UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Influence de la résistance à la traction des fibres métalliques sur le comportement mécanique du béton

Ngendakumana, Ado Paul Chrétien; Dr. Ir. Nibasumba Paul

2023
UB, FSI
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/1957

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

République du Burundi

Ministère de l'éducation nationale et de la recherche scientifique

Université du Burundi



Master en Génie Civil

Option: Génie Civil, Aménagement et Maîtrise des Projets

Faculté des Sciences de l'Ingénieur

Année Académique: 2021-2022

INFLUENCE DE LA RESISTANCE A LA TRACTION DES FIBRES METALLIQUES SUR LE COMPORTEMENT MECANIQUE DU BETON.

Mémoire

Présenté publiquement par :

NGENDAKUMANA Ado Paul Chrétien

En vue de l'obtention du grade de Master en Sciences de l'Ingénieur

Option : Génie Civil, Aménagement et Maîtrise des Projets.

Soutenu le 20 / 07 /2023 devant le jury composé de :

Dr. Ir. BIZINDAVYI	**Josias**	**: Président**
Dr. Ir. MINANI	**Jérémie**	**: Lecteur principal**
Dr. Ir. NIBASUMBA	**Paul**	**: Directeur**
Prof. MIKEREGO	**Emmanuel**	**: Membre**
Dr. Ir. MPAWENAYO	**Régis**	**: Membre**

Bujumbura, Juillet 2023

Identification des membres du jury

Dr. Ir. BIZINDAVYI	**Josias**	**: Président**
Dr. Ir. MINANI	**Jérémie**	**: Lecteur principal**
Dr. Ir. NIBASUMBA	**Paul**	**: Directeur**
Prof. MIKEREGO	**Emmanuel**	**: Membre**
Dr. Ir. MPAWENAYO	**Régis**	**: Membre**

Dédicace.

A mes chers parents ;

A mes chers frères et sœur ;

A mes camarades de classe ;

A tous mes amis et connaissances ;

Je dédie ce travail !

NGENDAKUMANA Ado Paul Chrétien

Remerciement.

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

Je ne manquerai pas d'exprimer ma gratitude à l'égard de mon directeur de recherche, Dr. Ir NIBASUMBA Paul qui m'a fortement impressionné par sa grande expérience et pour les conseils fructueux qu'il n'a pas cessé de me prodiguer pour donner le meilleur de moi-même.

Je remercie également le président et les membres de jury d'avoir accepté de juger mon travail.

Une note de reconnaissance va aussi à tous mes enseignants depuis l'école primaire jusqu'à l'Université du Burundi et plus particulièrement à ceux de la Faculté des Sciences de l'Ingénieur. Je suis fier de la formation tant scientifique que morale qu'ils m'ont doté.

Je remercie aussi le technicien du laboratoire de matériaux Mr NTAHIZANIYE Philippe pour m'avoir assisté dans la réalisation des éprouvettes et la conduite des essais de laboratoire et pour ses conseils.

Je tiens à orienter mes sincères et chaleureux remerciements à ma famille :

- Mon père NGENDAKUMANA Désiré et ma mère NTIBATEGERA Acquiline, qui ont consenti beaucoup de sacrifices ; ils méritent mes vifs remerciements. Ils m'ont appuyé tout au long de ma formation. Qu'ils trouvent ici le fruit de leurs efforts.
- A mes frères et ma sœur, la fraternité que vous me témoigne, m'a conduit à avoir des efforts et du courage dans ce travail, vous êtes très chers pour moi.

Ma gratitude va également à l'endroit de la famille de MANIRAMPA Rénovât pour son soutien et pour l'amour qu'elle a manifesté envers moi.

En fin à mes amis et toute personne qui m'a soutenu de près ou de loin afin que je puisse mener à bout ce travail, je vous remercie d'être là et j'espère que vous vous reconnaîtrez.

Résumé.

Le but de ce travail est d'évaluer l'influence de la résistance à la traction des fibres métalliques sur le comportement mécanique du béton, notamment la résistance à la compression et la traction par flexion et aussi son influence sur l'affaissement. A cet effet six mélanges de béton ont été utilisés, un béton sans fibres servant de béton témoin identifié sous le nom de BOT, et un béton renforcé de fibres métalliques avec cinq dosages de fibres métalliques, identifié BFM. Les résultats montrent que la résistance à la compression et à la traction par flexion augmente lorsque la résistance des fibres augmente jusqu' à un point de 2000N/mm^2, on constante aussi la diminution de la résistance à la compression et à la traction en fonction de la résistance de fibres métalliques ajoutées de résistance supérieur à 2000N/mm^2.

Mots clés : béton, compression, fibres métalliques, traction par flexion

Abstract.

The purpose of this work is to assess the influence of the tensile strength of metallic fibers on the mechanical behavior of concrete, concerning compressive strength of concrete, tensile strength of concrete and sag. For this purpose, six mixtures were used: concrete without fibers serving as control concrete identified under the name of BOT, and a concrete reinforced with metallic fibers with five types of metallic fibers, identified by BFM. The results show that the compressive strength and tensile strength increase when fibers strength increasing up to an optimal point of 2000N/mm^2, the reduction of the compressive and tensile strengths is also constant and is function of the resistance of metallic fibers added after the optimum point.

Key words: concrete, compressive strength, metallic fibers, tensile strength

Table de Matière.

IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY i

DEDICACE. ii

REMERCIEMENT. iii

RESUME. iv

ABSTRACT. v

TABLE DE MATIÈRE. vi

LISTE DE FIGURES. ix

LISTE DES TABLEAUX. xi

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS. xiii

AVANT-PROPOS. xiv

CHAPITRE 0. INTRODUCTION. 1

0.1. Problématique. 2

0.2. Objectifs. 2

0.3. Méthodologie de recherche. 3

0.4. Résultats attendus. 4

CHAPITRE I. REVUE DE LA LITTERATURE. 5

I.1. Contexte générale de l'étude. 5

I.2. Fibres métalliques. 6

I.3. Composition des bétons de fibres métalliques. 7

I.4. Rôle et domaines d'applications des fibres métalliques. 8

I.5. Effet de l'addition des Fibres sur le comportement des Bétons à l'état Frais. 11

I.6. Facteurs influant sur le comportement d'un béton renforcé de fibres. 12

I.6.1. Nature des fibres 12

I.6.2. Distribution des fibres et leur orientation 12

I.6.3. Dosage en fibre 14

I.7. Comportements des BFM à l'état durci selon la teneur en fibres 14

I.7.1. Comportement en compression. 14

I.7.2. Comportement en Traction. 15

I.8. Conclusion. 16

CHAPITRE II. CARACTERISTIQUES ET ESSAIS SUR LES DIFFERENTES COMPOSANTES DU BETON. 17

II.1. Ciment. 17

II.2. Eau de gâchage. 17

II.3. Granulats. 17

II.3.1. Sable. 17

II.3.2. Gravier. 23

II.4. Description des fibres utilisées. 27

II.4.1. Essais à la résistance de traction des fibres. 27

II.4.2. Détermination de la masse volumique des fibres. 31

II.4.3. Détermination de la quantité de fibre. 31

CHAPITRE III. FORMULATION DU BETON. 34

III.1. Principe de la méthode. 34

III.2. Méthode de DREUX GORRIS pour la composition de béton. 35

III.2.1. Résistance envisagé. 35

III.2.2. Consistance envisagée. 35

III.2.3. Dimension maximale des granulats. 35

III.2.4. Dosage en ciment. 36

III.2.5. Dosage en eau. 37

III.2.6. Courbe de référence. 38

III.2.7. Coefficient de compacité. 39

III.2.8. Dosage des granulats. 40

III.3. Dosage du mélange. 41

III.3.1. Détermination de la courbe de référence. 41

III.3.2. Tracé de la courbe représentative du mélange des granulats. 42
III.3.3. Dosage de ciment et d'eau. 43
III.3.4. Dosage granulaire 45
III.3.5. Détermination de la composition pondérale sèche en Kg/m^3. 46
III.3.6. Détermination de la composition pondérale humide en Kg/m^3. 47
III.4. Réalisation du mélange et confection des éprouvettes. (EN 12390-2, 2007) 50
III.4.1. Réalisation du mélange. 50
III.4.2. Confection des éprouvettes. 51
CHAPITRE IV. ESSAI SUR LE BETON ET DISCUSSION DES RESULTATS 52
IV.1. Essai sur le béton frais « Affaissement au cône d'Abrahams ». (En 12350-2, 2007) 52
IV.2. Essai sur le béton durci. 53
IV.2.1. Essai de la résistance à la compression. (EN P 18-406 , 1981) 53
IV.2.2. Essai sur la résistance à la traction. (EN P 18 - 407, 1981) 54
IV.3. Résultats. 56
IV.3.1. Résultats de l'affaissement sur le béton frais 56
IV.3.2. Résultats sur la résistance à la compression du béton fibré. 57
IV.3.3. Résultats sur la résistance à la traction du béton fibré. 59
IV.3.4. Comportement du béton fibré à la compression, traction et affaissement selon la résistance à la traction des fibres incorporées. 61
IV.3.5. Comparaison du Béton Ordinaire et Béton fibré en compression. 61
IV.3.6. Comparaison du Béton Ordinaire Témoin et Béton fibre Métallique en traction par flexion. 62
IV.4. Discussion des résultats. 62
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS. 66
Conclusion. 66
Recommandation. 67
REFERENCES. 68

Liste de figures.

Figure 1. Différente géométrie des fibres métalliques. 7
Figure 2. Propagation des fissures dans le béton fibré. 8
Figure 3. Apport du renfort par des fibres (Essai de traction). (Cotterell, 1996) 9
Figure 4. Effet de la taille des granulats sur la distribution des fibres. (Johnston C.D., 1996) 11
Figure 5. Effet des fibres sur la maniabilité de béton selon le volume des fibres inclus dans le béton. (Johnston C.D., 1996) 11
Figure 6. Influence de la direction du carottage sur le comportement en traction d'un béton fibré. (Casanova Pascal, 1996) 13
Figure 7. Evolution du gain de résistance compression du béton renforcé de la fibre selon le volume. (Setti F., Ezziane K., Setti B, 2012) 15
Figure 8. Evolution du gain de résistance compression du béton renforcé de la fibre selon le volume. (Setti F., Ezziane K., Setti B, 2012) 16
Figure 9. Echantillon du sable placé dans l'étuve. 18
Figure 10. Tamis utilisés lors de l'essai. 21
Figure 11. Courbe granulométrique du sable. 22
Figure 12. Gravier utilisés lors de la formulation du béton. 23
Figure 13. Masse du gravier placé dans l'étuve gradué rempli d'eau. 24
Figure 14. Courbe granulométrique du gravier. 26
Figure 15. Essai sur la résistance à la traction des fibres. 27
Figure 16. Fibres déjà coupé en morceau de 60 cm. 33
Figure 17. Abaque du dosage du ciment eau. 37
Figure 18. Courbe de référence. 42
Figure 19. Proportion des granulats par DREUX GORRIS. 43
Figure 20. Abaque du dosage ciment eau. 44
Figure 21. Remplissage des moules. 51
Figure 22. Essai sur l'affaissement. 52
Figure 23. Essai sur la compression. 53
Figure 24. Configuration de l'éprouvette pour l'essai à la traction à trois points. 54
Figure 25. Essai sur la traction par flexion. 55
Figure 26. Courbe de l'affaissement du béton selon la résistance à la traction des fibres. 56
Figure 27. Courbe de la résistance à la compression du béton selon la résistance à la traction des fibres. 58

Figure 28. Courbe de la résistance à la traction du béton selon la résistance à la traction des fibres. 60
Figure 29. Comportement à la compression, traction et affaissement du béton fibré selon la résistance à la traction des fibres. 61
Figure 30. Comparaison du Béton Ordinaire Témoin et Béton Fibre Métallique à la Compression..... 61
Figure 31. Comparaison du Béton Ordinaire Témoin et Béton Fibre Métallique à la traction. 62

Liste des tableaux.

Tableau 1. Domaine d'application de béton fibré. 10
Tableau 2. Résultat sur la teneur en eau du sable. 18
Tableau 3. Résultat sur l'essai de la masse volumique du sable. 20
Tableau 4. Résultat de l'analyse granulométrique du sable. 21
Tableau 5. Teneur en eau du gravier. 24
Tableau 6. Masse volumique du gravier. 25
Tableau 7. Résultat de l'analyse granulométrique du gravier. 26
Tableau 8. Résultat sur la résistance à la traction des fibres utilisées. 29
Tableau 9. Résultat sur la résistance à la traction des fibres utilisées (suite). 30
Tableau 10. Caractéristiques des fibres utilisées. 30
Tableau 11. Masse volumique des fibres utilisées. 31
Tableau 12. Divers paramètres en fonction soit de l'ouvrabilité soit de résistance recherché. (DREUX GORISS) 34
Tableau 13. Tableau d'évaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cône Abrams. 35
Tableau 14. Tableau des valeurs approximatives du coefficient granulaire G. 36
Tableau 15. Tableau de correction en pourcentage sur le dosage en eau en fonction de la dimension maximale des granulats D (si $D \neq 20$ mm). 37
Tableau 16. Tableau de Valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats. 38
Tableau 17. Tableau de Valeur de coefficient de compacité Υ. 39
Tableau 18. Tableau de synthèse des coordonnées pour la courbe de référence. 42
Tableau 19. Composition du mélange pour $1m^3$ du béton ordinaire témoin. 47
Tableau 20. Composition du mélange pour $1m^3$ du béton fibré métallique 1. 48
Tableau 21. Composition du mélange pour $1m^3$ du béton fibré métallique 2. 48
Tableau 22. Composition du mélange pour $1m^3$ du béton fibré métallique 3. 49
Tableau 23. Composition du mélange pour $1m^3$ du béton fibré métallique 4. 49
Tableau 24. Composition du mélange pour $1m^3$ du béton fibré métallique 5. 50
Tableau 25. Les résultats de l'affaissement du béton fibré frais. 56
Tableau 26. Tableau des résultats sur la résistance à la compression du béton fibré selon la résistance à la traction des fibres. 57

Tableau 27. Tableau des résultats sur la résistance à la compression du béton fibré selon la résistance à la traction des fibres (suite). 58
Tableau 28. Tableau des résultats sur la résistance à la traction du béton selon la résistance à la traction des fibres. 59
Tableau 29. Tableau des résultats sur la résistance à la traction du béton selon la résistance à la traction des fibres (suite). 60

Liste des sigles et abréviations.

A : Section

BFM : Béton fibre métallique

BOT : Béton ordinaire témoin

BRF : Béton renforcé de fibre

C/E : Rapport pondéral ciment sur eau

Cm : Centimètre

D : Diamètre des granulats

Df : Diamètre des fibres

F : Force

f_c28 : Résistance à la compression à 28 jours

$f_t 28$: Résistance à la traction à 28 jours

G/S : Rapport pondéral gravier sur sable

Kg : Kilogramme

KN : Kilo Newton

Lf : Longueur des fibres

m^3 : Mètre cube

Mf : Module de finesse

mm^2 : Millimètre carré

MPa : Méga pascal

N : Newton

Rc : Résistance à la compression

Rt : Résistance à la traction

V : Volume

Vf : Volume des fibres

Avant-propos.

Le béton renforcé de fibres d'acier est un mélange contenant une distribution uniforme de fibres d'acier courtes. Ces dernières renforcent la matrice cimentaire et lui confèrent un caractère ductile en phase post-fissuration (ACI commitee 544.1 , 1996). En effet, les propriétés mécaniques de la matrice cimentaire renforcée par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion interfaciale entre fibres et matrice (ASB Association du Béton Québec, 2005).

L'addition des fibres en acier dans une matrice cimentaire (mortier ou béton) n'introduit pas de nouvelles conditions sur la nature des composants utilisés (Johnston C.D., 1996). On peut utiliser le même dosage en ciment, les mêmes granulats et également le même adjuvant, toutefois la plus grande efficacité des fibres ne sera obtenue qu'après une étude minutieuse de la composition. La comparaison recommandée est basée sur le même dosage en ciment et la même ouvrabilité, d'où une même composition du granulat.

Le travail que nous présentons est une étude expérimentale menée sur plusieurs échantillons. Ceci pour étudier l'effet de l'inclusion des fibres en acier selon leurs résistances à la traction dans un béton. La série de corps d'épreuve normalisés sera soumise à des essais d'écrasement afin de déterminer la résistance à la compression, la résistance à la traction par flexion et l'affaissement du béton à des différentes échéances.

CHAPITRE 0. INTRODUCTION.

Le béton reste le matériau d'excellence dans le domaine du génie civil. Nous savons depuis toujours que ce matériau présente une bonne résistance à la compression. Mais une faible résistance à la traction. Sous l'effet des efforts de traction, la rupture se produit prématurément, se manifestant par l'apparition de fissures. Les efforts de traction sont repris en général par des armatures continues. Afin de limiter justement l'apparition de ces fissures nous pouvons utiliser un renforcement à l'aide des fibres que l'on introduit dans le béton pour obtenir ce que l'on appelle béton fibré. La littérature, montre que le béton fibré présente des bonnes performances à la flexion, traction et s'oppose bien à l'apparition des fissures en les limitant au maximum (PIERRE ROSSI, 2005).

L'incorporation des fibres dans le béton est bénéfique pour l'amélioration de la ductilité du matériau béton connu pour son fragilité en traction. Le présent travail porte sur la résistance à la compression et à la traction du béton en fonction de la résistance à la traction des fibres incorporées.

Le travail que nous présentons dans ce mémoire est une étude constituée de quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à une revue de la littérature ;
- Le deuxième chapitre décrit les caractéristiques et essais sur les différentes composantes du béton.
- Le troisième chapitre présente la formulation des bétons utilisés avec la méthode de DREUX GORRIS ;
- Le quatrième chapitre traite les essais sur le béton et les discutions des résultats ;
- Enfin, la dernière partie est constituée par la conclusion et quelques recommandations.

0.1. Problématique.

Le béton est un matériau bien imparfait, sa résistance à la traction est très faible, ce qui prohibe son utilisation en flexion. Et ce pendant jusqu'à nos jours il n'y a pas d'autres matériaux en concurrence au béton grâce à son coût moins élevé par rapport aux autre matériaux.

Le constructeur doit donc s'accommoder de ses compétences techniques et chercher à augmenter sa résistance en modifiant ses caractéristiques. Les fibres métalliques apportent une meilleure réponse au problème de fragilité du béton, le béton devient plus ductile, ses fissures sont mieux réparties. Cette amélioration du comportement du béton a été mise en profit dans des nombreuses applications comme dallages industrielles, revêtement des tunnels, … etc.

Vu le profit du béton dans des nombreuses applications ci-haut cités, ce travail vient pour analyser et prévoir les caractéristiques du béton fibré en fonction de la résistance à la traction des fibres utilisées. C'est dans ce contexte que se situe ce travail dont l'objectif est d'analyser ce que la résistance à la traction des fibres peut apporter dans le comportement du béton fibré.

0.2. Objectifs.

Objectif principal

Le présent projet s'inscrit dans un ensemble de projets de recherche réalisés au sein de l'université du Burundi dans le cycle de mastère en génie civil aménagement et maitrise des projets, qui a pour but d'étudier le comportement du béton fibré selon la résistance à la traction des fibres incorporés dans le béton.

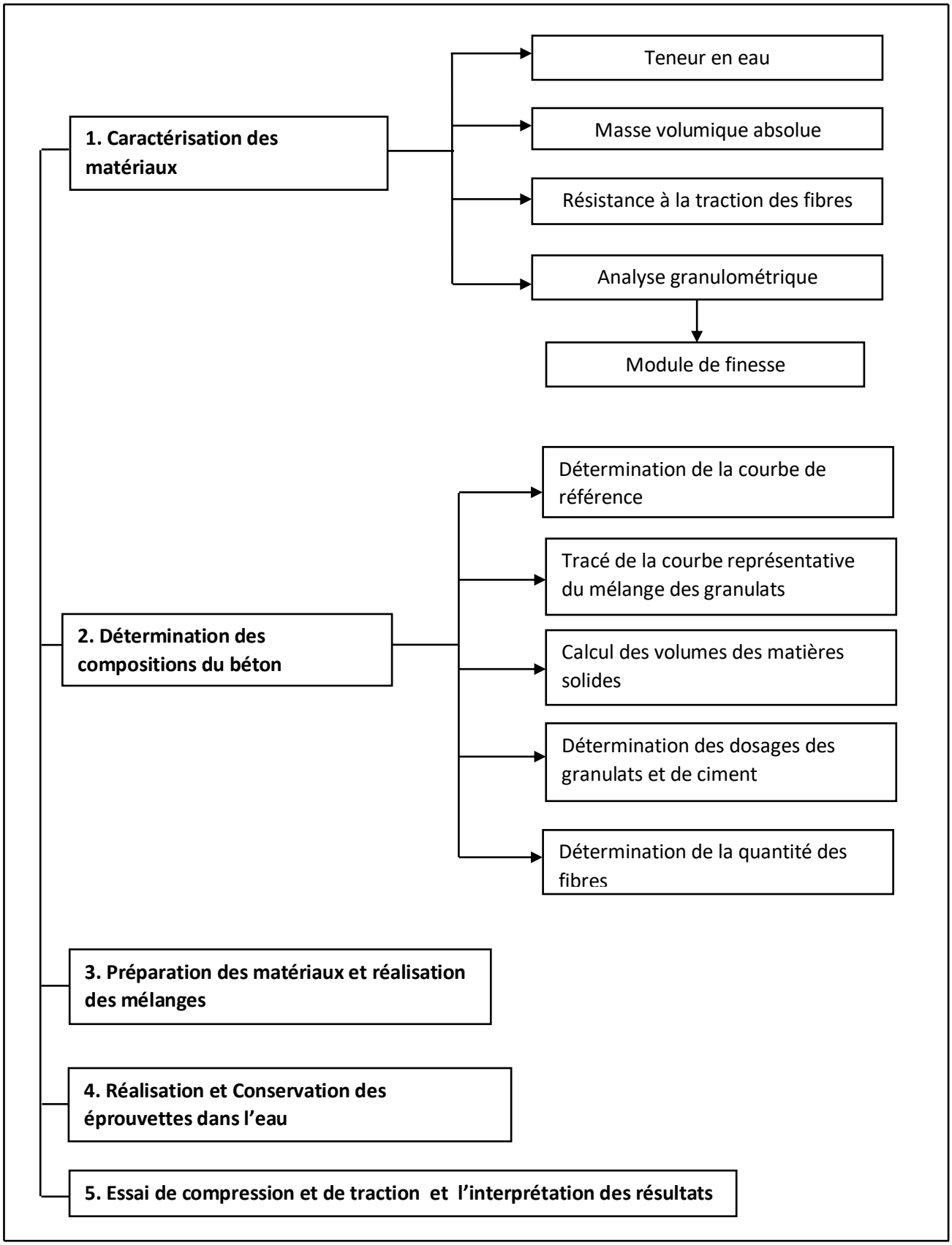
Objectif spécifique

Plus spécifiquement ce travail vise :

- Décrire le comportement en compression du béton fibré
- Décrire le comportement en flexion du béton fibré
- Décrire le comportement de l'affaissement du béton fibré frais.
- Comparaison des résistances du béton en fonction des différentes résistances des fibres utilisées.
- Recommandation sur l'utilisation des fibres selon leurs résistances.

0.3. Méthodologie de recherche.

Pour atteindre aux objectifs spécifiques, la méthodologie à adopter est la suivante :



0.4. Résultats attendus.

Dans le présent travail de recherche, les résultats attendus sont les suivants :

- Variation de résistance à la compression du béton selon les fibres utilisées.
- Variation de résistance à la traction du béton selon la résistance à la traction des fibres utilisées.
- Variation de l'affaissement selon la résistance à la traction des fibres utilisées.
- Comparaison des différents comportements selon la résistance à la traction des fibres.
- Tableau de valeurs obtenues des résistances à la traction du béton selon la résistance à la traction des fibres utilisées.
- Tableau de valeurs obtenues des résistances à la compression du béton selon la résistance à la traction des fibres utilisées.

CHAPITRE I. REVUE DE LA LITTERATURE.

I.1. Contexte générale de l'étude.

Le béton est aujourd'hui le matériau le plus largement utilisé depuis plus d'un siècle, aussi bien dans le génie civil. Le béton présente une résistance importante à la compression. Par contre à la traction il a une faible performance, il contient des micros fissures dans les zones tendues, pour cela il doit être renforcé dans la plupart des cas par des armatures en acier.

Désirant obtenir un béton de plus grande résistance tout en ayant une ductilité et durabilité accrue, les recherches se sont orientées vers les bétons fibrés. Plus particulièrement, les recherches portant sur le béton renforcé de fibres métalliques se sont multipliées et son utilisation dans le domaine des structures se veut grandissante. Le béton renforcé de fibres métalliques (BRF) présente plusieurs avantages comparativement au béton ordinaire (BO). Parmi ceux-ci on retrouve l'amélioration des propriétés mécaniques post-fissuration (traction, compression) ainsi que l'augmentation de la durabilité et de la ductilité. (ACI commitee 544.1 , 1996)

Malgré ces divers avantages, il demeure difficile de prédire adéquatement les propriétés mécaniques des BRF dans les ouvrages, ceci vient en partie de la grande diversité de compositions (synthétique et acier), de tailles (longueur, diamètre, forme), de volume et d'orientation des fibres possibles.

Désirant permettre une meilleure compréhension ainsi qu'une utilisation plus optimale des BRF, cette recherche met en avant l'influence de la résistance à la traction des fibres sur les comportements en traction et compression de ce matériau. De plus, une recommandation d'utilisation permettant de considérer de façon adéquate l'influence de la résistance à la traction des fibres sera proposée.

I.2. Fibres métalliques.

Il existe plusieurs types de fibres pouvant être incorporées dans la matrice de béton. On peut citer : les fibres métalliques, les fibres synthétiques, les fibres naturelles etc. Dans ce qui suit, on va se focaliser sur les fibres métalliques qui seront utilisées dans le présent projet. Les fibres métalliques proviennent d'acier, ils ont l'avantage de travailler en traction et de limiter la fissuration.

Selon les dimensions des fibres, on peut distinguer les microfibres et les macro fibres métalliques. Les microfibres ont une longueur qui varie de 0,8 à 50 mm et un diamètre inférieur à 0,2 mm. Cependant les macro fibres ont une longueur qui varie de 25 à 65 mm et un diamètre équivalent de 0,2 à 1,3 mm. Leur résistance à la traction doit être supérieure à 1000 MPa. (EN14651, 2005)

La longueur de la fibre doit être plus grande que le diamètre du plus gros granulat. La géométrie de la fibre doit favoriser son ancrage dans la matrice béton (ex : crochet optimise l'ancrage de la fibre dans la matrice béton). Ce type de fibre est le plus utilisés dans le domaine de génie civil et fait l'objet de plusieurs recherches. (PIERRE ROSSI, 2005).

Les fibres métalliques sont de types et de formes variées et présentent une très bonne compatibilité avec le béton. (**La figure 1)** présente différentes géométries de fibres métalliques. Les fibres sont composées d'acier au carbone, d'acier inoxydable ou d'acier galvanisé contre la corrosion.

En général, la longueur des fibres varie de 0.8 à 65 mm et le diamètre varie de 0,2 à 1,3 mm La fabrication des fibres métalliques s'effectue selon plusieurs méthodes en relation avec leurs formes géométriques multiples. Ces fibres travaillent en tension dans le béton en étant sollicitées soit par frottement soit par ancrage ou les deux.

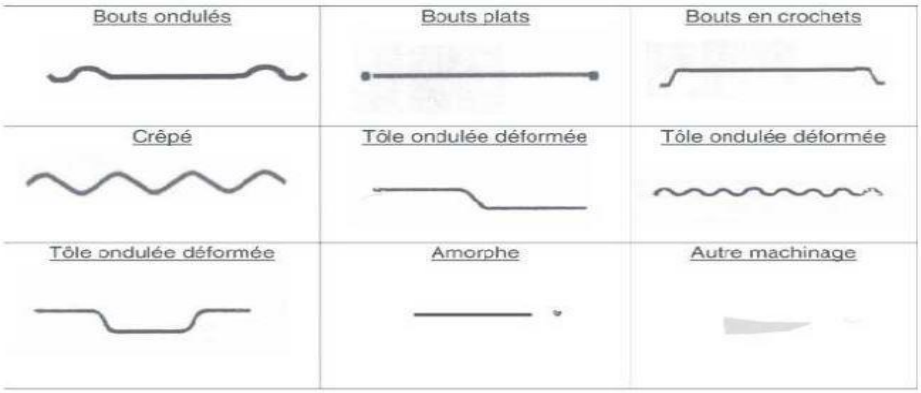


Figure 1. Différente géométrie des fibres métalliques (PIERRE ROSSI, 2005).

I.3. Composition des bétons de fibres métalliques.

L'utilisation de fibres augmente la ductilité du béton, c'est-à-dire ses caractéristiques en post fissuration. De plus, l'utilisation de fibres peut apporter une amélioration en flexion, en compression ainsi qu'à la résistance à la fissuration. Un béton fibré continue donc à supporter des charges après la formation de fissures. L'augmentation de la capacité en flexion est obtenue grâce à l'augmentation de la résistance par l'utilisation des fibres.

Cette propriété est aussi fonction de la nature, de la quantité et de l'efficacité des fibres utilisées. Il est important de se rappeler que la distribution uniforme des fibres dans le mélange est la condition essentielle pour obtenir une amélioration des caractéristiques mécaniques du béton fibré. Il faut combiner tout apport de fibres dans le béton à des techniques d'insertion des fibres permettant d'éviter la formation « d'oursins ». La recherche d'une composition optimale du béton de fibré est assez difficile, car l'ouvrabilité et l'homogénéité du composite dépend de trois facteurs essentiels à savoir :

- La géométrie des fibres définies par l'élancement,
- Le volume de fibres ajoutées dans le béton,
- La forme d'ancrage des fibres.

Concernant la mise en œuvre du béton de fibres, il est conseillé d'assurer le serrage par mise en vibration du coffrage ou table vibrante pour permettre l'orientation des fibres parallèlement au coffrage par effet de paroi, ce qui permettra l'enrobage de la fibre dans le béton et par conséquent éviter la corrosion des aciers. La diminution de l'ouvrabilité du béton de fibre est récupérée par l'ajout du plastifiant dans le mélange.

I.4. Rôle et domaines d'applications des fibres métalliques.

Lorsque les charges appliquées au béton s'approchent de la charge de rupture, les fissures se propagent, parfois rapidement. Les fibres noyées dans le béton jouent le rôle de « couture » des fissures **Figure 2.** La longueur moyenne de fibres utilisées est supérieure à la dimension du plus gros granulat. Les fibres empêchent la propagation des microfissures qui peuvent s'agrandir par :

- Allongement élastique ou plastique des fibres.
- Effritement de la matrice de béton au voisinage de la fibre.
- Glissement des fibres
- Rupture des fibres.

L'agrandissement des microfissures conduit à la rencontre avec les fibres, alors les fibres qui relient les lèvres des microfissures (**Figure 2**) sont tendues et soumises au cisaillement, les fibres absorbent une partie d'énergie qui conduit à la propagation des microfissures.

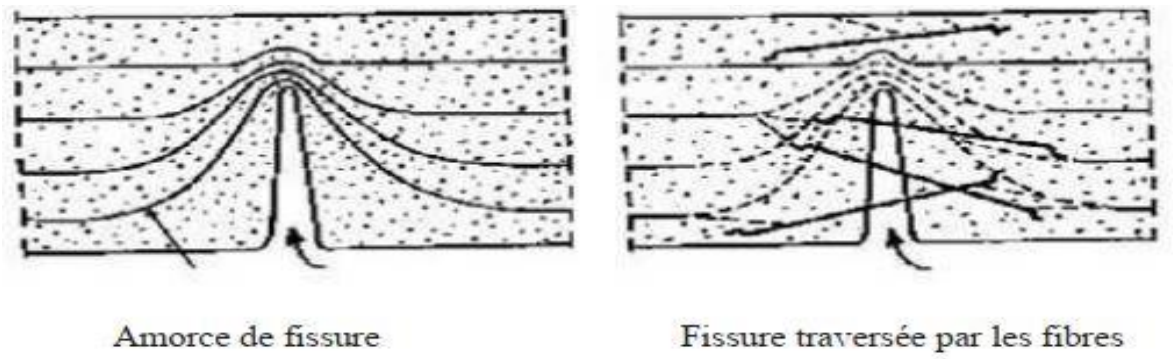


Figure 2. Propagation des fissures dans le béton fibré (Rossi P., 1998).

L'incorporation des fibres dans le béton permet aussi de passer d'un comportement fragile à un comportement ductile, transformer le comportement de béton ce qui conduit à l'accroissement de sécurité lors de chargement ultimes. (**Figure 3**).

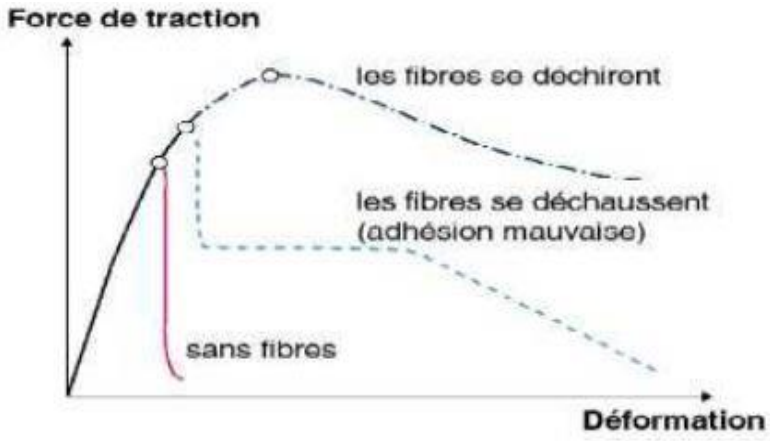


Figure 3. Apport du renfort par des fibres (Essai de traction). (Cotterell, 1996)

La recherche et le développement ont permis d'appliquer un concept de renforcement structural de différents types d'ouvrages en béton. De par leurs propriétés, les fibres trouvent un vaste domaine d'applications là où il faut réduire les risques de fissuration et l'amélioration des performances du béton pour optimiser le dimensionnement des ouvrages. Le béton fibré est utilisable dans tous les domaines du génie civil.

Tableau du domaine d'application de béton fibré. (Youcef FRITIH, 2009)

Domaine d'application	Intérêt de l'ajout des fibres dans le béton
Canalisation et coques minces Faiblement sollicitées.	Amélioration de la tenue des pièces aux jeunes âges -Modification des variations dimensionnelles, lutte contre la fissuration
Dallages, chaussées en béton, dallages manufacturés, et éléments structuraux soumis à la flexion	-diminution de 40% de l'ouverture de fissures -augmentation de la rigidité après la fissuration -augmentation de la résistance au cisaillement -augmentation de la résistance à l'usure
Eléments structuraux soumis à la compression (poteaux, pieux, fondation…)	Amélioration de la charge ultime -Pas de rupture fragile
Structures soumises à des sollicitations dynamiques (piste d'aéroport)	-énergie absorbée plus importante -augmentation de la résistance aux chocs -loi de comportement du matériau fortement améliorée
Réparation des revêtements routiers, tabliers de ponts	Amélioration de la résistance aux chocs -Amélioration de la déformabilité et de la durabilité
Parties exposées aux fortes variations de température et même aux très hautes températures	Remplacement avec succès de revêtement réfractaire -Diminution du coût de réparation des éléments réfractaires
Stabilisation des parois rocheuses, talus, tunnels, et galeries souterrains	Suppressions du travail de fixation du grillage ordinairement employé -diminution du coût de réparation de stabilisation des parois rocheuses et des talus
Fabrication de pieux, revêtements ignifuges isolants, panneaux de revêtement de façade.	-Augmentation de la résistance aux chocs -Augmentation de la résistance à l'usure -Augmentation de la durabilité de revêtement

Tableau 1. Domaine d'application de béton fibré.

I.5. Effet de l'addition des Fibres sur le comportement des Bétons à l'état Frais.

La maniabilité des bétons est affectée de manière significative par l'addition de fibres : La porosité du squelette granulaire est d'autant plus grande que le volume de fibres (Grunewald S., Walraven J.C.,). Pour que les fibres soient efficaces à l'état durci, il est recommandé de choisir des fibres plus longues que la taille du plus gros granulat (Johnston C.D., 1996) **(Figure 4**), Si le béton est destiné à être pompé, Il préconise de réduire le volume de granulats bruts de 10% par rapport au béton ordinaire pour faciliter l'opération.

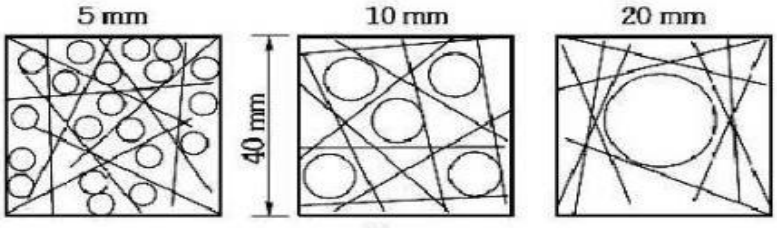


Figure 4. Effet de la taille des granulats sur la distribution des fibres. (Johnston C.D., 1996)

L'introduction de fibres entraînant une diminution de l'affaissement estimé entre 50 et 75 mm (Johnston C.D., 2001). Une teneur en fibre forte conduit à une diminution rapide de la maniabilité de béton, cette diminution est dû au fait que l'ajout des fibres est traduit par une augmentation de la surface spécifique dans le mélange, ce qui entraine une absorption d'eau conduisant au séchage du mélange qui signifie une perte dans l'ouvrabilité de béton (**Figure 5**)

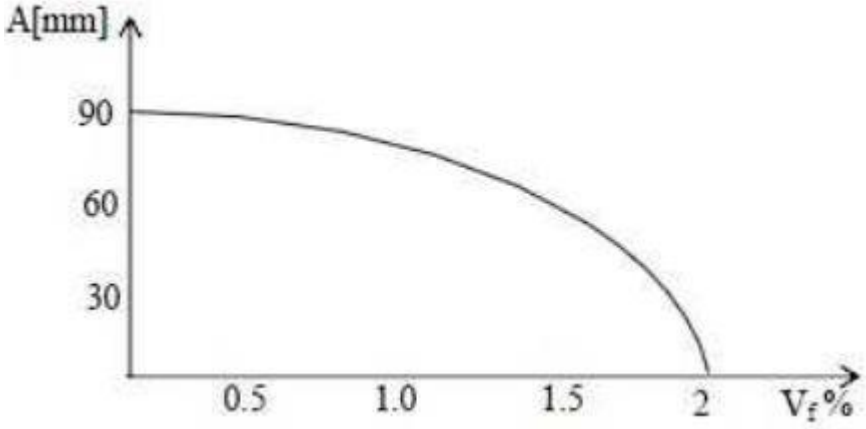


Figure 5. Effet des fibres sur la maniabilité de béton selon le volume des fibres inclus dans le béton. (Johnston C.D., 1996)

A (mm) - affaissement en mm

Vf% - volume des fibres en pourcentage

I.6. Facteurs influant sur le comportement d'un béton renforcé de fibres.

Le comportement de béton renforcé en fibres est influencé par plusieurs paramètres qui affectent son ouvrabilité et son comportement mécanique, et pour cette raison on peut conclure qu'il est très difficile de généraliser l'apport exact des fibres par rapport à un béton. Les principaux paramètres qui ont un effet sur le comportement de béton sont les suivants selon (Casanova Pascal, 1996) :

- Nature des fibres (métallique, synthétique …).
- Distribution des fibres et leur orientation
- Forme de la fibre (ondulée, droite, plate …).
- Longueur de la fibre Lf et élancement Lf/Df (Df diamètre).
- Dosage de fibre dans la matrice de béton.

I.6.1. Nature des fibres.

L'amélioration des propriétés de béton fibrés est fonction de type de fibre incorporé dans le béton. Les travaux menés par (Tabet Nesrine, 2012) ont montré que les fibres métalliques améliorent les propriétés des bétons à l'état frais et durci mieux que les fibres de verres. Mais ici on ne montre pas l'amélioration des propriétés du béton selon la résistance des fibres métalliques utilisées.

I.6.2. Distribution des fibres et leur orientation.

La principale cause qui affecte l'orientation préférentielle des fibres est la mise en place du béton lors de coulage, en effet lors de coulage de béton les fibres s'orientent suivant l'axe de l'écoulement puis parallèlement aux parois au fur et à mesure que le béton remplit le coffrage. Aussi la vibration peut causer une orientation préférentielle des fibres suivant l'axe de vibration. Les travaux menés par (Casanova Pascal, 1996) ont montré une parfaite corrélation entre l'orientation préférentielle des fibres et le comportement mécanique en traction suivant les trois directions.

Quand les fibres sont orientées perpendiculairement au plan de la fissure (carottes horizontales), les éprouvettes présentent un bon comportement à la traction, avec une meilleure résistance. Dans ce cas, les fibres assurent un transfert optimal des contraintes à travers la fissure.

A l'inverse, lorsque les fibres sont orientées préférentiellement parallèlement au plan de la fissure (carottes verticales), ce comportement est semblable à celui d'un béton sans aucun renfort de fibres.

Dans le cas intermédiaire (carottes diagonales), le comportement est amélioré, mais de façon limitée en raison de l'orientation des fibres intermédiaire **(Figure 6)**

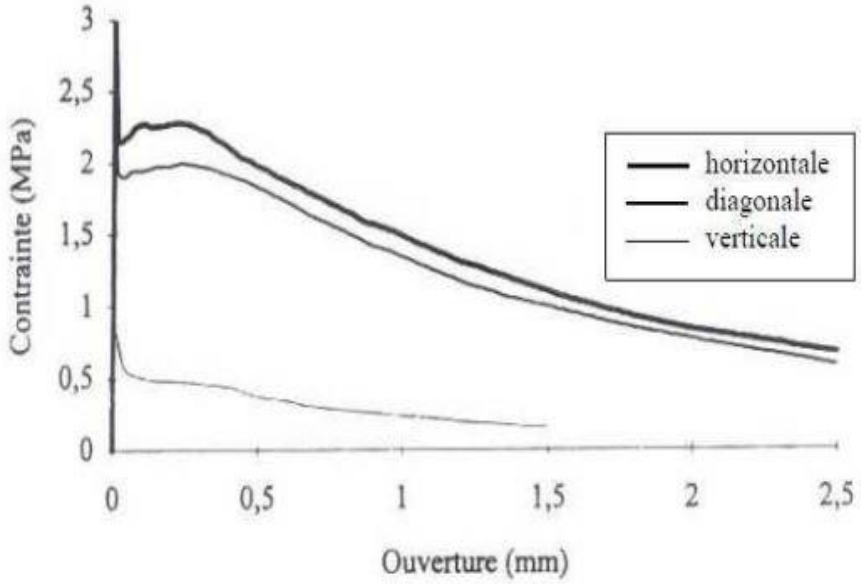


Figure 6. Influence de la direction du carottage sur le comportement en traction d'un béton fibré. (Casanova Pascal, 1996)

Ainsi, plusieurs auteurs ont montré que les fibres orientées perpendiculairement à l'axe de la sollicitation reprennent efficacement la fissuration, alors qu'une orientation parallèle à l'axe entraîne une baisse de l'effort maximum (Bronzel J., 1986) (Harrouche N, 1989)

L'élancement ou le rapport longueur/diamètre joue un rôle prépondérant dans la maniabilité d'un béton renforcé de fibres (notamment métalliques) Pour un dosage en fibre donné, plus l'élancement est important, plus la maniabilité du béton diminue (Swamy R.N , 1975) (Rossi P., 1998).

I.6.3. Dosage en fibre**.**

Le taux de fibre incorporé a une influence directe sur les propriétés de béton à l'état frais et durci. En effet les travaux menés par (Abdul Ghaffar, 2014)ont montré que :

- l'ouvrabilité diminue avec l'augmentation de la teneur en fibres métallique

-La résistance à la compression et à la flexion augmente avec l'augmentation du pourcentage des fibres pour arriver à un maximum correspondant à un dosage de 1.5% des fractions volumiques de fibres.

- En général, l'amélioration satisfaisante dans différents dosages est observée avec l'inclusion de fibre en acier dans le béton ordinaire. Cependant, le gain maximal de la résistance du béton dépend de la quantité de teneur en fibres.

- La ductilité du béton augmente avec l'inclusion de fibres à teneur élevée en fibres.

I.7. Comportements des BFM à l'état durci selon la teneur en fibres.

I.7.1. Comportement en compression.

La résistance à la compression est la donnée de base pour le calcul de la structure en béton armé. La plupart des résultats de la littérature concernant les bétons de fibres montrent une légère augmentation de l'effort maximum de compression avec la teneur en fibres mais au détriment de la maniabilité (Swamy R.N , 1975) (Swamy 1974b, 1974)

La plupart des cas, les fibres sont sollicitées après la formation des fissures dans le béton. Leur rôle est alors de « coudre » les fissures et de limiter leur ouverture. C'est pourquoi on note généralement plusieurs fissures de petites dimensions sur les éléments de BFM contrairement à quelques fissures de grande dimension dans les éléments de béton normaux. Ces fibres agissent donc à différentes échelles afin de limiter la fissuration du matériau causé par les charges ou le retrait (PIERRE ROSSI, 2005)**.**

(Setti F., Ezziane K., Setti B, 2012)**,** ont constaté que l'apport des fibres métallique procure un gain de 29% de la résistance en compression avec un dosage de 1.5 % de fibre voir **Figure 7**. Cette amélioration peut être attribuée à l'adhérence mécanique des fibres qui permet d'augmenter la capacité à retarder la formation des fissures et arrêter leur propagation. La longueur des fibres utilisées est de 50 mm et 0.75mm d'épaisseur.

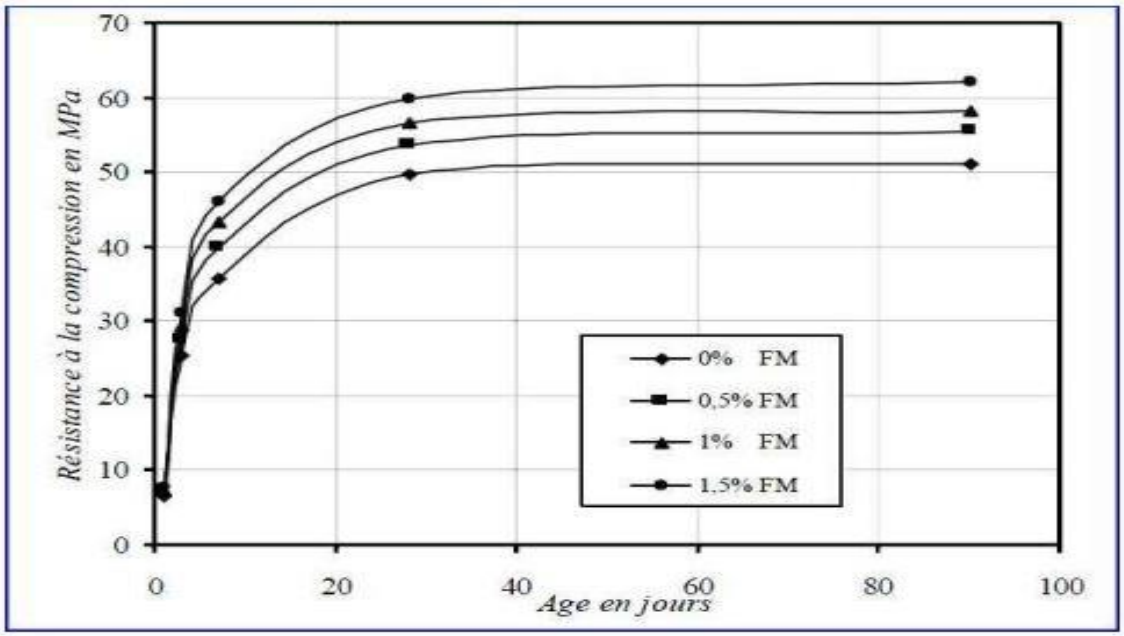


Figure 7. Evolution du gain de résistance compression du béton renforcé de la fibre selon le volume. (Setti F., Ezziane K., Setti B, 2012)

I.7.2. Comportement en Traction.

Le renforcement par des fibres métalliques est utilisé pour améliorer la ductilité et fournir un contrôle du mécanisme de fissuration. L'amélioration de la résistance dès la première fissuration est ordinairement un gain secondaire contrairement au faible effet des fibres sur la résistance en compression de béton. Les fibres ont un effet plus significatif au comportement en flexion (traction), ainsi dans plusieurs applications, les bétons renforcés de fibres sont utilisés dans des endroits où ils sont soumis à de tels efforts.

Les fibres métalliques utilisées essentiellement en dallages industriels, dallages de parking, les pistes, les pieux, les déversoirs de barrage, les silos (G.DREUX ET J.FESTA, 1995), présentent une bonne résistance à la traction, à la flexion et une augmentation de la ductilité.

(Setti F., Ezziane K., Setti B, 2012), ont constaté que la résistance à la flexion du béton augmente en fonction du temps, et que l'ajout de fibres d'acier engendre une nette augmentation telle qu'on obtient une résistance qui double de valeur en présence de 1.5% de fibres. Voir Figure 8.

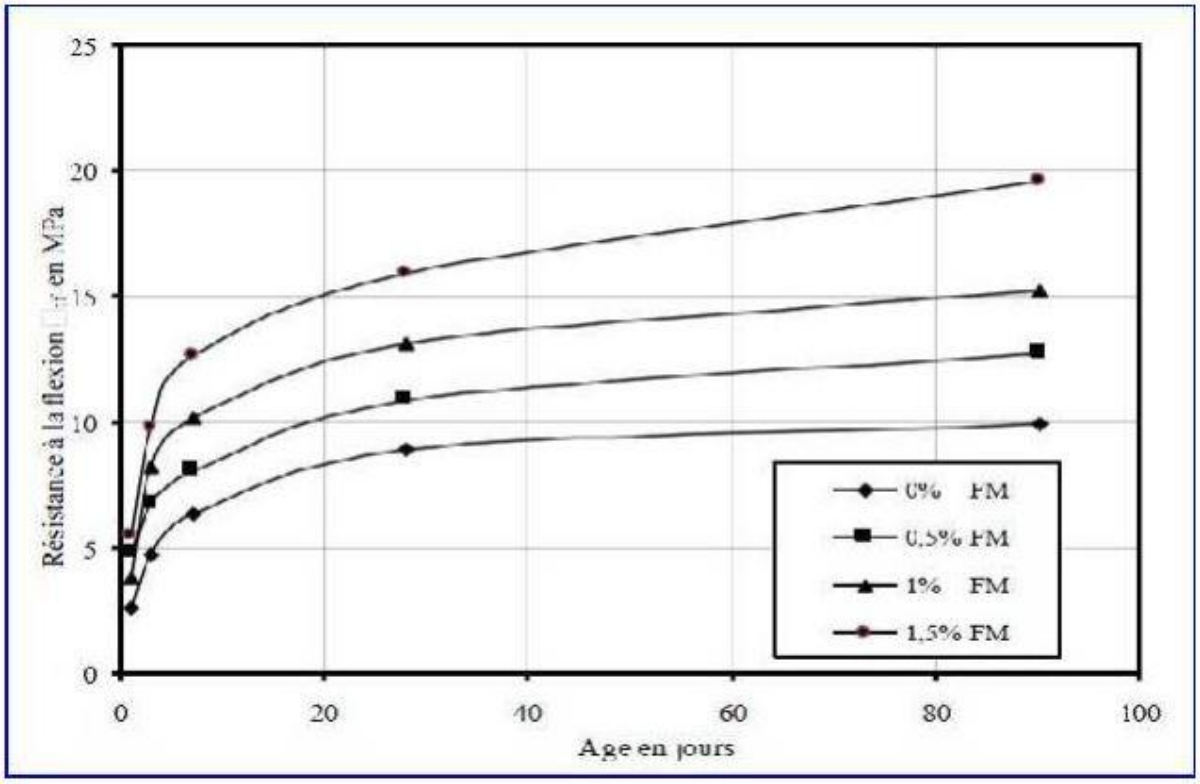


Figure 8. Evolution du gain de résistance en compression du béton renforcé de la fibre selon le volume. (Setti F., Ezziane K., Setti B, 2012)

Les travaux menés par (Mme BENTALHA, 2012) ont montré que pour tous les bétons il y a une augmentation de la résistance à la traction (Essais traction directe). Aussi le béton avec les fibres de faible longueur réagit comme les bétons témoins, cela peut s'expliquer par la dimension des fibres qui se rapprochent de la dimension d'un gros granulat et fonctionnent ainsi comme un béton sans fibres. Une nette augmentation de la résistance à la traction pour tous les mélanges de 7 à 28 jours.

I.8. Conclusion.

Comme conclusion les études montrent que les contraintes de béton fibré sont liées à plusieurs facteurs et paramètres et dépendent essentiellement de la forme géométrique des fibres (plat, ondulé, …etc.), au dosage des fibres, à la longueur et au diamètre des fibres. Ces paramètres influent essentiellement sur le comportement du béton fibré. La présente étude portera sur l'apport d'un paramètre qui est la résistance des fibres à la traction pour évaluer le comportement du béton vis-à-vis à ces fibres.

CHAPITRE II. CARACTERISTIQUES ET ESSAIS SUR LES DIFFERENTES COMPOSANTES DU BETON.

Afin d'étudier le comportement des bétons renforcés de fibres et d'analyser aux mieux les résultats, nous avons mené notre campagne expérimentale au niveau du laboratoire de la FSI à l'UNIVERSITE DU BURUNDI.

II.1. Ciment.

Le ciment utilisé dans notre travail est le ciment portland artificiel de marque DANGOTE ayant une résistance élevée au jeune âge (ciment CPA-CEM I 42.5R), les bétons ont été gâchés avec le dosage de 350 kg/m^3 (A = 7cm). Avec A qui est affaissement du béton frais.

II.2. Eau de gâchage.

L'eau utilisée pour la confection du béton est une eau potable de la ville de Bujumbura. Il ne contient aucune impureté nuisible donc il est approprié pour la fabrication du béton. La masse volumique prise en compte pour les calculs de formulation est la valeur conventionnelle de 1000kg/m^3.

II.3. Granulats.

Les granulats : sable et gravier utilisés dans cette étude proviennent de la rivière KANYOSHA en mairie de Bujumbura. Les caractéristiques de chaque classe granulaire conformément aux normes sont présentées comme suit :

II.3.1. Sable.

Le sable utilisé est le sable provenant de la rivière de Kanyosha dans la commune de Muha de la mairie de Bujumbura.

II.3.1.A. Teneur en eau du sable. (Norme NF P 18-555, 1990)

Cette mesure est de grande importance lors de la confection d'un béton. En effet, si les granulats sont mouillés et en particulier le sable, la formulation de béton doit être modifiée pour tenir compte de cet apport d'eau.

II.3.1. A.1. But de l'essai.

Cet essai a pour but de déterminer la masse d'eau interstitielle (eau située entre les grains du granulat), contenue par le granulat par rapport au matériau sec, on appelle cette valeur W.

II.3.1. A.2. Principe de l'essai.

Apres prélèvement d'une masse d'échantillon, celle-ci sera pesée tel que, ensuite elle sera séchée dans l'étuve pendant 24h et repesée ; la différence entre la masse humide et la masse sèche sur la masse humide le tout sera multiplié par 100 pour obtenir un %



Figure 9. Echantillon du sable placé dans l'étuve.

II.3.1. A.3. Résultats.

La teneur en eau est donnée par la formule

$W = \frac{(M1-M2)}{M1} * 100$

Avec, W – teneur en eau

M_1 – masse du sable avant le séchage

M_2 – masse du sable après le séchage

Le tableau ci-après nous montre les résultats de l'essai

M1 (Kg)	M2 (Kg)	W (%)
5	4.96	0.80

Tableau 2. Résultat sur la teneur en eau du sable.

II.3.1.B. Masse volumique absolue du sable « ρ_s ». (Norme NF P 18-555, 1990)

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. Exprimée en kg/m^3. Sa détermination est nécessaire pour le dosage pondéral.

La masse volumique absolue à la même valeur que la densité d'un même matériau, la seule différence étant que la densité n'a pas d'unité.

II.3.1. B.1. Détermination de masse volumique absolue « ρ_s ».

En partant d'une masse de granulat, et en la plongent dans un volume d'eau V1, on obtiendra sa masse volumique absolue par la division de cette masse par la différence des volumes : V2-V1

$$\rho_s = \frac{M}{V2-V1}$$

Avec :

ρ_s : masse volumique absolue

M : masse d'échantillon

V1 : volume d'eau avant

V2 : volume d'eau après introduction des granulats.

J'ai utilisé une méthode de l'éprouvette graduée, cette méthode est très simple, très rapide, et elle utilise du matériel très courant de laboratoire :

- Une éprouvette graduée
- Une balance

Conduite :

1. Remplir une éprouvette graduée avec un volume V1 d'eau
2. Peser un échantillon sec de granulat de masse M, et introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air
3. Le liquide monte dans l'éprouvette, lire le nouveau volume V2
4. La masse volumique absolue est alors ρ_s = M/ (V2-V1) en kg/m^3

Cet essai est effectué trois fois pour chaque échantillon, et j'ai pris la moyenne.

II.3.1. B.3. Résultats.

Les résultats obtenus sont présents dans le tableau suivant :

No d'essais	V_1(ml)	M(g)	V_2(ml)	ρ_s(kg/m^3)	ρ_s moyenne (kg/m^3)
1	1000	500	1197	2538.071	
2	1000	500	1198	2525.252	
3	1000	500	1198.5	2518.891	2527.405

Tableau 3. Résultat sur l'essai de la masse volumique du sable.

II.3.1.C. Analyse Granulométrique. (Norme NF EN 933 - 1 , 1997)

II.3.1. C.1. But de l'essai.

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs de différentes familles de grains constituant les échantillons. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 63 mm. Elle permet également de tracer la courbe granulométrique.

II.3.1. C.2. Principe de l'essai.

Cet essai consiste à classer les différents grains en utilisant une série des tamis, emboités les uns sur les autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes de haut vers le bas. Le classement s'obtient par secousse des tamis manuellement. Les masses dans différents refus ou celles des différents tamisées sont rapportées à la masse initiale de matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploites, soit sous leur forme numérique, soit sous forme graphique (courbe granulométrique).

Pour les sables, on utilisera en général les tamis de modules compris entre 20 et 37. Pour les matériaux plus grossiers, tous les tamis au-delà du module 37 seront utilisés.



Figure 10. Tamis utilisés lors de l'essai.

II.3.1. C.3. Résultats.

Le sable utilisé est un sable de rivière ayant la distribution ci-après obtenu après l'essai au laboratoire

Tableau : Analyse granulométrique du sable

Tamis en mm	**Refus cumulé en g**	**Refus cumule en %**	**Tamisat en %**
8	0	0	100
4	0	0	100
2	300	6	94
1	950	19	81
0.5	3010	60.2	39.8
0.25	4560	91.2	8.8
0.125	5000	100	0

Tableau 4. Résultat de l'analyse granulométrique du sable.

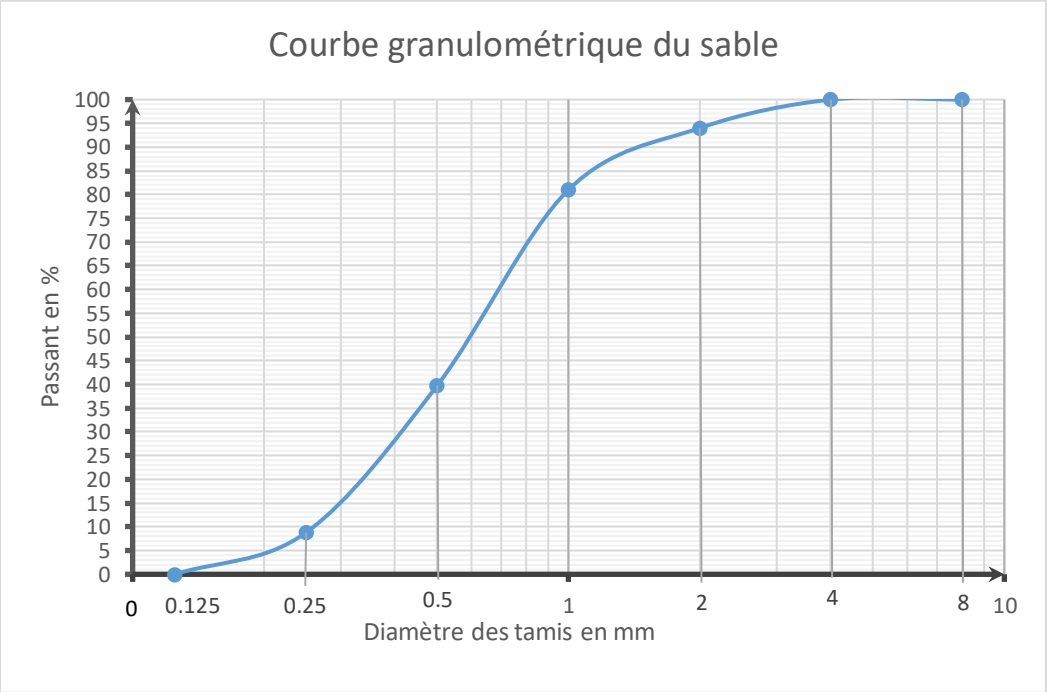


Figure 11. Courbe granulométrique du sable.

II.3.1. C.4. Module de finesse.

Le module de finesse M_f est une caractéristique géométrique importante surtout en ce qui concerne les sables. Le module de finesse des sables est déterminé selon (Norme XP P 18-540, 1997), et calculé selon la formule suivante :

$M_f = \frac{1}{100}\Sigma$ refus cumulé en % des tamis.

Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse M_f comprise 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 des fines et le béton y perd en ouvrabilité.

- Pour $2.2 < M_f < 2.8$ le sable convient pour obtenir une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec les risques de ségrégation limitées ;
- Pour $1.8 < M_f < 2.2$ le sable est à utiliser si l'on cherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance ;
- Pour $2.8 < M_f < 3.2$ le sable est à utiliser pour la recherche des résistances élevées, mais on aura en général, une moins bonne ouvrabilité et des risques de ségrégation.

Un bon sable donnant les meilleurs résultats dans le béton, est celui dont le module de finesse se situe aux environs la valeur de $M_f = 2.5$

Dans notre étude, le sable utilisé a un module de finesse

$$M_f = \frac{6+19+60.2+91.2+100}{100} = 2.764$$

D'après le résultat obtenu le module de finesse du sable est à utiliser pour obtenir une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limitées.

II.3.2. Gravier.

Nous avons utilisé le gravier roulé provenant de la rivière de Kanyosha se trouvant dans la commune de Muha en Mairie de Bujumbura.



Figure 12. Gravier utilisé lors de la formulation du béton.

II.3.2.A. Teneur en eau du gravier. (Norme NF P 18-555, 1990)

Pour déterminer la teneur en eau du gravier, on pèse la masse humide d'un échantillon et on la chauffe à une température de 105°C dans l'étuve à sécher. Après 24h, on pèse l'échantillon de la masse séchée.

M1 : Masse humide

M2 : Masse séchée.

La teneur en eau d'un granulat est donnée par formule suivante :

$$W=\frac{(M1-M2)}{M1}\times 100$$

Tableau de teneur en eau

M1(Kg)	M2(Kg)	W(%)
2	1,99	0,50

Tableau 5. Teneur en eau du gravier.

II.3.2.B. Masse volumique absolue du gravier.

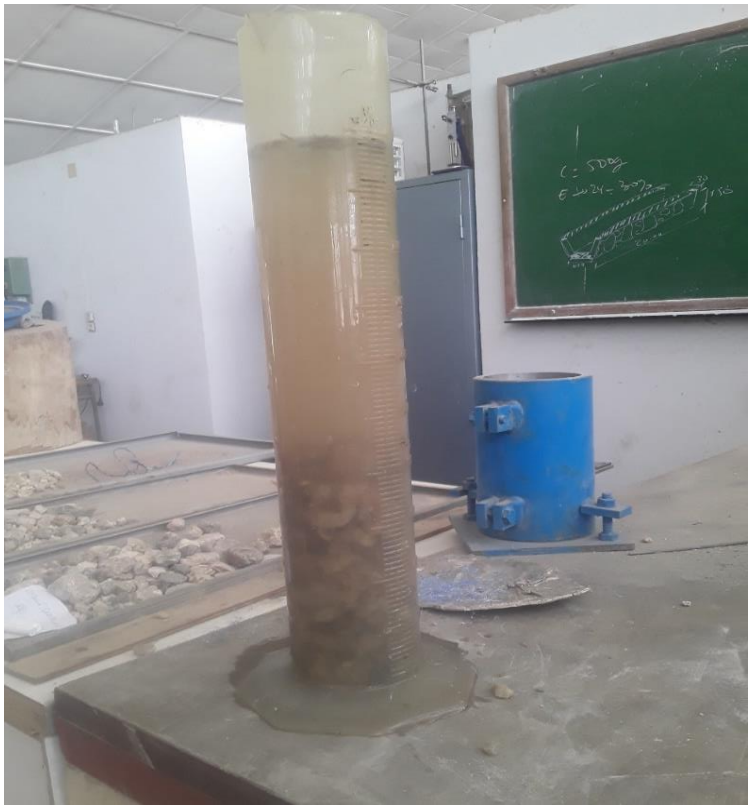


Figure 13. Masse du gravier placé dans l'étuve gradué rempli d'eau.

Mode opératoire :

- Je verse dans une éprouvette graduée en volume d'eau V1,
- Puis peser un échantillon sec de granulats,
- Puis introduire l'échantillon dans l'éprouvette,
- Puis relever le nouveau V2 après 24h,
- Et en fin calculer la masse volumique avec la formule suivante,

$$\rho_{ab} = \frac{M}{V2-V1}$$

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau de la masse volumique absolue du gravier

No d'essais	V_1(ml)	M(g)	V_2(ml)	ρ_{ab}(kg/m^3)	ρ_{ab} moyenne(kg/m^3)
1	1000	500	1188	2659.57	2641.697
2	1200	750	1484	2640.84	
3	1400	1000	1781	2624.67	

Tableau 6. Masse volumique du gravier.

Je prends la densité absolue du gravier de 2.641

II.3.2.C. Analyse granulométrique du gravier.

L'analyse granulométrique des granulats est déterminée selon la Norme NF EN 993-1

Les analyses d'identification des mélanges granulaires du gravier que nous avons effectuées sont résumées dans le tableau suivant :

Tamis en mm	Refus cumulé en g	Refus cumulé en %	Passant en %
31.5	0	0	100
16	1578	31.56	68.44
8	4400	88	12
4	4850	97	3
2	4930	98.6	1.4
1	4986	99.72	0.28
0.5	4990	99.8	0.2
0.25	4995	99.9	0.1
0.125	5000	100	0

Tableau 7. Résultat de l'analyse granulométrique du gravier.

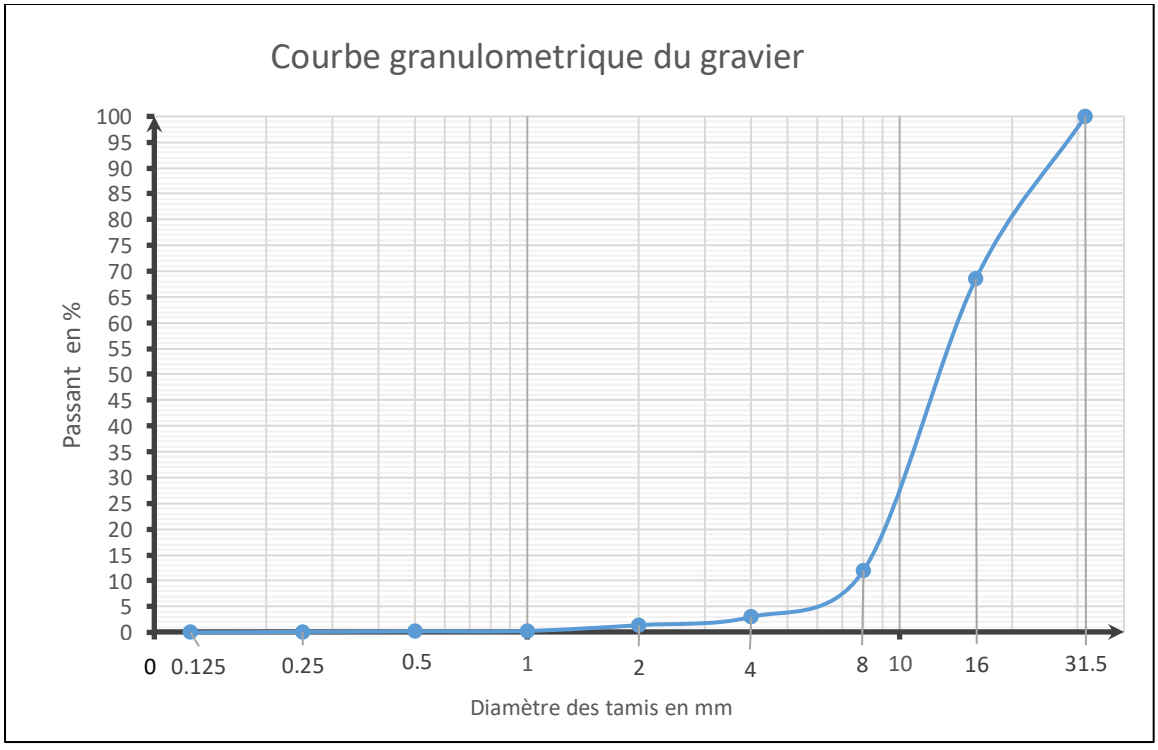


Figure 14. Courbe granulométrique du gravier.

II.4. Description des fibres utilisées.

La résistance en traction des fibres utilisées varie d'une gâchée à l'autre. Les fibres utilisées pour renforcer le béton sont des fibres issues du découpage de cinq types de fils métalliques, notamment de l'acier. Elles sont de section circulaire de diamètres de 1mm.

Ces matériaux ont été obtenus par commande dans l'usine de fabrication MUSUMBA STEEL. J'ai pris une proportion de fibre de 1.5% du volume du béton. Ce travail nous permet de mélanger les bonnes proportions des dosages des fibres dans toutes les variantes du béton fibré.

Pour que les fibres soient capables d'entourer efficacement les granulats, il faut que leur longueur représente la dimension plus grande que celle du gros granulat. Etant donné que la formulation du béton inclue des granulats de 31.5 mm, on a pris une longueur de fibres de 60mm. Afin d'obtenir cette longueur, J'ai fait recours à une cisaille manuelle.

II.4.1. Essais à la résistance de traction des fibres.

Les fibres que nous avons utilisées ont été fournies avec des résistances à la traction commandée. Afin de bien mener notre travail ; nous avons fait des essais de vérification de la résistance de traction des fibres au laboratoire de la FSI à l'université du Burundi.



Figure 15. Essai sur la résistance à la traction des fibres.

II.4.1.A. But de l'essai.

Cet essai a pour but de déterminer la résistance à la traction des fibres que j'ai utilisées dans le béton fibré. Pour notre cas nous l'avons utilisé pour déterminer la résistance à la traction des fibres qu'on a utilisées.

II.4.1.B. Principe de l'essai.

J'ai réalisé six essais pour chaque fibre.

Mode opératoire :

- J'ai coupé le morceau d'échantillon de 50 cm,
- Puis placer le morceau d'échantillon dans la mâchoire de la machine,
- Puis actionner la machine,
- Lire la force utilisée par la machine pour écraser l'échantillon en N,
- Alors la résistance est trouvée avec la formule,

$$R = \frac{F}{A}$$

R – résistance à la traction en N/mm^2,

F – Force en N,

A – section de la fibre en mm^2,

II.4.1.C. Résultats.

Les résultats obtenus après la réalisation de l'essai sont présentés dans le tableau ci-après :

Identification		FORCE (N)	SECTION (mm^2)	RESISTANCE (MPa)	MOYENNE RESISTANCE (MPa)
Fibre	Essai				
F_1	1	771.290	0.785	982.037	999.357
	2	781.053	0.785	994.468	
	3	784.633	0.785	999.026	
	4	777.128	0.785	989.470	
	5	801.254	0.785	1020.188	
	6	794.001	0.785	1010.953	
F_2	1	1562.221	0.785	1989.082	1985.493
	2	1523.002	0.785	1939.146	
	3	1624.314	0.785	2068.141	
	4	1598.321	0.785	2035.046	
	5	1541.052	0.785	1962.128	
	6	1507.504	0.785	1919.414	
F_3	1	2301.340	0.785	2930.157	2997.830
	2	2406.684	0.785	3064.285	
	3	2294.301	0.785	2921.195	
	4	2327.710	0.785	2963.732	
	5	2299.901	0.785	2928.325	
	6	2497.005	0.785	3179.286	
F_4	1	3120.213	0.785	3972.779	4004.283
	2	3106.977	0.785	3955.926	
	3	3213.008	0.785	4090.929	
	4	3079.241	0.785	3920.611	
	5	3199.635	0.785	4073.902	
	6	3150.663	0.785	4011.549	

Tableau 8. Résultat sur la résistance à la traction des fibres utilisées.

Identification		FORCE (N)	SECTION (mm^2)	RESISTANCE (MPa)	MOYENNE RESISTANCE (MPa)
Fibre	Essai				
F_5	1	3947.199	0.785	5025.730	4999.987
	2	3888.901	0.785	4951.503	
	3	3900.100	0.785	4965.762	
	4	3923.133	0.785	4995.088	
	5	3960.406	0.785	5042.546	
	6	3942.145	0.785	5019.295	

Tableau 9. Résultat sur la résistance à la traction des fibres utilisées (suite).

Comme les valeurs trouvées lors des essais au laboratoire sont proches des valeurs fournis par l'usine de fabrication j'adopte les valeurs d'usine.

Les caractéristiques des fibres utilisées sont :

Caractéristiques	Valeurs
Longueur	60 mm
Diamètre	1 mm
Longueur des crochets	Sans
Angle des crochets	Sans
Résistance à la traction des fibres	R_1 = 1000 N/mm^2
	R_2 = 2000 N/mm^2
	R_3 = 3000 N/mm^2
	R_4 = 4000 N/mm^2
	R_5 = 5000 N/mm^2
Type d'encrage	Fibre sans crochets

Tableau 10. Caractéristiques des fibres utilisées.

II.4.2. Détermination de la masse volumique des fibres.

Pour déterminer la masse volumique des fibres, j'ai fait recourt à la méthode simple et souvent utilisée pour déterminer la masse volumique des matériaux. Nous avons pris une masse de 2 kg de fibre et 1 litre d'eau V1 dans un tube gradué en ml. J'ai plongé les fibres dans cette tube gradue puis j'ai lit le volume V2 qui est le volume de l'eau plus le volume des fibres.

La masse volumique est donnée par la formule suivante :

$$\rho_f = \frac{M}{V2-V1} \qquad \text{Avec} \qquad \rho_f \text{ - masse vomique de la fibre}$$

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-après ;

Fibre	Masse en g	V1 en *ml*	V2 en *ml*	Masse volumique kg/m^3	Densité
F1	2000	1000	1253	7905.14	7.91
F2	2000	1000	1252	7936.51	7.94
F3	2000	1000	1249	8032.13	8.03
F4	2000	1000	1246	8130.08	8.13
F5	2000	1000	1243	8230.45	8.23

Tableau 11. Masse volumique des fibres utilisées.

II.4.3. Détermination de la quantité de fibre.

Pour permettre les bons dosages des fibres dans toutes les variantes du béton fibré, Nous avons utilisé des fibres de même diamètre pour tous les gâchés ; soit 1 mm de diamètre et un taux d'incorporation de 1.5% du volume du béton.

Le volume des fibres est de 1.5% du volume du béton

$$\mathbf{V_f} = 0.015\ \mathbf{V_B}$$

Avec $\mathbf{V_B}$ – le volume du béton et $\mathbf{V_f}$ **–** volume des fibres

Pour notre cas nous avons utilisé les éprouvettes de dimension 10×10×10 cm, le nombre de fibre dans une éprouvette est donné par :

$\mathbf{V_B}$ = 1000 cm^3

$\mathbf{V_f}$ = 0.015 × 1000 cm^3

$\mathbf{V_f}$ = 15 cm^3

Le volume total du gâché de 6 éprouvettes sera alors

$\mathbf{V_f}$ Total =15 cm^3×6 = 90 cm^3

Soit $\mathbf{V_f}$ total 9.10^{-5} m^3

Après avoir trouvé la masse volumique et le volume des fibres dans un gâché je peux déterminer la masse des fibres dans un gâché par la formule suivante

$$m = \rho \times V$$

Avec, m - masse de fibre dans une gâché

ρ - masse volumique des fibres

V - volume des fibres dans une gâché

Alors j'aurai les masses des fibres suivantes dans le béton :

Pour le BFM_1

m = ρ_{F1} × $\mathbf{V_f}$ total

m = 7905.14 × 9.10^{-5} = 0.711 kg

Pour le BFM_2

m = ρ_{F1} × Vf total

m = 7936.51 × 9.10^{-5} = 0.715 kg

Pour le BFM_3

m = ρ_{F1} × Vf total

m = 8032.13 × 9.10^{-5} = 0.723 kg

Pour le BFM_4

$m = \rho_{F1} \times Vf\ total$

$m = 8130.08 \times 9.10^{-5} = 0.732\ kg$

Pour le BFM_5

$m = \rho_{F1} \times Vf\ total$

$m = 8230.45 \times 9.10^{-5} = 0.741\ kg$

Nous avons fait recours au cisaillement manuel des morceaux de 60 cm afin de les incorporer dans le béton.



Figure 16. Fibres déjà coupé en morceau de 60 cm.

CHAPITRE III. FORMULATION DU BETON.

L'étude de la composition de béton ordinaire consiste à définir le mélange optimal des différents granulats, dont on dispose ainsi que le dosage en ciment et en eau à l'effet d'obtenir un béton qui répond aux spécifications recherchées.

Donc l'étude d'une composition de béton comporte presque toujours, à rechercher conjointement deux qualités essentielles à savoir : résistance et maniabilité, or ces deux qualités sont étroitement liées l'une à l'autre, quant aux facteurs dont elles dépendent mais elles varient en sens inverse comme le montre dans le tableau ci-dessous :

Facteur de composition	Pour bonne ouvrabilité	Pour bonne résistance
Finesse de sable	Plutôt fin	Plutôt grossier
Rapport G/S	A diminuer	A augmenter
Dosage en eau	A augmenter	A diminuer
Granularité	Continue préférable	Discontinue légèrement préférable
D max des granulats	Plutôt petite	Plutôt forte

Tableau 12. Divers paramètres en fonction soit de l'ouvrabilité soit de résistance recherché. (DREUX GORISS)

La méthode que nous avons utilisée pour la composition de béton est la méthode DREUX-GORISS vue sa simplicité de détermination des différents constituants du béton.

III.1. Principe de la méthode.

La résistance et l'ouvrabilité désirée conduit à déterminer le dosage en ciment et le dosage en eau. Une courbe de référence granulaire est ensuite tracée schématiquement en tenant compte des différents paramètres concernant le béton étudié et ses constituants : dimension des granulats, dosage en ciment, plasticité, module de finesse du sable, pompable, intensité de serrage, des différents granulats dont on dispose.

En fin, la prise en compte d'un coefficient de compacité probable du béton et de la masse volumique des différents granulats permet d'aboutir à la formule de dosage pondéral pour le béton cherché.

III.2. Méthode de DREUX GORRIS pour la composition de béton.

III.2.1. Résistance envisagé.

En général, une résistance en compression à 28 jours f_{c28} est demandée, nous avons fixé une résistance de 25 MPA, il faudra viser une résistance moyenne à 28 jours f_c

fc supérieur à f_{c28}

Car : si l'on admet un coefficient de variation moyenne de l'ordre de 15%, on pourra adopter la règle approximativement pour la résistance moyenne à viser de :

$f\text{c} \approx f_{c28}$ + 15% de f_{c28}

III.2.2. Consistance envisagée.

Cette consistance est en fonction de la nature de l'ouvrage (plus ou moins massif ou plus ou moins ferraillé) de la difficulté du bétonnage, des moyens de serrage, etc. Elle peut se définir en général par la plasticité désirée mesurée par affaissement au cône comme indique dans le tableau ci- dessous

plasticité	Serrage	Affaissement en cm	N nombre de chocs
Béton très ferme	Vibration puissante	0 à 2	> 60
Béton ferme	Bonne vibration	3 à 5	30 à 50
Béton plastique	Vibration courante	6 à 9	15 à 25
Béton mou	Piquage	10 à 13	10 à 15
Béton fluide	Léger piquage	≥ 14	< 10

Tableau 13. Tableau d'évaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cône Abrams.

III.2.3. Dimension maximale des granulats.

Elle faite en fixant des valeurs maximales en fonctions des dimensions de la structure analysée selon la nature de l'ouvrage.

Par l'essai d'analyse granulométrique, plusieurs dimensions des tamis peuvent satisfaire aux conditions posées par la norme XP18-540 pour la définition du diamètre D du plus gros granulat.

III.2.4. Dosage en ciment.

Nous commençons par évaluer approximativement le rapport C/E en fonction de la résistance moyenne *f*c par la formule des études de Bolomey :

$$fc = GF_{CE}\left(\frac{C}{E} - 0.5\right)$$

*f*c : résistance moyenne en compression désirée (à 28 jours) en MPa

F_{CE} : classe vraie du ciment (à 28 jours) en MPa

C : dosage en ciment (en Kg/m^3)

E : dosage en eau totale sur matériaux secs (en l/m^3)

G : coefficient granulaire,

La valeur approximative du coefficient granulaire G est déterminée selon le tableau ci-dessous établi par (G.DREUX ET J.FESTA, 1995). Ces valeurs supposent que le serrage du béton sera effectué dans de bonnes conditions (par vibration)

Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	Fins (D < 16mm)	Moyenne (25 < D < 40 mm	Gros (D > 63 mm)
Excellente	0.55	0.6	0.65
Bonne, courante	0.45	0.5	0.55
Passable	0.35	0.4	0.45

Tableau 14. Tableau des valeurs approximatives du coefficient granulaire G.

Il ne suffit pas alors, connaissant le rapport C/E, de fixer arbitrairement le dosage en ciment et d'en déduire le dosage en eau E ; en effet, en choisissant par exemple, un faible dosage en ciment, on trouvera un dosage en eau aussi faible, on risque d'obtenir un béton trop sec et vice versa.

Le dosage en ciment est donc fonction de C/E mais également du dosage en eau nécessaire pour une ouvrabilité satisfaisante.

La figure de l'abaque ci-après, nous permet d'évaluer approximativement C en fonction du C/E et de l'ouvrabilité désirée qui doit donc être considérée.

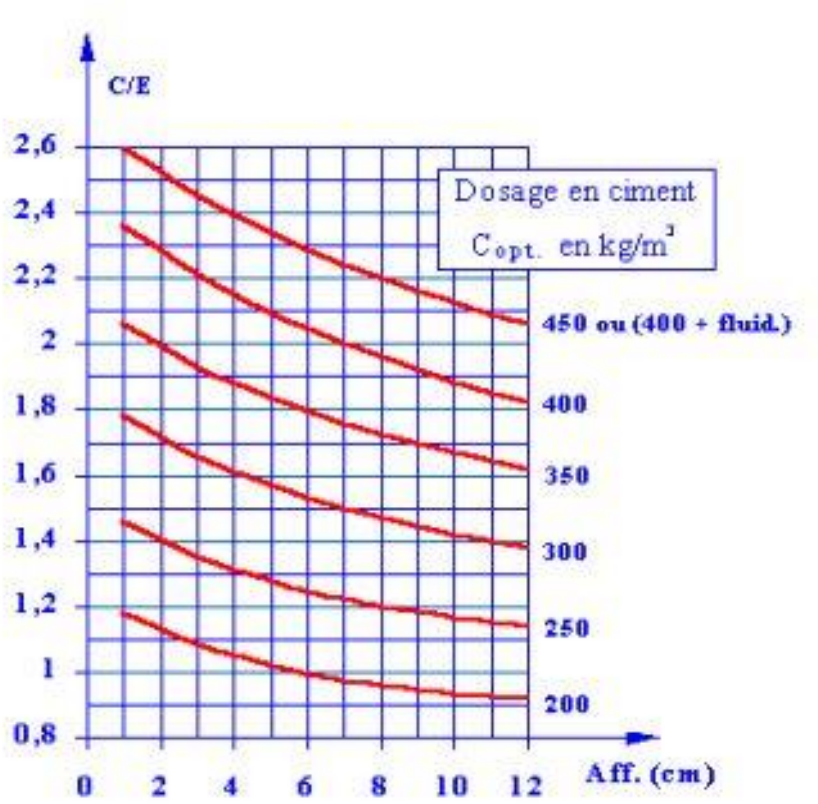


Figure 17. Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône).

III.2.5. Dosage en eau.

Ayant fait le choix du dosage en ciment C, nous déduisons alors le dosage approximatif en eau totale à prévoir et qu'il conviendra bien entendu d'ajuster ultérieurement par quelques essais de plasticité et d'ouvrabilité.

Correction du dosage en eau totale en fonction de D

La correction sur le dosage en eau correspond à D = 20mm peut être approximativement évaluée d'après les valeurs du tableau en fonction de D

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

Tableau 15. Tableau de correction en pourcentage sur le dosage en eau en fonction de la dimension maximale des granulats D (si D ≠ 20 mm).

III.2.6. Courbe de référence.

La courbe de référence a comme point d'origine le point O et passe par le point de brisure A et point final B. Les coordonnées des points A, B, O sont déterminés comme suit :

- Le point O correspond à l'ordonnée par 0 % et en abscisse par la dimension du plus petit granulat soit 0.063
- Le point B l'ordonnée correspond à 100% et en abscisse la dimension du plus gros granulat soit 31.5
- Le point A, Les cordonnées sont ainsi définies :

  - En abscisse à partir de la dimension D des tamis
    Si D ≤ 20 mm, abscisse est D/2
    Si D ≥ 20 mm, est située au milieu du segment gravier limité par le module 38 soit 5 mm et le module correspondant à D
  - En ordonnée :

    $$Y = 50 - \sqrt{D} + K$$

    K est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés et également de module de finesse du sable.

VIBRATION		FAIBLE		NORMALE		PUISSANTE	
Forme des granulats (des sables en particulier)		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en ciment	400+ superplastifiant	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	+2	-2	0	-4	-2
	350	+2	+4	0	+2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

Tableau 16. Tableau de Valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats.

Nota :

1 Correcetion suplémentaire K_s : si le module de finesse du sable est fort « sable grossier », une correcetion supplementaire sera apportée de façon à relever le point A, ce qui correspond à majorer le dosage en sable et vice versa. La correction supplémentaire sur K peut être effectué en ajoutant la valeur $K_s=6Mf-15$ Mf étant le module de finesse du sable qui peut varier de 2 à 3 avec une valeur optimale de l'ordre de 2,5 pour laquelle la correction préconisée est alors nulle.

2 Correction supplémentaire K_p si la qualité du beton est précisée « pompable » il conviendra de comférer au béton le maximum de plasticité et de l'enrichir en sable par rapport à un béton de qualité courante. On pourra par cela majorer le terme correcteur K de la valeur K_p= +5 à +10 environ, selon le degré de plasticité désiré.

III.2.7. Coefficient de compacité.

Il est défini comme le rapport des volumes absolus en litres des matières solides contenus dans un mètre cube de béton frais :

$$V_m = Vs + Vg + Vc = 1000 \times \Upsilon$$

On choisira une valeur approximative de Υ dans le tableau ci-après :

Consistance	Serrage	Υ Coefficient de compacité						
		D=5	D=10	D=12.5	D=20	D=31.5	D=50	D=80
Molle	Piquage	0.750	0.780	0.795	0.805	0.810	0.815	0.820
	Vibration faible	0.755	0.785	0.800	0.810	0.815	0.820	0.825
	Vibration normale	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
Plastique	Piquage	0.730	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
	Vibration faible	0.765	0.795	0.810	0.820	0.825	0.830	0.835
	Vibration normale	0.770	0.800	0.815	0.825	0.830	0.835	0.840
	Vibration puissante	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.745
Ferme	Vibration faible	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
	Vibration normale	0.780	0.810	0.825	0.835	0.840	0.845	0.850
	Vibration puissante	0.785	0.815	0.830	0.840	0.845	0.850	0.855
Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'apporter les corrections suivantes : Sable roulé et gravillon concassé : -0.01 , Sable et gravillon concassé : -0.03								

Tableau 17. Tableau de Valeur de coefficient de compacité Υ.

III.2.8. Dosage des granulats.

La courbe granulaire de référence OAB est tracée sur le même graphique que les courbes granulométriques des granulats composants. On trace alors les lignes de partage entre chacun des granulats, en joignant le point à 95% de la courbe granulaire du premier, au point de 5 % de la courbe du granulat suivant et ainsi de suite.

Nous lisons alors sur la courbe de référence, au point de croisement avec la droite de partage, le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats soit g1 et g2 respectivement.

Soit « C » le dosage en ciment, le volume absolu des grains de ciment est

$$V_c = \frac{C}{3.1}$$

En admettant une masse spécifique de 3.1 pour les grains de ciment, valeur moyenne habituellement admise.

Le volume absolu de l'ensemble des granulats devient :

$$V = 1000\ \Upsilon' - c$$

Les volumes absolus de chacun des granulats sont données par :

$v_1 \geq g_1 V, \quad v_2 \geq g_2 V \quad , \; v_3 \geq g_3 V$

Si les masses spécifiques de chacun de ces granulats sont connus soit G_1, G_2 et G_3 les masses de chacun d'eux seront :

$p_1 = v_1 G_1$; $p_2 = v_2 G_2$ et $p_3 = v_3 G_3$

III.3. Dosage du mélange.

III.3.1. Détermination de la courbe de référence.

Une fois les courbes granulométriques des différents granulats ont été tracées, nous pouvons représenter, graphiquement, l'allure de la courbe du mélange granulaire appelée courbe de référence, cette courbe est désigné par 3 points ayant pour coordonnées :

- Point O en abscisse par 0.063 et en ordonnée 0 %
- Point B en abscisse par D et en ordonnée 100%
- Point, A, appelé aussi point de brisure
  - En abscisse : si D ≤ 20 mm ; l'abscisse est D/2

    Si D > 20 mm ; l'abscisse est située au milieu du segment gravier

    Limité par le tamis de maille (5mm) et le module correspondant à D

Pour notre cas on a D > 20 mm, D = 31.5 mm

Alors l'abscisse du point A est situé au milieu du segment délimité par D et par le tamis de maille de 5 mm :

$$X_A = \frac{5+31.5}{2} = 18.25$$

- En ordonnée :

  $Y_A = 50 - \sqrt{D} + K'$

  $K' = K + Ks + Kp$

  K : terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats, et également du module de finesse.

  Pour notre cas

  Le dosage est 350kg/m^3

  Vibration est normale

  Les granulats sont roulés

  Alors K= 0

  Ks = 6Mf – 15 avec Mf = 2.764

  Ks = (6 × 2.764) – 15 = 1.584

  Kp pour notre cas, c'est le béton non pompé alors Kp=0

Alors Y_A devient : $Y_A = 50 - \sqrt{D} + Ks$

$$Y_A = 50 - \sqrt{31.5} + 1.584 = 45.97\%$$

Tableaux de synthèse des cordonnées pour la courbe de référence

Module de finesse	2.764
K	0
Ks	1.584
Kp	0

Point	X	Y
O	0.063	0
B	31.5	100
A	18.25	45.97

Tableau 18. Tableau de synthèse des coordonnées pour la courbe de référence.

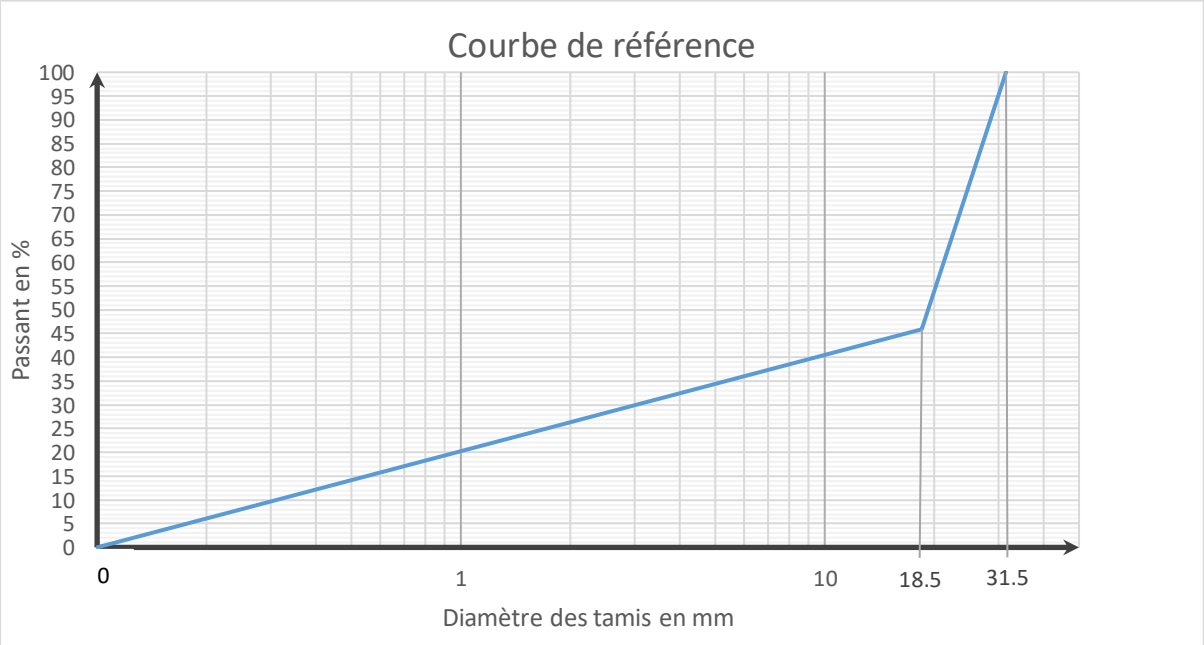


Figure 18. Courbe de référence.

III.3.2. Tracé de la courbe représentative du mélange des granulats.

On trace la ligne de partage entre les courbe granulométriques en joignant le point à 95% de la courbe granulaire du premier, au point de 5% de la courbe du granulat qui vient juste après et ainsi de suite. On lira alors sur la courbe de référence, au point de croisement avec la droite de partage, les pourcentages en volume absolu de chacun des granulats.

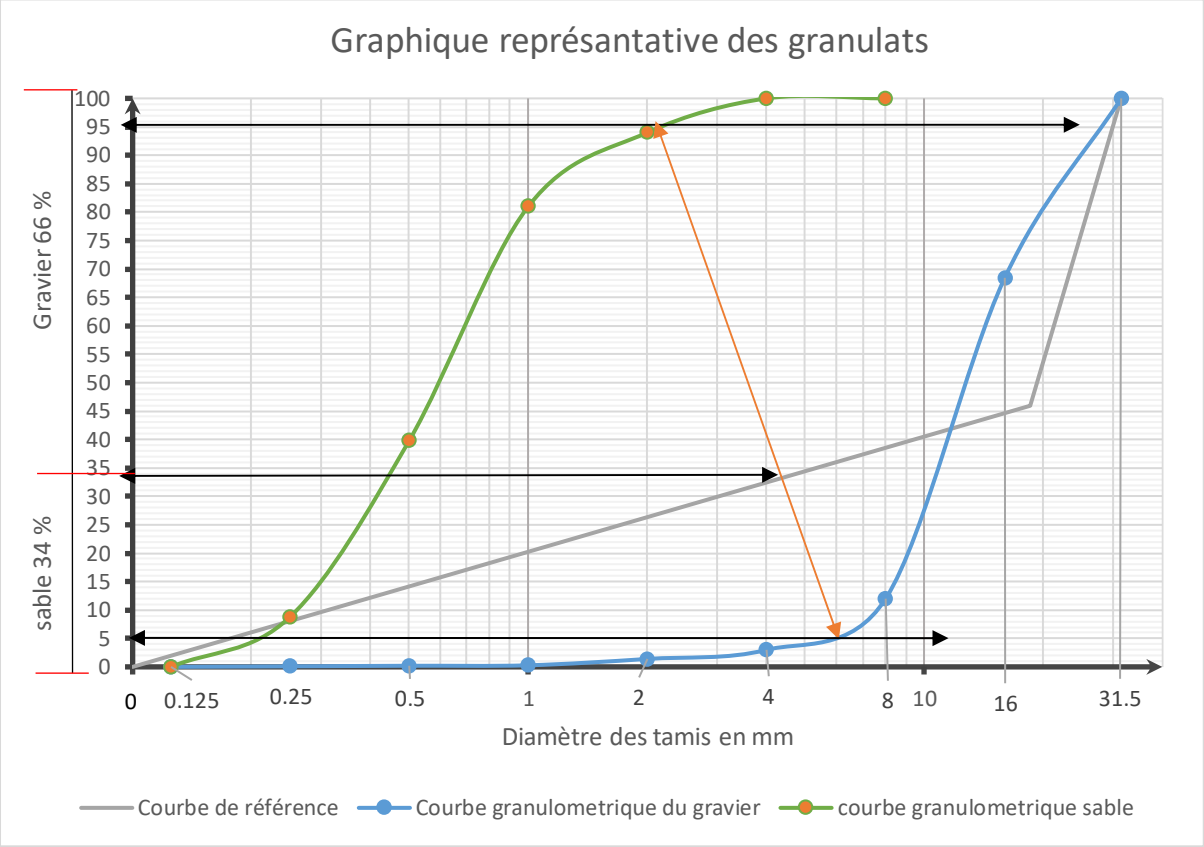


Figure 19. Proportion des granulats par DREUX GORRIS.

III.3.3. Dosage de ciment et d'eau.

Le rapport de poids de ciment est défini en fonction de la résistance moyenne (relation de Bolomey). fc= GF_{CE} ($\frac{C}{E}$ - 0.5)

- La valeur approximative du coefficient granulaire G : ces valeurs supposent que le serrage du béton sera effectué dans des bonnes conditions. Pour notre cas le G est égal à 0.5, voir tableau 13 des valeurs approximatives des coefficients granulaires.
- La résistance recherchée du béton f_{c28} est de 25 MPa
- Le type de ciment est de classe commerciale DANGOTE (ciment CPA-CEM I 42.5R)
- La classe vraie du ciment à 28 jours est de :

F_{CE}= 42.5+20% × 42.5 ce qui donne la résistance de 51 MPa

- La résistance moyenne en compression désirée à 28 jours est donnée par l'expression suivante

$$f_c = f_{c28} + 15\ \%\ \text{de}\ f_{c28},\quad fc = 25 + 15\% \times 25 = 28.75\ \text{MPa}$$

Donc on a :

$$fc = GF_{CE}\left(\frac{C}{E} - 0.5\right)$$

Ce qui donne : $\frac{C}{E} = \frac{f_c}{GF_{CE}} + 0.5$

Alors : $\frac{C}{E} = \frac{28.75}{0.5 \times 51} + 0.5 = 1.63$

En utilisant l'abaque, nous avons fixé le dosage en ciment de 350 kg/m^3 et l'affaissement de 7 cm, l'abaque nous donne alors un rapport de 1.73

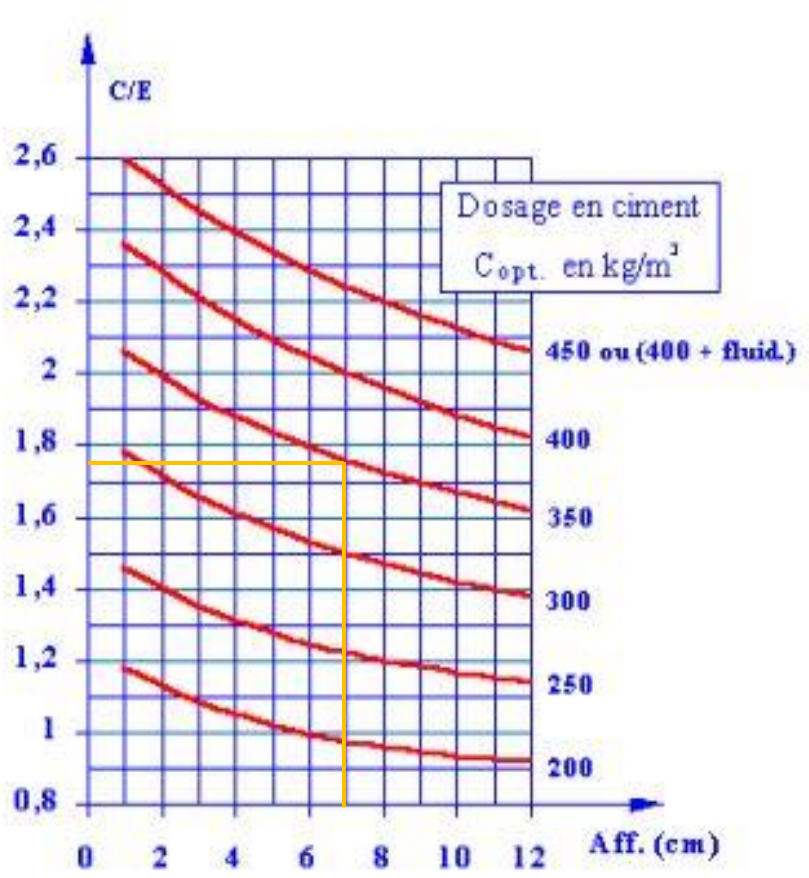


Figure 20. Abaque du dosage ciment eau.

Avec les deux rapports qu'on vient de trouver, nous prenons le rapport évalué par l'abaque pour plus de précision ce qui donne $\frac{C}{E} = 1.73$

Donc le dosage en eau devient: $E = \frac{350}{1.73} = 202.31$ l/m^3

Nous appliquons le coefficient de correction selon le diamètre du gros granulat utilisé (31.5 mm) qui est de -4%

Le dosage en eau devient en final E= 202.311 l/m^3 – (202.311*0.04) = 194.21 l/m^3

III.3.4. Dosage granulaire

Pour déterminer le dosage de granulats, nous devons d'abord calculer le coefficient de la compacité et il est donné par la formule suivante : $\Upsilon = \frac{Vm}{1000}$

Avec $V_m = V_c + V_s + V_g$,

Avec, Vm le volume absolu des matières solides.

Vs volume absolu du sable

Vc Volume absolu du ciment

Vg volume absolu du gravier

D'après la formule du coefficient de la compacité on trouve le volume des matières solides égal ; $V_m = \Upsilon \times 1000$

Les valeurs de coefficients de compacité Υ sont données dans le tableau des coefficients de compacité. Pour notre cas nous avons une consistance plastique, vibration normale et le diamètre des plus gros granulats D = 31.5 mm, nous lisons alors dans l'abaque de coefficients de compacité Υ (Tableau 16) la valeur de Υ= 0.830. Cette valeur est convenable pour des granulats roulés.

Donc nous aurons le volume absolu des matières solides

$V_m = \Upsilon \times 1000 = 1000 \times 0.830 = 830$ litres

Le dosage en ciment étant de 350kg/m^3, nous pouvons trouver le volume absolu du ciment

$V_c = \frac{C}{\rho_c} = \frac{350}{3.1} = 112.903$ litres

Le volume absolu des granulats qui sont le sable et le gravier devient alors

$V_G = Vs + Vg = Vm - Vc$

V_G= 830 litres – 112.903 litres = 717.097 litres

Ayant les proportions des granulats dans la figures 19 de compositions des granulats, nous pouvons en déduire que :

- Le volume du sable de 34 %

  $Vs = V_G \times 0.34$

  $Vs = 717.097 \text{ litres} \times 0.34 = 243.812 \text{ litres}$

- Le volume de gravier de 66 %

  $Vg = V_G \times 0.66$

  $Vg = 717.097 \text{ litres} \times 0.66 = 473.284 \text{ litres}$

III.3.5. Détermination de la composition pondérale sèche en Kg/m^3.

En admettant que les masses spécifiques des granulats, du ciment et de l'eau sont

- Ciment = 3.1
- Gravier = 2.641
- Sable = 2.527
- Eau = 1.000

La masse des composants de béton devient

- Masse de ciment

  $C= 350 \text{ Kg/m}^3$
- Masse d'eau

  $E= 202.31 \text{ Kg/m}^3$
- Masse de sable

  $S= Vs \times \mathcal{M}vabs_s$

  $S= 243.812 \times 2.527 = 616.113 \text{ Kg/m}^3$
- Masse du gravier

  $G= Vg \times \mathcal{M}vabs_g$

  $G= 473.284 \times 2.641 = 1249.943 \text{ Kg/m}^3$

III.3.6. Détermination de la composition pondérale humide en Kg/m^3.

Avec l'essai qu'on a réalisé sur teneur en eau des matériaux, nous avons remarqué que notre granulat contient de l'eau. Il est alors nécessaire de tenir en compte cette masse d'eau pour un bon dosage en eau et granulats.

Nous avons la teneur en eau de :

Sable = 0.80%

Gravier = 0.50 %

Alors la masse de granulats humide devient :

Sable = $\frac{0.8 \times 616.113}{100}$ = 4.929 litres d'eau à convertir en masse de sable

S = 616.113 + 4.929 = 621.042 kg/m^3

Gravier = $\frac{0.5 \times 1249.943}{100}$ = 6.250 litres d'eau à convertir en masse de gravier

G = 1249.943 + 6.250 = 1256.193 kg/m^3

Et la quantité de l'eau devient

E = 194.21 – (4.929 + 6.250) = 183.03 l/m^3

Essai N° 1 : BOT « Béton ordinaire témoin »

Composition	unité	Quantité
Ciment	Kg	350
Gravier	Kg	1256.193
Sable	Kg	621.042
Eau	Litres	183.03
E/C	-	0.55
G/S	-	2.02

Tableau 19. Composition du mélange pour 1m^3 du béton ordinaire témoin.

Essai N°2 : BFM_1 « Béton fibré métallique 1 »

Composition	unité	Quantité
Ciment	Kg	350
Gravier	Kg	1256.193
Sable	Kg	621.042
Eau	Litres	183.03
Fibre 1	Kg	118.58
	N/mm^2	1000
E/C	-	0.55
G/S	-	2.02

Tableau 20. Composition du mélange pour $1m^3$ du béton fibré métallique 1.

Essai N°3 : BFM_2 « Béton fibré métallique 2 »

Composition	unité	Quantité
Ciment	Kg	350
Gravier	Kg	1256.193
Sable	Kg	621.042
Eau	Litres	183.03
Fibre 2	Kg	119.05
	N/mm^2	2000
E/C	-	0.55
G/S	-	2.02

Tableau 21. Composition du mélange pour $1m^3$ du béton fibré métallique 2.

Essai N°4 : BFM_3 « Béton fibré métallique 3 »

Composition	unité	Quantité
Ciment	Kg	350
Gravier	Kg	1256.193
Sable	Kg	621.042
Eau	Litres	183.03
Fibre 3	Kg	120.48
	N/mm^2	3000
E/C	-	0.55
G/S	-	2.02

Tableau 22. Composition du mélange pour $1m^3$ du béton fibré métallique 3.

Essai N°4 : BFM_4 « Béton fibré métallique 4 »

Composition	unité	Quantité
Ciment	Kg	350
Gravier	Kg	1256.193
Sable	Kg	621.042
Eau	Litres	183.03
Fibre 4	Kg	121.95
	N/mm^2	4000
E/C	-	0.55
G/S	-	2.02

Tableau 23. Composition du mélange pour $1m^3$ du béton fibré métallique 4.

Essai N°5 : « Béton fibré métallique 5 »

Composition	unité	Quantité
Ciment	Kg	350
Gravier	Kg	1256.193
Sable	Kg	621.042
Eau	Litres	183.03
Fibre 5	Kg	123.46
	N/mm^2	5000
E/C	-	0.55
G/S	-	2.02

Tableau 24. Composition du mélange pour $1m^3$ du béton fibré métallique 5.

III.4. Réalisation du mélange et confection des éprouvettes. (EN 12390-2, 2007)

III.4.1. Réalisation du mélange.

Le mélange se fait au laboratoire en suivant les étapes précises afin d'assurer l'homogénéité du béton. La quantité de matériaux nécessaire a été mesurée pour chaque variante de béton fibré suivants les dosages. Les matériaux sont homogénéisés dans un grand bac. Le volume des gâchées a été fixé à 0.006 m^3de façon à permettre la confection de six éprouvettes cubiques de $10\times10\times10$ cm^3.

Les constituants du mélange sont des graviers, le sable, le ciment, l'eau et les fibres. Le sable utilisées est de dimension inférieur ou égal à 4 mm et le gravier à des dimensions inférieur ou égal à 31.5 mm. Le malaxage a été effectué manuellement à l'aide des outils utilisés au laboratoire en introduisant les constituants dans le bac, en commençant par le gravier, le sable et ciment. Puis on fait le malaxage à sec pendant 5 min, on ensuite ajouter les fibres, au moment de leur incorporation, les fibres doivent être bien reparties pour éviter la formation des « pelotes ». Après deux minutes de mélange à sec l'eau de gâchage est introduite puis le malaxage est poursuivi pendant environs cinq minutes.

III.4.2. Confection des éprouvettes.

La procédure de remplissage des éprouvettes se fait le plus vite possible pour conserver une bonne ouvrabilité et se déroule comme suit :

- Humidification du moule à l'aide d'une matière grasse pour faciliter le démoulage
- Placer les moules sur une table vibrante.
- Remplir en trois couches de même hauteur le moule au moyen d'une tige de picage et truelle, cette étape nous permet de bien repartir les fibres.
- Araser le bord supérieur du moule en roulant la truelle.
- Démarrer ensuite l'appareil de vibration « table vibrante »
- Remplir correctement les moules pendant la vibration
- Lisser les surfacer des éprouvettes en tenant la règle presque à plat
- Etiqueter les moules pour l'identification.

Après les éprouvettes sont conservées au laboratoire des matériaux de construction à une température ambiante. Le démoulage a été effectué avec soin au bout de 24 heures. Juste après cette opération, les éprouvettes ont été conservées dans les bacs d'eau jusqu'à 28 jours.



Figure 21. Remplissage des moules.

CHAPITRE IV. ESSAI SUR LE BETON ET DISCUSSION DES RESULTATS

IV.1. Essai sur le béton frais « Affaissement au cône d'Abrahams ». (En 12350-2, 2007)

Cet essai consiste à remplir un moule tronconique (D= 20cm, d=10cm, h=30cm) en trois couches tassées par une tige d'acier de 16mm et extrémité arrondie. Le piquetage est exécuté selon un ordre de 25 coups par couche avec répartition des coups uniformes sur la section de chaque couche. On soulève, ensuite, le moule verticalement avec précaution et sans imprimer au béton un mouvement latéral ou de torsion, puis mesurons l'affaissement.



Figure 22. Essai sur l'affaissement.

IV.2. Essai sur le béton durci.

IV.2.1. Essai de la résistance à la compression. (EN P 18-406 , 1981)

Les mesures de la résistance à la compression à différentes éprouvettes ont été effectuées dans le laboratoire de matériaux de construction à l'université du Burundi au campus kiriri sur des éprouvettes cubiques de $10\times10\times10$ cm^3 conservées dans l'eau à 21.5°C. L'Age du béton lors de cet essai est de 28 jours.

Cet essai a pour but d'évaluer et de contrôler la résistance à la compression du béton. L'eurocode admet deux modes de mesure : soit sur éprouvettes cylindriques, soit sur éprouvettes cubiques. Cependant les résultats obtenus avec un mode ou l'autre, ne sont pas identiques.

L'appareil utilisé est une presse hydraulique numérique, programmé pour l'essai à la compression. Les valeurs de la force de rechargement et les contraintes résultantes sont lues directement. Les éprouvettes confectionnées sont des éprouvettes cubiques, donc sont ajustées entre les deux plateaux de la presse. Le plateau supérieur étant fixe, et l'autre est mobile. L'effort est appliqué progressivement à vitesse de chargement constante de 5KN/s.



Figure 23. Essai sur la compression.

Pour chaque étape de chargement, la valeur de l'effort vertical est enregistrée ; et ce jusqu'à la rupture totale de l'éprouvette qui se traduit par l'arrêt de la presse, qui signifie l'achèvement de l'essai de compression. A ce moment la force et la contrainte subie par l'éprouvette sont affiché sur l'écran de la presse. La résistance à la compression est donnée par la relation suivante

$$R_c=\frac{F}{A}$$

Ou R_c – résistance à la compression en MPa

F – Force en KN

A – section de l'éprouvette 100×100 mm^2

IV.2.2. Essai sur la résistance à la traction. (EN P 18 - 407, 1981)

Le but de l'essai est de déterminer la résistance à la traction du béton par la méthode de flexion sur 3 points, les éprouvettes utilisées sont des éprouvettes prismatiques de 10×10×40cm de dimensions. Pour cela nous devons s'assurer que la charge appliquée par la presse est devenue des charges concentrées. La résistance à la traction en MPa est la moyenne des résultats de six éprouvettes. La contrainte de traction par flexion est donnée par la relation ci-dessous

$$R_t = \frac{3F}{a^2}$$

Ou R_t : contrainte de traction (en MPa)

F : charge de rupture (en KN)

a : côté de la section carrée de l'éprouvette en mm, a = 100 mm

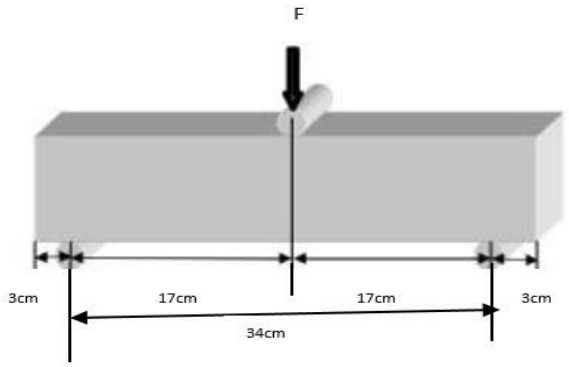


Figure 24. Configuration de l'éprouvette pour l'essai à la traction à trois points.

- La figure 24 illustre la configuration des essais de traction par flexion trois points, lors de la mise en place pour l'essai des éprouvettes avec une longueur de 40 cm
- Toutes les éprouvettes ont été testées en flexion 3 points.
- Les éprouvettes ont la même configuration, c'est-à-dire, en gardant la même distance de 3 cm entre l'extrémité de l'éprouvette et l'appui.
- La distance entre l'appui et le point d'application de la charge est de 17 cm c'est-à-dire 34 cm entre appuis.



Figure 25. Essai sur la traction par flexion.

IV.3. Résultats.

IV.3.1. Résultats de l'affaissement sur le béton frais

R à la traction des fibres N/mm^2	Affaissement (cm)
0	7
1000	6
2000	6
3000	6
4000	6
5000	6

Tableau 25. Les résultats de l'affaissement du béton fibré frais.

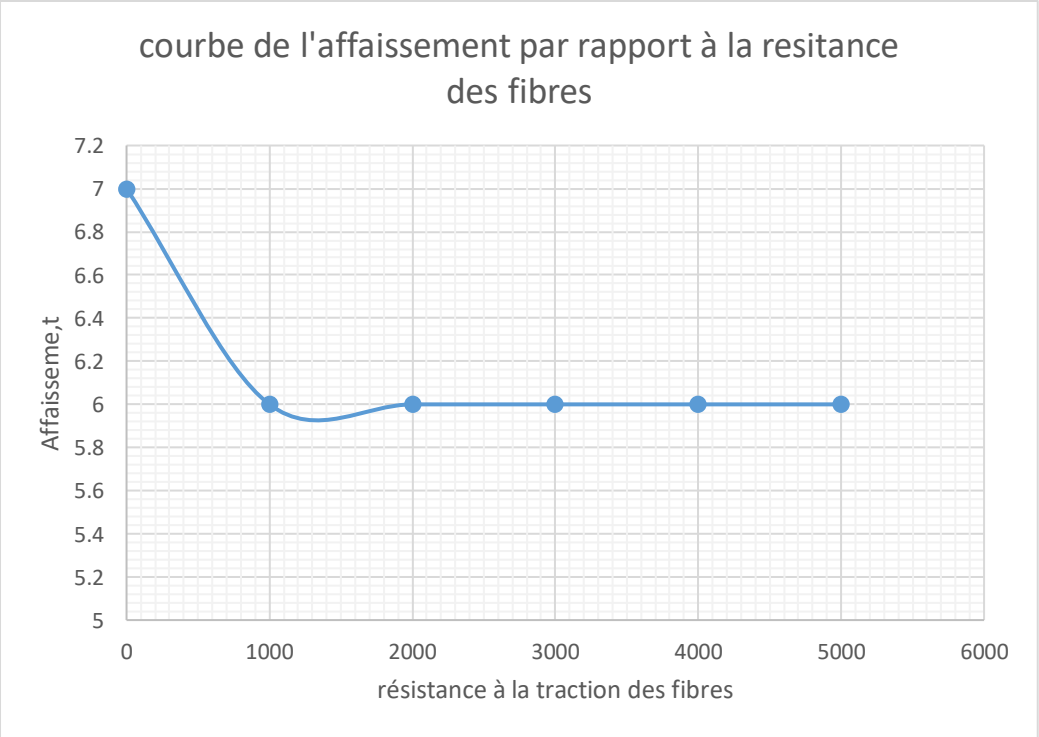


Figure 26. Courbe de l'affaissement du béton selon la résistance à la traction des fibres.

IV.3.2. Résultats sur la résistance à la compression du béton fibré.

Identification		FORCE (KN)	SECTION (mm^2)	RESISTANCE (MPa)	MOYENNE RESISTANCE (MPa)
Béton	Essai				
B.O	1	252.136	10000	25.214	25.121
	2	227.102	10000	22.710	
	3	238.928	10000	23.893	
	4	286.684	10000	28.669	
	5	248.97	10000	24.897	
	6	253.429	10000	25.343	
BFM_1	1	283.388	10000	28.339	27.657
	2	267.776	10000	26.778	
	3	274.56	10000	27.456	
	4	288.382	10000	28.8382	
	5	269.216	10000	26.922	
	6	276.124	10000	27.612	
BFM_2	1	334.724	10000	33.472	32.033
	2	310.398	10000	31.040	
	3	315.704	10000	31.570	
	4	320.542	10000	32.054	
	5	323.514	10000	32.351	
	6	317.128	10000	31.713	
BFM_3	1	309.254	10000	30.925	31.068
	2	298.684	10000	29.868	
	3	312.24	10000	31.224	
	4	305.71	10000	30.571	
	5	315.366	10000	31.537	
	6	322.853	10000	32.285	

Tableau 26. Tableau des résultats sur la résistance à la compression du béton fibré selon la résistance à la traction des fibres.

Identification		FORCE (KN)	SECTION (mm^2)	RESISTANCE (MPa)	MOYENNE RESISTANCE (MPa)
Béton	Essai				
BFM_4	1	310.288	10000	31.029	30.72823333
	2	306.977	10000	30.698	
	3	313.108	10000	31.311	
	4	311.901	10000	31.190	
	5	309.366	10000	30.937	
	6	292.054	10000	29.205	
BFM_5	1	307.199	10000	30.720	30.135
	2	298.927	10000	29.893	
	3	314.102	10000	31.410	
	4	285.067	10000	28.507	
	5	309.795	10000	30.979	
	6	292.999	10000	29.300	

Tableau 27. Tableau des résultats sur la résistance à la compression du béton fibré selon la résistance à la traction des fibres (suite).

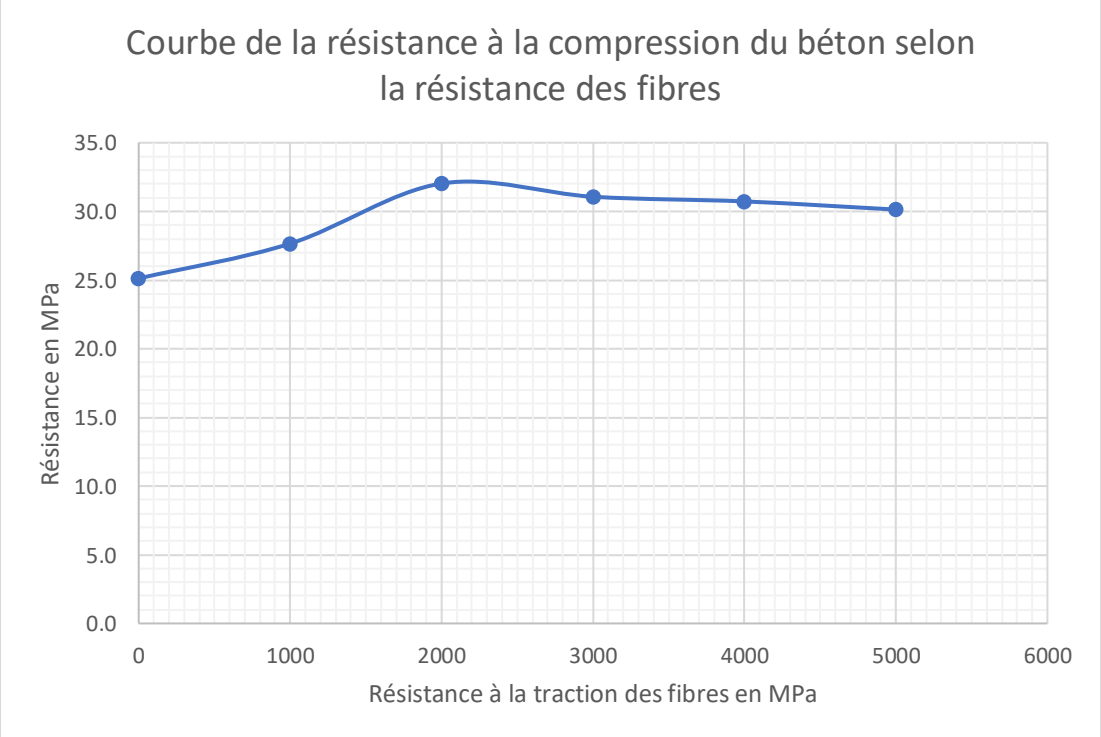


Figure 27. Courbe de la résistance à la compression du béton selon la résistance à la traction des fibres.

IV.3.3. Résultats sur la résistance à la traction du béton fibré.

Identification		FORCE (KN)	COTE (mm)	RESISTANCE (MPa)	MOYENNE RESISTANCE (MPa)
Béton	Essai				
B.O	1	13	100	3.9	3.840
	2	14	100	4.2	
	3	13.6	100	4.08	
	4	12	100	3.6	
	5	13.2	100	3.96	
	6	11	100	3.3	
BF_1	1	20	100	6	6.435
	2	23.2	100	6.96	
	3	21.1	100	6.33	
	4	24	100	7.2	
	5	19	100	5.7	
	6	21.4	100	6.42	
BF_2	1	27	100	8.1	8.209
	2	26.5	100	7.95	
	3	25	100	7.5	
	4	26.57	100	7.971	
	5	28.1	100	8.43	
	6	31	100	9.3	
BF_3	1	28.1	100	8.43	7.76
	2	25.8	100	7.74	
	3	24.5	100	7.35	
	4	24.9	100	7.47	
	5	25.2	100	7.56	
	6	26.7	100	8.01	

Tableau 28. Tableau des résultats sur la résistance à la traction du béton selon la résistance à la traction des fibres.

Identification		FORCE	COTE	RESISTANCE	MOYENNE RESISTANCE
Béton	Essai	(KN)	(mm)	(MPa)	(MPa)
BF_4	1	26.7	100	8.01	7.52
	2	25.4	100	7.62	
	3	24.5	100	7.35	
	4	23.1	100	6.93	
	5	26.5	100	7.95	
	6	24.2	100	7.26	
BF_5	1	26.4	100	7.92	7.35
	2	23.8	100	7.14	
	3	24.5	100	7.35	
	4	25.9	100	7.77	
	5	21.3	100	6.39	
	6	25.1	100	7.53	

Tableau 29. Tableau des résultats sur la résistance à la traction du béton selon la résistance à la traction des fibres (suite).

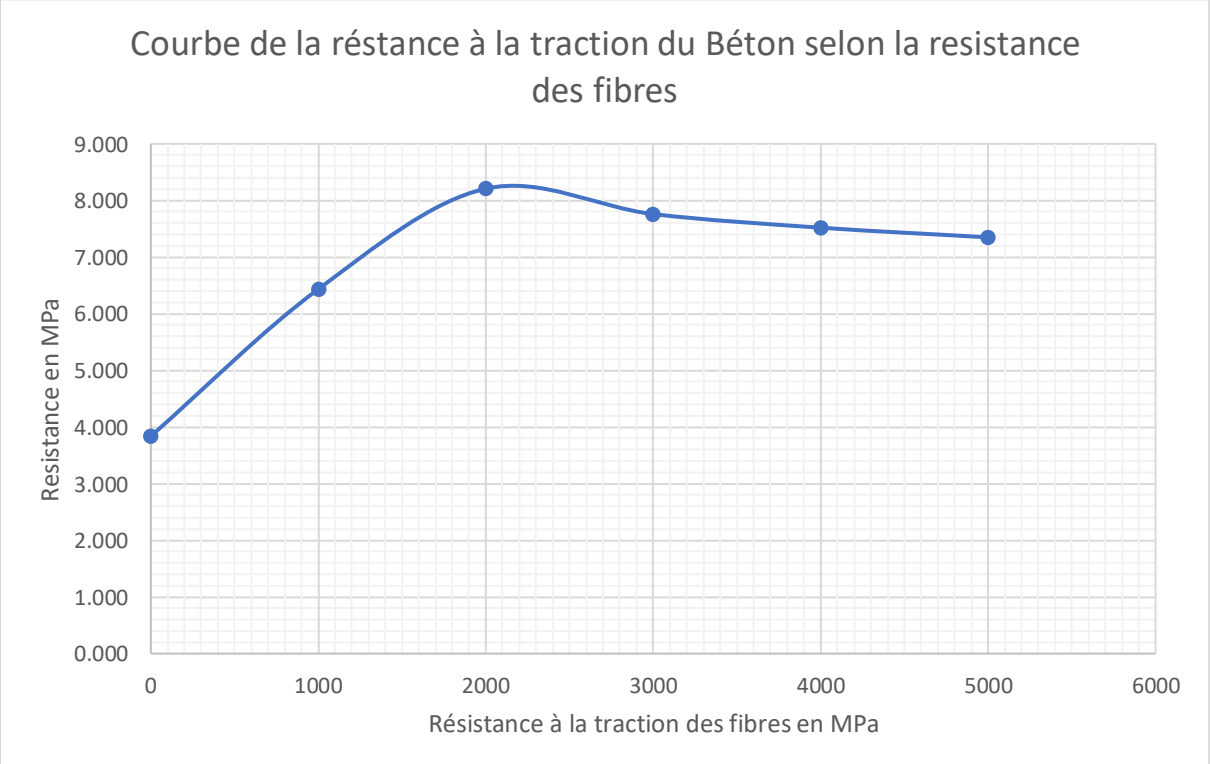


Figure 28. Courbe de la résistance à la traction du béton selon la résistance à la traction des fibres.

IV.3.4. Comportement du béton fibré à la compression, traction et affaissement selon la résistance à la traction des fibres incorporées.

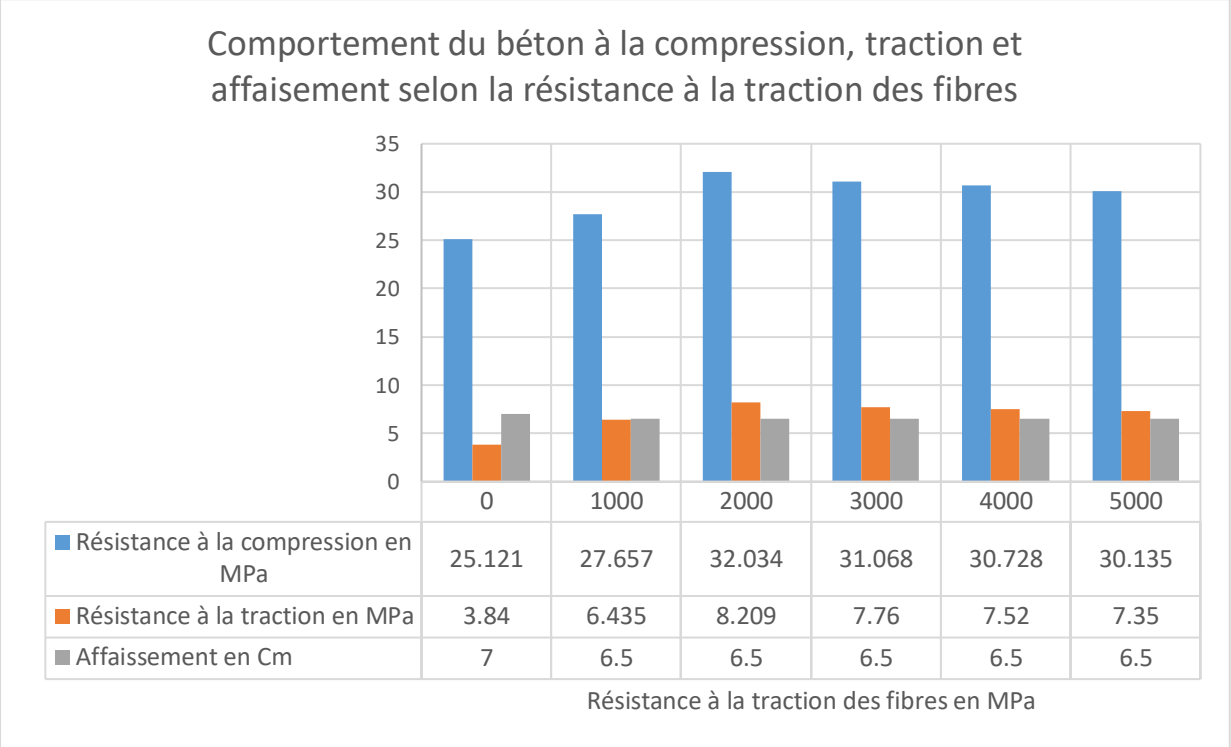


Figure 29. Comportement à la compression, traction et affaissement du béton fibré selon la résistance à la traction des fibres.

IV.3.5. Comparaison du Béton Ordinaire et Béton fibré en compression.

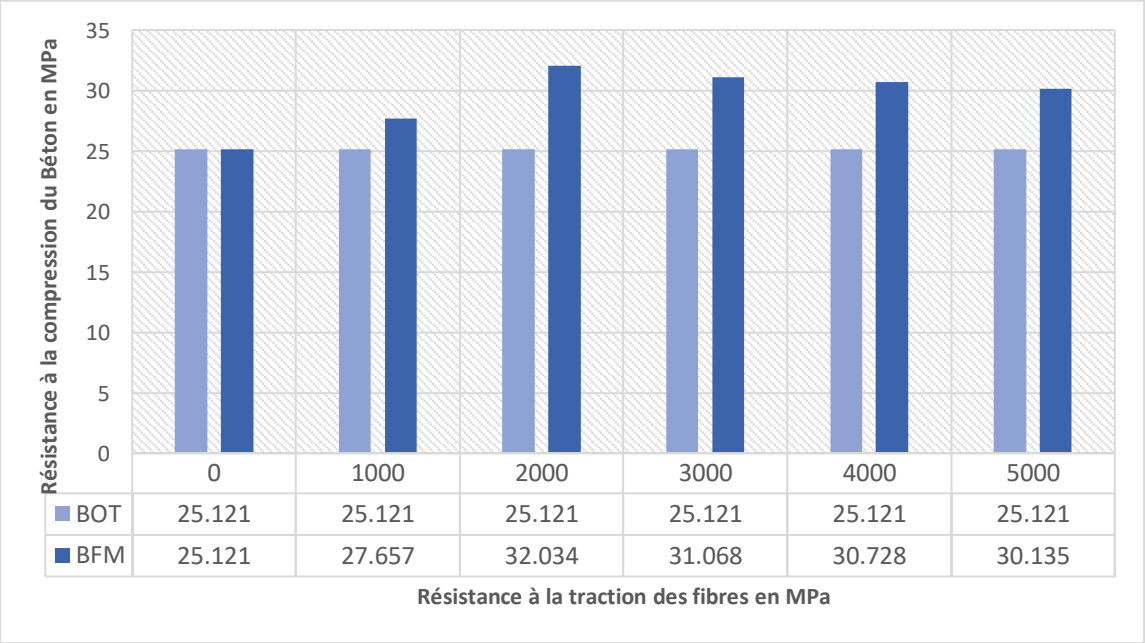


Figure 30. Comparaison du Béton Ordinaire Témoin et Béton Fibre Métallique à la Compression.

IV.3.6. Comparaison du Béton Ordinaire Témoin et Béton fibre Métallique en traction par flexion.

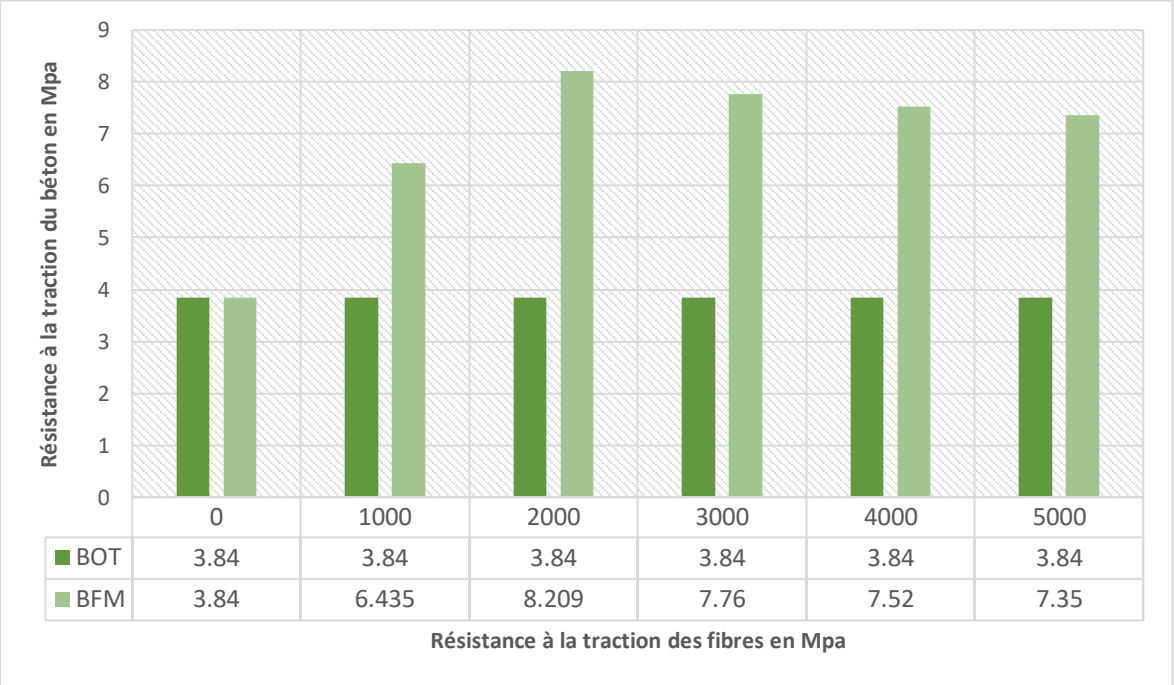
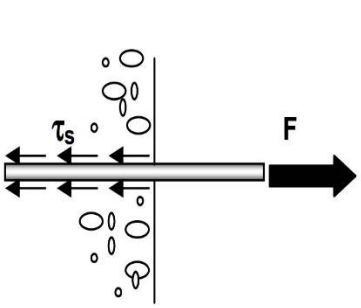


Figure 31. Comparaison du Béton Ordinaire Témoin et Béton Fibre Métallique à la traction.

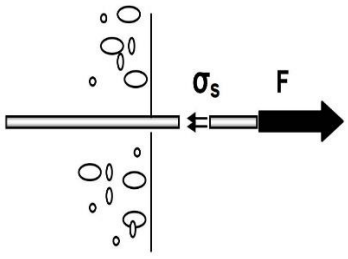
IV.4. Discussion des résultats.

Le sens de la variation de la courbe est lié à deux paramètres, la résistance à la traction des fibres et l'adhérence sur la surface de contact entre le béton et la fibre. Supposons une fibre scellée dans un massif en béton. Si on exerce un effort d'arrachement suivant l'axe de la fibre, on peut avoir trois modes de rupture :



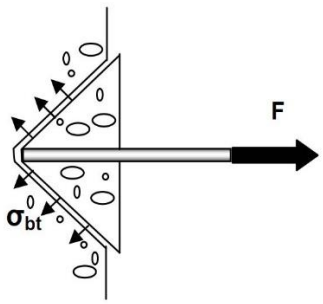
Mode 1

Glissement de fibre par rapport au béton.



Mode 2

Rupture par traction de fibre



Mode 3

Destruction du béton par arrachement du volume du béton.

Lors de l'écrasement des éprouvettes on remarque :

Pour les fibres de résistance inférieur à 2000 MPa, on observe deux mode de rupture mode 2 et mode 3 et une augmentation de la résistance du béton qui est liée la capacité des fibres de subir un allongement étant en bonne adhérence avec le béton ce qui va par conséquent augmenter la charge applique sur l'éprouvette jusqu' à la rupture des fibres ou la destruction du béton.

Pour les fibres de résistance en traction supérieur à 2000 MPa la capacité de subir une déformation diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne de cette valeur. Cette propriété de ductilité des fibres va diminuer la performance d'adhérence entre les fibres et le béton lorsqu'on applique une charge sur l'éprouvette et en fonction de la forme et la surface des fibres utilisées. Lors des essais de l'écrasement on a remarqué le phénomène de frottement entre béton et fibre mode 1. Ce phénomène à pousser d'avoir une diminution de résistance du béton fibré parce que les fibres ne vont pas travailler jusqu' à son rupture plutôt ils vont glisser dans le béton.

Pour d'autres formes des fibres (fibres à crochets, fibre à baïonnette) ces courbes peuvent varier parce que leur forme va contribuer à l'adhérence entre le béton et les fibres ce qui va augmenter la charge applique sur l'éprouvette avant de s'écrasement.

D'après la courbe de variation de contrainte en compression, nous constatons que :

- La variation de contrainte augmente jusqu'à une résistance 32.034MPa pour une fibre de résistance en traction de 2000 N/mm2 soit un gain d'environ 27% de résistance du béton par rapport au béton témoin
- Après cette augmentation de résistance on remarque une diminution de résistance pour les fibres de 3000N/mm2 jusqu'à une résistance de 31.068 MPa mais on reste dans le gain de résistance de 23.676 % à cause des fibres ajoutés.
- La courbe tend à se stabiliser soit une minime diminution de résistance.
- D'après la variation de la courbe on peut dire qu'on aura une résistance maximale à la compression du béton fibré jusqu'à une résistance des fibres d'environ 2000 N/mm2.

D'après la courbe de variation de résistance en traction, c'est là où on observe une très grande augmentation de résistance à la traction par flexion, on remarque alors :

- Une croissance linéaire de la contrainte à la traction en fonction de l'augmentation de la résistance des fibres jusqu'à un point optimal de 2000 N/mm2 correspondant à une contrainte de 8.209 MPa. Cette augmentation appréciable de la contrainte de béton à la traction est due à la participation des fibres avec une résistance précise dans le comportement mécanique du béton.
- Ce changement de comportement est exprimé par l'amélioration des caractéristiques du béton à la traction due à la présence des fibres, donc les fibres présentent des réactions supplémentaires aux réactions du béton.
- Une diminution de la contrainte à la traction au-delà du point optimal est remarquée.

Donc ce qui exprime que l'augmentation de la résistance des fibres influe sur la résistance du béton contre l'effort appliqué.

L'essai réalise sur le béton frais montre que l'ajout des fibres diminuer la maniabilité du béton ce qui diminue par conséquent l'affaissement par rapport au béton témoin (sans fibres ajoutés), mais que la résistance à la traction des fibres n'influence pas l'affaissement par rapport au béton fibré.

Pour la résistance des fibres de 1000N/mm^2. On remarque qu'il y a une augmentation de la résistance à la traction par rapport au témoin. Le gain maximal est de 67.57%. Concernant la compression, on remarque une augmentation de 10.1% à l'Age de 28 jours.

Pour la résistance de 2000 Nmm^2 il y a toujours une augmentation de résistance à la traction jusqu'au 113.76 % par rapport au béton témoin soit plus du double. On remarquera aussi l'augmentation de la résistance à la compression jusqu'au 27.51%

Pour la résistance de 3000 N/mm2, les résultats ont montré une augmentation de résistance à la traction de 102.08 % par rapport au béton témoin et une diminution de 10.267 % par rapport au béton de fibres avec une résistance de 2000N/mm2. On va remarquer aussi une augmentation de résistance à la compression de 23.67% par rapport au béton témoin.

Pour le béton de 4000N/mm2 et 5000 N/mm2 nous avons remarqué une augmentation de la résistance à la traction de 95.833% et 91.406% respectivement par rapport au béton témoin et une diminution de 4.62 % entre eux, quant à la compression on remarque une augmentation de 23.32% et 19.96% respectivement et une diminution de résistance de 1.93% entre eux.

A partir du résultat précèdent, nous pouvons conclure que pour tous les bétons BFM_1, BFM_2, BFM_3, BFM_4 et BFM_5 il y a une augmentation de la résistance que ça soit à la traction ou à la compression. Mais que l'influence n'est pas même pour la traction et la compression selon la résistance à la traction des fibres. Pour la résistance à la traction du béton on remarque une augmentation jusqu' à 113.76% alors que pour la compression on aura jusqu'à 27.51%.

Selon la résistance à la traction des fibres on a une résistance élevée pour la compression et la traction du béton à environ 2000N/mm2 et minimum à une résistance de fibre de 1000N/mm2.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.

Conclusion.

Aussi bien en termes de volume qu'en termes de finance, le béton constitue le matériau le plus utilisé dans le bâtiment. Essentiellement, les bétons sont confectionnés au départ de gravier, de sable, de ciment et d'eau, mais à part ces quatre constituants fondamentaux, les bétons actuels contiennent de plus en plus d'additifs. Ces derniers permettent de modifier les caractéristiques des bétons et les rendre plus résistants.

Dans la présente étude, nous avons utilisé les fibres métalliques comme ajout pour essayer de renforcer le béton. Cette étude a fourni deux conclusions importantes :

- La résistance à la traction des fibres qui donne la grande valeur de la résistance à la compression du béton fibré.
- La résistance à la traction des fibres qui donne la résistance à la traction du béton fibré élevée.

L'amélioration de la résistance à la traction par flexion du béton, ne nous permet pas de conclure que le béton à base d'ajout de fibres métalliques est devenu plus résistant sur le taux de l'augmentation de la résistance à la traction trouvée, car il faut prendre en considération la caractéristique la plus importante du béton qui est la résistance à la compression au bout de 28 jours. Dans notre cas cette résistance augmente à un taux inférieur à celle de la résistance à la traction. Ce qui nous mène à conclure que l'ajout de fibres métalliques des caractéristiques utilisées est bénéfique au béton en termes de résistance à un taux d'augmentation de résistance à la compression trouvée soit 27.51%. L'utilisation d'autres types de fibres peut par contre donner des résultats différents car les caractéristiques des fibres ne seront pas les mêmes.

Recommandation.

- Aux maitres d'œuvre des projets de construction

Développer l'utilisation du béton fibré ici au Burundi parce qu'on ne l'utilise presque pas alors que ça augmente la résistance du béton et sa ductilité.

- Pour maitres d'ouvrage des projets de construction

De confier les projets de construction aux personnes qualifiées qui ont les compétences professionnelles nécessaires.

- Au Gouvernement

De concentrer les efforts dans le domaine de recherche pour développer la science et la technologie dans notre pays.

- A l'université du Burundi

De faire l'extension et rééquipement de laboratoire de la FSI afin de faciliter les étudiants dans les travaux recherches.

REFERENCES.

Abdul Ghaffar. (2014). *Béton renforcé de fibres d'acier.* International Journal of Engineering Trends and Technogy(IJETT). Récupéré sur http://www.ijettjournal.org

ACI commitee 544.1 . (1996). *Etat de l'art sur le béton fibré.* Michigan, USA: American Concrete institute.

ASB Association du Béton Québec. (2005). *Guide de bonnes pratiques pour l'utilisation des fibres dans le béton.* Québec: Bibliotheque Nationale.

Bronzel J. (1986). *Distribution et Orientation des fibres d'acier dans le béton et leur influence sur les caracteristiques du béton fibré d'acier.* Sheffield: Development in fiber reinforced cement end concrete.

Casanova Pascal. (1996). *Bétons renforcés de fibres métalliques du matériau à la structure.*

Cotterell. (1996). *Mécanique des materiaux cimentaires.* London: chapman and hall.

En 12350-2. (2007). *Essais pour béton frais - Essais d'affaissement.*

EN 12390-2. (2007). *Essai pour béton durci - confection et conservation des éprouvettes pour essais de résistance.*

EN P 18 - 407. (1981). *Bétons - Essai de traction par fléxion.*

EN P 18-406 . (1981). *Béton - Essai de Compression.*

EN14651. (2005). *Méthode d'essai pour béton fibré métallique.* Bruxelles: Comité européen de normalisation.

G.DREUX ET J.FESTA. (1995). *Nouveau guide de béton et de ses constituants* (éd. 7). Eyrolles.

Grunewald S., Walraven J.C.,. (s.d.). *Etude paramétrique sur l'influence des fibres d'acier et de la teneur en gros granulats sur les proprietes du beton autoplaçant* (Vol. 31). Cement and Concrete Research.

Harrouche N. (1989). *Formulation et comportement à la fissuration des bétons de fibres métalliques.* Paris.

Johnston C.D. (1996). *Dosage, Mélange et mise en place des ciments et bétonsfibrés, méthodes de production et maniabilité des bétons.* London: comférence internationale RILEM.

Johnston C.D. (2001). *Ciments et Bétons Fibrés.* Amsterdam: Gordon and Breach Science Publishers.

Mme BENTALHA. (2012). *Thèse de doctorat sur l'influence de l'introduction de fibres Métalliques sur le comportement Différé d'une Matrice Cimentaire.*

Norme NF EN 933 - 1 . (1997). *Essais pour déterminer les caracteristiques géometriques des granulats - Partie 1 : Détermination de la granularité - Analyse granulométrique par tamisage.*

Norme NF P 18-555. (1990). *Granulats - Mesures des Masses Volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables.*

Norme XP P 18-540. (1997). *Granulats - Définitions comformité spécifications.*

PIERRE ROSSI. (2005). *Les bétons de fibres métallique, presse ponts et chaussées.*

Rossi P. (1998). *Les bétons des fibres métalliques, ponts et chaussées.* Paris.

Setti F., Ezziane K., Setti B. (2012). *Etude du comportément des poutres en béton renforce de fibres métalliques sous chargement monotone croissant.* colloque international .

Swamy 1974b. (1974). *Influence de la géometrie des fibres sur les propriétés du béton renforcé de fibres d'acier* (Vol. 4). Cement and Concrete Research.

Swamy R.N . (1975). *Renforcement fibreux du ciment et du béton.* Matériaux et Constuction.

Tabet Nesrine. (2012). *Thèse de master, contibution à l'étude de l'influence de la nature et dimensions des fibres sur le comportement physico-mécanique des béton autoplaçants fibrés.*

Youcef FRITIH. (2009). *Thèse de doctorat sur apport d'un renfort de fibres sur le comportement d'éléments en béton auto placant armé.*