

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère De l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté de Génie de la Construction

Département De Génie Civil



Mémoire de Fin D'étude

En vue de L'obtention du diplôme de Master en Génie Civil

Option : STRUCTURE

Réalisé par : M^{elle} MEZIANE Lyliia

Thème

*Etude Expérimentale d'un Béton Fibré à
Ultra Haute Performances (BFUP) à base de
sable de dune*

Le Jury :

M KAHIL A.

MCA

UMMTO

Président

Mme BOUZID L.

MCB

UMMTO

Examinatrice

M KHELIL N.

MCB

UMMTO

Directeur

M OULD OUALI M.

Professeur

UMMTO

Co-Directeur

Année Universitaire : 2018/2019

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu, le clément, le tout puissant, qui m'as mis sur le bon chemin et qui m'as donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

Maintenant que ce travail est terminé, je me rends compte que je dois beaucoup à un beau monde et toutes les pages autorisées pour ce mémoire seraient insuffisante pour les remercier assez.

*Je souhaite avant tout témoigner ma reconnaissance à **Monsieur Khelil Nassim** qui m'a fait confiance en acceptant de m'encadrer sur ce sujet. Je lui suis très reconnaissante de l'opportunité qu'il m'a donnée. Ses remarques pertinentes et son esprit de synthèse m'ont permis d'avoir une autre vision sur la problématique. Je le remercie pour l'intérêt et le suivi qu'il a porté à ce mémoire. J'estime avoir énormément appris à son contact. Son dévouement et sa rigueur scientifique resteront pour moi des modèles. Je voudrais également saluer ses qualités "humaines" de directeur de thèse, son humour mais aussi sa compréhension et son soutien dans les moments difficiles. Je le remercie également pour les nombreuses heures passées à la lecture et aux corrections du manuscrit.*

*Je voudrais aussi que mon Co-encadreur **Monsieur Ould Ouali Mohend**, trouve ici mes meilleures salutations et ma reconnaissance pour son accueil chaleureux, son soutien, ses conseils et ses remarques importantes qui nous ont permis l'achèvement de ce travail.*

*Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers ceux qui m'ont fait l'honneur de juger mon travail, à savoir **Monsieur Kahil Amar** qui a accepté de rapporter sur ce mémoire et **Madame Bouzid Leyla**, qui a acceptée aussi d'examiner ce travail.*

*Mes vifs remerciements s'adressent à **Mr Akkouche.K**, **Mr Nekomouche.A** et **Mr Benchabane. T** pour leurs précieux conseils, et leurs encouragements.*

Mes plus sincères remerciements vont également aux responsables et personnels du Laboratoire Génie Civil, Université Mouloud MAMMERI de TIZI OUZOU, que j'ai côtoyé quotidiennement

*Je remercie également **Mr Maghelat** le responsable du hall technologie et industriel d'Oued-Aissi ainsi que toute son équipe pour son accueil.*

*Enfin, Je tiens à remercier chaleureusement ma famille et en particulier **mes parents** qui m'ont épaulé tout au long de mes études.*



Dédicace

À ...

*La mémoire de ma très chère grand-mère que
son âme repose en paix*

*Mes tuteures dans la vie, la source d'amour et le
symbole de compassion : ma très chère mère, qui
m'as guidé durant les moments les plus pénibles de
ce long chemin, elle a été à mes côtés et ma soutenu
durant toute ma vie, et mon père celui qui m'a
toujours encouragé.*

*Que Dieu les protèges ; je les remercie jusqu'au
l'infini pour leurs soutiens, leurs encouragements,
leurs patiences...et tout beaux mots ne me suffisent
plus de donner leurs droits. Fasse Dieu que je puisse
les honorés.*

*Mon très cher frère Nacim, qui a étai toujours
à mes côtés pour me soutenir*

*Toute ma famille sans exception et
particulièrement mon cousin Mr AKKOUCHE Karim*

*Mes amis (es) et particulièrement ceux de la
promo de Master 2 Génie Civil Celia Dad,
Mohammed Arhab , Dihia Arabi, Samia Mimouni,
Celia, Melissa, Malha , Thilleli Cherif et Sofiane.*

Enfin à tous ceux qui nous sont très chers.

Lylia



Résumé

Le sud de l'Algérie est connu pour ces immenses dunes de sable qui recouvrent une partie de son territoire (Sahara). Ce sable présente des caractéristiques qui permettent d'entrevoir une valorisation dans le domaine de la construction sous forme de Béton Fibré à Ultra Hautes Performances (BFUP). Ce type de béton est un matériau à structure micrométrique qui repose sur le principe d'un fort dosage en ciment, de fumée de silice et en adjuvant, et un très faible dosage en eau d'une part, et d'autre part par l'emploi de granulats à granulométrie sélectionnée (des granulats de faible dimension) additionnées à des fibres ; toutes ces caractéristiques lui conférant des performances très élevée.

L'objectif de cette étude est donc à la fois de valoriser le sable de dune du sud de l'Algérie abondant et en quantité quasi- inépuisable en lieu et en place du sable de rivière peu disponible sur le marché et dont l'utilisation un impact environnemental négatif du fait de sa surexploitation importante.

Dans ce travail, dans un premier temps, nous avons procédé à la recherche d'une formulation de BFUP, adéquate en terme de mise en œuvre. Puis, nous avons caractérisé les matériaux locaux à utiliser. Enfin, nous avons étudié la valorisation proprement dite du sable de dune, en confectionnant plusieurs mélanges à différents taux de remplacements. Les BFUP à base de sable de dune obtenus présentent des performances mécaniques élevées, allant jusqu'à une résistance en compression de 114 MPa à 28j, une résistance en traction par flexion de 14MPa, et une résistance au cisaillement par compression de 18 MPa. Ils présentent aussi un très bon comportement acoustique indicatif d'une matrice à faible porosité et donc susceptible de mieux résister aux attaques des agents chimiques extérieurs.

A l'issue de cette étude, nous pouvons conclure que la valorisation du sable de dune étudié est tout à fait possible dans les bétons performants, et en particulier les BUHP fibrés

Mots clés : Bétons Fibrés à Ultra Hautes Performances, structure, fibre, sable de dune, résistance mécanique, ultrasons, durabilité.



Abstract

Southern Algeria is known for its huge sand dunes covering part of its territory (Sahara). This sand has characteristics that allow to glimpse at a valorization potential in the field of construction in the form of Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPFRC). This type of concrete is a material with a micrometric structure which is based on the principle of a high dosage of cement, silica fume and admixtures, and a very low dosage of water on the one hand, and on the other hand by use of aggregates with selected particle size (small aggregates) added to fibers, all these characteristics giving it very high performances.

The objective of this study is therefore at the same to make use of the dune sand of southern Algeria abundant and in almost inexhaustible quantity instead of river sand, which is not widely available on the market and which use has a negative environmental impact due to its significant overexploitation.

In this work, initially, we proceeded to the search for a formulation of UHPFRC, adequate in terms of workability. Then, we characterized the local materials to be used. Finally, we studied valorization potential of the dune sand, making several mixtures with different rates of replacement. The dune-sand-based UHPFRC obtained have high mechanical performances, up to a compressive strength of 114 MPa at 28d, a flexural tensile strength of 14 MPa, and a compressive shear strength of 18 MPa. They also have a very good acoustic behavior indicative of a matrix with low porosity and therefore likely to better resist the attacks of external chemical agents.

At the end of this study, we can conclude that the valorization of dune sand studied is quite possible in high performance concretes, and in particular fibered BUHP.

Key words: Ultra High Performance Fiber reinforced concretes, structure, fiber, dune sand, mechanical strength, ultrasonic pulses, durability

Sommaire

Sommaire

Remerciements	i
Dédicaces	ii
Résumé	iii
Sommaire	v
Liste des figures.....	vi
Liste des tableaux	xi
Introduction générale.....	1

Partie I : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1 Introduction.....	4
I. 2. Béton Ordinaire.....	4
I.2.1 Définition	4
I.2.2. Composition du béton	7
I.2.3. Propriétés du béton	7
I.2.4. Classification du béton.....	8
I.3. Les BHP	9
I.3.1. Définition	9
I.3.2. Les caractéristiques des BHP	9
a-A l'état frais.....	9
b-A l'état durcis.....	10
I.3.3. Les avantages des bétons Hautes Performances (BHP)	10
I.3.4. Applications des BHP	11
I.4. Les BAP (Béton Autoplaçant)	12
I.4.1. Définition	12
I.4.2. Concept du béton autoplaçant.....	13

Sommaire

I.4.3. Caractérisation des BAP à l'état frais.....	14
a-Essai d'étalement [NF EN 12350-8].....	14
b-Essai à la boîte en L [NF EN 12350-10].....	15
c-Essai de stabilité au tamis	16
I.4.4. Les avantages des bétons autoplaçants	18
I.4.4.1. Avantages techniques.....	18
I.4.4.2. Avantages économiques.....	18
I.4.4.3. Avantages écologiques.....	18
I.4.5. Utilisation des BAP	18
I.5. Les bétons fibrés	19
I.5.1. Définition	19
I.5.2. Caractéristiques du béton fibré	19
I.5.3. Avantages du béton fibré	21
I.5.4. Domaines d'utilisation du béton de fibre.....	22
I.6. Les BFUP	24
I.6.1. Une présentation générale sur les BFUP	25

Chapitre II : Caractérisation et propriétés des BFUP

II.1. Introduction.....	26
II.2. Définition.....	27
II.3. Domaine d'applications	28
II.4. Quelques exemples d'applications.....	31
II.5. Principes de Formulation d'un BFUP	32
II.6. Les constituants principaux de BFUP	33
II.6.1. Ciment	33
II.6.2. Sable	34
II.6.2.1 La taille et la rugosité des granulats	35

Sommaire

II.6.3. Fumée de silice	36
II.6.3.1 Microstructure des bétons fibrés à ultra haute performance	38
II.6.4 Quartz broyé	38
II.6.5 Les fibres	39
II.6.5.1 Type de fibre	39
II.6.5.2 Caractéristiques et propriétés spécifiques des fibres.....	43
II.6.5.3 Le rôle de fibre dans le BFUP	44
II.6.5.4 Les fibres utilisées dans le BFUP	45
II.6.6. L'eau	46
II.6.6.1 Le rapport entre l'eau d'hydratation du ciment et la résistance à la compression	46
II.6.7. Adjuvants	48
II.6.7.1 Définition.....	48
II.6.7.2 Description des adjuvants seperplastifiants	49
II.6.7.3.Mécanismes d'action des adjuvants super plastifiants	49
II.6.7.4 Utilisation des superplastifiants dans les BFUP	50
II.7. Composition des BFUP	50
II.8. Domaines d'applications	54
II.9. Caractéristiques physiques des BFUP	55
II.10. Performances mécaniques des BFUP	55
II.10.1. Résistance en Compression	55
II.10.2. Résistance en traction	56
II.10.3. Résistance en flexion	57
II.10.4. Traitement thermique	57
II.11. Propriétés des BFUP	58
II.11.1. Ductilité	58
II.11.2 Porosité	58
II.11.3 Retrait- fluage	58

Sommaire

II.11.4 Résistance au feu	58
II.11.5. Résistance au choc.....	58
II.12. Durabilité des BFUP	59
II.13. Conclusion	59

Partie II : Volet Expérimental

Chapitre III : Techniques Expérimental

III.1. Introduction	61
III.2. Matériaux utilisés	62
III.2.1. Le ciment (C E M II /B –L 42 ,5N).....	62
III.2.2 Le Sable	64
III.2.2.1. Masse volumique absolue	65
III.2.2.2. Masse volumique apparente.....	65
III.2.2.3. Equivalent de sable.....	66
III.2.2.4. Analyse granulométrique par tamisage	69
III.2.3. La fumée de silice	70
III.2.3.1 Caractéristiques	70
III.2.4 Les adjuvants	70
III.2.5. Les fibres	70
III.2.6. Eau de gâchage.....	71
III.3. Formulation et conservation des éprouvettes	71
III.3.1 Formulation	71
III.3.1.1. Optimisation de la composition d'un m ³ de BFUP	72
III.3.2. Le malaxage	76
a. Procédure de malaxage	77
b. Moment d'introduction des fibres.....	77
c. Méthode d'introduction des fibres.....	78
III.3.3. Procédure expérimentale	79

Sommaire

III.3.3.1 Préparation des éprouvettes et déroulement des essais	79
III.3.3.2 Constituant du BFUP	79
III.3.3.4. Caractérisation des différentes compositions.....	82
III.3.3.4.1. Essais de caractérisation du BFUP à l'état durci	84
III.3.3.4.1.1. Résistance à la flexion	84
III.3.3.4.1.2. Résistances mécaniques à la compression	86
III.3.3.4.1.3 Cisaillement par Compression	88
III.4. Conclusion.....	88

Chapitre IV : Résultats et analyses

IV.1. Introduction	89
IV.2. Les propriétés physico-mécaniques	89
IV.2.1. Résultats des masses des bétons durcis	89
IV.2.2. Contrôle non destructif.....	91
IV.2.2.1 Résultats des essais d'auscultation sonore	91
IV.2.3. Essais à l'état durci	94
IV.2.3.1 Résultats des résistances à la compression à 28 jours	94
IV.2.3.2 Résistance à la flexion 3 Pts.....	96
IV.2.3.3. Résultats des essais de Flexion 4 Pts	97
IV.2.3.4. Cisaillement par compression	100
IV.3 Conclusion.....	102
Conclusion générale	103

Références bibliographiques

Annexes

Liste des Figures

Chapitre I :

Figure I.1: Pourcentages des constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton ordinaire	5
Figure I.2 : Composition du Béton	5
Figure I.3 : Principe de représentation du béton en deux matériaux	5
Figure I.4. Les différents constituants du béton destiné à la construction	7
Figures I.5 : Quelques exemple d'application des BHP	11
Figure I. 6 : Mise en œuvre d'un BAP	12
Figure I.7 : Application de béton autoplaçant sur des armatures	13
Figure I.8 : Constituants d'un béton Ordinaire (BO) et d'un BAP, Aspect à l'état frais	14
Figures I.9 : Essai d'étalement pour les BAP	15
Figure I.10 : Essai à la boîte en L	16
Figure I-11 : Essai de stabilité au tamis	17
Figure I. 12 : Procédure d'essai de la stabilité au tamis	20
Figure I.13 : Fissuration dans le béton sans et avec fibres	20
Figure I.14 : Comportement de charge-déformation de béton avec et sans fibres	20
Figure I.15 : Rôle des fibres dans la matrice de béton	21

Chapitre II : Caractérisation et propriétés des BFUP

Figure II.1 : Comparatif Béton classique et BFUP	27
Figure II. 2 : Optimisation de l'emploi du BFUP par l'exploitation simultanée de ses propriétés principales. Degré d'efficacité : + = bon, ++ = très bon, +++ = excellent	29
Figure II. 3 : Comparaison entre différents éléments de structure de mêmes résistances conçues avec différents matériaux	29
Figure II. 4 : Protection ou renforcement d'un béton armé par une couche de BFUP.....	30
Figure II.5 : Exemples de passerelles en BFUP	31
Figure II.6: Exemples de ponts enBFUP.....	32
Figure II. 7: Effet des ultras fines et du ciment sur la compacité du béton	33
Figure II.8 : Effet de la taille d'agrégat sur la distribution des fibres dans un carré avec une longueur égale à la longueur d'une fibre.....	35
Figure II. 9 : Poudre de fumée de silice	36
Figure II. 10 : Représentation schématique d'une fibre mélangée avec une matrice cimentaire avec et sans l'ajout de la fumée de silice	38
Figure II. 11 : Différents types de fibres polypropylènes	41
Figure.12 : Différents types des fibres métalliques.....	42

Figure II.6.13: Caractéristiques principal des fibres	43
Figure II.14: Ouvertures totales des fissures de 0.3 mm pour différents bétons, a) BO ou BHP, b) BFHP, c) BFUP	45
Figure II.15 : Relation entre le rapport e/c et la résistance à la compression	47
Figure III. 16 : Influence de la porosité sur la résistance à la compression du béton	49
Figure II. 17 : Mécanismes d'action des adjuvants superplastifiants.	50
Figure II.18 : Comportement en compression d'un BFUP avec 2,5% volumique de fibres comparativement à un béton C30/37	56
Figure. II.19: Comportement en traction d'un BFUP (avec 3% volumique de fibre)	57
Figure II.20 : Courbe contrainte-déformation d'un béton ordinaire en traction	58

Chapitre III : Technique Expérimental

Figure.III.1 : Ciment utilisé dans la confection de BFUP	63
FigureIII.2 : Lavage et séchage des granulats utilisés dans les différentes formulations du béton	64
Figure III.3 : Essai de la détermination de la masse volumique absolue du sable.	65
Figure III-4 : Essai de détermination de la masse volumique apparente du sable	66
Figure III.5: Equivalent de sable pour les deux types de sables.....	67
Figure III.6 : Processus d'analyse granulométrique.....	69
Figure III.7: La fumée de silice utilisée dans la confection de BFUP	70
Figure III.11 : Fibre Polypropylène.....	71
Figure III.8: Extrait : Avis de l'AFGC sur la mise en œuvre des BFUP	77
FigureIII.9: Evolution d'un milieu granulaire avec l'ajout d'un liquide	77
FigureIII.10 : Extrait : Recommandation concernant le moment d'introduction de fibres synthétiques.....	78
Figure III.11 : Malaxeur électrique utilisée dans la fabrication de BFUP	78
Figure.III.12: Constituants des différentes formulations du BFUP	80
Figure III.13: Les étapes de malaxage du BFUP	81

Figure III. 14 : Différents types de dispositions des transducteurs	62
Figure III.15: Appareil ultrasons	84
Figure III.16: Dispositif de l'essai mécanique de rupture par flexion (3 points)	85
Figure III.17 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (4 points)	86
Figure III.18: Dispositif de l'essai mécanique de Compression	87
Figure III.19 : Dispositif de rupture en cisaillement par compression	88

Chapitre IV : Résultats et analyses

Figure IV.1 : Histogramme des masses d'éprouvettes Prismatiques Fibrés avant/après la conservation dans l'eau	90
Figure IV.2 : Histogramme des masses d'éprouvettes Prismatiques non Fibrés (Témoin) avant/après la conservation dans l'eau	92
Figure IV.3 : Etats de l'éprouvette avant et après l'essai de compression	94
Figure IV.4: Effet de variation du Pourcentage de Sable de rivière des BFUP étudiées sur la résistance en compression à 28 jours	95
Figure IV.5 : Dispositif de l'essai ainsi que l'état de l'éprouvette avant et après l'essai de traction par flexion.	96
Figure IV.6 : : Effet de variation de Pourcentages des sables sur la résistance en traction par flexion(3pts) des BFUP avec entaille à 28 jours	97
Figure IV.7: Etat de l'éprouvette après l'essai de flexion 4 points	98
Figure IV.8 : Effet de variation du Pourcentage des Sables des BFUP étudiées sur la résistance en Flexion (4 Pts) à 28 jours.....	99
Figure IV.9 : Effet de variation du Pourcentage de Sable de Dune des BFUP étudiées sur la résistance au cisaillement à 28 jours	101

Liste des Tableaux

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Tableau I.1 : Les différentes classes de béton selon leurs résistances	5
Tableau I.2 : Classes d'étalement.....	12
Tableau I.3 : Valeurs préconisées pour les essais AFGC	15
Tableau I.4 : Domaines d'application privilégiés par type de fibres.....	20
Tableau 1.5 : Intérêt apporté par domaines d'application.....	22

Chapitre II : Caractérisation et propriétés des BFUP

Tableau II. 1 : Les différentes mises en applications des BFUP	30
Tableau II. 2 : Caractéristiques générales de la fumée de silice.....	36
Tableau II.3. Caractéristiques générales du quartz broyé.....	39
Tableau II.4: Propriétés physiques et mécaniques de certaines fibres	44
Tableau II.5: Classification des types de bétons avec leurs références normatives.....	47
Tableau II.6 : Composition du BFUP étudié par Sameer.....	51
Tableau II.7 : Formulation de la matrice de référence et du composite cimentaire fibré multi-échelle.....	52
Tableau II.8 : Composition typique du béton ordinaire, du BHP et du BFUP.....	53
Tableau II.9: Propriétés générales du béton ordinaire, du BHP, du BTHP et du BFUP.....	53
Tableau II.10 : Comparatif des indicateurs de durabilité des différents bétons.....	59

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre III : Techniques Expérimental

Tableau.III.1 : Composition chimique et minéralogique de Mâtine.....	63
Tableau III.2 : Caractéristiques physiques de sable de rivière (0/3).....	67
Tableau III.3 : Caractéristiques physiques de sable de dune (0/2).....	68
Tableau III.4 : Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par G. DREUX.....	68
Tableau III.5 : Exemple de Formulation Pour 1m ³ du BFUP.....	72
Tableau III.6 : Compositions des mortiers relatifs aux essais de résistances mécaniques.....	75
Tableau III.7 : Composition de BFUP à base de différents pourcentages et type de sable.....	75
Tableau III. 8 : La vitesse de propagation des ondes et la qualité du béton.....	83

Chapitre IV : Résultats et analyses

Tableau IV.1 : Récapitulatif des pesées des masses des éprouvettes avant et après conservation dans l'eau.....	90
Tableau IV. 2 : Vitesse longitudinale de propagation des ultrasons en BFUP (2% FPP).....	91
Tableau IV. 3 : Vitesse longitudinale de propagation des ultrasons en BFUP Témoin (0%FPP).....	92
Tableau IV.4 : Résistances moyennes à la compression des BFUP étudiés à 28j.....	95
Tableau. IV.5 : Valeurs de la résistance en traction des différentes formulations.....	97
Tableau IV.6 : Valeurs de la résistance en Flexion(4pts) des différentes formulations.....	99
Tableau IV.7 : Valeurs de la résistance au cisaillement des différentes formulations.....	10

LISTE DES TABLEAUX



Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Le matériau béton, demeure depuis sa mise au point au début de XIXème siècle, l'élément clé du domaine de la construction, et fait toujours partie intégrante de la construction au sens structural du terme. Son emploi large et intensif sur des éléments de plus en plus complexes, soulève le problème de sa qualité, de sa performance et de sa durabilité. L'intérêt du béton réside dans : sa grande facilité de mise en œuvre, la diversité de forme qu'il permet d'obtenir, son isolation phonique, sa résistance, sa durabilité et son faible prix de revient. Tous ces éléments non exhaustifs ont contribué à accroître son utilisation sur tous les ouvrages et offre à ce matériau la première place dans la construction au niveau mondial.

Ce matériau moderne, composite et hétérogène résulte d'un mélange intime de : ciment, granulats, d'eau, et présente des propriétés mécaniques qui peuvent être très supérieures à celles des roches naturelles. Le sable est un matériau indispensable pour la fabrication du béton. Il constitue environ 30% à 40% de toute la masse du béton. Son utilisation permet d'assurer une continuité granulaire nécessaire, entre le ciment et le gravier pour une meilleure cohésion du béton. La demande sans cesse croissante sur les granulats a provoqué un épuisement rapide des sablières, et une exploitation anarchique des sables de mer causant ainsi un grave préjudice à l'équilibre de l'environnement à proximité des plages avec des répercussions directes sur les ressources naturelles (épuisement), l'érosion des berges d'oued et l'avancée de mer sur terres. Les pratiques de l'industrie du béton sont conditionnées par les ressources locales et sont relativement routinières.

Le béton n'a cessé d'évoluer au fil du temps. Il s'est sophistiqué à mesure que progressaient les connaissances. Des particules toujours plus fines dont le sable, et des additions minérales de plus en plus performantes lui ont été ajoutés dans le but de réduire sa porosité. Des adjuvants sont aussi massivement utilisés afin de lui conférer des propriétés physiques particulières notamment afin de réduire sa teneur en eau, reconnu de fait comme facteur d'amélioration de durabilité et de performances mécaniques.

Plus récemment, l'ajout de fibres au béton est venu propulser ses qualités à un nouveau sommet, permettant de mettre au point des bétons de haute performances

Introduction générale

mécaniques, durables et relativement faciles à mettre en œuvre sur chantier ou dans les éléments préfabriqués. En effet, ces bétons dénommés « Bétons Fibrés Ultra Performants (BFUP) » représentent actuellement la famille de matériaux à matrice cimentaire aux propriétés mécaniques et de durabilité les plus intéressantes techniquement.

Les BFUP, de part nature constitués exclusivement de sables en phase granulaire, sable devant de plus être de diamètre très fin (ne dépassant pas le millimètre), une problématique ressources suffisantes en sable se présente. Effectivement, en Algérie, la plupart des bétons courants sont actuellement fabriqués avec des sables siliceux alluvionnaires. Face à une demande en forte croissance, les ressources potentielles en alluvions, bien qu'importantes (rivières), sont épuisables et les gisements sont soumis à des contraintes environnementales de plus en plus rigides faisant croître leur coût d'exploitation déjà élevé. Un autre type de sable, disponible en quantité localement et ne présentant pas de problématiques environnementales notables existe, il s'agit du sable de dune, qui malgré son abondance, reste assez méconnu dans le bâtiment. Sa quantité se chiffre en milliards de m³, est disponible dans près de 60% du territoire et certaines de ses caractéristiques physico-chimiques laissent penser qu'il pourrait être adopté en tant que matériau de construction.

En partant de ces bases, l'objectif de ce travail a résidé la mise au point d'un BFUP, en utilisant ce sable de dune disponible en quantité soit en phase granulaire unique, ou bien en mélange avec du sable de rivière en différentes proportions, l'objectif étant la détermination de l'influence de ce sable de dune sur les propriétés physiques et mécaniques à l'état frais et durcies des bétons fibrés ultra haute performance. Le comportement mécanique des BFUP étant aussi régi par la présence de fibres et leur quantité dans le béton, une analyse de leur influence a aussi été menée.

En résumé, ce mémoire se divise en deux parties, la première partie répartie sur deux chapitres représente la synthèse bibliographique menée en amont du travail en laboratoire. La seconde partie est une présentation du travail expérimental mené en laboratoire (deux derniers chapitres).

Introduction générale

Ainsi, ce manuscrit présente :

Un premier chapitre : présente une recherche bibliographique sur les différents types de nouveaux bétons, leurs formulations, propriétés, avantages et domaines d'application.

Un deuxième chapitre : traite une synthèse bibliographique des bétons fibrés à ultra hautes performances, le principe de formulation, les constituants et le domaine d'application, ainsi l'étude de différentes propriétés des BFUP et leurs caractérisations à l'état frais et durci.

Un troisième chapitre : aborde les techniques expérimentales utilisées : la caractérisation des matériaux utilisés, la formulation des bétons et la présentation des essais réalisés.

Un quatrième chapitre : consacré aux résultats expérimentaux avec la discussion des résultats.

Enfin, ce mémoire se clôture sur une conclusion générale, des recommandations et des perspectives



Chapitre I
Synthèse Bibliographique

1 Introduction

Le béton est un matériau de construction qui se trouve dans divers domaines du génie civil, il est le matériau le plus utilisé dans le monde grâce à sa simplicité de fabrication et de sa mise en œuvre, ses avantages technico-économiques et ses performances ont fait de lui un matériau fiable et robuste.

Plusieurs recherches et travaux ont été développés pour aboutir à ces performances qui ont débouché sur la mise au point des nouveaux types de bétons.

Ces dernières décennies, de nombreux travaux scientifiques ont montré les effets néfastes, pour la résistance et la durabilité, des excès de l'eau de gâchage. Dans la perspective d'améliorer les propriétés mécaniques des bétons, il était donc nécessaire d'explorer les voies visant à réduire ce dosage en eau (mise au point des plastifiants et fluidifiants vers les années 1970). En parallèle, d'autres recherches ont été orientées vers l'obtention d'un mélange de très haute compacité, lors de la formulation du béton (optimisation de l'étendu granulaire à une échelle microscopique par l'ajout d'additions extrafines).

Ces deux voies de recherche ont abouti à des résultats très intéressantes, et à la découverte des nouveaux bétons qui ont des performances très élevées et surtout en termes de la résistance et de la durabilité.

Dans ce chapitre nous proposons une synthèse bibliographique sur les différents types de bétons, du béton ordinaire aux bétons performants ainsi que leurs principales caractéristiques.

I. 2. Béton Ordinaire

I.2.1 Définition

Le béton est un matériau de construction composite résultant du mélange judicieusement dosé d'un squelette granulaire (granulats : sable +graviers) et d'une matrice pâteuse durcissable composée de ciment, d'eau et, éventuellement complété par des adjuvants et des additions. [1] Il durcit progressivement pour former finalement un monolithe. Selon sa formulation, sa mise en œuvre et ses traitements de surface, ses performances et son aspect peuvent considérablement varier. [2][3]

La figure (I.1) montre le constituant d'un Béton ordinaire.

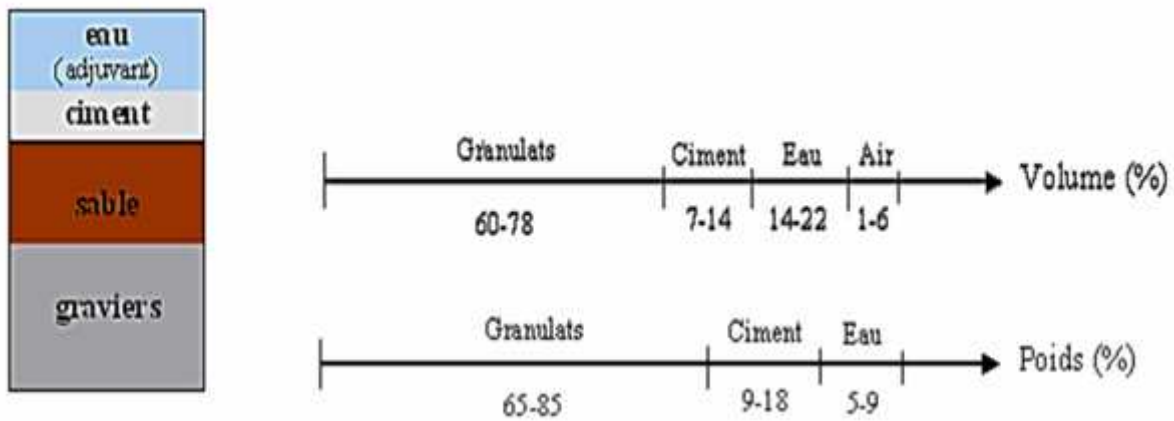


Figure I.1: Pourcentages des constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton ordinaire [1]

On distingue habituellement :

-) Le mélange entre le ciment et l'eau forme :
Une pâte qui durcit.
-) La pâte de ciment hydraté et le sable constituent : **le mortier.**

Celui-ci a pour rôle de se lier avec les gros granulats pour former un agglomérat solide. Les adjuvants et les additions servent à améliorer certaines caractéristiques du béton frais ou durci.

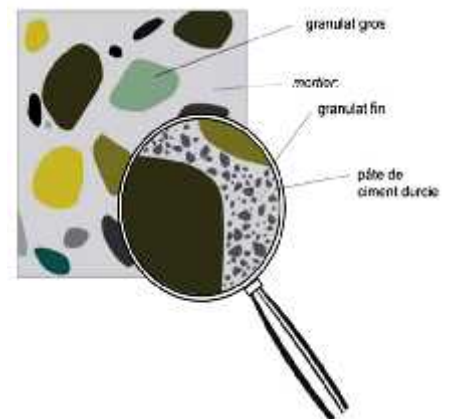


Figure I.2 : Composition du Béton [1]

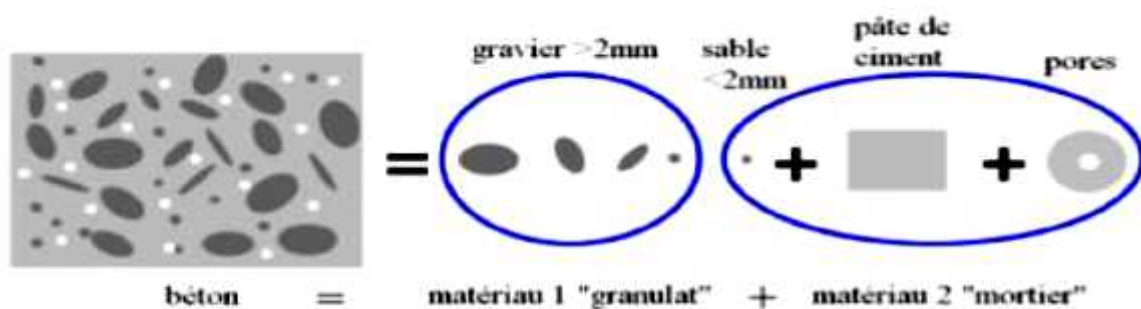


Figure I.3 : Principe de représentation du béton en deux matériaux [4] [5]

Les composants sont très différents : leurs masses volumiques vont dans les bétons courants, de 1 (eau) à 3 (ciment) t/m³ ; les dimensions de leurs grains s'échelonnent de 0.5 μm (grains les plus fins du ciment) à 25 mm (gravillons). Mais cette liste s'allonge très vite dès que des propriétés particulières sont visées, on utilise alors des fines complémentaires ou additions minérales.

La confection d'un béton approprié à sa destination consiste, à déterminer et à optimiser la composition granulaire et le dosage des divers constituants.

La formulation doit répondre aux caractéristiques attendues.

On peut influencer sur les propriétés des bétons courants en travaillant leur formulation : le dosage en ciment et en eau, la taille des granulats ainsi le type d'adjuvant ...une fois déterminées les caractéristiques attendues, la méthode des abaques de Dreux permettra, une fois posé des postulats simples, de déterminer la composition du béton. [5]

La formulation de ce dernier se fait en général d'après la méthode de (Dreux Gorisse) basée sur l'analyse granulométrique des différentes fractions de granulats. [6]

Dans les bétons les plus simples, le squelette granulaire est composé de deux coupures seulement, un sable et un gravier. Le ciment et l'eau de gâchage, dont les proportions relatives en masse sont fixées par le rapport E/C, vont former, avec les adjuvants éventuels, la pâte de ciment qui constituera le liant du béton. Ce rapport E/C joue un rôle primordial durant les étapes de vie du béton, l'eau en excès le rend plus fluide à l'état frais mais diminue les résistances du béton durci. Des additions minérales (cendres volantes, fumées de silice, laitiers, fillers, ... etc.) peuvent être rajoutées dans le but de modifier les propriétés du béton.

L'utilisation de ces éléments fins est toujours combinée à l'emploi de super-plastifiants pouvant réduire ainsi la quantité d'eau nécessaire à l'atteinte d'une fluidité suffisante. Le béton est donc un matériau hétérogène dont les constituants présentent des caractéristiques physico-chimiques et mécaniques différentes et dans lequel chacun de ces composants joue un rôle bien précis dans le mélange.

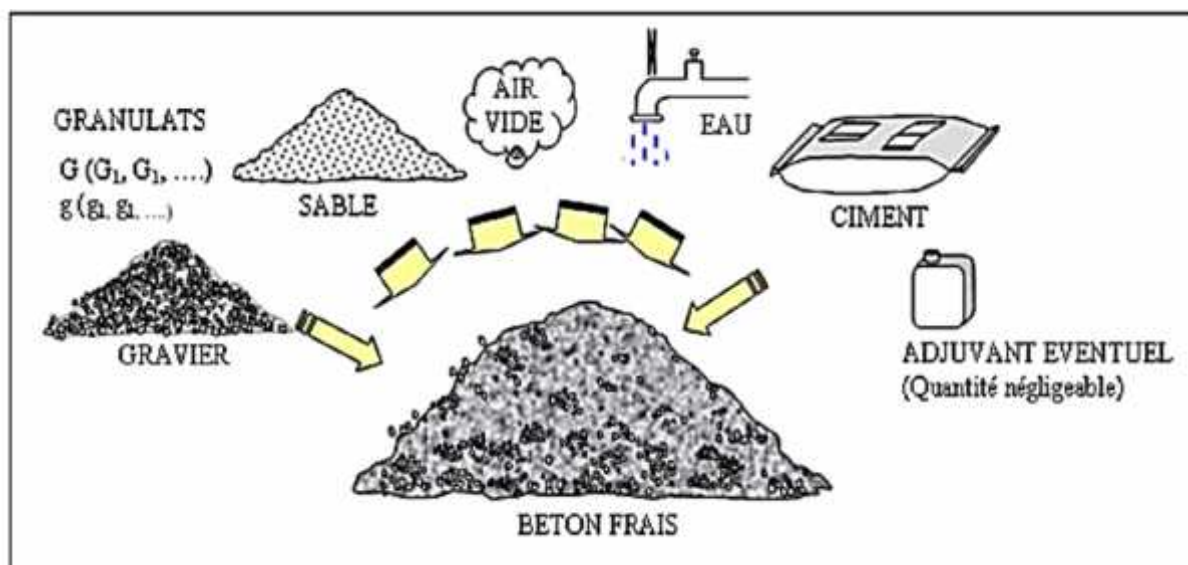


Figure I.4. Les différents constituants du béton destiné à la construction [7]

I.2.2. Composition du béton [8]

L'étude d'une composition de béton consiste, toujours, à rechercher conjointement deux qualités essentielles qui sont la résistance et l'ouvrabilité. Or ces deux qualités sont étroitement liées. En effet elles varient en sens inverse.

I.2.3. Propriétés du béton [9]

-)] **Moulable** : c'est-à-dire qu'on peut lui faire prendre facilement des formes géométriques assez simples, la grande variété des formes qu'il peut épouser découle de fluidité et sa **Maniabilité**.
-)] **Durcit** : avec le temps le béton doit devenir un matériau dur, rigide et relativement indéformable c'est-à-dire **mécaniquement résistant**.
-)] **Compacité** : La résistance à la compression d'un béton contenant suffisamment de liant croît avec sa compacité.

Maniabilité et résistance mécanique sont deux objectifs contraires :

- Eau en excès bonne maniabilité, mauvaise résistance.
- Granulat roulé bonne maniabilité, mauvaise résistance.
- Granulats concassés mauvaise maniabilité, bonne résistance.

Pour réaliser un béton qui réponde aux deux critères, il faut optimiser tous les facteurs

I.2.4. Classification du béton

Le béton utilisé dans le bâtiment, ainsi que dans les travaux publics comprend plusieurs catégories.

En général le béton peut être classé en trois groupes (norme NF EN 206-1 articles 3.1.7 à 3.1.9), selon sa masse volumique : [10]

Béton léger : entre 800 et 2 000 [kg/m³]

Béton normal : entre 2 000 et 2 600 [kg/m³]

Béton lourd : > 2600 [kg/m³]

Le béton peut aussi être classé selon sa résistance mécanique, comme indiqué dans le tableau suivant :

Tableau I.1 : Les différentes classes de béton selon leurs résistances [3] [10]

Classes de béton	Résistances
Béton Ordinaire	Inférieure à 50 [MPa]
Béton à Haute Performance	Entre 50 et 80 [MPa]
Béton à très haut Performance	Entre 80 et 150 [MPa]
Béton Exceptionnel	Supérieure à 150 [MPa]

Il peut également être classé en fonction de la nature des liants : [10]

Béton de ciment

Béton de chaux

Béton de gypse (gypse)

Béton asphalté

Béton résineux (résine)

Les domaines d'application du béton s'élargissent sans cesse et requièrent des matériaux plus performants et mieux adaptés. La recherche et l'expérience acquise ont permis de déboucher sur une nouvelle génération de bétons permettant de construire plus durable, plus vite et pourtant plus économique. Parmi ces bétons, on peut citer :

I.3. Les BHP

I.3.1. Définition

Hautes performances signifient facilité de mise en œuvre et souplesse d'adaptation aux contraintes d'exécution des ouvrages.

Le béton haute performance (BHP) est un béton exceptionnel tant en termes de résistance mécanique que de durabilité. Il est caractérisé par une très forte

Résistance à la compression puisque celle-ci est supérieure à 50 MPa à 28 jours, et des propriétés exceptionnelles à l'état frais, à court ou à long terme.

Les BHP ont une porosité extrêmement réduite, plus résistants aux agents agressifs et de façon générale, présentent une durabilité améliorée et une résistance accrue. [11] [12]

L'utilisation des Bétons à Hautes Performance « BHP » est actuellement en plein développement dans le domaine du génie civil, notamment dans la construction des ouvrages d'art. Ils peuvent supporter des charges supérieures ou permettre des constructions plus élancées. Ils peuvent également présenter des formes plus complexes et permettent de réaliser de plus grandes portées. [13]

I.3.2. Les caractéristiques des BHP [13]

a- A l'état frais

) Maniabilité

L'effet lubrifiant des super-plastifiant permet aux particules solides de glisser les unes sur les autres. Le matériau frais se déforme facilement, même sous un effort modéré. Par exemple, dans l'essai au cône d'Abrams, le béton s'étale et présente des affaissements généralement supérieurs à 20 cm.

) Fluage et fluidité

Le fluage est particulièrement inférieur à celui d'un béton courant. Le coefficient de fluage, identique au rapport de la déformation différée sur la déformation instantanée est compris entre 1 et 1.5 pour les BHP tandis qu'il est de 2 pour les bétons.

-En règle générale, un BHP a une fluidité très élevée à l'état frais. Cette caractéristique facilite la mise en œuvre du béton, même dans les zones à densité d'armature élevée.

b- A l'état durcis**Les propriétés physiques :***) La masse volumique*

Généralement la masse volumique d'un BHP est légèrement supérieure à celle d'un Béton Ordinaire. Ceci est dû à la meilleure compacité des BHP.

- Masse Volumique apparente = 2400 à 2500 pour les BHP
- Masse Volumique apparente = 2350 à 2400 pour BO

) Durabilité

La porosité et la perméabilité faible de ces bétons améliorent la durabilité et la résistance aux agressions chimiques comme peuvent l'être les bétons marins ou en milieu agressif. Il en est de même pour la résistance au gel. La résistance aux agents agressifs (ions chlore, sulfates, eau de mer, acides...), le faible risque de corrosion des armatures, la forte résistance au cycle gel-dégel ainsi qu'à l'écaillage sont autant de propriétés qui qualifient ce béton comme étant « Durable » [12] [13] [14]

) Résistance à la compression

Les bétons sont classés selon leur résistance à la compression à 28 jours. Les bétons haute performances ont une grande résistance à la compression.

-Résistance accrue au jeune âge, ce qui permet de réduire le temps de coffrage et d'accélérer la mise en précontrainte. Des délais d'exécution raccourcis sont donc envisageables.

-Une résistance finale accrue après durcissement, ce qui permet de réduire les sections du béton et, donc, la diminution du poids de la construction. [12] [14]

I.3.3. Les avantages des bétons Hautes Performances (BHP) [12] [13]

Les BHP présentent des avantages en comparaison au béton traditionnel :

En terme de résistance

Résistance élevée à la compression, ce qui permet de réduire les quantités de béton nécessaires

Résistance élevée à l'état frais, ce qui permet d'augmenter la vitesse des travaux

En terme de durabilité

La durabilité de ce matériau permet son utilisation dans des environnements hostiles (résistance aux agressions extérieures)

La durabilité permet de limiter l'entretien et les frais de maintenance

I.3.4. Applications des BHP

Les grandes résistances à court termes permettent un décoffrage rapide mais aussi des mises en précontraintes rapides. Ainsi les BHP sont-ils utilisés pour les ouvrages précontraints qu'ils soient préfabriqués ou coulés en place.

Ces propriétés élevées au jeune âge amènent à préconiser l'utilisation de ce BHP pour les ouvrages soumis à de fortes sollicitations (bâtiments de grandes hauteur, ponts, réservoirs, centrales nucléaires, etc.)

La résistance en milieu agressif conduit à les préconiser pour les travaux en milieu marin ou agressif.

Enfin lorsque le béton doit être pompé sur une grande hauteur, le BHP est recommandé du fait de son ouvrabilité. [12]



Figures I.5 : Quelques exemple d'application des BHP [12]

I.4. Les BAP (Béton Autoplaçant)

I.4.1. Définition

Le béton autoplaçant (BAP) se distingue des bétons ordinaires principalement par son hyper fluidité, et par ses propriétés à l'état frais, qui sont le résultat d'une formulation spécifique. [15]

Le BAP a la capacité de se mettre en place par lui-même là où il est appliqué sans avoir recours à un système de vibration pour l'homogénéiser grâce aux différents constituants qui le composent. [16] Voir la figure ci- dessous :



Figure I. 6 : Mise en œuvre d'un BAP [12]

Cette formulation spécifique doit pouvoir concilier deux propriétés à priori contradictoires : une très grande fluidité et une bonne résistance à la ségrégation. L'association française de génie civil définit dans ses recommandations les BAP comme des bétons (très fluides, homogènes).

La mise en place, sous le seul effet de la gravité, nécessite une grande fluidité du matériau, mais il est aussi indispensable que le béton conserve une parfaite homogénéité. Ces deux propriétés sont obtenues notamment par l'ajout et le dosage adéquat de super plastifiants et de fines et/ou l'emploi d'agents de viscosité. [17]

Un BAP doit être assez fluide pour pouvoir être mis en place avec un débit suffisant et remplir les coffrages sans apport de vibration sous l'effet de son propre poids tout en restant homogène.

Cependant, lors de l'écoulement d'un béton fluide au droit d'un obstacle (par exemple, une armature de ferrailage), les gravillons ont tendance à venir en contact pour former des voûtes

solides qui bloquent l'écoulement. C'est ce que l'on appelle le risque de blocage. Ainsi, le béton doit présenter une bonne résistance à la ségrégation en phase d'écoulement y compris au droit des armatures. Un béton auto plaçant doit aussi avoir une bonne résistance à la ségrégation statique (une fois mis en place) jusqu'à sa prise et rester homogène afin de satisfaire aux propriétés mécaniques souhaitées. Ainsi la difficulté du cahier des charges d'un BAP est la recherche d'un compromis satisfaisant entre une grande fluidité et une bonne résistance à la ségrégation aussi bien au repos qu'en écoulement. [18]



Figure I.7 : Application de béton autoplaçant sur des armatures [19]

I.4.2. Concept du béton autoplaçant

Les bétons autoplaçants (BAP) se distinguent donc des bétons dits ordinaires (BO), ou bétons vibré, par leurs propriétés à l'état frais [18] [20]. Ils sont capables de s'écouler sous leur propre poids, quel que soit le confinement du milieu, et restent homogènes au cours de l'écoulement (absence de ségrégation dynamique) et une fois en place (absence de ségrégation statique).

Pour parvenir à respecter cahier des charges, les BAP sont formulés différemment des BO. Dans leur cas, la pâte, définie comme le mélange du ciment, de l'eau et d'une addition, est privilégiée au détriment des gravillons (**figure I-8**). En général, les BAP possèdent un même dosage en ciment et en eau que les BO, ainsi qu'un volume de sable assez proche. C'est donc principalement l'ajout d'une addition qui sert de substitut aux gravillons. Les proportions exactes de chaque constituant dépendent bien sûr de la méthode de formulation choisie. [15] [22]

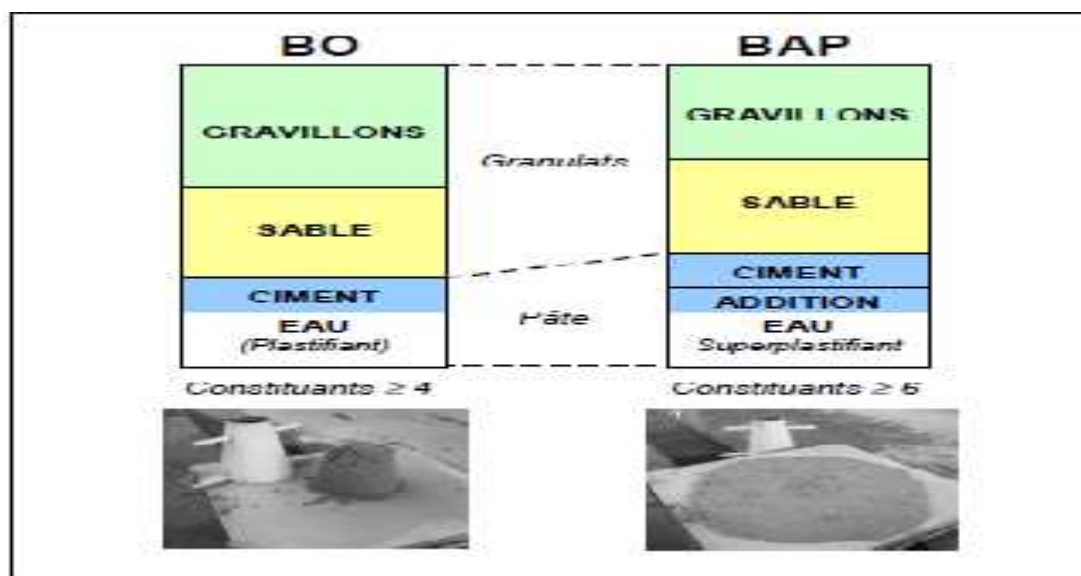


Figure I.8 : Constituents d'un béton Ordinaire (BO) et d'un BAP, Aspect à l'état frais [15] [21] [22]

I.4.3. Caractérisation des BAP à l'état frais

En France, trois essais de caractérisation ont été préconisés en l'an 2000 par l'Association Française de Génie Civil [AFGC][17]. D'abord provisoires, ces recommandations sont devenues sur site les essais de référence pour valider une formule de BAP.

a- Essai d'étalement [NF EN 12350-8]

Pour la détermination de l'étalement, on utilise cône d'Abrams, normalement utilisé pour l'essai d'affaissement. Ce cône est placé sur une plaque d'étalement, à surface propre et humidifiée et de dimension suffisante (800 par 800 mm), puis est rempli de BAP. Le cône est ensuite soulevé et le BAP en sort en formant une galette qui s'élargit sous sa propre masse. La valeur de l'étalement correspond au diamètre moyen de la galette de béton ainsi obtenue.



Figures I.9 : Essai d'étalement pour les BAP [14] [15]

La norme NF EN 206-9 prévoit une répartition des BAP en trois classes (**Tableau I-1**).

Tableau I-2 : classes d'étalement [15]

Classe	Etalement en mm
SF1	550 à 650
SF2	660 à 750
SF3	760 à 850

b- Essai à la boîte en L [NF EN 12350-10]

La boîte en L permet de tester la mobilité du béton en milieu confiné et de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage inacceptables. [23]

La partie verticale de la boîte est entièrement remplie de béton (le volume nécessaire est d'environ 13 litres). Après arasement, on laisse le béton reposer pendant une minute. Puis on lève la trappe et on laisse le béton s'écouler dans la partie horizontale de la boîte à travers le ferrailage. La distance libre entre les barres est de 39 mm

Quand le béton ne s'écoule plus, on mesure les hauteurs H_1 et H_2 et on exprime le résultat en terme de taux de remplissage H_2/H_1 .

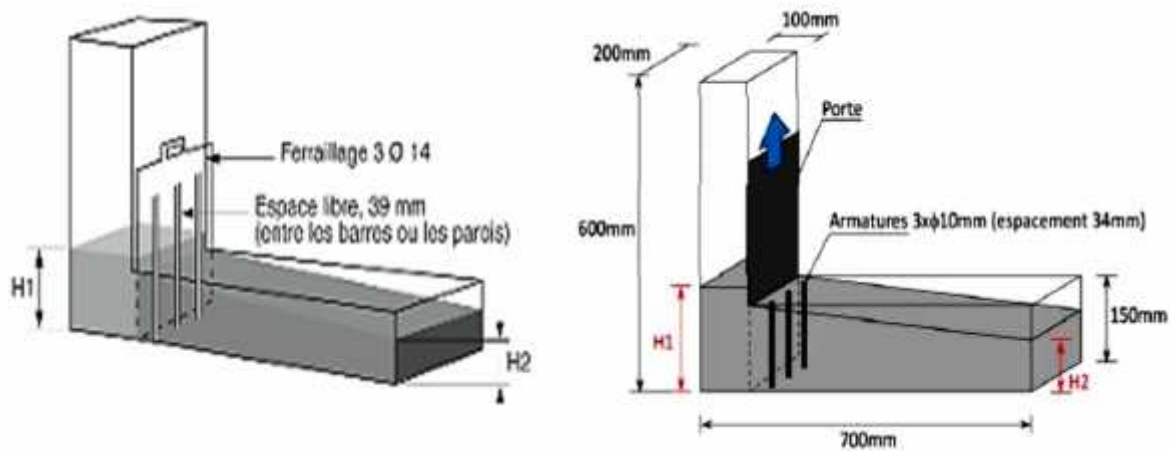


Figure I.10 : Essai à la boîte en L [15] [24]

c- Essai de stabilité au tamis

Appelé aussi essai de caractérisation de la ségrégation des bétons autoplaçants, il vise à qualifier les bétons autoplaçants vis-à-vis du risque de ségrégation.

Il peut être utilisé en phase d'étude de formulation d'un béton autoplaçant en laboratoire, ou pour le contrôle à la réception de la stabilité du béton livré sur chantier. [15] [25]

Cet essai complète les essais permettant d'apprécier la mobilité, en milieu confiné ou non, en caractérisant la stabilité. Il consiste à évaluer le pourcentage en masse de laitance (Pâte de ciment) d'un échantillon de béton ($4,8 \pm 0,2$ kg) passant à travers un tamis de 5 mm [15]

Le principe de l'essai :

A la fin du malaxage, dix litres de bétons sont versés dans le seau.

Après quinze minutes, un échantillon de 4.8 Kg est versé du seau sur le tamis, deux minutes plus tard, on pèse la quantité de pte(laitance) ayant traversé le tamis. Le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon donne l'indice de ségrégation (T) la mesure de cet indice conduit à classer les formules de BAP de la façon suivante : [20]

- $0\% < T < 15\%$ —————> Stabilité Satisfaisante, (Bon béton)
- $15\% < T < 30\%$ —————> Stabilités critique, (l'essai à refaire in situ)
- $T > 30\%$ —————> Stabilité très mauvaise, (béton inutilisable)



Figure I-11 : Essai de stabilité au tamis [15]



Figure I. 12 : Procédure d'essai de la stabilité au tamis [12]

L'AFGC a proposé en plus un essai de mesure du ressuage, qui semble avoir été abandonné aujourd'hui, car peu pertinent (le ressuage est faible chez les BAP) et très contraignant (utilisation d'un liquide nocif). Le tableau 1.1 donne les valeurs préconisées pour l'obtention d'un BAP.

Tableau I.3 : Valeurs préconisées pour les essais AFGC [26] [28]

Etalement	De 60 cm à 75 cm
H2/H1	0.8
Laitance	15 %

I.4.4. Les avantages des bétons autoplaçants [23] [24] [25]

Les BAP présentent de nombreux avantages, on cite :

I.4.4.1. Avantages techniques

- Facilité et rapidité la mise en œuvre du béton.
- Réalisation d'éléments de forme complexe.
- Bétonnage en milieux fortement ferrillés.

I.4.4.2. Avantages économiques

- Réduction du cout de main d'œuvre et du temps de bétonnage
- Absence de systèmes de vibration réduisant ainsi les couts et les nuisances sonores dans et au voisinage du chantier.

I.4.4.3. Avantages écologiques

- Valorisation des déchets de construction (récupération de ces déchets au niveau des chantiers, industries, carrières, stations de concassage).
- Diminution de la quantité de CO₂ émise par l'industrie cimentaire (due à la réduction de la quantité de ciment nécessaire au BAP) et valorisation des sous-produits industriels (additions minérales).

I.4.5. Utilisation des BAP [29]

Le BAP est majoritairement retrouvé dans les constructions au sol. Il est employé dans de nombreuses applications :

Dalles

Radiers

Planchers chauffant

Poteaux, poutres, voiles

Fondations superficielles

I.5. Les bétons fibrés

I.5.1. Définition

Le béton fibré est un matériau dans lequel sont intégrées des fibres synthétiques ou métalliques de dimensions diverses et réparties de manière homogène dans la masse du béton. Il existe différents types de fibres, ayant des impacts variables sur le béton. Elles ont par exemple pour fonction d'améliorer certaines caractéristiques du béton telles que la résistance en flexion ou la limitation de la fissuration. [19] [30]

Dosées de 0,5 à 2% par m³ de béton, ces fibres possèdent des caractéristiques intrinsèques : composition, dimension et forme. [30] [17]

I.5.2. Caractéristiques du béton fibré

Avant tout, il faut savoir qu'on appelle « fibre » un matériau d'une longueur allant de 5 à 60 mm. Il existe plusieurs natures de fibres : métalliques, organiques et minérales. En fonction de leur nature, ces fibres ont des caractéristiques différentes et ne réagissent pas de la même façon. De ce fait, leur impact sur le béton peut varier.

Le principal avantage que présente le béton fibré métalliquement par rapport au béton ordinaire est le remplacement total ou partiel de ferraille dans la composition. Le premier but de l'utilisation de ces fibres est donc de remplacer les armatures traditionnelles, ce qui facilite la mise en place du béton. Pas de découpe ni de manipulation de ferraille à prévoir. De plus, elles ont aussi la capacité d'offrir au béton certaines propriétés telles qu'une résistance au feu augmentée ou une diminution des risques de fissuration. Les fibres organiques, quant à elles, améliorent le comportement du béton au jeune âge. Le treillis anti-fissuration devient inutile, le béton est plus homogène et les retraits de dessiccation pendant la phase de prise sont limités.

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

- Le contrôle de la propagation des fissures dans un matériau en service, en réduisant l'ouverture des fissures (Couture des fissures), comme indiqué dans la figure I.13. [31]

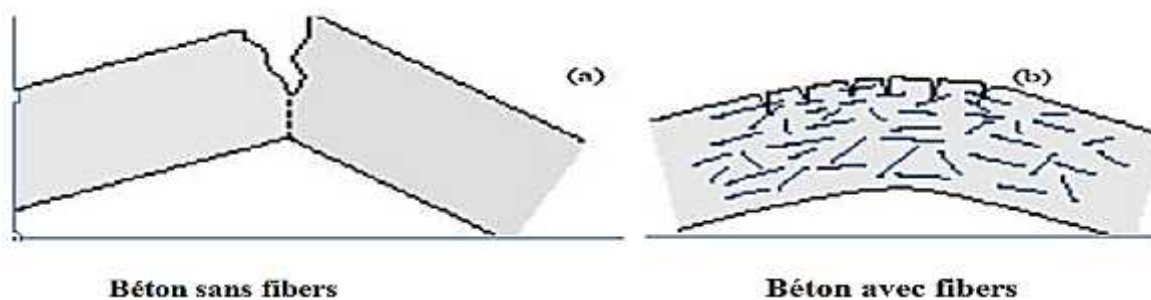


Figure I.13 : Fissuration dans le béton sans et avec fibres [30].

- La transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes voir figure I.14 [31].

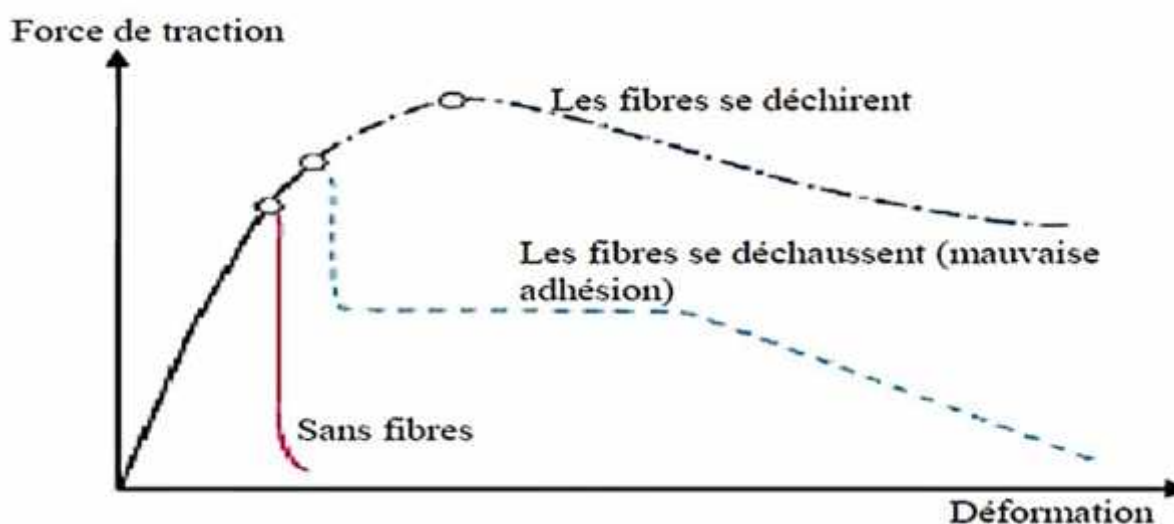


Figure I.14 : Comportement de charge-déformation de béton avec et sans fibres [30] [32].

Les fibres sont intégrées dans le béton afin de l'améliorer. Mais il est bon de savoir que ces fibres lui confèrent également d'autres caractéristiques qu'on ne retrouve pas chez les autres bétons.

Parmi ces caractéristiques on peut citer : [33]

- Résistance à la flexion et ductilité

Les fibres améliorent la ductilité du béton. Autrement dit, elles permettent au béton fibré de se déformer sans se rompre.

- Résistance à la fatigue

Les fibres rendent également le béton plus résistant sur le long terme en limitant la fissuration du matériau sous l'effet de charge cylindriques de fatigue.

- Résistance à l'abrasion

L'abrasion est un phénomène d'usure provoqué par des frottements répétés, pouvant provoquer la fissuration du matériau. Le fait d'incorporer des fibres au béton permet donc d'améliorer la résistance à l'abrasion et par conséquent de limiter la fissuration.

Les différentes propriétés de ces fibres rendent possible la construction d'ouvrages confrontés à des contraintes plus élevées.

Note :

L'utilisation de fibres augmente comme mentionné précédemment, la ductilité du béton, c'est-à-dire le béton fibré continue à se déformer après atteinte de sa résistance maximale. Cette propriété est fonction de la nature, de la quantité et de l'efficacité des fibres utilisées.

Il est important de se rappeler que la distribution uniforme des fibres dans le mélange est la condition essentielle pour obtenir une amélioration des caractéristiques mécaniques du béton fibré.

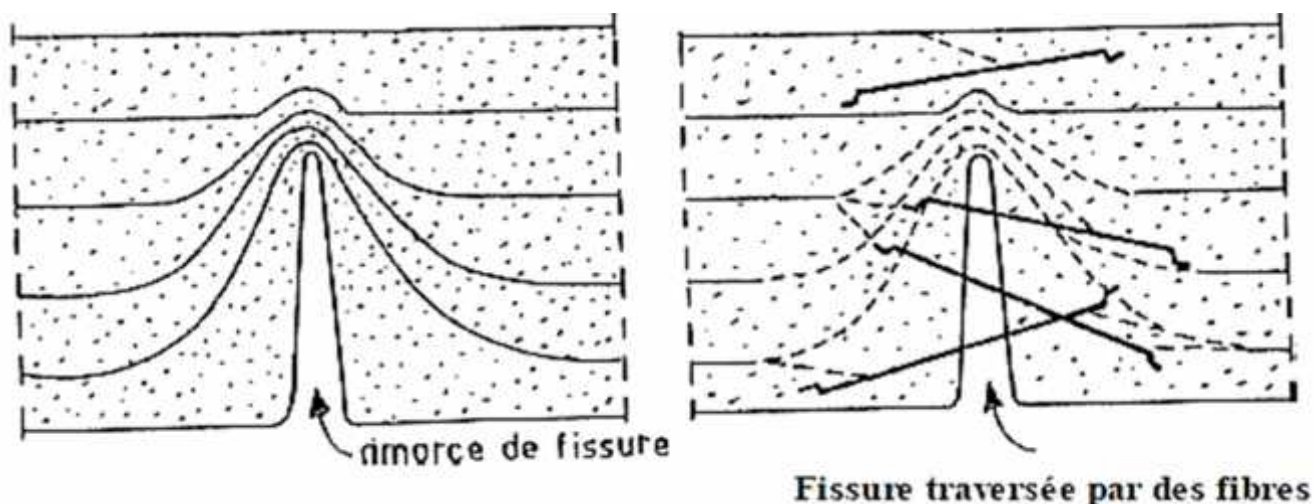


Figure 1.15 : Rôle des fibres dans la matrice de béton [34].

I.5.3. Avantages du béton fibré [30]

Les avantages de l'utilisation des fibres dans le béton sont aussi bien technique qu'économiques.

Aspect technique

L'utilisation d'un béton fibré est avantageuse principalement au niveau du contrôle de la fissuration ainsi que du support de charge, tout dépendamment du type de fibres et du dosage utilisé.

Les principaux avantages techniques sont

- un renforcement tridimensionnel uniformément distribué à travers le béton
- une augmentation de la ténacité grâce au comportement en post fissuration
- (Résistance résiduelle)
- une énergie d'absorption élevée
- une résistance aux impacts élevée
- une résistance à la fatigue élevée
- une augmentation de la résistance en cisaillement.

Aspect économique

Les principaux avantages économiques des bétons fibrés sont :

- une réduction des intervenants sur le chantier, ce qui implique une réduction
- du coût de mise en place et du temps de construction
- une optimisation du dimensionnement

I.5.4. Domaines d'utilisation du béton de fibre

La recherche et le développement ont permis d'appliquer le concept de renforcement structural à différents types d'ouvrages en béton par ce béton fibré. En effet, de par leurs propriétés, les fibres trouvent un vaste domaine d'applications où il faut réduire les risques de fissuration, augmenter la résistance aux impacts et tirer parti de l'amélioration de la performance du béton pour optimiser le dimensionnement des ouvrages. Le béton fibré est utilisable dans tous les domaines du génie civil, aussi bien dans les constructions industrielles, commerciales et institutionnelles, que résidentielles.

Ci-dessous, des exemples d'application du béton fibré selon le type des fibres

Tableau I.4 : Domaines d'application privilégiés par type de fibres [30] [35]

<i>Domaines d'application privilégiés par type de fibres</i>			
<i>Type de fibres</i>	<i>Dosage courant</i>	<i>Domaine d'application privilégié</i>	<i>Exemples d'application</i>
<i>Fibres métalliques</i>	0,5 à 2 % en volume 40 à 160 kg/m ³	Renfort pour bétons structurels et armature structurelle	<ul style="list-style-type: none"> - Dallages, sols industriels, planchers, dalles de compression - Éléments préfabriqués – voussoirs de tunnels, poutres, conteneurs, tuyaux - Bétons projetés en travaux souterrains, stabilisation de pente et ouvrages d'assainissement - Pieux de fondation, semelles filantes
<i>Fibres polypropylène</i>	0,5 à 2 % en volume 0,5 à 2 kg/m ³	Limitation de la fissuration liée au retrait Amélioration de la tenue au feu des bétons	<ul style="list-style-type: none"> - Dallage - Voussoirs de tunnels - Revêtement d'ouvrages souterrains - Mortiers projetés - Parements esthétiques
<i>Fibres de verre</i>	1 à 2 %	Réalisation d'éléments préfabriqués très minces	<ul style="list-style-type: none"> - Parements architectoniques - Panneaux de façade - Éléments décoratifs

Depuis que le concept de béton de fibres a été conçu, de nombreux travaux de recherche ont montré que l'ajout de fibres d'acier dans une matrice de béton permet au composite (béton-fibres) d'augmenter ses caractéristiques mécaniques comme la résistance à la compression ou la résistance à la flexion.

Mais ce type de béton n'est pas considéré comme un substitut aux bétons traditionnels, mais comme un matériau d'un nouveau type, qui devient intéressant dans l'optique de la conception d'une structure performante. [36]

Le Tableau I.5 ci-dessous, illustre quelques applications de bétons renforcés de fibres et leurs intérêts.

Tableau 1.5 : Intérêt apporté par domaines d'application [36].

APPLICATIONS	INTERET APORTE PAR L'ADJONCTION DES FIBRES DANS LE BETON
Canalisation et coque minces faiblement sollicitées.	- Amélioration de la tenue des pièces aux jeunes âges. - Modification des variations dimensionnelles, lutte contre les fissurations.
Dallage, chaussées en béton, dallages manufacturés, et tous éléments structurés et tous éléments structuraux soumis à la flexion.	- diminution de 40% de l'ouverture de fissures, - augmentation de la rigidité après fissuration, - augmentation de la résistance au cisaillement, - augmentation de la résistance à l'usure.
Eléments structuraux soumis à la compression (poteaux, pieux, fondations... etc.).	- amélioration de la charge ultime, - pas de rupture catastrophique.
Structures soumises à des sollicitations pulsionnelles exp: piste d'aéroport.	- l'énergie absorbée est plus importante, - la durée de choc est augmentée, - la loi de comportement du matériau est fortement modifiée.
Réparation des revêtements routiers, tablier de ponts.	- amélioration de la résistance aux chocs, - amélioration de la déformation.
Parties exposées aux fortes variations de température et même aux hautes températures.	- remplacement avec succès du revêtement réfractaire, - diminution le coût de réparation des éléments réfractaires
Stabilisation des parois rocheuse, les talus, les tunnels, les galeries souterrains.	- évite le travail de fixation du grillage ordinairement employé, - diminution du coût de réparation de stabilisation des parois rocheuses et les talus.
Fabrication des pieux, revêtement ignifuges isolants (construction navale). Panneaux de revêtement de façade... etc.	- augmentation de la résistance aux chocs, - augmentation de la résistance à l'usure, - augmentation de la durabilité de revêtement.

I.6. Les BFUP

La mission de l'ingénierie des structures consiste à développer des méthodes et des technologies pour vérifier et améliorer les structures existantes afin d'étendre leur durée d'utilisation, souvent en répondant à des charges utiles plus élevées. S'il est justifié de répondre à une demande d'utilisation par une nouvelle construction, celle-ci devrait – dans le but de respecter les principes d'un développement durable – se distinguer par une haute performance exprimée par un ratio entre la charge utile et le poids propre de la construction le plus élevé possible et par une durabilité ne nécessitant pas d'intervention imprévue (p.ex. pour remédier à

des dégâts de corrosion). Ainsi, l'utilisation de ressources est minimisée et l'économie est maximisée. Ces objectifs peuvent être atteints par des constructions en BFUP. [37]

I.6.1. Une présentation générale sur les BFUP

Les progrès en matière de matériaux de construction fait en permanence évoluer l'ingénierie des structures.

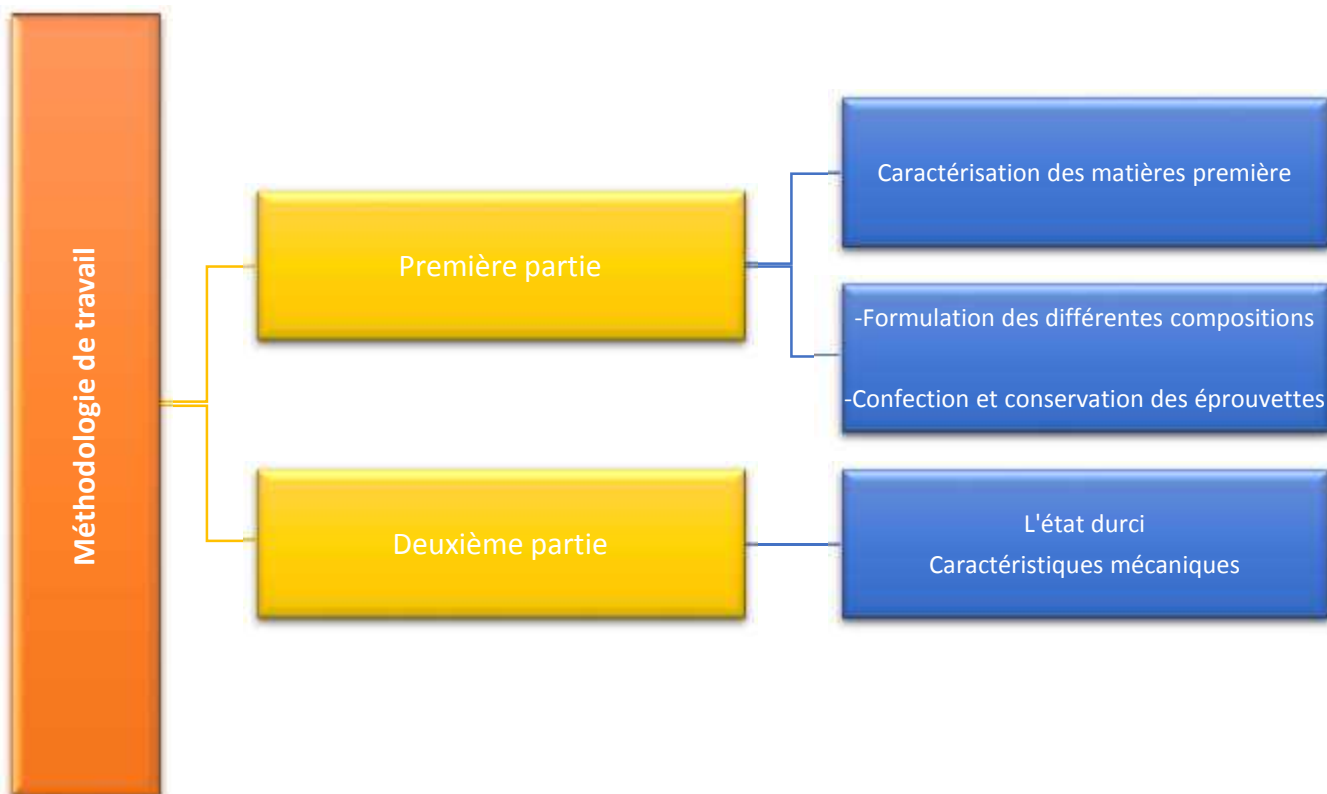
Au cours des 20 dernières années, le développement de matériaux composites à base de ciment pourvus de fibres a permis d'établir une gamme de matériaux, actuellement appelés « bétons fibrés ultra-performants (BFUP) ».

Les BFUP sont toujours définis dans un premier temps par le niveau de résistance mécanique atteint, généralement supérieur à 150 MPa à la compression à 28 jours. Même si des essais en laboratoire avancent un potentiel bien plus élevé encore, les applications industrielles les plus nombreuses sont réalisées avec des BFUP de résistance standard. Les produits fabriqués aujourd'hui peuvent être des poteaux, des poutres, des dalles, des poutrelles, des panneaux de façades, des éléments de couverture, des passerelles, des corniches, des éléments pour l'assainissement, du mobilier urbain, du mobilier d'intérieur, des éléments pour les machines-outils, etc. Outre la résistance à la compression, les BFUP se distinguent des bétons traditionnels par bien d'autres propriétés telles que leur résistance à la flexion, aux chocs, à l'abrasion, aux agressions chimiques, au gel, plus généralement leur ductilité, leur tenue dans le temps, ainsi que leurs caractéristiques esthétiques. Les BFUP disposent de formulations élaborées où la sélection des matières premières est essentielle pour l'atteinte des performances souhaitées. Le coût élevé du matériau provient du dosage important en fibres, en ultrafines, en liant et en adjuvants. Les fibres sont introduites pour augmenter la ductilité du matériau, et accroître la résistance. Les ultrafines permettent de réduire la porosité et d'accroître la résistance à la compression et la durabilité. Les adjuvants permettent d'obtenir une rhéologie adéquate pour la mise en œuvre tout en ayant un rapport Eau/Liant (E/L) très faible et peuvent participer à l'accélération du durcissement. Le surcoût lié aux matières premières peut être compensé par la diminution des dimensions et du poids des éléments en BFUP, par des gains de temps sur le chantier résultant d'un assemblage et d'un montage plus rapide de l'ouvrage ainsi que par une diminution des coûts de transport des matériaux et des matériels. L'allègement de l'ouvrage qui en découle permet de réduire la dimension des fondations et des autres éléments porteurs.

Enfin, des économies sont réalisées sur le long terme grâce à l'excellente durabilité des BFUP. [38]



Chapitre III :
Techniques Expérimental



Plan de travail

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons les caractéristiques des matériaux utilisés au cours du travail pratique effectué au niveau de laboratoire, de Génie Civil [UMMTO] pour la confection d'un béton fibré ultra haute performance, à base de fibres Synthétiques « Polypropylène ». Il sera aussi présenté, le travail de sélection des constituants ainsi que leur utilisation, dans le but d'obtenir les meilleurs résultats en matière de résistance. Il sera étudié par ailleurs, l'effet du mélange et de variation des pourcentages de sable sur les caractéristiques de BFUP.

L'objectif général de cette étude est d'évaluer le comportement mécanique des diverses formulations Fibrées et non fibrées. Ainsi, les objectifs de l'étude sont :

- Évaluer le comportement mécanique (Résistance) des différentes formulations de BFUP
- Évaluer l'influence de la variation de l'un des paramètres constitutifs du béton (Variation de la nature et de quantité de sable) sur le comportement et la performance des éprouvettes fibrée avec des fibres polypropylènes.
- Faire une étude comparative du comportement mécanique de compression des différentes formulations

Dans ce chapitre deux parties successives seront présentées :

Première Partie : Elaboration des corps d'épreuve

Dans ce chapitre deux parties, seront aussi définies, les caractérisations physiques, chimiques et mécaniques des constituants de notre BFUP à savoir :

- Le ciment (C E M II /B –L 42 ,5N).
- Le sable :
 - Le sable de Rivière (0/3).
 - Le sable de Dune de Touggourt (0/2).
- La fumée de silice (MEDAPLAST HP).
- Les fibres Synthétique (Polypropylène).

- Le super plastifiant (SIKA VISCOCRETE TEMPO 12).
- L'eau de gâchage.

A partir de ces constituants, seront formulés 5 compositions de BFUP

Deuxième Partie :

Dans cette partie, seront aussi définies, les caractéristiques mécaniques à l'état durci de BFUP

Partie I : Elaboration des corps d'épreuve :

Dans cette partie, nous allons procéder à l'élaboration de notre BFUP en caractérisant chaque matériau utilisé dans les différentes compositions.

La formulation des BFUP n'est pas basée sur une méthode de formulation connue comme celles des bétons ordinaires, elle est basée sur l'expérimentation et le respect du principe de la formulation citée dans le chapitre II de la partie théorique.

La mise au point de cette formulation du BFUP consiste à déterminer la quantité de chaque ingrédient de manière à répondre aux trois principes essentiels qui sont :

1. La diminution de la porosité avec l'incorporation des ultrafines
2. Optimisation du squelette granulaire
3. Un faible rapport E/C

III.2. Matériaux utilisés :

Dans notre étude, nous avons utilisé des matériaux naturels locaux, ciment, Fumée de silice, sable, Plastifiant, eau et des fibres synthétiques polypropylènes.

III 2.1. Le ciment (C E M II /B –L 42 ,5N) :

Le ciment utilisé dans le cadre de ce travail est désigné sous le nom de MATINE. Ce dernier est un ciment portland composé, de classe 42.5 et de sous classe B provenant de la cimenterie LAFRAGE d'Alger. Il contient donc environ un tiers d'additions minérales autres

que le clinker. (Fig.III.1). Ce ciment a été entreposé a laboratoire à température ambiante et recouverts d'un sac en plastique pour éviter toute préhydratation éventuelle.



Figure.III.1 : Ciment utilisé dans la confection de BFUP

III.2.1.1. Composition chimique et minéralogique du Ciment : [5]

Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO₂) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al₂O₃) et le fer (Fe₂O₃).

La composition chimique et minéralogique caractéristique d'un CEM II/B-L42 ,5N est résumée à titre illustratif dans le Tableau.III.1 suivant :

Tableau.III.1 : Composition chimique et minéralogique de Mâtine

(Voir la Fiche technique de MATINE en ANNEXE 1) [77]

Analyse chimique						
Désignation	Perte au feu %	Résidus insolubles %	Teneur en sulfates SO ₃ %	Teneur en oxyde de magnésium MgO %	Teneur en chlorures %	Teneur équivalent en alcalis %
%	7.50 – 12	0.7 – 2	2 – 2.7	1 – 2.2	0.01 – 0.05	0.3 – 0.75
Composition hypothétique du clinker						
Désignation	C ₃ S %	C ₂ S %	C ₃ A %	C ₄ AF %		
%	58 – 64	12 – 18	6 – 8	10 – 12		

III.2.2 Le Sable :

Conformément aux normes NF EN 12620 [AFNOR NF EN 12620, 2003] et NF XP P18-545 [AFNOR XP P18-545, 2004], le sable est défini comme étant un granulat naturel 0/D avec D (diamètre du plus gros granulat) limité à 4 mm. Il peut s'agir soit d'un sable naturel alluvionnaire (ou de ballastière), soit d'un sable de carrière issu du concassage d'une roche massive ou détritique. Il est le constituant du squelette granulaire qui a le plus d'impact sur le mortier. Il joue un rôle primordial en réduisant les variations volumiques, le dégagement de chaleur et le prix de revient (coût) des bétons. Il doit être propre et ne pas contenir d'éléments chimiques nocifs.

Nous avons utilisé dans cette étude deux types de sable de diamètre max de 1mm. Un sable local de Rivière (SR) ou Sable d'OUED provenant de OUED-AISSI, roulé de classe 0/3, et un sable fin siliceux de Dune (SD) de la région de Touggourt de classe 0/2. Avant utilisation, ces sables ont été lavés afin de réduire les impuretés puis séchés à l'étuve à température 105 °C pendant 24heurs puis tamisé avec des tamis de maille de 1mm au maximum.



Figure III.2 : Lavage et séchage des granulats utilisés dans les différentes formulations du béton

Une série d'analyses a été menée afin de déterminer les propriétés physiques et granulométriques des sables.

III.2.2.1. Masse volumique absolue : selon la Norme [NFP 18-301]

Cet essai est défini comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains.



Figure III.3 : Essai de la détermination de la masse volumique absolue du sable.

La masse volumique absolue se détermine par la formule suivante :

$$\rho_s = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

Avec :

- ρ_s : Masse volumique absolue
- M**: Masse des grains solides
- V₁** : Volume de l'eau ;
- V₂** : Volume total (grains solide + eau).

Nota : Plus de détails sur les essais de caractérisation (Mode Opérateur- Principe.....) Voir l'annexe (2)

III.2.2.2. Masse volumique apparente : Selon la Norme [NFP 18-554]

La masse volumique apparente est définie comme étant la masse de l'unité de volume apparente du corps, c'est-à-dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient



Figure III-4 : Essai de détermination de la masse volumique apparente du sable

On détermine la masse volumique apparente par la formule suivante :

$$\rho_d = \frac{\text{Masse des granulats secs}}{\text{Volume du récipient}} = \frac{M1 - M0}{V}$$

Avec :

V : Volume du récipient

M0 : Masse du récipient propre et vide

M1 : Masse du récipient rempli

Nota : Plus de détails sur l'essai de caractérisation (Mode Opérateur- Principe.....) Voir l'annexe (2)

III.2.2.3. Equivalent de sable : Selon la Norme [NFP 18-598]

Cet essai permet de mesurer la propreté du sable. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

La valeur de l'équivalent de sable (ES) est le rapport multiple par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée sur la hauteur totale du flocculat.



Figure III.5: Equivalent de sable pour les deux types de sables

La formule qui nous permis la détermination de l'équivalent de sable est :

$$E_s = \frac{h_1}{h_2} 100\%$$

Avec :

-) Hauteur h_1 : sable propre +élément fins,
-) Hauteur h_2 : sable propre seulement.

Nota : Plus de détails sur l'essai de caractérisation (Mode Opérateur- Principe.....) Voir l'annexe (2)

Les caractéristiques physiques des sables à l'issue des tests sont représentées dans les tableaux suivants :

❖ **Sable de rivière (0 /3) :**

Tableau III.2 : Caractéristiques physiques de sable de rivière (0/3)

Caractéristique	Résultats	Unité
Masse Volumique apparente	1.61	[gr/cm3]
Masse Volumique absolue	2.55	[gr/cm3]
	72.41	[%]
Equivalent de Sable(NF EN 933-8)		

❖ **Sable de Dune (Touggourt (0/2)) :****Tableau III.3 :** Caractéristiques physiques de sable de dune (0/2)

Caractéristique	Résultats	Unité
Masse Volumique apparente	1.56	[gr/cm ³]
Masse Volumique absolue	2.50	[gr/cm ³]
Equivalent de Sable(NF EN 933-8)	91.22	[%]

Interprétation :

La masse volumique absolue théorique varie dans l'intervalle de [2.5 -2.65] (gr /cm³)

→ Notre cas, pour les deux sables (2.50 gr/cm³- 2 .65 gr/ cm³) fait partis de l'intervalle théorique des masses volumiques absolue des sables.

En se référant aux valeurs données par Dreux pour l'équivalent de Sable :

Tableau III.4 : Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par G. DREUX [82]

ES au piston	Nature et qualité du sable
ES<60%	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité ou vérification plus précise de la nature des fines par un essai au bleu de Méthylène.
60%≤ES<70%	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.
70%≤ES<80%	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité
70%≤ES<80%	Sable très propre. L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

Nous pouvons classier :

-) **Sable de rivière** : dont $70 \leq ES < 80$ \longrightarrow **En Sable Propre** à faible Pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité
-) **Sable de dune** : dont $ES \geq 80$ \longrightarrow de **Sable très Propre** avec une absence presque totale de fines argileuses risquant d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau ou en utilisant un super plastifiant en importante quantité.

Remarques :

- ✓ Dans cette étude nous avons utilisé des sables lavés pour réduire les impuretés puis séchés à l'étuve à température $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant 24heures.
- ✓ Après l'essai de l'équivalent de sable, nous avons constaté qu'il s'agissait bien des sables propres donc ils conviennent très bien pour la composition de notre BFUP.

III.2.2.4. Analyse granulométrique par tamisage NF EN933-1 :

La granulométrie s'exprime par un graphique dans lequel la courbe granulométrique indique les pourcentages en masse passant par les tamis successifs dont les mailles sont de plus en plus petits (voir la figure ci-dessous).

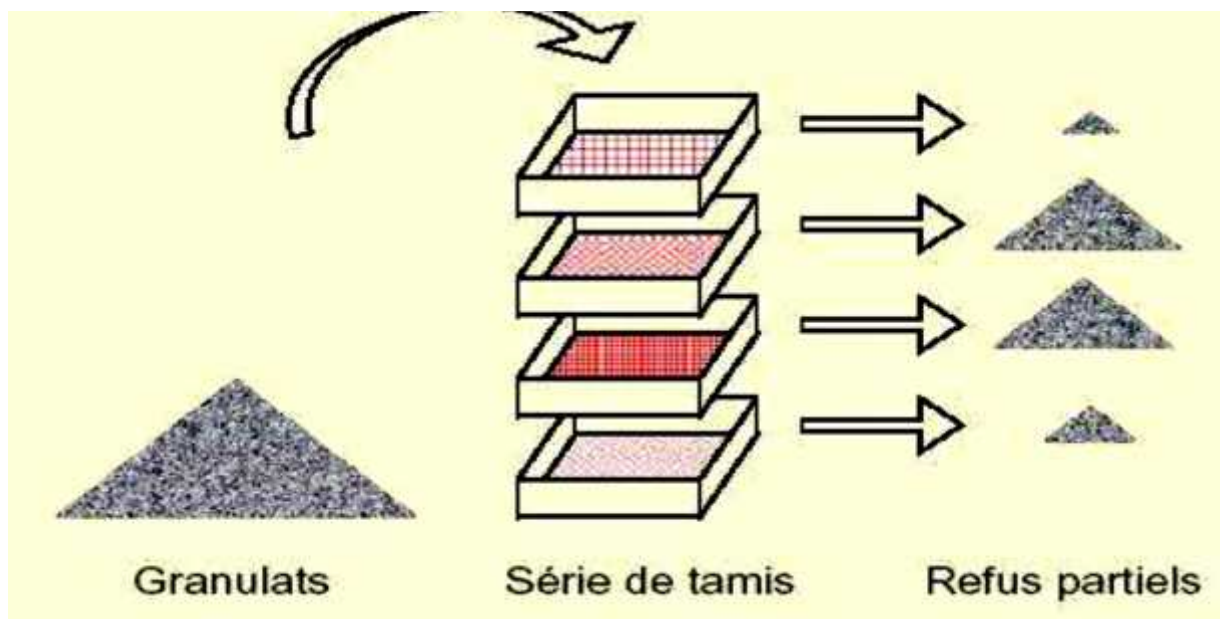


Figure III.6 : Processus d'analyse granulométrique

III.2.3. La fumée de silice : (Conforme à la Norme NFP 18-502)

La fumée de silice utilisée est une silice ultra fine issue de l'industrie de la fabrication du silicium ou des alliages à base de silicium

Pour les essais de laboratoire nous avons utilisé la fumée de silice fabriquée et commercialisée par la société GRANITEX sise à Oued-Smar.



Figure III.7: La fumée de silice utilisée dans la confection de BFUP

III.2.3.1. Caractéristiques :

La fumée de silice se présente sous forme de poudre grise, conditionnée dans des sacs de 2 Kg ou 25 Kg mais disponible également en Bigbag. Son stockage doit se faire dans un local à l'abri du gel et de la chaleur. Dans son emballage d'origine intact, le produit se conserve 3 ans, cependant en cas d'ouverture, un soin particulier doit être pris, notamment afin d'éviter le contact de la fumée de silice avec l'air et qui risquerait de faire agglomérer les particules et réduire leur finesse.

III.2.4 Les adjuvants :(conforme à la norme EN 934-2)

L'adjuvant utilisé pour la confection des BFUP, a consisté en un plastifiant hautement réducteur d'eau réducteur d'eau pour haute résistance mécanique non chloré et prêt à l'emploi, à base de polycarboxylates modifiés, qui se présente sous la forme d'un liquide marron, fabriqué par la société suisse SIKA.

III.2.5. Les fibres :

Les fibres utilisées sont des fibres de polypropylène commercialisées par la société algérienne « SDC Algérie ». Elles ont une longueur de 18mm, de densité égale 0.91g/cm^3 , un point de fusion d'environ 160° , et un module de Young (TS/E) de 3000-3500 [MPa]. (Plus de détails voir la fiche technique sur l'annexe 6)



Figure III.8 : Fibre Polypropylène

III.2.6 L'eau de gâchage :

Lors du gâchage de nos BFUP, nous avons utilisé l'eau de robinet, qui est une eau potable du réseau de la ville de Tizi Ouzou. Aucune analyse chimique n'a été réalisée là-dessus puisqu'elle est propre à la consommation.

III.3 Formulation et conservation des éprouvettes :

III.3.1 Formulation :

La méthode de formulation des BFUP est plus délicate par rapport aux autres types des bétons, plusieurs méthodes existent pour la formulation du béton à savoir DREUX –GORISSE, JAPONAISE et FAURY ... etc mais qui ne sont pas adaptable aux BFUP.

Il existe des formulations recommandées par des entreprises et des associations, à savoir LA FARGE et l'AFGC, dans cette partie, nous allons présenter les calculs des compositions de BFUP, qu'on a adopté.

Le tableau suivant représente de formulation pour 1 m³ de BFUP :

Composant	Ciment (Kg)	Quartz broyé (Kg)	Fumée de silice (Kg)	L'eau (L)	Plastifiant (Kg)	Fibre d'acier (Kg)	Sable (Kg)
M ₀	710	215	203	140	10	160	1020

Tableau III.5: Formulation Pour 1m³ du BFUP

III.3.1.1. Optimisation de la composition d'un m³ de BFUP :

) On a calculé le volume :

D'une éprouvette : $V_1 = 4 \times 4 \times 16 = 256 \text{ [cm}^3\text{]}$

De trois éprouvettes : $V = V_1 \times 3 = 768 \text{ [cm}^3\text{]}$

Les résultats suivants sont calculés par rapport au volume des éprouvettes :

Ciment :

$C = 710 \text{ [kg/m}^3\text{]} \longrightarrow 1 \text{ [m}^3\text{]}$

$X \longrightarrow 256 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$

$X = 0.18176 \text{ [Kg]} = 181.76 \text{ [g]}$

On fixe le dosage de ciment pour une éprouvette = 181.76 g/cm³

- **Sable :**

$$S=1020[\text{kg}/\text{m}^3] \longrightarrow 1 [\text{m}^3]$$

$$Y \longrightarrow 256 \times 10^6 [\text{m}^3]$$

$$Y = 0.26112 [\text{Kg}] = 261.12[\text{g}]$$

- **Quartz broyé**

$$Q_b=215 [\text{kg}/\text{m}^3] \longrightarrow 1 [\text{m}^3]$$

$$X \longrightarrow 256 \times 10^6 [\text{m}^3]$$

$$Q = 0.05504 [\text{Kg}] = 55.04[\text{g}]$$

- **Fumée de Silice :**

$$FS = 203[\text{kg}/\text{m}^3] \longrightarrow 1 [\text{m}^3]$$

$$Z \longrightarrow 256 \times 10^6 [\text{m}^3]$$

$$Z = 0.051968[\text{Kg}] = 51.968[\text{g}]$$

- **L'eau :**

) On fixe le rapport : $E/C=0.25$

$$E/181.76 = 0.25 \longrightarrow E = 0.25 \times 181.76 = 45.44$$

$$E = 45.44$$

Plastifiant :

Selon la fiche technique et après détermination dosage permettant l'agglomération des composants lors du malaxage qui est de l'ordre 4 % de la masse du ciment, le dosage du Plastifiant utilisée a été de 4% Ciment

L'extrait sec du Plastifiant es de 30% et la quantité d'eau est de 70%.

La quantité d'eau contenant dans le Plastifiant est donc de :

$$0,70 \times 7.27 = 5.089 \text{ [g]}$$

De ce fait, la quantité d'eau qu'il faut ajoutée est : $45.44 - 5.089 = 40.351 \text{ [g]}$

$$P = 4\% \text{ Ciment} = 4\% \times 181.76 = 7.2704 \text{ [g]}$$


$$P = 7.27 \text{ [g]}$$

Fibre Polypropylène :

Concernant les quantités des fibres nous avons utilisé 2% de fibres calculé par rapport au volume du béton pour toutes les variantes.

$$FPP = 2\% \text{ Ciment} = 2\% \times 181.76 = 3.6352 \text{ [g]}$$


$$FPP = 3.635 \text{ [g]}$$

Le tableau III.6 suivant mentionne les quantités correspondantes des constituants entrant dans la confection de BFUP de toutes les variantes pour un moule de $(40 \times 40 \times 160) \times 3$

Tableau III.6: Compositions des mortiers relatifs aux essais de résistances mécaniques

Nombre d'éprouvette	Ciment	Fumée de silice	Plastifiant 4% C	Fibre PP 2% C	L'eau	Quartz broyé
Une (01) éprouvette	181.76	51.97	7.27	3.64	45.44	55.04
Trois (03) éprouvettes	545.28	155.91	21.81	10.92	136.32	165.12

▪ **Sable :**

Deux types de sables ont été utilisés durant le travail expérimental, dans des proportions différentes, afin de tester l'apport de la nature et la quantité sur les performances mécaniques. Le tableau III.7 présente les différentes proportions et natures de sables utilisés

Tableau III.7 : Composition de BFUP à base de différents pourcentages et type de sable

% des sables	Quantité de sable pour une (01) éprouvette	Quantité de sable pour trois (03) éprouvettes
100% SR	261.12	783.36
00% SD	000.00	000.00
95% SR	248.06	744.18
05% SD	13.06	39.18
90% SR	235.00	705.00
10% SD	26.11	78.33
85% SR	221.95	665.85

15% SD	39.17	117.51
80% SR	208.89	626.67
20% SD	52.22	156.66

Avec :SR : Sable de Rivière et SD : Sable de Dune

Nomenclature :

Pour simplifier les écritures on a choisi une désignation de chaque formulation de BFUP comme suit :

- **Sans fibre : Témoin**

C1 : Composition 01 : BFUP avec 100% sable de de rivière

C2 : Composition 02 : BFUP avec 95% sable de rivière et 05% sable de dune.

C 3 : Composition 03 : BFUP avec 90% sable de rivière et 10% sable de dune

C4 : Composition 04 : BFUP avec 85% sable de rivière et 15% sable de dune

C5 : Composition 05 : BFUP avec 80% sable de rivière et 20% sable de dune

- **Avec 1% de Fibre Polypropylène :**

C1F : Composition 01+2%FPP

C2F : Composition 02+2%FPP

C 3 F : Composition 03+ 2%FPP

C4 F : Composition 04 +2%FPP

C5F : Composition 05 +2%FPP

III.3.2. Le malaxage :

Les organismes spécialisés ne donnent pas non plus de consignes précises : l'AFGC (Association Française de Génie Civil) reconnaît dans un rapport de 2002 que la mise en œuvre de BFUP n'est pas encore bien maîtrisée (Extrait).

Maîtrise de la mise en œuvre : les connaissances rationnelles manquent clairement à l'heure actuelle pour comprendre et optimiser le processus de malaxage de ces matériaux, le transport et l'écoulement des BFUP à l'état frais et l'incidence du coulage en termes de répartition et orientation des fibres, l'effet d'une éventuelle vibration en fonction de la rhéologie de la matrice, etc.

Figure III.8 : Extrait : Avis de l'AFGC sur la mise en œuvre des BFUP

a. Procédure de malaxage :

L'évolution du matériau avec le malaxage est très importante, le malaxage consiste en un mélange des différents constituants des bétons dans le but d'obtenir un matériau homogène. Il permet de passer, grâce à l'ajout d'eau et d'éventuels adjuvants, d'un ensemble granulaire sec à un fluide. Cette transition n'est pas immédiate et une étape intermédiaire « **phase pendulaire** », apparaît.

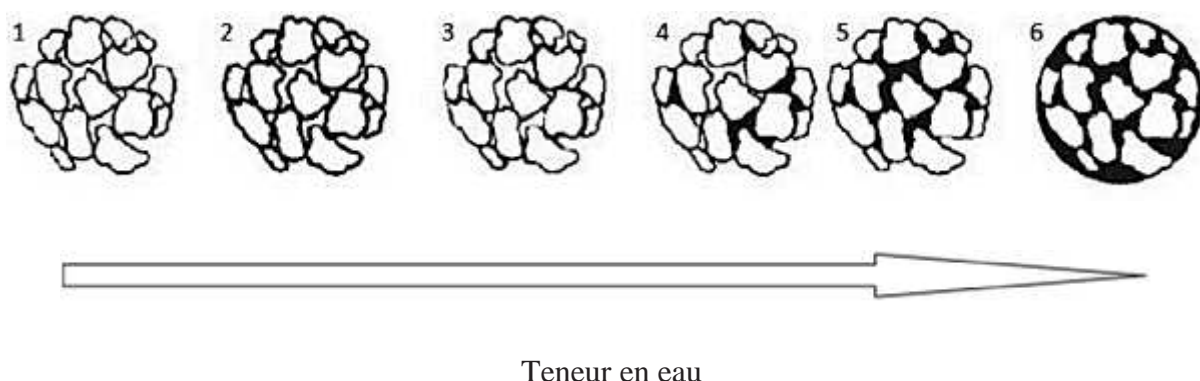


Figure III.9 : Evolution d'un milieu granulaire avec l'ajout d'un liquide

Pendant cette phase, certains grains se sont agglomérés entre eux mais l'eau n'est pas encore suffisamment dispersée dans l'ensemble du mélange pour que le matériau atteigne les niveaux 5 et 6 décrits dans la Figure précédente, états où les grains sont peu à peu en suspension dans l'eau.

b. Moment d'introduction des fibres :

A propos du moment d'introduction des fibres, dans la pratique, et en accord avec les fiches techniques des fibres, tous les moments d'introduction peuvent être utilisés. [78]

Pour les fibres synthétiques, aucune phase du malaxage n'est spécialement conseillée pour l'introduction des fibres ; comme en témoigne avec l'extrait suivant :



Figure III.10: Extrait : Recommandation concernant le moment d'introduction de fibres synthétiques

De manière générale, le malaxage doit durer quelques minutes après l'addition des fibres, si celles-ci sont introduites avec les autres constituants, ou quelques dizaines de secondes si elles sont ajoutées dans le mélange déjà homogénéisé.

Pour cette étude, le choix est donc fait d'introduire les fibres dans le béton frais, considéré comme homogène (Béton dans la phase pendulaire), et le malaxage doit durer quelques minutes après l'ajout des fibres

c. Méthode d'introduction des fibres :

Tout comme le moment d'introduction des fibres, le mode d'introduction des fibres dans le malaxeur n'est pas clairement défini. L'ajout manuel des fibres dans le mélange reflètent assez bien la réalité industrielle

Le malaxage de BFUP a été réalisé avec un malaxeur de laboratoire pour mortier à axe vertical, constitué d'une cuve et d'une palette centrale tournante à deux vitesses lente et rapide, de capacité de 5 litres.



Figure III.11: Malaxeur électrique utilisée dans la fabrication de BFUP

III.3.3 Procédure expérimentale :

III 3.3.1. Préparations des éprouvettes et déroulement des essais :

Les essais sont effectués sur des éprouvettes prismatiques en mortier de dimensions (4×4×16) cm³, à raison de trois éprouvettes par essai.

Dans tous les essais le rapport E/C a été fixé sur [0.25] pour tous les mortiers [BFUP]avec et sans fibre. La préparation des éprouvettes est réalisée selon la norme NF P 18-400. Les moules ont été couverts de film plastique et stockés dans le laboratoire dans les premières 24h.

Après 24 heures, les échantillons ont été démoulés et conservés dans l'eau à une température ambiante jusqu'à l'âge de l'essai (28j). A 28 J, les tests de résistances mécaniques des mortiers ont été effectués selon la norme NF 15 403 et NF EN196-1.

Dans notre étude, les éprouvettes prismatiques ont été confectionnées avec des Bétons Fibrés Ultra Haut Performance, cinq types de formulations étaient utilisées. Pour la fabrication des différents échantillons à étudier, la quantité de sable, ciment, Fumée de silice, plastifiant et d'eau restent constant quel que soit la formulation, ne changeant que les pourcentages et le type de sables ainsi que les pourcentages des fibres utilisés, afin de voir leurs effets sur les résistances mécaniques du BFUP.

III.3.3.2: Constituant du BFUP :

Les constituants du BFUP sont présentés dans le (Tableau.III.6 et III.7)

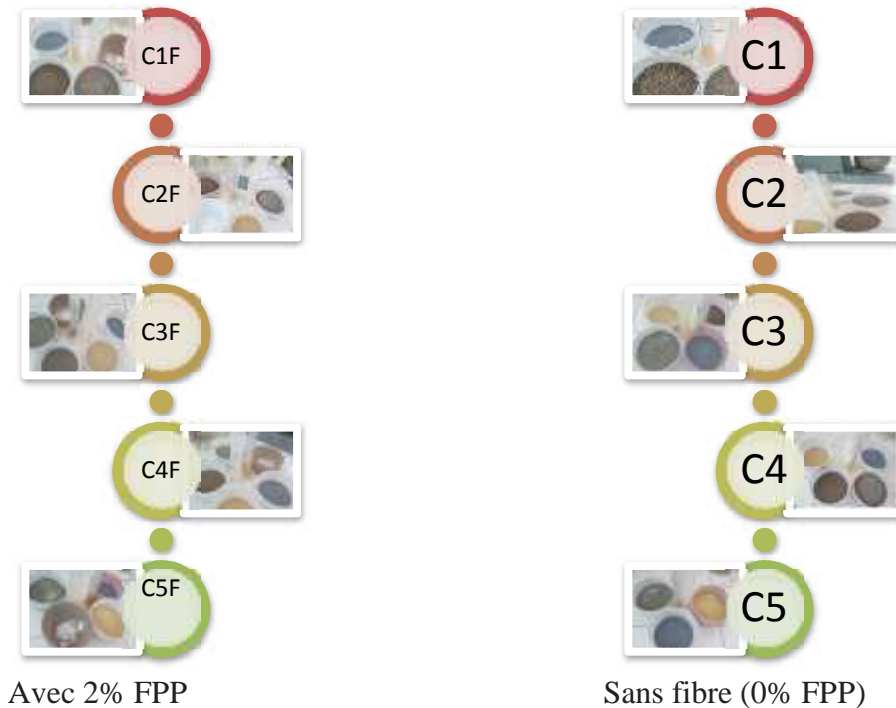


Figure.III.12 : Constituants des différentes formulations du BFUP

Remarque :

La précision de dosage des ingrédients ainsi que la puissance de malaxage sont deux paramètres essentiels pour l'obtention de propriétés rhéologiques et mécaniques désirées.

Le remplissage et conservation des moules s'est fait comme suit :

- Après gâchage, on procède au remplissage à raison de deux couches, dans des moules métalliques qui ont été enduits d'huile à l'avance.
- On procède au vibration à la table vibrante pour les deux couches
- Araser et lisser la surface du béton avec une truelle.

La conservation des moules contenant les éprouvettes, se fait dans le laboratoire, et afin d'éviter toute dessiccation initiale, on protège les moules par du film plastique.

Après 24 h les éprouvettes sont démoulées, notées et immergées dans un bassin d'eau jusqu'à l'âge de 28 jours. (Voir la figure) :



Figure III.13: Remplissage et Conservation des éprouvettes du BFUP [Photos prises au laboratoire de béton Génie Civil- UMMTO]

Nous avons conservé les éprouvettes dans un bassin de conservation rempli d'eau, juste après le démoulage pour y subir une cure d'hydratation jusqu'au mûrissement du béton à 28 jours, dans le but d'avoir un béton n'ayant pas subi de dessiccation.

Toutes les éprouvettes ont été testées après 28 jours de mûrissement afin de déterminer les propriétés mécaniques du béton Fibrés Ultra Haut Performance aussi bien témoin.

III.3.3.4. Caractérisation des différentes compositions :

- **Contrôle par ultrasons : [81]**

C'est un essai non destructif très important qui permet d'évaluer plusieurs caractéristiques du béton durci telles que : le degré de compacité, de fissuration, l'uniformité de coulage

Le principe de la méthode des ultrasons consiste à mesurer le temps de propagation des impulsions ultrasoniques traversant le béton. Les résultats obtenus et donc leur interprétation dépendent du type de procédé de mesure appliqué et notamment la position des transducteurs de l'appareil à ultrasons

Disposition des transducteurs :

Trois types de dispositions des transducteurs sont communément utilisés :

- Mesure par la transmission directe.
- Mesure par la transmission semi directe
- Mesure par la transmission indirecte ou de surface.

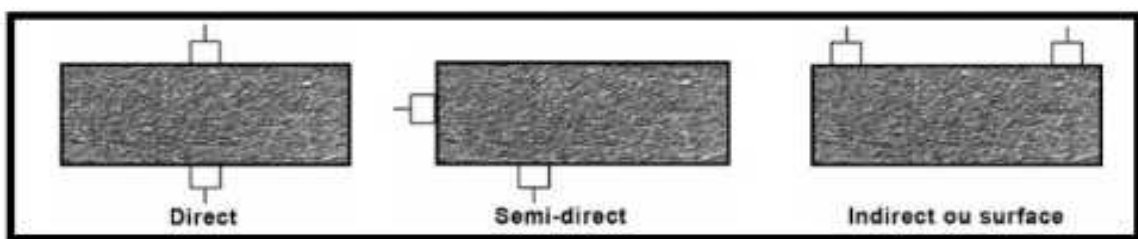


Figure III. 14 : Différents types de dispositions des transducteurs [81]

Chaque fois que cela est possible, il est recommandé d'utiliser la disposition directe, c'est la meilleure méthode. Elle consiste à presser les deux têtes de mesure sur deux faces de l'éprouvette, en utilisant une pâte de contact qui facilite la transmission maximale du signal entre les transducteurs.

La disposition semi-directe est moins sensible que la disposition directe mais plus sensible que la disposition indirecte.

La méthode indirecte est particulièrement utile pour la détermination de la profondeur des fissures, de la qualité de la surface ou dans le cas où une seule surface est accessible. Des données de base sont communes à chaque méthode de mesure. La distance (longueur de trajet) entre les transducteurs doit être mesurée aussi précisément que possible. Il est très important d'assurer un couplage acoustique des transducteurs approprié avec la surface à tester, ainsi une fine couche de couplant doit être appliquée sur le transducteur et sur la surface à tester, et dans certains cas, il peut s'avérer nécessaire de préparer la surface en elle-même en la grattant, la lissant, et nettoyant correctement.

Une fois l'appareil mis en marche, on peut lire le temps de propagation en microseconde.

La vitesse de propagation est donnée alors par l'équation suivante [81] :

$$V = d/t$$

Avec :

V: vitesse de propagation en [m/s]

d: distance entre les têtes en [m].

t: temps en microseconde

Des travaux effectués montrent qu'il y a une relation directe entre la vitesse de propagation des ondes dans un béton et sa qualité. Le tableau III.9 donne un classement.

Tableau III. 8 : La vitesse de propagation des ondes et la qualité du béton [82]

Vitesse de propagation (m/s)	La qualité de Béton
Supérieure à 4575	Excellente
3660 à 4575	Bonne
3050 à 3660	Douteuse
2135 à 3050	Mauvaise
Inférieure à 2135	Très mauvaise

Pour déterminer la vitesse longitudinale, nous avons utilisé dit appareil de PUNDIT de marque « proceq » (Figure. III.18). Avant de commencer le contrôle de nos éprouvettes l'appareil à ultrasons doit être étalonné avec l'étalon montré ci-dessous.



Étalonnage de l'appareil



Appareil de contrôle à ultrasons.

Figure III.15: Appareil ultrasons [Laboratoire de Béton-Génie Civil-UMMTO]

III.3.3.4.1 Essais de caractérisation du BFUP à l'état durci :

Ces essais sont effectués au niveau de laboratoire : Composite et Mécanique des Matériaux-Unité de Recherche : Matériaux, Procédés et Environnement-Faculté : Sciences et Ingénierie- Université M'HAMED BOUGARA-Boumerdes

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression et à la traction par Flexion du Béton Fibré Ultra Haut Performance.

III.3.3.4.1.1 Résistance à la flexion : Selon la norme (NFP18-407)

Cet essai est effectué sous charge concentrée exécuté par un bâti de flexion de type Toni Technique piloté par ordinateur équipé du logiciel Test Expert V7.11, et doté d'un capteur de force de 100 KN

Cette machine est munie d'un dispositif à trois rouleaux, sur les éprouvettes en béton fibré ultra haute performance (4x4x16) [cm³] :

Dispositif de l'essai de flexion :**a. Flexion trois points :**

Le dispositif de flexion comporte deux appuis à rouleau de 10 mm de diamètre, distant de 120mm, sur lesquels repose l'éprouvette prismatique suivant une face latérale de moulage, et un troisième rouleau de même diamètre, équidistant des deux premiers, et transmettant la charge F . Afin de transmettre une répartition uniforme des efforts sur l'éprouvette, deux rouleaux doivent pouvoir osciller légèrement de leur centre dans le plan vertical perpendiculaire au grand axe de l'éprouvette.

La Figure III.17 montre une poutre sous chargement de flexion trois-points

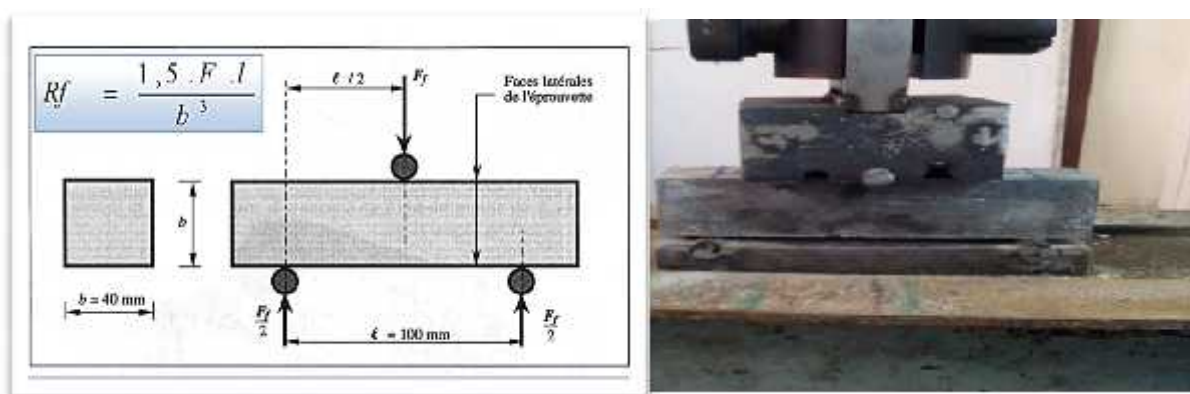


Figure III.16: Dispositif de l'essai mécanique de rupture par flexion (3 points)

[Laboratoire UR-MPE/FSI-Boumerdes]

b. Flexion quatre points :

La Figure III.18 montre une structure sous chargement de flexion Quatre-points. Dans ce cas on utilise les mêmes appuis simples, mais on applique deux charges au lieu d'une seule charge concentrée.

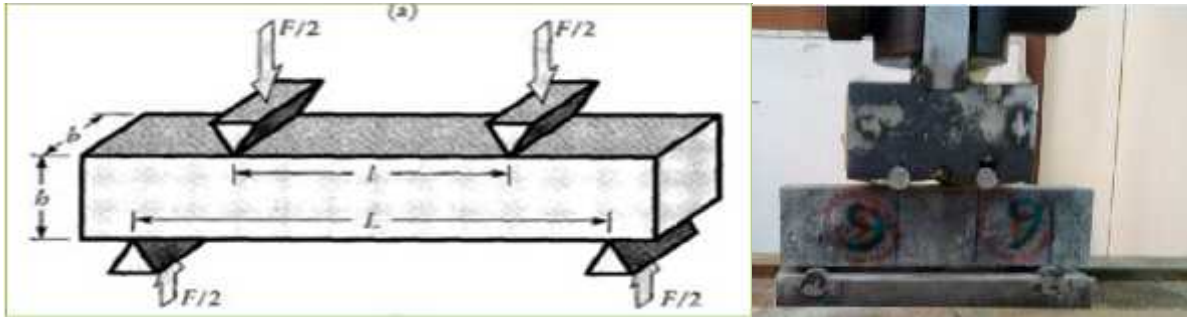


Figure III.17 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (4 points)

La résistance à la flexion (4 points) est calculée selon l'équation Générale :

$$\sigma = \frac{F \cdot l}{2 \times h^2}$$

Dans notre cas $b = h$ d'où l'équation devient :

$$\sigma = \frac{F \cdot l}{2 \cdot b^3}$$

Avec :

σ : Résistance à la flexion (4 pts) en [MPa].

Ff: Charge de rupture de l'éprouvette en flexion [KN].

l : Longueur qui sépare les deux appuis égale à 120mm.

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

III.3.3.4.1.2. Résistance mécanique à la compression (NF P 15-471) :

L'essai de compression est effectué sur les demi- éprouvettes provenant de l'essai de flexion. Il est exécuté sur un bâti de compression de type Toni Technique piloté par ordinateur équipé du logiciel Test Expert V7.11, et doté d'un capteur de force de 3000 KN. Celle-ci est reliée à une machine d'acquisition qui permet l'enregistrement simultané de la force en fonction du temps. Le pas de chargement est de : $V = 0.5$ [KN/ s]

Dispositif de l'essai

Chaque demi prisme est testé en compression sur ses faces de moulage, sous une section de 40×40 [mm²], entre deux plaques de métal dur d'au moins 10mm d'épaisseur, de 40 mm de largeur. Le demi-prisme est placé entre elles de manière que son extrémité intacte dépasse d'environ 1cm

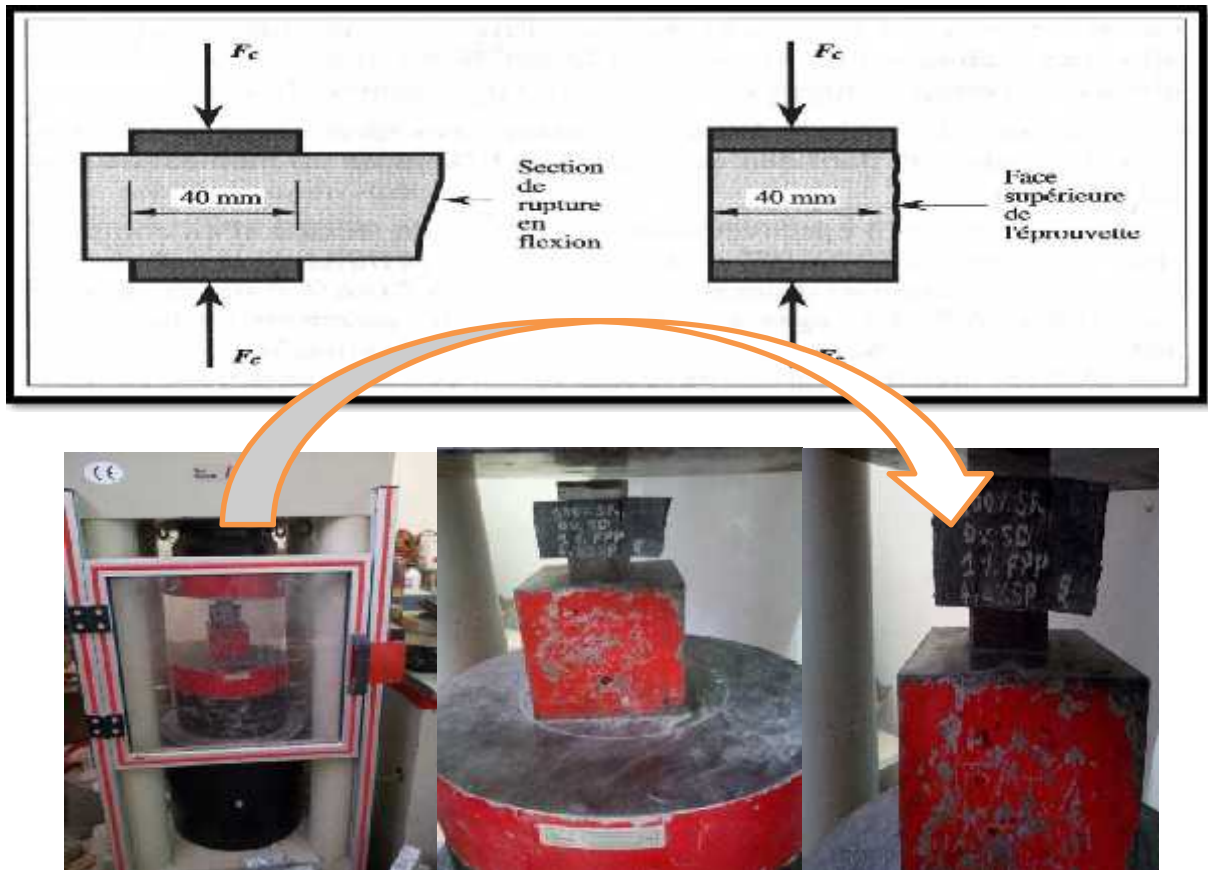


Figure III.18: Dispositif de l'essai mécanique de Compression
[Laboratoire UR-MPE/FSI-Boumerdes]

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

$$R_f = \frac{F'_c}{b^2}$$

Avec :

R_f: Résistance à la compression en [MPa]

F_c : Charge de rupture en [N]

b : Côte de l'éprouvette est égale à 40 [mm].

III.3.3.4.1.3. Cisaillement par compression :



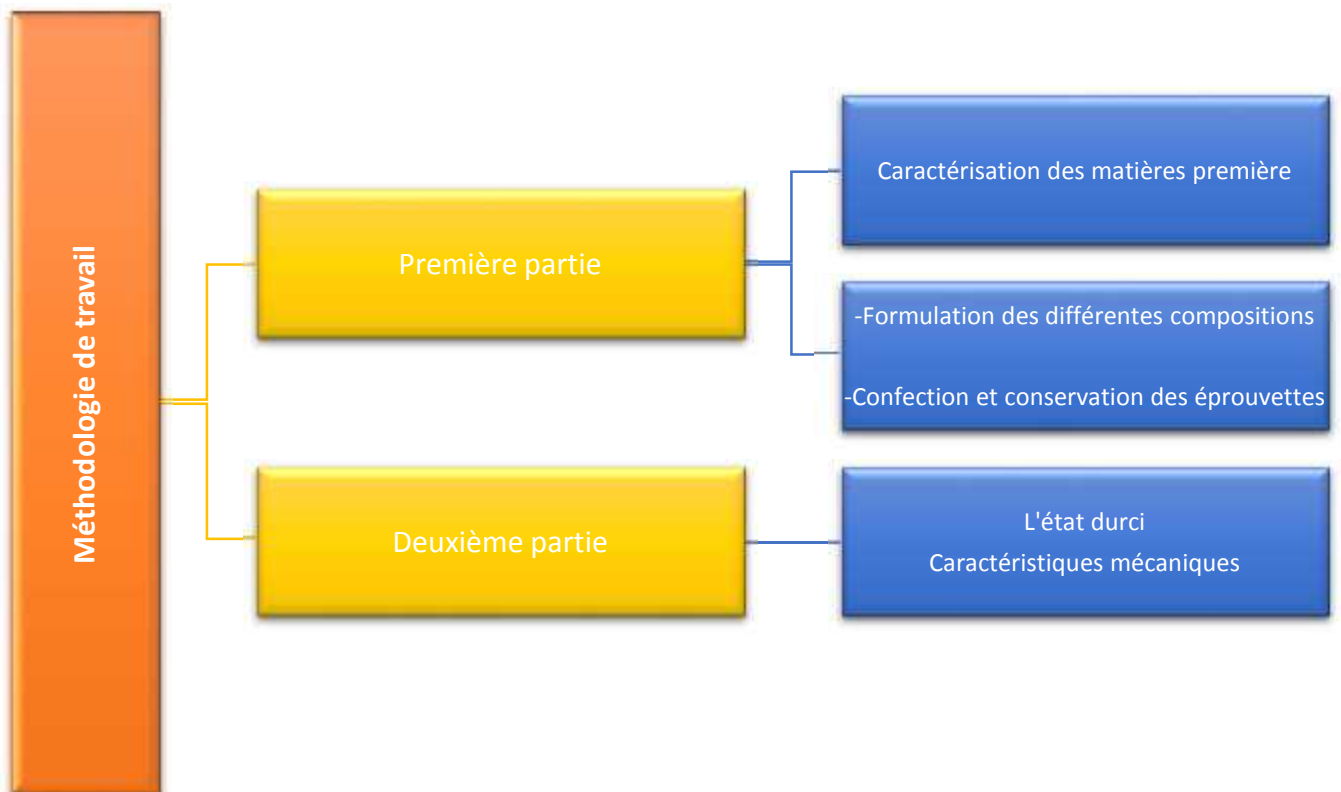
Figure III.19: Dispositif de rupture en cisaillement par compression [Laboratoire UR-MPE/FSI-Boumerdes]

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté en détails tous les éléments de l'analyse expérimentale, en commençant par les caractérisations de différents constituants ; la formulation des bétons, la confection des éprouvettes, le mode opératoire et les différentes essais mécaniques considérés dans ce travail. Les différents résultats obtenus à l'issue des tests effectués sont présentés et illustrés dans le chapitre suivant.



Chapitre III :
Techniques Expérimental



Plan de travail

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons les caractéristiques des matériaux utilisés au cours du travail pratique effectué au niveau de laboratoire, de Génie Civil [UMMTO] pour la confection d'un béton fibré ultra haute performance, à base de fibres Synthétiques « Polypropylène ». Il sera aussi présenté, le travail de sélection des constituants ainsi que leur utilisation, dans le but d'obtenir les meilleurs résultats en matière de résistance. Il sera étudié par ailleurs, l'effet du mélange et de variation des pourcentages de sable sur les caractéristiques de BFUP.

L'objectif général de cette étude est d'évaluer le comportement mécanique des diverses formulations Fibrées et non fibrées. Ainsi, les objectifs de l'étude sont :

- Évaluer le comportement mécanique (Résistance) des différentes formulations de BFUP
- Évaluer l'influence de la variation de l'un des paramètres constitutifs du béton (Variation de la nature et de quantité de sable) sur le comportement et la performance des éprouvettes fibrée avec des fibres polypropylènes.
- Faire une étude comparative du comportement mécanique de compression des différentes formulations

Dans ce chapitre deux parties successives seront présentées :

Première Partie : Elaboration des corps d'épreuve

Dans ce chapitre deux parties, seront aussi définies, les caractérisations physiques, chimiques et mécaniques des constituants de notre BFUP à savoir :

- Le ciment (C E M II /B –L 42 ,5N).
- Le sable :
 - Le sable de Rivière (0/3).
 - Le sable de Dune de Touggourt (0/2).
- La fumée de silice (MEDAPLAST HP).
- Les fibres Synthétique (Polypropylène).

- Le super plastifiant (SIKA VISCOCRETE TEMPO 12).
- L'eau de gâchage.

A partir de ces constituants, seront formulés 5 compositions de BFUP

Deuxième Partie :

Dans cette partie, seront aussi définies, les caractéristiques mécaniques à l'état durci de BFUP

Partie I : Elaboration des corps d'épreuve :

Dans cette partie, nous allons procéder à l'élaboration de notre BFUP en caractérisant chaque matériau utilisé dans les différentes compositions.

La formulation des BFUP n'est pas basée sur une méthode de formulation connue comme celles des bétons ordinaires, elle est basée sur l'expérimentation et le respect du principe de la formulation citée dans le chapitre II de la partie théorique.

La mise au point de cette formulation du BFUP consiste à déterminer la quantité de chaque ingrédient de manière à répondre aux trois principes essentiels qui sont :

1. La diminution de la porosité avec l'incorporation des ultrafines
2. Optimisation du squelette granulaire
3. Un faible rapport E/C

III.2. Matériaux utilisés :

Dans notre étude, nous avons utilisé des matériaux naturels locaux, ciment, Fumée de silice, sable, Plastifiant, eau et des fibres synthétiques polypropylènes.

III 2.1. Le ciment (C E M II /B –L 42 ,5N) :

Le ciment utilisé dans le cadre de ce travail est désigné sous le nom de MATINE. Ce dernier est un ciment portland composé, de classe 42.5 et de sous classe B provenant de la cimenterie LAFRAGE d'Alger. Il contient donc environ un tiers d'additions minérales autres

que le clinker. (Fig.III.1). Ce ciment a été entreposé a laboratoire à température ambiante et recouverts d'un sac en plastique pour éviter toute préhydratation éventuelle.



Figure.III.1 : Ciment utilisé dans la confection de BFUP

III.2.1.1. Composition chimique et minéralogique du Ciment : [5]

Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO₂) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al₂O₃) et le fer (Fe₂O₃).

La composition chimique et minéralogique caractéristique d'un CEM II/B-L42 ,5N est résumée à titre illustratif dans le Tableau.III.1 suivant :

Tableau.III.1 : Composition chimique et minéralogique de Mâtine

(Voir la Fiche technique de MATINE en ANNEXE 1) [77]

Analyse chimique						
Désignation	Perte au feu %	Résidus insolubles %	Teneur en sulfates SO ₃ %	Teneur en oxyde de magnésium MgO %	Teneur en chlorures %	Teneur équivalent en alcalis %
%	7.50 – 12	0.7 – 2	2 – 2.7	1 – 2.2	0.01 – 0.05	0.3 – 0.75
Composition hypothétique du clinker						
Désignation	C ₃ S %	C ₂ S %	C ₃ A %	C ₄ AF %		
%	58 – 64	12 – 18	6 – 8	10 – 12		

III.2.2 Le Sable :

Conformément aux normes NF EN 12620 [AFNOR NF EN 12620, 2003] et NF XP P18-545 [AFNOR XP P18-545, 2004], le sable est défini comme étant un granulat naturel 0/D avec D (diamètre du plus gros granulat) limité à 4 mm. Il peut s'agir soit d'un sable naturel alluvionnaire (ou de ballastière), soit d'un sable de carrière issu du concassage d'une roche massive ou détritique. Il est le constituant du squelette granulaire qui a le plus d'impact sur le mortier. Il joue un rôle primordial en réduisant les variations volumiques, le dégagement de chaleur et le prix de revient (coût) des bétons. Il doit être propre et ne pas contenir d'éléments chimiques nocifs.

Nous avons utilisé dans cette étude deux types de sable de diamètre max de 1mm. Un sable local de Rivière (SR) ou Sable d'OUED provenant de OUED-AISSI, roulé de classe 0/3, et un sable fin siliceux de Dune (SD) de la région de Touggourt de classe 0/2. Avant utilisation, ces sables ont été lavés afin de réduire les impuretés puis séchés à l'étuve à température 105 °C pendant 24heurs puis tamisé avec des tamis de maille de 1mm au maximum.



Figure III.2 : Lavage et séchage des granulats utilisés dans les différentes formulations du béton

Une série d'analyses a été menée afin de déterminer les propriétés physiques et granulométriques des sables.

III.2.2.1. Masse volumique absolue : selon la Norme [NFP 18-301]

Cet essai est défini comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains.



Figure III.3 : Essai de la détermination de la masse volumique absolue du sable.

La masse volumique absolue se détermine par la formule suivante :

$$\rho_s = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

Avec :

- ρ_s : Masse volumique absolue
- M**: Masse des grains solides
- V₁** : Volume de l'eau ;
- V₂** : Volume total (grains solide + eau).

Nota : Plus de détails sur les essais de caractérisation (Mode Opérateur- Principe.....) Voir l'annexe (2)

III.2.2.2. Masse volumique apparente : Selon la Norme [NFP 18-554]

La masse volumique apparente est définie comme étant la masse de l'unité de volume apparente du corps, c'est-à-dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient



Figure III-4 : Essai de détermination de la masse volumique apparente du sable

On détermine la masse volumique apparente par la formule suivante :

$$\rho_d = \frac{\text{Masse des granulats secs}}{\text{Volume du récipient}} = \frac{M1 - M0}{V}$$

Avec :

V : Volume du récipient

M0 : Masse du récipient propre et vide

M1 : Masse du récipient rempli

Nota : Plus de détails sur l'essai de caractérisation (Mode Opérateur- Principe.....) Voir l'annexe (2)

III.2.2.3. Equivalent de sable : Selon la Norme [NFP 18-598]

Cet essai permet de mesurer la propreté du sable. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

La valeur de l'équivalent de sable (ES) est le rapport multiple par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée sur la hauteur totale du flocculat.



Figure III.5: Equivalent de sable pour les deux types de sables

La formule qui nous permis la détermination de l'équivalent de sable est :

$$E_s = \frac{h_1}{h_2} 100\%$$

Avec :

-) Hauteur h_1 : sable propre +élément fins,
-) Hauteur h_2 : sable propre seulement.

Nota : Plus de détails sur l'essai de caractérisation (Mode Opérateur- Principe.....) Voir l'annexe (2)

Les caractéristiques physiques des sables à l'issue des tests sont représentées dans les tableaux suivants :

❖ **Sable de rivière (0 /3) :**

Tableau III.2 : Caractéristiques physiques de sable de rivière (0/3)

Caractéristique	Résultats	Unité
Masse Volumique apparente	1.61	[gr/cm3]
Masse Volumique absolue	2.55	[gr/cm3]
	72.41	[%]
Equivalent de Sable(NF EN 933-8)		

❖ Sable de Dune (Touggourt (0/2)) :

Tableau III.3 : Caractéristiques physiques de sable de dune (0/2)

Caractéristique	Résultats	Unité
Masse Volumique apparente	1.56	[gr/cm ³]
Masse Volumique absolue	2.50	[gr/cm ³]
Equivalent de Sable(NF EN 933-8)	91.22	[%]

Interprétation :

La masse volumique absolue théorique varie dans l'intervalle de [2.5 -2.65] (gr /cm³)

→ Notre cas, pour les deux sables (2.50 gr/cm³- 2 .65 gr/ cm³) fait partis de l'intervalle théorique des masses volumiques absolue des sables.

En se référant aux valeurs données par Dreux pour l'équivalent de Sable :

Tableau III.4 : Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par G. DREUX [82]

ES au piston	Nature et qualité du sable
ES<60%	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité ou vérification plus précise de la nature des fines par un essai au bleu de Méthylène.
60%≤ES<70%	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.
70%≤ES<80%	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité
70%≤ES<80%	Sable très propre. L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

Nous pouvons classier :

-) **Sable de rivière** : dont $70 \leq ES < 80$ \longrightarrow **En Sable Propre** à faible Pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité
-) **Sable de dune** : dont $ES \geq 80$ \longrightarrow de **Sable très Propre** avec une absence presque totale de fines argileuses risquant d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau ou en utilisant un super plastifiant en importante quantité.

Remarques :

- ✓ Dans cette étude nous avons utilisé des sables lavés pour réduire les impuretés puis séchés à l'étuve à température $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant 24heures.
- ✓ Après l'essai de l'équivalent de sable, nous avons constaté qu'il s'agissait bien des sables propres donc ils conviennent très bien pour la composition de notre BFUP.

III.2.2.4. Analyse granulométrique par tamisage NF EN933-1 :

La granulométrie s'exprime par un graphique dans lequel la courbe granulométrique indique les pourcentages en masse passant par les tamis successifs dont les mailles sont de plus en plus petits (voir la figure ci-dessous).

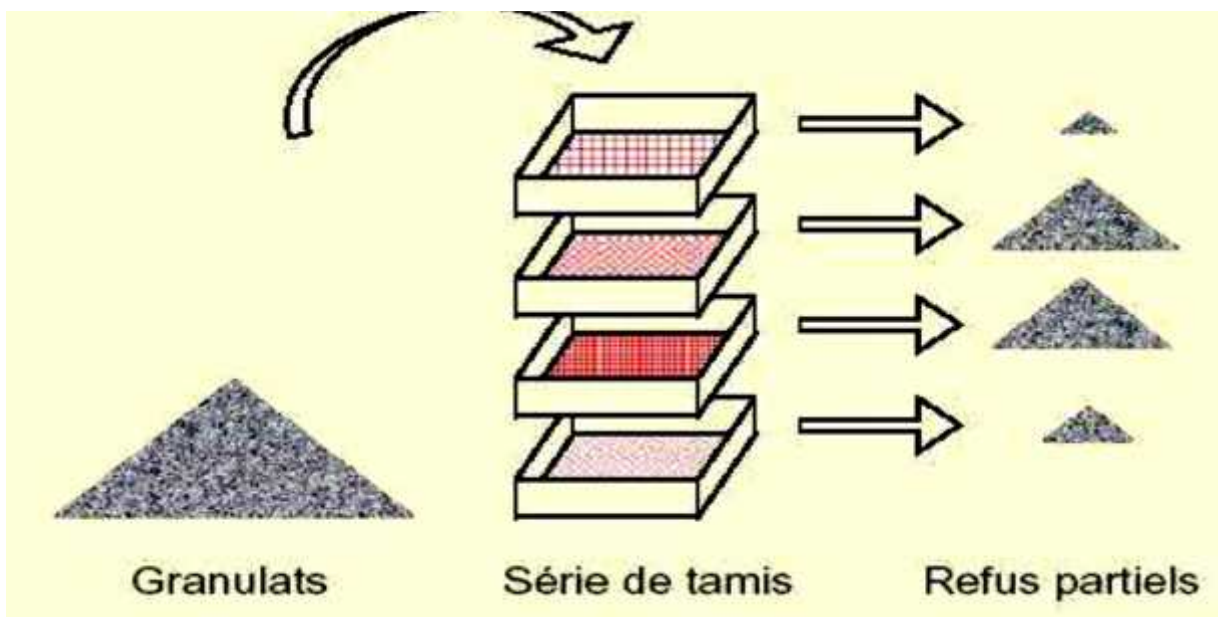


Figure III.6 : Processus d'analyse granulométrique

III.2.3. La fumée de silice : (Conforme à la Norme NFP 18-502)

La fumée de silice utilisée est une silice ultra fine issue de l'industrie de la fabrication du silicium ou des alliages à base de silicium

Pour les essais de laboratoire nous avons utilisé la fumée de silice fabriquée et commercialisée par la société GRANITEX sise à Oued-Smar.



Figure III.7: La fumée de silice utilisée dans la confection de BFUP

III.2.3.1. Caractéristiques :

La fumée de silice se présente sous forme de poudre grise, conditionnée dans des sacs de 2 Kg ou 25 Kg mais disponible également en Bigbag. Son stockage doit se faire dans un local à l'abri du gel et de la chaleur. Dans son emballage d'origine intact, le produit se conserve 3 ans, cependant en cas d'ouverture, un soin particulier doit être pris, notamment afin d'éviter le contact de la fumée de silice avec l'air et qui risquerait de faire agglomérer les particules et réduire leur finesse.

III.2.4 Les adjuvants :(conforme à la norme EN 934-2)

L'adjuvant utilisé pour la confection des BFUP, a consisté en un plastifiant hautement réducteur d'eau réducteur d'eau pour haute résistance mécanique non chloré et prêt à l'emploi, à base de polycarboxylates modifiés, qui se présente sous la forme d'un liquide marron, fabriqué par la société suisse SIKA.

III.2.5. Les fibres :

Les fibres utilisées sont des fibres de polypropylène commercialisées par la société algérienne « SDC Algérie ». Elles ont une longueur de 18mm, de densité égale 0.91g/cm^3 , un point de fusion d'environ 160° , et un module de Young (TS/E) de 3000-3500 [MPa]. (Plus de détails voir la fiche technique sur l'annexe 6)



Figure III.8 : Fibre Polypropylène

III.2.6 L'eau de gâchage :

Lors du gâchage de nos BFUP, nous avons utilisé l'eau de robinet, qui est une eau potable du réseau de la ville de Tizi Ouzou. Aucune analyse chimique n'a été réalisée là-dessus puisqu'elle est propre à la consommation.

III.3 Formulation et conservation des éprouvettes :

III.3.1 Formulation :

La méthode de formulation des BFUP est plus délicate par rapport aux autres types des bétons, plusieurs méthodes existent pour la formulation du béton à savoir DREUX –GORISSE, JAPONAISE et FAURY ... etc mais qui ne sont pas adaptable aux BFUP.

Il existe des formulations recommandées par des entreprises et des associations, à savoir LA FARGE et l'AFGC, dans cette partie, nous allons présenter les calculs des compositions de BFUP, qu'on a adopté.

Le tableau suivant représente de formulation pour 1 m³ de BFUP :

Composant	Ciment (Kg)	Quartz broyé (Kg)	Fumée de silice (Kg)	L'eau (L)	Plastifiant (Kg)	Fibre d'acier (Kg)	Sable (Kg)
M ₀	710	215	203	140	10	160	1020

Tableau III.5: Formulation Pour 1m³ du BFUP

III.3.1.1. Optimisation de la composition d'un m³ de BFUP :

) On a calculé le volume :

D'une éprouvette : $V_1 = 4 \times 4 \times 16 = 256 \text{ [cm}^3\text{]}$

De trois éprouvettes : $V = V_1 \times 3 = 768 \text{ [cm}^3\text{]}$

Les résultats suivants sont calculés par rapport au volume des éprouvettes :

Ciment :

$C = 710 \text{ [kg/m}^3\text{]} \longrightarrow 1 \text{ [m}^3\text{]}$

$X \longrightarrow 256 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$

$X = 0.18176 \text{ [Kg]} = 181.76 \text{ [g]}$

On fixe le dosage de ciment pour une éprouvette = 181.76 g/cm³

- **Sable :**

$$S=1020[\text{kg}/\text{m}^3] \longrightarrow 1 [\text{m}^3]$$

$$Y \longrightarrow 256 \times 10^6 [\text{m}^3]$$

$$Y = 0.26112 [\text{Kg}] = 261.12[\text{g}]$$

- **Quartz broyé**

$$Q_b=215 [\text{kg}/\text{m}^3] \longrightarrow 1 [\text{m}^3]$$

$$X \longrightarrow 256 \times 10^6 [\text{m}^3]$$

$$Q = 0.05504 [\text{Kg}] = 55.04[\text{g}]$$

- **Fumée de Silice :**

$$FS = 203[\text{kg}/\text{m}^3] \longrightarrow 1 [\text{m}^3]$$

$$Z \longrightarrow 256 \times 10^6 [\text{m}^3]$$

$$Z = 0.051968[\text{Kg}] = 51.968[\text{g}]$$

- **L'eau :**

) On fixe le rapport : $E/C=0.25$

$$E/181.76 = 0.25 \longrightarrow E = 0.25 \times 181.76 = 45.44$$

$$E = 45.44$$

- **Plastifiant :**

Selon la fiche technique et après détermination dosage permettant l'agglomération des composants lors du malaxage qui est de l'ordre 4 % de la masse du ciment, le dosage du Plastifiant utilisée a été de 4% Ciment

L'extrait sec du Plastifiant es de 30% et la quantité d'eau est de 70%.

La quantité d'eau contenant dans le Plastifiant est donc de :

$$0,70 \times 7.27 = 5.089 \text{ [g]}$$

De ce fait, la quantité d'eau qu'il faut ajoutée est : $45.44 - 5.089 = 40.351 \text{ [g]}$

$$P = 4\% \text{ Ciment} = 4\% \times 181.76 = 7.2704 \text{ [g]}$$


$$P = 7.27 \text{ [g]}$$

- **Fibre Polypropylène :**

Concernant les quantités des fibres nous avons utilisé 2% de fibres calculé par rapport au volume du béton pour toutes les variantes.

$$FPP = 2\% \text{ Ciment} = 2\% \times 181.76 = 3.6352 \text{ [g]}$$


$$FPP = 3.635 \text{ [g]}$$

Le tableau III.6 suivant mentionne les quantités correspondantes des constituants entrant dans la confection de BFUP de toutes les variantes pour un moule de $(40 \times 40 \times 160) \times 3$

Tableau III.6: Compositions des mortiers relatifs aux essais de résistances mécaniques

Nombre d'éprouvette	Ciment	Fumée de silice	Plastifiant 4% C	Fibre PP 2% C	L'eau	Quartz broyé
Une (01) éprouvette	181.76	51.97	7.27	3.64	45.44	55.04
Trois (03) éprouvettes	545.28	155.91	21.81	10.92	136.32	165.12

▪ **Sable :**

Deux types de sables ont été utilisés durant le travail expérimental, dans des proportions différentes, afin de tester l'apport de la nature et la quantité sur les performances mécaniques. Le tableau III.7 présente les différentes proportions et natures de sables utilisés

Tableau III.7 : Composition de BFUP à base de différents pourcentages et type de sable

% des sables	Quantité de sable pour une (01) éprouvette	Quantité de sable pour trois (03) éprouvettes
100% SR	261.12	783.36
00% SD	000.00	000.00
95% SR	248.06	744.18
05% SD	13.06	39.18
90% SR	235.00	705.00
10% SD	26.11	78.33
85% SR	221.95	665.85

15% SD	39.17	117.51
80% SR	208.89	626.67
20% SD	52.22	156.66

Avec :SR : Sable de Rivière et SD : Sable de Dune

Nomenclature :

Pour simplifier les écritures on a choisi une désignation de chaque formulation de BFUP comme suit :

- **Sans fibre : Témoin**

C1 : Composition 01 : BFUP avec 100% sable de de rivière

C2 : Composition 02 : BFUP avec 95% sable de rivière et 05% sable de dune.

C 3 : Composition 03 : BFUP avec 90% sable de rivière et 10% sable de dune

C4 : Composition 04 : BFUP avec 85% sable de rivière et 15% sable de dune

C5 : Composition 05 : BFUP avec 80% sable de rivière et 20% sable de dune

- **Avec 1% de Fibre Polypropylène :**

C1F : Composition 01+2%FPP

C2F : Composition 02+2%FPP

C 3 F : Composition 03+ 2%FPP

C4 F : Composition 04 +2%FPP

C5F : Composition 05 +2%FPP

III.3.2. Le malaxage :

Les organismes spécialisés ne donnent pas non plus de consignes précises : l'AFGC (Association Française de Génie Civil) reconnaît dans un rapport de 2002 que la mise en œuvre de BFUP n'est pas encore bien maîtrisée (Extrait).

Maîtrise de la mise en œuvre : les connaissances rationnelles manquent clairement à l'heure actuelle pour comprendre et optimiser le processus de malaxage de ces matériaux, le transport et l'écoulement des BFUP à l'état frais et l'incidence du coulage en termes de répartition et orientation des fibres, l'effet d'une éventuelle vibration en fonction de la rhéologie de la matrice, etc.

Figure III.8 : Extrait : Avis de l'AFGC sur la mise en œuvre des BFUP

a. Procédure de malaxage :

L'évolution du matériau avec le malaxage est très importante, le malaxage consiste en un mélange des différents constituants des bétons dans le but d'obtenir un matériau homogène. Il permet de passer, grâce à l'ajout d'eau et d'éventuels adjuvants, d'un ensemble granulaire sec à un fluide. Cette transition n'est pas immédiate et une étape intermédiaire « **phase pendulaire** », apparaît.

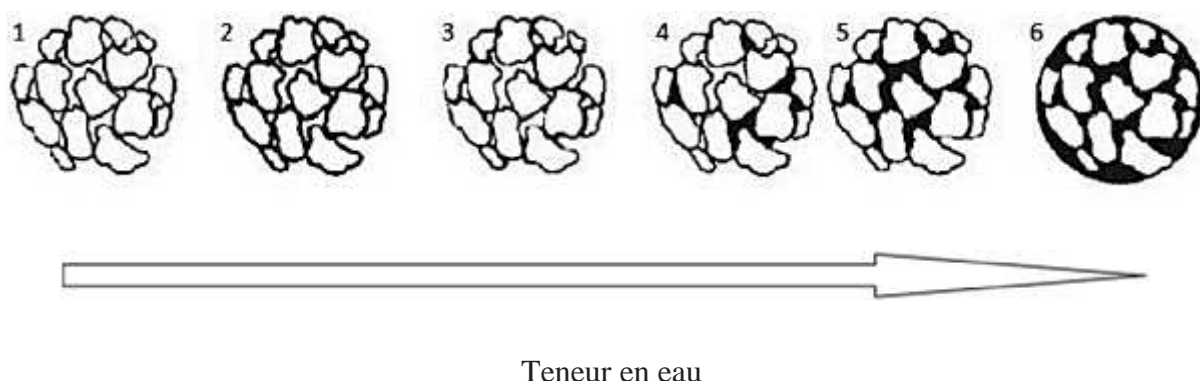


Figure III.9 : Evolution d'un milieu granulaire avec l'ajout d'un liquide

Pendant cette phase, certains grains se sont agglomérés entre eux mais l'eau n'est pas encore suffisamment dispersée dans l'ensemble du mélange pour que le matériau atteigne les niveaux 5 et 6 décrits dans la Figure précédente, états où les grains sont peu à peu en suspension dans l'eau.

b. Moment d'introduction des fibres :

A propos du moment d'introduction des fibres, dans la pratique, et en accord avec les fiches techniques des fibres, tous les moments d'introduction peuvent être utilisés. [78]

Pour les fibres synthétiques, aucune phase du malaxage n'est spécialement conseillée pour l'introduction des fibres ; comme en témoigne avec l'extrait suivant :

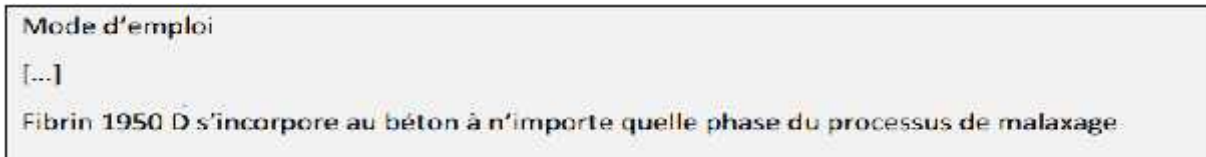


Figure III.10: Extrait : Recommandation concernant le moment d'introduction de fibres synthétiques

De manière générale, le malaxage doit durer quelques minutes après l'addition des fibres, si celles-ci sont introduites avec les autres constituants, ou quelques dizaines de secondes si elles sont ajoutées dans le mélange déjà homogénéisé.

Pour cette étude, le choix est donc fait d'introduire les fibres dans le béton frais, considéré comme homogène (Béton dans la phase pendulaire), et le malaxage doit durer quelques minutes après l'ajout des fibres

c. Méthode d'introduction des fibres :

Tout comme le moment d'introduction des fibres, le mode d'introduction des fibres dans le malaxeur n'est pas clairement défini. L'ajout manuel des fibres dans le mélange reflète assez bien la réalité industrielle

Le malaxage de BFUP a été réalisé avec un malaxeur de laboratoire pour mortier à axe vertical, constitué d'une cuve et d'une palette centrale tournante à deux vitesses lente et rapide, de capacité de 5 litres.



Figure III.11: Malaxeur électrique utilisée dans la fabrication de BFUP

III.3.3 Procédure expérimentale :**III 3.3.1. Préparations des éprouvettes et déroulement des essais :**

Les essais sont effectués sur des éprouvettes prismatiques en mortier de dimensions (4×4×16) cm³, à raison de trois éprouvettes par essai.

Dans tous les essais le rapport E/C a été fixé sur [0.25] pour tous les mortiers [BFUP]avec et sans fibre. La préparation des éprouvettes est réalisée selon la norme NF P 18-400. Les moules ont été couverts de film plastique et stockés dans le laboratoire dans les premières 24h.

Après 24 heures, les échantillons ont été démoulés et conservés dans l'eau à une température ambiante jusqu'à l'âge de l'essai (28j). A 28 J, les tests de résistances mécaniques des mortiers ont été effectués selon la norme NF 15 403 et NF EN196-1.

Dans notre étude, les éprouvettes prismatiques ont été confectionnées avec des Bétons Fibrés Ultra Haut Performance, cinq types de formulations étaient utilisées. Pour la fabrication des différents échantillons à étudier, la quantité de sable, ciment, Fumée de silice, plastifiant et d'eau restent constant quel que soit la formulation, ne changeant que les pourcentages et le type de sables ainsi que les pourcentages des fibres utilisés, afin de voir leurs effets sur les résistances mécaniques du BFUP.

III.3.3.2: Constituant du BFUP :

Les constituants du BFUP sont présentés dans le (Tableau.III.6 et III.7)

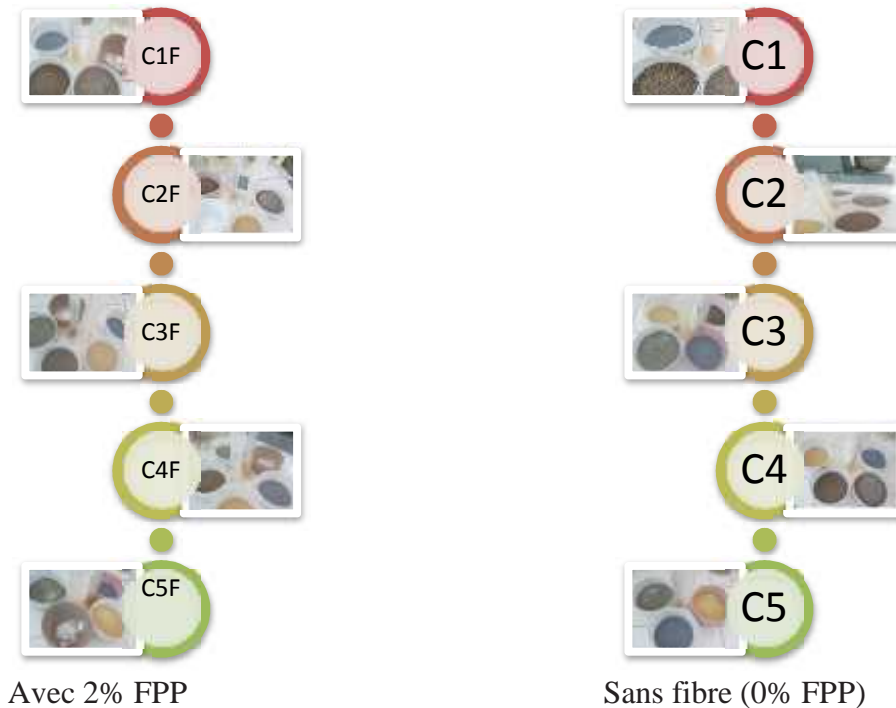


Figure.III.12 : Constituants des différentes formulations du BFUP

Remarque :

La précision de dosage des ingrédients ainsi que la puissance de malaxage sont deux paramètres essentiels pour l'obtention de propriétés rhéologiques et mécaniques désirées.

Le remplissage et conservation des moules s'est fait comme suit :

- Après gâchage, on procède au remplissage à raison de deux couches, dans des moules métalliques qui ont été enduits d'huile à l'avance.
- On procède au vibration à la table vibrante pour les deux couches
- Araser et lisser la surface du béton avec une truelle.

La conservation des moules contenant les éprouvettes, se fait dans le laboratoire, et afin d'éviter toute dessiccation initiale, on protège les moules par du film plastique.

Après 24 h les éprouvettes sont démoulées, notées et immergées dans un bassin d'eau jusqu'à l'âge de 28 jours. (Voir la figure) :



Figure III.13: Remplissage et Conservation des échantillons du BFUP [Photos prises au laboratoire de béton Génie Civil- UMMTO]

Nous avons conservé les échantillons dans un bassin de conservation rempli d'eau, juste après le démoulage pour y subir une cure d'hydratation jusqu'au mûrissement du béton à 28 jours, dans le but d'avoir un béton n'ayant pas subi de dessiccation.

Toutes les éprouvettes ont été testées après 28 jours de mûrissement afin de déterminer les propriétés mécaniques du béton Fibrés Ultra Haut Performance aussi bien témoin.

III.3.3.4. Caractérisation des différentes compositions :

- **Contrôle par ultrasons : [81]**

C'est un essai non destructif très important qui permet d'évaluer plusieurs caractéristiques du béton durci telles que : le degré de compacité, de fissuration, l'uniformité de coulage

Le principe de la méthode des ultrasons consiste à mesurer le temps de propagation des impulsions ultrasoniques traversant le béton. Les résultats obtenus et donc leur interprétation dépendent du type de procédé de mesure appliqué et notamment la position des transducteurs de l'appareil à ultrasons

Disposition des transducteurs :

Trois types de dispositions des transducteurs sont communément utilisés :

- Mesure par la transmission directe.
- Mesure par la transmission semi directe
- Mesure par la transmission indirecte ou de surface.

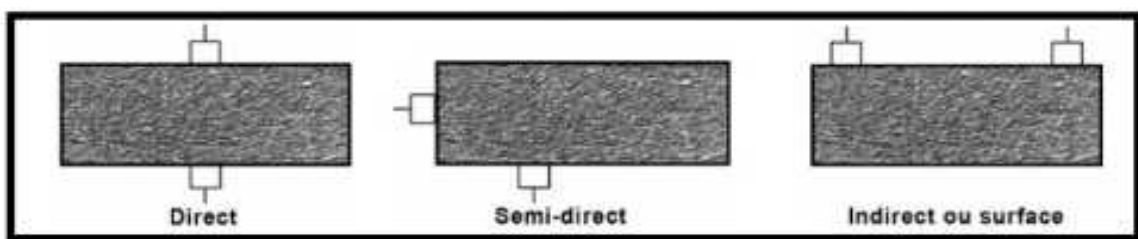


Figure III. 14 : Différents types de dispositions des transducteurs [81]

Chaque fois que cela est possible, il est recommandé d'utiliser la disposition directe, c'est la meilleure méthode. Elle consiste à presser les deux têtes de mesure sur deux faces de l'éprouvette, en utilisant une pâte de contact qui facilite la transmission maximale du signal entre les transducteurs.

La disposition semi-directe est moins sensible que la disposition directe mais plus sensible que la disposition indirecte.

La méthode indirecte est particulièrement utile pour la détermination de la profondeur des fissures, de la qualité de la surface ou dans le cas où une seule surface est accessible. Des données de base sont communes à chaque méthode de mesure. La distance (longueur de trajet) entre les transducteurs doit être mesurée aussi précisément que possible. Il est très important d'assurer un couplage acoustique des transducteurs approprié avec la surface à tester, ainsi une fine couche de couplant doit être appliquée sur le transducteur et sur la surface à tester, et dans certains cas, il peut s'avérer nécessaire de préparer la surface en elle-même en la grattant, la lissant, et nettoyant correctement.

Une fois l'appareil mis en marche, on peut lire le temps de propagation en microseconde.

La vitesse de propagation est donnée alors par l'équation suivante [81] :

$$V = d/t$$

Avec :

V: vitesse de propagation en [m/s]

d: distance entre les têtes en [m].

t: temps en microseconde

Des travaux effectués montrent qu'il y a une relation directe entre la vitesse de propagation des ondes dans un béton et sa qualité. Le tableau III.9 donne un classement.

Tableau III. 8 : La vitesse de propagation des ondes et la qualité du béton [82]

Vitesse de propagation (m/s)	La qualité de Béton
Supérieure à 4575	Excellente
3660 à 4575	Bonne
3050 à 3660	Douteuse
2135 à 3050	Mauvaise
Inférieure à 2135	Très mauvaise

Pour déterminer la vitesse longitudinale, nous avons utilisé dit appareil de PUNDIT de marque « proceq » (Figure. III.18). Avant de commencer le contrôle de nos éprouvettes l'appareil à ultrasons doit être étalonné avec l'étalon montré ci-dessous.



Étalonnage de l'appareil



Appareil de contrôle à ultrasons.

Figure III.15: Appareil ultrasons [Laboratoire de Béton-Génie Civil-UMMTO]

III.3.3.4.1 Essais de caractérisation du BFUP à l'état durci :

Ces essais sont effectués au niveau de laboratoire : Composite et Mécanique des Matériaux-Unité de Recherche : Matériaux, Procédés et Environnement-Faculté : Sciences et Ingénierie- Université M'HAMED BOUGARA-Boumerdes

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression et à la traction par Flexion du Béton Fibré Ultra Haut Performance.

III.3.3.4.1.1 Résistance à la flexion : Selon la norme (NFP18-407)

Cet essai est effectué sous charge concentrée exécuté par un bâti de flexion de type Toni Technique piloté par ordinateur équipé du logiciel Test Expert V7.11, et doté d'un capteur de force de 100 KN

Cette machine est munie d'un dispositif à trois rouleaux, sur les éprouvettes en béton fibré ultra haute performance (4x4x16) [cm³] :

Dispositif de l'essai de flexion :**a. Flexion trois points :**

Le dispositif de flexion comporte deux appuis à rouleau de 10 mm de diamètre, distant de 120mm, sur lesquels repose l'éprouvette prismatique suivant une face latérale de moulage, et un troisième rouleau de même diamètre, équidistant des deux premiers, et transmettant la charge F . Afin de transmettre une répartition uniforme des efforts sur l'éprouvette, deux rouleaux doivent pouvoir osciller légèrement de leur centre dans le plan vertical perpendiculaire au grand axe de l'éprouvette.

La Figure III.17 montre une poutre sous chargement de flexion trois-points

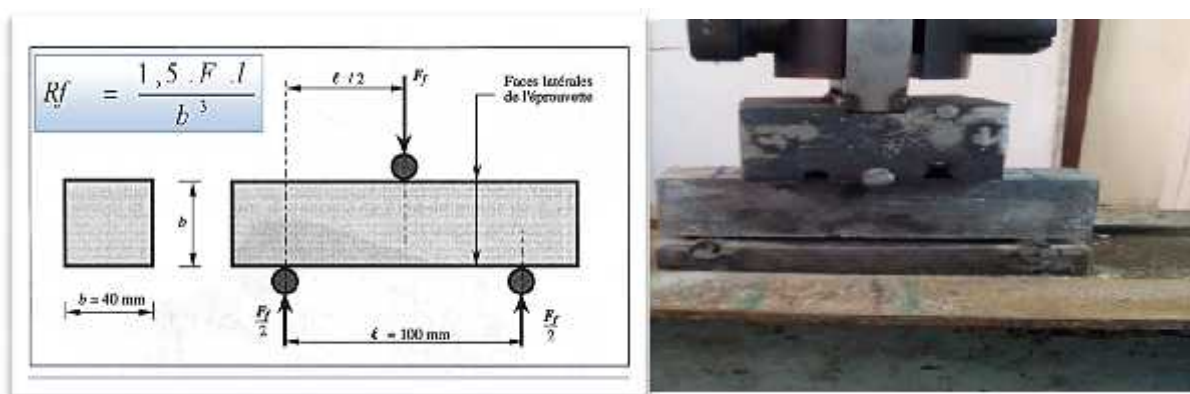


Figure III.16: Dispositif de l'essai mécanique de rupture par flexion (3 points)

[Laboratoire UR-MPE/FSI-Boumerdes]

b. Flexion quatre points :

La Figure III.18 montre une structure sous chargement de flexion Quatre-points. Dans ce cas on utilise les mêmes appuis simples, mais on applique deux charges au lieu d'une seule charge concentrée.

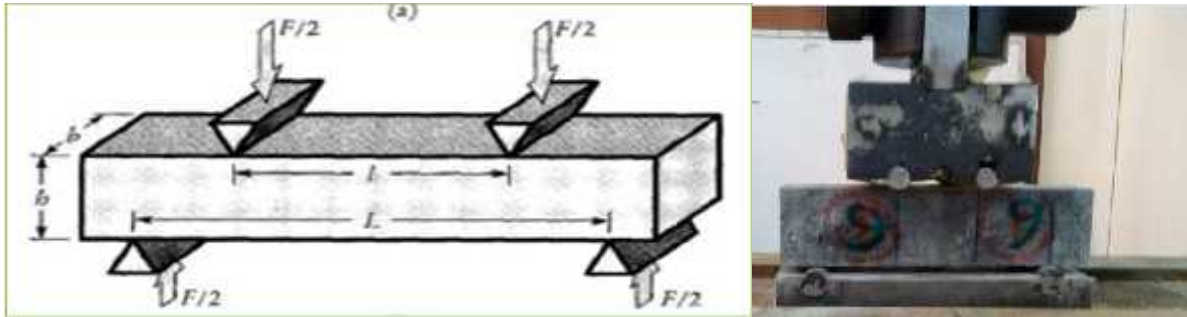


Figure III.17 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (4 points)

La résistance à la flexion (4 points) est calculée selon l'équation Générale :

$$\sigma = \frac{F \cdot l}{2 \times h^2}$$

Dans notre cas $b = h$ d'où l'équation devient :

$$\sigma = \frac{F \cdot l}{2 \cdot b^3}$$

Avec :

σ : Résistance à la flexion (4 pts) en [MPa].

Ff: Charge de rupture de l'éprouvette en flexion [KN].

l : Longueur qui sépare les deux appuis égale à 120mm.

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

III.3.3.4.1.2. Résistance mécanique à la compression (NF P 15-471) :

L'essai de compression est effectué sur les demi- éprouvettes provenant de l'essai de flexion. Il est exécuté sur un bâti de compression de type Toni Technique piloté par ordinateur équipé du logiciel Test Expert V7.11, et doté d'un capteur de force de 3000 KN. Celle-ci est reliée à une machine d'acquisition qui permet l'enregistrement simultané de la force en fonction du temps. Le pas de chargement est de : $V = 0.5$ [KN/ s]

Dispositif de l'essai

Chaque demi prisme est testé en compression sur ses faces de moulage, sous une section de 40×40 [mm²], entre deux plaques de métal dur d'au moins 10mm d'épaisseur, de 40 mm de largeur. Le demi-prisme est placé entre elles de manière que son extrémité intacte dépasse d'environ 1cm

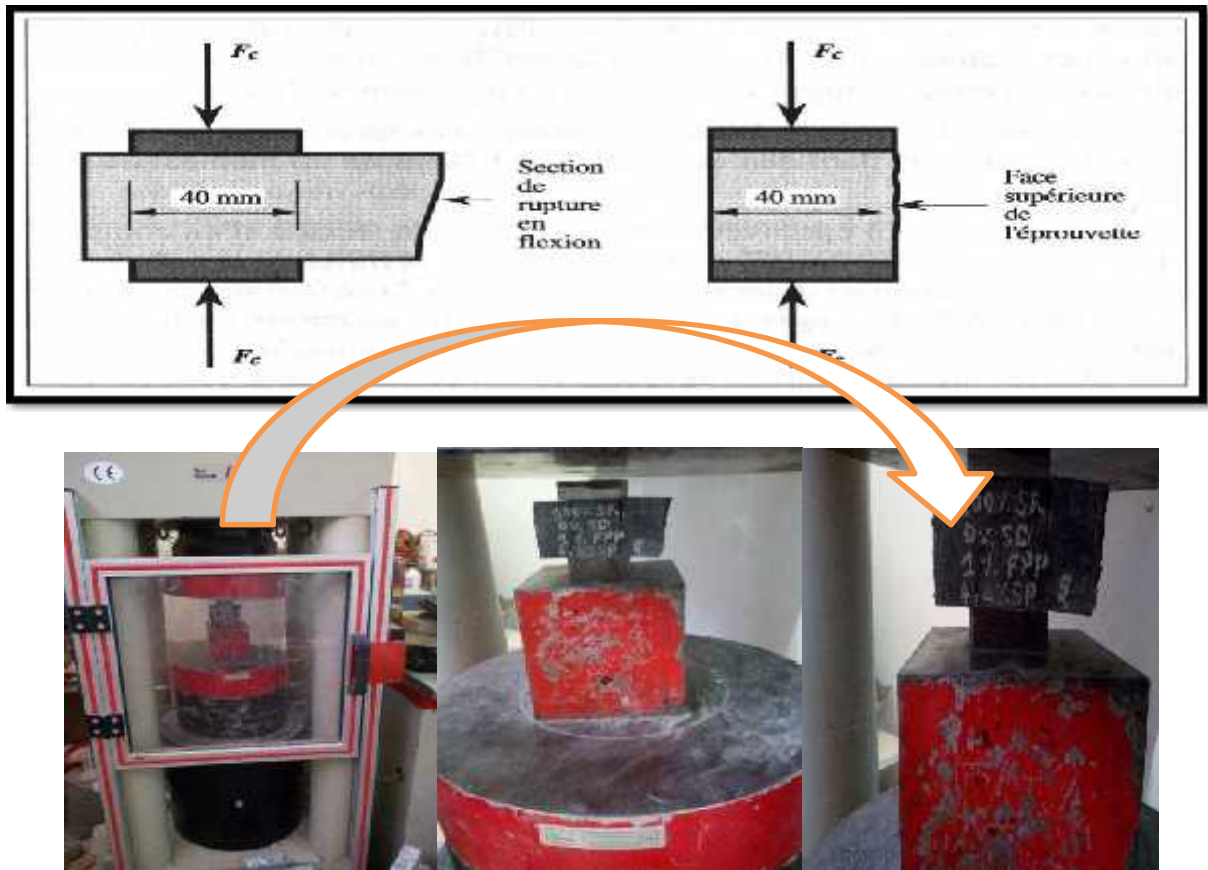


Figure III.18: Dispositif de l'essai mécanique de Compression
[Laboratoire UR-MPE/FSI-Boumerdes]

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

$$R_f = \frac{F'_c}{b^2}$$

Avec :

R_f: Résistance à la compression en [MPa]

F_c : Charge de rupture en [N]

b : Côte de l'éprouvette est égale à 40 [mm].

III.3.3.4.1.3. Cisaillement par compression :



Figure III.19: Dispositif de rupture en cisaillement par compression [Laboratoire UR-MPE/FSI-Boumerdes]

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté en détails tous les éléments de l'analyse expérimentale, en commençant par les caractérisations de différents constituants ; la formulation des bétons, la confection des éprouvettes, le mode opératoire et les différentes essais mécaniques considérés dans ce travail. Les différents résultats obtenus à l'issue des tests effectués sont présentés et illustrés dans le chapitre suivant.



Chapitre IV :
Résultats et analyses

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les différents résultats expérimentaux obtenus à partir des essais réalisés sur les Bétons Fibrés Ultra Hauts Performances avec et sans fibres à l'état durcis.

On rappelle, durant l'étude cinq compositions de BFUP à différents pourcentages et types de sable ont été réalisées ([100%SR-0% SD] - [95%SR-5%SD] - [90%SR-10%SD] – [85%SR-15%SD] – [80%SR-20%SD]) à raison de trois éprouvettes par essai.

IV.2 Les propriétés physico-mécaniques

IV.2.1 Résultats des masses des bétons durcis :

Pour chaque formulation en BFUP sont confectionnés trois éprouvettes de dimensions 4×4×16 [cm³]. Au 28ème jour, avant écrasement, les éprouvettes sont retirées de l'eau et systématiquement pesées (humide), puis soumises à l'essai non destructif de mesure d'Ultrasons, puis aux essais destructifs de Flexion et de compression.

La moyenne des masses de différentes éprouvettes en BFUP a été calculée en utilisant la formule suivante :

$$M_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^{i=3} m_i}{3}$$

Avec :

m_i : correspond à la masse d'éprouvette mesurée.

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau IV.1 suivant :

Tableau IV.1 : Récapitulatif des pesées des masses des éprouvettes avant et après conservation dans l'eau

Compositions	Avec Fibre (1%)		Témoin (0%)	
	Avant	Après	Avant	Après
Composition I : 100%SR-0% SD	598.1 g	603 .8 g	589.3 g	598.3 g
Composition II : 95 % SR-05% SD	590.1 g	597.8 g	596.6g	603 g
Composition III : 90%SR-10%SD	582 g	590.5 g	578.9 g	586.5 g
Composition IV : 85%SR-15%SD	593.5 g	600.3 g	582.2 g	585.2 g
Composition V : 80%SR-20%SD	586.9 g	593.5 g	583 .9 g	587.5 g

Afin de faciliter l'interprétation de ces résultats, nous avons représenté en histogramme les masses des éprouvettes prismatiques avant et après la conservation dans l'eau.

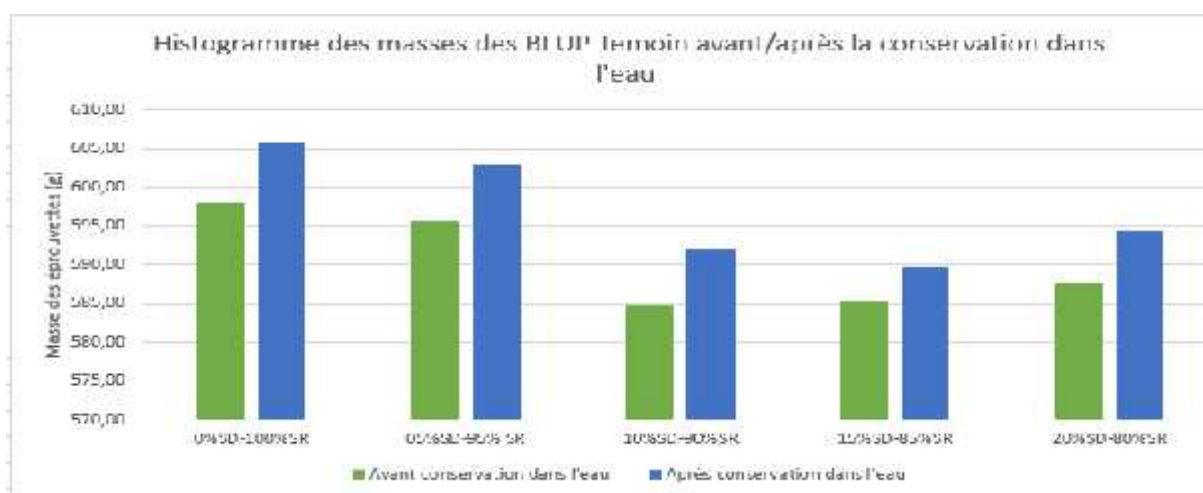


Figure IV.1 : Histogramme des masses d'éprouvettes Prismatiques non Fibrés (Témoin) avant/après la conservation dans l'eau

- Nous remarquons que la première formulation de BFUP (100%SR) Fibré et non fibré à 28 jours présente la plus grande masse après conservation dans l'eau, qui égale à 603.8 g pour BFUP avec 2% de FPP et 605.9 g pour le témoin.
- Nous remarquons aussi que la troisième formulation (BFUP avec 10%SD - 90%SR) qui as la plus petite masse parmi toutes les formulations.
- D'après les deux histogrammes, nous observons une augmentation de la masse d'éprouvette après la conservation dans l'eau pour les différents BFUP au cours du temps.
- Cette augmentation de masse s'explique par la pénétration dans l'éprouvette et le remplissage de la porosité accessible par l'eau du milieu de conservation, plus cette quantité d'eau est importante, plus cela indique que la porosité du matériau est importante.

IV.2.2. Contrôle non destructif :

IV.2.2.1. Résultats des essais d'auscultation sonore (ultra-son) :

Au 28ème jours, après les pesées, les éprouvettes prismatiques ont été testées à l'ultrason. Les vitesses des ultrasons ont été déterminées par mesure du temps de parcours sur une série de trois éprouvettes pour chaque formulation de BFUP utilisée. Les mesures des vitesses à l'ultrason ont été réalisées en mode de transmission directe. Ce mode fournit le maximum d'énergie. Elles sont réalisées par un testeur ultrasonique EN 12504-4 Réf 10.0497 de marque Proceq aussi appelé appareil de PUNDIT, comprenant un transducteur de transmission et un transducteur de réception de calé à 150 kHz de fréquence.

Pour une meilleure précision, nous avons répété l'essai trois fois sur chaque éprouvette, et nous avons par la suite calculé la moyenne des trois mesures obtenues sur chaque éprouvette de BFUP.

Afin d'avoir une meilleure idée des résultats des vitesses, nous avons calculé les moyennes des vitesses obtenues sur les trois éprouvettes de chaque formulation. Ces résultats sont représentés dans les tableaux IV.2 et IV.3 et reportés sur un histogramme tel que schématisé sur la figure suivante :

Tableau IV. 2 : Vitesse longitudinale de propagation des ultrasons en BFUP (2% FPP)

Formulation	C1F	C2F	C3F	C4F	C5F
Vitesse (m/s)	4741	4790	4898	4814	4986

Tableau IV. 3 : Vitesse longitudinale de propagation des ultrasons en BFUP Témoin (0%FPP)

Formulation	C1	C2	C3	C4	C5
Vitesse (m/s)	4863	4826	4954	4793	4940

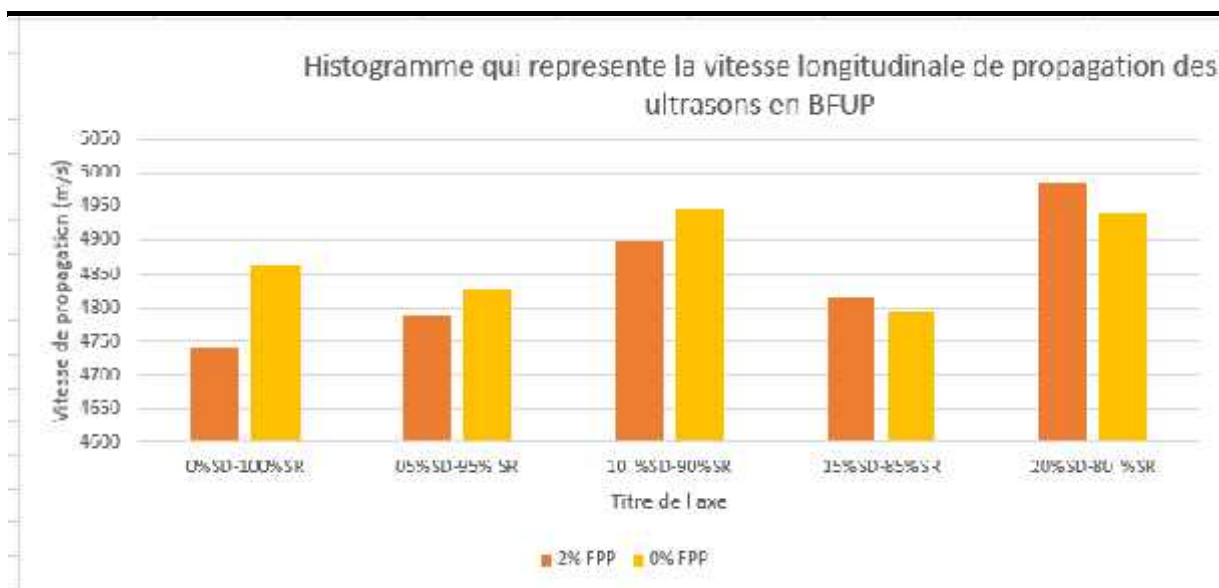


Figure IV.2: Evolution de la vitesse d'onde des différents BFUP

Discussion et interprétation des résultats :

D'après les résultats obtenus, et à partir du tableau III.9 [classement qualitatif exigée par la norme française [EN 1250-4]](Voir chapitre III) nous remarquons que les valeurs de la vitesse de propagation d'ondes obtenus pour les différents BFUP confectionnés traduisent une très bonne compacité du matériau.

D'après les résultats représentés sur l'histogramme, on souligne les points suivants :

-Pour la première formulation(100%SR), une baisse importante de la vitesse d'onde des BFUP avec 2% de fibre, comparée à celle du BFUP témoin

- Pour la deuxième formulation (95% SR-5% SD), une diminution de la vitesse est également soulignée pour les BFUP avec 2% de fibre quoique relativement faible, ainsi qu'une baisse légère de la vitesse d'onde pour le BFUP témoin comparant à la première formulation

-Pour la troisième formulation (%90SR-10%SD), la même observation est faite concernant la baisse des vitesses dans le béton fibré comparativement au non fibré.

-Concernant la quatrième formulation (85%SR-15%SD), la tendance inverse se produit, i.e. que nous observons une augmentation de la vitesse du béton fibré par rapport au non fibré.

-Enfin, pour la dernière formulation, dans le cas d'une substitution totale du sable de rivière par le sable de dune (80% SR-20%SD) la même tendance que la 4^{ème} formulation est observée avec une vitesse plus importante en présence de fibres.

- En termes de vitesses ultrasonores, globalement indépendamment de la présence de fibres, nous observons que les mélanges les performants en termes de transmission d'ondes acoustiques sont les compositions 3 et 5, tandis que les compositions 1, 2 et 4, restent dans les mêmes ordres de grandeurs les unes les autres. Les bonnes performances des mélanges 3 et 5 s'expliqueraient par l'optimisation du squelette granulaire, qui se traduit par la compacité la plus élevée. Effectivement le mélange constitué de SD uniquement est logiquement le plus compact car ce sable est par nature à granulométrie très fine. Le comportement de la composition 3, s'expliquerait aussi par la compacité élevée voire optimale du mélange SR et SD, la porosité entre les granulats « grossier » du sable de rivière étant comblé par les grains de sable de dune plus fins. Nous pouvons observer également, que ces BFUP font bien partie des ordres de grandeurs des BFUP de très bonne compacité. Ceci a été observé dans tous les cas de substitution partielle ou totale du sable de rivière par le sable de dune. Le sable de dune confère donc au matériau une bonne compacité, en remplissant ainsi les vides qui se trouvent dans la matrice cimentaire.

IV.2.3. Essais à l'état durci :

IV.2.3.1. Résultats des résistances à la compression à 28 jours (NF P 18-406) :

La résistance mécanique en compression est une caractéristique essentielle du matériau d'un béton ou d'un mortier ; elle correspond à la charge de rupture (charge maximale) enregistrée au cours de l'essai d'écrasement sous une contrainte normale axiale. La mise en charge doit se faire d'une manière continue jusqu'à la rupture de l'éprouvette. (Voir la figure IV.4)

Nous avons procédé à trois mesures (essais), pour chaque formulation, les résultats obtenus sont consignés dans le tableau (IV.4).



a. Avec 2% Fibre

b. Sans Fibre

Figure IV.3: États de l'éprouvette avant et après l'essai de compression

La moyenne des résistances mécaniques obtenues à 28 jours sur les trois éprouvettes testées, pour les différentes formules de BFUP sont récapitulés dans le tableau IV.4. Celle-ci est calculée en utilisant la formule suivante :

$$R_{cmoyenne} = \frac{\sum_{i=1}^{i=3} R_{ci}}{3}$$

R_{ci} : Résistance mesurée sur l'éprouvette i .

Tableau IV.4 : Résistances moyennes à la compression des BFUP étudiés à 28j

Compositions	Type d'essai	Avec Fibre (2%)	Témoin (0%)
Composition I : 100%SR-0% SD	Compression	54.78 [MPa]	46.28 [MPa]
Composition II : 95 % SR-5% SD	Compression	90.60[MPa]	65.63[MPa]
Composition III : 90%SR-10%SD	Compression	90.72 [MPa]	89.77 [MPa]
Composition IV : 85%SR-15%SD	Compression	103.45[MPa]	97.98[MPa]
Composition V : 80%SR-20%SD	Compression	80.06[MPa]	61.46[MPa]

Les résultats du tableau IV.4 sont présentés dans la figure IV.4 suivante :

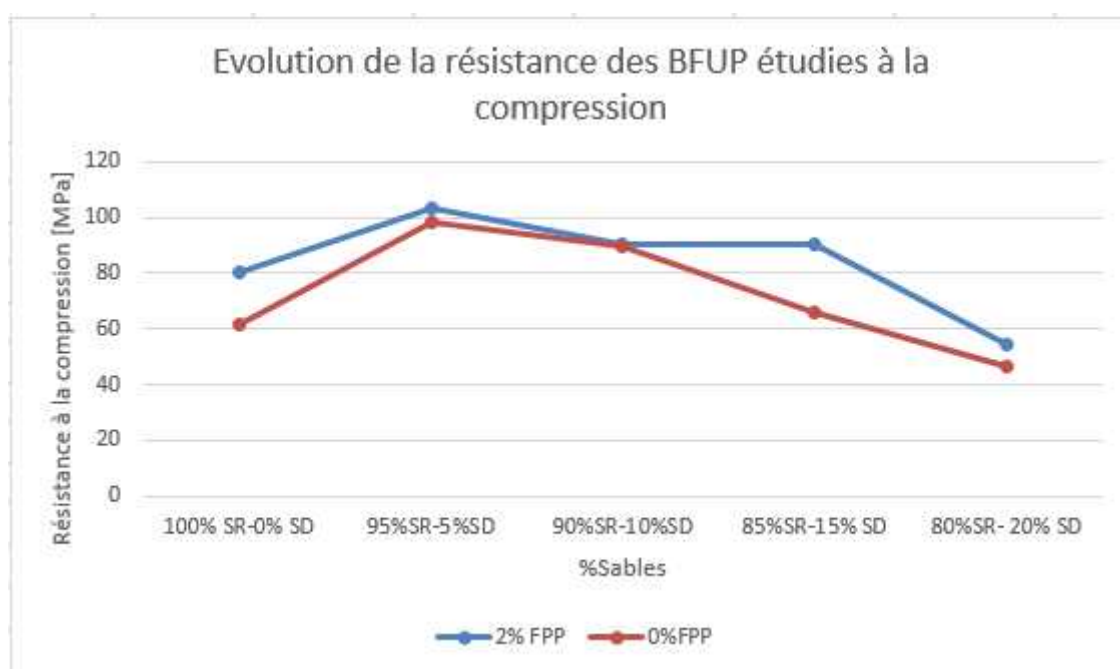


Figure IV.4: Effet de variation du Pourcentage de Sable de rivière des BFUP étudiées sur la résistance en compression à 28 jours

IV.2.3.2 Résistance à la flexion 3 Pts (Norme NF EN 12390-5)

Lors d'un essai de flexion trois points, l'éprouvette de BFUP est soumise dans sa partie supérieure à des contraintes de compression et dans sa partie inférieure à des contraintes de traction. Etant donné que la résistance du BFUP à la traction est très faible par rapport à celle en compression, l'éprouvette va se rompre dès que celui-ci aura atteint sa limite en traction. La contrainte R_t correspond à la rupture résultant d'un calcul classique de résistance des matériaux en élasticité (contrainte de traction par flexion)

Nous rappelons les essais de traction par flexion sont effectués sur des éprouvettes prismatiques $4 \times 4 \times 16$ [cm³] sur la machine TONY TECHNIQUE 100KN pilotée par ordinateur.

La rupture de chaque éprouvette en flexion a été effectuée conformément au dispositif décrit sur la Figure.III.4 (Voir Chapitre III)

Pour chaque mélange, nous avons testé la résistance à la traction après 28 jours de conservation à l'eau. La photo de la Figure IV.5 représente le dispositif utilisés pour la réalisation de l'essai ainsi que l'état de l'éprouvette après l'essai de traction par flexion.



a. Dispositif de l'essai b. Flexion 3pts 1%FPP- c. flexion 3pts 0%FPP

Figure IV.5 : Dispositif de l'essai ainsi que l'état de l'éprouvette avant et après l'essai de traction par flexion.

Résultats et discussions :

Les valeurs moyennées de la résistance en traction par flexion (3 Pts) pour chaque mélange sont regroupées dans le tableau. IV.4.

Tableau. IV.5 : Valeurs de la résistance en traction des différentes formulations

Compositions	Type d'essai	Avec Fibre (1%)	Témoin (0%)
Composition I : 100%SR-0% SD	Flexion 3 Pts	5.34 [MPa]	4.89 [MPa]
Composition II : 95 % SR-05% SD	Flexion 3 Pts	6.77[MPa]	4.92 [MPa]
Composition III : 90%SR-10%SD	Flexion 3 Pts	6.85 [MPa]	6.58 [MPa]
Composition IV : 85%SR-15%SD	Flexion 3 Pts	6.43[MPa]	4.26 [MPa]
Composition V : 80%SR-20%SD	Flexion 3 Pts	7.40 [MPa]	6.39[MPa]

L'amélioration de la résistance à la traction est le premier objectif recherché par l'incorporation de fibres dans le béton

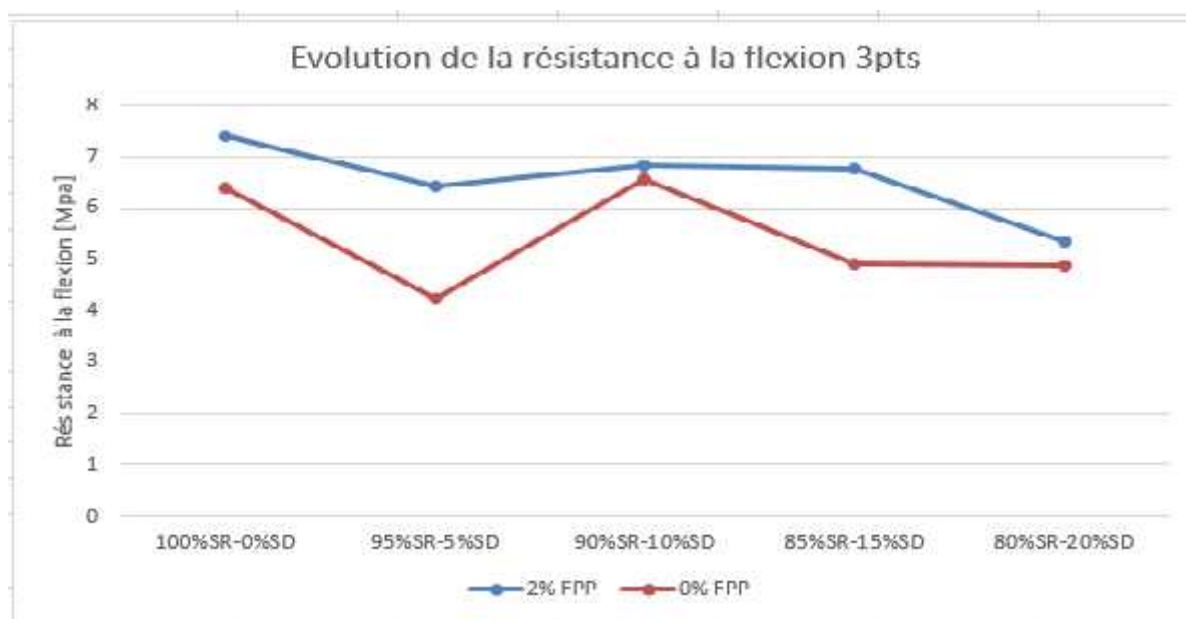


Figure IV. 6 : Effet de variation de Pourcentages des sables sur la résistance en traction par flexion(3pts) des BFUP avec entaille à 28 jours.

D'après les résultats des courbes, nous constatons similairement aux éprouvettes sans entailles, un apport positif des fibres dans le béton sur le maintien de la résistance mécanique à la traction au fur et à mesure de l'augmentation du taux de sable de dune, mais aussi sur la valeur de la résistance à la traction à proprement dit. Effectivement, le béton ne contenant pas de fibres, présente systématiquement des valeurs de résistances plus faibles que les bétons contenant des fibres. Pour ce qui est de l'effet de la composition granulaire sur la résistance, une quasi-similarité entre les différentes compositions est notée.

IV.2.3.3. Résultats des essais de Flexion 4 points :

Le test de flexion quatre points, est similaire à l'essai de flexion trois points mais présente l'avantage de ne pas positionner l'appui au niveau de la zone de rupture. Ceci est en effet une limitation du système à trois points où l'appui central peut endommager l'éprouvette (pré-fissuration de contact) et fausser ainsi les résultats en entraînant une rupture précoce de celle-ci. Aussi, contrairement au test de flexion 3 pts, le comportement de rupture principal de ce type de test est un cisaillement et non pas une rupture par traction.

La figure (IV.7) illustre l'état de l'éprouvette testée avant et après l'essai (post-rupture)



Figure IV.7 : Etat de l'éprouvette après l'essai de flexion 4 points

Dans cette partie, nous présentons les différents résultats expérimentaux obtenus lors d'essais de flexion 4 points

Tableau IV.6: Valeurs de la résistance en Flexion(4pts) des différentes formulations

Compositions	Type d'essai	Avec Fibre (2%)	Témoin (0%)
Composition I : 100%SR-0% SD	Flexion 4 Pts	4.3 [MPa]	4.8 [MPa]
Composition II : 95 % SR-5% SD	Flexion 4 Pts	5.0 [MPa]	5.7 [MPa]
Composition III : 90%SR-10%SD	Flexion 4 Pts	5.3 [MPa]	5.1 [MPa]
Composition IV : 85%SR-15%SD	Flexion 4 Pts	4.31 [MPa]	4.4 [MPa]
Composition V : 80%SR-20%SD	Flexion 4 Pts	5.2 [MPa]	4.7 [MPa]

Les résultats du tableau IV.6 sont repris dans le graphe IV.8 en fonction des pourcentages de sables.

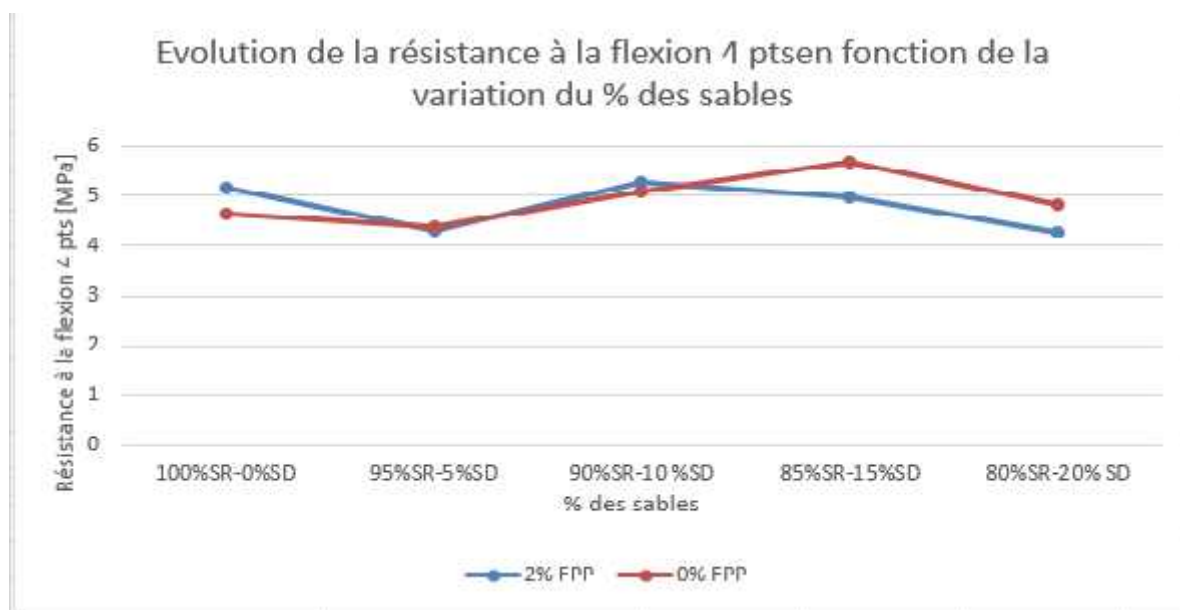


Figure IV.8: Effet de variation du Pourcentage des Sables des BFUP étudiées sur la résistance en Flexion (4 Pts) à 28 jours.

La figure IV .8 montre l'effet de variation du pourcentage des sables de BFUP étudiées sur la résistance en flexion (4 Pts) en comparaison les BFUP fibrés et non fibrés. Sur les deux types étudiés, nous observons que l'allure de la courbe du BFUP (fibré) ne diffère pas de BFUP (Témoin), il n'y a pas de variation notable entre les résistance mécanique en flexion 4 pts (Contraire de cisaillement) du BFUP fibré et le témoin .A partir du comparatif des courbes ,nous constatons que dans l'ensemble l'adoption d'un pourcentage élevé de sable de rivière ;donne globalement une meilleure résistance mécanique en flexion 4 pts par rapport à un sable de dune ,cela dit, l'optimisation de la formulation (cas C2 atteignant 5.7 [MPa] pour le témoin et C2F atteignant 5 [MPa] pour le BFUP fibré) permet d'obtenir des résistances mécaniques élevées via notamment le choix de pourcentage de sable.

IV.2.3.4. Cisaillement par compression :

Le cisaillement est un mode de rupture souvent déterminant pour assurer la résistance des structures en béton armé ou précontraint. Pour des éléments ne comportant pas d'armatures transversales, ce mode de rupture est généralement fragile entraînant l'effondrement de la structure sans signes avant-coureurs L'importante résistance en traction des Bétons Fibrés Ultra-Performants (BFUP) permet aux éléments d'atteindre des résistances ainsi qu'une capacité de déformation au cisaillement nettement

supérieures. Dans la majorité des cas, la résistance du BFUP seul est suffisante permettant ainsi de s'affranchir d'une armature transversale.

Tableau IV.7 : Valeurs de la résistance au cisaillement des différentes formulations

Compositions	Type d'essai	Avec Fibre (1%)	Témoin (0%)
Composition I : 100%SR-0% SD	Cisaillement par Compression	12.54 [Kn]	7.54 [Kn]
Composition II : 95 % SR-5% SD	Cisaillement par Compression	17.11 [Kn]	11.43 [Kn]
Composition III : 90%SR-10%SD	Cisaillement par Compression	17.00 [Kn]	7.60 [Kn]
Composition IV : 85%SR-25%SD	Cisaillement par Compression	14.26 [Kn]	5.92 [Kn]
Composition V : 80%SR-20%SD	Cisaillement par Compression	17.96 [Kn]	8.84 [Kn]

La figure I.V.9 présente les résultats du tableau I.V.6 en fonction de la variation du pourcentage des deux sables.

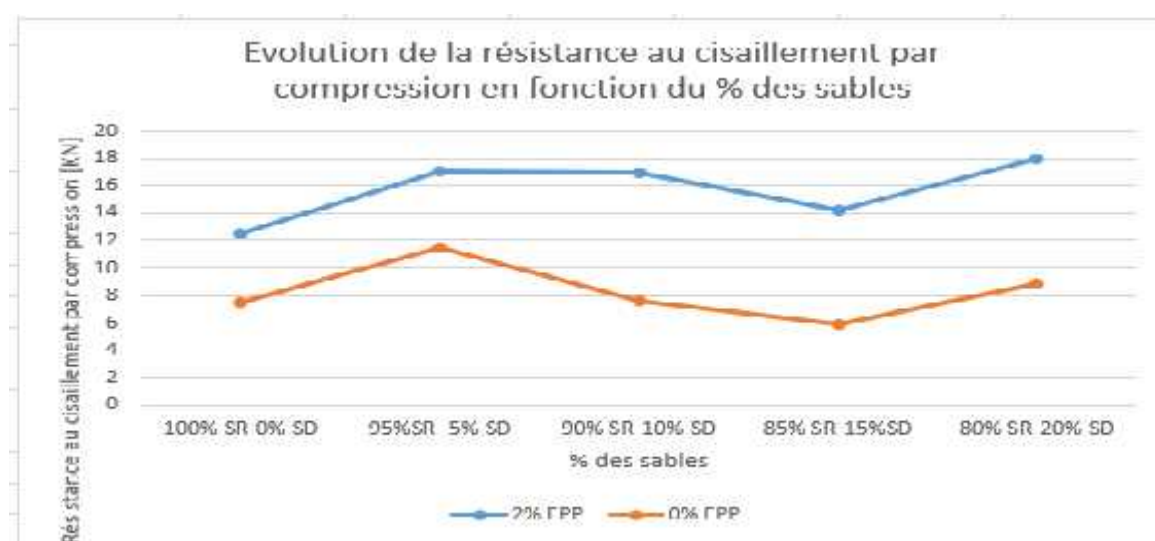


Figure IV .9 : Effet de variation du Pourcentage de Sable de Dune des BFUP étudiées sur la résistance au cisaillement à 28 jours

D'après ces résultats nous remarquons clairement l'effet des fibres sur la résistance au cisaillement des éprouvettes de BFUP, effectivement tous les mélanges fibrés présentent des résistances mécaniques bien plus élevées que les éprouvettes non-fibrées, cela s'explique par la couture des fissures par les fibres, empêchant leur ouverture et leur propagation. Le différentiel avec les témoins est quasi-constant quel que soit le mélange étudié, si ce n'est un léger rétrécissement aux mélanges à forts dosages en sables de dunes 85%SR-15%SD et 80%SR-20%SD. Concernant l'effet du mélange sur la résistance au cisaillement par compression, la courbe montre que la résistance au cisaillement par compression est positivement corrélée avec le pourcentage de sable de dune. En effet le mélange composé exclusivement de sable de rivière présente une charge de rupture de 12.54 KN, tandis que celle-ci passe à 17.96 KN pour le mélange contenant du sable de dune exclusivement.

IV.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés à l'étude de l'influence de la nature et du dosage de deux types de sables, sable de dune et sable de rivière sur la caractérisation des mécaniques (compression, traction par flexion, cisaillement par flexion, cisaillement par compression), de BFUP contenant tantôt des fibres polypropylène à 1%, tantôt n'en contenant pas. Les résultats montrent que :

- Propriété de transmission acoustique élevée des bétons confectionnés, indicative d'une matrice de forte compacité et de faible porosité, et donc susceptible de mieux résister aux agents chimiques extérieurs.
- Des résistances mécaniques obtenues sont plus élevées que pour les bétons ordinaires et béton à hautes résistances, et ce malgré l'utilisation d'un ciment CEM 42.5 N.
- L'addition du sable de dune à un effet bénéfique sur les performances mécaniques des BFUP.
- Les proportions du mélange granulaire sable de rivière-sable ont une influence sur les performances mécaniques des BFUP avec un mélange optimal observé à 85%SR et 15%SD.
- La présence de fibre a un effet notable même en faible pourcentage sur les performances des BFUP, et ce quel que soit le mécanisme de rupture étudié.



Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion générale

Les bétons fibrés ultra hautes performances (BFUP) sont des bétons modernes constitués principalement d'une quantité remarquable en liant, de sable fin, d'ultrafines, d'adjuvant, et de fibres.

Grâce aux ultrafines, qui remplissent les vides entre les grains, nous pouvons avoir un béton compact et de par l'utilisation des adjuvants qui réduisent la quantité d'eau et augmentent la fluidité ; nous aboutissons à un béton moins poreux, offrant des résistances et des performances exceptionnelles notamment :

- Une très grande ouvrabilité ;
- Des résistances caractéristiques à la compression et traction à 28 jours élevées.
- Une compacité très importante ;
- Une faible perméabilité.

La présente étude nous a permis de mettre en valeur d'une part l'utilisation des sables locaux disponibles en abondance en Algérie dans l'élaboration et la caractérisation de BFUP à Fibres Synthétiques Polypropylène, connus pour leur comportement mécanique très intéressant lorsqu'ils sont confectionnés à base de sable ordinaire (de rivière).

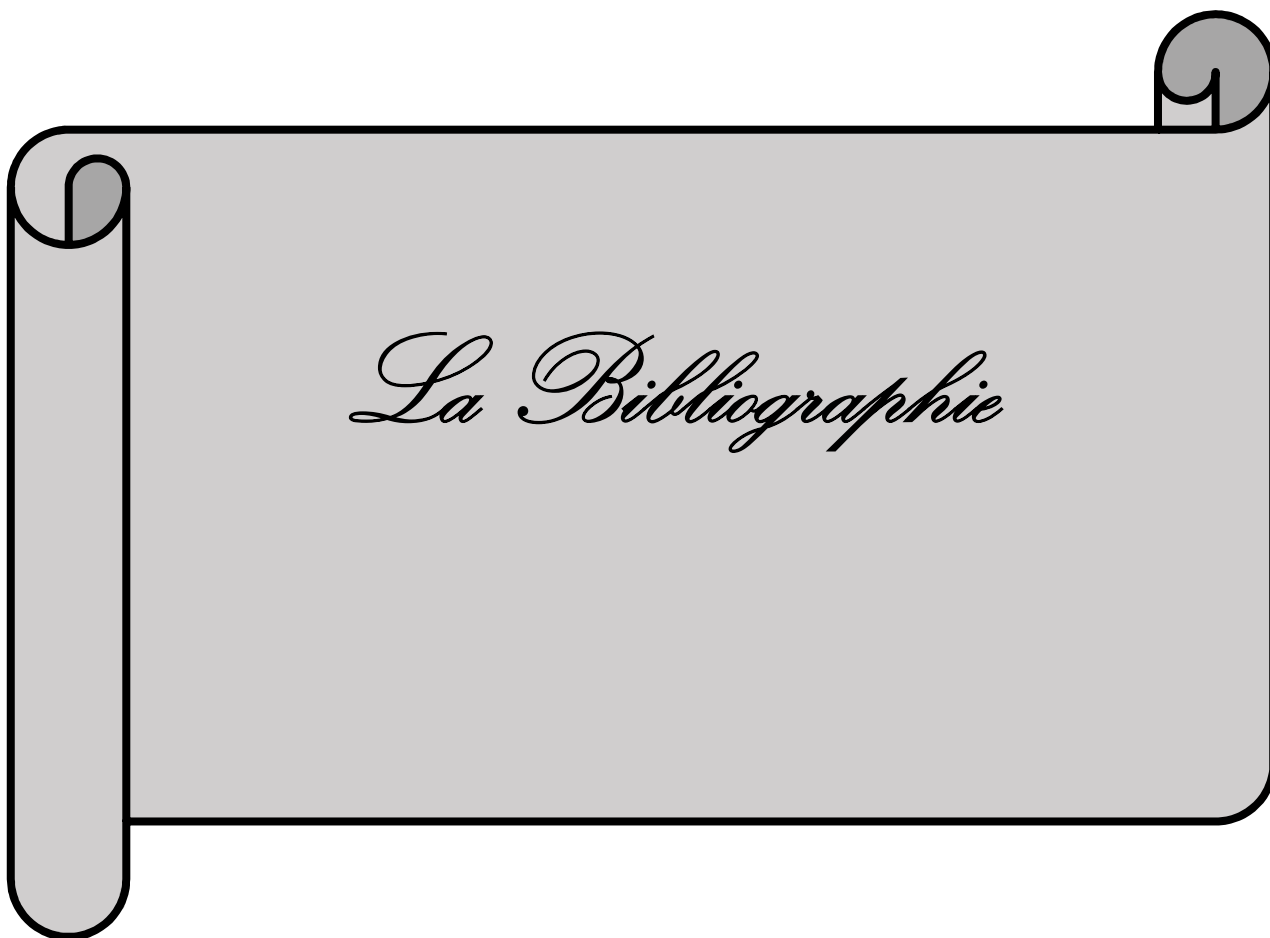
L'utilisation du sable de dune comme constituant dans la fabrication du BFUP a été effectué selon différentes proportions en adjonction avec un sable conventionnel de rivière. Ces différentes formulations nous ont permis de mieux comprendre l'effet de la nature du sable et son pourcentage sur les caractéristiques aussi bien physiques que mécaniques des BFUP.

Cinq formulations ont été choisies : 100%SR-0%SD, 95%SR-5%SD, 90%SR-10%SD, 85%SR-15%SD et 80%SR-20%SD afin de pouvoir délimiter les pourcentages de sable de dune tolérables pour les BFUP avec et sans fibres.

Conclusion Générale

A la lumière des résultats obtenus, nous sommes arrivés aux conclusions suivantes :

- Une squelette granulaire optimisé permet d'avoir une bonne compacité et une meilleure résistance mécanique, cela passe notamment par le choix de granulats de très petites dimensions.
- L'ajout des fibres permet d'obtenir systématiquement de meilleures performances mécaniques que ce soit en compression ou en traction.
- Tous les bétons étudiés, présentent des valeurs de vitesse de propagation sonore supérieure à 4200 m/s, ce qui correspond à un béton compact de bonne résistance mécanique.
- Les meilleures résistances à la compression et à la flexion sont obtenues par la composition C4F (15% SD + 85 % SR).
- L'ajout de sable de dune présente l'avantage double d'augmenter les performances mécaniques des BFUP comparé au sable de rivière, mais aussi de remplacer un matériau tarissable et surexploité par un matériau abondant et sous-exploité.



La Bibliographie



Bibliographie

[1] « Cours Béton Armé : Composition du Béton » Dr.Ir.P. Boeraeve- Institut gramme- LIEGE - 2010

[2] « Nouveau guide du béton et de ces constituants » 8^{ème} édition Georges DREUX, Jean FESTA Ayrolles Paris 1998.

[3] Procédés et mise en forme des matériaux : Bétons « Technologie des Bétons » SAFI Brahim

[4] Ali Ahmed C. « Optimisation des paramètres de réhabilitation, par les matériaux composites, de structures endommagées : techniques-expérimentation et modélisation ». Thèse de doctorat, 2016.

[5] Mlle HADJADJA Taous « Influence des paramètres constitutifs d'un béton sous l'efficacité d'un confinement » Mémoire de Master Académique Option : Structure- Université Mouloud Mammeri –Tizi Ouzou, 2018

[6] Olivier Gagliardini, « Cours de Béton Armé IUP GCI3 option OS », IUP Génie Civil et Infrastructures, UJF-Grenoble, Année 2004/05.

[7] Moussaoui Boualem, « apport du confinement du béton sur le comportement des éléments de structure au flambement », Mémoire de Magister, Université MOULOUD MAMMERI de Tizi-Ouzou, p66, juin 2011

[8] Al-Salloum (2007) Influence of edge sharpness on the strength of square concrete columns confined with FRP composite laminates” Composites: Part B, Vol. 38, pp. 640- 650.

[9] Lakhdari Loubna/ Maamouri Ghania « Optimisation numérique des paramètres de confinement des cylindres en béton par bandes composites » -Mémoire Master- Option : Structure Université de Béjaia- 2017

[10] « Cours de matériaux de Construction II » –Dr.A. AMERDAS-UFA Sétif



[11] ARAB Azzedine/Rafai Hichem « Elaboration et étude des caractéristiques physico-mécaniques des Bétons Fibrés à Ultra Hautes Performance avec ajout de pouzzolane naturelle et de fumée de silice » Mémoire de Master Option : Contrôle qualité des matériaux- Université M'Hamed Bougera de Boumerdes - 2016

[12] Document en ligne/ site : <http://www.guidebeton.com/differents-types-beton>

[13] Mme ALI AHMED.C, « Cours de matériaux innovants », Université Mouloud Mammeri –Tizi Ouzou-2018

[14] « Recommandations pour l'emploi des bétons autoplaçants ». Documents scientifiques et techniques. Janvier 2008.

[15] KOUICI Abir « Etude de l'effet de l'introduction des fibres végétales sur les propriétés des Bétons Autoplaçant(BAP)à l'état frais et durcis », Mémoire Master-Option Matériau- Université Mohamed Boudiaf-M'sila-2015

[16] AFGC, « Bétons Autoplaçants - Recommandations Provisoires ». Documents Scientifiques et Technique, Page 63, 2000.

[17] DARANI Cylia « Etude de comportement mécanique d'une poutre en Béton renforcé par matériaux composite » Mémoire de Master Académique Option : Structure-Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou-2017

[18] Hanaa Fares, « Propriétés mécaniques et physico-chimiques de bétons Autoplaçants exposés à une Température élevée », Thèse de Doctorat de l'Université de Cergy-Pontoise Décembre 2009,

[19] Document en ligne/ site : <http://www.guidebeton.com/differents-types-beton>

[20] Sedran.T, « Rhéologies et Rhéomètre des Bétons. Application au Béton Autonivlant » Thèse de l'École Nationale des ponts et chaussées ; 1999.

[21] Okamura H, Ouchi M., Self-compacting Concrete, Journal of advanced concrete technology, vol 1, p5-15, 2003.



[22] Philippe Tarcy « Retrait et fissuration des bétons autoplaçant influence de la formulation »
Thèse de Doctorat-2004

[23] « Bétons autoplaçants. Monographie d'ouvrages en BAP ». Fiches techniques. Centre d'information sur le ciment et ses applications. 143 p.

[24] BENAICHA Mouhcine. « Formulation des différents bétons (BAP, BHP et BFUP) à haute teneur en additions minérales : Optimisation pour améliorer le coulage, la résistance au jeune âge et la durabilité des bétons ». Thèse de doctorat. Université d'Aix-Marseille (France), le 25 Novembre 2013. 229 p.

[25] PC. Aitcin, S. Jiang, BG. Kim, PC. Nkinamubanzi, and N. Pétrou. « L'interaction ciment : super plastifiant. Cas des polysulfonâtes ». Bulletin des Laboratoires des ponts et Chaussées, Vol. 233 : 87-98, Juillet-Aout 2002

[26] AFGC, « Bétons Autoplaçants - Recommandations Provisoires ». Documents Scientifiques et Technique, Page 63, 2000.

[27] Okamura H., Ouchi M., Self-compacting Concrete, Journal of advanced concrete technology, vol 1, p5-15, 2003.

[28] Recommandations pour l'emploi des bétons autoplaçants ». Documents scientifiques et techniques. Janvier 2008

[29] KHELIFA, Mohammed Rissel « Effet de l'attaque sulfatique externe sur la durabilité des bétons autoplaçants ». THÈSE de DOCTORAT au centre de recherche sur la matière divisée-Orléans/ Laboratoire de Génie Civil- Constantine, le 20 Juin 2009.

[30] Association béton Québec en collaboration avec les manufacturiers de fibres métalliques et de fibres synthétiques. « Guide de bonnes pratiques pour l'utilisation des fibres dans le béton ». Janvier 2005. 38 p.

[31] N. MAKHLOUF, Caractérisation en statique du comportement en traction directe du béton arme de fibres en copeaux, Thèse de magister 2010. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2010.

[32] Sukontasukkul P., (2004) "Toughness evaluation of steel and polypropylene fiber reinforced concrete beams under bending". Thammasat international journal of science and technology 9, 3 (Jul.-Sep) pp. 35-41.



[33] G. BERNIER. Formulation des bétons. Techniques de l'ingénieur, Paris, 2004, C2 210.

[34] Pascal Casanova. Bétons renforcées de fibres métalliques : Ecole nationale de ponts et chaussées, Paris, 1995.

[35] Aziza Moussa/Aissou Lyes « Les Bétons de Fibres Métalliques » Mémoire de Master Académique-Option : Travaux Publics-Université de Tébessa-2015

[36] Mlle BELHADJ Naima « Modélisation du comportement du béton de fibres parla mécanique de l'endommagement » Thèse de Doctorat « LMD » Option : Structure et Matériaux-Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 2015

[37] Brühwiler E., Denarié E., « Rehabilitation and strengthening of concrete structures using Ultra-High Performance Fiber Reinforced Concrete », dans Structural Engineering International, Vol. 23, Nr 4, 2013, pp. 450-457.

[38] PHILIPPE FRANCISCO. Déformations différées des bétons fibrés à ultra hautes performances soumis à un traitement thermique. Autre. Ecole normale supérieure de Cachan - ENS Cachan, 2012

[39] Elsa Nguyen Phuong Amanjean. Développement de bétons fibrés ultra performants pour la réalisation d'éléments de structures préfabriqués. Matériaux composites et construction. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2015.

[40] PDF sur « les bétons fibrés à ultrahautes performance »

[41] Melle : MECHIA Aziza « Valorisation des superplastifiants naturels dans les BFUP à base des déchets de briques réfractaires » Mémoire de Master Académique-Génie des matériaux-Option : Contrôle-Qualité des Matériaux -Université de M'HAMED BOUGARA – BOUMERDES -2016

[42] ARAB Azzedine /RAFAI Hichem « Elaboration et étude des caractéristiques physico-mécaniques des Bétons fibrés à ultra hautes performances avec ajouts de pouzzolane naturelle et de fumées de silice » Mémoire de Master Génie des matériaux-Option : Contrôle qualité des matériaux –Université M'HAMED BOUGARA -BOUMERDES -2016

[43] Spasojevic A., Possibilités for Structural Improvements in the Design of Concrete Bridges, Proceedings of the 6th Int. PhD Symposium in Civil Engineering, Zurich 2006, 8 p., Zurich, Switzerland, 8, 2006.



- [44] U. Chinje melo, et N. Billong, « Activité pouzzolanique des déchets de briques et tuiles ». African Journal of Science and Technology (AJST) Science and Engineering Series Vol. 5, No. 1, pp. 92 - 100. June, 2004.
- [45] S. Brault. « Modélisation du comportement à la lixiviation à long Terme de déchets stabilisés à l'aide de liants hydrauliques ». Thèse de doctorat, université paris 6. France, 2001
- [46] E. Badogiannis, G. Kakali, G. Dimopoulou, E. Chaniotakis, Tsivilis S. « Metakaolinas a main cement constituent : exploitation of poor Greek kaolins ». Cement & Concrete Composites 27, 197–203. 2005.
- [47] L.A.P. Oliveira, S. Jalali, J. M. Fernandes and E. Torres. « The use of metakaolin to produce the eco-efficient concrete ». Materials and structures 38, 403-410, April 2005.
- [48] W. Aquino, D. A Lange, J.Olek, «The influence of metakaolin and silica fume on the chemistry of alkali-silica reaction products ». Cement Concrete Comp ; vol. 23 (6) : pp. 485-493, 2001
- [49] Wuest, j. (2007) : “Comportement structural des bétons de fibres ultra performants entrainement dans des éléments composés”, Thèse doctorat, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. Xu, Y., Chung, D.D.L. 1999
- [50] Hebel, K. (2004): “Structural behavior of elements combining Ultra-High Performance fiber Reinforced Concretes (UHPFRC)”, Doctoral thesis 3036, Swiss Federal Institute of Technology Lausanne, Switzerland
- [51] Granger, S. (2006) : “Caractérisation expérimentale du phénomène d’autocicatrisation des fissures dans les bétons”, Revue Européenne de Génie Civil, Vol. 10, No. 3, pp. 279 – 294.
- [52] Parant, E. (2003) : “Mécanismes d'endommagement et comportements mécaniques d'un composite cimentaire fibré multi-échelles sous sollicitations sévères : fatigue, choc, corrosion”, Thèse doctorat, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC).
- [53] E. Guneyisi, M. Gesoglu, K. Mermerdas, K. Improving strength, drying shrinkage, and pore structure of concrete using metakaolin. Materials and Structures; vol. 41: pp. 937-949, 2008.
- [54] Rossi, P. (1997 a): “High Performance Multimodal Fiber Reinforced Cement Composites (HPMFRCC): The LCPC Experience”, ACI Materials Journal, Vol. 94, No. 6, pp. 478 – 483.



[55] U. Chinje melo, et N. Billong, « Activité pouzzolanique des déchets de briques et tuiles ». African Journal of Science and Technology (AJST) Science and Engineering Series Vol. 5, No. 1, pp. 92 - 100. June, 2004.

[56] O. Bonneau, M. Lachemi, E. Dallaire, J. Dugat, Aitcin P.-C., "Mechanical properties and durability of two industrial reactive powders concretes". ACI Materials journal, p. 286-290, July August 1997.

[57] Dreux. G & J. Festa : « Nouveau guide du béton et de ses constituants ». 8ème Edition. Eyrolles. Mai 1998.

[58] GUIMER TAREK « Contribution de l'addition minérale sur les caractéristiques physico-mécaniques des liants et mortiers » Mémoire de Master Génie civil Option : Matériaux de construction–Université MOHAMMED KHEIDER - BISKRA -2016

[59] Shannag, M.J., Brincker R., Hansen W. (1997): "Pullout behavior of steel fibers from cement-based composites", Cement and Concrete Research, Vol. 27, No. 6, pp. 925 – 936

[60] Chan, Y.W., Chu. S.H. (2004): "Effect of silica fume on steel fiber bond characteristics in reactive powder concrete", Cement and concrete research, Vol. 34, pp. 1167 – 1172.

[61] Neville A.M., Properties of concrete. Fourth Edition, England: Longman Edition, 1995, p 844

[62] Bonneau O., Lachemi M., Dallaire E., Dugat J., Aitcin P.-C., Mechanical properties and durability of two industrial reactive powders concretes. ACI Materials journal, July-august 1997, p. 286-290

[63] Melle : BOUDIA Ouiza « Etude expérimentale du béton de fibres varies» Mémoire de Master Recherche -Génie Civil-Option : Structures et Matériaux -Université MOULOUD MAMMERI –Tizi Ouzou -2013

[64] Naaman A E, (2008) "High-Performance Fiber Reinforced Cement composites". High performance Construction Materials: Science and Applications", chapter 3, Vol.1, edited by Caijun Shi & Yilung Mo.

[65] SÉBASTIEN VERGER LÉBOEUF « Développement de joints de connexion en BFUP pour des dalles de pont préfabriquées » Mémoire de Maitrise en science appliquées-Département de Génie Civil, Géologique et des mines–École polytechnique de Montréal -2016



[66] PIERRE Rossi, directeur de la recherche au L.C.P.C « bétons de fibres métalliques » conférence 6

[67] Mr Jean-Marie Berthelot : « Comportement mécanique et analyse des structures » mai-2005

[68] Y. RAHMANI. Etude de l'influence des différents types d'adjuvants sur le comportement mécanique du béton ordinaire en statique et dynamique par flexion, UMBB Boumerdes, 2015.

[69] P. Richard, MH.Cheyrezy , Composition of reactive powder concretes. Cement Concrete Res; 25(7):1501–11, 1995.

[70] Poon CS, Lam L, Kou SC, Wong YL, Wong R. Rate of pozzolanic reaction of metakaolin in high performance cement pastes. Cement Concrete Res 2001 ; 31 :1301–6.

[71] HAROUS MASSINISSA « Etude des bétons fibrés ultra performants (BFUP) à base de déchets de verres ». Mémoire de Master -Spécialité : Génie des matériaux -Option : sciences des matériaux pour la construction durable-UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA – BOUMERDES -2016

[72]Philippe Francisco «Déformations différées des bétons fibrés à ultra hautes performances soumis à un traitement thermique » -Thèse de Doctorat -mécanique– Génie Mécanique– Génie Civil – Ecole normale supérieure de Cachan-2012

[73]Edouard Parant « Mécanismes d'endommagement et comportements mécaniques d'un composite cimentaire fibré multi-échelles sous sollicitations sévères : fatigue, choc, corrosion »- THESE DE DOCTORAT - Structures et Matériaux- ENPC Paris-2003

[74] T. Guenet, Un modèle numérique pour structures en béton fibré à ultra-hautes performances : prise en compte de l'orientation des fibres par une approche d'endommagement micromécanique. 2012, Université Laval.

[75] Nassim SEBAIBI « Valorisation des Composites thermodurcissables issus du recyclage dans une matrice : Application aux Bétons à Ultra Haute Performance » Thèse de Doctorat - Génie Civil-Université D'ARTOIS, 2010

[76] Anh Vu Nguyen « Matériaux composites à renfort végétal pour l'amélioration des performances de systèmes robotiques. » Université Blaise Pascal – Clermont Ferrand II, 2015.



[77] CAZACLIU B, LOUKILI A, ABDI B, LE ROY R. « Malaxage d'un béton fibré à ultra hautes performances » Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 2006, n° 261-262, pp 107-120

[78] Rougeau P, Boulet D, Shink M., Les bétons à Ultra Hautes Performances (BUHP). Synthèses des connaissances et étude de faisabilité sur prototype de laboratoire, Document de CERIB DDI 002,2000

[79] Karina TALEB « 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 Master académique option Structure et Matériaux - Génie Civil-Université Mouloud MAMMERY, 2015

[80] G. DREUX & J. FESTA : « Nouveau guide du béton et ses constituants », Edition Eyrolles, 8eme édition, 1998.

[81] DELSOL Sébastien, « Evaluation du coefficient d'orientation dans les bétons renforcés des fibres métalliques » Maîtrisées sciences appliquées Génie Civil –Université de Montréal - 2012

[82] Aicha KAMEN, « comportement au jeune âge et différé d'un BFUP écrouissant sous les effets thermomécaniques » thèse de Magister- École polytechnique fédérale de Lausanne-2006.



Annexes

ANNEXES

Annexe 01

MATINE
Ciment pour béton exigeant
CEM II/B 42,5 N NA 442



FICHE TECHNIQUE

Réf : DC/FT MT. v03

Analyses et caractérisation

Analyses chimiques

Perte au feu (%), (NA 5042):	7,50 – 12,00
Résidus insolubles (%), (NA 5042):	0,7 – 2,00
Teneur en sulfates SO ₃ (%), (NA 5042):	2,00 – 2,70
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%):	1,00 – 2,20
Teneur en chlorures (%), (NA 5042):	0,01 – 0,05
Teneur équivalent en alcalis (%):	0,3 – 0,75

Composition hypothétique du clinker (Bogue)

Silicates tricalciques C ₃ S (%):	58 – 64
Silicates bicalciques C ₂ S (%):	12 – 18
Aluminates tricalciques C ₃ A (%):	6,00 – 8,00
Aluminoferries tétracalciques C ₄ A _F (%):	10,00 – 12,00

Propriétés physiques

Consistance normale de la pâte de ciment (%):	25 – 28,50
Finesse suivant la méthode de Blaine (NA 231):	4150 – 5250
Rétrait à 28 jours en µm/m	<1 000
Expansion en mm	0,3 – 2,5

Temps de prise à 20°C (NA 230)

Début de prise (min)	140 – 185
Fin de prise (min)	195 – 290

Résistance à la compression (NA 234)

02 jours (MPa)	≥ 10,0
28 jours (MPa)	≥ 42,5

Algeria Cement Company (SPL)

Algeria Cement Company (SPL)
Tel: +213 20 52 75 25
Fax: +213 20 52 75 25

Direction générale

10, rue des frères Bouguenon
Tel: +213 21 24 69 16 65
Fax: +213 21 48 82 11

Client Service Algeria (SPL)

Client Service Algeria (SPL)
BP 67, 25000, Messadia
Tel / Fax: +213 20 42 34 80 80

LAFARGE
الاسمنت

ANNEXES

Annexe 02

I Essais sur le sable :

Le sable est le constituant du squelette granulaire qui a le plus d'impact sur le mortier. Il joue un rôle primordial en réduisant les variations volumiques, les chaleurs dégagées et le prix de revient des bétons. Il doit être propre et ne pas contenir d'éléments nocifs.

I.1 Analyse granulométrique :

On peut définir l'analyse granulométrique par tamisage c'est un ensemble des opérations aboutissant à la séparation selon leur grosseur des éléments constituant échantillon, en employant des tamis à maille carrée afin d'obtenir une représentation de la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension.

a. But de l'essai :

La granulométrie ou analyse granulométrique s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat. L'analyse granulométrique a trois buts :

-) Déterminer les dimensions des grains.
-) Déterminer les proportions de grains de même dimension (% pondéral).
-) En déduire le Module de finesse (Mf).

b. Principe de l'essai :

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis.

c. Matériel nécessaire :

Des tamis dont les ouvertures carrées, de dimension normalisée, sont réalisés soit à partir d'un maillage métallique. Pour un travail d'essai aux résultats reproductibles, il est conseillé d'utiliser une machine à tamiser électrique qui comprime un mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales, à la colonne de tamis. Figure III-4. La dimension nominale de tamis se suit dans une progression géométrique de raison.

ANNEXES

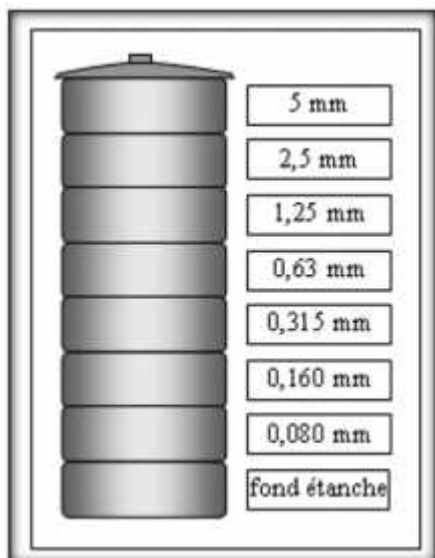


Figure I.1 : Colonne de tamis

Figure I.2 : Tamiseur électrique.

I.1.2 Module de finesse (Mf) :

Module de finesse est une caractéristique importante surtout en ce qui concerne les sables. Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse M_f compris entre 2,2 et 2,8 ; au-dessous, le sable a une majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au-dessus, le sable manque de fines et le béton y perd en ouvrabilité.

)] **Pour $1,8 < M_f < 2,2$:** le sable est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.

)] **Pour $2,2 < M_f < 2,8$:** le sable est à utiliser si l'on recherche une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités.

)] **Pour $2,8 < M_f < 3,2$:** le sable est à utiliser si l'on recherche des résistances élevées au détriment de l'ouvrabilité et avec des risques de ségrégation.

)] **Pour $M_f > 3,2$:** le sable est à rejeter.

Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons (NFP 18-540). Le Module de finesse d'un sable donné par la formule suivante :

$$MF = \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis}$$

ANNEXES

01 Tamis	0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 et 5 mm
02 Tamis	0,125 - 0,25 - 0,5 - 1 - 2 et 4 mm

Tableau I.1 : Séries de tamis employés pour la détermination du module de finesse du sable

I.2 Equivalent de sable (la norme NF P 18 -598) :

Il est défini par la norme NFP 18-598 ; cet essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fin, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui floclent.

a-But de l'essai :

Cet essai utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers. Une procédure normalisée permet de détermination un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

b-Principe de l'essai :

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier .Le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'élément fins. On agite une quantité de sable dans une solution lavant dans un récipient, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20minutes, on mesure les éléments suivants :

-) Hauteur h1 : sable propre +élément fins,
-) Hauteur h2 : sable propre seulement.

On déduit l'équivalent de sable qui, par convention :

$$E_s = \frac{h_1}{h_2} 100\%$$

ANNEXES

Selon que la hauteur h_2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine ESV (équivalent de sable visuel) et ES (équivalent de sable au piston)

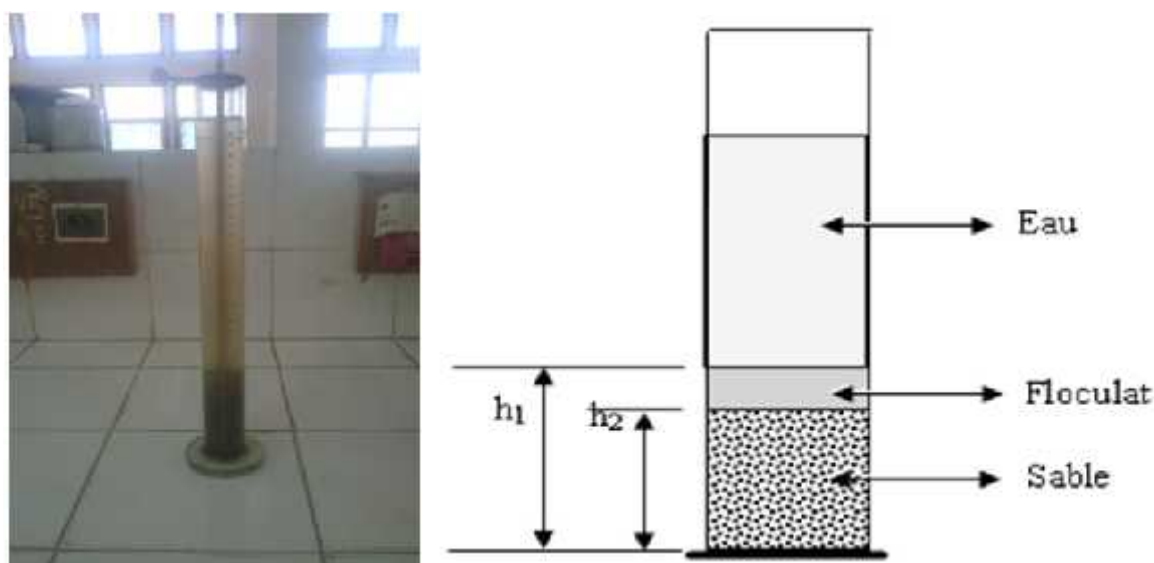


Figure I.3: Essai d'équivalent de sable.

I.3 Masse volumique absolue :

La masse volumique absolue ρ_s est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains. Il ne faut pas confondre ρ_s avec la masse volumique ρ qui est la masse de matériau par unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides. Les masses volumiques s'expriment en t/m^3 , en kg/dm^3 , ou en g/cm^3 .

a-But de l'essai :

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une compression de béton. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

b-Conduite de l'essai :

-) Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau.
-) Peser un échantillon sec M_s de sable (environ 300g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
-) Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume V_2 .
(Voir la figure suivante)

ANNEXES

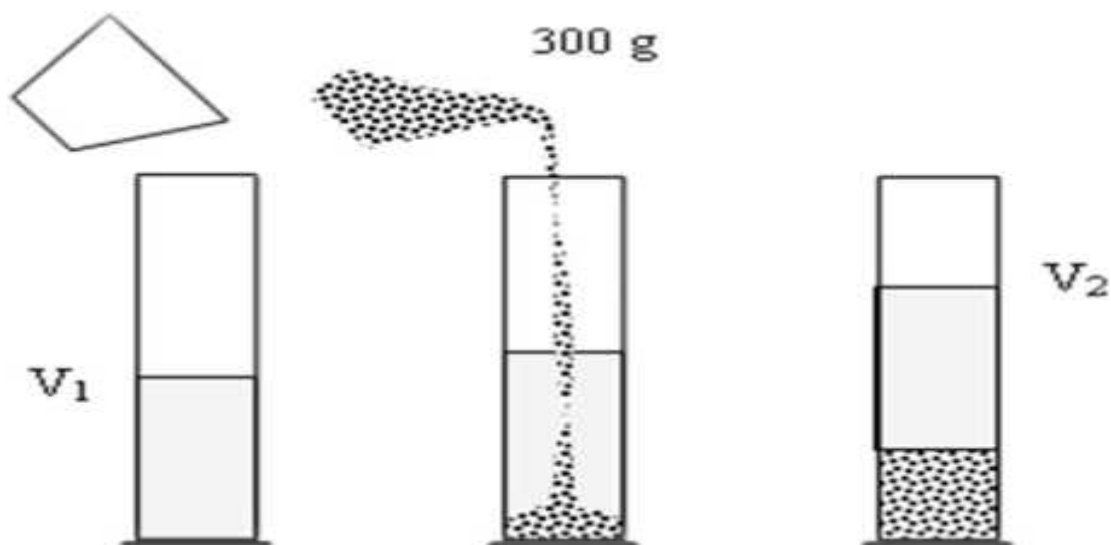


Figure : Principe de détermination de la masse volumique absolue

La masse volumique absolue est alors :

$$\rho_s = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

Avec :

- ρ_s : Masse volumique absolue
- M**: Masse des grains solides
- V_1 : Volume de l'eau ;
- V_2 : Volume total (grains solide + eau).

I.4 La masse volumique apparente :

Elle est définie comme le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume occupé par la matière y compris les vides contenus.

a. Principe de la méthode :

- ✓ Déterminer le volume du récipient =V
- ✓ Noter la masse du récipient propre et vide =M0
- ✓ Placer le récipient dans le bac en plastique

ANNEXES

- ✓ Verser les granulats secs, par couches successives et sans tassement : utiliser les mains comme entonnoir naturel à 10 cm environ au-dessus de niveau de récipient
- ✓ On laisse tomber ce sable, ni trop vite, ni trop lentement. Verser ainsi le corps, ce matériau doit s'effectuer au centre de ce récipient, jusqu'il déborde tout autour en formant un cône.
- ✓ Araser à l'aide de la règle métallique, à laquelle on imprime un mouvement horizontal de va et vient, le récipient étant attaqué le long d'une diagonale horizontale
- ✓ Noter la masse du récipient rempli= M1
- ✓ Vider le granulat dans un bac en plastique et jeter son contenu dans la benne extérieure

Renouveler l'opération 2 fois

La masse volumique apparente est alors :

$$Mv_{ap} = \frac{Ms}{Vr}$$

Avec :

Ms : Masse de sable

Vr : Volume de récipient

ANNEXES

Annexe 03

<p>NORME FRANCAISE HOMOLOGUEE</p>	<p>BETON ESSAIS D'ETUDE, DE CONVENANCE ET DE CONTOLE CONFECTION ET CONSERVATION DES EPROUVETTES</p>	<p>NF P 18-404 Décembre 1981</p>
<p>1. Généralités</p> <p>1.1 OBJET La présente norme a pour objet de définir comment les éprouvettes destinées aux essais d'étude, de convenance et de contrôle sont obtenues et conservées.</p> <p>1.2 DOMAINE D'APPLICATION La présente norme s'applique aux essais d'étude, de convenance et de contrôle exécutés sur éprouvettes en vue de déterminer les caractéristiques des bétons de granulats courants (voir norme NF P 18-301) ou légers (voir norme NF P 18-309). Elle ne s'applique pas aux essais d'étude, de convenance et de contrôle exécutés sur certains bétons spéciaux tels que les bétons caverneux, les bétons réfractaires, les bétons cellulaires.</p> <p>1.3 DÉFINITIONS Essai d'étude: essai exécuté entièrement en laboratoire avec les constituants susceptibles d'être utilisés sur le chantier, dans le but de vérifier l'aptitude de la composition à satisfaire les exigences. Essai de convenance : essai ayant pour but de vérifier qu'avec les moyens du chantier, on peut réaliser le béton proposé. Il a également pour but de vérifier que les quantités de constituants prévues par mètre cube de béton donnent bien 1 m³ de béton en œuvre. Essai de contrôle: essai ayant pour but de vérifier le respect des spécifications.</p> <p>2 CONFECTION DES ÉPROUVETTES</p> <p>2.1 CONDITIONS D'EXÉCUTION Les essais d'étude sont exécutés sur le béton préparé dans un laboratoire ; les essais de convenance et de contrôle sont exécutés sur le béton gâché dans la bétonnière ou le malaxeur utilisés pour le chantier. Ces essais ne sont valables que si les conditions suivantes sont remplies : -les opérations d'échantillonnage du béton, de confection et de conservation des éprouvettes doivent être exécutées avec soin par du personnel qualifié et autant que possible toujours le même ; -le matériel employé, et en particulier les moules, doivent être maintenus dans un état de propreté convenable ; -l'échantillon servant à déterminer les caractéristiques du béton de la gâchée ou de la charge (1) doit être représentatif de celle-ci.</p> <p>1) La gâchée est la quantité de béton fabriqué en une seule fois soit dans le malaxeur du laboratoire soit dans la bétonnière ou le malaxeur du chantier. La charge, conformément à la définition 1.4.7 de la norme NF P 18-305 sur les bétons prêts à l'emploi, est «la quantité de béton délivrée en une seule fois dans un seul récipient».</p>		
<p>Homologuée par arrêté Du 1981-11-27 (J.O 1981-12-04) Effet le 1981-12-27</p>	<p>La présente norme remplace de même indice homologuée par arrêté du 21 janvier 1969</p>	<p>Afnor 1981 Droits de reproduction et de traduction réservés pour tous pays</p>

Notice technique
Edition Janvier 2012
Notice n°1.19
Version n° 01.2012
SIKAPLAST® BV 40 +

SIKAPLAST® BV 40 +

Plastifiant/Réducteur d'Eau pour hautes résistances mécaniques.

Conforme à la norme NF EN 934-2 tab. 1 et 2

Présentation SIKAPLAST® BV 40 + est un plastifiant réducteur d'eau pour haute résistance mécanique non chloré et prêt à l'emploi, à base de polycarboxylates modifiés, qui se présente sous la forme d'un liquide marron.

Domaines d'application SIKAPLAST® BV 40 + permet d'obtenir des bétons plastiques ayant de fortes résistances mécaniques à court et à long terme.

- bétons à hautes performances,
- bétons précontraints,
- bétons préfabriqués étuvés,
- bétons avec des granulats concassés,
- bétons retarder en surdosage.

Pour les bétons étanches, le SIKAPLAST® BV 40 + diminue l'absorption capillaire des bétons et augmente leur compacité. Il permet donc de réduire la pénétration de l'eau et peut être utilisé dans les cas suivants: bétons enterrés, réservoirs, piscines, etc.

A dosage élevé, le SIKAPLAST® BV 40 + augmente le temps de prise du béton. La température jouant un rôle important, il est bon de procéder à des essais.

Le SIKAPLAST® BV 40 + est compatible avec nos entraîneurs d'air SIKA AER et SIKA AERS. Cette combinaison conduit à :

- l'amélioration des résistances aux cycles gel-dégel,
- la possibilité de coulage en continu (béton extrudé, béton routier),
- l'amélioration des résistances de tous bétons situés dans les zones de manège.

Caractères généraux SIKAPLAST® BV 40+ est un plastifiant réducteur d'eau à haute performance qui confère au béton les propriétés suivantes :

- haute réduction d'eau,
- maintien prolongé de la rhéologie,
- robustesse vis-à-vis de la ségrégation,
- bel aspect de parement au décoffrage.

CLASSIFICATION 3R



RHÉOLOGIE	RÉSISTANCES INITIALES	RÉDUCTION D'EAU
4	2	3

Caractéristiques

Aspect Liquide marron

Conditionnement

- Bidon de 5 kg
- Bidon de 10 kg
- Fût de 220 kg
- Cubitenaire de 1000 kg



ANNEXES

Construction

Stockage	Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C. Le produit peut geler, mais, une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine. En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.
Conservation	Un an dans son emballage d'origine intact
Données techniques	
densité	1,040 ± 0,015
pH	4,7 ± 1
Teneur en ions Cl ⁻	< 0,1 %
Teneur en Na ₂ O Eq.	< 0,5 %
Extrait sec	11,5 ± 1,5 %
Conditions d'application	
Dosage	Plage d'utilisation recommandée : 0,3 à 1,5 % du poids de lant selon les performances recherchées. Dosage usuel du SIKAPLAST® BV40+ : 0,3 % à 1 %.
Mise en œuvre	SIKAPLAST® BV 40+ est ajouté, soit, en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.
Précautions d'emploi	En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau.
Mentions légales	
Produit réservé à un usage strictement professionnel. Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile. «Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits Sika, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter le version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qu'il leur sera remise sur demande.»	



Sika El Djazir
00 route de l'Arbaa, 16111 Eucalypta
Alger ALGERIE
Web : dza.sika.com

Tel: 213 (0) 21 50 21 04
213 (0) 21 50 19 82 à 95
Fax: 213 (0) 21 50 22 06



ANNEXES

Annexe 05



mono

DESCRIPTION:

Elle empêche la formation des fissures dans le béton appliqué, pendant le processus de raidissement. Elle manifeste des propriétés de liaison entre les agrégats dans le mélange de béton de sorte que les microfissures sont empêchées de croître.

Elle fournit également un avantage de coût dans le budget du projet en réduisant la quantité de rebond des applications de béton projeté d'environ 4%.

Selon la norme EN 14889-2, il suffit d'utiliser de 600 g à 900 g par mètre cube.

TYPES D'EMBALLAGE:

- 600 g et 900 g de sacs solubles dans l'eau
- Sac en nylon de 5 kg
- Gros sac
- Mélangeur
- Emballage sur mesure

CONSEILS TECHNIQUES:

Nos spécialistes techniques sont à votre disposition pour vous aider à utiliser correctement les produits Polyfibers®.

SERVICE DE DESIGN:

Pour toutes les exigences de conception de plancher en béton, veuillez joindre votre contact des produits Polyfibers®.

AVANTAGES:

- Contrôle et réduction des fissures même plastiques dû au retrait
- Résistance aux alcalis
- Améliore la durabilité de la surface
- Gain de résistance à la traction
- Facile à intégrer dans du béton
- Rentable, sans coût de main-d'œuvre supplémentaire
- Empêche le renforcement de l'effet de corrosion

ANNEXES

mono

Longueur de fibre disponible :

Le fibre polypropylène disponible immédiatement est d'une longueur de 18 mm. Elle se dissipe rapidement tous en assurant une surface d'accrochage plus grande.

Ces spécificités Techniques sont détaillées dans le tableau ci-dessous :

Composition	100% polypropylène
Type	Mono filament
Impureté	Ne contient pas d'oléfine ni de polyamide ou de matériaux recyclés
Apparence	Fibre individuelle
Coupe transversale	Ronde
Standards	TSE EN 14889 Partie II Type 1.A. Et ASTM C - 1116 - 1997 Type III
Emballages	En vrac / sac en papier
Ténacité	6,5 - 7,0 grammes / denier - haute ténacité
Résistance à la traction (TS)	600 - 700 MPa
Module d'Young (TS/E)	3.000 - 3.500 MPa
Élongation (E)	20 - 25 %
Densité spécifique	0.91 grammes / cm ³
Couleur	Transparent
Point de ramollissement	150 Celsius
Point de fusion	160 Celsius
Réaction aux acides	Stable
Réaction aux oxydants	Stable
Solvants organiques	Fond par des solvants chlorés à haute température
Résistance biologique	Stable
Compatibilité au ciment	Excellent
Réaction aux alcalins	Stable
Stabilisateur UV	Optionnel
Résistance à l'abrasion	Stable
Récupération de l'humidité	70% d'humidité relative à 21 ° C = <0,10%
Antibactérien	Optionnel
Champ d'application	Intérieur et extérieur

Ce produit est conçu suivant les spécifications des normes TSE EN 14889 et ASTM C-1116, il est compatible avec tous les types de ciments portland.