

Ordre...../F.S.S.A/UAMOB/2023

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ-BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département de Génie Civil

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

HAMBLI Imad

CHELIBI Khalila Nahida

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Filière : Génie Civil

Option : Matériaux en Génie Civil

Thème :

**Contribution à l'étude expérimentale du comportement mécanique d'un
béton renforcé par différents types de fibres.**

Devant le jury composé de :

KENNOUCHE Salim	MCB	UAMOB	Président
MOKEDDEM Youssef	MCB	UAMOB	Examineur
HAMI Brahim	MCA	UAMOB	Encadreur

Année Universitaire 2022/2023

Remerciement



Avant tout, nous tenons à remercier Allah le Tout-Puissant de nous avoir accordé la santé, la volonté, le courage et la patience pour mener à bien notre mémoire et accomplir ce travail.

Tout d'abord, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à M. HAMI BRAHIM. Ce fut un réel plaisir de travailler sous votre direction. Nous vous remercions chaleureusement pour votre professionnalisme et votre gentilles qui ont guidé ce travail, ainsi que pour votre disponibilité et vos précieux conseils qui ont contribué à l'amélioration de notre travail.

Nous adressons nos respectueux remerciements aux membres du jury qui nous font l'honneur d'accepter de juger ce travail.

Nos sincères remerciements a nos enseignants du département génie civil spécialement le enseignants de la filière matériaux en génie civil.

Nous remercions aussi toute l'équipe de laboratoire LNHC, spécialement M. Laamri, et Mme Salihah et aux responsables et personnels de laboratoire génie civil de Bouira, ceux qui nous ont apporté leur aide et leurs conseils précieux lors de la réalisation de notre travail.





Je dédie entièrement ce travail à ma mère et mon père, mes piliers, mes exemples, mes premiers supporteurs et ma plus grande force. Merci pour votre présence, votre soutien, tout ce que j'espère, c'est que vous soyez fiers de moi aujourd'hui.

À mon cher frère dont je suis fier, À ma merveilleuse sœur, vous êtes les âmes jumelles. Je vous souhaite tout le succès dans vos vies

À mes chers camarades de classe, je dédie ces mots de gratitude et de reconnaissance. Vous avez fait de cette expérience éducative une aventure inoubliable.

IMAD





Je dédie ce modeste travail à mes chers parents, en particulier à ma mère qui m'a toujours soutenu tout au long de ma vie, ainsi qu'à mon père, qui est la source de mon courage et de mon inspiration. J'espère que ce travail sera à la hauteur de tout ce qu'ils ont fait pour moi

A mes deux grands-mères.

A mon chère frère MOHAMED et mes chères sœur AMEL SIHEM et WIAM.

Mes petits neveux KADI et YOUSRA.

A toute la famille CHELIBI et DAHMANI.

À mes amis et à toutes les personnes qui me sont chères et qui m'aiment autant que je les aime.

KHALILA



Résumé

L'utilisation de fibres pour renforcer les matériaux de construction, notamment dans les bétons et les mortiers, est très utilisée afin d'avoir de bonnes performances mécaniques, la résistance à la flexion et à la compression. Les propriétés mécaniques des bétons de fibres sont influencées par divers facteurs tels que les conditions d'élaborations, le pourcentage, l'orientation et la répartition des fibres dans le béton. Notre travail consiste à étudier le comportement mécanique des bétons renforcés par différents types de fibres, à savoir les fibres métalliques et les fibres de polypropylène, avec des dosages de 0,5 %, 1 % et 1,5 % pour chaque type. Cette étude a mis en évidence l'influence du pourcentage de fibres sur les propriétés mécaniques des bétons.

Nous avons constaté dans notre cas que les bétons renforcés par des fibres métalliques augmentent leur résistance à la flexion et à la compression. Cependant, un faible dosage en fibres de polypropylène (0,5%) a montré de bonnes performances mécaniques.

Les mots clés : béton, fibre métalliques, fibre polypropylènes, résistance mécanique à la flexion et à la compression.

Abstract

The use of fibers to reinforce construction materials, particularly in concrete and mortar, is widely employed to achieve good mechanical performance, flexural strength, and compression resistance. The mechanical properties of fiber-reinforced concrete are influenced by various factors such as production conditions, percentage, orientation, and distribution of fibers in the concrete. Our work aims to study the mechanical behavior of concrete reinforced with different types of fibers, namely metallic fibers and polypropylene fibers, at dosages of 0.5%, 1%, and 1.5% for each type. This study has highlighted the influence of the fiber percentage on the mechanical properties of concrete.

In our case, we observed that concrete reinforced with metallic fibers enhances its flexural and compression strength. However, a low dosage of polypropylene fibers (0.5%) evidenced goodness mechanical performance.

Keywords : concrete, metallic fibers, polypropylene fibers, mechanical strength in flexion and compression

استخدام الألياف في تقوية مواد البناء ، بما في ذلك الخرسانة والملاط ، يُستخدم بشكل واسع لتحقيق أداء ميكانيكي جيد ومقاومة للانثناء والضغط. تتأثر الخواص الميكانيكية للخرسانة المدعمة بالألياف بعوامل متنوعة مثل ظروف التحضير والنسبة المئوية واتجاه وتوزيع الألياف في الخرسانة. يتضمن عملنا دراسة خصائص الميكانيكية للخرسانة المدعمة بأنواع مختلفة من الألياف ، بما في ذلك الألياف المعدنية وألياف البولي بروبيلين ، بنسب 0.5% و 1% و 1.5% لكل نوع. أظهرت هذه الدراسة تأثير نسبة الألياف على الخواص الميكانيكية للخرسانة.

لاحظنا في دراستنا أن الخرسانة المدعمة بالألياف المعدنية تزيد من مقاومتها للانثناء والضغط. ومع ذلك أظهرت الألياف البولي بروبيلين ذات النسبة المنخفضة (0.5%) مقاومة ميكانيكية جيدة.

الكلمات الرئيسية: الخرسانة، الألياف المعدنية، ألياف البولي بروبيلين، المقاومة الميكانيكية للانثناء والضغط.

Sommaire

Sommaire

Introduction générale	1
I. Chapitre I : Le Béton et ces constituants	3
I.1 Introduction	3
I.2 Définition de béton	3
I.3 Les avantages et les inconvénients de béton	3
I.3.1 Les avantages	3
I.3.2 Les inconvénients	4
I.4 Les constituants de béton.....	4
I.4.1 Le ciment.....	4
I.4.2 Les granulats	6
I.4.3 L'eau de gâchage.....	8
I.4.4 Les adjuvants.....	9
I.5 Les propriétés de béton.....	11
I.6 Différents types de bétons	12
I.6.1 Béton léger	12
I.6.2 Béton lourd.....	12
I.6.3 Béton avec armatures	12
I.6.4 Béton autoplaçant	12
I.6.5 Béton prêt à l'emploi.....	12
I.6.6 Béton à hautes performances.....	12
I.6.7 Béton fibré.....	13
I.7 Domaine d'utilisation de béton.....	13
I.7.1 Les bâtiments.....	13
I.7.2 Les ouvrages publics	13
I.7.3 Autres ouvrages.....	14
I.8 Classe des bétons	14
I.8.1 Classification selon la masse volumique.....	14
I.8.2 Classification selon la maniabilité.....	14
I.8.3 Classification selon la résistance mécanique	15
I.9 Conclusion	16
II. Chapitre 2 : Généralités sur les fibres et les bétons renforcés par des fibres.	17
II.1 Introduction	17
II.2 Définition.....	17

Sommaire

II.3	Les différents types des fibres	17
II.3.1	Fibres minérales	17
II.3.2	Fibres végétales	18
II.3.3	Fibres synthétisées.....	18
II.3.4	Fibres de carbone	19
II.3.5	Fibres amiantées	19
II.3.6	Fibres de bois	20
II.3.7	Fibres en polypropylènes :	21
II.3.8	Fibres en méta :	21
II.3.9	Fibres en verre :.....	22
II.4	La fonction des fibres dans le béton	23
II.5	Les caractéristiques mécaniques.....	24
II.6	Les avantages des fibres	24
II.7	L'application des Fibres dans la Construction :	25
II.8	Conclusion	26
II.9	Des articles sur le béton de fibres	27
II.9.1	L'utilisation des fibres de polypropylène extraites des masques chirurgicaux recyclés dans le mortier de ciment.....	27
II.9.2	Comportement en flexion du béton autoplaçant renforcé avec différents types de fibres d'acier.....	34
III.	Chapitre 3 : Partie pratique	40
III.1	Introduction	40
III.2	Matériaux et méthode de caractérisation	40
III.2.1	Le liant.....	40
III.2.2	Eau de gachage.....	41
III.2.3	Les granulats	41
III.2.4	Les fibres	47
III.2.5	Adjuvant	48
III.2.6	La formulation de béton	48
III.2.7	Réalisation des bétons	52
III.2.8	L'affaissement.....	52
III.2.9	Les essais mécaniques du béton	53
III.3	Résultats et discussions	55
III.3.1	Le ciment.....	55
III.3.2	Les granulats	55

Sommaire

III.3.3 Les essais mécaniques	62
III.4 Conclusion	68
Conclusion générale et recommandations	69
Les références bibliographiques	70
Annexe	74

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Les ingrédients de ciment [8].	4
Figure I.2 : Nomination complète du ciment [11].	6
Figure I.3 : Les différentes classes granulaires [13].	7
Figure I.4 : Les Granulats recyclés [15].	8
Figure I.5 : Courbe de variation du temps de prise avec l'adjuvant retardateur et accélérateur de prise [20].	10
Figure I.6 : Essai au cône d'Abrams	14
Figure I.7 : Classe de résistance du béton.	15

Chapitre II

Figure II. 1 : Les fibres minérales [29].	17
Figure II. 2 : Les fibres végétales[27].	18
Figure II. 3 : Les fibres synthétiques [29].	18
Figure II. 4 : Structure microscopique de fibres d'amiante [27].	20
Figure II. 5 : Unité de cellulose [32].	20
Figure II. 6 : Composition de la microfibre de cellulose [32].	21
Figure II. 7 : La géométrie des fibres métalliques [34].	22
Figure II. 8 : Les fibres de verre [27].	22
Figure II. 9 : L'effet de renforcement par fibres[36].	23
Figure II. 10 : Renforcement de mortier par fibres[36].	24
Figure II. 11 La maniabilité de mortier en fonction les types des mortiers	29
Figure II. 12 : La maniabilité de mortier en fonction les dosages des fibres PP.	29
Figure II. 13 : La densité apparente en fonction les dosages des fibres PP	30
Figure II. 14: Le volume des vides en fonction les dosages des fibres PP.	30
Figure II. 15 : Absorption d'eau en fonction des dosages des fibres PP	30
Figure II. 16 : La résistance à la compression en fonction des dosages des fibres PP.	31
Figure II. 17 : La résistance à la traction en fonction des dosages des fibres PP.	32
Figure II. 18 : La résistance a la flexion en fonction des dosages des fibres PP.	32
Figure II. 19 : La répartition des fibres Polypropylène de dosage 0.15%	33
Figure II. 20 : Le regroupement des fibres dans la matrice cimentaire.	33
Figure II. 21 : Courbes de flexion et CMOD de BAP avec des fibres d'acier droite	36
Figure II. 22 : Courbes de flexion et CMOD de BAP avec des fibres d'acier crochue	36
Figure II. 23 : Essai de résistance a la flexion.	37
Figure II. 24 : Essai de CMOD	37
Figure II. 25 : La résistance maximale à la traction en flexion sur les poutres entaillées.	37
Figure II. 26 : Déflexion en fonction de CMOD	38

Chapitre III

Figure III. 1 : Détermination du temps de délais de prise.	41
Figure III. 2 : Sable fin 0/2 de Boussaâda.	42
Figure III. 3 : Sable 0/4 de Lafarge El M'hir BBA.	42
Figure III. 4 : Gravier 3/8 de Lafarge El M'hir BBA.	42
Figure III. 5 : Gravier 8/15 de Lafarge El M'hir BBA.	42
Figure III. 6 : Tambour rotatif en acier.	43
Figure III. 7 : Essai de propreté superficielle sur le gravier 8/15.	43
Figure III. 8 : Machine micro deval.	44

Liste des figures

Figure III. 9 : Une série des tamis.	44
Figure III. 10 : Tamis à fentes de largeurs normalisées.	45
Figure III. 11 : La masse volumique apparente.....	46
Figure III. 12 : Essai de la masse volumique absolue	46
Figure III. 13 : Solution lavante.	47
Figure III. 14 : Equivalent de sable.....	47
Figure III. 15 : Superplastifiant haut réducteur d'eau NOVA M120.....	48
Figure III. 16 : La courbe d'analyse granulométrique des granulats.	49
Figure III. 17 : Le mélange d'un béton témoin	52
Figure III. 18 : Le mélange d'un béton de fibres polypropylène.....	52
Figure III. 19 : Essai d'affaissement avec le cône d'Abrams.	53
Figure III. 20 : Les différentes classes de consistance de béton	53
Figure III. 21 : La machine de flexion avec l'emplacement d'éprouvette	54
Figure III. 22 : La plaque métallique de dimension 7*7*28 cm ³	54
Figure III. 23 : L'éprouvette dans la machine de compression.....	55
Figure III. 24 : La courbe d'analyse granulométrique du sable (0/2)	57
Figure III. 25 : La courbe granulométrique du sable (0/4).....	58
Figure III. 26 : La courbe granulométrique du sable mélange	58
Figure III. 27 : La courbe granulométrique du gravier (3/8).....	59
Figure III. 28 : La courbe granulométrique du gravier (8/15).....	60
Figure III. 29 : La résistance à la flexion de béton avec 0.5% des fibres.....	63
Figure III. 30 : La résistance a la flexion de béton avec 1% des fibres.....	64
Figure III. 31 : La résistance a la flexion de béton avec 1.5% des fibres.....	65
Figure III. 32 : La résistance a la compression de béton avec 0.5% des fibres.....	66
Figure III. 33 : La résistance a la compression de béton avec 1% des fibres.....	66
Figure III. 34 : La résistance a la compression de béton avec 1.5% des fibres.....	67

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I. 1 : Composition minéralogique de clinker [9].	5
Tableau I. 2 : Composition minéralogique de clinker [9].	5
Tableau I. 3 : Classification des bétons selon la masse volumique [25].	14
Tableau I. 4 : Classification de béton selon l’ouvrabilité ou affaissement	14
Tableau I. 5 : Classification des bétons selon la classe de résistance [26].	15

Chapitre II

Tableau II. 1 : Les propriétés mécaniques des fibres de carbones [31].	19
Tableau II. 2 : Les spécifiés mécaniques des fibres d’amiantes [31].	20
Tableau II. 3 : Les propriétés mécaniques des fibres en verre [32].	22
Tableau II. 4 : Les propriétés physiques et mécaniques de certaines fibres [37].	25
Tableau II. 5 : L’incorporation de différents renforcements de fibres dans les produits à base de ciment [39,40].	26
Tableau II. 6 : Affaissement et la résistance a la compression de BAP de fibres	35
Tableau II. 7 : Energie de rupture de BAP de fibres	38

Chapitre III

Tableau III. 1 : La fiche technique de ciment GICA.	40
Tableau III. 2 : Les valeurs du coefficient de micro-déval sous l'effet de l'eau	44
Tableau III. 3 : La fiche technique des fibres métallique SIKA	47
Tableau III. 4 : La fiche technique des fibres polypropylène SIKA	48
Tableau III. 5 : Caractéristiques de l’adjuvant NOVASUPERFLOW M120	48
Tableau III. 6 : Les pourcentages des constituants.	49
Tableau III. 7 : Les dosages des constituant d'un m ³ de béton.	50
Tableau III. 8 : Les dosages des constituants de 9 l de volume de béton.	50
Tableau III. 9 : Les dosages des constituants de béton de fibre polypropylène	51
Tableau III. 10 : Les dosages des constituants de béton de fibre métallique	51
Tableau III. 11 : Résultats d'essai de prise	55
Tableau III. 12 : Les résultats d'essai los angles	55
Tableau III. 13 : La propreté superficielle de gravier 3/8	56
Tableau III. 14 : Résultats d'essai micro deval a sec	56
Tableau III. 15 : Résultats d'essai micro deval en présence d'eau.	56
Tableau III. 16 : Résultats de l'analyse granulométrique de sable 0/2	57
Tableau III. 17 : Résultats de l'analyse granulométrique de sable 0/4	57
Tableau III. 18 : Résultats d'analyse granulométrique de sable mélange.	58
Tableau III. 19 : Résultats d'analyse granulométrique de gravier 3/8.	59
Tableau III. 20 : Résultats d'analyse granulométrique de gravier 8/15	59
Tableau III. 21 : Module de finesse des 2 sables	60
Tableau III. 22 : Résultats d'essai équivalent de sable	61
Tableau III. 23 : Tamisage sur tamis normalisés à mailles	61
Tableau III. 24 : Tamisage sur tamis à fentes de largeurs normalisées.	61
Tableau III. 25 : Les résultats de la masse volumique apparente et absolue.	62
Tableau III. 26 : Les classes de béton selon l'affaissement.	62
Tableau III. 27 : Les résultats d'essai de flexion de béton avec 0.5% des fibres	63
Tableau III. 28 : Les résultats d'essai de flexion de béton avec 1% des fibres	64
Tableau III. 29 : Les résultats d'essai de flexion de béton avec 1.5% des fibres	64
Tableau III. 30 : Les résultats d'essai de compression de béton avec 0.5% des fibres.	65

Liste des tableaux

Tableau III. 31 : Les résultats d'essai de compression de béton avec 1% des fibres.....	66
Tableau III. 32 : Les résultats d'essai de compression de béton avec 1.5% des fibres.....	67

Introduction générale

Le domaine du génie civil est étroitement lié aux matériaux de construction, qui jouent un rôle important dans la construction d'infrastructures durables. Les ingénieurs civils doivent sélectionner les matériaux appropriés en fonction des exigences spécifiques du projet, en prenant en considération des paramètres tels que la résistance, la durabilité, la stabilité et la compatibilité environnementale. Les matériaux de construction couramment utilisés comprennent les bétons et l'acier, les composites et les matériaux géotechniques. Chaque matériau possède des caractéristiques et des performances uniques, ce qui permet de choisir la combinaison optimale qui assure la sécurité et la fonctionnalité des structures.

L'un des matériaux de construction les plus prédominants à l'échelle mondiale en raison de ses propriétés remarquables, notamment sa résistance exceptionnelle, sa durabilité avérée et sa polyvalence inégalée est le béton. Ce matériau joue un rôle fondamental dans le développement des structures modernes et d'ingénierie civile. De plus, sa demande continue de croître dans divers secteurs, témoignant de son importance incontestable

L'étude des propriétés mécaniques du béton revêt une grande importance dans l'ingénierie civile. En tant que matériau composite, le béton présente une combinaison caractéristique de forces de compression et de faibles capacités de traction. Malgré la résistance à la compression élevée, la résistance à la traction est relativement limitée. Par conséquent, cela peut conduire à l'apparition de fissures et à la détérioration de la structure lorsque le béton est soumis à des charges considérables, à des variations de température ou à des conditions environnementales agressives.

Afin de surmonter cette limitation, l'ajout des fibres dans le béton est révélée être une approche efficace pour améliorer ses caractéristiques mécaniques.

Le béton fibré est un matériau composite qui possède les avantages du béton traditionnel avec l'ajout des fibres pour améliorer ses performances mécaniques. Les fibres employées dans le béton de fibre sont de différents types, tels que des fibres d'acier, polypropylène, verre ou carbone. Ces fibres sont soigneusement dispersées dans le mélange de béton pour créer un réseau tridimensionnel qui renforce le matériau.

Notre étude vise à analyser l'impact des fibres sur les propriétés mécaniques du béton avec l'utilisation des fibres métalliques et des fibres de polypropylène, à différents pourcentages.

Introduction générale

Pour mieux comprendre notre sujet et atteindre les objectifs que nous avons fixés, notre travail est organisé en trois chapitres :

- Le chapitre un c'est des généralités sur les bétons, il fournit des compréhensions globales de ce matériau, Il présente de manière détaillée la définition du béton, ses constituants, les différents types, ainsi que ses propriétés et ses avantages.
- Le second chapitre est une étude sur les fibres et les bétons renforcé avec les fibres,se concentre sur l'étude des fibres utilisées dans la construction. Ce chapitre offre une définition complète des fibres et présente les différents types disponibles. De plus, il examine les avantages des fibres dans le béton. À la fin du chapitre, nous avons présenté deux articles scientifiques, l'un portant sur les bétons renforcé par des fibres de polypropylènes et l'autre est un béton renforcé par des fibres métalliques.
- Le troisième chapitre c'est la partie pratique se concentre sur les essais pour caractériser les matériaux employés dans la formulation de notre béton. Il commence par une présentation détaillée des matériaux, mettant en évidence leurs propriétés. Ensuite, les résultats obtenus sont exposés. Après la présentation de la méthode de formulation, décrivant les procédures et les calculs utilisés pour déterminer les différentes compositions de béton. Enfin, les résultats obtenus des essais mécaniques des bétons ont été présenté.

Finalement, une conclusion générale est présentée, résumant l'ensemble des résultats obtenus.

I. Chapitre I : Le Béton et ces constituants**I.1 Introduction**

Chaque année, une quantité colossale de sept milliards de mètres cubes de béton est fabriquée. et non seulement c'est le matériau le plus répandu à l'échelle mondiale est certainement le plus largement employé. Mais son histoire est également remarquablement unique [1].

Le béton se présente comme un matériau composite complexe et polyphasé, composé d'un mélange de granulats (sable et gravier), de ciment et d'eau, chaque composant joue un rôle spécifique dans sa composition, la pâte de ciment, par exemple, Il occupe une part allant de 25% à 40% du volume global du béton, a cause de ses multiples qualités ,il offre plusieurs possibilités de conception. Il a la possibilité d'être façonné dans une variété de formes, tout en présentant une résistance à la compression remarquable, une rigidité élevée, et une faible conductivité électrique et thermique, ainsi qu'une faible inflammabilité et toxicité [2].

Parmi les caractéristique essentielles du béton la résistance mécanique et la déformation, car elles influent considérablement sur la fiabilité et la durabilité des structures. Les caractéristiques du béton varient par rapport a sa composition, notamment la nature et la quantité des différents composants, tels que le ciment et l'eau [3].

I.2 Définition de béton

Le béton est un matériau composite artificiel, se compose d'un mélange de granulats (gravier et sable), ces granulats forment la structure de base du béton et sont liés les uns aux autres par un agent de liaison appelé "ciment", peut être de nature "hydraulique" en formant une pâte de ciment avec de l'eau, il enrobe les granulats et joue le rôle de lubrifiant et de colle lorsqu'il est frais, puis durcit pour maintenir la structure du béton [4].

I.3 Les avantages et les inconvénients de béton**I.3.1 Les avantages**

- Durable et stable, il conserve ses propriétés au fil du temps, assurant ainsi une bonne durabilité.
- Il permet une construction rapide. En seulement sept semaines, le bâtiment devient étanche à l'air et à l'eau.
- L'isolation et l'étanchéité sont excellentes, car l'ensemble du revêtement est réalisé par une seule entreprise. De plus, de grands éléments sont utilisés, s'assemblant parfaitement.
- Il est économique, facile à produire et requiert un entretien minimal.
- Il résiste bien au feu et aux contraintes mécaniques habituelles.
- Il offre un confort intérieur agréable grâce à sa grande inertie thermique.
- Les parois sont parfaitement étanches et isolées, permettant ainsi l'habitation souterraine [5].

I.3.2 Les inconvénients

Cependant, il convient de souligner que le béton peut avoir un impact significatif sur l'environnement, car le ciment (l'un des composants principaux du béton) est un important générateur de dioxyde de carbone, un gaz à effet de serre.

I.4 Les constituants de béton

I.4.1 Le ciment

I.4.1.1 Généralité et définition de ciment

Le ciment, sous forme d'une fine poudre minérale, agit comme un agent de liaison hydraulique qui entre en réaction au contact de l'eau. Lorsqu'il est mélangé avec de l'eau, Il crée une pâte qui, au fil du temps, se durcit graduellement lorsqu'il est exposé à l'air ou à l'eau. Le ciment joue un rôle fondamental dans le processus de fabrication du béton Parce qu'il permet de transformer un mélange non cohésif en un matériau solide.

Les ciments couramment utilisés sont également connus sous le nom de liants hydrauliques car ils ont la capacité de réagir avec l'eau et de s'hydrater, et cette réaction d'hydratation modifie la pâte de ciment d'un état plus ou moins fluide en un solide pratiquement insoluble dans l'eau. L'hydratation du ciment commence dès qu'il entre en contact avec l'eau. Cette réaction chimique engendre la formation d'hydrates de ciment, qui se forment à la surface de chaque grain de ciment [6].

I.4.1.2 Composition de ciment

Le ciment se compose principalement de quatre composants minéralogiques :

- La chaux CaO (désignée de manière simplifiée par "C"), qui est plutôt basique.
- La silice SiO_2 (désignée par "S").
- L'alumine Al_2O_3 (désignée par "A").
- L'oxyde de fer Fe_2O_3 (désigné par "F"), qui est plutôt acide.[7].

I.4.1.3 Matières premières :

Les matières premières naturelles sont généralement classées de la manière suivante :

- Calcaire : contenant plus de 80% de CaCO_3 .
- Argile : contenant moins de 40% de CaCO_3 .
- Éléments argilo-calcaires : contenant de 40% à 80% de CaCO_3 .



Figure I.1 : Les ingrédients de ciment [8].

• Clinker portland (K)

Ce produit à la sortie des fours après la cuisson à environ 1 450°C, est un matériau hydraulique composé de mélanges appropriés d'environ 80% de calcaire, 20% d'argile, des matières de correction, et d'argile. Il est constitué des grains très et principalement composé des phases cristallines suivantes :

- Le silicate tricalcique, également appelé "alite" (C_3S), avec la formule $3CaO, SiO_2$.
- Le silicate bicalcique, également connu sous le nom de "bilite" (C_2S), avec la formule $2CaO, SiO_2$.
- L'aluminate tricalcique (C_3A), avec la formule $3CaO, Al_2O_3$.
- L'alumino-ferrite tétracalcique (C_4AF), avec la formule $4CaO, Al_2O_3, Fe_2O_3$.

Le clinker représente au moins 95% de la composition de ciment portland..

I.4.1.4 Composition chimique de clinker

Tableau I. 1 : Composition minéralogique de clinker [9].

Elément	C3S	C2S	C3A	C4AF	CaO	Gypse	Calcaire	Cao	Pouzzolane
%	58	16	7	12	1	6	17	61.9	-
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	Chlorures	PAF	Insoluble
15.8	4.15	2.31	2.8	0.06	0.69	2.39	0.023	9.59	0.7 - 2

I.4.1.5 Composition minéralogique de clinker

Tableau I. 2 : Composition minéralogique de clinker [9].

Composés	Composition	Appellation abrégée	Taux
Silicate tricalcique	3 Cao, SiO ₂	C ₂ S	50 à 70 %
Silicate bi calcique	2 Cao, SiO ₂	C ₃ S	10 à 30 %
Aluminate tricalcique	3 Cao, Al ₂ O ₃	C ₃ A	2 à 15 %
Alumino-ferrite tétracalcique	4CaO, Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	C ₄ AF	5 à 15 %

I.4.1.6 Les types de ciment

- Le ciment Portland

Ce type de ciment est exclusivement composé de clinker. Parmi les différents types de ciments Portland, il convient de mentionner le ciment blanc, qui offre la possibilité de créer des produits et des bétons esthétiques et décoratifs

- Le ciment Portland composé

Ce ciment est obtenu en mélangeant du clinker broyé avec des cendres volantes.

- **Le ciment métallurgique**

Ce ciment est désigné sous le nom de ciment de haut fourneau, car il est obtenu en mélangeant du clinker broyé avec du laitier granulé.

- **Les ciments composés**

Ce ciment spécifique est constitué de trois éléments : le clinker, les cendres volantes et le laitier de haut fourneau..

- **Les ciments spéciaux**

Différents types de ciments spéciaux sont utilisés dans la fabrication de béton soumis à des conditions d'exploitation particulièrement difficiles, offrant une résistance accrue aux sulfates ou une teneur limitée en alcalis.

I.4.1.7 La résistance caractéristique du ciment

La résistance caractéristique d'un ciment fait référence à sa capacité mécanique à résister en compression, estimé après 28 jours selon la norme NF EN 196-1[9], exprimé en MPa, il y'a trois classe de résistance 32,5/42,5/52,5 Mpa, par rapporta leur résistance mécanique en compression à 28 jours.

I.4.1.8 Désignation de ciment

La norme NF EN 197-1 décrit la désignation complète de ciment courant :

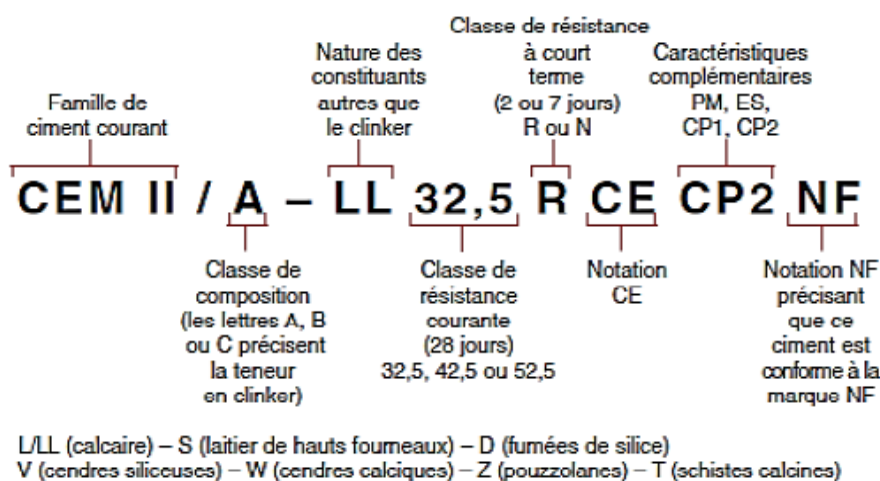


Figure I.2 : Nomination complète du ciment [11].

I.4.2 Les granulats

I.4.2.1 Généralité

Le terme "granulat" désigne un ensemble des particules d'origine minérale, ayant des dimensions allant de 0 à 80 mm. Ces particules peuvent être issues de roches fragmentées, de formations rocheuses solides, de minerais ou de produits dérivés résultant de processus thermiques, ainsi que de résidus de l'industrie.

Les granulats jouent un rôle crucial dans le comportement du béton et exercent une influence significative sur ses performances mécaniques. En effet, ils présentent des caractéristiques mécaniques supérieures à celles de la matrice cimentaire.

Pour choisir le squelette granulaire, plusieurs paramètres sont pris en compte pour obtenir un béton de qualité, tels que la qualité, la minéralogie, la forme et une granulométrie appropriée [12].

I.4.2.2 Les classes granulaires

Il y a quatre classes granulaires:

- Les sables, dont les grains ont un diamètre (D) inférieur ou égal à 6,3 mm.
- Les gravillons, dont les grains ont un diamètre (D) compris entre 2 mm et 31,5 mm, avec un diamètre minimal (d) de 2 mm.
- Les graves, qui ont des grains d'un diamètre (D) inférieur ou égal à 80 mm, avec un diamètre minimal (d) de 6,3 mm.
- Les blocs et enrochements, qui peuvent atteindre une masse allant jusqu'à 3 tonnes.

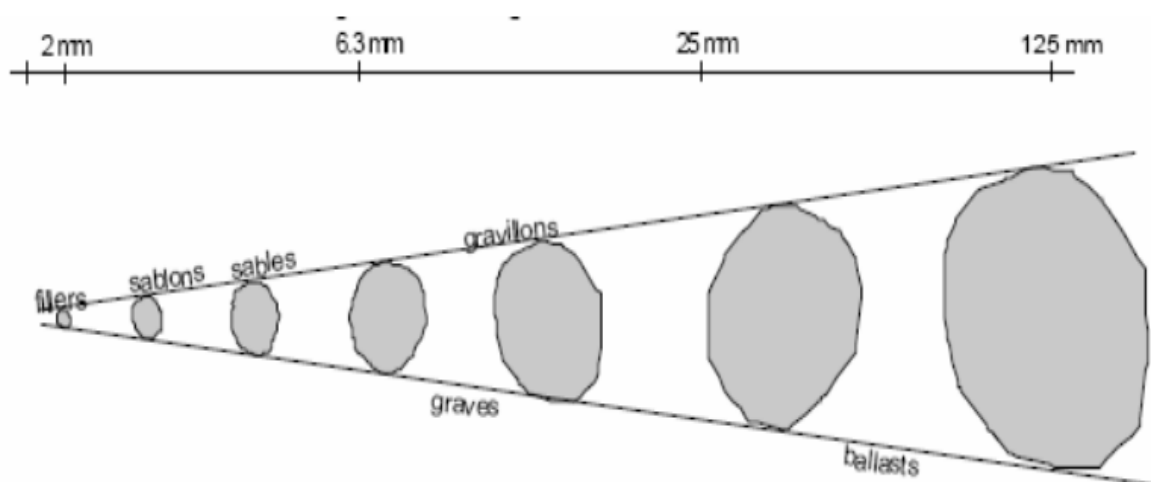


Figure I.3 : Les différentes classes granulaires [13].

I.4.2.3 Les types des granulats

I.4.2.3.1 Les granulats naturels

Les granulats sont issus de deux sources principales : les carrières de roches massives et les gisements alluvionnaires.

Sur le plan géologique

Les granulats naturels sont généralement obtenus à partir de trois catégories de roches : les roches éruptives, les roches sédimentaires et les roches métamorphiques.

Les compositions minéralogiques se regroupent généralement en trois familles distinctes : les roches calcaires, les roches siliceuses et les roches silico-calcaires [14].

I.4.2.3.2 Les Granulats Alluvionnaires

Les granulats dits "roulés" sont caractérisés par leur forme acquise par l'érosion, ils sont principalement présents dans les dépôts alluvionnaires situés dans les lits des rivières (et éventuellement en mer).

Les granulats sont soumis à un processus de lavage visant à éliminer les particules d'argile, puis ils sont triés selon différentes classes granulaires par criblage.

I.4.2.3.3 Les Granulats de Carrières

Les granulats sont obtenus en effectuant des opérations d'abattage et de concassage, suivies de criblage ou de tamisage afin de sélectionner des grains ayant des dimensions spécifiques. Les granulats qui ont subi un concassage possèdent des propriétés qui varient selon de nombreux facteurs tels que l'origine minéralogique et la stabilité de la composition chimique et minéralogique des granulats.

I.4.2.3.4 Les granulats recyclés

Le granulat recyclé fait référence aux granulats qui sont obtenus à partir de la transformation de matériaux inorganiques précédemment utilisés dans la construction, cette catégorie inclut des granulats tels que le béton concassé et les résidus d'enrobés bitumineux.

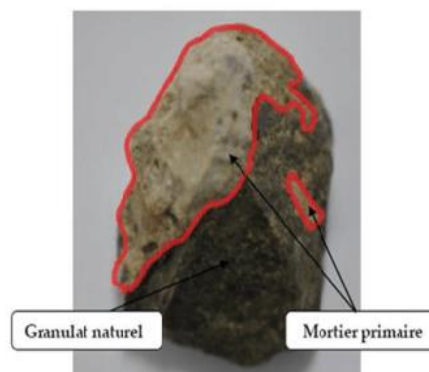


Figure I.4 : Les Granulats recyclés [15].

I.4.2.3.5 Les granulats artificiels

Dans cette catégorie se rangent des granulats provenant de la transformation thermique de roches, de minerais et de sous-produits industriels transformés.

I.4.3 L'eau de gâchage

I.4.3.1 Définition :

L'eau est l'un des ingrédients essentiels du béton, souvent considéré comme le plus important aux côtés du ciment. Lors du processus de mélange, l'eau occupe deux rôles principaux, il confère au béton les propriétés rhéologiques d'un liquide, ce qui lui permet de

prendre la forme souhaitée. D'autre part, l'eau joue un rôle chimique crucial en contribuant à la réaction d'hydratation, qui est responsable du durcissement du béton.

Cependant, toutes les eaux ne conviennent pas pour le mélange de béton en raison de la présence potentielle d'impuretés qui peuvent détériorer ses propriétés. Ces impuretés peuvent avoir un impact négatif sur les caractéristiques physiques et mécaniques du béton (temps de prise, la résistance), son aspect esthétique (apparition de taches, efflorescences), ainsi que sa durabilité. Les impuretés chimiques éventuellement présentes dans l'eau de mélange peuvent être des constituants actifs [16].

I.4.3.2 Rôle de l'eau de gâchage

L'eau assume un rôle essentiel dans le processus d'hydratation du ciment, ce qui permet le durcissement du béton. Cependant, la présence de certains composés dans l'eau peut gêner cette étape d'hydratation, ce qui peut avoir un impact négatif sur la résistance et la durabilité du béton [17].

I.4.3.3 Type de l'eau

Les sources d'eau de gâchage sont aptes à être très diverses. L'eau la plus couramment disponible et utilisée comme référence est l'eau potable fournie par les réseaux de service public. Parmi les autres sources d'eau fréquemment utilisées, on trouve les eaux de pompage provenant de nappes phréatiques, de cours d'eau ou de réservoirs.

I.4.4 Les adjuvants

I.4.4.1 Définition

Un adjuvant est une substance employée en faible quantité (inférieure à 5 % de la masse du ciment) dans les mélanges de béton, de mortier ou de coulis, soit lors de malaxage, soit avant le coulage. Son ajout entraîne des changements des caractéristiques du mélange, qu'il soit à courte ou à longue terme.

L'adjuvant est ajouté au béton pour améliorer certaines propriétés, soit à l'état frais ou à l'état durcis [18].

Ces adjuvants sont des composés chimiques qui se dissolvent dans l'eau qui agissent sur la solubilité, la vitesse de dissolution et l'hydratation des différents constituants du ciment. Ils peuvent faciliter le coulage du béton, renforcer les performances mécaniques ou accroître la durabilité du matériau. Ils sont régis par la référence normative NF EN 934[19].

I.4.4.2 Les différents types d'adjuvants

Les adjuvants peuvent être classés dans diverses catégories en fonction de leur rôle :

- Les supers plastifiants.
- Les retardateurs.
- Les accélérateurs.

- Les hydrofuges.

Il est également possible de mentionner d'autres adjuvants, tels que :

- Les produits de cure.
- Les entraîneurs d'air.
- Les ajouts cimentaires.

I.4.4.2.1 Les adjuvants qui modifient la prise et le durcissement

- Les accélérateurs de prise et de durcissement

Ces substances chimiques modifient la dissolution des composants du liant. Sur le plan physique, cela se manifeste par une modification de la résistance à court terme, par rapport au l'adjuvant employé.

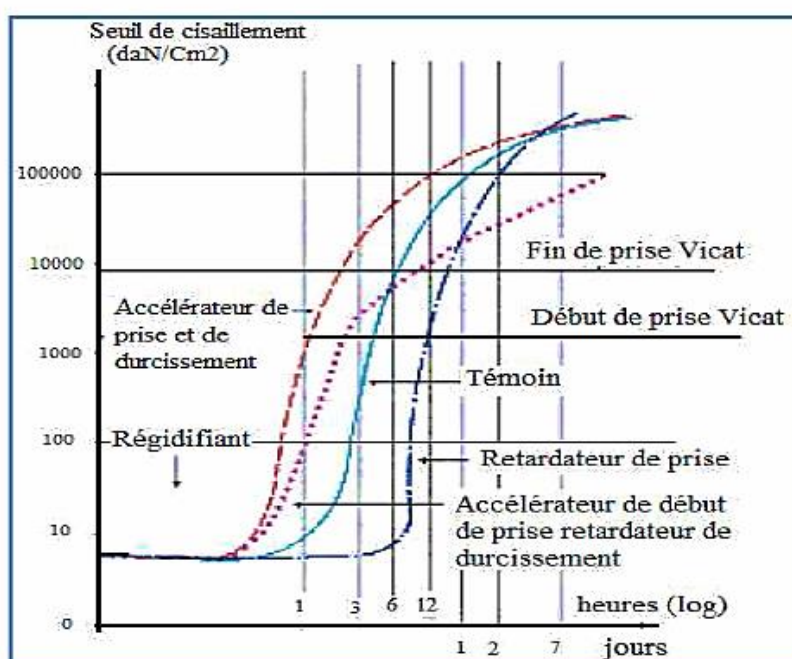


Figure I.5 : Courbe de variation du temps de prise avec l'adjuvant retardateur et accélérateur de prise [20].

- Les retardateurs de prise

Ce produit est utilisé pendant l'hydratation du ciment pour prolonger la transition de l'état plastique à l'état solide, sans exercer une influence notable sur le développement des résistances. Ces types d'adjuvants permettent de retarder le début de la prise et de contrôler la libération de chaleur résultant de l'hydratation du ciment.

I.4.4.2.2 Les adjuvants modificateur des caractéristiques du béton

- Les adjuvants entraîneurs d'air

Sa fonction principale est de générer les microbulles d'air réparties de manière uniforme dans le béton, ainsi l'augmentation de la résistance au gel/dégel à l'état durci.

Les microbulles, en interrompant les réseaux capillaires, réduisent les contraintes liées à la formation de glace dans l'eau interstitielle. De plus, les agents entraîneurs d'air contribuent à accroître la résistance au feu du béton.

Dans les pays froids, l'ajout des agents entraîneurs d'air est pratiquement obligatoire pour les routes et les barrages. Ils sont également employés dans les bétons spéciaux, tels que les bétons lourds et légers, afin de prévenir la ségrégation. Même pour la réalisation de béton ordinaire armé ou non, l'incorporation d'agents entraîneurs d'air peut être recommandée.

- **Hydrofuges**

Les agents hydrofuges sont employés afin d'améliorer la capacité d'étanchéité des bétons et de les protéger contre l'humidité en empêchant l'absorption capillaire.

I.4.4.2.3 Adjuvants qui modifient la maniabilité du béton

Ces adjuvants jouent un rôle essentiel dans l'augmentation de la fluidité des bétons, ce qui facilite leur coulage. En conséquence, d'autres améliorations sont observées dans l'état solide, telles que la compacité et la résistance mécanique. L'évolution de ces types d'adjuvants est étroitement liée au développement du secteur chimique en général.

- **Les plastifiants réducteurs d'eau**

En conservant la même consistance, l'ajout approprié de ces plastifiants permettra de diminuer la quantité d'eau nécessaire dans le béton donné, ce qui augmentera la maniabilité.

- **Les superplastifiants hauts réducteurs d'eau**

Les superplastifiants sont des agents qui permettent de significativement diminuer la quantité d'eau fondamentale dans le béton donné. Alternativement, sans altérer la teneur en eau, ils peuvent énormément augmenter la maniabilité du béton [21].

I.5 Les propriétés de béton

Afin d'améliorer l'efficacité d'utilisation du béton, il est essentiel d'appréhender ses caractéristiques. Lorsqu'il est frais et malléable, le béton peut être façonné à volonté. Une fois durci, sa forme devient inaltérable, cependant ses caractéristiques continuent d'évoluer au fil du temps [22].

•**La maniabilité du béton** fait référence à sa capacité à être moulé facilement en formes volumiques relativement simples, lui permettant d'adopter une grande variété de configurations.

•**Durci**, le béton devient solide inaltérable, avec une bonne résistance mécanique.

•**La compacité**, Joue un rôle essentiel car la densité des particules, c'est-à-dire la compacité du béton, est directement liée à sa résistance à la compression

•**La fluidité, ou l'ouvrabilité**, est une caractéristique qui permet au béton de prendre une grande diversité de formes possibles à l'état frais. Progressivement, il durcit et devient très résistant.

I.6 Différents types de bétons

Grâce aux progrès des techniques et des technologies, la famille des bétons n'a cessé de s'élargir, en particulier pour se conformer aux contraintes de mise en œuvre, de performances et d'esthétique [23].

I.6.1 Béton léger

Le béton léger est caractérisé par sa grande malléabilité et sa légèreté. Il est particulièrement adapté aux travaux de rénovation, offrant une résistance élevée aux chocs et une excellente isolation thermique. Il trouve une application particulière dans la réalisation de murs porteurs et les dalles.

I.6.2 Béton lourd

Le béton lourd se distingue par sa densité supérieure par rapport au béton classique. Il est composé de granulats très denses et présente une viscosité élevée. Son utilisation est spécifique et se fait dans des situations bien définies, telles que les coulées de ponts, les lests ou les contrepoids, ainsi que pour assurer la protection contre les radiations.

I.6.3 Béton avec armatures

C'est un matériau composite obtenu en intégrant des barres d'acier (fils, treillis soudés, etc.) dans la masse du béton, cette combinaison permet de bénéficier des avantages de la résistance mécanique.

I.6.4 Béton autoplaçant

C'est un type de béton extrêmement fluide, stable et homogène, qui peut être coulé sans avoir besoin de vibration.

I.6.5 Béton prêt à l'emploi

Les industriels produisent directement le béton prêt à l'emploi dans leurs centrales à béton. Il est ensuite acheminé vers les chantiers à l'aide de camions toupies et livré directement aux clients. Une fois arrivé sur place, le béton prêt à l'emploi est déchargé du camion toupie et peut être appliqué soit à l'aide d'une pompe à béton, soit en utilisant une goulotte.

I.6.6 Béton à hautes performances

Le béton à haute résistance distingue par sa remarquable résistance à la compression, dépassant 50 MPa après 28 jours de durcissement, de plus, il présente de bonnes performances.

I.6.7 Béton fibré

Est un matériau composite composé d'un mélange de béton traditionnel auquel des fibres de différentes natures (métalliques, organiques) sont incorporées, ces fibres sont uniformément réparties dans le béton, lui conférant des propriétés spécifiques propres à leur nature et à leurs caractéristiques mécaniques.

I.7 Domaine d'utilisation de béton

Le béton considéré comme un matériau polyvalent capable d'ajuster ses performances en fonction de son utilisation, il peut être développé pour atteindre des résistances mécaniques élevées, rechercher des gains de poids ou offrir des alternatives plus économiques, le béton peut répondre aux exigences esthétiques les plus élevées, tout en pouvant également jouer un rôle discret mais essentiel dans les structures.

I.7.1 Les bâtiments

Le béton assume une place essentielle dans la conception actuelle. Son utilisation est largement répandue dans la construction de logements, où il représente environ 70% des techniques utilisées pour les murs en construction individuelle et plus de 80% pour les structures en construction collective. De plus, le béton est pratiquement le matériau exclusif utilisé pour les planchers.

Le béton a également trouvé sa place dans d'autres domaines de la construction, tels que les bureaux, les hôpitaux, les locaux commerciaux, les grands édifices publics et les bâtiments industriels. Sa présence est prédominante dans ces domaines, contribuant à la solidité, à la durabilité et à la flexibilité des structures [24].

I.7.2 Les ouvrages publics

- Les ponts : Grâce à l'évolution des caractéristiques de béton, il est désormais possible de réaliser des ponts haubanés avec des portées atteignant 500 mètres.
- Les tunnels : Pour les tunnels de grande envergure, de plus en plus fréquents à travers le monde, le béton est utilisé soit en coulant sur place, soit en utilisant des voussoirs préfabriqués.
- Les barrages : ils sont généralement construits en béton, ce qui permet leur implantation dans des sites aux conditions les plus difficiles.
- Les routes : L'utilisation du béton pour les chaussées routières et autoroutières gagne une part croissante, notamment en raison des avancées des techniques modernes telles que le béton armé continu, les dalles épaisses et les traitements de surface.

I.7.3 Autres ouvrages

Il est également important de mentionner les ouvrages exceptionnels tels que les structures offshore et les centrales nucléaires, qui exigent l'utilisation de bétons présentant des caractéristiques mécaniques et une durabilité élevée [24].

I.8 Classe des bétons

I.8.1 Classification selon la masse volumique

La masse volumique est une propriété physique qui représente le rapport entre la masse du béton et son volume [25].

Tableau I. 3 : Classification des bétons selon la masse volumique [25].

Béton	Masse volumique (en kg/m ³)
Béton léger	De 800 à 2000
Béton de masse volumique normal	De 2000 à 2600
Béton lourd	Supérieur à 2600

I.8.2 Classification selon la maniabilité

La maniabilité est une caractéristique indispensable du béton frais, lui permettant de remplir efficacement n'importe quel volume.

L'ouvrabilité se réfère à la capacité du béton à se conformer aux coffrages ou aux moules tout en enveloppant correctement les armatures.

La consistance est l'un des paramètres qui définit l'ouvrabilité, elle peut être facilement mesurée avec l'essai d'affaissement [25].

Tableau I. 4 : Classification de béton selon l'ouvrabilité ou affaissement

Affaissement	Classe de consistance	Définition	Exemple
De 10 à 40 mm	S1	Béton ferme	Escalier, voirie...
De 50 à 90 mm	S2	Béton plastique	Dalle pleine
De 100 à 150 mm	S3	Béton très plastique	Dalle, fondation
De 160 à 210 mm	S4	Béton fluide	Dalle fondation voile...
Supérieur à 220 mm	S5	Béton très fluide	Dalle fondation ...

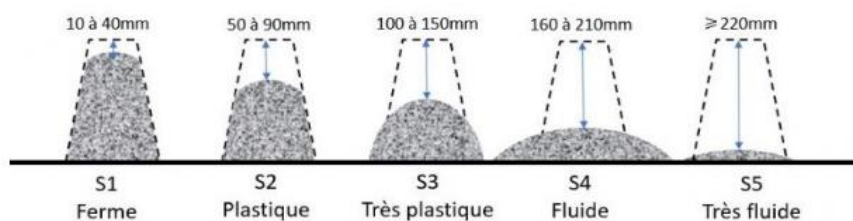


Figure I.6 : Essai au cône d'Abrams

I.8.3 Classification selon la résistance mécanique

La classe de résistance est la plus souvent employée pour classer les bétons. Cette résistance en compression est déterminée après 28 jours du durcissement selon la norme EN 206-1 [26].

Tableau I. 5 : Classification des bétons selon la classe de résistance [26].

Les classes	Rc Minimale sur cylindre N/mm ²	Rc Minimale sur cube N/mm ²
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C100/115	100	115

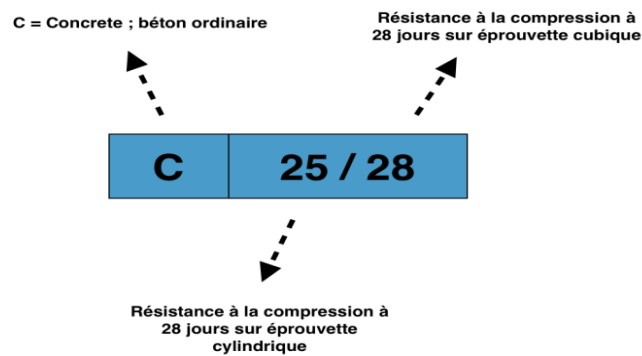


Figure I.7 : Classe de résistance du béton.

I.9 Conclusion

En conclusion, ce chapitre constitue une introduction indispensable à un matériau de construction couramment utilisé dans le monde. Nous avons examiné les propriétés du béton, sa classification, les avantages et les inconvénients de ce matériau, les différents types de béton et leurs applications, ainsi que les composants fondamentaux qui le constituent.

Le béton joue un rôle important dans l'évolution de l'industrie du bâtiment. Grâce à sa résistance exceptionnelle, sa durabilité et sa polyvalence, le béton a été largement employé dans une multitude de projets de construction à travers le globe, allant des structures les plus basiques aux ouvrages les plus complexes.

Cependant, malgré les nombreux bénéfices qu'il offre, le béton demeure un matériau exigeant qui requiert une vigilance accrue quant à sa composition, sa production et son entretien afin d'assurer sa qualité sur le long terme.

En conclusion, grâce aux avancées technologiques et aux progrès des matériaux de construction, il est indéniable que le béton restera un acteur majeur dans l'industrie de la construction pour les années à venir. En portant une attention constante à l'innovation et à l'amélioration, le béton pourrait également être utilisée de manière plus durable et respectueuse de l'environnement en vue de répondre aux demandes croissantes de l'industrie de la construction.

II. Chapitre 2 : Généralités sur les fibres et les bétons renforcés par des fibres.

II.1 Introduction

Le développement des matériaux innovants est influencé par les exigences des utilisateurs, tels que les constructeurs. Ces derniers sont constamment en quête de matériaux plus performants, plus économiques et plus durables. Les chercheurs se concentrent souvent sur l'optimisation des solutions déjà existantes, car la découverte de nouveaux matériaux est devenue moins fréquente. Au lieu de cela, L'importance est fortement accordée à la création de nouvelles idées de la combinaison des matériaux. Un exemple concret de cette approche est le béton renforcé par des fibres. Dans ce chapitre, nous présenterons un résumé des connaissances clés sur le béton, le béton armé et les bétons fibrés [27].

II.2 Définition

Les fibres se présentent sous la forme de discontinuités, avec des contours généralement cylindriques, caractérisées par des diamètres et des longueurs variables. Elles peuvent être réparties de manière aléatoire ou avec une orientation préférentielle dans une matrice. En général, les fibres sont considérées comme les composants de base des structures textiles. On distingue deux types principaux de fibres : les fibres courtes, mesurant de 20 à 150 mm, et les filaments continus, de longueurs plus importantes. En fonction de leur source (naturelle, artificielle ou synthétique), de leur configuration (droite, ondulée, en aiguille, etc.) et de leurs dimensions (macro ou microfibrés), les fibres peuvent varier. ainsi que leurs propriétés mécaniques. Lors du choix des fibres auprès d'une utilisation donnée, il est essentiel de considérer l'accord entre la fibre et la matrice, ainsi que l'approche opérationnelle d'hétérogène [28].

II.3 Les différents types des fibres

II.3.1 Fibres minérales

Ces fibres, comprenant des matériaux tels que l'amiante et l'alumine, sont largement utilisées dans diverses applications conventionnelles. Précédemment employées en tant qu'isolant et protecteur contre les incendies, les fibres d'amiante se sont révélées être un agent cancérigène [29].



Figure II. 1 : Les fibres minérales [29].

II.3.2 Fibres végétales

La cellulose, principale composante des fibres végétales, possède une résistance remarquable aux alcalis, tandis que les fibres végétales sont généralement résistantes à la plupart des acides organiques mais vulnérables aux acides minéraux puissants [30].



Figure II. 2 : Les fibres végétales[27].

II.3.3 Fibres synthétisées

Au sein de cette famille, on trouve diverses variétés de fibres, notamment le nylon, le polypropylène, l'acrylique et le polyester, et d'autres encore. Elles ont fait leur apparition à la fin du XIXe siècle sous le nom de rayonne et sont dérivées de la cellulose naturelle. Actuellement, la majorité des fibres synthétisées viennent des éléments dérivés du pétrole et de polymères énormes ayant une composition identique à celle des substances plastiques. Le nylon, la fibre plastique initiale à connaître une victoire commerciale, a été introduite en 1938. Depuis lors, de nombreux autres matériaux synthétiques ont été développés, tels que les fibres de verres acryliques, le polyamide et le polystyrène. Ces derniers ont fait l'objet des études dans les domaines industriels spécifiques, tel que l'élaboration des matériaux isolants [29].



Figure II. 3 : Les fibres synthétiques [29].

II.3.4 Fibres de carbone

Le coût élevé du carbone le rend moins populaire que le verre, qui est plus abondant en vente.

Cependant, les filaments en carbone sont largement connus comme les plus performantes. Les classes des filaments en carbone sont catégorisées en fonction de leurs caractéristiques mécaniques, qui soumis des alternances de carbonatation et de l'origine du préliminaire utilisé.

Il existe deux catégories principales des fibres :

- Les types à haut module, tels que les classes UHM (ultra haut module) et HM (haut module),
- Les types à haute résistance, comme les classes THR ou VHS (Très Haute Résistance ou Very High Strength) et HR ou HS (Haute Résistance ou High Strength), les fibres de carbone sont extrêmement fragiles, ce qui rend leur mélange avec le béton très difficile. Par conséquent, elles sont généralement ajoutées au béton par projection. De plus, l'ajout de ces fibres dans le béton confère à celui-ci des caractéristiques de durabilité très intéressantes [31].

Tableau II. 1 : Les propriétés mécaniques des fibres de carbones [31].

Type de la fibre de carbone	H.R	H.M
Diamètre D (mm)	8	8
Masse volumique (g/cm ³)	1.75	1.81
Résistance à la rupture(MPA)	3000-5000	2800
Module de Young E (GPA)	220	400

II.3.5 Fibres amiantées

Elles sont composées de silicates de magnésium hydratés qui sont parfaitement compatibles avec la pâte de ciment.

Elles présentent une bonne résistance à la traction et un module d'élasticité élevé, ce qui en fait des fibres très demandées sur le marché.

Cependant, elles ne conviennent pas pour renforcer les mortiers ou les bétons, car il est très difficile de les répartir de manière homogène et elles nécessitent une grande quantité d'eau de gâchage, de plus, leur utilisation dans le renforcement des ciments est de plus en plus abandonnée et même interdite dans de nombreuses applications en raison des risques qu'elles posent pour le bien-être de l'homme.

Le tableau II-2 présente les propriétés mécaniques spécifiques des fibres d'amiante [31].

Tableau II. 2 : Les spécifiés mécaniques des fibres d'amiante [31].

Types de fibre	Amiante
Diamètre D (mm)	0.0002-0.002
Longueur (mm)	5
Masse volumique (g/cm ³)	2.6-3
Résistance a la rupture (MPa)	100-300
Module de Young E (GPa)	80-150

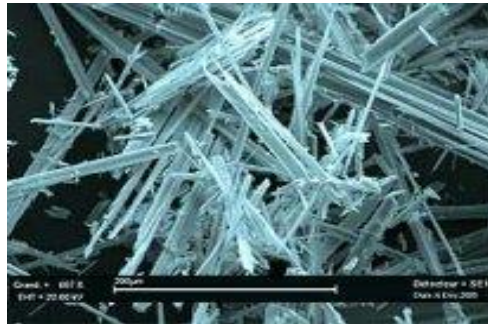


Figure II. 4 : Structure microscopique de fibres d'amiante [27].

II.3.6 Fibres de bois

Elles sont d'origine excrètent du bois par divers procédés chimiques et mécaniques. Autrefois employées comme ajout dans le ciment d'amiante plutôt que comme renfort, elles sont désormais utilisées pour le renforcement des substances organiques et des pâtes de ciment dans la production des lamelles minces, de tuyaux.

Les caractéristiques physiques de ces fibres varient en fonction des méthodes de fabrication. Leur diamètre peut varier de 1 à 4 mm, tandis que leur longueur se situe entre 10 et 50 mm, avec un rapport longueur/diamètre d'environ 100, leur résistance à la traction varie de 10 à 30 MPa, elles sont extrêmement efficaces pour améliorer la résistance mécanique d'un matériau composite, principalement en freinant la propagation des fissures [29].

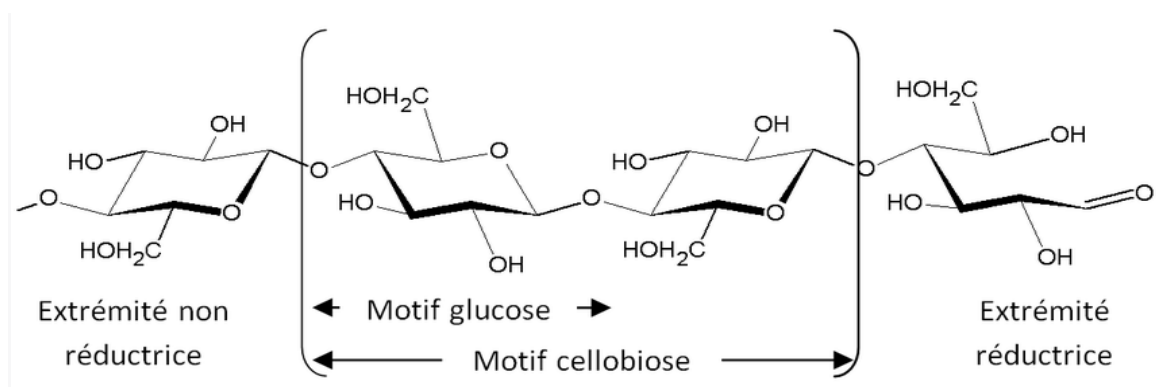


Figure II. 5 : Unité de cellulose [32].

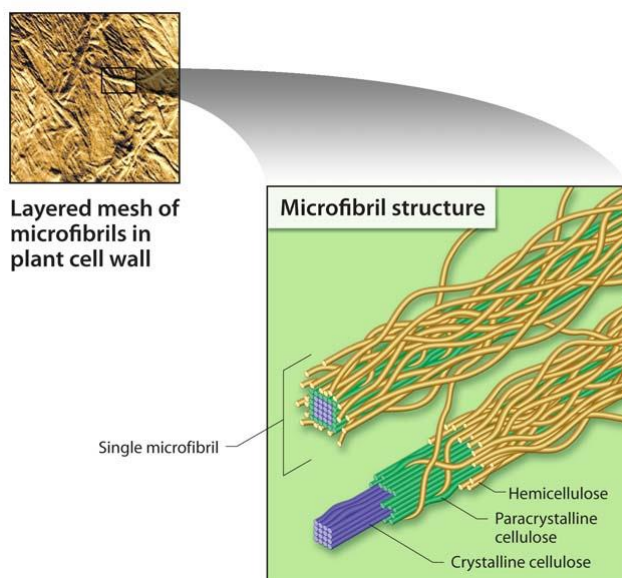


Figure II. 6 : Composition de la microfibre de cellulose [32].

II.3.7 Fibres en polypropylènes :

Le polypropylène est un type de matériau polymérique cristallin appartenant au groupe des polyoléfines. Initialement utilisé dans le domaine de la confection dès 1954, il a reconnu une expansion significative dans cette spécialité en raison de ses nombreux avantages, en effet, il présente une résistance à la traction élevée pouvant atteindre 800 MPA et une grande élasticité.

Les caractéristiques mécaniques sont obtenues grâce à un processus de fabrication comprenant l'extrusion et l'étirage, qui orientent préférentiellement les molécules du matériau et lui confèrent des propriétés remarquables.

L'utilisation de filament de polypropylène dans le domaine de génie civil remonte aux années 1960, mais c'est à partir de 1967, en Grande-Bretagne notamment, que des réalisations intéressantes ont été observées.

Ces fibres sont employées dans la fabrication de panneaux décoratifs, de revêtements de façades dans de nombreux bâtiments, ainsi que dans la construction de canalisations et de pieux, ces applications démontrent l'adaptabilité et l'utilité des fibres de polypropylène dans différents secteurs de l'industrie de la construction [29].

II.3.8 Fibres en méta :

Les fibres en métal, en particulier l'acier, sont les fibres les plus couramment utilisées et de nombreuses recherches ont été menées pour améliorer leur utilisation dans le béton, ces recherches se sont concentrées sur l'amélioration de l'adhérence au béton en explorant une large gamme de fibres, qui se distinguent selon leur morphologie ou leur aspect extérieur, afin de mieux se consolider dans les matériaux.

Parmi ces fibres, on trouve des fils dilater et découpés, des fils bouclés, des fils a attaché, ainsi que des fibres usinées présentant une surface rugueuse et des fibres de fonderie [33].

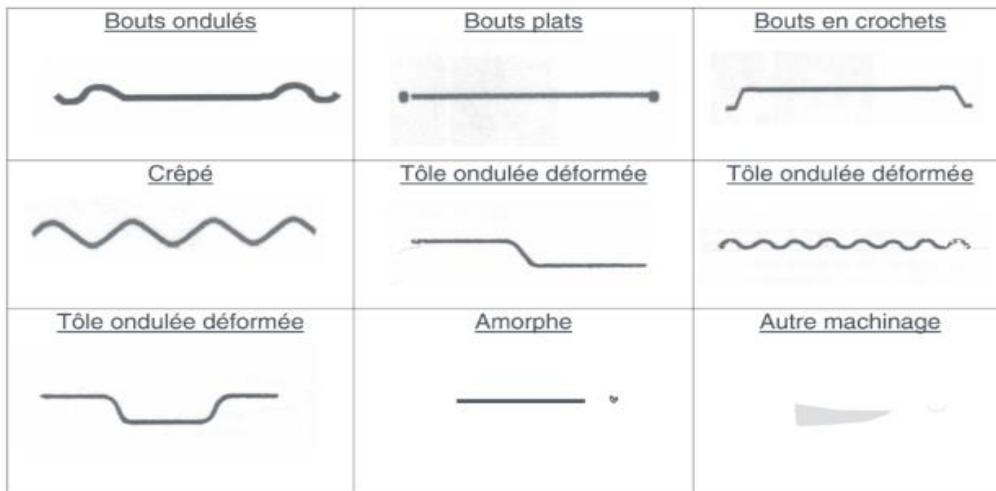


Figure II. 7 : La géométrie des fibres métalliques [34].

II.3.9 Fibres en verre :

Etant fragiles, les fibres de verre se trouvent facilement sur le marché sous forme de bobines ou de fils coupés, leur résistance mécanique diminue en raison d’effet corrosif des alcalis présents dans le ciment, ce qui entraîne la formation de microfissures.

Cependant, grâce à des recherches récentes, une nouvelle génération en fibres de verre (appelée type S) a été développée, offrant une bonne résistance aux alcalis.

Dans le tableau II-3, on peut trouver certaines propriétés des fibres en verre couramment employées, notamment le verre ordinaire (E), le verre résistant à la corrosion (R) et le verre résistant aux alcalis (S) [31].

Tableau II. 3 : Les propriétés mécaniques des fibres en verre [32].

Type de verre	E	R	S
Résistance a la rupture (MPA)	3400	4400	4900
Module de Young E (GPA)	73	86	87
Masse volumique (g/cm³)	2.54	2.55	2.54



Figure II. 8 : Les fibres de verre [27].

II.4 La fonction des fibres dans le béton

L'expérience a permis aux chercheurs d'expérimenter l'introduction de fibres dans le béton afin d'améliorer ses propriétés mécaniques, telles que la résistance à la traction par flexion, dont les résultats obtenus ont été limités [35].

Le rôle des fibres est crucial dans le béton, ce dernier étant abordé selon deux perspectives différentes :

- D'une manière dont le développement des fissures dans le béton, peut être contrôlée en diminuant leur ouverture.
- Une approche visant à améliorer la sécurité du matériau lors de situations de charge extrêmes consiste à modifier le comportement fragile du béton pour le rendre plus ductile [35].

Les fibres sont couramment employées pour renforcer la structure du béton en entravant la formation et l'évolution des fissures. Les avantages des fibres varient en fonction du type d'ouvrage et composition du béton :

- Les fibres dures altèrent la composition du squelette granulaire du béton frais, ce qui conduit à une amélioration de son adhérence.
- Une réduction de la microfissuration est observée principalement pendant les premières phases de vie du matériau, en raison des variations dimensionnelles.
- Réduction de la formation de fissures résultant d'une charge externe.
- La plasticité et la résistance à la traction sont améliorées.
- La résistance aux coups durs et à la fatigue est renforcée [35].

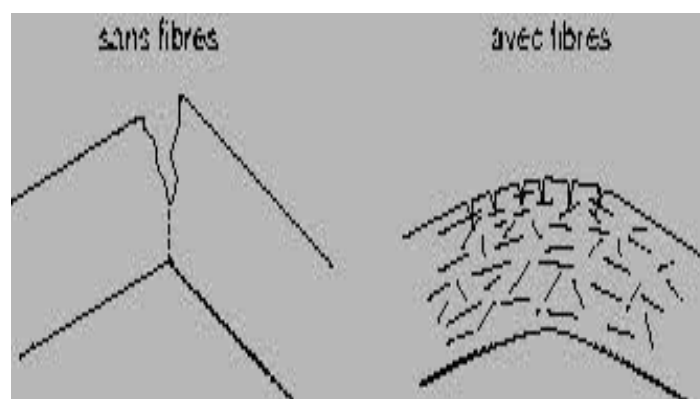


Figure II. 9 : L'effet de renforcement par fibres[36].

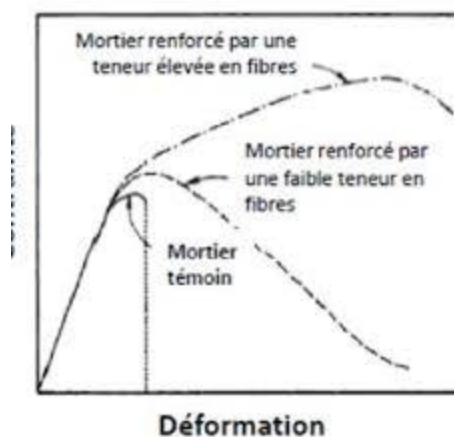


Figure II. 10 : Renforcement de mortier par fibres[36].

II.5 Les caractéristiques mécaniques

L'utilisation de fibres dans le béton confère une meilleure ductilité, c'est-à-dire une capacité à résister aux fissures, ils offrent également des avantages en termes de flexion, de tension, de torsion, de cisaillement, ainsi que de résistance aux impacts et à la fatigue, même après l'apparition de fissures, le béton fibré continue à supporter des charges.

L'amélioration de l'aptitude de flexion est acquise grâce à la croissance de la résistance résiduelle due aux ajouts des fibres.

Cependant, cette caractéristique dépend de l'origine de l'importance et de l'efficacité des fibres employées, pour garantir une distribution uniforme des fibres dans le mélange afin d'augmenter les propriétés du béton fibré durci, ainsi, il est essentiel de combiner l'ajout de fibres à des techniques d'insertion qui évitent la formation de grumeaux indésirable [34].

II.6 Les avantages des fibres

Les avantages des fibres sont nombreux, parmi lesquels on peut citer :

- Les fibres peuvent être utilisées comme alternative au treillis soudé pour stopper la fissuration due au retrait du béton. Le treillis soudé est couramment employé pour prévenir le phénomène de retrait, mais les fibres offrent une solution de remplacement efficace.
- Les fibres ont une importance cruciale dans la prévention de la microfissuration et dans l'amélioration du comportement du béton après fissuration en maintenant l'intégrité des différentes parties de la structure, elles offrent une résistance au retrait prématuré et résistent à la formation de fines fissures en réseau hexagonal ou octogonal, également connues sous le nom de faïençage. L'ajout de 1,5 % de fibres par volume peut réduire le retrait du béton d'au moins 35 %.
- Les fibres ont un effet positif sur la plasticité du béton, dans un degré réduit, sur sa résistance à la traction.

- Le béton devient plus résistant aux chocs grâce à l'ajout de fibres.
- Les fibres ont pour effet de diminuer le fluage, qui correspond à la déformation progressive du béton au fil du temps sous une contrainte constante, par exemple, lorsque des fibres d'acier sont utilisées pour renforcer le béton, le fluage en traction représente uniquement 50 à 60 % de celui d'un béton, tandis que le fluage en compression peut être réduit de 10 à 20 %.

Dans le tableau II.4, nous trouvons différentes fibres largement utilisées,

Tableau II. 4 : Les propriétés physiques et mécaniques de certaines fibres [37].

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	20,00	5	0,5
Amiante	0,02-20	2,5-3,4	2,3	200	3

Si le module de Young de la fibre est supérieur à celui du béton, les fibres absorberont une partie de la charge, ce qui augmentera la résistance à la traction du matériau.

L'évolution du rapport longueur/diamètre des fibres a généralement pour effet d'accroître la résistance à la flexion et la solidité du béton, les résultats de ce rapport se situent de 40 et 100, les fibres trop longues forment des agrégats dans la composition, entraînant des difficultés de mise en œuvre.

Habituellement, la dispersion des fibres dans le béton est aléatoire, mais au cas où le béton est procédé de manière à aligner les fibres dans l'orientation des contraintes subies, une meilleure résistance à la traction et à la flexion peut être obtenue, ce processus est assez complexe [37].

II.7 L'application des Fibres dans la Construction :

Les fibres sont largement utilisées dans diverses constructions pour renforcer leurs capacités mécaniques et physiques. Par exemple, le tableau 5 récapitule les différentes réalisations des fibres dans les éléments à base de ciment.

Ces dernières années, l'exploitation des fibres végétales pour renforcer les ciments a gagné en popularité, car de nombreuses recherches sont en cours pour remplacer les fibres d'amiante par des fibres végétales. En ce moment, les fibres végétales sont de manière accrue employées dans les dalles, l'élaboration de tuiles, les dallages de parking et le renforcement du plâtre [38].

Tableau II. 5 : L'incorporation de différents renforcements de fibres dans les produits à base de ciment [39,40].

Type de fibre	Application
Verre	Les éléments de construction comprennent des structures préfabriquées, des cloisons, des draperies, des canalisations d'égout et une couche légère recouverte d'un enduit
Acier	Le béton cellulaire est utilisé dans divers éléments de construction tels que les toitures, les linteaux, les revêtements de routiers, les travées et les produits réfractaires. Il est également utilisé pour fabriquer des tubes en béton, des pistes de réception, des cuves sous pression et pour les travaux de rénovation des ouvrages.
Polypropylène nylon.	Diverses applications de construction et d'infrastructure peuvent nécessiter l'utilisation de différents éléments. Parmi ces éléments, on retrouve les pieux de soutènement, les pieux post-tensionnés les panneaux de cloisonnement, les flotteurs de débarquement. Il y a également les travaux de réparation des routes, l'installation de tuyaux sous-marins et les travaux de restauration des bâtiments.
Amiante	Les différents éléments comprennent des voiles, des tuyaux, des plaques de matériaux d'isolation thermique, des tuyaux d'égouts, des plaques de toiture plates et ondulées, ainsi que des revêtements de mur.
Carbone	Les éléments ondulés sont utilisés dans la construction des planchers, les membranes peuvent être simples ou à double courbure, et ils sont également utilisés pour les coques et les planchers d'échafaudage
Particules de mica.	Les travaux de restauration impliquent l'installation de panneaux et de tuyaux
Végétale	Dalles, tuiles.

II.8 Conclusion

Pour clore ce chapitre sur les fibres nous avons exposé les diverses catégories de fibres qui existent, leurs effets sur le béton, les caractéristiques mécaniques, les avantages ainsi que l'application dans la construction pour la confection des bétons de fibre.

Depuis un moment, la recherche dans le secteur de la construction et des travaux publics est concentrée sur l'utilisation du béton fibré, en explorant divers types de fibres, cette approche obtenir des analyses supplémentaires pour une plus grande appréhension des caractéristiques et du fonctionnement de béton fibré.

Le choix des fibres dépend de leur nature en lien avec leur utilisation et les méthodes de mise en place. Il est déterminé par le rôle que l'on souhaite leur attribuer.

Les fibres faisant partie intégrante de la génération émergente, de matériaux de substitution au béton, offrant des solutions écologiques, légères et économiques, elles peuvent être incorporées dans différentes matrices, ce qui permet de créer des matériaux de qualité supérieure. De nos jours, leur utilisation est en constante augmentation.

II.9 Des articles sur le béton de fibres

II.9.1 L'utilisation des fibres de polypropylène extraites des masques chirurgicaux recyclés dans le mortier de ciment

II.9.1.1 Introduction

Plus de la moitié des pays du monde ont rendu obligatoire l'utilisation de masques faciaux en réponse à l'épidémie de COVID-19, les répercussions de cela ont entraîné le rejet de millions de masques faciaux à usage unique dans l'environnement, échoués sur les plages, flottant sous les océans et se retrouvant dans des endroits vulnérables[41].

Le type de masque facial le plus courant est le type chirurgical jetable, composé principalement de polypropylène, le fait de jeter ces masques dans l'environnement entraîne des conséquences telles que la dégradation de l'environnement et les lieux publics, notamment en ce qui concerne la santé humaine [42].

À la suite de cette vague, les organismes académiques et les chercheurs ont exprimé leur intérêt quant à la manière d'exploiter ces déchets, et l'idée consistait à les utiliser dans le domaine de la construction précisément dans le béton.

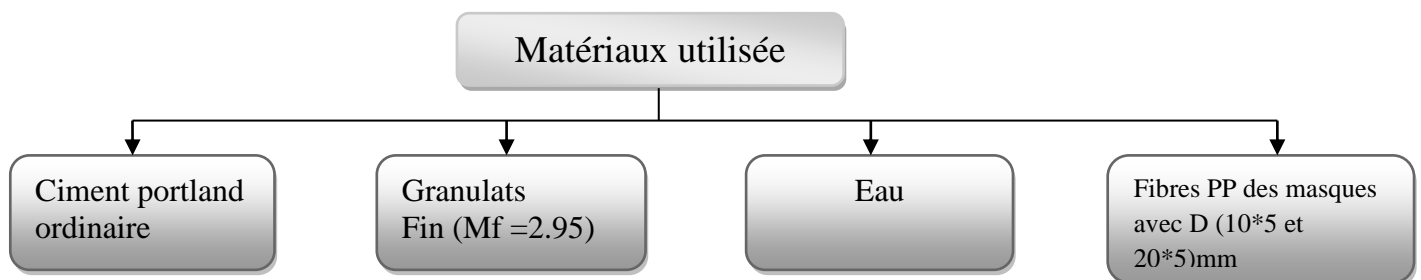
Le béton considéré comme un matériau de comportement hétérogène, avec une bonne résistance à la compression et une faible résistance à la traction, De plus, le béton a une faible capacité de déformation et est cassant à la rupture[43], le polypropylène présent dans ces masques peut être utilisé comme des fibres en raison de ses avantages dans l'amélioration de la résistance à la flexion du béton et d'autres propriétés mécanique.

II.9.1.2 Matériels et méthodes

II.9.1.2.1 Objectif d'étude

Cette étude se concentre sur la possibilité de réutiliser le de polypropylène extrait des masques dans le mortier de béton en tant que des fibres avec des différentes variations de volume (0.1/0.15/0.2/0.25% de volume de mortier) et leur influence sur les propriétés physique et mécaniques tels que la maniabilité, la densité apparente, le volume des vides perméables, l'absorption d'eau et les résistances associées (compression, traction et flexion).

II.9.1.2.2 Matériaux utilisés



Trois types de mélanges ont été préparés en utilisant les mêmes composants et les mêmes propriétés des matériaux tel que le rapport $E/C = 0.55$

- Le mélange 1 : ne contient pas de fibres pour le comparer avec les autres mélanges.
- Le mélange 2 : contient différents dosages des fibres (0,1/0,15/0,2/0,25%), dont les dimensions 10x5 mm.
- Le mélange 3: les mêmes proportions que les autres mélanges, avec une dimension des fibres 20x5 mm.

II.9.1.2.3 Les essais réalisés :

- La maniabilité** : cet essai est effectué immédiatement après le mélange, conformément à des normes spécifiques

- Densité apparente, volume de vides perméables et test d'absorption d'eau** :Trois types différents de mortier ont été mélangés en utilisant des moules de 50 mm, chaque type étant représenté par 3 échantillons pour vérifier les résultats obtenus.

- Essai de résistance à la compression** : Trois types de mortier ont été préparés à l'intérieur de cubes de 50 mm et insérés dans la machine de compression

- Essais de traction** : essai consiste à préparés 3 échantillons de mortier dans des éprouvettes de 500 mm et placés dans la machine de traction

- Essai de flexion** : La même méthode de préparation a été utilisée, mais avec une différence dimension d'éprouvettes de 40 *40*160 mm

- Analyse des microstructures** : Afin de déterminer les capacités de liaison entre les fibres et la matrice de ciment, une analyse microstructurale a été réalisée à l'aide d'un microscope électronique à balayage, la zone de rupture de l'échantillon de résistance à la compression a été découpée en petits spécimens. Un revêtement d'or a été appliqué après avoir fixé l'échantillon sur un support en acier à l'aide de ruban de carbone, ce qui a permis de le rendre conducteur et d'obtenir des images de qualité supérieure (capturées de 500x grossissement).

II.9.1.3 Résultats et discussions

- **La maniabilité**

Le mortier 1 sans fibres (témoin 0%) a montré une meilleure maniabilité par rapport aux d'autres mélanges contenant des fibres polypropylènes, la valeur d'écoulement du mortier 1 (0% fibres) était de 110 %, en revanche, les valeurs d'écoulement des mortiers contenant des fibres (2 et 3) est variaient respectivement de 85 à 100 % et de 70 à 89 %.

L'ouvrabilité du mortier 1 a commencé à diminuer avec une augmentation de la fraction de fibres, en particulier, lorsque la fraction volumique de mortier 2 est passée de 0,1 à 0,25 %, l'ouvrabilité a diminué de 9,1 %, 13,6 %, 19,1 % et 22,7 %.

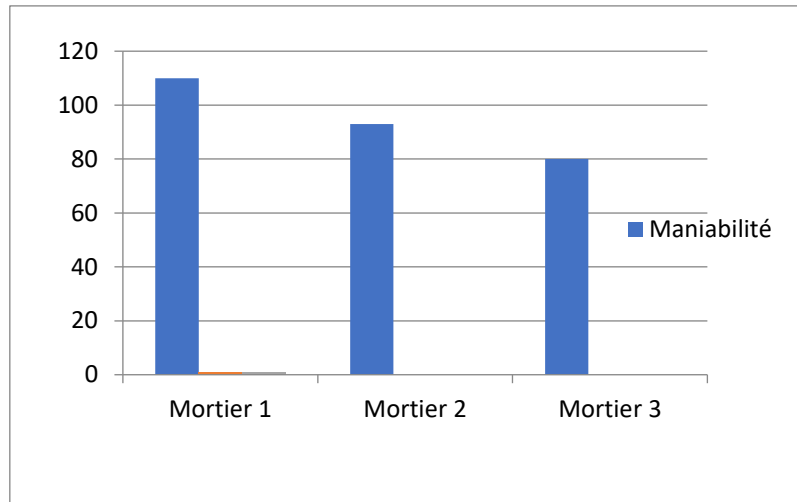


Figure II. 11 La maniabilité de mortier en fonction les types des mortiers

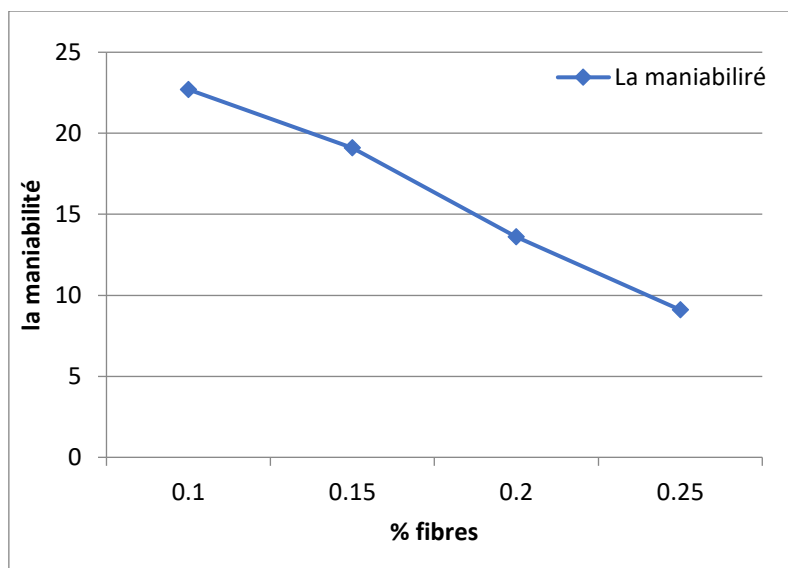


Figure II. 12 : La maniabilité de mortier en fonction les dosages des fibres PP

A travers les résultats du mortier 2 et 3, nous concluons que la longueur des fibres a une influence négative sur l'ouvrabilité, la raison pourrait être que les fibres empêchent d'obtenir un mélange homogène et à en fermer les fines particules d'agrégats dans des filets en fibres, ce qui finit par réduire la fluidité.

•Densité apparente

Cette expérience a été réalisée après 28 jours de durcissement, et les résultats ont montré que le mortier sans fibres offre une meilleure densité, après avoir augmenté la fraction de fibres, notamment à une proportion de 0,15%, une différence est apparue entre les mortiers 2 et 3, où plus la fraction de fibres augmentait, plus la densité diminuait.

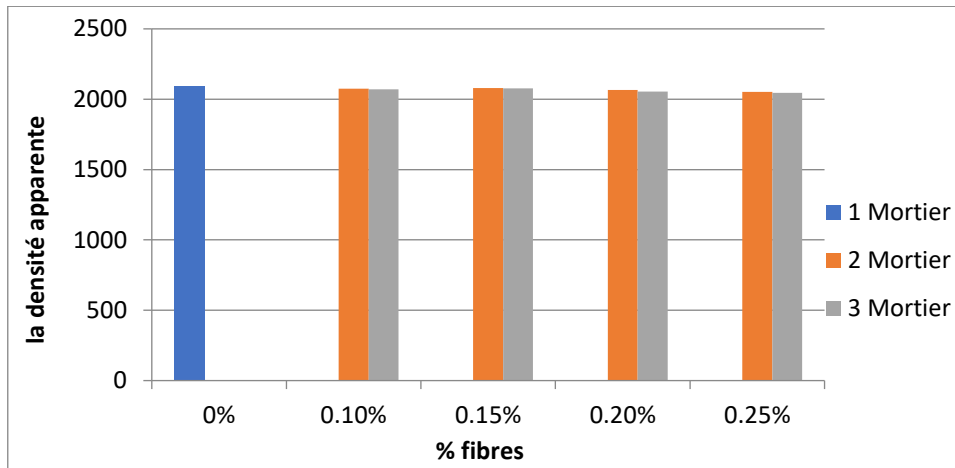


Figure II. 13 : La densité apparente en fonction les dosages des fibres PP

•Volume des vides perméable

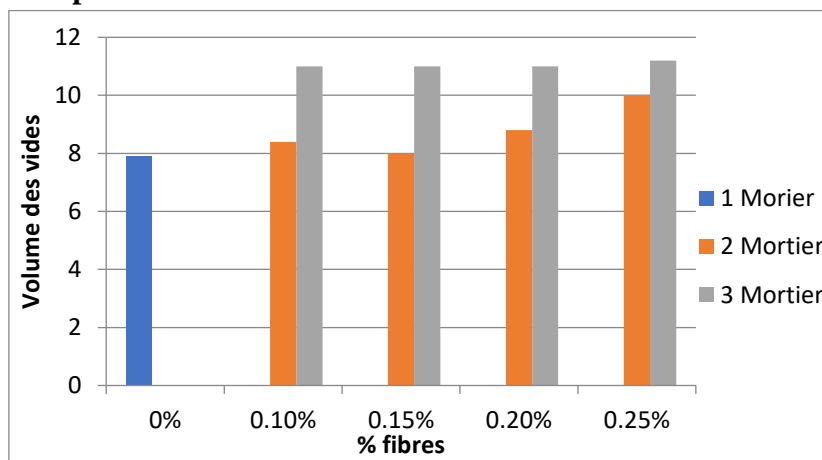


Figure II. 14: Le volume des vides en fonction les dosages des fibres PP

Dans ce cas, les dimensions des fibres jouent un rôle important, car le volume des vides est élevé dans le cas du mortier 3 contenant des fibres polypropylène de 20x5mm, en ce qui concerne les dosages des fibres, il n'y a pas de différence dans leur augmentation.

Le volume des vides a augmenté en raison de la longueur des fibres polypropylène, qui crée des vides à l'intérieur du mortier à mesure que sa dimension augmente.

•Absorption de l'eau

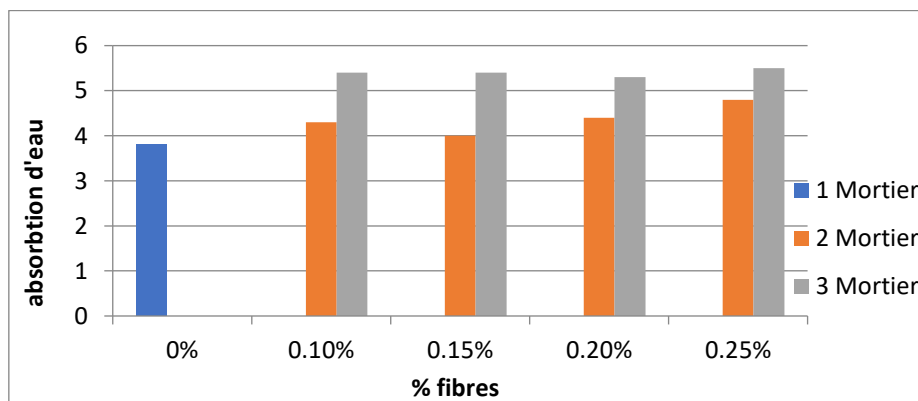


Figure II. 15 : Absorption d'eau en fonction des dosages des fibres PP

L'ajout des fibres polypropylène entraîne une augmentation de l'absorption de l'eau, lorsqu'elle est comparée au mortier de référence, par contre l'augmentation des dimensions des fibres, elle n'a pas d'effet significatif dans les petites augmentations jusqu'à ce qu'elle atteigne un dosage de 0,20%, où elle commence à augmenter l'absorption.

Les fibres sont les principales responsables de l'augmentation de l'absorption d'eau en raison de leur nature différente des autres fibres.

• La résistance à la compression

Les résultats obtenus après 28 jours de durcissement montrent une diminution de la résistance en compression par rapport au mortier témoin pour les mortiers 2 et 3 avec chaque augmentation de dosages des fibres, sauf le dosage 0.15% elle augmente légèrement, et pour l'augmentation de dimension des fibres elle entraîne une plus grande réduction sur la résistance à la compression.

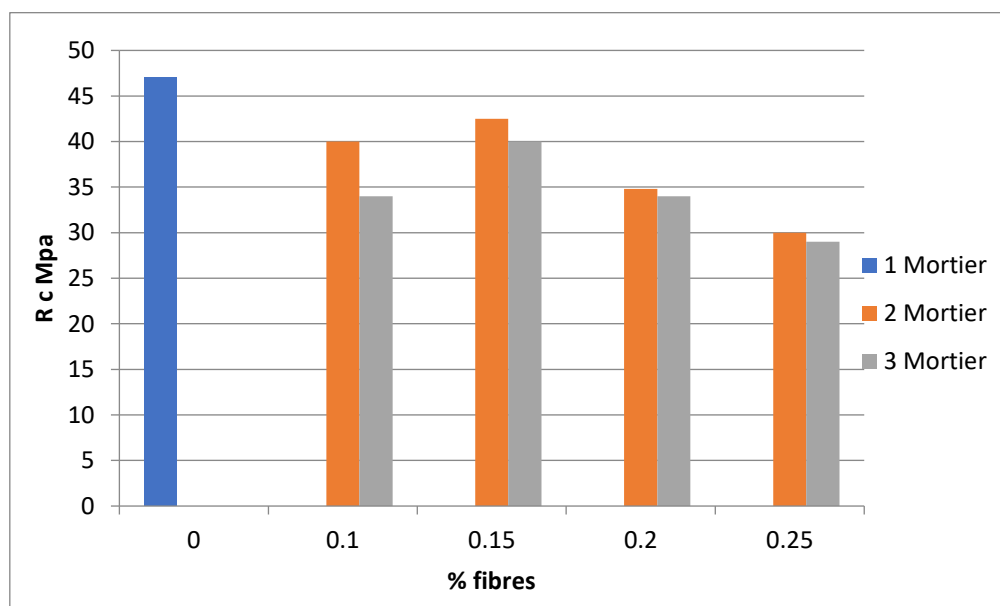


Figure II. 16 : La résistance à la compression en fonction des dosages des fibres PP

La raison de cette diminution découle de plusieurs causes tels que :

- l'inclusion de fibres augmente la zone de transition inter faciale dans le mortier
- l'utilisation de fibres avec un rapport d'aspect élevé conduit généralement à une mauvaise dispersion des fibres, ce qui peut entraîner des problèmes qui diminuent la résistance à la compression.

On peut dire qu'une teneur élevée en fibres Polypropylène affecte négativement les propriétés du mortier.

Et le dosage idéal des fibres polypropylène c'est 0.15% de volume de mortier ou béton.

• La résistance à la traction :

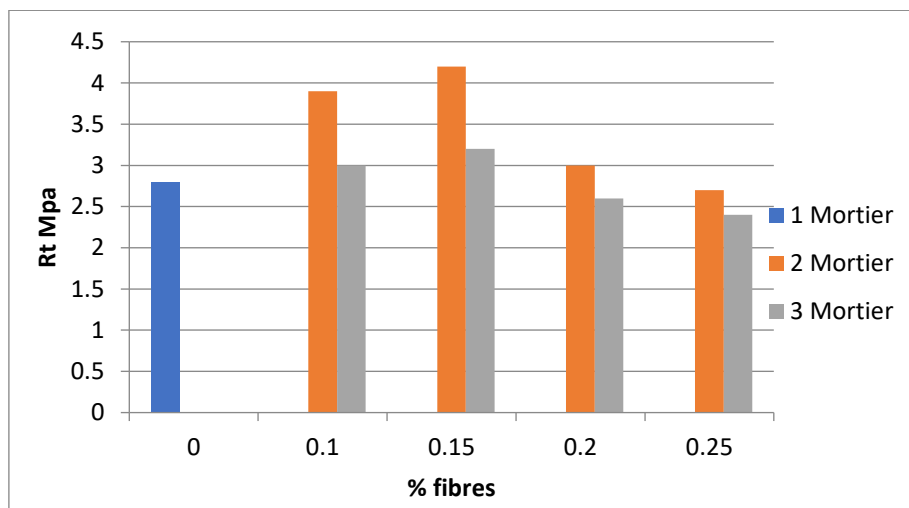


Figure II. 17 : La résistance à la traction en fonction des dosages des fibres PP

Les résultats montrent que l'incorporation des fibres dans le mortier augmente la résistance à la traction, en particulier lorsqu'on ajoute 0,15% du volume du mortier, mais elle diminue lorsque les dimensions des fibres augment.

La raison de cette diminution est la grande teneur en fibres, ce qui entraîne une mauvaise adhérence entre les fibres et la matrice, contribuant ainsi à la formation de fissures, ce qui entraîne une perte de résistance.

En revanche, avec un dosage de 0,15% qui est considéré comme le dosage idéal, le béton ou le mortier est très homogène et ne présente aucune fissure, ce qui conduit à une augmentation de la résistance.

• La résistance à la flexion :

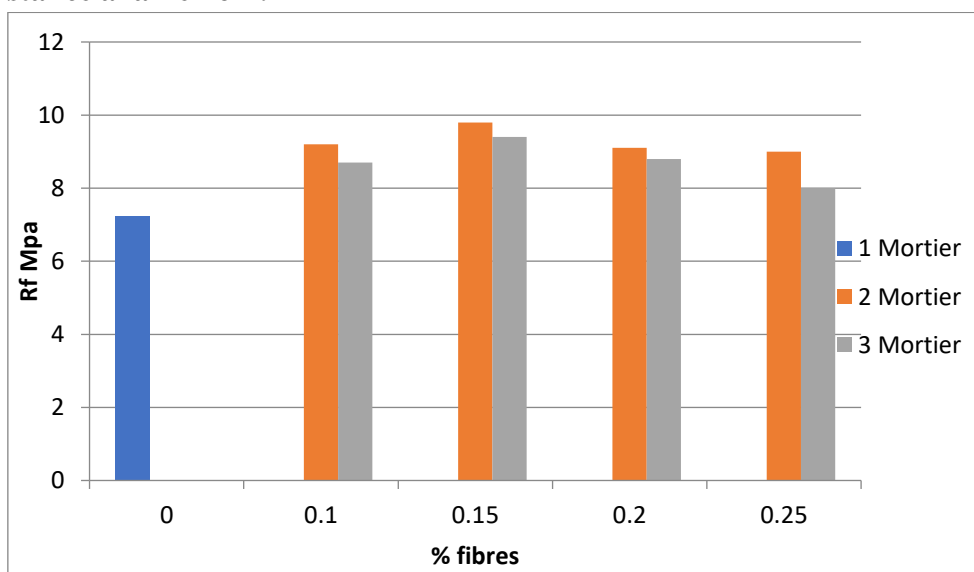


Figure II. 18 : La résistance a la flexion en fonction des dosages des fibres PP

Les mêmes résultats ont été observés lors de l'essai de flexion, l'ajout des fibres polypropylène augmente la résistance, en particulier les dosages 0,1% et 0,15%, tandis qu'elle diminue aux dosages plus élevés telles que 0,2% et 0,25%, la seule différence réside dans le fait que les dimensions des fibres n'affectent pas beaucoup la résistance à la flexion, comme montre la courbe une légère baisse entre le mortier 2 et le mortier 3.

La raison de cette diminution est également due à la mauvaise répartition des fibres d'une manière homogène.

L'ajout supplémentaire des fibres polypropylène dans le mélange de béton a un effet négatif sur sa maniabilité, entraînant un regroupement des fibres, ce regroupement des fibres empêche la liaison mécanique entre la pâte de ciment et les fibres, ce qui explique la perte rapide de résistance à la flexion observée aux teneurs en fibres de 0,2 % et 0,25 %.

• Observation des microstructures :

Le comportement mécanique est affecté par les variations dans la configuration des fibres, comme le montre la figure ci-dessous, les fibres de petite taille et de longueur 10*5 mm dans le mortier à la teneur de 0.15% facilitent leur parfaite liaison avec la pâte cimentaire.

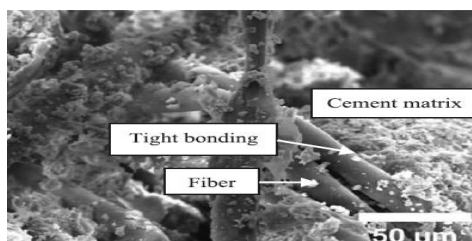


Figure II. 19 : La répartition des fibres Polypropylène de dosage 0.15%

L'agglomération des fibres de grandes dimensions conduit à leur regroupement, ce qui crée des vides à l'intérieur de la matrice, entraînant une diminution de la résistance mécanique.

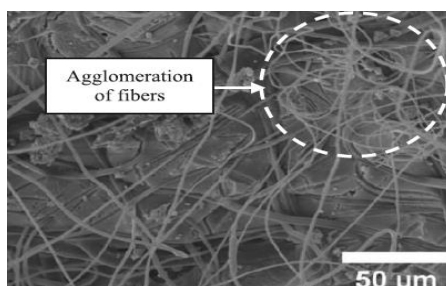


Figure II. 20 : Le regroupement des fibres dans la matrice cimentaire

II.9.1.4 Conclusion :

La multiplication des déchets des masques faciaux dans notre environnement en raison de la pandémie de coronavirus (COVID-19) a conduit les chercheurs à s'interroger sur la possibilité de les réutiliser dans d'autres domaines

Cet article examine la possibilité d'utiliser ces résidus dans la construction en extrayant le polypropylène présent dans ces masques faciaux et en le découpant en deux types de fibres de

différentes de dimension (10x5 mm et 20x5 mm) et à des dosages différents (0%/0,1%/0,15%/0,2%/0,25%), les résultats des différents essais réalisés montrés que :

L'augmentation des dimensions des fibres contribue à une diminution de l'homogénéité, ce qui entraîne :

- une diminution de l'ouvrabilité et à une augmentation de la formation de vides et de l'absorption d'eau.
- une diminution de la résistance, que ce soit en compression ou en flexion et traction, par rapport aux fibres de petites dimensions (10*5mm).

L'augmentation des dosages en fibres conduit à :

- une diminution de la densité et la résistance à la compression et une augmentation de la résistance à la flexion et traction.

Le dosage des fibres idéal dans le mortier est de 0,15 % par rapport au volume du mortier, comme observé au microscope, à ce dosage, il n'y a pas de regroupement des fibres et le mélange doit être homogène.

II.9.2 Comportement en flexion du béton autoplaçant renforcé avec différents types de fibres d'acier

II.9.2.1 Introduction

Depuis son développement initial en 1988 dans le but de construire des structures en béton durables, Des recherches approfondies ont été menées sur le béton autoplaçant. Il a également été largement adopté au Japon par de grandes entreprises de construction, qui l'ont utilisé dans la réalisation de structures concrètes pratiques[44].

Le béton autoplaçant présente une certaine fragilité, Il est donc important d'opter pour des matériaux qui peuvent résoudre cette problématique de manière essentielle. L'ajoute de fibres dans le béton consiste à améliorer significativement ses propriétés mécaniques [45].

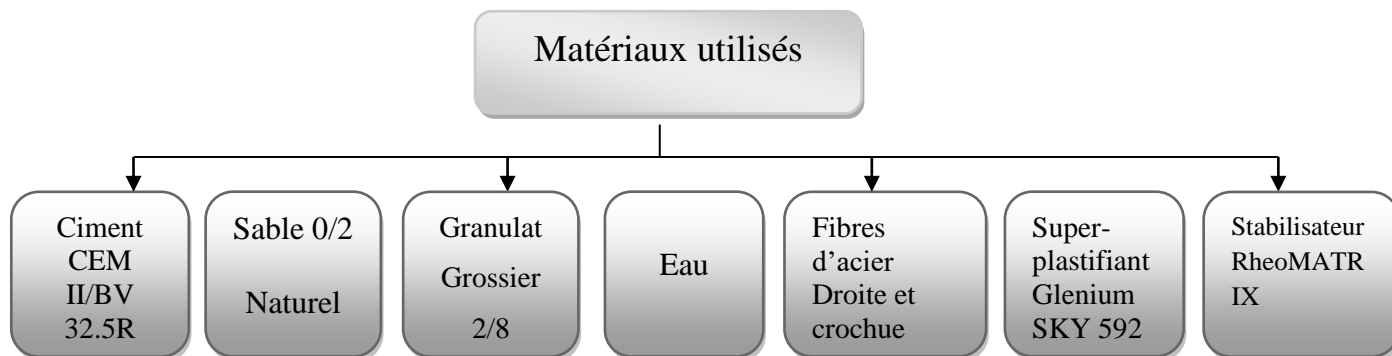
Les fibres d'acier sont largement utilisées dans le secteur de la construction en raison de leurs caractéristiques renforçantes. Il existe plusieurs types de fibres d'acier tel que les fibres d'acier droites et crochues sont deux types couramment utilisés dans le secteur de construction pour renforcer le béton.

II.9.2.2 Matériels et méthode

II.9.2.2.1 Objectif de l'article :

L'objectif de cette étude est d'examiner l'influence des fibres d'acier sur le comportement mécanique et surtout la résistance à la traction et flexion du béton autoplaçant en variant les types de fibres (droite et crochue), Et à établir une comparaison des résultats obtenus avec le béton autoplaçant de référence.

II.9.2.2.2 Matériaux utilisés



Le dosage de ciment est 490 Kg/m³ et Le rapport E/C = 0.42

Tous les mélanges ont été préparés avec les mêmes quantités et les mêmes méthodes, sauf les types et les pourcentages de fibres ajoutées, ces mélanges ont été placés dans des poutres de 500mm, Trois éprouvettes ont été testées pour chaque type et rapport volumique de fibres d'acier

II.9.2.2.3 Les essais réalisés

•**Essai déflexion** : l'essais effectués sur un appareil électro hydraulique asservie, avec un capteur LVDT qui permet de mesurer la déflexion des deux coté opposés

•**Essai de CMOD (Crack Mouth Opening Displacement)** : a été mesuré, simultanément avec la déviation du faisceau, permet d'évaluer la résistance à la fissuration du matériau, notamment sa capacité à résister à la propagation des fissures et à la rupture.

•**Essai de compression** : ont été effectués dans une machine d'essai de compression hydraulique de 3000 kN avec un taux de déformation constant

II.9.2.3 Résultats et discussion :

• **Essai sur le béton autoplaçant de fibres a l'état frais et durci**

Les résultats d'essai présenté dans le tableau II.6 :

Tableau II. 6 : Affaissement et la résistance a la compression de BAP de fibres

Type et pourcentage des fibres	Affaissement		Densité Kg/m ³	Fc ₂₈ Mpa
	T ₅₀ (s)	Affaissement mm		
BAP Témoin 0%	1.5	690	2305	73.40
BAP F 0.5% droite	3	680	2325	80.10
BAP F 1% droite	5	660	2363	84.60
BAP F 1.5% droite	6	640	2385	87.50
BAP F 0.5% crochue	2	680	2334	98.20
BAP F 1% crochue	3.5	670	2355	96.50
BAP F 1.5% crochue	4.5	640	2387	88.60

L'ajout des fibres, quelle que soit les 2 types droite ou crochue, n'influe pas sur l'affaissement de béton autoplaçant par contre il augmente la résistance à la compression surtout les fibres d'acier à l'extrémité crochue

• Essai de flexion et traction

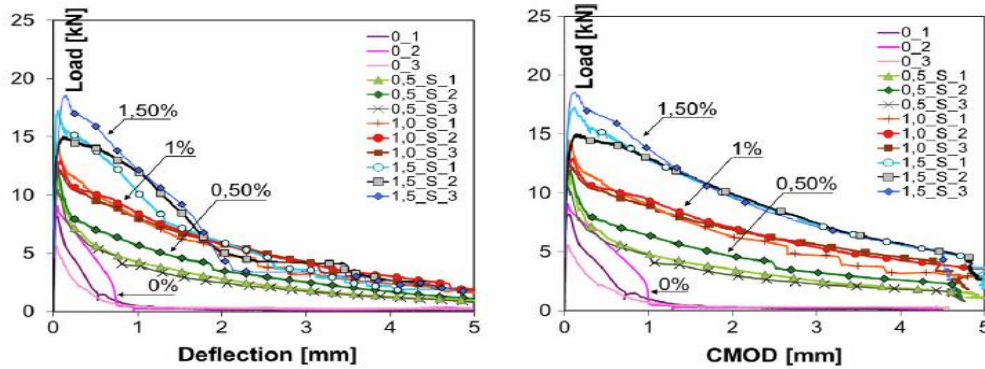


Figure II. 21 : Courbes de flexion et CMOD de BAP avec des fibres d'acier droite

D'après les courbes de flexion ou bien la déflexion et les courbes CMOD on remarque que:

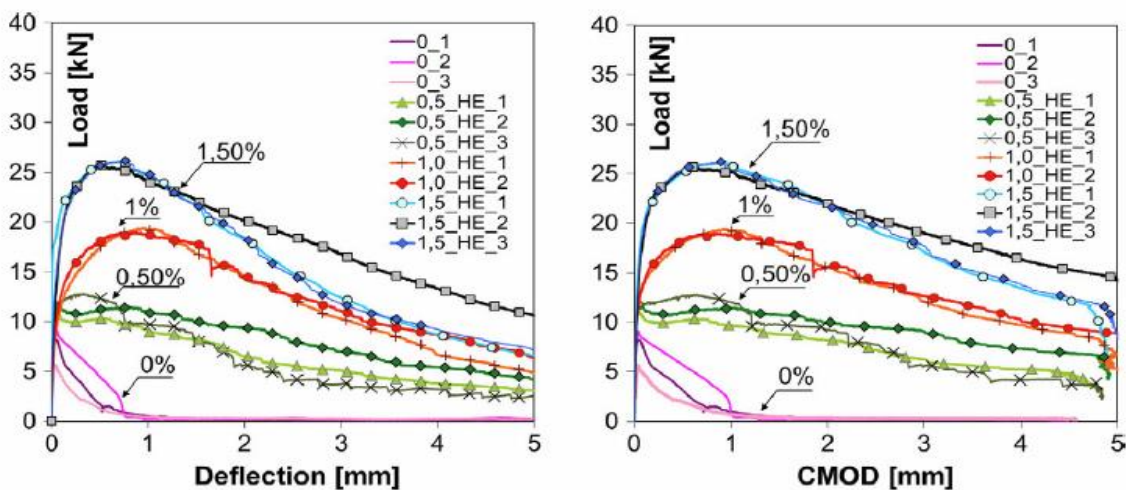


Figure II. 22 : Courbes de flexion et CMOD de BAP avec des fibres d'acier crochue

L'évaluation de la teneur en volume des fibres contribue à augmenter la résistance à la flexion et à CMOD dans les deux cas. Cependant, dans le cas des fibres crochues, elles présentent une charge maximale plus élevée lors de l'essai de flexion et de l'essai CMOD par rapport aux fibres droites, ce qui signifie une résistance à la flexion et une formation de fissures supérieures.

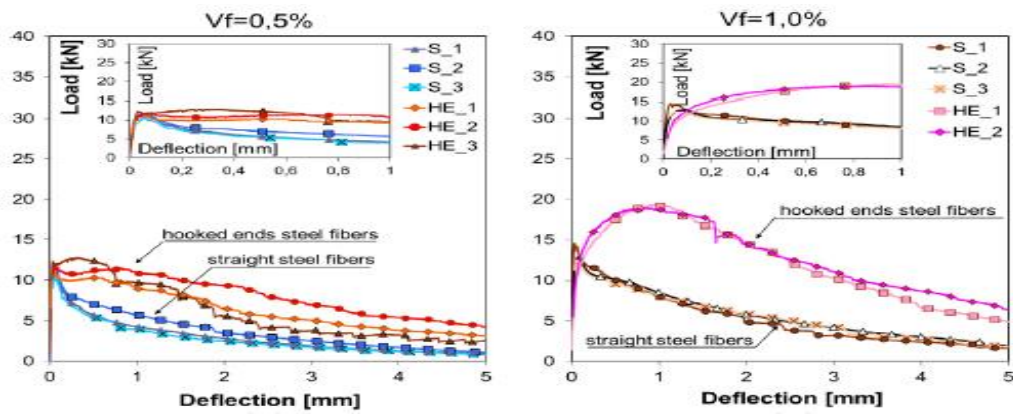


Figure II. 23 : Essai de résistance à la flexion

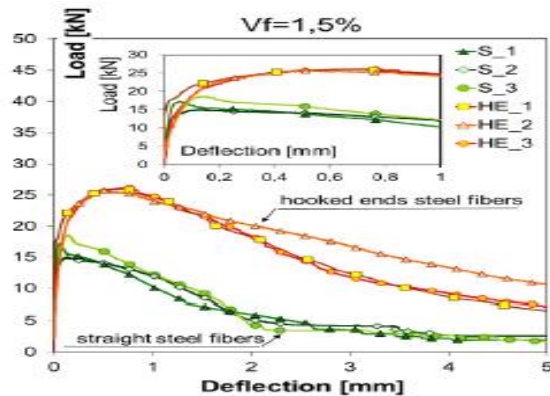


Figure II. 24 : Essai de CMOD

Avant la phase de post-pic, les fibres exercent une fonction majeure dans la résistance à la propagation des fissures en créant des contraintes, en particulier les fibres d'acier à extrémité crochue, dont la résistance est plus élevée que celle des fibres d'acier droites en raison de leur meilleure liaison avec la matrice.

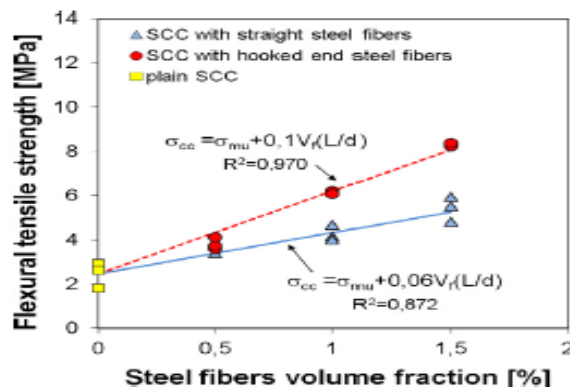


Figure II. 25 : La résistance maximale à la traction en flexion sur les poutres entaillées

En général, pour les deux types de fibres d'acier, les poutres renforcées avec une teneur en fibres plus élevée ont montré une résistance accrue à la traction en flexion.

Les fibres d'acier à extrémité crochue se révèlent plus efficaces que les fibres droites pour renforcer la résistance à la traction en flexion des poutres testées

La même chose pour la résistance résiduelle et équivalente à la traction en flexion dépend de la force de liaison entre la matrice et les fibres d'acier, ainsi que de la longueur des fibres, les fibres déformées offrent de meilleures conditions de liaison que les fibres droites courtes. De plus, les fibres plus longues peuvent arrêter à la fois les microfissures et les macro-fissures, ce qui a un impact important sur la résistance post-pic

• **Energie de rupture**

Elle représente la quantité d'énergie nécessaire pour créer une fissure de surface unitaire projetée dans un plan parallèle à la direction de la fissure

Tableau II. 7 : Energie de rupture de BAP de fibres

Type et pourcentage des fibres	Energie de rupture
BAP Témoin 0%	296
BAP F 0.5% droite	743
BAP F 1% droite	1237
BAP F 1.5% droite	1502
BAP F 0.5% crochue	1487
BAP F 1% crochue	2669
BAP F 1.5% crochue	3532

Lorsque la teneur en fibres est augmentée, cela entraîne une augmentation des résistances maximales à la traction, résiduelle et équivalente, ce qui conduit également à une augmentation de l'énergie de rupture des poutres testées.

• **Relation CMOD**

Les résultats de déflexion et de CMOD sont présentés dans le document suivant :

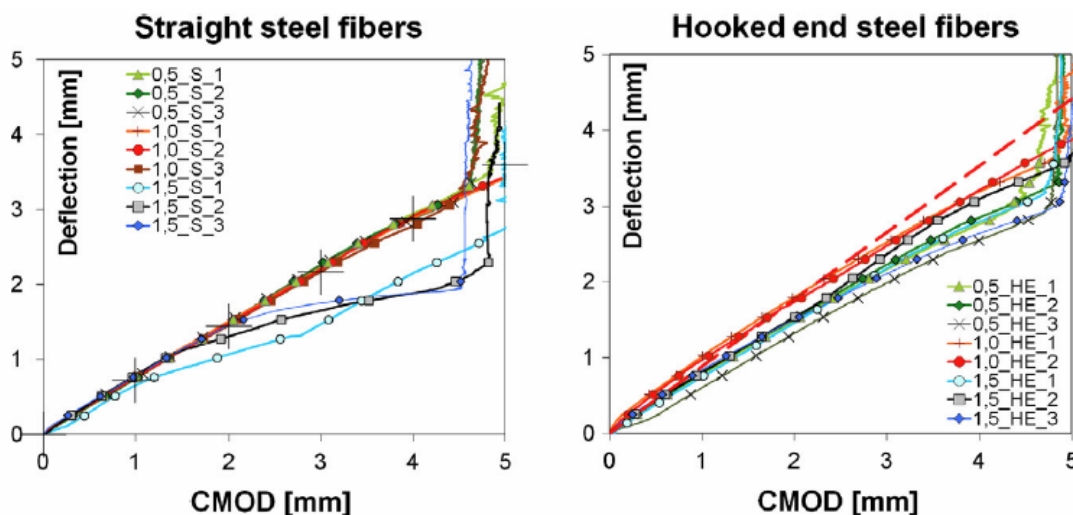


Figure II. 26 : Déflexion en fonction de CMOD

Lorsqu'on examine la relation entre la déflexion et le CMOD on observe que cette dépendance est presque linéaire pour les deux types de fibres d'acier, les résultats des tests présentés indiquent également que le rapport volumique des fibres n'affecte pas la relation

entre la déflexion et le CMOD, sauf le pourcentage 1.5% de fibre d'acier droite il ya une diminution.

II.9.2.4 Conclusion

Le béton autoplacant est un matériau innovant qui présente une fluidité élevée et la capacité de s'écouler facilement dans les zones confinées sans besoin de vibration ou de compactage mécanique, l'incorporation de fibres d'acier à ce type de béton apporte des améliorations significatives à ses propriétés et à sa performance globale.

Deux types de fibres ont été utilisés, fibres d'acier droite et fibres d'acier a extrémité crochue, les deux types a entraîné une amélioration sur les propriétés de béton autoplacant (flexion, traction, compression).

À partir des essais réalisés, nous avons conclu que :

- L'ajout de fibres n'influe pas sur l'affaissement du béton autoplacant, car sa nature est fluide
- L'ajout de fibres augmente la résistance à la traction et flexion, en particulier les fibres à extrémités crochue, dont l'effet est plus fort que l'autre types droite, à cause de bonne liaison avec la matrice et sa capacité d'illimité l'apparition des microfissures.
- La teneur élevée des fibres d'acier augmenté toujours les propriétés mécaniques de béton autoplacant

III. Chapitre 3 : Partie pratique

III.1 Introduction

Afin de garantir la qualité du béton répondant aux normes requises, il est essentiel de sélectionner de bons composants utilisés dans le béton. Il s'avère nécessaire d'effectuer la caractérisation de ces matériaux pour atteindre cet objectif. Nous avons examiné les propriétés des différents composants que nous utilisons pour préparer notre béton, conformément aux normes en vigueur, afin de réaliser ces essais et obtenir des informations précises. Par la suite, nous avons entamé l'élaboration du béton en utilisant une méthode pratique de formulation. Ces expérimentations ont été réalisées au sein du laboratoire LNHC BOUIRA, équipé du matériel adéquat pour la réalisation des différents tests du laboratoire, à l'exception des caractéristiques mécaniques du béton et du ciment, qui sont mesurées au laboratoire de notre département.

III.2 Matériaux et méthode de caractérisation

III.2.1 Le liant

Le béton se compose d'un ciment aux ajouts CEM II/A-M 42,5 R, qui est fabriqué par le groupe GICA à la cimenterie de SOUR EL GHOZLANE.

Tableau III. 1 : La fiche technique de ciment GICA

La composition de ciment		
(80-94) % Clinker	(06-20)% ajout calcaire	(0- 5) % constituants secondaire
Les caractéristiques physiques		
Temps de prise		Stabilité
≥60 minutes		≤10 minutes
Les caractéristiques mécaniques		
Résistance en compression (2 j) (42.5 R)		Résistance en compression (28 j) (42.5R)
≥20 MPa		≤42.5 MPa
Les caractéristiques chimiques		
Pourcentage des sulfates (SO ₃)		Pourcentage des chlorures (Cl)
≤4 %		≤0.10 %

III.2.1.1 La consistance normale

C'est la quantité idéale d'eau qu'il faut ajouter pour avoir une pâte cimentaire avec une consistance normale, le matériel utilisé pour la détermination de la consistance est l'appareil de Vicat.

La pâte aura une consistance normale lorsque la distance entre la sonde et la plaque de base sera comprise entre 6 ± 1 mm :

•Si la distance (d) est supérieure à 7 mm, cela signifie qu'il y a une insuffisance d'eau.

• Si la distance est inférieure à 5 mm, cela signifie qu'il y a une quantité excessive d'eau.

Répéter l'essai avec des pâtes ayant des teneurs en eau différentes jusqu'à obtenir une distance de 6 ± 1 mm entre la sonde et la plaque de base. Enregistrer la teneur en eau de cette pâte comme teneur en eau pour l'obtention d'une pâte de consistance normalisée.

III.2.1.2 Délais de prise

La connaissance du temps de délais de prise est très importante lors de la formulation des mortiers et bétons standards, offrant des informations précieuses. Ce paramètre est influencé par plusieurs facteurs tels que le type de ciment utilisé (un liant à durcissement rapide ou à durcissement normal), la valeur de la surface spécifique de Blaine influe sur l'hydratation du liant, ainsi que la chaleur à une grande influence sur le processus de durcissement du liant en augmentant accélérant sa prise. En général, dans les conditions normales à 20°C, le temps du début de prise est supérieur à 90 minutes, selon la norme NF P 15-431 [46], c'est l'appareil de Vicat qui réalise l'essai de prise.



Figure III. 1 : Détermination du temps de délais de prise.

III.2.2 Eau de gachage

L'eau de la ville de Bouira qui répond aux normes de potabilité a été utilisée dans la préparation des trois types du béton. Elle est exempte de toute impureté nocive, ce qui la rend parfaitement adaptée à la fabrication du béton. Sa masse volumique conventionnelle de 1000 kg/m^3 .

III.2.3 Les granulats

III.2.3.1 Sable

Les sables utilisés doivent présenter une granulométrie adéquate, avec un mélange de grains fins, moyens et gros. Nous avons utilisé deux types de sables dans notre étude, le premier sable est un sable roulé de Boussaâda 0/2 mm, de teinte jaunâtre. Quant au deuxième sable, il s'agit d'un sable roulé 0/4 provenant de Lafarge El M'hir, avec une couleur grise.



Figure III. 2 : Sable fin 0/2 de Boussaâda.



Figure III. 3 : Sable 0/4 de Lafarge El M'hir BBA.

III.2.3.2 Gravier

Deux types de graviers ont été utilisés dans cette étude pour formuler les différents types de béton, qui sont les suivantes : (3/8) et (8/15). Ces fractions correspondent à des graviers roulés provenant de Lafarge El Mhir BBA.



Figure III. 4 : Gravier 3/8 de Lafarge El M'hir BBA.



Figure III. 5 : Gravier 8/15 de Lafarge El M'hir BBA.

III.2.3.3 Essai de fragmentation des granulats (Los Angeles)

L'objectif de cet essai est de connaître le degré de résistance à la fragmentation collective des granulats, l'essai est réalisé selon la norme française P18-573 décembre 1990 [47] :

- Le degré de résistance à la fragmentation causée par des chocs.
- L'usure provoquée par les frictions.

L'essai Los Angeles est réalisé en exposant un échantillon de gravier, dont la dimension de 10 mm à 14 mm, à des impacts répétés à l'intérieur d'un tambour rotatif en acier. Ce tambour contient 11 boulets d'acier qui peuvent se déplacer librement et heurter les granulats, la durée de l'essai est de 500 tours.

Une fois un certain nombre de rotations atteints, l'échantillon est extraits du tambour et les granulats sont soumis à un tamisage afin de séparer les particules usées et non usées.



Figure III. 6 : Tambour rotatif en acier.

III.2.3.4 Essai de propreté des granulats

L'objectif de l'essai est de mesurer la quantité des fines particules argileuses contenus dans les granulats d'une taille inférieure à 2 mm, l'essai est effectué suivant la norme française P 18-591 septembre 1990 [48].

Nous procédons à la préparation de deux échantillons, le premier avec une masse M' , dont le but de mesurer la masse sèche des éléments d'une taille inférieure à 0,5 mm ou 1,6 mm pour le ballast. Le second un avec une masse sèche M_s pour déterminer la propreté des granulats.



Figure III. 7 : Essai de propreté superficielle sur le gravier 8/15.

III.2.3.5 Essai d'usure des granulats

Il consiste à évaluer le degré d'usure causée par les frottements entre les billes en acier et le gravier. L'essai est appelé Micro-Deval, il est réalisé selon norme française P 18-572 décembre 1990 [49].

Pendant l'essai, le gravier subit des frottements entre ses éléments, les billes en acier et le cylindre de l'appareil (agent abrasif), l'essai est réalisé en ajoutant de l'eau ou sans ajout de l'eau. Les billes abrasives doivent être des sphères en acier inoxydable d'un diamètre de $(10 \pm 0,5)$ mm, afin d'obtenir une charge de $(5\ 000 \pm 5)$ g.



Figure III. 8 : Machine micro deval.

Tableau III. 2 : Les valeurs du coefficient de micro-déval sous l'effet de l'eau

Coefficient Micro-Deval avec ajout d'eau	Évaluation
<10	Très bon à bon
De 10 à 20	Bon à moyen
De 20 à 35	Moyen à faible
>35	Médiocre

III.2.3.6 Analyse Granulométrique du gravier

C'est la répartition des dimensions des grains constituant un granulat, cet essai est effectué suivant la norme française NF P 933-1 mai 2012 [50].

Pour réaliser l'essai un échantillon d'un granulat est analysé dans une tamiseuse qui contient une série de tamis emboîtés les uns sur les autres, avec des ouvertures de taille décroissante de haut en bas. Le granulat à étudier est placé dans la partie supérieure des tamis et le tri des grains est obtenu en faisant vibrer la colonne de tamis.



Figure III. 9 : Une série des tamis.

III.2.3.7 Module de finesse du sable

Le module de finesse est calculé en prenant 1/100 de la somme des pourcentages cumulés des rejets sur les tamis de la série suivante : 0,16 mm, 0,315 mm, 0,63 mm, 1,25 mm, 2,5 mm et 5 mm selon la Norme Française P 18-540 [51].

Le module de finesse (Mf) est calculé en prenant 1/100 de la somme des pourcentages cumulés des refus sur les tamis de tailles suivantes : 0.16 mm, 0.315 mm, 0.63 mm, 1.25 mm, 2.5 mm et 5 mm.

Lorsque le module de finesse (Mf) se situe dans la plage de valeurs entre :

- 2 et 2.4, cela indique que le sable est principalement composé de grains fins,
- 2.4 et 3.2, cela suggère la présence d'un sable préférentiel,
- 3.2 et 3.6, le sable est légèrement plus grossier. Cela peut conduire à des bétons résistants, mais moins faciles à travailler.

III.2.3.8 Le coefficient d'aplatissement

Pour la préparation du béton de ciment et la construction des chaussées, il est essentiel d'utiliser uniquement des granulats ayant une forme compacte, en évitant les granulats plats l'essai est réalisé selon la norme française P 18-561 septembre 1990 [52]. C'est un test qui est utilisé pour évaluer la forme des granulats. Le coefficient d'aplatissement est déterminé en effectuant une double analyse granulométrique sur un seul échantillon de granulat. La première est faite sur une série de tamis standardisés avec des ouvertures de mailles carrés (voir figure III.9), la deuxième mesure est faite sur des tamis comportant des fentes parallèles (voir figure III.10).



Figure III. 10 : Tamis à fentes de largeurs normalisées.

III.2.3.9 La masse volumique

•Masse volumique apparente

C'est la masse sèche d'un matériau divisée sur son volume total. La masse volumique apparente est habituellement exprimée en unités de masse par unité de volume, telles que g/cm^3 ou kg/m^3 . L'essai est réalisé suivant la norme européenne et française EN 1097-6 (janvier 2014) [52].



Figure III. 11 : La masse volumique apparente

•La masse volumique absolue

C'est la masse sèche du matériau divisée par le volume occupé exclusivement par les particules solides.

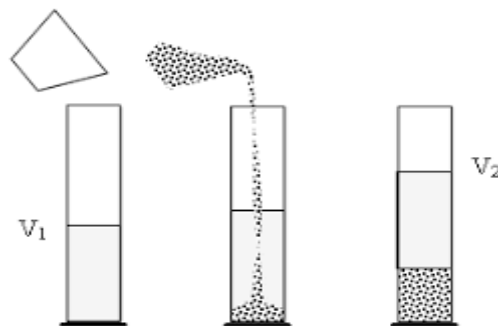


Figure III. 12 : Essai de la masse volumique absolue

III.2.3.10 Essai d'équivalent de sable

L'essai d'équivalent de sable est couramment utilisé pour évaluer le niveau de propreté des sables utilisés dans la composition des bétons.

Nous allons verser une quantité de sable dans un cylindre graduée, puis on ajoute une petite quantité de solution floculant. En agitant le cylindre, on détache les revêtements argileux des particules de sable. Ensuite, on complète l'échantillon avec le reste de la solution floculant, ce qui permet aux particules fines en suspension de remonter au-dessus du sable. On laisse l'échantillon au repos 20 minutes, les hauteurs des différentes matières dans l'éprouvette sont déterminées.

La valeur de l'équivalent de sable est le rapport entre la hauteur du sable sur la hauteur totale. Cela se fait en utilisant la formule $ESV = (Hv/Ht) \times 100$, où ESV représente l'équivalent de sable, Hv est la hauteur du sable et Ht est la hauteur totale.



Figure III. 13 : Solution lavante.



Figure III. 14 : Equivalent de sable.

III.2.4 Les fibres

Dans notre formulation, nous avons utilisé deux types de fibres :

•Fibre métallique

La fibre structurale métallique "Sika Métal Fibres RC-80/50-BN" est fabriquée à partir de fils d'acier tréfilés spécialement conçus en forme de baïonnette, ce qui permet un meilleur ancrage dans le béton. Elle est utilisée pour renforcer le béton en termes de flexion et de compression.

Tableau III. 3 : La fiche technique des fibres métallique SIKA

Aspect / Couleur	Fils d'acier carbone tréfilés à extrémités crochues
Densité	7.8 g / cm ³
Dimensions	Longueur = 50 mm, Diamètre équivalent = 0,62 mm
Résistance à la Traction	1270 MPa
Module d'Elasticité en Traction	200 a

•Fibre polypropylène

Les fibres multifilament sont des fibres 100% vierges de bonne qualité, traitées pour faciliter leur dispersion. Elles sont conditionnées dans des sacs pour une utilisation dans le béton. Ces fibres sont conçues non seulement pour prévenir l'écaillage du béton en cas d'incendie, mais également pour réduire le retrait plastique et la fissuration due au tassement plastique. Elles améliorent également les caractéristiques de surface et la durée de vie de la matrice cimentaire dans les climats chauds. De plus, ces fibres favorisent la répartition initiale et assurent une bonne cohésion avec la pâte de ciment.

Tableau III. 4 : La fiche technique des fibres polypropylène SIKA

Aspect / Couleur	Fibre blanche
Densité	0.91 g / cm ³ (+25 °C)
Dimensions	Longueur = 12 mm / Diamètre = 34 µm
Résistance à la Traction	Étirement amélioré 300-400 N/mm ²
Point de Fusion	160 °C

III.2.5 Adjuvant

Le NOVA SUPERFLOW M120 est un superplastifiant haut réducteur d'eau conforme à la norme EN 934-2 / NA 774. Il est utilisé dans la préparation de bétons transportés.

Ce superplastifiant permet d'améliorer les propriétés des bétons et mortiers, tout en maintenant leur maniabilité. De plus, il peut être utilisé avec tous les types de ciments.

Tableau III. 5 : Caractéristiques de l'adjuvant NOVASUPERFLOW M120

État physique à 20 °c	Liquide
Couleur	Brun clair
Densité	1.05± 0.02
PH	6 ±1.5
Extrait sec	24 % ± 1 %
Teneur en chlore	< 1g/L

**Figure III. 15 : Superplastifiant haut réducteur d'eau NOVA M120.**

III.2.6 La formulation de béton

Pour obtenir les caractéristiques mécaniques et l'ouvrabilité souhaitées d'un béton, il est nécessaire de choisir les proportions adéquates de ses constituants. Cette étape est appelée la formulation. Il existe plusieurs méthodes de formulation, basées sur différentes considérations théoriques, qui ont été proposées et appliquées en pratique.

Dans le cas de notre étude la méthode de formulation du béton utilisée est celle de Dreux Gorisse, car elle est relativement simple et facile à utiliser. Elle permet de calculer les quantités nécessaires des constituants pour un mètre cube du béton.

III.2.6.1 Résistance visée

La valeur souhaitée de la résistance mécanique en compression à 28 est majorée de 15%, dont le but d’augmenter le coefficient sécuritaire de la structure à réaliser. Dans notre cas d’étude on souhaite avoir 34 MPa pour le béton témoin à 28 jours.

Donc : $R'_{28} = \sigma'_{28} \times 1.15 = 39.9 \approx 40 \text{ MPa}$

III.2.6.2 Dosage en ciment et en eau

Le dosage en ciment utilisé est de 370 kg/m^3 avec un apport $E/C = 0.48$, donc le dosage en eau est de : 177,6 litres dans un mètre cube de béton.

III.2.6.3 Dosage des granulats

On utilisant les courbes granulométriques des granulats (figure III.16) nous avons déterminé les teneurs du sable corrigé, du gravier 3/8 et du gravier 8/15. Les résultats sont représentés dans le tableau III.6.

Tableau III. 6 : Les pourcentages des constituants

Sable corrigé (sable de mélange)	43,3%
Gravier (3/8)	7.8%
Gravier (8/15)	48.9 %

La figure III.16 représente les courbes granulométriques des granulats.

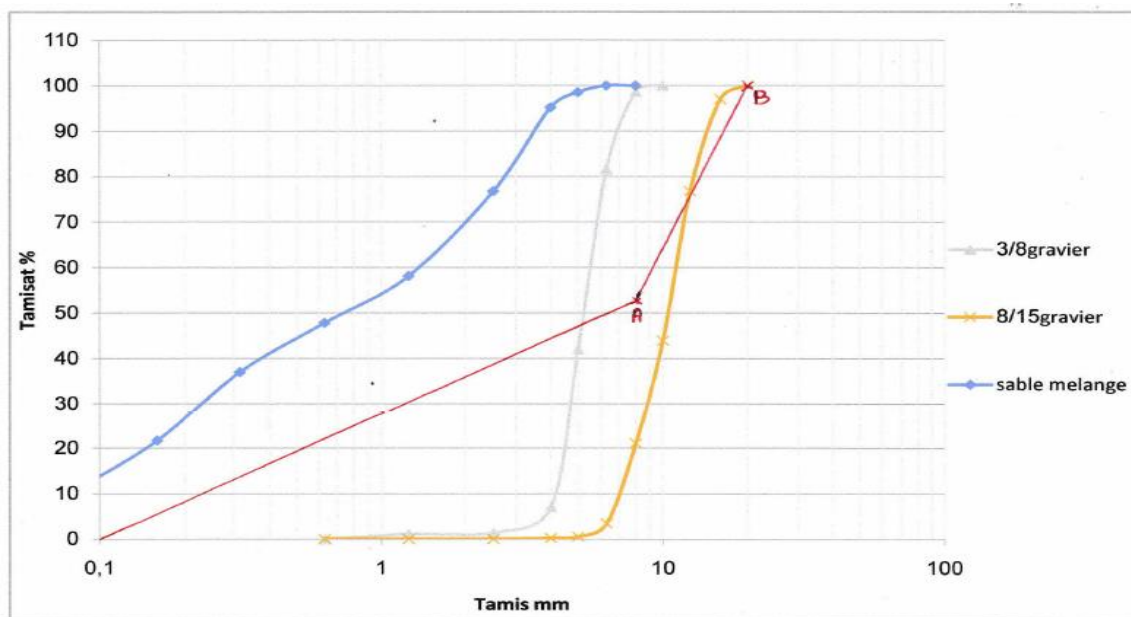


Figure III. 16 : La courbe d’analyse granulométrique des granulats.

La détermination du volume absolu des granulats :

- Le volume absolu de ciment :

$$V_C = \frac{M}{\gamma} = \frac{370}{3.1} = 119,35 = 120 \text{ l/m}^3$$

Avec : M: masse du ciment et $\gamma = 3,1 \text{ g/ml}$: masse volumique du ciment.

- Le volume des granulats :

$$V_g = 1000 - V_c = 1000 \times 0.825 - 119.35 = 705,65 \text{ litres, avec } 0,825 : \text{coefficient de compacité.}$$

- Volume absolu du sable :

$$V_s = \frac{V_g \times 43.3}{100} = \frac{705.65 \times 43.3}{100} = 305,55 \text{ l/m}^3$$

- Volume absolu du gravier (3/8) :

$$V_g (3/8) = \frac{V_g \times 7.8}{100} = \frac{705.65 \times 7.8}{100} = 55,04 \text{ l/m}^3$$

- Volume du gravier (8/15) :

$$V_g (8/15) = \frac{V_g \times 48.9}{100} = \frac{705.65 \times 48.9}{100} = 345,06 \text{ l/m}^3$$

Les masses des granulats, sable 0/4, 3/8 et 8/15 dans 1 m³ sont les suivantes :

- Masse du sable : $M_s = V_s \times \gamma_s = 794,43 \text{ Kg}$ avec $\gamma_s = 2.6 \text{ g/cm}^3$
- Masse du gravier (3/8) : $M_g (3/8) = V_g \times \gamma_g = 150,26 \text{ kg}$ avec $\gamma_s = 2.73 \text{ g/cm}^3$
- Masse du gravier (8/15) : $M_g (8/15) = V_g \times \gamma_g = 924,76 \text{ kg}$ avec $\gamma_s = 2.68 \text{ g/cm}^3$

Pour la préparation d'un 1m³ de béton, Les masses des composants doivent être comme suit :

Tableau III. 7 : Les dosages des constituant d'un m³ de béton

Constituants	dosage kg
Sable 0/2 Fin + sable 0/4 (sable mélange)	795
Gravier 3/8	151
Gravier 8/15	925
Ciment	370
Eau	185
Adjuvant	4,00

- **Présentation d'éprouvettes utilisées :**

Des moules prismatique avec des dimensions de 7x7x28 cm³, ont été utilisés pour déterminer les résistances à la flexion en trois points. Afin d'éviter l'effritement des éprouvettes et de faciliter leur démoulage, les moules ont été préalablement enduits d'un lubrifiant à l'aide d'un pinceau.

Nous allons calculer les masses des constituants pour un volume du b ton de 9 litres.

- **Béton de référence (sans ajout de fibres)**

Le tableau suivant représente les dosages des granulats pour un volume de 9 litres du béton.

Tableau III. 8 : Les dosages des constituants de 9 l de volume de béton

Constituants	Dosage (g)
Sable 0/2 Fin + Sable 0/4 (sable mélange)	7155 g
Gravier 3/8	1359 g
Gravier 8/15	8325 g
Ciment	3330 g
Eau	1665 g
Adjuvant	36 g

- **Béton renforcé par les fibres polypropylènes**

Dosage des fibres :

9 L → 100%

X → 0,5 % → X = 0,045 l

$\rho = \frac{M}{V} \rightarrow M = \rho \times V$ avec $\rho = 0,91 \text{ g/cm}^3 \rightarrow M = 0,91 \times 0,045$

M = 0,04095 Kg → **M = 41 g**

1% de fibres ; M= 82 g

1,5 % de fibres ; M = 122 g

Tableau III. 9 : Les dosages des constituants de béton de fibre polypropylène

Constituants		Dosages (g)
Sable 0 /2 fin + Sable 0 /4 (sable mélange)		7155 g
Gravier 3 /8		1359 g
Gravier 8 /15		8316 g
Ciment		3330 g
Eau		1665 g
Adjuvant		36 g
Fibres polypropylènes	0,5 %	41 g
	1 %	82 g
	1,5 %	122 g

- **Béton renforcé par des fibres métalliques**

9 L → 100 %

X → 1,5 % → X= 0,135 l

$\rho = \frac{M}{V} \rightarrow M = \rho \times V$ avec Dosage des fibres : $\rho = 7,8 \text{ kg/l}$

M = 0.135 × 7.8 → **M = 1053 g**

0,5 % de fibres ; M = 351 g, 1% de fibres ; M= 703 g

Tableau III. 10 : Les dosages des constituants de béton de fibre métallique

Constituants		Dosages (g/l)
Sable 0 /2 fin + Sable 0 /4 (sable mélange)		7155 g
Gravier 3 /8		1359 g
Gravier 8 /15		8316 g
Ciment		3330 g
Eau		1665 g
Adjuvant		36 g
Fibres métalliques	0,5 %	351 g
	1 %	703 g
	1,5 %	1053 g

III.2.7 Réalisation des bétons

• Béton témoin

Nous procédons à la préparation du mélange. Tout d'abord, nous combinons soigneusement le ciment et le sable sec dans un grand récipient en métal, en veillant à les mélanger de manière homogène. Ensuite, nous ajoutons le gravier et continuons de mélanger jusqu'à ce que tous les composants secs soient uniformément répartis.



Figure III. 17 : Le mélange d'un béton témoin

Après la préparation des constituants secs, nous créons un creux au centre et y ajoutons de l'eau progressivement tout en continuant de mélanger. Nous veillons à ajouter l'eau de manière progressive jusqu'à atteindre la consistance idéale, en évitant de trop mouiller le mélange, car cela pourrait compromettre sa résistance. Une fois que nous avons obtenu la consistance souhaitée, nous continuons de mélanger pendant quelques minutes supplémentaires pour obtenir un béton homogène.

Nous utilisons chaque mélange pour remplir 6 éprouvettes prismatiques de dimensions $7 \times 7 \times 28 \text{ cm}^3$, veillant à ne pas dépasser une capacité totale de 9 litres.

• Béton de fibre

Nous répétons la même opération de mélange en ajoutant de manière aléatoire et uniforme les fibres (polypropylène ou métalliques) à l'ensemble du mélange, avant d'ajouter l'eau.



Figure III. 18 : Le mélange d'un béton de fibres polypropylène.

III.2.8 L'affaissement

La fluidité, connue également sous les termes d'ouvrabilité ou de maniabilité, représente la caractéristique fondamentale du béton frais, lui permettant de se répandre aisément dans

n'importe quel espace ou volume requis, l'essai d'affaissement qui caractérise cette maniabilité est réalisé suivant la norme européenne EN 12350-2 juin 2019 [54].

La consistance est la propriété qui définit la fluidité du béton. Elle peut être mesurée de manière simple à l'aide de la technique du cône d'Abrams, qui consiste à mesurer une distance d'affaissement du béton.

Le mode opératoire à suivre est de remplir et compacter le béton formulé dans le cône en effectuant des couches successives. Chaque couche est compactée en effectuant 25 coups en utilisant une tige. Ensuite, le cône formé est nivelé avec une tige. Une fois cela fait, le cône est soulevé verticalement avec précaution pour faire le démoulage. La détermination de l'affaissement du béton frais est effectuée à ce moment-là.



Figure III. 19 : Essai d'affaissement avec le cône d'Abrams.

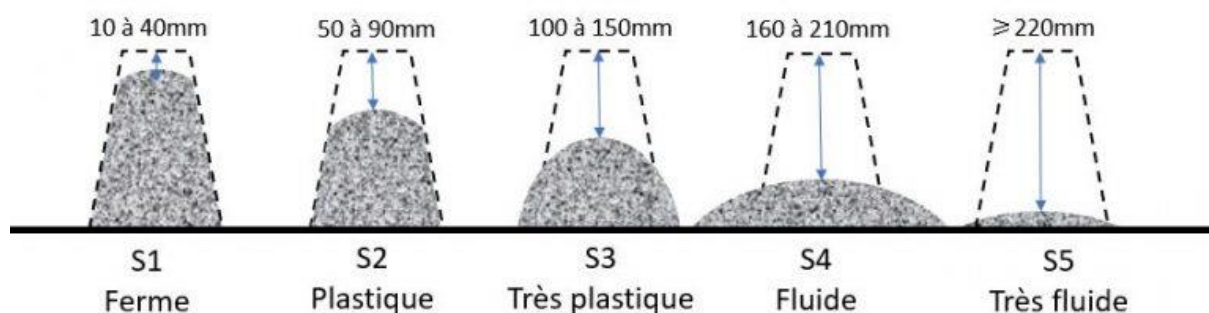


Figure III. 20 : Les différentes classes de consistance de béton

III.2.9 Les essais mécaniques du béton

III.2.9.1 Essai de flexion 3 points

Cet essai est effectué pour évaluer la résistance mécanique à la traction par flexion. Il consiste à placer une éprouvette ayant une forme prismatique de dimensions (7x7x28) cm³ sur deux appuis d'une presse hydraulique. Ensuite, une charge de flexion est appliquée à l'éprouvette en utilisant un rouleau supérieur, la charge maximale est enregistrée à la fin de l'essai, ce dernier est réalisé suivant la norme européenne EN 12390-5, juin 2019 [55].



Figure III. 21 : La machine de flexion avec l'emplacement d'éprouvette

La résistance à la flexion est calculée par la formule suivante :

$$R_f = \frac{3Fl}{2bh^2} = \dots \text{ N/mm}^2$$

Avec :F : charge maximal appliquée exprimé en KN, l: la portée en mm.

b et h sont la largeur et la hauteur de l'éprouvette

III.2.9.2 Essai de compression

La résistance en compression est une donnée essentielle pour la conception des matériaux à base de ciment. L'essai consiste à appliquer une charge sur les échantillons de béton jusqu'à fissuration complète de l'éprouvette conformément à la norme EN 12390-4 [56]. La force maximale est enregistrée, à l'aide de la formule suivante la résistance en compression est calculée :

$$R_c = \frac{F}{A_c} = \dots \text{ N/mm}^2$$

F : est la force maximale (N), A_c : la surface de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est exercée (mm^2).

Pour cet essai, nous avons utilisé une moitié de l'éprouvette, soit un cube ou un cylindre ou une carotte, que nous avons soumis à une flexion. Pour assurer une section d'écrasement carrée de 7 cm de longueur et de largeur, nous avons placé une plaque métallique de dimensions 7 cm x 7 cm sur les deux parties de l'éprouvette (inférieure et supérieure).



Figure III. 22 : La plaque métallique de dimension 7*7*28 cm³.



Figure III. 23 : L'éprouvette dans la machine de compression.

III.3 Résultats et discussions

III.3.1 Le ciment

III.3.1.1 La consistance normale

Nous avons atteint une consistance normale avec un $d = 5$ mm, en utilisant une quantité d'eau équivalente à 26% du mélange.

III.3.1.2 Délais de prise

Les résultats expérimentaux du délai de prise sont répertoriés dans le tableau III.11.

Tableau III. 11 : Résultats d'essai de prise

Début de prise	2 h 14 min
Fin de prise	3 h 12 min

• Interprétation

D'après le tableau ci-dessus on remarque que le temps de début de prise est de : 2h14min et le temps de la fin de prise est de : 3h12min ce qui signifie que notre ciment est un liant à prise normale conformément à sa fiche technique du ciment.

III.3.2 Les granulats

III.3.2.1 Essai Los angles

Les résultats d'essai los angles sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III. 12 : Les résultats d'essai los angles

Classe granulaire	Nombre de boulets	Masse totale de la charge (g)	m' (g)	M(g)	$LA (\%) = \frac{m'}{M} \times 100$
8/15	11	4840	3658	5000	26.84

Avec : M : Masse sèche du granulat

m' : masse de refus sur le tamis 1,6 mm

• Interprétation

D'après le tableau ci-dessus on constate que : le résultat de l'essai Los Angles est de 26.84 %, d'après la norme NF P 18 573 [47], la valeur de coefficient Los Angles ($15 < LA < 100$) donc notre gravier est d'origine calcaire.

III.3.2.2 La propreté superficielle des granulats

Le tableau III.13 montre les résultats de l'essai de la propreté superficielle de gravier :

Tableau III. 13 : La propreté superficielle de gravier 3/8

Masse sèche de l'échantillon soumis à l'essai $M_s = \frac{M_{1s}}{M_{1h}} \times M_{2h}$	2000 g
Poids du refus sur tamis 0.5 mm du granulat N°2 (M')	1964 g
Propreté superficielle $P = \frac{M_s - M'}{M_s} \times 100$	1.80%

• Interprétation

D'après les résultats obtenus dans le tableau précédent, nous remarquons que la propreté superficielle est de 1,8%. Selon à la norme NF P 18 591 [48], les granulats utilisés sont considérés comme propres, car le taux de propreté est inférieur à 3%.

III.3.2.3 Essai Micro deval

Les résultats que nous avons obtenus sont mentionnés sur les tableaux suivants :

Tableau III. 14 : Résultats d'essai micro deval a sec

Classe granulaire	Charge abrasive (g)	m' (g)	M' (g)	M _{DS} (%)
8/15	5000 ± 5	476	500	4.8

Tableau III. 15 : Résultats d'essai micro deval en présence d'eau

Classe granulaire	Charge abrasive (g)	m' (g)	M' (g)	M _{DS} (%)
10/14	5000 ± 5	420	500	16

Avec : M : poids du granulat (500 ± 2 g), m' : masse de refus sur le tamis 1.6 mm

$m = M - m'$: masse des passants au tamis 1.6 mm

$M_{DS} = 100 \times \frac{m}{M}$, la quantité d'eau 2.5 litres.

• Interprétation

D'après les résultats de tableau ci-dessus on remarque que la qualité des granulats est bonne à moyenne selon la norme NFP 18 572 [49], (coefficient micro deval = 16 %).

III.3.2.4 Essai Analyse granulométrique

• Sable fin (0/2)

Pour 500g de sable (0/2) nous avons obtenus les résultats qui ont donnés dans le tableau suivant :

Tableau III. 16 : Résultats de l'analyse granulométrique de sable 0/2

Tamis ouverture (mm)	Masse de refus (Ri) (Kg)	Pourcentage de refus (Ri/M1)×100	Pourcentage cumulé de tamisât (passant) $100 - \sum Ri/M1 \times 100$
1.25	0	0	100
0.63	2	0.4	99.6
0.315	144	28.8	71.2
0.16	380	76	24
0.08	496	99.2	0.8
Fond de tamis	500	100	0

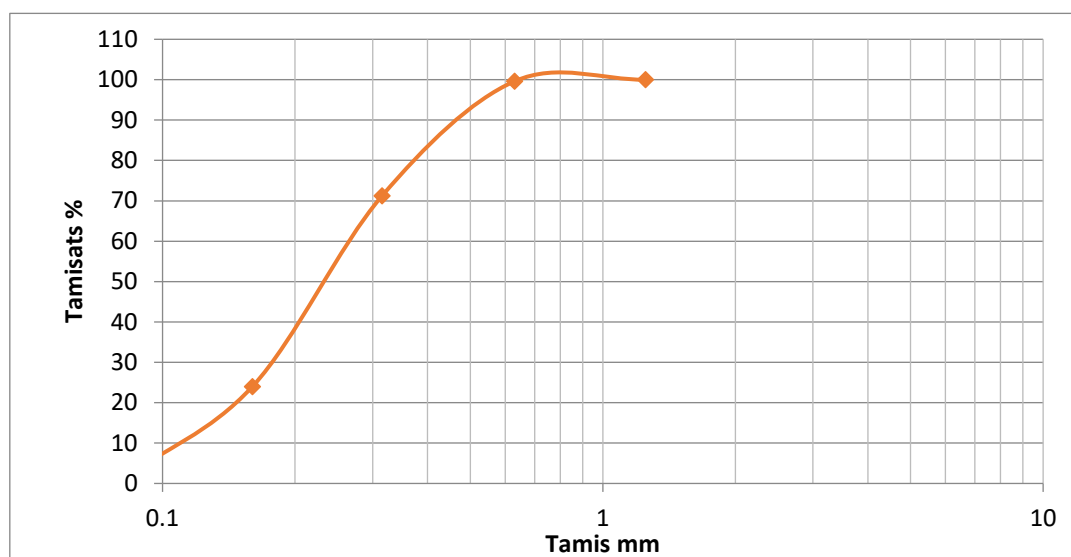


Figure III. 24 : La courbe d'analyse granulométrique du sable (0/2)

• Sable 0/4

Pour 1000g de sable (0/4) nous avons acquis les résultats suivants :

Tableau III. 17 : Résultats de l'analyse granulométrique de sable 0/4

Tamis ouverture (mm)	Masse de refus (Ri) (Kg)	Pourcentage de refus (Ri/M1)×100	Pourcentage cumulé de tamisât (passant) $100 - \sum Ri/M1 \times 100$
8	0	0	100
6.3	0	0	100
5	18	1.8	98.2
4	58	5.8	94.2
2.5	282	28.2	71.8
1.25	510	51	49
0.63	634	63.4	36.6
0.315	704	70.4	29.6
0.16	788	78.8	21.2
0.08	876	87.6	12.4
Fond de tamis	1000	100	0

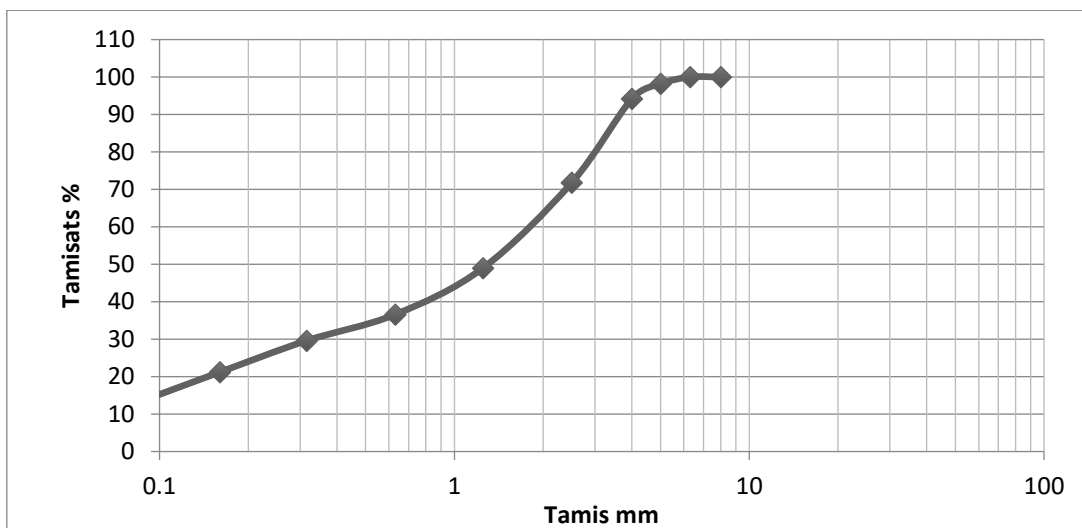


Figure III. 25 : La courbe granulométrique du sable (0/4).

• **Sable mélange (0/2 fin + 0/4)**

Pour 1000 g (767 g sable 0/4 + 233 g sable 0/2) nous avons obtenus ces résultats :

Tableau III. 18 : Résultats d'analyse granulométrique de sable mélange

Tamis ouverture (mm)	Masse de refus (Ri) (Kg)	Pourcentage de refus (Ri/M1)×100	Pourcentage cumulé de tamisât (passant) $100 - \sum Ri/M1 \times 100$
8	0	0	100
6.3	0	0	100
5	15	1.5	98.5
4	48	4.8	95.2
2.5	282	23.2	76.8
1.25	419	41.9	58.1
0.63	522	52.2	47.8
0.315	630	63	37
0.16	783	78.3	21.7
0.08	897	89.7	10.3
Fond de tamis	1000	100	0

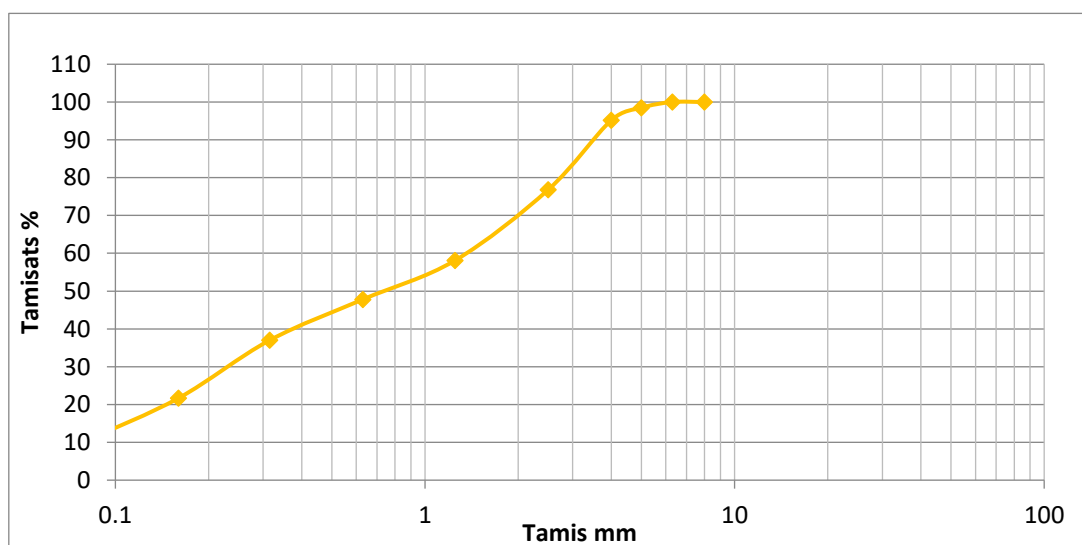


Figure III. 26 : La courbe granulométrique du sable mélange

• Gravier 3/8

Pour une quantité de gravier (3/8) de 2000g nous avons obtenus les résultats suivants :

Tableau III. 19 : Résultats d'analyse granulométrique de gravier 3/8

Tamis ouverture (mm)	Masse de refus (Ri) (Kg)	Pourcentage de refus (Ri/M1)×100	Pourcentage cumulé de tamisât (passant) $100 - \sum Ri/M1 \times 100$
10	0	0	100
8	29	1.5	98.6
6.3	368	18.4	81.6
5	1160	58	42
4	1858	92.9	7.1
2.5	1972	98.6	1.4
1.25	1978	98.9	1.1
0.63	2000	100	0

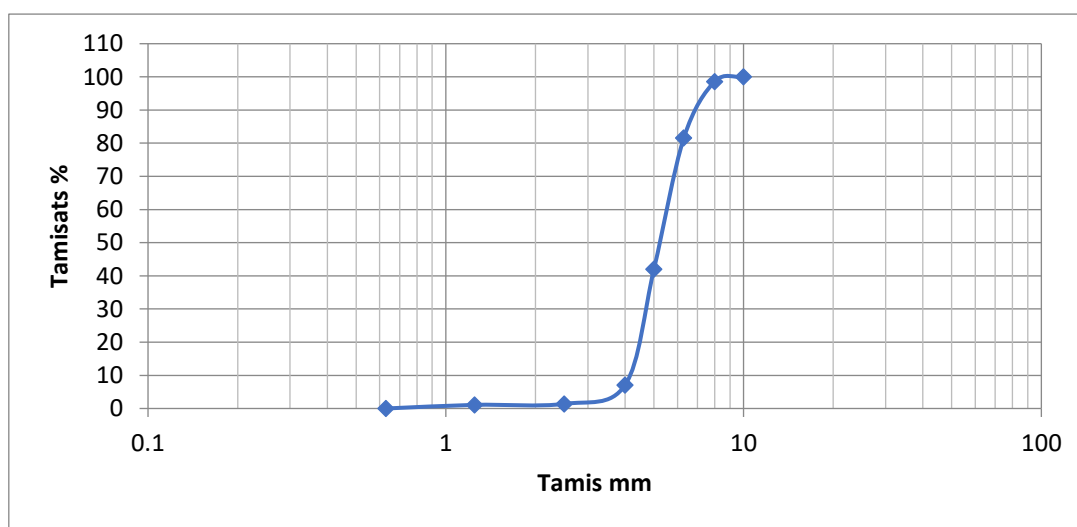


Figure III. 27 : La courbe granulométrique du gravier (3/8)

• Gravier 8/15

Pour 3000g de gravier (8/15) nous avons obtenus les résultats convaincus dans le tableau suivant :

Tableau III. 20 : Résultats d'analyse granulométrique de gravier 8/15

Tamis ouverture (mm)	Masse de refus (Ri) (Kg)	Pourcentage de refus (Ri/M1)×100	Pourcentage cumulé de tamisât (passant) $100 - \sum Ri/M1 \times 100$
20	0	0	100
16	90	3	97
12.5	696	23.2	76.8
10	1684	56.1	43.9
8	2368	78.9	21.1
6.3	2898	96.6	3.4
5	2986	99.5	0.5
4	2994	99.8	0.2
2.5	3000	100	0
1.25	3000	100	0
0.63	3000	100	0

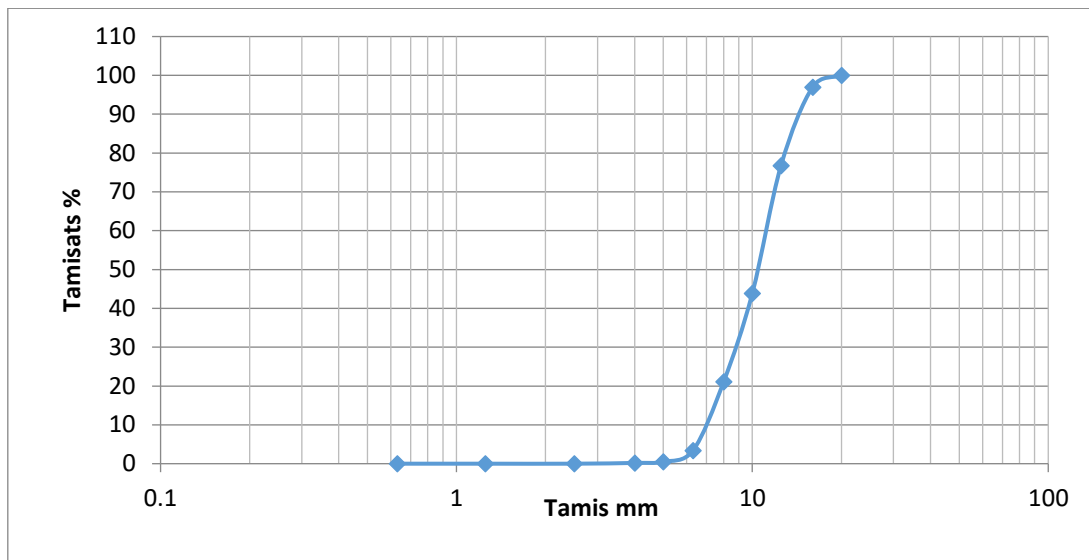


Figure III. 28 : La courbe granulométrique du gravier (8/15)

• Interprétation

En examinant les résultats des analyses granulométriques des différents granulats (sable 0/2, 0/4, 3/8, 8/15), nous constatons que les courbes granulométriques sont continues. Cela signifie qu'il y a une présence de grains de toutes les dimensions, sans interruption, dans chaque granulat.

III.3.2.5 Module de finesse

Dans notre cas nous avons un sable préférentiel qui nécessite une correction. Les modules de finesse des sables sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III. 21 : Module de finesse des 2 sables

Tamis Sable	5	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16	Mf
0/4	1.8	28.2	51	63.4	70.4	78.8	2.94
0/2	0	0	0	0.4	28.8	76	1.05

$$\text{Sable 0/4 \%} = (Mf - Mf_2) / (Mf_1 - Mf_2) * 100 = 76.71\%$$

$$\text{Sable 0/1 \%} = (Mf_1 - Mf) / (Mf_1 - Mf_2) * 100 = 23.28\%$$

Avec $Mf = 2.5$

Alors le dosage des sables est :

$$\text{Sable mélange} = 7155 \text{ g}$$

$$\text{Sable 0/1} = 7155 \times 0.2328 = 1665 \text{ g}$$

$$\text{Sable 0/4} = 7155 \times 0.7671 = 5489 \text{ g}$$

• Interprétation

D'après les résultats obtenus on constate que la valeur du module de finesse de sable 0/4 est de 2,94 (sable grossier), que nous avons corrigé avec un sable fin 0/2. Nous avons obtenu un granulat (sable) normal avec un M_f égale 2,5.

III.3.2.6 Equivalent de sable

Les résultats d'essai équivalent de sable sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III. 22 : Résultats d'essai équivalent de sable

	1 ^{ère} Prise	2 ^{ème} Prise
Hauteur totale H _T (cm)	11.7	11.10
Hauteur de sable H _V (cm)	8.8	8.8
Hauteur piston H _P (cm)	36	35.5
ESV %	72.65	79.29
ESP %	59.82	67.56
MOYENNE	ESV =	75.96%
	ESP =	63.68 %

• Commentaire

On remarque que dans les résultats du tableau ci-dessus la valeur de l'équivalent de sable est $60 < ESP < 70$ et selon la norme NF P 18 598 [57], c'est un sable légèrement argileux, qui peut être utilisé pour les bétons de qualité courante.

III.3.2.7 Coefficient d'aplatissement

Le tableau suivant représente les résultats de l'essai :

Tableau III. 23 : Tamisage sur tamis normalisés à mailles

M = 3000 g	
Tamisage sur tamis normalisés à mailles	
Classe granulaire d/D (mm)	M _g (g)
16-20	74
12.5-16	588
10-12.5	1064
8-10	714
6.3-8	480
5-6.3	68
4-5	10
M = $\sum M_g = 2998$ (g)	

Tableau III. 24 : Tamisage sur tamis à fentes de largeurs normalisées

M = 3000g		
Tamisage sur tamis à fentes de largeurs normalisées		
Ecartement des grilles (mm)	M _g (g)	$\frac{M_e}{M_g} \times 100$
10	16	21.68
8	76	12.92
6.3	142	13.34
5	186	17.64
4	92	19.17
3.15	08	11.76
2.5	00	00
$\sum M_e = 460$ (g)		13.78

Alors : $A = \frac{\sum M_e}{M} \times 100 = 15.34\%$

• Interprétation

D'après les résultats obtenus on remarque que la valeur de coefficient d'aplatissement selon la norme NFP 18 561 [52], est inférieure à 30%, cela implique que nos granulats peuvent être utilisés pour la confection du béton hydraulique.

III.3.2.8 La masse volumique

Le tableau suivant résume les résultats de l'essai des masses volumiques pour les différents granulats utilisés :

Tableau III. 25 : Les résultats de la masse volumique apparente et absolue

La masse volumique	Sable 0/1 fin	Sable 0/4	Gravier 3/8	Gravier 8/15
Apparente (g/cm ³)	1.56	1.78	1.49	1.52
Absolue (g/cm ³)	2.58	2.6	2.73	2.68

• Interprétation

La masse volumique absolue pour les granulats est $> 2 \text{ g/cm}^3$, selon la norme NF.P 18-301 [58], ce sont des granulats courants utilisés pour les bétons hydrauliques.

III.3.2.9 Affaissement

Selon la norme NF EN 206 1 [59], qui classé l'affaissement du béton en cinq groupes

Tableau III. 26 : Les classes de béton selon l'affaissement

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

• Interprétation

D'après le tableau ci-dessus nous avons obtenus un affaissement de 160mm selon la norme NF EN 206 1 [59], la classe de notre béton est S4 avec une consistance fluide.

III.3.3 Les essais mécaniques

Les résultats des essais mécaniques (flexion et compression) sont fournis dans les tableaux et les histogrammes suivants :

III.3.3.1 Essais de flexion

Les résultats des essais de flexion des trois types de béton avec 0,5 % de fibres sont présentés dans le tableau ci-dessous pour les périodes de 14 jours et 28 jours

Tableau III. 27 : Les résultats d'essai de flexion de béton avec 0.5% des fibres

Type de béton	Résistance a la flexion	
	14 jours	28 jours
Béton témoin 0% des fibres	7.19 Mpa	8.47 Mpa
Béton de fibres métalliques (0.5%)	6.02 Mpa	7.00 Mpa
Béton de fibres polypropylène (0.5%)	7.47 Mpa	7.36 Mpa

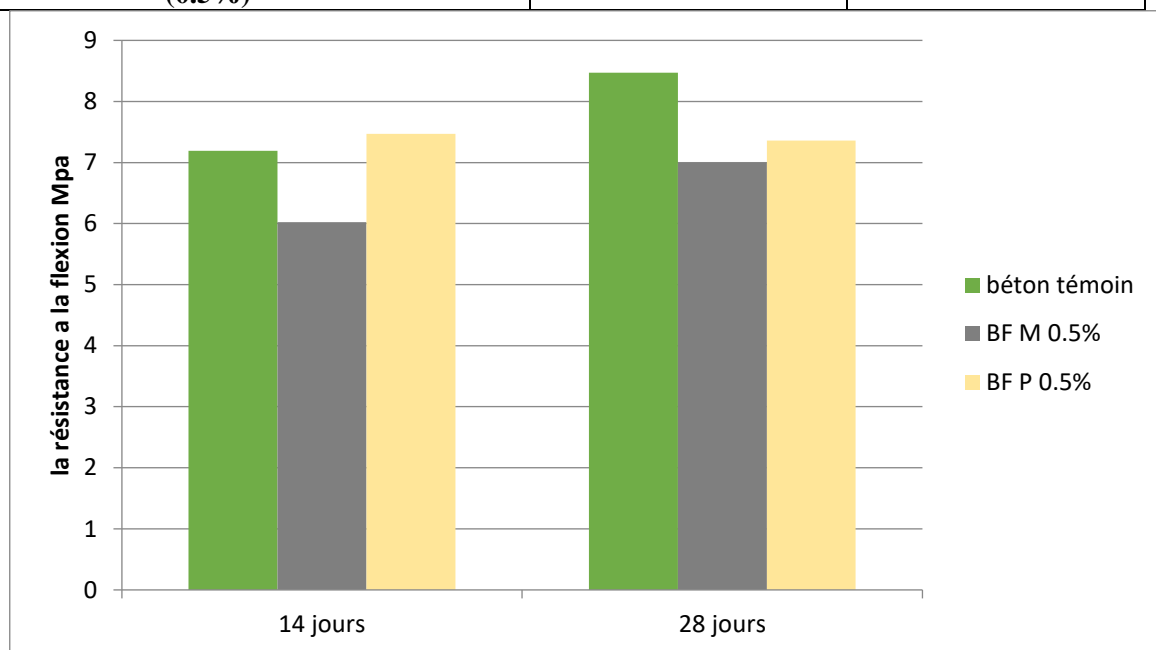


Figure III. 29 : La résistance à la flexion de béton avec 0.5% des fibres

• Interprétation

En analysant l'histogramme ci-dessus, nous constatons que les résistances mécaniques à la flexion à 14 jours et 28 jours des trois types de béton sont relativement similaires. Cela s'explique par le fait que le pourcentage de fibres (polypropylène ou métallique) de 0,5% n'a pas une influence significative sur le comportement mécanique des bétons élaborés.

- Le tableau ci-dessous représente les résultats d'essai de flexion des trois types du béton à 14 jours et à 28 jours avec 1 % de fibres.

Tableau III. 28 : Les résultats d'essai de flexion de béton avec 1% des fibres

Type de béton	Résistance a la flexion	
	14 jours	28 jours
Béton témoin 0% des fibres	7.19 Mpa	8.46 Mpa
Béton de fibres métalliques (1%)	8.3 Mpa	7.17 Mpa
Béton de fibres polypropylène (1%)	5.13 Mpa	5.63 Mpa

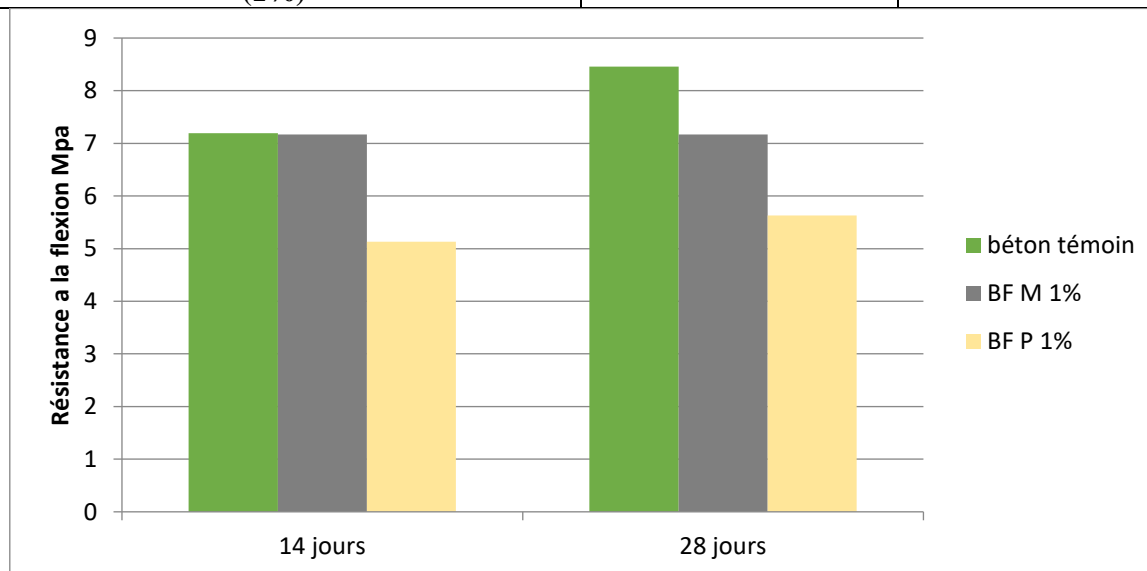


Figure III. 30 : La résistance a la flexion de béton avec 1% des fibres

• Interprétation

D'après les résultats de l'histogramme ci-dessus, nous observons que les résistances mécaniques à la flexion à 14 jours et 28 jours pour les deux types de béton (béton témoin et béton avec 1% de fibres métalliques) sont relativement similaires. En revanche, le béton contenant 1% de fibres de polypropylène présente une résistance mécanique à la flexion plus faible par rapport aux autres bétons. Cette différence peut s'expliquer par une répartition non homogène des fibres de polypropylène dans le béton, ce qui entraîne la formation de zones fragiles lors de l'application des forces de flexion.

- Le tableau ci-dessous représente les résultats d'essai de flexion des trois types du béton à 14 jours et à 28 jours avec 1.5 % de fibres.

Tableau III. 29 : Les résultats d'essai de flexion de béton avec 1.5% des fibres

Type de béton	Résistance a la flexion	
	14 jours	28 jours
Béton témoin 0% des fibres	7.19 Mpa	8.46 Mpa
Béton de fibres métalliques (1.5%)	7.97 Mpa	9.43 Mpa
Béton de fibres polypropylène (1.5%)	3.03 Mpa	3.83 Mpa

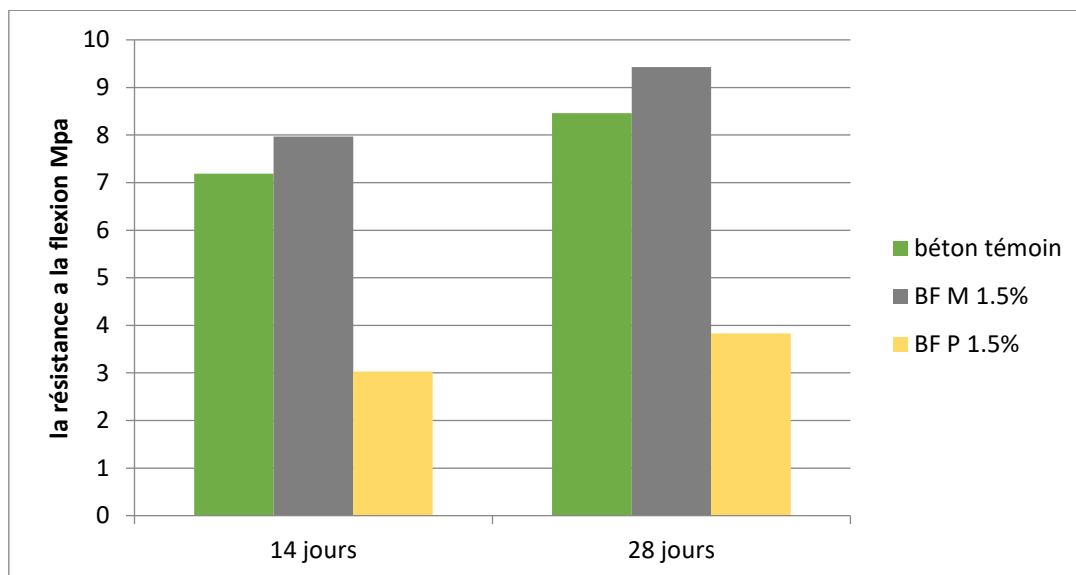


Figure III. 31 : La résistance a la flexion de béton avec 1.5% des fibres

• Interprétation

L'analyse de l'histogramme met en évidence une augmentation progressive de la résistance à la flexion des trois types de béton au fil du temps. Il est également observé que l'augmentation des pourcentages de fibres métalliques conduit à une amélioration significative de la résistance à la flexion. Cette amélioration est attribuée à la haute rigidité des fibres métalliques, qui créent des ponts ou des liaisons au sein de la pâte cimentaire. Ces connexions favorisent la propagation des microfissures et renforcent ainsi la résistance mécanique à la flexion du béton.

En revanche, une augmentation des pourcentages de fibres de polypropylène entraîne une diminution de la résistance à la flexion. Cela est dû à la faible densité des fibres de polypropylène et à leur orientation aléatoire dans le béton, ce qui entraîne la formation de zones fragiles. Ces zones fragiles ont pour conséquence une réduction de la résistance mécanique à la flexion du béton.

III.3.3.2 Essai de compression :

Le tableau ci-dessous représente les résultats d'essai de compression des trois types de béton à 14 jours et à 28 jours avec 0.5 % de fibres

Tableau III. 30 : Les résultats d'essai de compression de béton avec 0.5% des fibres

Type de béton	Résistance a la compression	
	14 jours	28 jours
Béton témoin 0% des fibres	41 Mpa	42.33 Mpa
Béton de fibres métalliques (0.5%)	41.16 Mpa	46.27 Mpa
Béton de fibres polypropylène (0.5%)	32.43 Mpa	38.1 Mpa

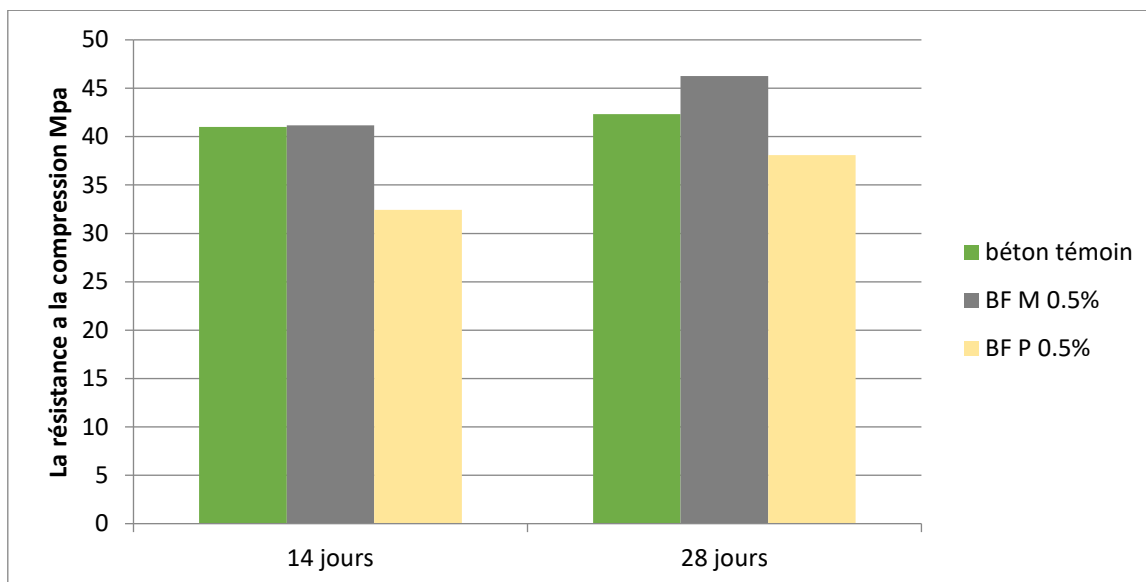


Figure III. 32 : La résistance a la compression de béton avec 0.5% des fibres

• Le tableau ci-dessous représente les résultats d’essai de compression des trois types du béton à 14 jours et à 28 jours avec 1 % de fibres.

Tableau III. 31 : Les résultats d'essai de compression de béton avec 1% des fibres

Type de béton	Résistance a la compression	
	14 jours	28 jours
Béton témoin 0% des fibres	41 Mpa	42.33 Mpa
Béton de fibres métalliques (1%)	45.7 Mpa	53.43 Mpa
Béton de fibres polypropylène (1%)	26.06 Mpa	29.33 Mpa

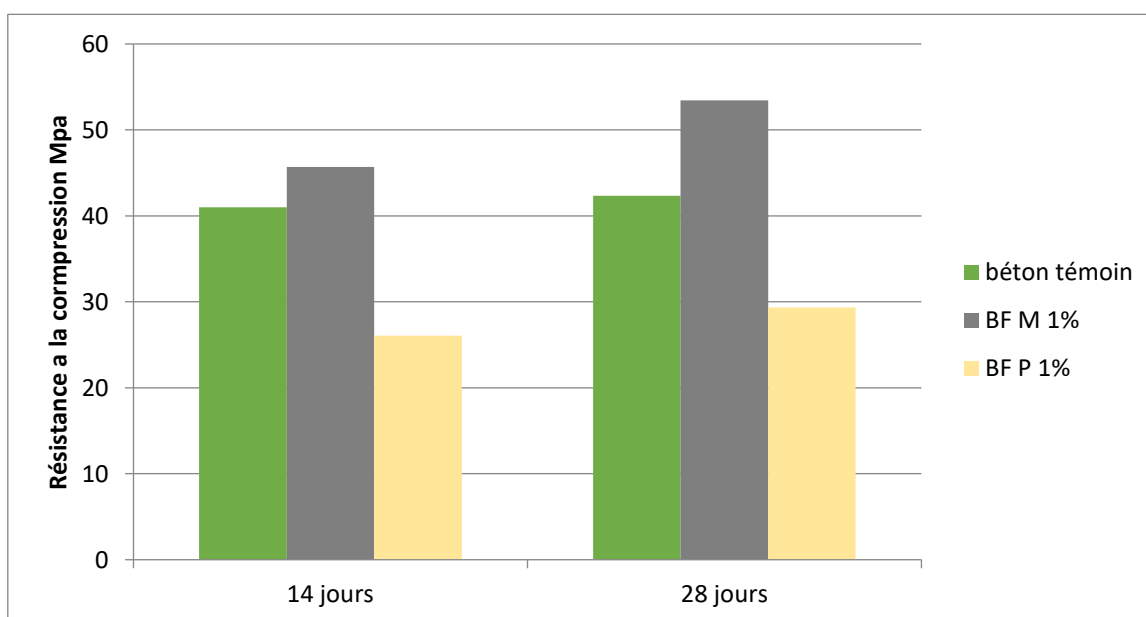


Figure III. 33 : La résistance a la compression de béton avec 1% des fibres

• Le tableau ci-dessous représente les résultats d'essai de flexion des trois types du béton à 14 jours et à 28 jours avec 1.5 % de fibres.

Tableau III. 32 : Les résultats d'essai de compression de béton avec 1.5% des fibres

Type de béton	Résistance a la compression	
	14 jours	28 jours
Béton témoin 0% des fibres	41 Mpa	42.33 Mpa
Béton de fibres métalliques (1.5%)	45.36 Mpa	54.00 Mpa
Béton de fibres polypropylène (1.5%)	18.26 Mpa	22.16 Mpa

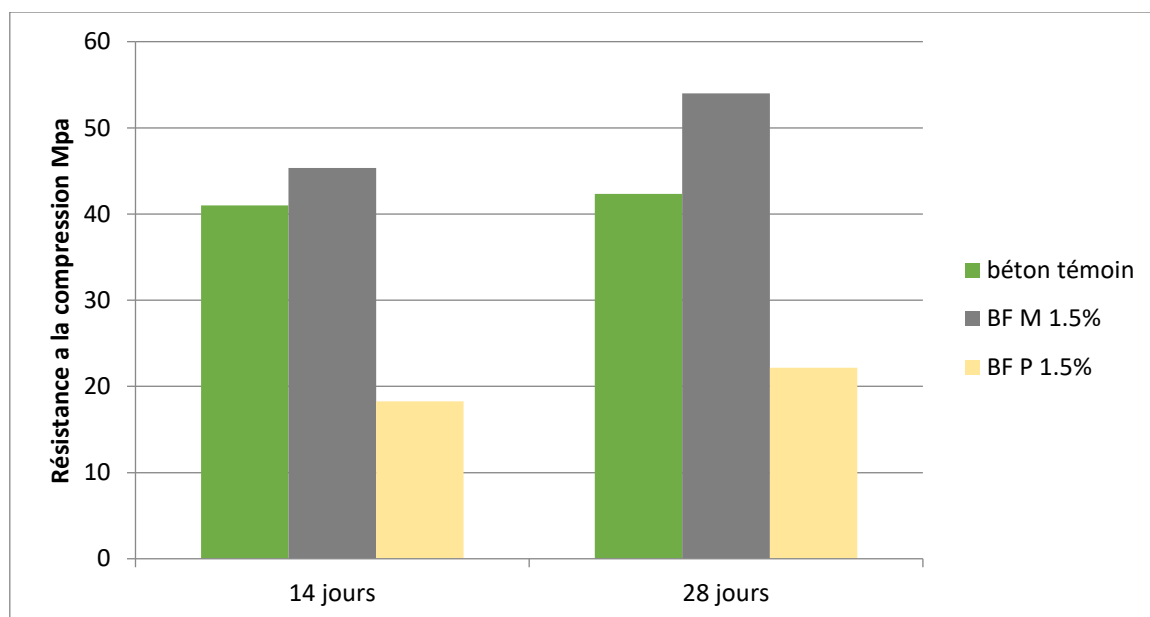


Figure III. 34 : La résistance a la compression de béton avec 1.5% des fibres

• Interprétation des essais de compression

Les histogrammes 4, 5 et 6 révèlent des observations importantes concernant l'effet de la quantité de fibres métalliques sur la résistance du béton. Une augmentation de la quantité de ces fibres entraîne une considérable amélioration de la résistance du matériau. Cette augmentation est principalement due à une répartition efficace des fibres métalliques à travers le béton, comme illustré dans les figures en annexe N°4 figure 8.

En revanche, l'augmentation de la quantité de fibres de polypropylène a un effet négatif sur la résistance à la compression du béton. Cela signifie que lorsque la quantité de fibres de polypropylène devient excessive, la résistance du béton diminue. Cette diminution est attribuée à plusieurs facteurs. Tout d'abord, les fibres de polypropylène ont une forte capacité d'absorption d'eau, ce qui interfère avec l'hydratation du ciment, provoquant ainsi une hydratation incomplète. De plus, les fibres de polypropylène ont une faible densité, ce qui

nécessite l'utilisation d'un volume important de fibres. Cela conduit à une répartition médiocre des fibres dans le béton, créant ainsi des zones fragiles en raison de l'agglomération des fibres.

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous décrivons les étapes suivies pour la fabrication des différents échantillons, en commençant par la sélection des matériaux, puis leur caractérisation, et enfin le coulage et le processus de maturation des bétons témoins et des bétons renforcés par des fibres, la formulation a été faite par la méthode Dreux Gorisse.

Les résultats des essais de résistance des bétons renforcés par des fibres métalliques indiquent qu'une utilisation de 1,5% de ce type de fibres métalliques entraîne une augmentation significative de la résistance à la compression et de la résistance à la flexion. En revanche, un pourcentage de 0,5% de fibres de polypropylène présente de bons résultats lors des essais mécaniques.

Conclusion générale et recommandations

Notre travail se concentre sur l'étude des matériaux utilisés, la formulation des différents types de bétons et leurs comportements mécaniques.

L'étude bibliographique repose sur des généralités sur les bétons et leurs composants et aussi sur l'analyse des différents types de fibres et de leurs applications.

La première phase de notre travail expérimental consiste à effectuer une caractérisation globale des matériaux utilisés, d'après les résultats obtenus on remarque que les matériaux utilisés dans cette étude sont de qualité satisfaisante par rapport aux normes.

La deuxième phase de notre travail consiste à formuler un béton témoin et deux types de bétons renforcés par des fibres (0.5%, 1%, 1.5%) et avec le même rapport E/C.

Les résultats des essais mécaniques nous à permet de tirer les conclusions suivantes :

- L'incorporation croissante de fibres métalliques améliore la résistance du béton à la flexion et à la compression. Plus le pourcentage de fibres métalliques est élevé, meilleure sera la résistance obtenue.
- La résistance à la flexion et à la compression diminue à mesure que les fibres de polypropylène augmentent, ce qui suggère qu'un faible pourcentage de fibres de polypropylène donne de bien meilleurs résultats.

L'étude du traitement des bétons à l'aide de fibres a démontré que l'utilisation de fibres métalliques améliore la résistance du béton. Cependant, l'utilisation de fibres de polypropylène n'a pas montré une bonne résistance. Bien que les fibres de polypropylène offrent plusieurs avantages dans la construction tels que l'isolation thermique et phonique, elles ne contribuent pas à améliorer la résistance du béton.

Recommandations

- Pour avoir un bon comportement mécanique des bétons renforcés par les fibres de polypropylènes il faut que le pourcentage des fibres soit inférieur à 0,5 %.
- Une étude de la conductivité thermique des bétons renforcés par les fibres polypropylènes après traitement thermique est souhaitable.

Références bibliographie

Les références bibliographiques

- [1] MALIER, Pr Yves. De Marcus Vitruvius aux nanomatériaux ou l'apport de la singulière histoire du béton à une réflexion prospective sur la recherche universitaire en génie civil. Bordeaux (France), 2007, p. 23-25.
- [2] AKCHICHE, Hamida. Modélisation de fissuration en flexion et du retrait des bétons de fibres de palmier dattier, Thèse de doctorat, université kasdi merbah, ouargla ,2020.
- [3] Taleb, Karina. Etude à l'état frais et à l'état durci de l'influence des Fines de Mortiers de Démolition sur les propriétés des Mortiers, Mémoire de fin d'étude, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, 2016.
- [4] Rachi L, Dendani M, « Influence des différentes granulométries des agrégats sur le comportement mécanique du béton ordinaire ». Mémoire de master. Université De M'hamedBougara-Boumerdes, 2016.
- [5] Kattab R., « valorisation de sable de dune », Thèse de doctorat. ENP Alger 2007.
- [6] Véronique Baroghel-Bouny, Caractérisation microstructurale et hydrique des pâtes de ciment et des bétons ordinaires et à très hautes performances. Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (France), 1994.
- [7] Madoui Yasmine, « Le recyclage d'un Déchet industriel (poussière de By-Pass », Mémoire de Magister, Université Mohammed Khider–Biskra, 2019.
- [8] Haddaoui Sabah, « Mise en place de la maintenance conditionnelle et améliorative du four rotatif de HOLCIM Ras El Ma », mémoire de master, université sidi Mohammed ben Abdellah, Fès, Maroc, 2015.
- [9] Georges Dreux, « Nouveau guide du béton et de ces constituants », septième édition Eyrolles ,1998.
- [10] NF EN 196-1, Norme française, « Méthodes d'essais des ciments-Partie 1: détermination des résistances mécaniques », 2006.
- [11] Collection technique CIM-BÉTON,« les bétons – constituants, mécanismes, propriétés à l'état frais et durci, comportements mécanique et dimensionnel », Ecole Française du Béton, 7 place de la défense Paris, novembre 2010, p10.
- [12] Makani Abdelkadir, « Influence de la nature minéralogique des granulats sur le comportement mécanique différé des bétons ». Thèse de doctorat, Toulouse, 2011.
- [13] Fahd Fatima ezzahara, « Application de quelques essais technique sur des échantillons de la région de Kansara », Stage technique de fin d'étude, Université Sidi Mohamed ben Abdellah, Fès, Maroc, 2015.
- [14] Maillot R., « Mémento technique des Granulats », les Presses, Ecole des Mines de Paris, 166 p., 2001.

Références bibliographie

- [15] R. Wang, N. Yu, et Y. Li, « Methods for improving the microstructure of recycled concrete aggregate : A review », *Construction and Building Materials*, vol. 242, p. 1-17, 2020.
- [16] J. Baron, et J.P. Olivier : « Les bétons bases et données pour leur formulation ». Edition Eyrolles, paris, France, 1999.
- [17] Ferguene H. « valorisation des granulats recyclés de déchet des carreaux faïence dans la formulation des bétons autoplaçant », mémoire de master, Université M'hamedBougarra. Boumerdes, Algérie ,2016, 74p.
- [18] : Patrick Guiraud, Solutions béton, Les adjuvants : pour des bétons à l'épreuve des chantiers et du temps, Revue, *Construction Moderne / Annuel Ouvrages d'art*, p 16, (2014).
- [19] NF EN 934-2, Norme française, Adjuvants pour béton, mortier et coulis, Partie 2, Adjuvants pour béton et mortier, définition et exigences, (2002).
- [20] Acker P., « Prise et durcissement des bétons : Les effets thermomécaniques », *Techniques de l'ingénieur*. Vol. 3, n° C2235, 1988.
- [21] Flatt R.J., Houst Y.F. « A simplified view on chemical effects perturbing the action of superplasticizers ». *Cement and Concrete Research*, Vol. 31, No. 8, pp. 1169- 1176, 2001.
- [22] Lachebi, Kamel. « Etude de la compacité du béton en fonction de la granularité », Mémoire de master. Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou. 2021.
- [23] Fares Mustapha, « dossier : le béton autoplaçant », Magazine LPEE - N° 82 – 2018, p 8.
- [24] François T, Jacques R WILEY, Collection technique CIM-BÉTON, « Les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre, Les bétons courants », Ecole Française du Béton, 7 place de La Défense Paris, janvier 2013, p44.
- [25] Madoui Yasmine, « Le Recyclage d'un déchet Industriel (Poussière de By-Pass). », Mémoire de Magister ; Université Mohammed Khider –Biskra, 2019.
- [26] EN 206-1, Norme européenne, « Béton - Partie 1 : Spécification, performances, production et conformité », 2004.
- [27] Mr ABDELMAJID BILEL : « étude du comportement mécanique d'un béton à base de fibres métallique » mémoire fin d'étude université MOULOUD MAMERI de Tizi-Ouzou 2020/2021.
- [28] Rossi, P. Les bétons de fibres métalliques, presses de l'école nationale des Ponts et chaussées. 309 pages, ISBN2-85978-2923, 1998.
- [29] Mme MAKHLOUFI Née CHERGUI Nadia : « caractérisation en statique du comportement en traction direct du béton armé de fibres en copeaux » thèse magister, université mouloud MAMRI de Tizi-Ouzou le 30/11/2010.
- [30] SACI.R; Prise en compte de l'orientation des fibres dans une poutre continue à matrice de béton, mémoire de magistère, Université Mohamed Boudiaf M'sila, 2004.

Références bibliographie

- [31] AIT AMEUR, M.M Contribution à l'étude expérimentale des bétons renforcés de fibres d'acier locales. Mémoire de magister, U Tiaret, 1998.
- [32] Gilberto Siqueira, Julien Bras, Alain Dufresne, 2010; Cellulosic Bionano composites: A Review of Preparation, Properties and Applications; *Polymers* 2,728-765
- [33] Mr LAROUCI BELKHIR ; « CONTRIBUTION A L'ETUDE DU COMPORTEMENT MECANIQUE DE BETON DES FIBRES METALLIQUES (LES COPEAUX DE RECUPERATIONS) » mémoire fin d'étude Université Ahmed DRAIA d'ADRAR Soutenu le : 25/05/2017.
- [34] ASSOCIATION BETON QUEBEC (janvier 2005)"Guide de bonnes pratiques pour l'utilisation des fibres dans le béton " Dépôt légal Bibliothèque nationale du Québec ISBN 2-923379-00-4.
- [35] SUKONTASUKKUL P. (2004). "Toughness valuation of steel and polypropylene fibre reinforced concrete beams under bending", *Thammasat international journal of science and technology* 9, 3 (Jul.-Sep. 2004) pp. 35-41.
- [36] COTTERELL B., MAI Y.W. (1996). "Fracture Mechanics of Cementitious Materials. Blackie Academic& Professional", London/Chapman and Hall. p. 294.
- [37] Fissuration en béton avec référence particulière au béton à haute performance, Tuhami TAHENNI ; USTHB, Algerie - Magister en Génie Civil 2006.
- [38] KHENFER, M. M. « Caractérisation structurale et rhéologique des ciments et des plâtres renforcés de fibres cellulosiques» Thèse de docteur, université de Bordeaux, Juin 1990.
- [39] KRIKER. A., Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud et sec. Thèse de doctorat d'état, ENP, Alger, 2005.
- [40] LACROIX, R., FUENTES, A. et THONIER, H. *Traité de béton armé ?* Édition EYROLLES Paris, 1982.
- [41] Kilmartin, Lynch, S. Saberian, M.; Li, J. Roychand, R.; Zhang, G. Preliminary evaluation of the feasibility of using polypropylenefibres from COVID-19 single-use face masks to improve the mechanical properties of concrete. *J. Clean. Prod.* 2021, 296, 126460.
- [42] Singh, N.; Tang, Y. Ogunseitan, O.A. Environmentally Sustainable Management of Used Personal Protective Equipment.*Environ. Sci. Technol.* 2020, 54, 8500–8502.
- [43] Simões, T., Costa, H., Dias-da-Costa, D., & Júlio, E. N. B. S. (2017). Influence of fibres on the mechanical behaviour of fibre reinforced concrete matrixes. *Construction and Building Materials*, 137, 548-556.
- [44] Okamura, H, & Ouchi, M, (2003). Self compacting concrete. *Journal of advanced concrete technology*, 1(1), 5-15.

Références bibliographie

- [45] Khaloo, A., Raisi, E. M., Hosseini, P., & Tahsiri, H. (2014). Mechanical performance of self-compacting concrete reinforced with steel fibers. *Construction and building materials*, 51, 179-186.
- [46] NF P 15-431, Norme française, « Liants hydrauliques, technique des essais, détermination du temps de prise sur mortier normal », Février 1994.
- [47] NF P18-573, Norme française, « Granulats - Essai de Los Angeles », décembre 1990.
- [48] NF P 18-591, Norme française, « Granulats - Détermination de la propreté superficielle », septembre 1990.
- [49] NF P 18-572, Norme européenne et française, « Granulats - Essai d'usure micro-DEVAL », décembre 1990.
- [50] NF P 933-1, Norme française, « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 1 : détermination de la granularité - Analyse granulométrique par tamisage », mai 2012.
- [51] NF P18-540, Norme française, « Granulats - Définitions, conformité, spécifications », Octobre 1997.
- [52] NF P 18-561, Norme française, « Granulats - Mesure du coefficient d'aplatissement », septembre 1990.
- [53] NF EN 1097-6, Norme française et européenne, « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 6 : détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau », janvier 2014.
- [54] EN 12350-2, Norme européenne, « Essais pour béton frais - Partie 2 : essai d'affaissement », juin 2019.
- [55] EN 12390-5, Norme européenne, « Essais pour béton durci - Partie 5 : résistance à la flexion des éprouvettes », juin 2019.
- [56] EN 12390-4, Norme européenne, « Essais pour béton durci - Partie 4 : résistance à la compression - Caractéristiques des machines d'essai », octobre 2019.
- [57] NF P 18 598, Norme française, « Granulats - Équivalent de sable », octobre 1991.
- [58] NF P 18 301, Norme française, « Granulats. Granulats naturels pour bétons hydrauliques. », décembre 1983.
- [59] NF EN 206 1, Norme française, « Béton - Partie 1 : spécification, performances, production et conformité. », Avril 2004.

Annexe

Annexe

Annexe 1 : les matériaux utilisé dans la formulation de béton



Figure. 1 : sac de ciment CEM II/ A-M 42.5R



Figure. 2 : les fibres métalliques SIKA



Figure. 3 : les fibres polypropylène SIKA

Annexe

Annexe 2 : Les essais de caractérisation des matériaux



Figure. 4 : essai de la masse volumique absolue des fibres métallique

Nous avons obtenus une masse volumique absolue de 7.76 g/cm^3 , et donc nous avons pris la masse volumique mentionnée dans la fiche technique 7.8 g/cm^3 .

Annexe 3 : les données de la méthode de formulation DREUX GORISSE

Tableau. 1 : Les valeurs de coefficient K en fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment.

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats		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

Tableau. 2 : coefficient de compacité du béton en fonction de Dmax

consistance	serrage	compacité						
		D _{max} =5	D _{max} =	D _{max} =	D _{max} =	D _{max} =	D _{max} =	D _{max} =
molle	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	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	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
ferme	Vibration faible	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
	Vibration normale	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

Annexe 4 : les résultats des essais mécaniques

Annexe

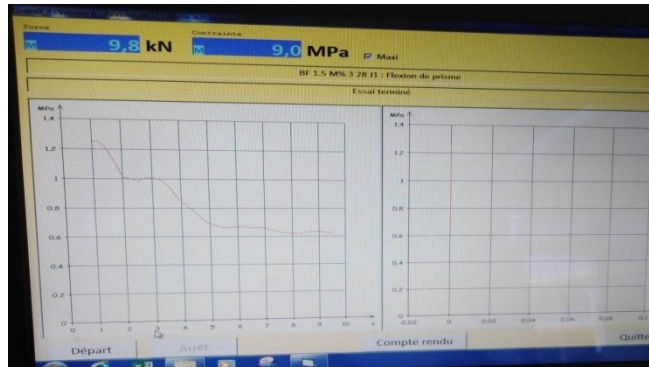


Figure. 5 : la courbe d'essai de flexion (béton de fibres métalliques 1.5%)

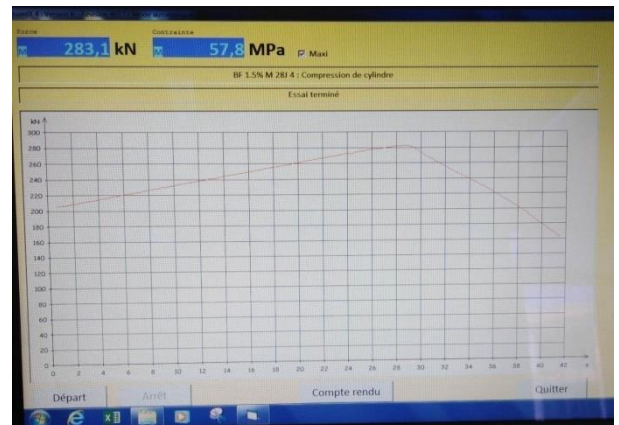
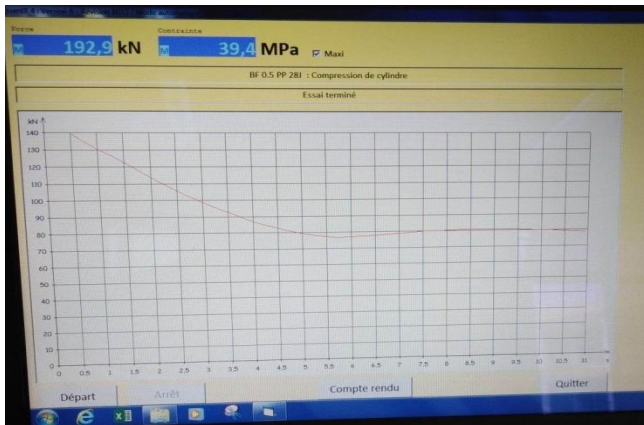


Figure. 6 : la courbe d'essai de compression (béton de fibres polypropylène 0.5% et métallique 1.5%)



Figure. 7 : la forme d'éprouvette après l'essai de flexion (béton de fibres polypropylène et métallique avec une teneur de fibres 1.5%)

Annexe



Figure. 8 : la forme d'éprouvette après l'essai de compression (béton de fibres polypropylène et métallique avec une teneur de fibres 1.5%)



Figure. 9 : la conservation des éprouvettes dans l'eau (20°C)