad \text{Ou } (h_2 < h_1)$$

h_1 : Hauteur du sable plus flocculat

h_2 : Hauteur du sable

- ✓ Introduire le piston de l'éprouvette et le laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment.

$$E_{Sp} = \frac{h'_2}{h_1} \times 100\% \quad \text{Ou } (h'_2 < h_1)$$

h_1 : Hauteur du sable plus flocculat

h'_2 : Hauteur du sable

Tableau II. 9: équivalent de sable E_{sv}

N° essais	h_1	h_2	E_{sv}	$E_{sv} moy$	h'_2	E_{sp}	$E_{sp} moy$
1	13.2	9.2	69.69	71.84	8.7	65.90	68.36
2	12.5	9.1	72.8		8.5	68	
3	11	8.4	73.04		7.9	71.18	

Le résultat suivant comparé aux résultats proposés par G-DREUX :

Tableau II. 10: comparaison des résultants de l'équivalent de sable E_{sv} , E_{sp}

E_{sv}	E_{sp}	Nature et quantité de sable
$E_s < 65$	$E_s < 60$	Sable argileuse : risque de retrait au de gonflement à rejeter pour les bétons de qualité
$65 < E_s < 75$	$65 < E_s < 80$	Sable légèrement argileux de propriétés admissible convient parfaitement pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait
$75 < E_s < 85$	$70 < E_s < 80$	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité
$E_s > 85$	$E_s > 85$	Sable très propre ; l'absence total des fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau

D'après le tableau précédent on constate que pour notre sable :

⇒ Sable légèrement argileux de propriétés admissible convient parfaitement pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.

2.2.4 Masse volumique : [NF P18 – 555]

a) Masse volumique apparente :

Le mode opératoire et le même qui celui utilisé pour le gravier d'écrit précédemment.

La masse volumique apparente du sable est déterminée par la formule :

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

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau II. 11: la masse volumique apparent à l'états lâche.

essai	$V_1(\text{cm}^3)$	$M_1 (g)$	$M_2 (g)$	$\gamma (\text{g/cm}^3)$	$\gamma_{app} (\text{g/cm}^3)$
1	1000	299.42	1796.07	1.49	1.49
2			1790.95	1.49	
3			1793.45	1.49	

b) la masse volumique absolue :

Le mode opératoire et le même qui celui utilisé pour le gravier d'écrit précédemment.

La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule :

$$\rho_{ab} = \frac{M}{(V_2 - V_1)}$$

Avec : $M=300\text{g}$

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau II. 12: les résultats de la masse volumique absolue.

Essai	$M_s (g)$	$V_1(\text{cm}^3)$	$V_2 (\text{cm}^3)$	$\rho(\text{g/cm}^3)$	$\rho_{ab} (\text{g/cm}^3)$
1	300	400	520	2.5	2.57
2			520	2.5	
3			510	2.72	

2.2.5 La porosité:

C'est le rapport entre le volume des vides d'un matériau et son volume total, elle représente donc le degré de remplissage de son volume occupé par les vides.

Cette propriété ou notion de porosité est importante car elle est influée sur certaines caractéristiques fondamentales telles que :

- ✓ Résistance mécanique élevée, donc P faible.
- ✓ Capacité d'absorption d'eau (w) ; prélevée donc (w) grand

La porosité est donnée par la relation suivante :

$$P(\%) = \left(1 - \frac{\gamma}{\rho}\right) \times 100\%$$

Tableau II. 13: la porosité du sable

Essai	Porosité $P(\%)$
1	42.02

2.2.6 La compacité:

C'est le quotient du volume des grains solides et le volume total du matériau, elle est exprimée en pourcentage (%) **et donner par relation suivante :**

$$C(\%) = \frac{V_s}{V_t} \times 100$$

Aussi

$$C(\%) = 1 - P$$

Tableau II. 14: la compacité du sable.

Essai	Compacité $C(\%)$
1	57.98

2.2.7 L'indice des vides :

C'est le rapport entre le volume occupé par les vides et le volume de la partie solide des grains, V étant le volume total occupé par les granulats.

$$e(\%) = \frac{V_v}{V_s}$$

Aussi

$$e(\%) = \frac{(1 - c)}{c}$$

Tableau II. 15: l'indice des vides

Essai	Indice des vides $e(\%)$
1	0.724

2.3 Caractéristiques de ciment:

Le ciment utilisé dans notre étude est un ciment **CEMII/A-42.5**, provient de la cimenterie Ain-ToutaSCIMAT c'est un ciment pour les travaux dans les milieux fortement agressifs [4]



Figure II. 3: le ciment utilise CEM II/A 42.5[4]

CPJ-CEM II/A 42,5 :

- **Les ciments CPJ-CEM II/A contiennent :**
 - ✓ 80% à 94% de clinker (K) ;
 - ✓ Un complément à 100% composé d'un ou plusieurs constituants, pouzzolane (Z), calcaire (L), etc.
 - ✓ Des sulfates de calcium sous forme de gypse en tant que régulateur de prise.
- **Spécifications mécaniques et physiques :**

Les résistances la compression du **CPJ-CEM II/42,5** déterminées selon la norme **NA 234** Font l'objet d'un contrôle statistique faisant apparaître une valeur moyenne des résultats obtenus à 28 jours voisine 55 N/mm².

La majorité des résultats obtenus se situe entre 42,5 N/mm² et 62,5 N/mm². Ces deux dernières valeurs sont les limites inférieures et supérieures des spécifications mécaniques du ciment **CPJ-CEM II/A 42,5**.

En tout état de cause, les valeurs minimales garanties sont :

- ✓ 10,0 N/mm² à 02 jours ;

- ✓ 40,0 N/mm² à 28 jours.

Le temps de prise déterminé selon la norme **NA 230** est supérieur à 60 minutes.

- **Spécifications chimiques :**

- ✓ La proportion des sulfates (SO₃) dans le ciment **CPJ-CEM II/A 32,5** est inférieure à 3,5%.
- ✓ La teneur en chlorures (Cl) est inférieure à 0,10%.**[4]**

Tableau II. 16: les caractéristiques de ciment CPG-CEMII/A 42.5

Caractéristiques	CPJ-CEM II/A 42.5
Masse Volumique Apparente (g/cm ³)	1.215
Masse volumique Absolue (g/cm ³)	3.150
Surface spécifique (BLAINE) (cm ² /g)	4000
Temps de début de prise (heures)	2h :03
la résistance à la compression à 28 jours (MPA)	47

2.4 L'eau de gâchage:

L'eau de gâchage utilisée dans notre étude est une eau potable fournie au niveau du laboratoire de génie civil.

Cette eau est acceptable pour la confection du béton étudiée dans notre travail.

L'eau de gâchage doit être pure que possible, elle ne doit être pas contenir une quantité excessive de vase, matériaux organique, acides, sels, matières sucrées... etc.

2.5 Caractéristique de fibre polypropylène:

Fibre polypropylène haute ténacité pour renforcement du béton et mortiers

2.5.1 Propriétés :

Distribué les contraintes de retrait des liants hydraulique dès l'hydratation, diminuant ainsi considérablement :

- ✓ les fissures ;
- ✓ la perméabilité ;

- ✓ -l'impact des chocs
- ✓ Doses 1m³ de béton 0.6 kg

3 Calcul de la composition du béton :

3.1 Formulation de scramtaiev:

3.1.1 Le rapport C/E selon les expressions :

a. Pour béton C/E < 2.5 béton plastique et TP on a : $R_b = A \cdot R_c \left(\left[\frac{C}{E} - 0.5 \right] \right)$

b. Pour béton C/E > 2.5 béton ferme et TF on a : $R_b = A \cdot R_c \left(\left[\frac{C}{E} - 0.5 \right] \right)$

R_b : Classe du béton (résistance à la compression du béton à 28 jours)

R_c : Classe du béton

A, A' : coefficient les admis d'après le tableau selon propriétés et La qualité des matériaux utilise.

Tableau II. 17: valeur des coefficients A.A'

Agrégats et liants	A	A'
De qualités supérieures (bon)	0.65	0.43
Ordinaires (moyen)	0.60	0.40
De qualités inferieures (mauve)	0.55	0.37

3.1.2 La quantité d'eau de gâchage :

Elle est établie approximativement d'après le tableau (II) qui teint compte de la qualité de matériau utilisés

Tableau II. 18: quantité d'eau nécessaire à la preparation du béton

Propriétés des bétons		Dosage en eau (l/cm ³) par rapport à la grosseur			
Affaissement au cône d'abrams (cm)	Maniabilité, sec	Pierres roulées			
		10	20	40	70
0	200-150	145	130	120	115
0	120-90	150	135	125	120

0	80-60	160	145	130	125
0	50-30	165	150	135	130
0	30-15	175	160	145	140
2-1	-	185	170	155	145
4-3	-	195	180	165	160
6-5	-	200	185	170	165
8-7	-	205	190	175	170
10-9	-	215	200	185	175

3.1.3 Quantité de ciment :

Pour 1 m³ de béton frais :

$$C = E.C/E \text{ (Kg)}$$

3.1.4 Quantité de pierres concassées :

Pour 1 m³ de béton frais :

$$Pc = \frac{1000}{\left[\left(\frac{P_{pc}\alpha}{\gamma_{pc}} \right) + \frac{1}{\rho_{pc}} \right]}$$

$\rho_c, \rho_e, \rho_s, \rho_{pc}$: Sont respectivement les masse spécifique de ces matériaux en kg/m³.

P_{pc} : Porosité de pierres concassées $P_{pc} = 1 - \frac{\gamma_{pc}}{\rho_{pc}}$

ρ_e : 1 kg/l

α : Coefficient d'écartement, donné par le tableau (II)

Tableau II. 19: valeur de coefficient α .

Dosage en ciment (kg/l)	E/C				
	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
250	-	-	1.26	1.32	1.38
300	-	1.30	1.36	1.42	-
350	1.32	1.38	1.44	-	-
400	1.40	1.46	-	-	-

3.1.5 La quantité de sable :

Pour 1 m³ de béton frais :

$$S = \left[1000 - \left(\frac{C}{\rho_c} + \frac{E}{\rho_e} + \frac{PC}{\rho_{pc}} \right) \right] \times \rho_s$$

Application :

Dosage de ciment : **350 kg/m³**

Aff=6cm, les pierres concassé de diamètre $\emptyset = 20\text{mm}$ (d'après le tableau (II-9))

$\Rightarrow E=185 \text{ L}$, ciment CPJ (15L), pierre concassé (10 L)

$$E_T = 185 + 15 (cpj) + 10 (pc) = 210 \text{ l/m}^3$$

1- Détermination de rapport E/C :

$$\frac{E}{C} = \frac{210}{350} = 0.6$$

2- La quantité de les pierres concassés:

$$Pc = \frac{1000}{\left[\left(P_{pc} \frac{\alpha}{\gamma_{pc}} \right) + \frac{1}{\rho_{pc}} \right]} = \frac{1000}{\left[\left(0.48 \times \frac{1.44}{1.36} \right) + \frac{1}{2.65} \right]}$$

$$Pc = 1129.18 \text{ g/m}^3$$

3.1.6 Quantité de sable :

$$S = \left[1000 - \left(\frac{C}{\rho_c} + \frac{E}{\rho_e} + \frac{PC}{\rho_{pc}} \right) \right] \times \rho_s$$

$$S = \left[1000 - \left(\frac{350}{3} + \frac{210}{1} + \frac{1129.18}{2.65} \right) \right] \times 2.57$$

$$S = 635.37 \text{ g/m}^3$$

• Pour 1m³ de béton frais :

$$C = 350 \text{ g/m}^3$$

$$E = 210 \text{ L/m}^3$$

$$S = 635.37 \text{ g/m}^3$$

$$Pc = 1129.18 \text{ g/m}^3$$

- **Volume de mélange d'essai, on prend $\frac{1}{3}$ de pierres concassées 8/15 et $\frac{2}{3}$ de pierres concassées 15/20**

$$C=350 \text{ g/m}^3$$

$$E= 210 \text{ L/m}^3$$

$$S=635.37 \text{ g/m}^3$$

$$P_{c_{8/15}} = 376.39 \text{ g/m}^3$$

$$P_{c_{15/20}} = 752.78 \text{ g/m}^3$$

- **Densité théorique de béton frais :**

$$\Delta_0 = (C + E + S + P_{c_{8/15}} + P_{c_{15/20}})/1000$$

$$\Delta_0 = (350 + 210 + 635.37 + 376.39 + 752.78)/1000$$

$$\Delta_0 = 2.324$$

- **Volume de mélange d'essais :**

✓ **Pour 6 éprouvettes cubiques $(10 \times 10 \times 10) \text{ cm}^3$**

$$V=[0.1 \times 0.1 \times 0.1] \times 6 = 0.006 \text{ m}^3$$

$$6+20\% \times 6=7.2$$

$$E \times 7.2 = 1512 \text{ L} \quad \text{OU} \quad (E + 20\%E) \times 6 = (210 + 0.2 \times 210) \times 6 = 1512 \text{ g/m}^3$$

$$C \times 7.2 = 350 \times 7.2 = 2520 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \quad \text{ou} \quad (C + 20\%C) \times 6 = (350 + 0.2 \times 350) \times$$

$$6 = 2520 \text{ g/m}^3$$

$$S \times 7.2 = 635.37 \times 7.2 = 2630.66 \text{ g/ m}^3 \quad \text{ou}$$

$$(S + 20\%S) \times 6 = (635.37 + 0.2 \times 635.37) \times 6 = 2630.66 \text{ g/m}^3$$

$$P_{c_{8/15}} \times 7.2 = 376.39 \times 7.2 = 2710 \text{ g/m}^3 \quad \text{OU}$$

$$(P_{c_{8/15}} + 20\%P_{c_{8/15}}) \times 6 = (376.39 + 0.2 \times 376.39) \times 6 = 2710 \text{ g/m}^3$$

$$P_{c_{15/20}} \times 7.2 = 752.78 \times 7.2 = 5710.03 \text{ g/m}^3 \quad \text{OU}$$

$$(P_{c_{15/20}} + 20\%P_{c_{15/20}}) \times 6 = (752.78 + 0.2 \times 752.78) \times 6 = 5710.03 \text{ g/m}^3$$

3.1.7 Quantité de fibre polypropylène pour 6 éprouvettes cubiques :

$$E+C+S+PC=1512+2520+2630.66+2710+5710.03=15082.69 \text{ g/m}^3$$

Pour **0.2%** de fibre polypropylène :

$$f_{0.2\%} = \frac{0.2 \times 15082.69}{100} = 30.16 \text{ g/m}^3$$

Pour **0.4%** de fibre polypropylène :

$$f_{0.4\%} = \frac{0.4 \times 15082.69}{100} = 60.33 \text{ g/m}^3$$

Pour **0.6%** de fibre polypropylène :

$$f_{0.6\%} = \frac{0.6 \times 15082.69}{100} = 90.49 \text{ g/m}^3$$

Pour **0.8%** de fibre polypropylène :

$$f_{0.8\%} = \frac{0.8 \times 15082.69}{100} = 120.66 \text{ g/m}^3$$

Tableau II. 20: quantité de mélange des moules cubiques (10× 10 × 10)cm³

Gravier		Sable (kg/m ³)	Ciment (kg/m ³)	Eau (l)	Quantité de fibre (kg/m ³)			
8/15	15/20				0.2%	0.4%	0.6%	0.8%
2.710	5.7101	2.6307	2.520	1.512	0.0302	0.0603	0.0949	0.1207

3.1.8 Pour éprouvette prismatique (7× 7 × 28)cm³

$$V=0.07 \times 0.07 \times 0.28 = 0.001372 \text{ m}^3$$

$$V_t = 0.001372 + 20\% \times 0.001372 = 0.0016464 \text{ m}^3$$

$$E=345.74 \text{ g/m}^3$$

$$C=576.24 \text{ g/m}^3$$

$$S=1046.07 \text{ g/m}^3$$

$$PC_{8/15} = 510.15 \text{ g/m}^3$$

$$PC_{15/20} = 1239.07 \text{ g/m}^3$$

3.1.9 Les quantités de fibre polypropylène pour éprouvettes prismatique :

$$E+C+S+PC=345.74+576.24+1046.07+510.15+1239.07=3717.27 \text{ g/m}^3$$

Pour **0.2%** de fibre polypropylene :

$$f_{0.2\%} = \frac{0.2 \times 3717.27}{100} = 7.43 \text{ g/m}^3$$

Pour **0.4%** de fibre polypropylene :

$$f_{0.4\%} = \frac{0.4 \times 3717.27}{100} = 14.86 \text{ g/m}^3$$

Pour **0.6%** de fibre polypropylene :

$$f_{0.6\%} = \frac{0.6 \times 3717.27}{100} = 22.30 \text{ g/m}^3$$

Pour **0.8%** de fibre polypropylene :

$$f_{0.8\%} = \frac{0.8 \times 3717.27}{100} = 29.73 \text{ g/m}^3$$

Tableau II. 21: quantité de mélange des moules prismatique (7× 7 × 28)cm³

Gravier		Sable (kg/m ³)	Ciment (kg/m ³)	Eau (l)	Quantité de fibre (kg/m ³)			
8/15	15/20				0.2%	0.4%	0.6%	0.8%
0.5102	1.2391	1.0461	0.5762	0.3457	0.0074	0.0149	0.0223	0.0297

3.1.10 Pour éprouvette cylindrique (16× 32)cm

$$v = 0.08^2 \times 0.32\pi = 0.006433$$

$$v_t = 0.006433 + 20\% \times 0.006433 = 0.0077208$$

$$E=1621.36 \text{ L}$$

$$C= 2702.28 \text{ g/m}^3$$

$$S=4478.37 \text{ g/m}^3$$

$$Pc_{8/15} = 3052.8 \text{ g/m}^3$$

$$P_{C_{15/20}} = 6105.7 \text{ g/m}^3$$

3.1.11 Les quantités de fibre polypropylène pour éprouvettes cylindriques

(16× 32)cm :

$$E+C+S+PC=1621.36 + 2702.28 + 4478.37 + 3052.8 + 6105.7 = 17960.51 \text{ g/m}^3$$

Pour 0.2% de fibre polypropylene :

$$f_{0.2\%} = \frac{0.2 \times 17960.51}{100} = 35.92 \text{ g/m}^3$$

Pour 0.4% de fibre polypropylene :

$$f_{0.4\%} = \frac{0.4 \times 17960.51}{100} = 71.84 \text{ g/m}^3$$

Pour 0.6% de fibre polypropylene :

$$f_{0.6\%} = \frac{0.6 \times 17960.51}{100} = 107.76 \text{ g/m}^3$$

Pour 0.8% de fibre polypropylene :

$$f_{0.8\%} = \frac{0.8 \times 17960.51}{100} = 143.68 \text{ g/m}^3$$

3.1.12 Quantité des matériaux :

Tableau II. 22: quantité de mélange des moules cylindriques (16× 32)cm

Gravier		Sable	Ciment	Eau	Quantité de fibre (kg/m ³)			
8/15	15/20	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(l)	0.2%	0.4%	0.6%	0.8%
3.5028	6.1057	4.4784	2.7023	1.6214	0.03592	0.0718	0.1077	0.1437

4 Le malaxage:

L'efficacité de malaxage est importante, elle dépend du type de mélangeurs employés, du temps consacré au mélange lui-même.

Il importe dans tous les cas que les constituants soient intimement à l'eau afin de faciliter leur hydratation et d'obtenir une meilleure maniabilité.[2]

Les constituants sont introduits dans le malaxeur à l'ordre suivant :

- ✓ Introduire le sable, gravier, ciment ;
- ✓ Malaxer pendant 1 min ;
- ✓ Introduire la quantité d'eau ;
- ✓ Introduire la quantité de fibre polypropylène;
- ✓ Malaxer pendant 2 min et ajouter l'eau tout attentivement ;
- ✓ Mesurer l'affaissement à chaque fois par cône d'Abrams jusqu'à la valeur désiré.

5 Les essais sur le béton :

5.1 Essais à l'état frais :

On sait que le béton est le matériau obtenu par solidification par un liant de ciment, un squelette granulaire composé d'un ou plusieurs sables et d'un ou plusieurs graviers.

La norme (EN 12390-2) distingue les essais d'études, des essais de convenances et de contrôle, les essais d'études sont exécutés sur un béton réalisé en laboratoire, les essais de convenances et de contrôles sont exécutés sur un béton gâchés dans la bétonnière ou le malaxeur utilisé sur le chantier.

5.1.1 Essai du cône d'Abrams : [NF EN 12350 – 2]

L'essai réalisé avec cet appareil est normalisé selon la norme NF EN 12350-2, désigné par essai de consistance ou plus généralement par essai d'affaissement au cône d'Abrams il détermine la plasticité du béton

On admet la correspondance suivante :

Tableau II. 23: Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams.

Classe de consistance	Définition	Affaissement (mm)
S1	Ferme	10 à 40
S2	Plastique	50 à 90
S3	Très plastique	100 à 150
S4	Fluide	160 à 210
S5	Très fluide	≥220



Figure II. 4: L'affaissement de cône d'Abrams d'un béton.

5.1.2 Vibration:

La vibration est la méthode de compactage la plus répandue, le degré de compactage d'un béton frais par vibration dépend de la fréquence et de l'amplitude des oscillations, ainsi que de la durée de vibration.

- ✓ Remplir les moules cubiques ($10 \times 10 \times 10$) cm^3 et les moules prismatiques ($7 \times 7 \times 28$) cm^3
- ✓ On faire la vibration sur la table vibrante pendant 20s.
- ✓ Peser 3 moules avant et après leur remplissage et la vibration pour déterminer la masse volumique de béton à l'état frais.
- ✓ Les éprouvettes sont maintenues à l'air libre au laboratoire pendant 24h puis décoffrées et marquer par peinture et conserver dans l'eau. [3]

5.2 Essais à l'état durci

5.2.1 Essais non destructifs :

a) Essai d'auscultation dynamique (Essai Sclérométrique) : (NF EN 12504-2)

• Objectif de l'essai

Le but de l'essai est de permettre l'obtention rapide de la résistance du béton d'un ouvrage, sans procéder à des prélèvements de béton durci par carottage.

La mesure de la dureté au choc permet d'évaluer la résistance d'un béton de manière non destructive.

Cette méthode est intéressante en raison de sa simplicité ; elle permet de faire rapidement des contrôles de régularité des bétons d'un ouvrage.

- **Principe de l'essai**

Il s'agit de tester la dureté de surface d'un béton durci. Cette dureté étant d'autant plus élevée que le béton est plus résistant, cela permet d'avoir un ordre de grandeur de la résistance atteinte par un béton à un âge donné.

- **Equipement nécessaire**

- Un scléromètre à béton conforme à la norme.
- Enclume de calibrage, en acier permettant le calibrage du marteau.

- **Conduite de l'essai**

- Il convient d'utiliser le scléromètre dans une température ambiante comprise entre 10 °C et 35 °C,
- Placez l'éprouvette surfacée au centre des 2 plateaux de la presse,
- Appliquez une charge en KN correspondant à une pression de 0,5 MPa. Tourner ensuite la vis de mise en charge au minimum (-) pour stabiliser la charge,
- Maintenir fermement le scléromètre de manière à permettre à la tige de percussion de frapper perpendiculairement la surface d'essai,
- Augmenter progressivement la pression exercée sur la tige jusqu'au déclenchement du choc,
- Après le choc, enregistrer l'indice de rebondissement,
- Pour obtenir une estimation fiable de l'indice de rebondissement de la surface d'essai, neuf essais au moins doivent être effectués,
- Enregistrer la position et l'orientation du marteau à chaque série d'essai,
- La distance minimale entre deux essais de choc doit être de 25 mm et aucun essai ne doit être réalisé à moins de 25 mm du bord de la surface testée,

- Expression des resultants:

A partir de l'indice sclérométriques I_s de la zone testée et de l'abaque illustré ci après on peut déduire directement la résistance du béton (Figure 2).

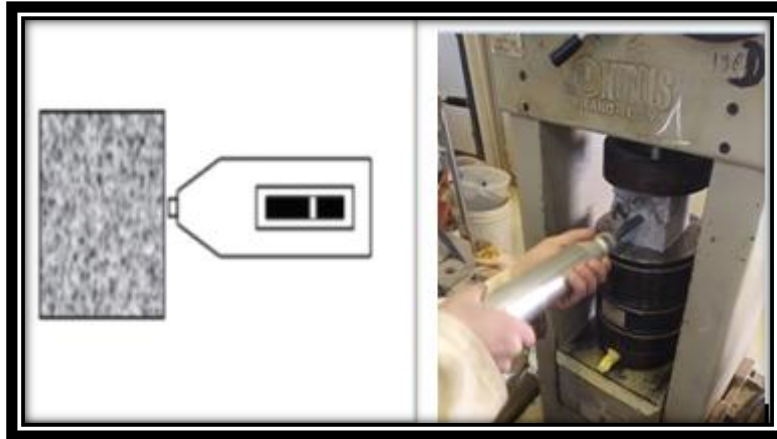


Figure II. 5: essai sclérométriques

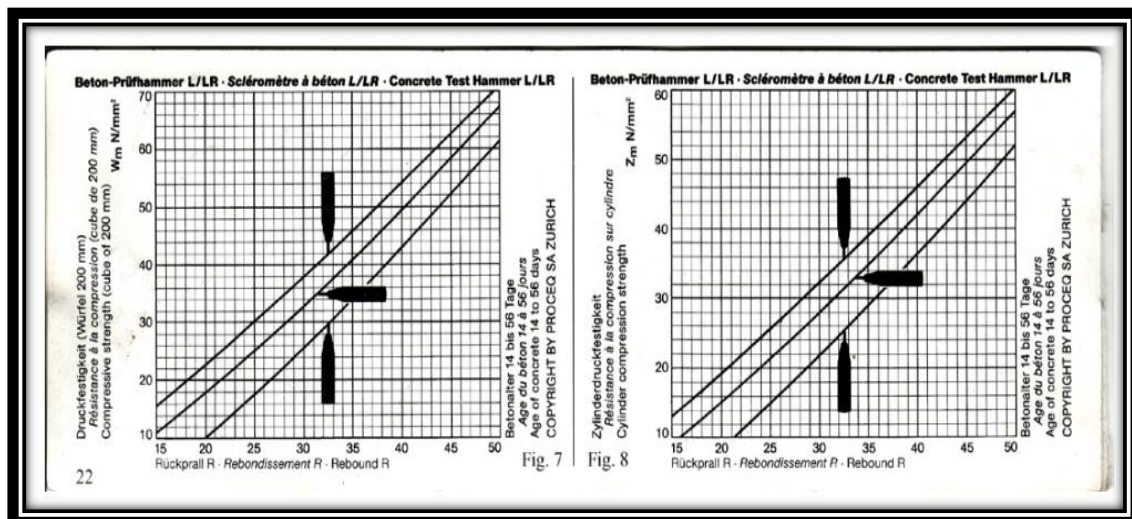


Figure II. 6: Abaques donnant la résistance de compression en fonction de l'indice sclérométriques I_s .

b) Essai d'auscultation sonore (Essai Ultrasonique) (NF EN 12504-4)

- Objectif de l'essai

Le but de l'essai est d'apprécier la qualité du béton d'un ouvrage, sans procéder à un prélèvement d'éprouvette par carottage.

- Principe de l'essai

Le principe de l'essai consiste à mesurer la vitesse du son à l'intérieur du béton ; cette vitesse est d'autant plus élevée que le béton a un module d'élasticité plus important, donc à priori une résistance plus importante.

On produit un train d'impulsion de vibration au moyen d'un émetteur appliqué sur l'une des faces de l'élément à contrôler. Après avoir franchi une longueur de parcours (L) dans le béton, l'impulsion de vibration est convertie en un signal électrique à l'aide d'un récepteur et la base de temps électronique permet de mesurer le temps de propagation des ondes ultrasonores t.

- **Equipement nécessaire**

L'appareil comprend les accessoires suivants :

- Un générateur d'impulsions électriques,
- Paire de transducteurs,
- Un amplificateur,
- Un dispositif électronique de mesure de temps permettant de mesurer la durée écoulée entre le départ d'une impulsion générée par le transducteur - émetteur et son arrivée au transducteur-récepteur,
- Un barreau de calibrage est fourni pour permettre d'obtenir une ligne de référence du mesurage de la vitesse



Figure II. 7: Essai d'ultrason.

- **Conduite de l'essai**

1- Préparation de l'éprouvette

Pour qu'il y ait un contact parfait entre le béton et les transducteurs, il est recommandé d'employer un matériau intermédiaire entre les deux et en prenant soin de vérifier que l'appareil est bien appliqué contre la surface à tester. Les matériaux d'interposition sont la vaseline, un savon liquide ou une pâte constituée de Kaolin et de glycérol. Lorsque la surface de béton est très rugueuse, il est nécessaire de poncer et d'égaliser la partie de la surface où le transducteur sera fixé.

2- Point de mesure

Le nombre de points de mesures dépend des dimensions de l'ouvrage testé. Pour un grand panneau (dalle, voile, radier, ...) les points de mesures sont situés aux intersections d'un quadrillage d'une maille de 0.5 m, le cas des petits éléments (poteaux, poutres...) les mesures se font en six points.

3- Disposition du transducteur

Il est possible de mesurer la vitesse de propagation du son en plaçant les deux transducteurs sur des faces opposées « Transmission directe », sur des faces adjacentes « Transmission semi-directe » ou sur la même face « Transmission indirecte ou transmission de surface » en cas de structure ou d'éprouvette de béton.

• Expression des résultats

La vitesse de propagation du son à travers le béton est déterminée par la formule suivante :

$$V = L/T$$

Ou :

V : est la vitesse de propagation du son, en km/s ;

L : est la longueur de parcours, en mm ;

T : est le temps que met l'impulsion pour parcourir la longueur, en μ s.

5.2.2 Essais destructifs :

a) Essai de compression [NFP 18 – 406]

La caractérisation du comportement en compression est effectuée conformément à la norme (NFP 18-406), sur des éprouvettes cylindriques et cubiques de dimensions (16 x32 cm²) et (10x10x10 cm³) respectivement, mûries à l'eau. Les résultats de la résistance à la compression R_C obtenus à 14, 28 et 90 jours représentent la moyenne de trois échantillons. La machine utilisée pour l'écrasement uni axial des cylindres et des cubes est une presse hydraulique dont la capacité maximale est de 1500kN en compression.

L'expression des résultats sera donnée par la relation $f_{cj} = FS$ (en MPa) où F est la charge maximale et S la surface de compression de l'éprouvette



Figure II. 8: La machine pour essai de compression et affichage de la résistance.

b) Essais de traction par flexion : [NFP 18 – 406]

Pour effectuer nos essais de traction par flexion, on a procédé à l'essai sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (7 x 7 x 28 cm³) mûries à l'eau, conformément à la norme (NFP 18-406). La résistance à la traction f_{ct} obtenue à 28 jours provient de la moyenne des résultats sur trois échantillons. L'appareil utilisé est une presse hydraulique de flexion dont la capacité maximale est de 150kN en cisaillement.

L'expression des résultats pour exprimer la contrainte de rupture en traction par flexion, sera donnée par la relation $f_t = 1.8F/axa$ (en MPa), où F est la charge de rupture, et a le côté de la base en mm.



Figure II. 9: Dispositif pour mesurer la résistance à la traction par flexion.

c) **Essai de traction par fendage :** [NFEN 12390 – 6]

La charge maximale atteinte est enregistrée et la résistance en traction calculée. Les éprouvettes cylindriques (composites) sont soumises à l'essai de traction par fendage pour évaluer la qualité de l'adhérence entre l'ancien et le nouveau béton.

Avec cette méthode, la contrainte d'adhérence n'est que celle de la traction par fendage, qui sera calculée par la formule suivante : $f_t = 2P/\pi DL$,

Avec : P , c'est la charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre par mise en traction du plan diamétral vertical ;

D et L , sont le diamètre et la longueur du cylindre.



Figure II. 10: Dispositif pour mesurer la résistance à la traction fendage

6 Conclusion:

Dans ce chapitre, ont été établies les différentes caractéristiques physiques et mécaniques des composants. Les courbes granulométriques de gravier et de sable sont présentées.

Il était important de définir la partie normative à laquelle doivent répondre les différents mélanges.

On utilise aussi, comme les fibres polypropylène. Ainsi on expose les différents essais sur béton frais et durci.

Chapitre III: Résultats et discussions

1 Introduction :

Le présent chapitre est consacré pour analyser les différents résultats expérimentaux relatifs aux essais effectués sur les bétons, conformément aux modes opératoires mentionnés au chapitre précédent, une analyse et une discussion des résultats, suivis d'une comparaison avec ceux reproduites dans la littérature seront également présentés dans ce chapitre.

Les tableaux ci-dessous regroupent l'ensemble de résultats des mélanges étudiés.

2 L'étude de béton :

2.1 Etat frais :

2.1.1 L'affaissement au cône d'abrams :

Le tableau ci-dessous montre les variations de l'affaissement du béton en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibres polypropylène (Tableau III.1).

Tableau III. 1: Variations de l'affaissement du béton en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibres polypropylène

<i>Dosage de fibre (%)</i>		<i>BO</i>	<i>BF</i> <i>(0.2%)</i>	<i>BF</i> <i>(0.4%)</i>	<i>BF</i> <i>(0.6%)</i>	<i>BF</i> <i>(0.8%)</i>
<i>L'Affaissement</i>	12mm	6cm	2cm	1 cm	0.5cm	0cm

L'analyse de tableau montre que l'affaissement du béton fibré diminue en fonction du taux de substitution jusqu'à devenir très ferme (voir figure III.1)

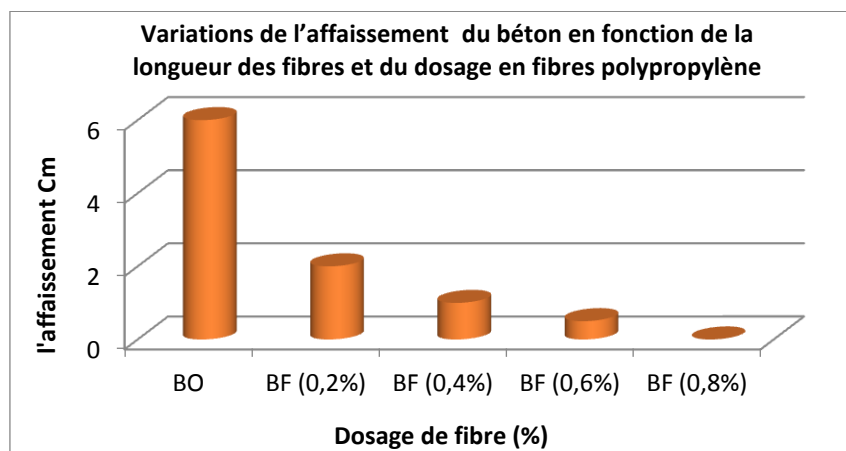


Figure III. 1: Affaissement des bétons en fonction du taux de substitution en fibres

2.1.2 La masse volumique :

Tableau III. 2: Variations de la masse volumique du béton frais en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibres polypropylène (kg/m³)

<i>Béton</i>		<i>BO</i>	<i>BF</i> (0.2%)	<i>BF</i> (0.4%)	<i>BF</i> (0.6%)	<i>BF</i> (0.8%)
<i>Masse volumique</i>	12mm	2.5	2.490	2.480	2.450	2.420

L'analyse de tableau montre que les masses volumiques ont les mêmes ordres de grandeur que le béton ordinaire (Figure III.02).

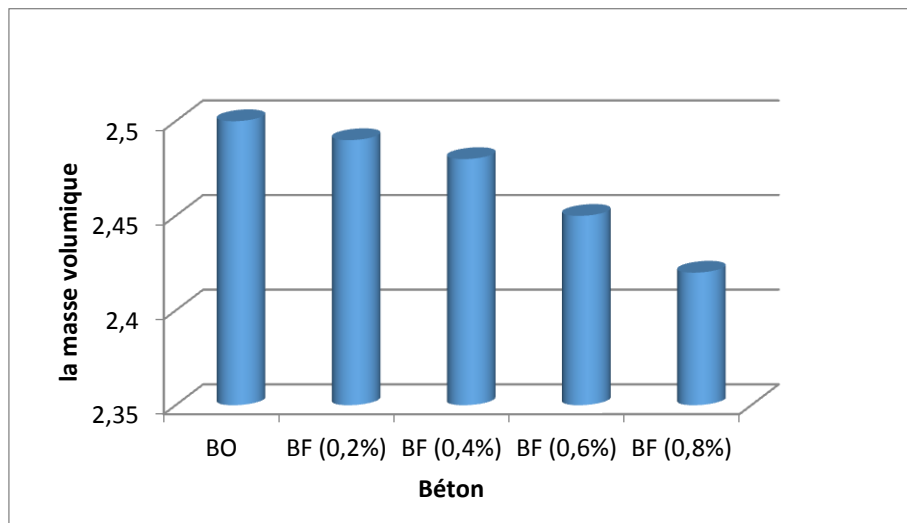


Figure III. 2: La masse volumique du béton frais en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibres polypropylène (kg/m³)

3 Etat durci :

3.1 La Résistance à la compression :

Le tableau ci-dessous montre les résistances à la compression du béton en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibres polypropylène

Tableau III. 3: Variations de la résistance à la compression du béton en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibres polypropylène (MPa)

<i>Le béton</i>	<i>BO</i>	<i>BF</i>	<i>BF</i>	<i>BF0.6%</i>	<i>BF</i>

Longueur de fibre	Les jours		0.2%	04%		0.8%
12mm	7J	22.88	29.38	21.6.83	26.24	15.01
	28J	28.76	39.79	36.02	34.1	21.48

L'analyse de tableau montre que le faible dosage en fibres donne des meilleures performances mécaniques à la compression (dosage 0,2%) pour les fibres de longueur 12 mm (Figure III. 3).

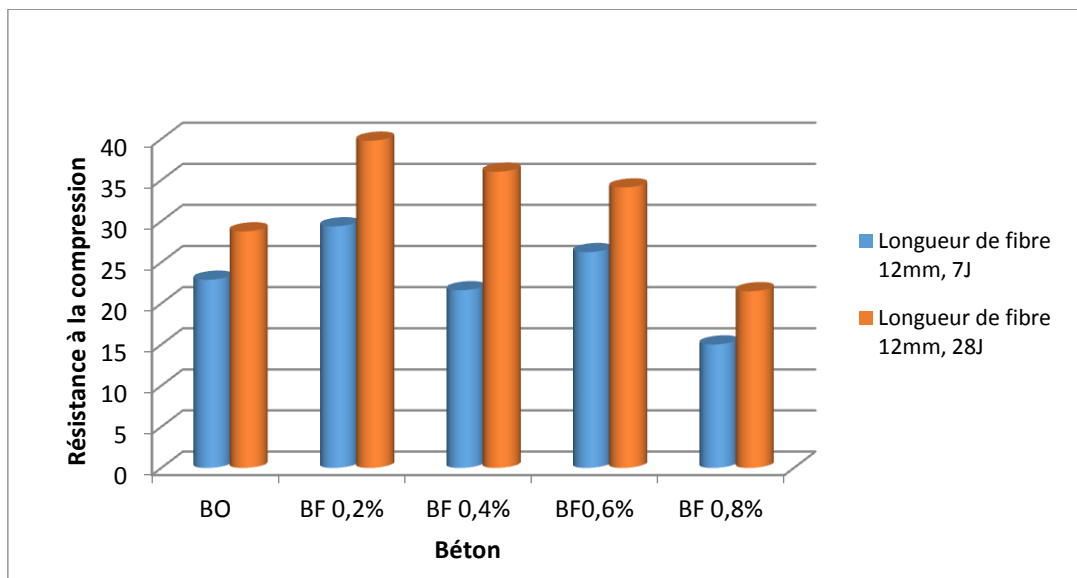


Figure III. 3: la résistance à la compression du béton en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibre



Figure III. 4: quelques échantillons de béton en fibres qui à tenir des essais destructifs et non destructifs

3.2 La masse volumique :

Le tableau ci-dessous montre les variations de la masse volumique du béton durci (7 et 28j) en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibres polypropylène (kg/m^3)

Tableau III. 4: variations de la masse volumique du béton durci (7 et 28j) en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibres polypropylène (kg/m^3)

<i>Le béton</i>						
<i>Masse</i>		<i>BO</i>	<i>BF</i>	<i>BF0.4</i>	<i>BF</i>	<i>BF</i>
<i>Volumique</i>			<i>0.2%</i>	<i>%</i>	<i>0.6%</i>	<i>0.8%</i>
<i>12mm</i>	<i>7J</i>	2.47	2.52	2.47	2.37	2.26
	<i>28J</i>	2.47	2.44	2.36	2.32	2.25

Par rapport à un béton ordinaire sans fibres, il est clair que la masse volumique du béton diminue sensiblement pour les dosages en fibres de l'ordre de 0,6% et 0,8% pour une longueur de 12mm à 7 jours et 0,2% à 28 jours (Figure III.4).

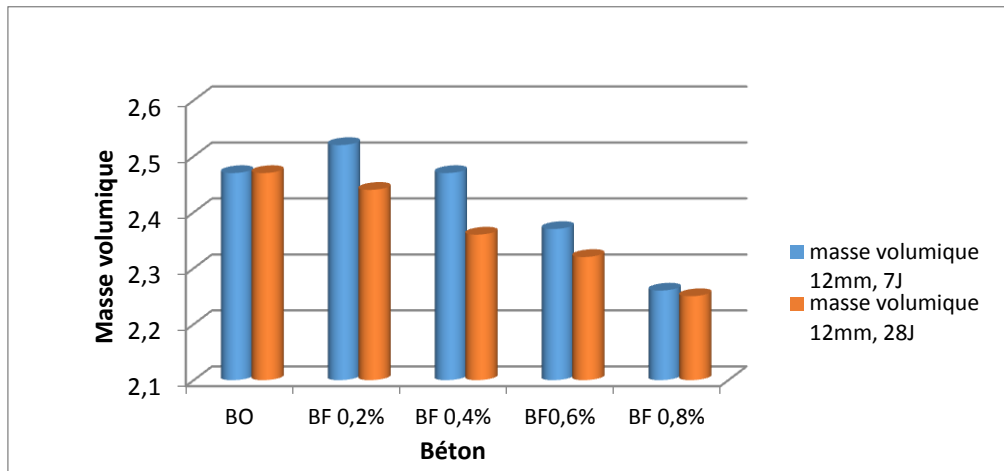


Figure III. 5: Variations de la masse volumique du béton durci (7 et 28j) en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibres:



Figure III. 6: peser des échantillons pour trouver le masse volumique du BO et BF (PP).

3.3 La Résistance à la traction:

3.3.1 Traction par flexion

Le tableau ci-dessous montre variations de la résistance à la flexion du béton durci (28j) en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibres polypropylène (kg/m^3)

Tableau III. 5 : Variation de la résistance en traction par flexion en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibres polypropylène

<i>Le béton</i>							
<i>Longueur de fibre</i>	<i>Les jours</i>	<i>BO</i>	<i>BF 0.2%</i>	<i>BF 0.4%</i>	<i>BF 0.6%</i>	<i>BF 0.8%</i>	
<i>12mm</i>	<i>28J</i>	<i>Masse volumique</i>	2470	-	3338	3205	-
		<i>R^t</i>	10.78	-	7.72	11.00	-

D’après la figure (III.07), Le taux de 0,6% en fibres de 12mm donne des résistances à la flexion bien meilleure que celles d’un béton sans fibres.

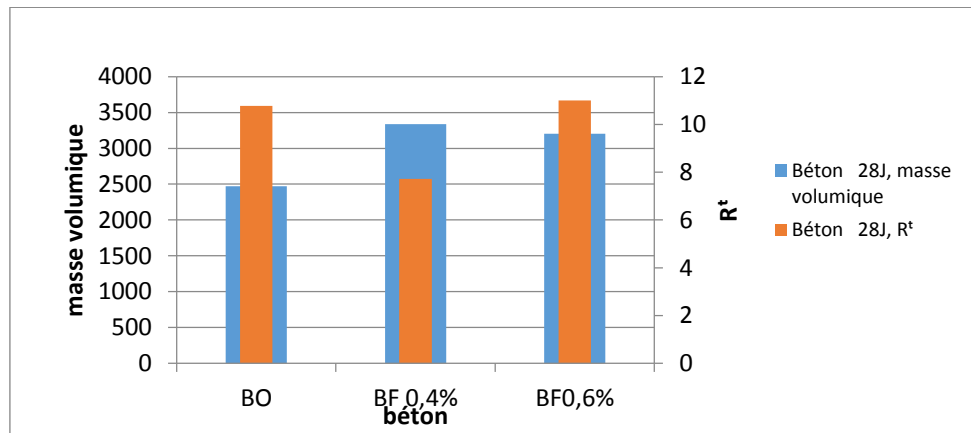


Figure III. 7: Variation de la résistance en traction par flexion en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibres



Figure III. 8: l'écrasements d'échantillons prismatique (7×7×28) du BO et BF (pp) à la résistance de traction par flexion

3.3.2 Traction par fendage

Le tableau ci-dessous montre variations de la résistance du béton durci (28j) en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibres polypropylène (kg/m^3)

Tableau III. 6: variation de la résistance en traction par fendage en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibres polypropylène

<i>Le béton</i>							
<i>Longueur de fibre</i>	<i>Les jours</i>	<i>BO</i>	<i>BF 0.2%</i>	<i>BF 0.4%</i>	<i>BF 0.6%</i>	<i>BF 0.8%</i>	
<i>12mm</i>	<i>28J</i>	<i>Masse volumique</i>	-	-	15342.3	15079.9	-
		<i>Rf</i>	-	-	9.36	11.39	-

D'après la figure (III.9), Le taux de 0,6% en fibres de 12mm donne des résistances à la traction bien meilleure que celles d'un béton sans fibres.

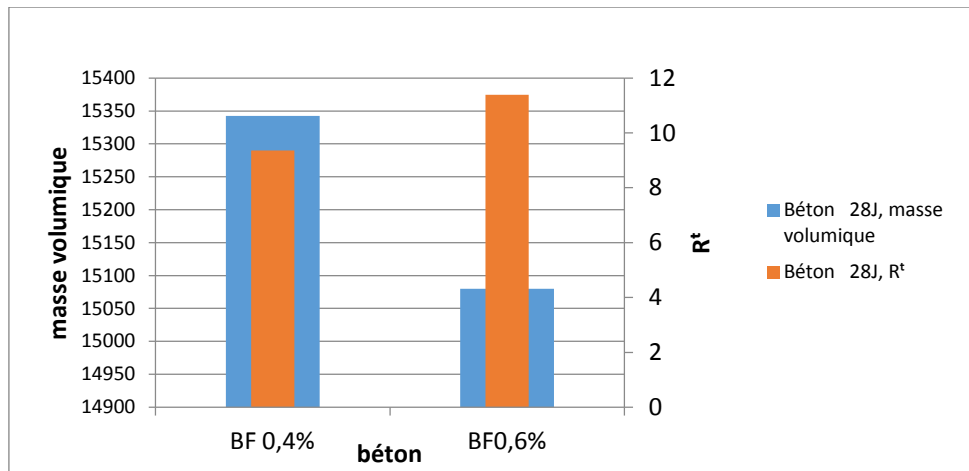


Figure III. 9: Variation de la résistance en traction par fendage en fonction de la longueur des fibres et du dosage en fibres



Figure III. 10: essai de traction par fendage (essai brésilien).

4. Les résultats du scléromètre et ultrason:

Tableau III. 7: résultat des controles non destructifs (scléromètre)

Type de fibre	Béton	Lecture de I (Indice sclérométrique)					I_{Moy}	RC (MPA)
	BO	20	18	21	22	20	20.1	16
	BF 0.2%	19	18	20	28	26	22.2	16
	BF	18	15	18	20	18	17.8	16

12mm	0.4%							
	BF 0.6%	15	20	26	23	20	20.8	15
	BF 0.8%	22	20	19	18	20	19.8	16

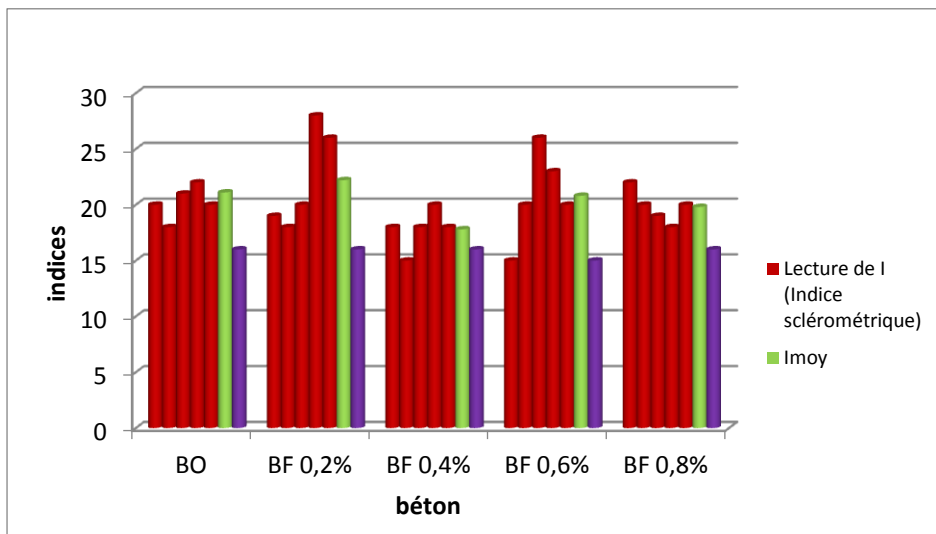


Figure III. 11: contrôles non destructifs (scléromètre) à des éprouvettes cubiques



Figure III. 12: mesures à la scléromètre des éprouvettes cubiques

Tableau III. 8: Résultat des contrôles non destructifs (auscultation dynamique)

Type de fibre	Le béton	Long (cm)	T (μ s)	V (m/s)	R (MPa)
12mm	Bo	10	24.1	4140	23
	BF 0.2%	10	23.6	4240	27
	BF 0.4%	10	23.2	4310	30
	BF 0.6%	10	23.8	4190	25
	BF 0.8%	10	24.26	4230	26

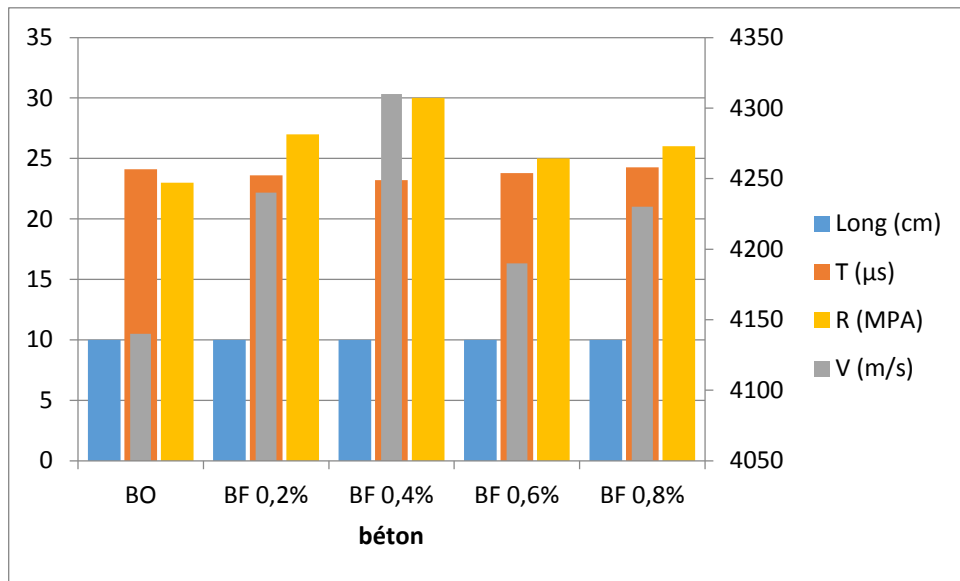


Figure III. 13: contrôle non destructifs (auscultation dynamique).



Figure III. 14: mesures à l’ultrason d’éprouvettes cubiques (10×10×10).

Tableau III. 9 : résultats des contrôles non destructifs (scléromètre) cylindre.

Type de fibre	Béton	Lecture de I (Indice sclérométrique)					I_{Moy}	RC (MPA)
12mm	BF 0.4%	25	22	20	20	22	17.8	16
	BF 0.6%	15	20	26	23	20	20.8	15

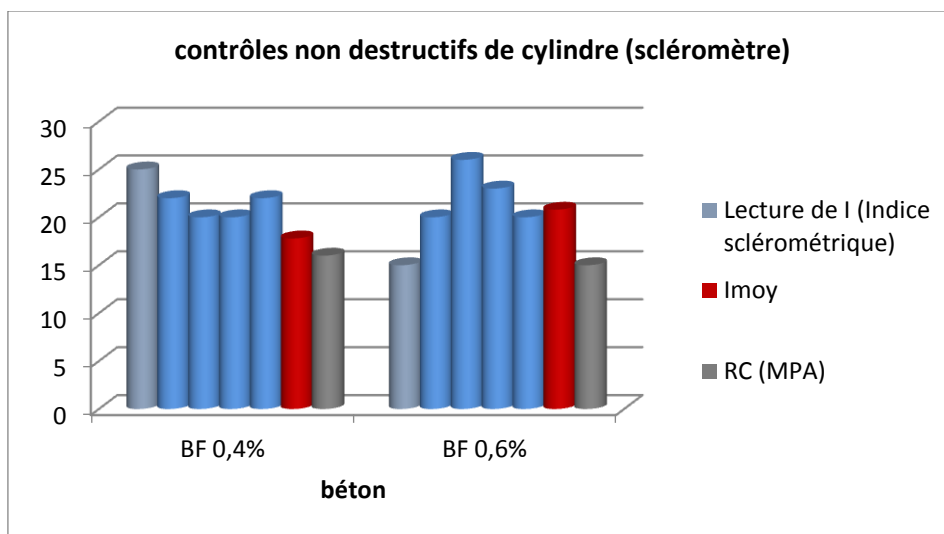


Figure III. 15: contrôles non destructifs de cylindre (sclérométriques).

Tableau III. 10: les résultats des essais, d’ultrasons, sur les moules cylindres L=32cm

Type de fibre		Le béton	Long (cm)	T (μs)	V (m/s)	R (MPa)
12 mm	7 jrs	BF 0.4%	32	77.1	4150	22.5
		BF 0.6%	32	76.2	4190	25
	28 jrs	BF 0.4%	32	71.5	4470	40
		BF 0.6%	32	75.3	4250	26

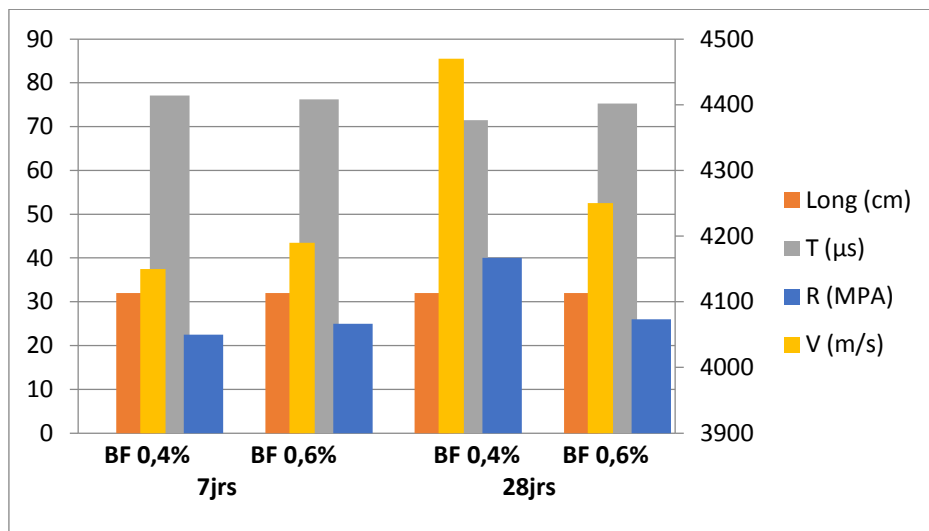


Figure III. 16: essais d’ultrasons, sur les moules cylindres L=32cm



Figure III. 17: mesures à l'ultrason d'éprouvettes cylindrique L=32cm.

5 Conclusion :

Pour permettre le suivi du comportement de ce matériau jusqu'à la rupture, nous avons réalisé des tests de traction et de contrainte et comparé les résistances mesurées. L'étude a également montré que les fibres adhèrent bien à la matrice jusqu'à ce qu'elle se réfracte complètement. Nous concluons que les fibres améliorent la résistance à la traction du béton

Chapitre IV:
Conclusion ET
Perspectives

1 Introduction:

Dans ce chapitre on a résumé toutes des conclusions et recommandation aux qu'elles on a abouti après l'interprétation des résultats d'essais obtenus sur les différents bétons étudiés.

Ce travail de recherche à pour objectifs d'étudier le comportement d'un béton en fibres (PP), l'effet des fibres sur les propriétés physico-mécaniques et vérifier de la fiabilité des essais indirects (ultrason - scléromètre) par apport à l'essai direct d'écrasement.

Enfin, la comparaison étant fait avec un béton ordinaire et béton en fibres (PP) a l'état frais et durci.

2 Conclusions générale:

D'après les résultats de cette étude sur les bétons ordinaire et les bétons en fibres de polypropylène, les conclusions suivantes pourront être tirées:

L'augmentation des dosages des fibres de polypropylène dans les bétons provoquent une chute considérable de l'ouvrabilité du mélange en fibres.

L'augmentation de dosage de fibres polypropylènes influence négativement sur la résistance à la compression (R_c) des bétons en fibres (Polypropylène)

La résistance du béton en fibres par l'essai de scléromètre présente une diminution progressive avec l'augmentation des pourcentages des fibres.

Le béton de fibre donne le meilleur résultat de vitesse ultrason en comparaison et même supérieur par apport au béton ordinaire.

Les résultats obtenus par les essais de scléromètre et l'ultrason restent approximatifs par rapport à ceux des essais d'écrasement dans le cas de la détermination de la réponse mécanique des bétons en fibres ou des coefficients de correction sont nécessaires afin d'aboutir à une bonne évaluation de la résistance.

Les résultats de résistance de traction par flexion donnent à un dosage optimal de fibre polypropylène (0.6%), une meilleure résistance de traction par flexion. La résistance enregistrée demeure supérieure en comparaison avec le béton ordinaire.

Une diminution légère de la masse volumique avec l'augmentation des pourcentages des fibres est appréciée pour les bétons en fibres par rapport au béton témoin (compacte, dense et moins poreux).

Les résultats de la réponse mécanique aux moyens d'ultrason pour les éprouvettes prismatiques dans le sens longitudinal (L=28 cm) et transversal (L=7 cm) illustrent l'effet de dimensions des éprouvettes et la répartition des fibres à l'intérieure de la matrice du béton en fibres testés.

3 Recommandations et perspectives

Sur la base des résultats obtenus et conclusions tirées de cette étude; nous recommandons pour des travaux de recherche futurs:

Etude sur l'effet des dimensions d'éprouvettes par des essais non-destructifs (ultrason) lors d'évaluation de la réponse mécanique.

Etude sur l'effet de variation de longueur des fibres sur la réponse mécanique par des essais indirects (ultrason - scléromètre).

Etude de corrélation entre (R_c , V , S) pour une formulation qui permet l'évaluation de la réponse mécanique dans le cas des bétons en fibres, par des essais directs (compression) et indirects (ultrason - scléromètre).

Reference bibliographies

Chapitre I

- [1] : Pierre.R, Les bétons de fibres métalliques, presses Ponts et Chaussées
- [2] : Fissuration en béton avec référence particulière au béton à haute performance, Touhami TAHENNI ; USTHB, Algerie - Magister en Génie Civil 2006, Désigner sur:
http://www.memoireonline.com/01/09/1871/m_Fissuration-en-beton-avec-referenceparticuliere-au-beton--haute-performance42.html
- [3] : ASB. Association du béton Québec. Guide de bonnes pratiques pour l'utilisation des fibres dans le béton, Bibliothèque nationale du Québec, Québec, 2005.
- [4] : Impact de L'ajout des fibres métalliques sur la résistance des structures en béton à haute performance, Mémoire de Magistère, Université Hassiba Ben Bouali de Chlef, BERRADIA Mohammed 2012, 147 Page ; Désigner sur
<http://dspace.univchlef.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/99/1/BERRADIA%20Mohammed.pdf>
- [5] : YAGOUB, M. 2009. Evaluation de la qualité du béton de fibres in situ cas de béton auto plaçant avec des fibres mixtes. Université Mohamed Khider -Biskra, Algérie.

chapitre II

- [1] : Georges Dreux ‘nouveau guide de béton », huitième édition 1998, troisième tirage 2007, édition eyrolles paris, P :123
- [2] : le laboratoire de béton, office des publications universitaires ; place centrale ben Aknoun
- [3] : article GRANITEX :nouveaux adjuvants.
- [4]: <http://www.scimat.dz/?action=recrutement&lang=fr>.