

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE AKLI MOAND OULHADJE-BOUIRA**



Faculté des Sciences et des sciences appliquées  
Département Génie Civil

**Mémoire de fin d'étude**

Présenté par :

**MEDDAHI KAMEL**

**Mme MEDDAHI NACIRA Née REZGUI**

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

**Filière : Génie Civil**

**Option : Ingénierie des Matériaux de Construction**

**Thème :**

**COMPORTEMENTS DES BETONS RENFORCÉS PAR DES FIBRES  
METALLIQUES, MÉTHODOLOGIE ET HYPOTHÈSE DE RECHERCHE.**

**Devant le jury composé de :**

*KENNOUCHE SALIM*  
*SAOUDI NACIRA*  
*ARIBI CHOUAIB*  
*HAMMI BRAHIM*

*Président*  
*Encadreur*  
*Examineur*  
*Examineur*

**Année Universitaire 2015/2016**

---

# Dédicace

À la mémoire de mon père

À la mémoire de mon frère Amar

À ma mère

À ma femme et mes petites filles

À tous les membres de ma famille notamment mes frères et mes sœurs.

Je dédie ce modeste travail.

MEDAHI Kamal

---

# Dédicace

À la mémoire de mon père

À Mon père

À ma mère

À mon époux et mes petites filles

À tous les membres de ma famille notamment mes frères et mes sœurs.

Je dédie ce modeste travail.

MME MEDDAHI NACIRA NEE REZGUI

---

## REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à adresser mes plus sincères et vifs remerciements à Mme SAOUDI notre maître TFE pour son excellent accueil, son aimable collaboration et ses orientations si précieuses ainsi son soutien indéfectible.

Nous remercions particulièrement Mr : Dridi Slimane directeur du LCTP Bouira pour son aide et son accueil chaleureux.

Nos remerciements vont aussi à Messieurs le président et les membres de jury pour avoir accepté d'assister à notre soutenance.

Nous tenons à remercier tout particulièrement l'ensemble du personnel et du corps enseignant de l'université du Bouira.

MEDDAHI KAMAL.  
MME MEDDAHI NACIRA NEE REZGUI

## SOMMAIRE

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale .....	1
<b>Chapitre I : Recherches Bibliographiques</b>	
I.1 - Définition d'un béton de fibre :.....	3
I.2– Type des fibres .....	3
I.2.1– Fibres artificielles .....	3
I.2.1.1– Fibre de verre .....	3
I. 2.1.2– 1Fibres métalliques .....	4
I. 2.1.3–Fibres de polypropylène.....	5
I.2.2– Fibres naturelles : .....	5
I.3 - Composition des bétons de fibres et comportement pas de composition.....	6
I.4 - Avantages du béton fibré.....	7
I.4.1- Aspect technique.....	7
I.4.2- Aspect économique.....	7
I.5- Rôle et domaines d'applications des fibres.....	7
I.6 –Effet de l'addition des Fibres sur le comportement des Bétons a l'état Frais....	10
I.7 - Formulation du Béton de fibre .....	12
I.7.1 - Optimisation Des Bétons De Fibres Métalliques (Méthode B.Lesage).....	13
I.8 - Facteurs influant sur le comportement d'un béton renforcé de fibres .....	14
I.9.2 Comportement en Traction par Flexion .....	19
I.8.2– Distribution des fibres et leur orientation .....	14
I.8.3– Forme et Longueur et de la fibre .....	15
I.8.4– Dosage en fibre .....	16
I.9 - Comportements des BFM à l'état durcis .....	16
I.9.1 - Comportement en compression.....	16
I.9.2 Comportement en Traction par Flexion .....	19
I.9.3 – Module de Young .....	23
I.10 - Conclusion de chapitre I .....	15
<b>Chapitre II : Partie Expérimentale</b>	
II.1 - Constituants des bétons étudiés .....	25
<b>II.1 .1 - Granulats .....</b>	<b>25</b>
II.1.1.A. Analyse Granulométrique (Norme : NF EN 933-1 -Déc. 97- .....	25

II.1.1.A.1 - Sable .....	25
II.1.1.A.2 Gravier 3/8 .....	26
II.1.1.A.3 Gravier 8/15 .....	26
II.1.1.B - Caractéristiques physiques .....	27
II.1.1.B.1 - Sable 0/3 .....	27
II.1.1.B .2- Gravier 3/8 .....	27
II.1.1.B .3- Gravier 8/15 .....	27
II.1.2.Ciment .....	28
II.1.3. Fibres .....	29
II.1.4 Adjuvant .....	30
II.1.5 Eau de gâchage.....	30
II.2 - Formulation.....	30
II.2.A- Méthode de DREUX GORISS pour la composition de béton.....	31
A. Dosage en ciment et en eau .....	31
B. Calcule de dosage en ciment .....	32
C. Courbe de référence.....	33
D. Ligne de partage.....	34
E. Dosage en masse des granulats.....	35
II.2.B - Mise en œuvre.....	35
II.2.B.1 - Malaxage .....	36
II.2.B.2 - Dimensions et remplissage des éprouvettes .....	37
II.3 - Essais sur béton frais.....	37
II.3.1 – Affaissement au cône d’Abrahams (Norme 12350).....	37
II.3.2 – Maniabilimètre L.C.L .....	38
II.4 - Essais sur béton durci .....	39
II.4.1 – Résistance à la compression : [NF EN 12390-3].....	39
II.4.2 - Résistance en traction par flexion : [NF EN 12390-5].....	42
II.4.3- Extensomètre : [NF EN 12390-5].....	42
II.5 – Méthodologie de la préparation des gâchés de béton.....	44
II.6– Environnement de conservation .....	44
II. 7- Résultats et discussions.....	45
Parti 1 Analyse des résultats pour maniabilité variable	
(Taux d’adjuvant constant).	45
A - à l’état frais .....	45
B - à l’état durci .....	46
• Résistance à la compression .....	46

• Résistance à la compression (Extensomètre).....	47
• Module de Young .....	48
• Essai flexion trois points.....	49
▪ Comparaison des résultats selon l'état d'environnement ou (Climat)..	49
<b>Parti 2</b> Analyse des résultats pour maniabilité constante	
(taux d'adjuvant variable).	58
➤ Dosage en Adjuvant (%)......	58
➤ Analyse des différents mélanges à l'état durci.....	59
• Résistance à la compression.....	59
• Résultats de l'Extensomètre, contrainte déformation.....	60
• Module de Young expérimental.....	60
• Résistance à la flexion.....	62
✓ Comparaison des résultats selon l'état d'environnement ou (Climat).	62
<b>Partie III – Comparaison entre les résultats de la partie I et la partie II</b>	69
➤ Résistance à la compression	69
➤ Module de Young	70
➤ Flexion	71
<b>Conclusion Générale</b>	74

**LISTE DES FIGURES**

<b>Figure I.1-</b> Formes des fibres métalliques.....	4
<b>Figure I.2 :</b> Fibres polypropylène. ....	5
<b>Figure I.3</b> Rôle des fibres dans la matrice de béton. ....	8
<b>Figure I.4 -</b> Apport du renfort par des fibres (Essai de traction) [Cotterell 1996].....	8
<b>Figure I.5 –</b> utilisation des fibres métalliques dans les dallages industriels.....	10
<b>Figure. I.6</b> Effet de la taille des granulats sur la distribution de fibres [Johnston 1996] ...	10
<b>Figure. I.7 –</b> Effet des fibres sur la maniabilité de béton. [JEJ. 77].....	11
<b>Figure.I.8 -</b> Exponential correlations between Ve-Be time and fiber content of the concretes with different aspect ratio of the fibers. ....	12
<b>Figure I.9 –</b> Recherche de la maniabilité du rapport S/G optimal.....	13
<b>Figure I-10</b> Influence de la direction du carottage sur le comportement en traction d'un béton fibré [Casanova 1996, 1997]. ....	15
<b>Figure I.11 -</b> Évolution du gain de résistance compression du béton renforcé de fibres [Setti F. 1, Ezziane K. 1, Setti B.] .....	17
<b>Figure I-12</b> Influence de la teneur et longueur de fibres métalliques comportement en compression d'un béton fibré [Bensaid BOULEKBACHE 2013.] .....	18
<b>Figure I.13.</b> Résistance à la compression. Selon BENTALHA.....	19
<b>Figure I.14.</b> Résistance à la flexion du béton renforcé de fibres en fonction du temps. Setti F. 1, Ezziane K. 1, Setti B.] .....	20
<b>Figure 1.15-</b> Résistances à la traction. [Mme BENTALHA] .....	21
<b>Figure I.16 :</b> Exemple de diagramme contrainte - déformation en compression ( $E_0$ module de Young) .....	22
<b>Figure I.17</b> Évolution de la résistance en compression et du module de Young expérimental en fonction de la teneur en fibre [Djebali 2013]. ....	23
<b>Figure II.1.</b> Type de fibre métallique utilisé.....	29
<b>Figure II. 2-</b> Graphe indiquant le dosage en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée on déduit le dosage en ciment. ....	32
<b>Figure II.3.</b> Courbe de l'Analyse granulométrique.....	34
<b>Figure II.4.</b> Malaxeur utilisé.....	36
<b>Figure II.5 -</b> Confection des éprouvettes (cylindriques et prismatiques) .....	37
<b>Figure II.6.</b> Affaissement au cône d'Abrahams.....	38
<b>Figure II.7.</b> Maniabilimètre L.C.L.....	38
<b>Figure II.8 :</b> Essai de compression simple. ....	40



## *Liste des Figures*

---

<b>Figure II.9.</b> Essai de traction par Flexion.	41
<b>Figure II.10</b> Essai de compression avec enregistrement des déplacements (Extensomètre)	43
<b>Figure II.11.</b> Influence des fibres sur la maniabilité.....	45
<b>Figure II.12.</b> Résistances à la compression à 28 jours (Influence des fibres) .....	46
<b>Figure II.13.</b> Courbe contrainte déformation (Compression) .....	47
<b>Figure II.14</b> Influence des Fibres sur le module de Young. ....	49
<b>Figure II.15.</b> Résistance à la flexion des BFM (Adj. constant) sous environnement ambiant A.....	50
<b>Figure II.16. :</b> Résistance à la flexion des BFM (Adj constant) sous environnement humide B.....	51
<b>Figure II.17 :</b> résistance à la flexion des BFM (Adj. constant) sous environnement chaud C.....	52
<b>Figure II.18</b> Influence de l'environnement sur la flexion pour maniabilité variable.....	52
<b>Figure II.19 :</b> Résistance à la flexion des BFM (Adj. constant) sous environnement D	53
<b>Figure II.20 :</b> Résistance à la flexion de BFM 1,25% (Adj constant) a différents climats	54
<b>Figure II.21 :</b> Résistance à la flexion de BFM 1,5% (Adj constant) a différents climats...	55
<b>Figure II.22 :</b> Résistance à la flexion de BFM 1,75% (Adj constant) a différents climats	55
<b>Figure II.23 :</b> Résistance à la flexion de BFM 2 % (Adj. constant) à différents climats...	56
<b>Figure II.24 :</b> Résistance à la flexion de BFM 2.25 % (Adj. constant) à différents climats	57
<b>Figure II.25</b> Taux d'adjuvant en fonction de la teneur en Fibre (Maniabilité constante) ...	58
<b>Figure II.26</b> Résistances des BFM à la compression 28 jours (Différents taux) (Maniabilité constante) .....	59
<b>Figure II.27</b> Courbe contrainte déformation (Compression) (Maniabilité Constante) ....	60
<b>Figure II.28</b> Module de Young (Différents taux) (Maniabilité constante) .....	61
<b>Figure II.29</b> Résistances des BFM à la flexion à environnement ambiant. (Maniabilité constante) .....	62
<b>Figure II.30</b> Résistances des BFM à la flexion à Différents % fibre. (Maniabilité constante) .....	62
<b>Figure II.31</b> Résistances des BFM à la flexion à environnement ambiant. (Maniabilité constante) .....	64
<b>Figure II.32</b> Résistances des BFM à la flexion à l'environnement alterné. (Maniabilité constante) .....	65
<b>Figure II.33</b> Résistances de BFM 1,25% à la flexion différente Climats. (Maniabilité	

## *Liste des Figures*

---

constante) .....	66
<b>Figure II.34.</b> Résistances de BFM 1,5% à la flexion différente Climats. (Maniabilité constante) .....	66
<b>Figure II.35</b> Résistances de BFM 1,75% à la flexion différente Climats. (Maniabilité constante) .....	67
<b>Figure II.36</b> Résistances de BFM 2 % à la flexion différents Climats. (Maniabilité constante) .....	68
<b>Figure II.37</b> Résistances de BFM 2,25% à la flexion différente Climats. (Maniabilité constante) .....	68
<b>Figure II.38</b> Résistances de BFM à la compression.....	69
<b>Figure II.39</b> Module de Young des BFM .....	70
<b>Figure II.40</b> Résistances de BFM à la Flexion conservation à l'air libre .....	71
<b>Figure II.41</b> Résistances de BFM à la Flexion Protocole B.....	72
<b>Figure II.42</b> Résistances de BFM à la Flexion Protocole C.....	72
<b>Figure II.43</b> Résistances de BFM à la Flexion Protocole D .....	72

---

## *Liste des Tableaux*

---

### LISTE DES TABLEAUX

<b>TAB. I.1</b> Domaine d'application de béton fibré. [Youcef FRITIH] .....	1
<b>TAB. II.1</b> Analyse granulométrique du sable. ....	25
<b>TAB. II.2</b> Analyse granulométrique du Gravier 3/8 (1600 g). ....	26
<b>TAB. II.3</b> Analyse granulométrique du Gravier 8/15 (3000 g) .....	26
<b>TAB. II.4.</b> Caractéristiques physiques de sable.....	27
<b>TAB. II.5.</b> Caractéristiques physiques Gravier 3/8.....	27
<b>TAB. II.6.</b> Caractéristiques physiques Gravier 8 /15.....	27
<b>TAB. II.7.</b> Caractéristiques physiques du Ciment.....	28
<b>TAB. II.8 :</b> Caractéristiques Mécaniques du Ciment.....	28
<b>TAB. II.9.</b> Caractéristiques minéralogiques du Ciment.....	28
<b>TAB. II.10.</b> Caractéristiques de Fibre.....	29
<b>TAB. II.11.</b> Caractéristiques de L'adjuvant.....	30
<b>TAB. II.12.</b> Qualité de divers paramètres en fonction Soit de l'ouvrabilité soit de la résistance recherchée.....	30
<b>TAB. II.13.</b> Valeur approximative du coefficient granulaire G.....	32
<b>TAB. II.14.</b> Valeur de coefficient K.....	33
<b>Tableau II 15.</b> Résultats des essais de compression simple.....	46
<b>Tableau II.16.</b> Valeurs de module de Young BFM (maniabilité Variable) .....	48
<b>Tableau II.17.</b> Résultats des essais de compression simple (Adj. variable) .....	59
<b>Tableau II 18.</b> Valeurs de modules de Young des BFM (maniabilité Cst) .....	60

---

### **Introduction général**

Le béton reste un matériau moderne, par ses nombreuses qualités il présente une excellente résistance à la compression, une grande rigidité, une faible conductivité thermique et électrique, mais sa faible résistance en traction, sa fragilité et son aptitude à la microfissuration limite son utilisation et fait qu'il doit être renforcé dans la majorité de ces applications. L'intérêt de renforcement de béton par des fibres est d'améliorer le comportement vis à vis à la traction.

L'intérêt des fibres est d'agir comme des armatures « diffuses » à l'intérieur du béton, permettant de répartir la fissuration. Elles sont plus efficaces que les armatures traditionnelles vis-à-vis des fissures « de service », de faibles ouvertures, mais ne permettent pas de reprendre en ultime des efforts aussi importants que les armatures. Leur efficacité est également d'autant plus grande que l'épaisseur de la structure est plus faible. En effet, les structures les moins épaisses tendent à présenter des fissures plus fines et plus réparties que les structures de grande hauteur. Pour la même raison, l'efficacité des fibres est d'autant plus grande que la structure est plus hyperstatique.

L'amélioration de la résistance du béton renforcé par des fibres métalliques permet non seulement d'améliorer le comportement en flexion et en traction, mais également la résistance à la compression du béton. [Gopalaratnan et al] observent dans leurs résultats statiques en compression, que la présence de fibres d'acier dans la matrice augmente la résistance à la rupture de 35 % pour 1.5 % de volume de fibres, De même [Damgir et al] ont trouvé dans leurs résultats que la résistance à la compression augmente lorsque le volume de fibres augmente, cette amélioration atteint 21.20 % à 28 jours pour un dosage de 2% de fibres, après des essais sur mortier [ RamlI M., Thanon dawood E], trouve que la résistance diminue pour un dosage en fibres supérieur à 1.25%.

L'introduction des fibres est un moyen d'améliorer certaines propriétés du béton y compris la résistance à l'abrasion. Les fibres métalliques ont pour rôles d'absorber et dissiper l'énergie, réduire l'initiation et la propagation des fissures, augmenter la durabilité du béton soumis à l'abrasion et ralentir la dégradation.

Les résultats obtenus par le différents chercheurs, concernant l'amélioration des performances mécanique de béton fibré sont obtenus majoritairement on utilisant une plasticité différentes, C.-à-d. un taux de super plastifiants constant quel que soit la quantité des fibres incorporé. Toutes les études confirme la difficulté de mise en œuvre ou bien perte de maniabilité, c'est-à-dire qu'un béton dosé à 1% de fibre n'a pas la même maniabilité qu'un béton dosé à 2 % de fibre. Et donc il parait que la comparaison d'un béton plastique à un béton ferme ou mou est une hypothèse qui aboutisse à de conclusions douteuses, sachant que le super plastifiants apporte lui seul un pourcentage d'amélioration à la pâte cimentaire.

## *Introduction générale*

---

Parmi les paramètres qui influent sur les performances mécaniques d'un béton fibré est la distribution des fibres et leur orientation. Ce paramètre est lié directement à l'état d'ouvrabilité de béton, donc il serait plus judicieux de comparer les différents dosages en fibre avec la même maniabilité (même plasticité), et ce afin de donner les mêmes chances de distribution et orientation des fibres dans la matrice de béton et pour avoir un mélange propice à l'obtention de la même dispersion des fibres.

C'est dans cette optique que s'insère notre travail qu'on a dressé en deux parties.

La première partie fera l'objet d'une revue de la documentation scientifique offrant une présentation générale concernant le béton renforcé de fibres métalliques, sa composition, sa formulation et ses différents comportements à l'état frais et à l'état durci.

La deuxième partie est consacrée à la partie expérimentale dans laquelle on a décrit brièvement la méthode de formulation « DREUX GORISS », utilisée pour la détermination des composants de béton étudié. Ensuite en première étape on a procédé à l'étude de béton avec les différents pourcentages de fibre (1.25%,1.5%,1.75%,2%,2.25%) avec même dosage de l'adjuvant (maniabilité variable) et en deuxième étape on refait l'étude avec les mêmes pourcentages de fibre mais on fixe la maniabilité (maniabilité constante).

Des essais de compression, et traction par flexion ainsi l'essai avec extensomètre ont été effectués pour chaque étape avec analyse et discussion pour chaque étape suivi d'une comparaison entre le comportement du béton fibré avec ouvrabilité avec celui d'une ouvrabilité constante pour sortir d'une conclusion générale.

**Introduction général**

Le béton reste un matériau moderne, par ses nombreuses qualités il présente une excellente résistance à la compression, une grande rigidité, une faible conductivité thermique et électrique, mais sa faible résistance en traction, sa fragilité et son aptitude à la microfissuration limite son utilisation et fait qu'il doit être renforcé dans la majorité de ces applications. L'intérêt de renforcement de béton par des fibres est d'améliorer le comportement vis à vis à la traction.

L'intérêt des fibres est d'agir comme des armatures « diffuses » à l'intérieur du béton, permettant de répartir la fissuration. Elles sont plus efficaces que les armatures traditionnelles vis-à-vis des fissures « de service », de faibles ouvertures, mais ne permettent pas de reprendre en ultime des efforts aussi importants que les armatures. Leur efficacité est également d'autant plus grande que l'épaisseur de la structure est plus faible. En effet, les structures les moins épaisses tendent à présenter des fissures plus fines et plus réparties que les structures de grande hauteur. Pour la même raison, l'efficacité des fibres est d'autant plus grande que la structure est plus hyperstatique.

L'amélioration de la résistance du béton renforcé par des fibres métalliques permet non seulement d'améliorer le comportement en flexion et en traction, mais également la résistance à la compression du béton. [Gopalaratnan et al] observent dans leurs résultats statiques en compression, que la présence de fibres d'acier dans la matrice augmente la résistance à la rupture de 35 % pour 1.5 % de volume de fibres, De même [Damgir et al] ont trouvé dans leurs résultats que la résistance à la compression augmente lorsque le volume de fibres augmente, cette amélioration atteint 21.20 % à 28 jours pour un dosage de 2% de fibres, après des essais sur mortier [ Ramli M., Thanon dawood E], trouve que la résistance diminue pour un dosage en fibres supérieur à 1.25%.

L'introduction des fibres est un moyen d'améliorer certaines propriétés du béton y compris la résistance à l'abrasion. Les fibres métalliques ont pour rôles d'absorber et dissiper l'énergie, réduire l'initiation et la propagation des fissures, augmenter la durabilité du béton soumis à l'abrasion et ralentir la dégradation.

Les résultats obtenus par les différents chercheurs, concernant l'amélioration des performances mécaniques de béton fibré sont obtenus majoritairement en utilisant une plasticité différentes, C.-à-d. un taux de super plastifiants constant quel que soit la quantité des fibres incorporé. Toutes les études confirment la difficulté de mise en œuvre ou bien perte de maniabilité, c'est-à-dire qu'un béton dosé à 1% de fibre n'a pas la même maniabilité qu'un béton dosé à 2 % de fibre. Et donc il paraît que la comparaison d'un béton plastique à un béton ferme ou mou est une hypothèse qui aboutisse à de conclusions douteuses, sachant que le super plastifiants apporte lui seul un pourcentage d'amélioration à la pâte cimentaire.

Parmi les paramètres qui influent sur les performances mécaniques d'un béton fibré est la distribution des fibres et leur orientation. Ce paramètre est lié directement à l'état d'ouvrabilité de béton, donc il serait plus judicieux de comparer les différents dosages en fibre avec la même maniabilité (même plasticité), et ce afin de donner les mêmes chances de distribution et orientation des fibres dans la matrice de béton et pour avoir un mélange propice à l'obtention de la même dispersion des fibres.

C'est dans cette optique que s'insère notre travail qu'on a dressé en deux parties.

La première partie fera l'objet d'une revue de la documentation scientifique offrant une présentation générale concernant le béton renforcé de fibres métalliques, sa composition, sa formulation et ses différents comportements à l'état frais et à l'état durci.

La deuxième partie est consacrée à la partie expérimentale dans laquelle on a décrit brièvement la méthode de formulation « DREUX GORISS », utilisée pour la détermination des composants de béton étudié. Ensuite en première étape on a procédé à l'étude de béton avec les différents pourcentages de fibre (1.25%,1.5%,1.75%,2%,2.25%) avec même dosage de l'adjuvant (maniabilité variable) et en deuxième étape on refait l'étude avec les mêmes pourcentages de fibre mais on fixe la maniabilité (maniabilité constante).

Des essais de compression, et traction par flexion ainsi l'essai avec extensomètre ont été effectués pour chaque étape avec analyse et discussion pour chaque étape suivi d'une comparaison entre le comportement du béton fibré avec ouvrabilité avec celui d'une ouvrabilité constante pour sortir d'une conclusion générale.

**CHAPITRE I RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES**

**I.1 - Définition d'un béton de fibre :** Un béton de fibres est un matériau composite constitué d'une matrice - le béton – et d'un renfort - la fibre -. Dans un béton fibré, les fibres n'ont d'autre rôle que de reprendre des efforts au travers des fissures créées dans la matrice. En d'autres termes, les fibres ne sont utiles que s'il y a des fissures potentielles dans le matériau. Pas de fissures, pas de fibres ! [Pierre ROSSI]

L'une des caractéristiques mécaniques primordiale de la fibre qui permet la maîtrise de la fissuration est le module de Young, qui caractérise la rigidité de la fibre, en effet plus le module de Young de la fibre est important, le contrôle des fissures est meilleur et la longueur de fissures diminue, à condition que le bon ancrage des fibres dans le béton est assuré.

**I.2– Type des fibres**

Il existe plusieurs types de fibres, ils sont classés selon leur origine (naturelles ou artificielles), leur diamètre et leur longueur (macro ou micro fibres), leur forme et leur état de surface ((lisse, rugueuse, plate, ondulée, crantée ...) ainsi leurs propriétés mécanique. résistance à la traction et adhérence au béton, qui procurent un comportement mécanique spécifique aux structures renforcées de fibres.

Le choix des fibres dépend de l'usage recherché (pièces minces ou massives, renforcement de pâte pure, de mortier ou de béton, réparation des structures), de leurs propriétés (résistance et module élevés, bonne adhérence), de leur prix, les différents types des fibres sont :

**I.2.1– Fibres artificielles :**

Cette famille de fibre regroupe les fibres d'acier, les fibres de fonte, les fibres de verres, les fibres de carbone, amiante ....etc. Ces fibres sont utilisées dans le domaine industriel et particulièrement dans le domaine de génie civil.

**I.2.1.1– 1 Fibre de verre :**

Les fibres de verre sont obtenues par fabrication à partir de verre fondu qui passe dans une filière, chauffé par effet de joule. Elles présentent de bonnes caractéristiques mécaniques, elles sont disponibles dans le commerce sous forme de bobines.

Les fibres « E » sont sensibles aux alcalis libères par l'hydratation du ciment. L'emploi de ce type dans le béton nécessite l'incorporation de polymères ou autres ajouts au mélange, au moment du gâchage qui ont pour fonction d'enrober la fibre et de la protéger de l'attaque alcaline.

Les fibres AR (alcali-résistantes) sont obtenues avec un verre riche en zirconium moins sensible aux alcalis.

Les principales propriétés des fibres de verre sont :

- Bonne adhérence avec la matrice.



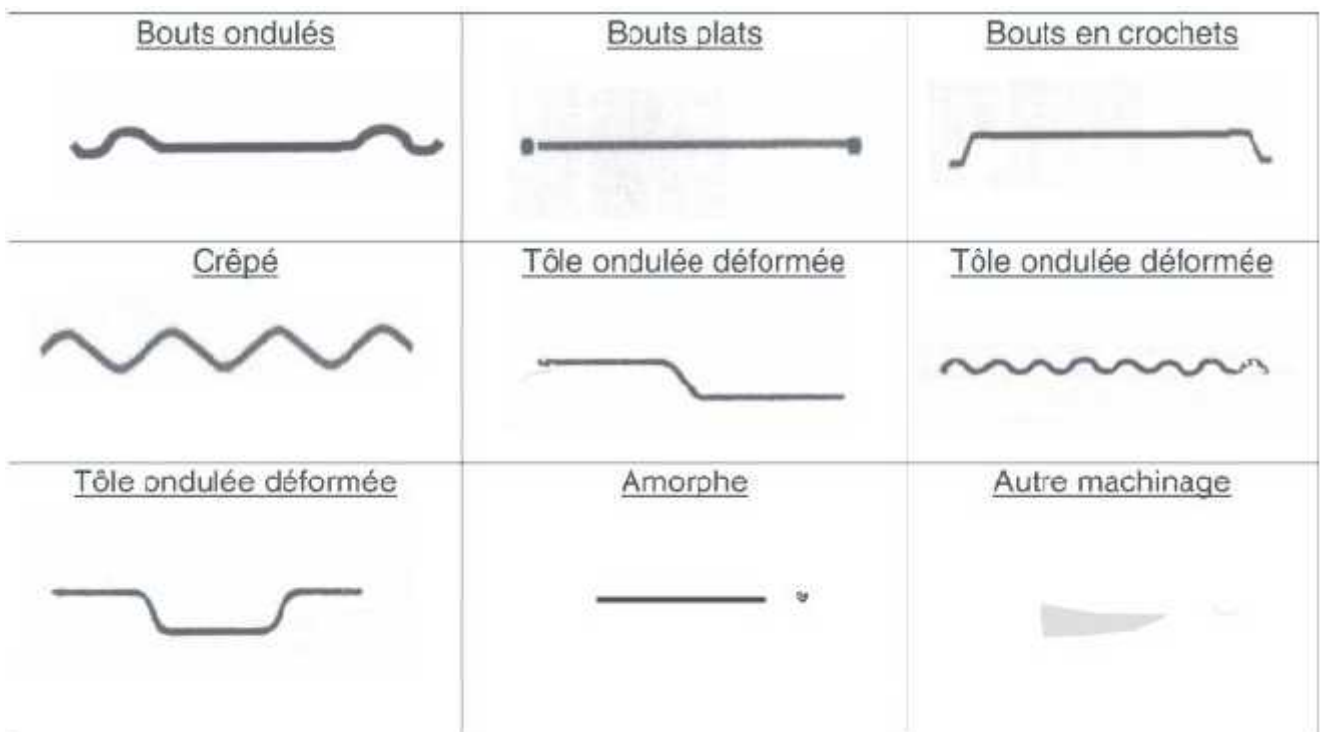
- Bonne résistance à l'humidité et à la corrosion.
- Faible conductibilité thermique.

**I. 2.1.2– 1Fibres métalliques :**

Leur résistance à la traction doit être supérieure à 1000 MPa selon la norme NF EN ISO 16120-2 et [asquapro]. La longueur de la fibre doit être trois fois plus grande que le diamètre du plus gros granulats. La géométrie de la fibre doit favoriser son ancrage dans la matrice béton (ex : un façonnage symétrique en forme de baïonnette appelée "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 qui ont fait l'objet de plusieurs recherches. [ROSSI, 2005]

Les fibres métalliques sont de types et de formes variées et présentent une très bonne compatibilité avec le béton. **La figure I.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 25 à 60 mm et le diamètre varie de 0,5 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 I.1-** Formes des fibres métalliques.

### **I. 2.1.3–Fibres de polypropylène**

Les fibres de polypropylène sont fabriquées depuis 1954 par l'industrie textile. Le polypropylène est un polymère cristallisable de la famille des polyoléfines des produits chimiques. Il a connu une extension croissante dans ce domaine où il apporte les avantages suivants : déformabilité élevée, imputrescibilité et bonne résistance en traction qui peut atteindre 800 MPa. Ces fibres sont utilisées dans les bâtiments pour l'élaboration de revêtement de façades dans plusieurs constructions (Londonderry House Hôtel), ainsi que l'élaboration de panneaux décoratifs de 33cm d'épaisseur et aussi dans la réalisation des canalisations et des pieux.

Les fibres de polypropylène sont en général assez longues (30 à 60 mm), légères et ne sont pas attaquées par le ciment. Leur module d'élasticité plus faible que la pâte durcie

Il convient de les utiliser de préférence pour les pièces minces devant résister, soit à l'action corrosive de certaines ambiances dans lesquelles l'acier pourrait se corroder rapidement, soit aux chocs mécaniques.

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

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



**Figure I.2** : Fibres polypropylène.

### **I.2.2– Fibres naturelles :**

Les fibres naturelles sont utilisées depuis 3000 ans dans les composites, par exemple dans L'ancienne Égypte, où la paille et d'argile étaient mélangées pour construire des murs. Au cours de la Dernière décennie, les composites renforcés de fibres naturelles ont reçu une attention croissante, tant auprès du monde universitaire que de diverses industries. Il existe une grande variété de fibres naturelles qui

peuvent être utilisées pour le renforcement ou comme charges Les principales catégories de fibres agricoles sont :

- Fibres libériennes : extraites de la partie extérieure de la tige (lin, chanvre, jute, ...)
  - Fibres extraites des feuilles : fibres de sisal, de bananier, de palmier...
  - Fibres extraites de poils séminaux des graines : fibres de coton, de kapok...
  - Fibres extraites de l'enveloppe du fruit : fibres de coco...
  - Fibres extraites des tiges ou des troncs : paille de blé, de riz, d'orge ou d'autres cultures
- Les fibres naturelles contiennent principalement de la cellulose, de l'hémicellulose et de la lignine ; il existe aussi, en faible proportion, des constituants extractibles comme les protéines ou encore des composés inorganiques. La proportion d'holocellulose (comprenant la cellulose et L'hémicellulose) et de lignine varie selon les fibres naturelles et l'âge de ces fibres. La composition Dépend de la condition de croissance, de l'âge du végétal, des conditions climatiques et bien sûr de la nature des fibres [Mohamed Dalour Hossen 2007].

### **I.3 - Composition des bétons de fibres et comportement.**

Les bétons renforcés de fibres ont fait l'objet depuis maintenant une cinquantaine d'années d'efforts de recherche importants. Le développement depuis une dizaine d'années de matrices cimentaires performantes a relancé l'intérêt pour l'utilisation des composites cimentaires renforcés de fibres. L'utilisation de fibres augmente la ductilité du béton, c'est-à-dire ses caractéristiques en post fissuration. De plus, l'utilisation de fibres peut apporter une amélioration en flexion, en tension, en torsion et en cisaillement ainsi qu'à la résistance aux impacts et à la fatigue [ABQ]. Un béton fibré continue donc à supporter des charges après la formation de fissures.

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

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

La recherche d'une composition optimale du béton de fibre est assez difficile, car l'ouvrabilité et l'homogénéité du composite dépend de trois facteurs essentiels à savoir :

La géométrie des fibres définit par l'élanement, le volume de fibres ajoutées dans le béton et la forme d'ancrage des fibres.

Concernant le premier facteur, les fibres doivent être suffisamment longues pour s'opposer à l'ouverture des fissures ainsi elles doivent munies d'un système d'ancrage aux extrémités dans le cas des fibres droites, néanmoins l'augmentation de la longueur et la présence des ancrages diminuent l'ouvrabilité du mélange [HUG .81].

Les granulats du matériau doivent avoir des dimensions permettent leurs encadrement par la fibre [DEH 75], c'est pour cette raison que la matrice de béton doit être riche en élément fin.

Lors de la mise en œuvre du béton de fibre 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 - Avantages du béton fibré**

Les avantages de l'utilisation des fibres dans le béton sont présentés selon l'aspect technique et économique.

##### **I.4.1- Aspect technique.**

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

Les principaux avantages techniques sont :

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

##### **I.4.2- Aspect économique.**

Les principaux avantages économiques des bétons fibrés sont :

- diminution du coût de mise en place et du temps de construction ;
- une optimisation du dimensionnement.

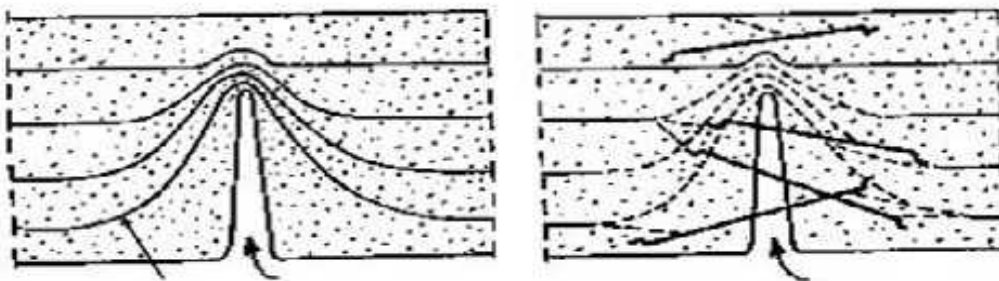
#### **I.5- Rôle et domaines d'applications des fibres**

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 **Fig. I.3.**

En effet la longueur maximale d'une microfissure est de l'ordre de la dimension des plus gros granulats [ROS.84]. 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 dans la direction principale de traction conduit à la localisation des microfissures, alors les fibres qui relient les lèvres des microfissures (**Figure I.3**).sont tendues et soumises au cisaillement, les fibres absorbent une partie d'énergie qui conduit à la propagation des microfissures.

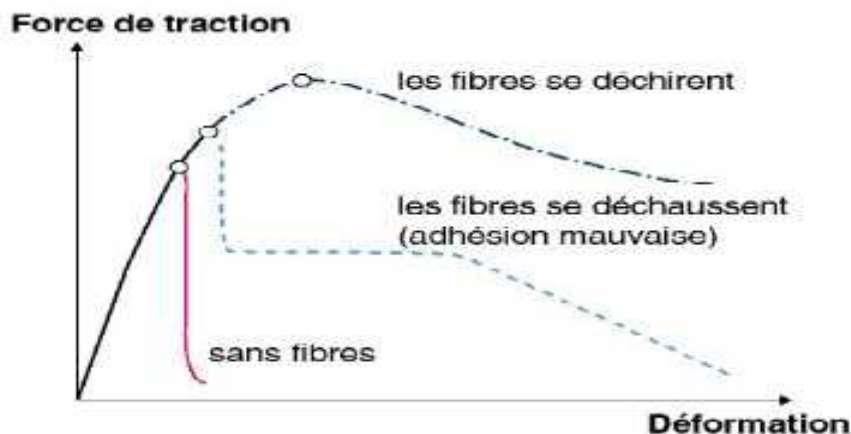


Amorce de fissure

Fissure traversée par les fibres

**Figure I.3** Rôle des fibres dans la matrice de béton.

L'incorporation des fibres dans le béton permet aussi de passer d'un comportement fragile à un comportement ductile transformer le comportement de béton d'un ce qui conduit à l'accroissement de sécurité lors de chargement ultimes (**Figure I.4**).



**Figure I.4** - 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 à différents types d'ouvrages en béton. De par leurs propriétés, les fibres trouvent un vaste domaine d'applications où il faut réduire les risques de fissuration, augmenter la résistance aux impacts et ainsi l'amélioration des performances du béton pour optimiser le dimensionnement des ouvrages.

Le béton fibré est utilisable dans tous les domaines du génie civil,

**TAB. II.1** Domaine d'application de béton fibré. [*Youcef FRITIH*]

Domaine d'application	Intérêt de l'ajout des fibres dans le béton.
Canalisations 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 fissuration - Augmentation de la résistance au cisaillement - Augmentation de la résistance à l'usure
Éléments structuraux soumis à la compression (poteaux, pieux, fondations ...)	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, les talus, tunnels, et galeries souterrains	Suppressions du travail de fixation du grillage ordinairement employé - Diminution du coût de réparation et/ou 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

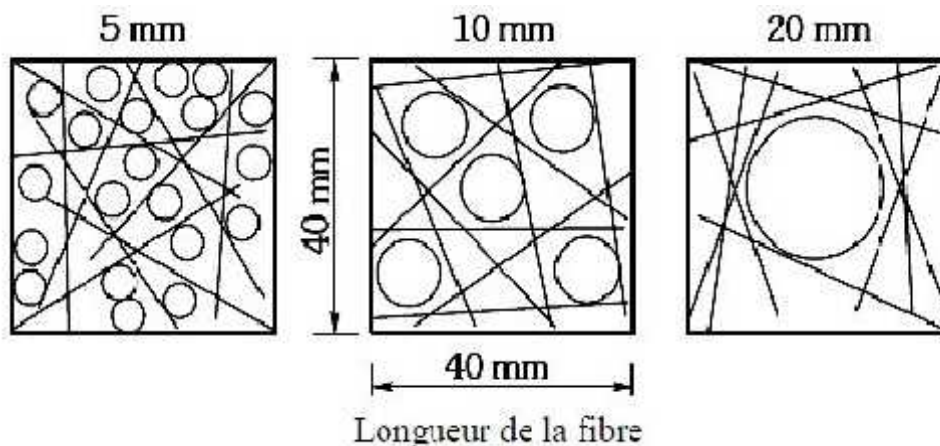


**Figure I.5** – utilisation des fibres métalliques dans les dallages industriels

**I.6 – Effet de l’addition des Fibres sur le comportement des Bétons a 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 est important [Grünwald et Walravens 2001]. 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 1996] (**Figure I.6**), suivant des proportions supérieures de 2 à 4 fois. 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.

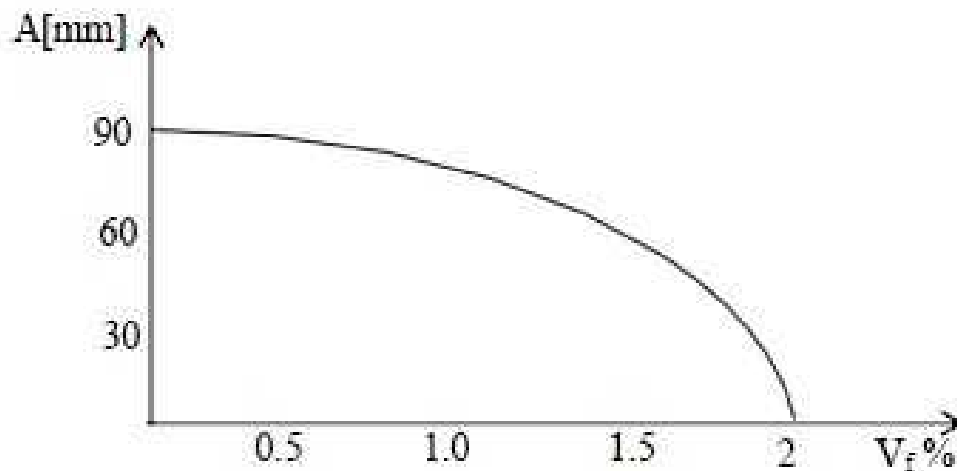


**Figure. I.6** Effet de la taille des granulats sur la distribution de fibres [Johnston 1996].

L’introduction de fibres entraînant une diminution de l’affaissement estimé entre 50 et 75 mm [Johnston 2001]. Une teneur en fibre forte conduit à une diminution rapide de la maniabilité de béton, cette diminution est du fait que l’ajout des fibres est traduit par une augmentation de la surface spécifique dans le mélange, ce qui entraîne une absorption d’eau conduisant au séchage du mélange

qui signifié une perte dans l'ouvrabilité de béton (**Figure I.7**)

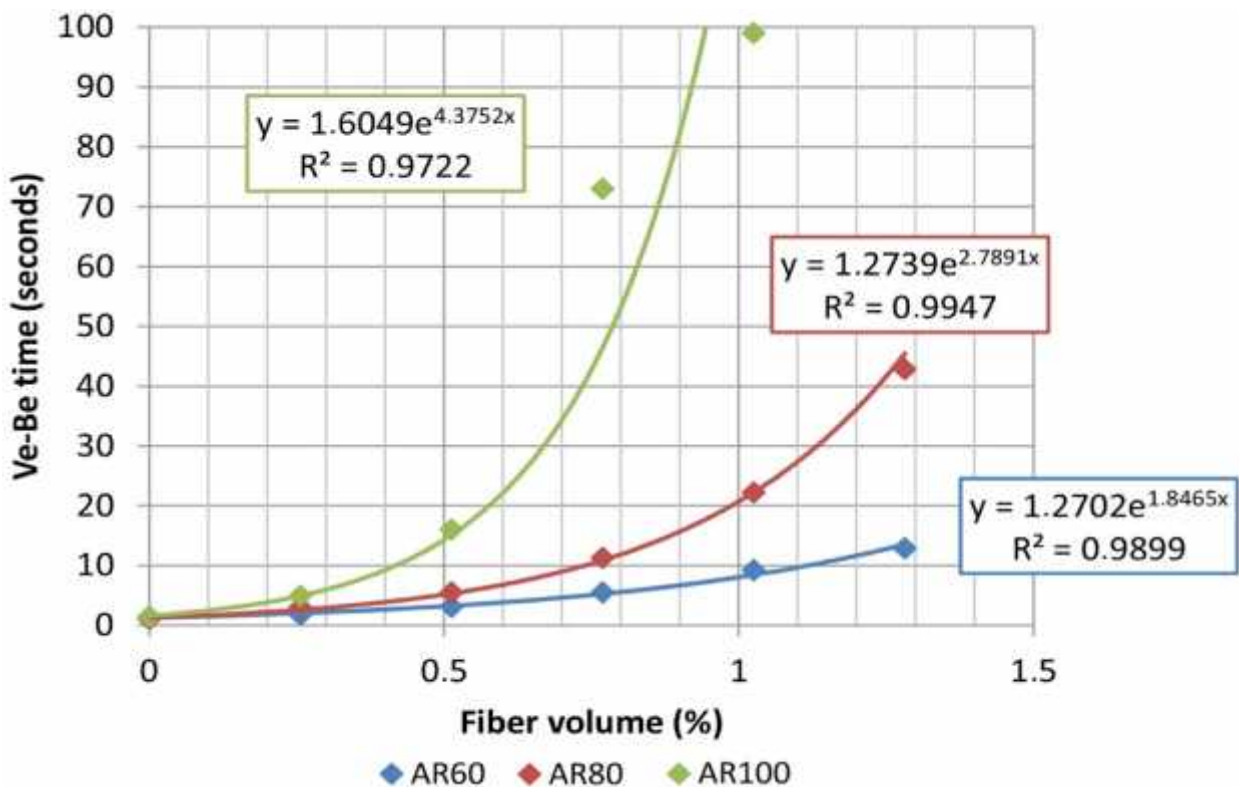
L'ajout d'un super plastifiant est donc fortement conseillé afin de remédier à cette perte d'ouvrabilité [Johnston 2001].



**Figure. I.7** – Effet des fibres sur la maniabilité de béton. [JEJ. 77]

Les travaux de [Antonio Domingues de Figueiredo 2015.] sur le l'influence des fibres métallique sur la maniabilité de béton montrent que l'ajout des fibres métallique dans le béton plastique diminue considérablement la mobilité (**Figure I.8**) La perte de mobilité se produit principalement par les fibres de blocage du mouvement relatif des agrégats qui est moins intense lorsque l'on réduit le rapport d'aspect de la fibre. Une meilleure solution peut être obtenue en réduisant la taille maximale de l'agrégat ou en augmentant la teneur de mortier à béton. Ainsi, l'utilisation d'une méthode de conception de combinaison appropriée, compte tenu de l'effet des fibres, est nécessaire pour garantir des conditions d'ouvrabilité adéquates pour -fiber reinforced concrete (FRC)-.





AR60 : fibre de longueur 60 mm et  $\varnothing = 1$  mm, AR80 : fibre de longueur 80 mm et  $\varnothing = 0.75$  mm.

AR100 : fibre de longueur 100 mm et  $\varnothing = 0.6$  mm.

**Figure.I.8** - Exponential correlations between Ve-Be time and fiber content of the concretes with different aspect ratio of the fibers.

### I.7 - Formulation du Béton de fibre

Le problème de la formulation de béton est compliqué de fait de nouveau constituant tel qu'adjuvant, et les fibres sont venues s'ajouter au constituant de béton ordinaire.

Pour le béton ordinaires plusieurs méthodes

Dans l'objectif d'une composition optimale de béton renforcé en fibre métallique, le laboratoire central des ponts et chaussée LCPC propose une méthode expérimentale qui a comme point de départ la méthode Baron - Lesage [Baron 1969] de formulation des bétons courants.

Cette méthode est basée sur les deux postulats suivants :

- pour un rapport (massique) eau sur ciment (E/C) et une quantité de pâte (E+C) donnés, le béton le plus compact a une maniabilité optimale,
- l'optimum de compacité (déterminé par la constitution du squelette granulaire : sable plus gravillons) n'est pas modifié lorsqu'on fait varier les quantités E/C et E+C.

Pour que cette méthode soit applicable au béton de fibres métalliques on fait l'hypothèse supplémentaire suivante : L'ajout de fibre métallique ne modifie pas les deux premières hypothèses.

Rossi préconise l'utilisation de maniabilimètre LCL [Baron 1965] pour la mesure de la maniabilité, lorsque le dosage en fibres est important. Cet appareil (décrit dans le deuxième chapitre) permet de quantifier la maniabilité par le temps d'écoulement d'un volume fixé de béton dans un récipient soumis à une vibration. Cette méthode de mesure est particulièrement adaptée aux bétons de fibres. En effet, les fibres forment un enchevêtrement qui limite l'écoulement statique, rendant ainsi inutilisable un essai comme le cône d'Abrams lorsque la teneur en fibres est élevée. De plus, le maniabilimètre utilise un volume de 30L qui est plus représentatif que les 6 L du cône d'Abrams.

La composition du béton doit être mise en fonction des caractéristiques de la fibre et des emplois. Afin de compenser la diminution de maniabilité due à l'incorporation des fibres il est recommandé l'emploi des super plastifiants.

Pour notre cas, et suite à l'indisponibilité de cet appareil nous avons utilisé le cône d'Abrams pour mesurer la maniabilité.

Comme dans notre étude l'objectif n'était pas la formulation d'un béton fibré avec maniabilité figée, donc nous avons utilisé la méthode de Dreux Goriss pour la formulation de béton témoins, ensuite on a évalué l'influence des Fibres sur le comportement de béton à l'état frais et à l'état durci.

### i.7.1 - Optimisation des bétons de fibres métalliques (méthode B Lesage).

Dans la pratique, les étapes à suivre pour composer un béton fibré sont les suivantes :

- Fixer au départ le rapport eau sur ciment (E/C) ainsi le pourcentage de fibres à ajouter.
- faire varier le rapport S/G (sable sur granulats) et déterminer pour chaque rapport la maniabilité du béton de fibre. Tracer la courbe reliant la maniabilité et le rapport S/G ensuite déterminer le rapport S/G pour lequel la maniabilité est maximale.

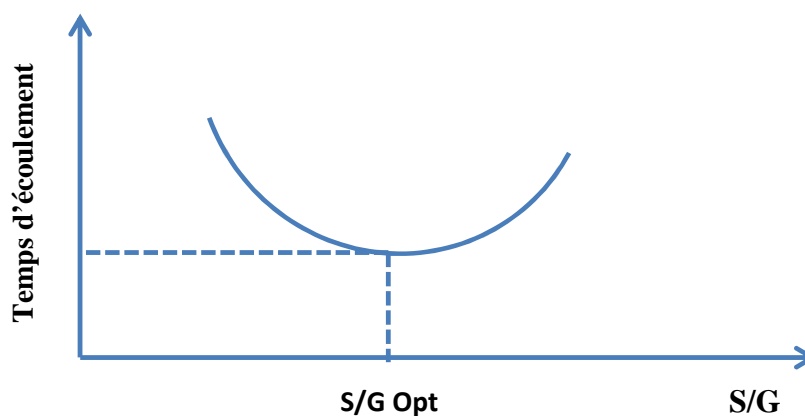


Figure I.9 – Recherche de la maniabilité du rapport S/G optimal

Il est possible d'augmenter ou diminuer la quantité d'eau ou ciment en gardant le rapport eau sur ciment (E/C) le même afin d'avoir la maniabilité requise.

### **I.8 - Facteurs influant sur le comportement d'un béton renforcé de fibres.**

Le comportement de béton renforcé en fibre est influencé par plusieurs paramètres qui affectent sont 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 suivant :

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

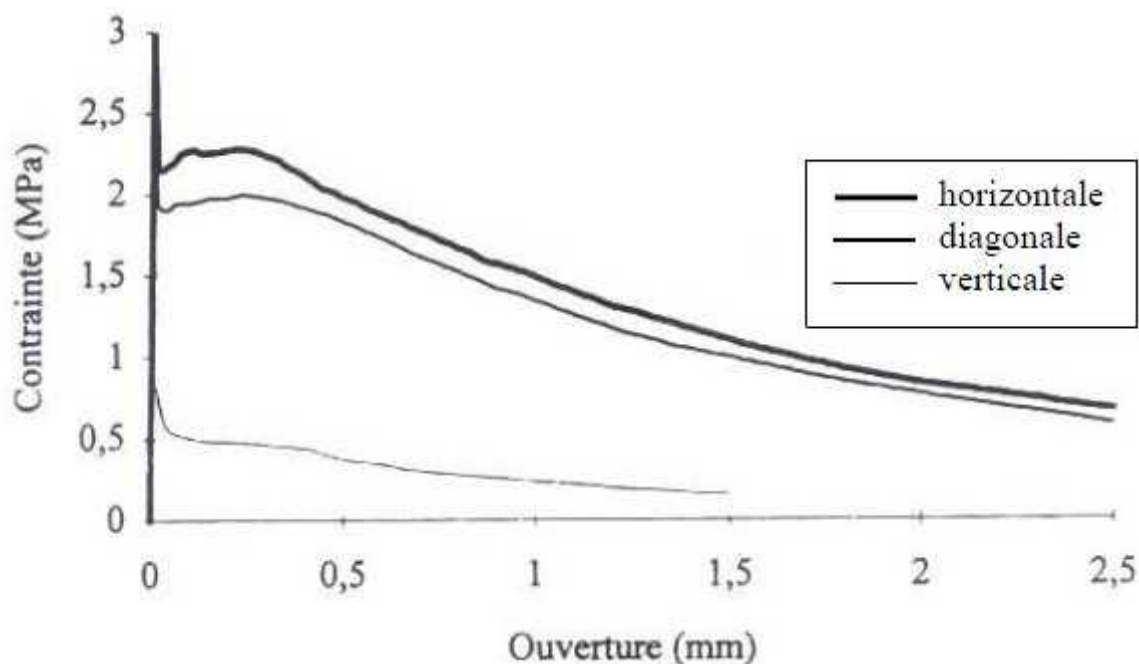
#### **I.8.1– Nature des fibres :**

L'amélioration des propriétés de béton fibrés est fonction de type de fibre incorporé dans le béton. Les travaux menés par [TABET NESRINE] ont montré que les fibres métalliques améliorent les propriétés des bétons auto plaçant (BAP) à l'état frais et durci mieux que les fibres de verres.

#### **I.8.2– 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 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 résiduelle. 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 post pic est amélioré, mais de façon limitée en raison de l'orientation des fibres intermédiaire Fig. I.5.



**Figure I-10** Influence de la direction du carottage sur le comportement en traction d'un béton fibré [Casanova 1996, 1997].

Ainsi, plusieurs auteurs ont montré que les fibres orientées perpendiculairement à l'axe de la sollicitation reprennent efficacement la fissuration, alors qu'une orientation préférentielle parallèle à l'axe entraîne une baisse de l'effort maximum [Bonzel 1986, Harrouche 1989].

### I.8.3– Forme et Longueur et de la fibre.

L'élanement ou le rapport longueur/diamètre joue un rôle prépondérant dans la maniabilité d'un béton renforcé de fibres (notamment métalliques) [Snyder et al. 1972, Swamy et al. 1974, Hughes et al. 1976 (dans Rossi 1998)]. Pour un dosage en fibre donné, plus l'élanement est important, plus la maniabilité du béton diminue. Rossi explique ceci par deux constatations empiriques [Rossi 1998] :

- Pour une longueur de fibre et un volume donnés, plus le diamètre de la fibre sera faible, plus la surface spécifique sera grande. Ceci conduit à des frottements plus importants entre la fibre et la matrice, mais aussi à un nombre de fibres élevé qui augmente la probabilité de contact entre celles-ci. Ceci conduit à une diminution de la maniabilité quand le rapport longueur/diamètre augmente ;
- Pour un rapport longueur/diamètre fixe et un dosage en fibres donné, si le diamètre diminue, la longueur va elle aussi diminuer. Selon le raisonnement précédent, ceci conduit à une diminution de la maniabilité ce qui est en décalage avec la réalité car dans ce cas, le poids unitaire de la fibre intervient. Plus elles seront grandes, plus elles auront tendance à passer à travers le fluide visqueux constitué par la pâte de ciment pour entrer en contact avec les granulats c'est-à-dire à des frottements solides et donc à une diminution de maniabilité.

Concernant la forme géométrique, les fibres à crochets ondulées développent un ancrage et dissipent une énergie de fissuration par plastification de la fibre et par frottement à l'interface avec la matrice. Aussi elles développent un ancrage supplémentaire en plus de l'adhérence avec la matrice les rendant plus efficaces par rapport aux fibres droites.

#### **I.8.4 – 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 correspond à un dosage respectivement de 3,0% et 4,0%, 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 se trouve à dépendre de la quantité de teneur en fibres.
- La ductilité du béton se trouve à augmenter avec l'inclusion de fibres à teneur élevée en fibres.

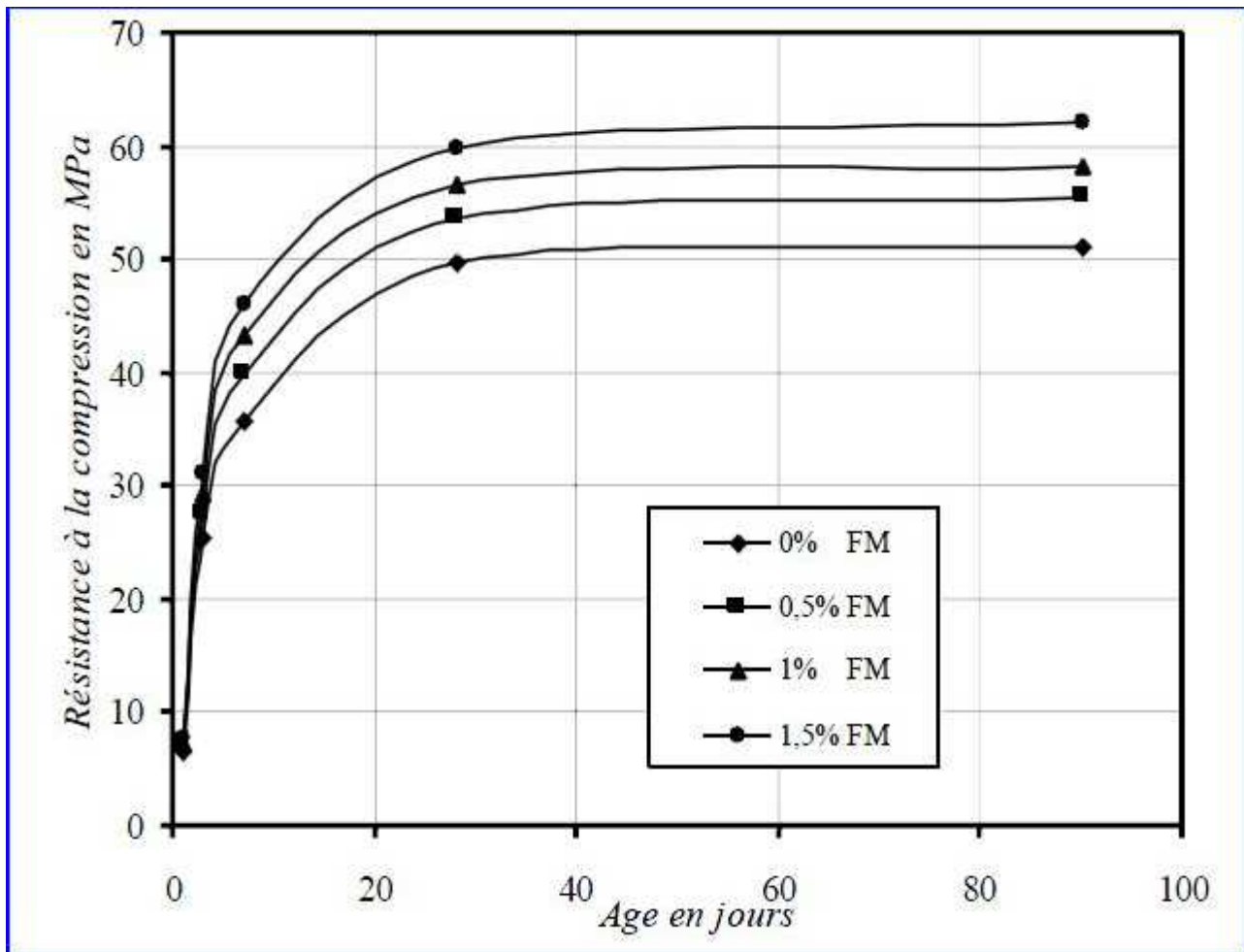
#### **I.9 - Comportements des BFM à l'état durci.**

##### **I.9.1 - Comportement en compression.**

La résistance à la compression simple d'un ouvrage 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 1974b, Swamy 1975].

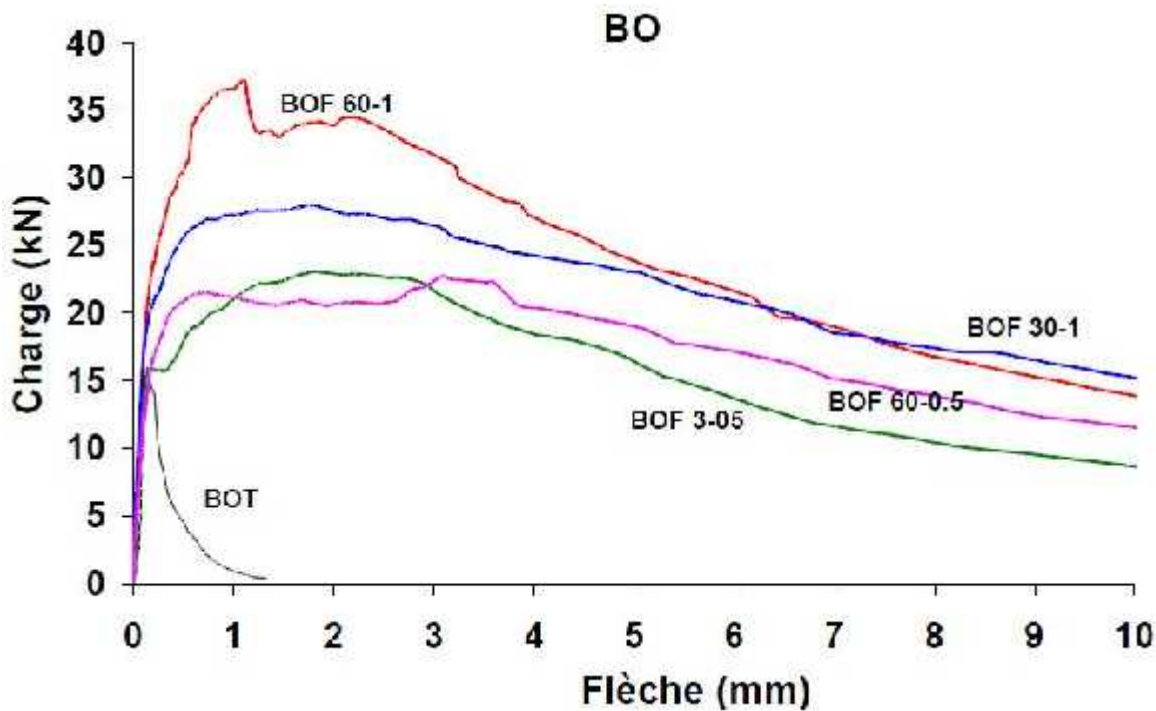
La plupart du temps, les fibres sont sollicitées après la formation des fissures dans le béton. Leur rôle est alors de « coudre » les fissures et de limiter leur ouverture. C'est pourquoi on note généralement plusieurs fissures de petites dimensions sur les éléments de BFM contrairement à quelques fissures 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 [ROSSI, 2005]

[Setti F. 1, Ezziane K. 1, Setti B.] a 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 I.11. 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 I.11** - Évolution du gain de résistance compression du béton renforcé de fibres  
[Setti F. 1, Ezziane K. 1, Setti B.]

[Bensaid BOULEKBACHE] a constaté dans ces travaux que le béton dosé à 1% métallique présente un comportement mécanique très amélioré par rapport au matériau avec 0,5 % de fibre surtout au niveau du pic. Les deux bétons (avec 1% et 0.5 % de fibre) présentent une résistance nettement plus grande que le béton témoin voir Figure I.12



**BOT** : béton ordinaire témoin, **BOF 60-1** : Béton avec fibre de longueur 60mm et 1%, **BOF 60-1** : Béton avec fibre de longueur 60mm et 1% de dosage, **BOF 30-1** : Béton avec fibre de longueur 30mm et 1% de dosage, **BOF 30-0.5** : Béton avec fibre de longueur 30mm et 0.5% de dosage.

**Figure I-12** Influence de la teneur et longueur de fibres métalliques comportement en compression d'un béton fibré [Bensaid BOULEKBACHE 2013.]

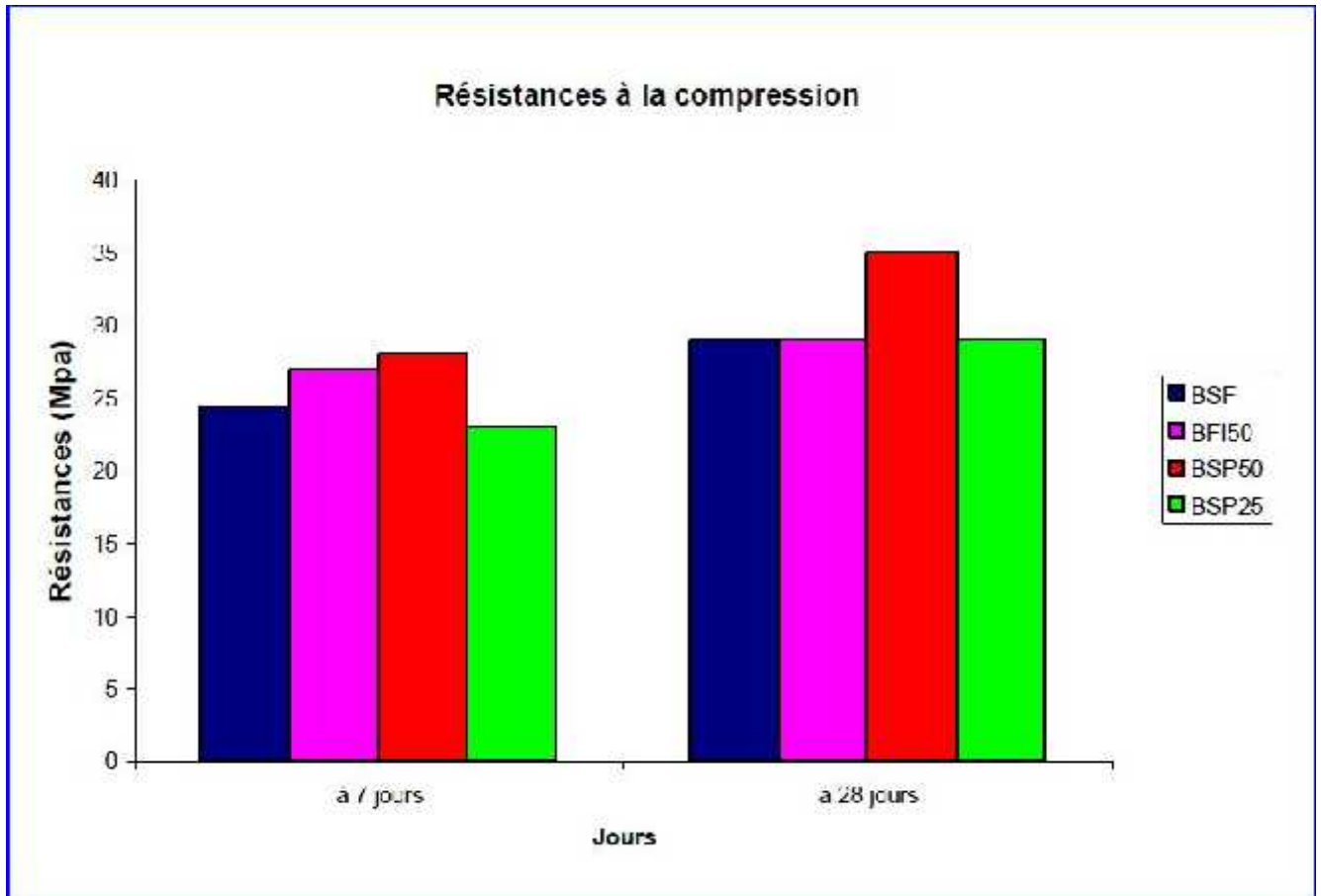
Cette amélioration de comportement mécanique en compression que nous avons exposé ci-dessus est obtenue pour des bétons avec maniabilité variable. Or, dans notre cas nous allons étudier le comportement de béton de fibre métallique à maniabilité constante et à maniabilité variable, la connaissance des résultats de recherche des bétons de fibre métallique à maniabilité constante est indispensable. On va citer une étude :

#### **Tavaux de [Mme BENTALHA] :**

Les travaux de **Mme BENTALHA** ont été menés sur deux types de fibre métalliques, le premier type c'est des fibres industrielles de longueur 50mm et épaisseur 0.6 mm ayant la forme bâtonnet ondulés, le deuxième type de fibre sont des copeaux industriels d'une longueur de 50 et 25 mm et 0.6 d'épaisseur avec la forme de ressort la maniabilité de béton est prise en constante.

Les résultats obtenus ont montré qu'à l'état frais, et à travers le taux de consommation des adjuvants que les fibres diminuent la maniabilité quel que soit le type de fibre, ainsi cette diminution est plus rapide avec l'augmentation de l'élanement.

Concernant la résistance à la compression, il a été constaté que la résistance à la compression de béton sans fibre, est sensiblement la même que celle du béton avec fibres cela peut être traduit par le fait qu'étant donné que la maniabilité est constante la répartition des fibres dans le béton est la même voir Figure ci-dessous.



BSF : Béton sans Fibre. SFI50 : Béton avec Fibres industrielles  $L_f$  50mm et  $e_p=0.6$  mm,  
 BSP50 Béton avec Sous-produits industriels avec  $L_f$  50mm et  $e_p=0.6$  mm,  
 BSP25 Béton avec Sous-produits industriels avec  $L_f$  25 mm et  $e_p=0.6$  mm

**Figure I.13.** Résistance à la compression. Selon BENTALHA

### I.9.2 Comportement en Traction par Flexion :

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 de 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 à trait 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 en 1995], présentent une bonne résistance à la traction et à la flexion, une augmentation de la ductilité et une réduction du nombre de joints de retrait.

[Setti F. 1, Ezziane K. 1, Setti B.] a 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 I.14.

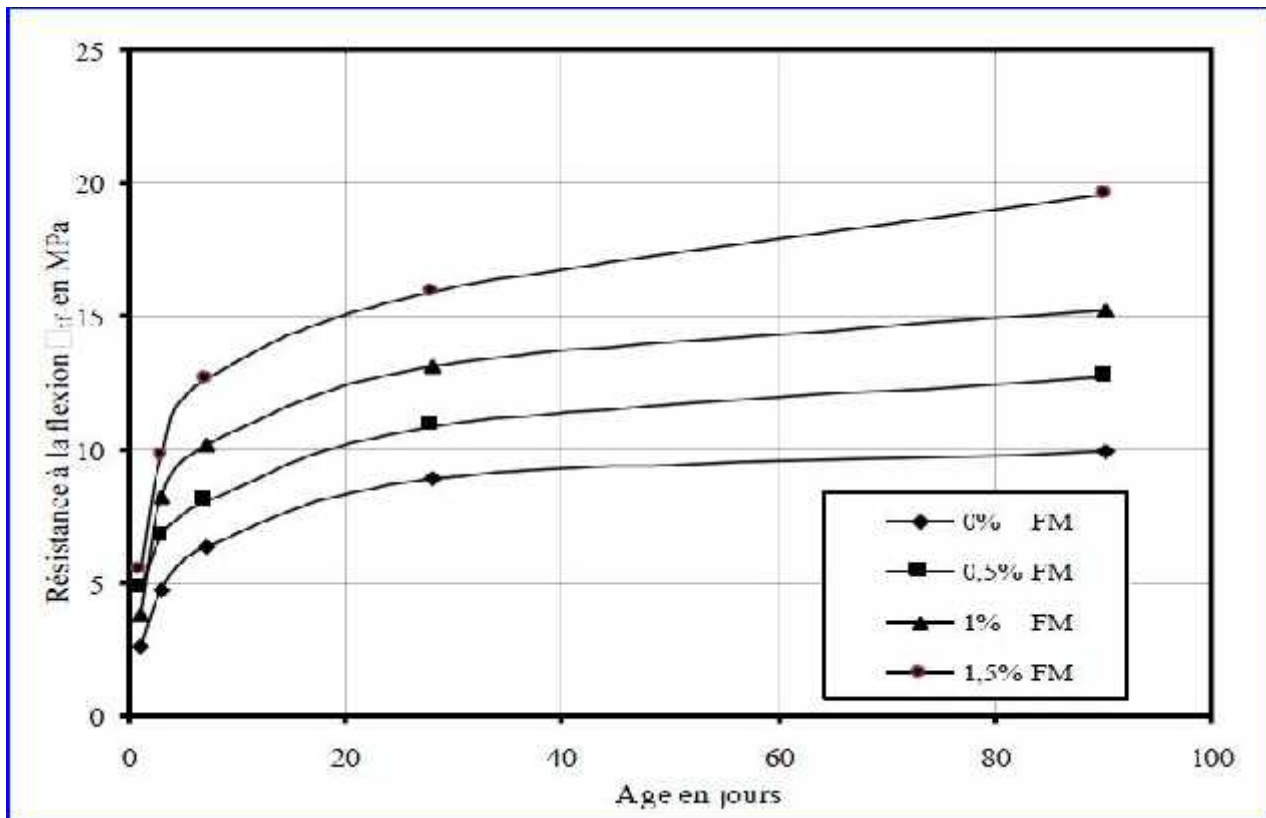


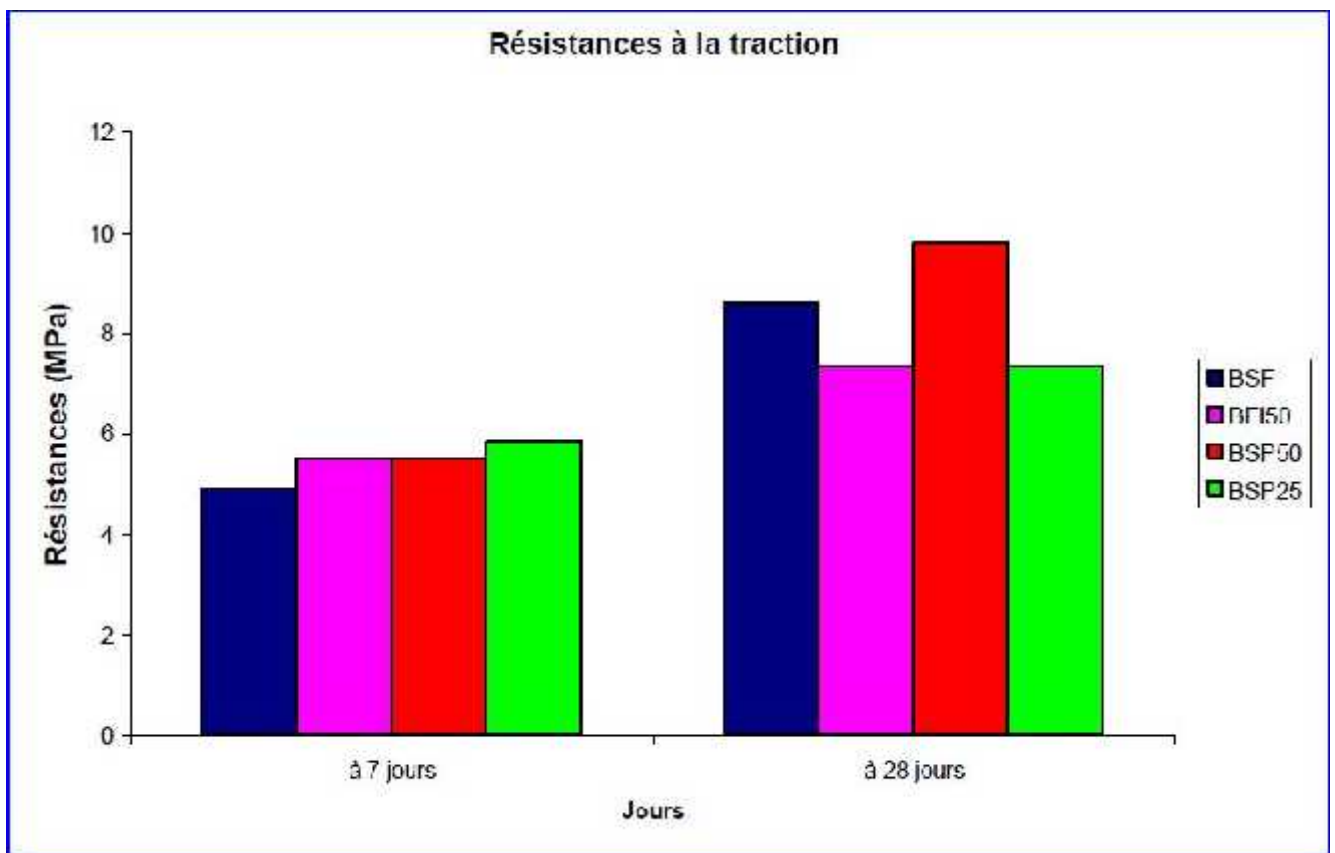
Figure I.14. Résistance à la flexion du béton renforcé de fibres en fonction du temps.

[Setti F. 1, Ezziane K. 1, Setti B.]

Les résultats montrés ci-dessus sont obtenus avec maniabilité variable.

On va voir le cas de maniabilité constante (Travaux de [Mme BENTALHA]).

Les travaux menés par Mme BENTALHA 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 (BSP25) réagissent comme les bétons témoins, cela peut s'expliquer par la dimension des fibres qui se rapprochent de la dimension d'un gros granulats 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. Voir figure ci-dessous.



BSF : Béton sans Fibre. SFI50 : Béton avec Fibres industrielles  $L_f$  50mm et  $e_p = 0.6$  mm,

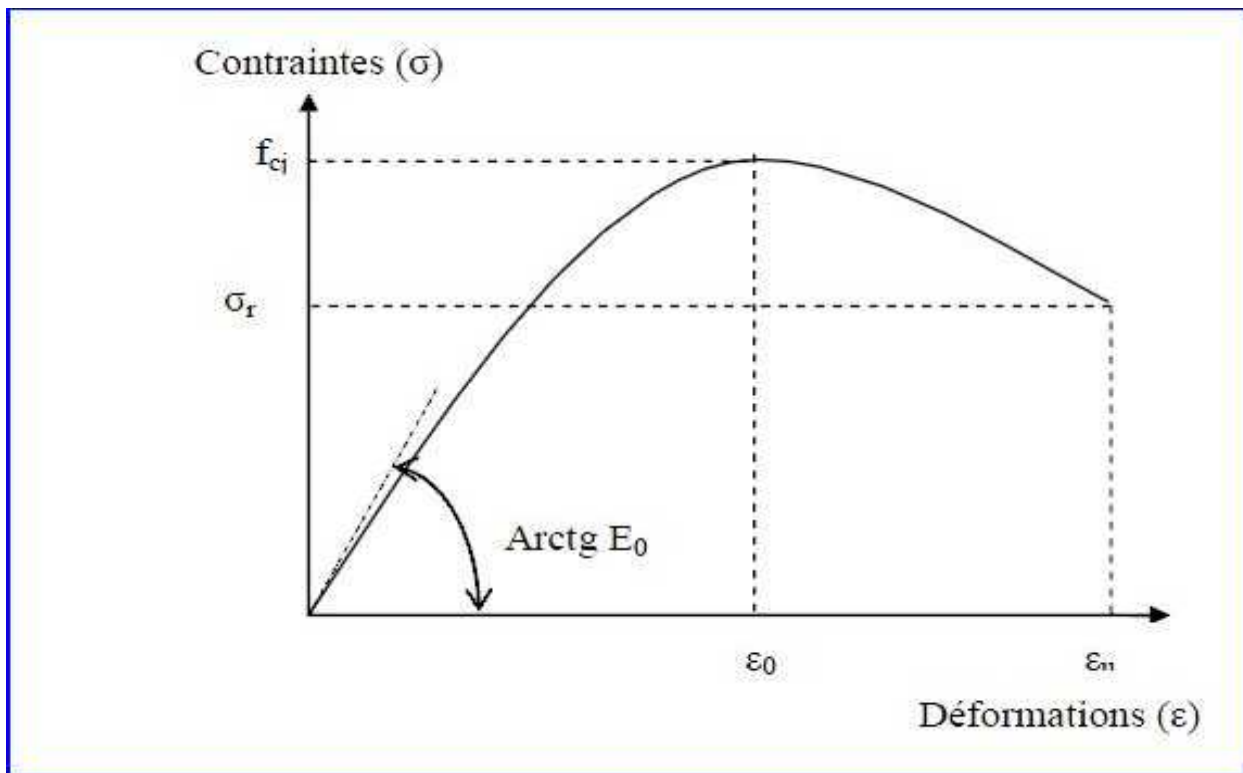
BSP50 : Béton avec Sous-produits industriels avec  $L_f$  50mm et  $e_p = 0.6$  mm,

BSP25 : Béton avec Sous-produits industriels avec  $L_f$  25 mm et  $e_p = 0.6$  mm

Figure 1.15- Résistances à la traction. [Mme BENTALHA]

## I.9.3 – Module de Young :

Le module de Young est une caractéristique qui conditionne la rigidité de matériaux. Il est défini comme étant la pente de la partie droite de diagramme contrainte déformation. Voir Figure ci-dessous.



**Figure I.16** : Exemple de diagramme contrainte - déformation en compression ( $E_0$  module de Young)

[Ali ELLOUZE 2005] dans leurs travaux a constaté que le module de Young augmente avec l'ajout des fibres métalliques par rapport au béton sans fibre, cette augmentation peut s'expliquer à l'aide de la loi des mélanges [R.N. Swann et P.S. Mangat (1974),]

Selon les travaux [Djebali 2013] l'ajout des fibres (type spiral et de 30 à 40 mm de longueur) en faible pourcentage apporte une légère augmentation de la rigidité (3% à 4%) en compression, néanmoins avec l'augmentation du volume des fibres le module tend à baisser, cette diminution peut être expliquée par la baisse de compacité du matériau. La teneur optimale en fibre pour un module max est 4% voir Figure I.16.

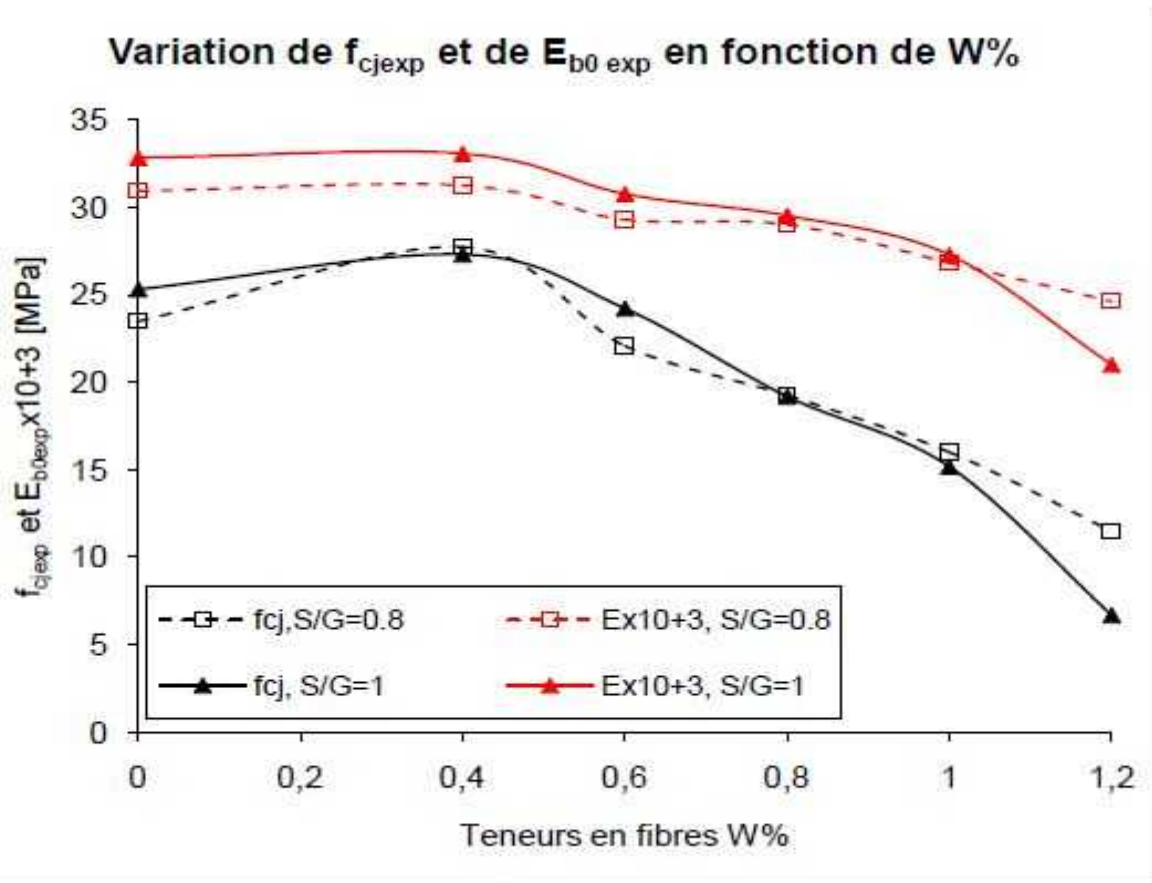


Figure I.17 Évolution de la résistance en compression et du module de Young expérimental en fonction de la teneur en fibre [Djebali 2013].

**I.10 - Conclusion de chapitre I :**

Dans ce chapitre nous avons résumé, l'état de connaissance sur le historique et le comportement mécanique des bétons de fibres, les types, les avantages des bétons fibrés et influence de la présence des fibres dans le béton renforcés par des fibres.

Quelques recherches sur le béton de fibre et leur comportement à l'état frais et durci (maniabilité, résistance à la compression, résistance à la flexion et module de Young).

**CHAPITRE II PARTIE EXPERIMENTALE**

Afin d'étudier le comportement des bétons fibrés et d'analyser aux mieux les résultats, Nous avons menez notre campagne expérimentale au niveau de laboratoire EL Asnam BOUIRA selon le plan suivant :

1. Analyse et présentations des différents constituants
2. Formulation et mise en œuvre
3. Résultats et discussions,

**II.1 - Constituants des bétons étudiés.**

**II.1.1 - Granulats :**

Les granulats, Sable et Gravier 3/8 ; 8/15 ; utilisés dans cette étude proviennent de la carrière KEDDARA. Les caractéristiques de chaque classe granulaire conformément aux normes sont présentées comme suit :

**II.1.1.A. Analyse Granulométrique (Norme : NF EN 933-1 -Déc. 97- ) :**

**II.1.1.A.1 - Sable**

Le sable utilisé est un sable concassé ayant la distribution ci-après (voir Tableau II.1)

**TAB. II.1** Analyse granulométrique du sable.

Ouverture des tamis (mm)	Masse de Refus Ri (g)	Pourcentage de refus (Ri/M <sub>1</sub> x100)	Pourcentage cumulés de Tamisât : 100-(Ri/M <sub>1</sub> x100)
6.3	00	00	100
5	9.00	0.90	99.10
2.5	88.3	8.83	91.17
1.25	399.00	39.90	60.10
0.63	621.10	62.11	37.87
0.315	787.7	78.77	21.23
0.16	922.00	92.20	7.8
0.063	991.00	99.10	0.90
Refus Cumulés			

M1 : Masse sèche totale.

M2 : Masse sèche après lavage

M1-M2 : Masse sèche des fines retirées par lavage

Le module de finesse d'un granulat est égal au 1/100<sup>e</sup> de la somme des refus, exprimé en pourcentage sur les tamis de la série suivante : 5 - 2.5 - 1.25 -0.63 - 0.315 - 0.16

Le module de finesse est de : 2.83. On peut dire qu'il s'agit d'un sable grossier.

## II.1.1.A.2 Gravier 3/8

TAB. II.2 Analyse granulométrique du Gravier 3/8 (1600 g).

Ouverture des tamis (mm)	Masse de Refus Ri (g)	Pourcentage de refus (Ri/M <sub>1</sub> x100)	Pourcentage cumulés de Tamisât : 100-(Ri/M <sub>1</sub> x100)
10	0.00	0.00	100.00
8	34.24	2.14	97.86
6.3	454.24	28.39	71.61
5	1110.56	69.41	30.59
2.5	1592.16	99.51	0.49
1.25	1596.80	99.80	0.20
0.63	1600.00	100.00	0.00
0.315			
Refus Cumulés			

## II.1.1.A.3 Gravier 8/15

TAB. II.3 Analyse granulométrique du Gravier 8/15 (3000 g).

Ouverture des tamis (mm)	Masse de Refus Ri (g)	Pourcentage de refus (Ri/M <sub>1</sub> x100)	Pourcentage cumulés de Tamisât : 100-(Ri/M <sub>1</sub> x100)
16	0.00	0.00	100.00
12.5	271.20	9.04	90.96
10	1341.60	44.72	55.28
8	2436.30	81.21	18.79
6.3	2966.10	98.87	1.13
5	2989.20	99.64	0.36
2.5	3000.00	100.00	0.00
Refus Cumulés			

L'analyse granulométrique du gravier 8/15 présente une courbe bien étalée continue.

**II.1.1.B - Caractéristiques physiques**

Les analyses d'identification des mélanges granulaires que nous avons effectuées sont résumées dans les tableaux suivants **TAB. II.4, II.5, II.6.**

**II.1.1.B.1 - Sable 0/3**

**TAB. II.4.**Caractéristiques physiques de sable

<b>Caractéristique</b>	<b>Unité</b>	<b>Résultat</b>
Masse volumique absolue NF EN 1079-6	t/m <sup>3</sup>	2.60
Teneur en fine	%	2.58
Module de finesse	-	2.73
Équivalent de sable (piston)	%	89

**II.1.1.B .2- Gravier 3/8**

**TAB. II.5.**Caractéristiques physiques Gravier 3/8

<b>Caractéristique</b>	<b>Unité</b>	<b>Résultat</b>
Masse volumique absolue	t/m <sup>3</sup>	2.64
Propreté P	%	1.7
Los Angles LA	-	22.75

**II.1.1.B .3- Gravier 8/15**

**TAB. II.6.**Caractéristiques physiques Gravier 8 /15

<b>Caractéristique</b>	<b>Unité</b>	<b>Résultat</b>
Masse volumique absolue	t/m <sup>3</sup>	2.64
Propreté P	%	1.55
Los Angles LA	-	22.75



**II.1.2.Ciment :**

Pour tous les mélanges que nous avons réalisés, le ciment utilisé est un ciment CPJ II/A 42.5 provenant de la cimenterie de M'SILA (ACC), dont les caractéristiques physico mécanique et chimique sont dans les tableaux ci-dessous :

**TAB. II.7.** Caractéristiques physiques du Ciment

		Résultats
Consistance (%)		30.0
Temps de prise (mm)	Début	180
	Fin	230
Stabilité (mm)	Froid	-
	Chaud	4.0
Essai de retrait ( $\mu\text{m}/\text{m}$ ).	03 jours	156
	07 jours	269
	28 jours	613
Essai de gonflement ( $\mu\text{m}/\text{m}$ ).	03 jours	0
	07 jours	0
	28 jours	0
Masse volumique absolue ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )		3.00
Mouture de finesse selon Blaine ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )		4644

**TAB. II.8 :** Caractéristiques Mécaniques du Ciment

Age (jours)	Flexion ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	Compression ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )
02 jours	5.1	24.7
07 jours	7.0	39.5
28 jours	8.2	48.00

**TAB. II.9.**Caractéristiques minéralogiques du Ciment

Phase	Constituant minéraux du Clinker	Teneur rapportée au Clinker (%)
Clinker	C <sub>3</sub> S	57
	C <sub>2</sub> S	19
	C <sub>3</sub> A	05
	C <sub>4</sub> AF	13
	CaO.L	01
Régulateur de prise	Gypse	05

Le ciment commercialisé, conservé est de caractéristique conforme aux normes.

### II.1.3. Fibres

Les fibres utilisées sont des fibres métallique DRAMIX de type RC-80/30-BP à haute teneur en carbone. Elles sont fabriquées à partir de fil d'acier tréfilé à froid. La fibre comporte à chacune de ses extrémités un façonnage en forme de baïonnette appelé « crochet » destiné à favoriser son ancrage dans le béton.

Les principales caractéristiques dimensionnelles et physiques sont les suivantes :

**TAB. II.10.**Caractéristiques de Fibre

Caractéristique	Valeur
Longueur	30 mm $\pm$ 3 mm
Diamètre	0.375 mm $\pm$ 0.02mm
L des extrémités des crochets	1 mm L 3 mm
Amplitude de crochet	h 0,75 mm
Angle du crochet	20°
R à la traction	$R_m > 1\ 050\ \text{N/mm}^2$
Type d'ancrage	fibre avec 2 crochets
Conditionnement	Fibres encollées en plaquette
Facteur d'élanement	$80 = L/d = 30/0.75$



**Figure II.1.** Type de fibre métallique utilisé

### II.1.4 Adjuvant

À l'effet de contrôler la maniabilité du béton et de garder une même consistance en faisant varier le taux des fibres d'acier, nous avons utilisé un super plastifiant haut réducteur d'eau commercialisé sous le nom : **ADVA FLOW 390**. Cet adjuvant est importé de l'Italie par l'Entreprise Nationale des Grandes Ouvrages d'Arts ENGOA pour ces chantiers.

Il présente les caractéristiques suivantes Tableau :

**TAB. II.11.** Caractéristiques de L'adjuvant

Caractéristique	Valeur
Forme	Liquide
Couleur	Brun clair
Densité de	1,050 ± 0.02 à 20° C
Teneur en chlorure	Absent
Délai de conservation	12 (douze) mois

### II.1.5 Eau de gâchage

L'eau utilisée pour la confection du béton est une eau potable de la ville de Bouira. 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 1000 kg/m<sup>3</sup>.

## II.2 - Formulation.

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 recherchés.

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 qualité sont étroitement liées l'une à l'autre, quant aux facteurs dont elles dépendent mais elles varient en sens inverse [Dreux] Comme montré dans le tableau ci-dessous.

**TAB. II.12.** Qualité de divers paramètres en fonction Soit de l'ouvrabilité soit de la résistance recherchée

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

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

### II.2.A- Méthode de DREUX GORISS pour la composition de béton.

- La résistance envisagée du Béton à 28 jours est de 35 MPA.
- Granulats utilisés sont des granulats concassés.
- Le Béton est plastique.
- Type de ciment : CPJ-42,5 classe 42.5
- Dmax =15mm
- Module de finesse 2.73

#### A. Dosage en ciment et en eau :

En commence par évaluer approximativement le rapport C/E en fonction de la résistance moyenne  $\sigma_{28}$

$$\text{Avec } \sigma_{28} = G \cdot f_{cm} \left( \frac{C}{E} - G \right) \dots\dots\dots(1).$$

- $\sigma_{28}$  : Résistance à 28 jours.
- $f_{cm}$  : classe vraie de ciment.
- G : coefficient granulaire.
- C : dosage en ciment (kg/m<sup>3</sup>)
- E : dosage en eau (kg/m<sup>3</sup>)

La valeur approximative du coefficient granulaire G est déterminée selon le tableau ci-dessous établi par George DREUX [G.DREUX et FESTA].

TAB. II.13. Valeur approximative du coefficient granulaire G

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

Pour notre cas nous avons D<16mm ce qui donne un G=0.45, avec bonne qualité.

$$\sigma_{28} = 35 + 15\% = 40.15 \text{ Mpa.}$$

$$f_{cm} = 42.5 \text{ (Classe de MATINE 42.5)}$$

À partir de (1) nous avons :

$$\frac{C}{E} = \frac{\sigma^2}{G \cdot f_{ct}} + G$$

- D<16 mm donc G =0.45, avec une bonne qualité des granulats.

$$\frac{C}{E} = \frac{4.1}{0.4 \times 4.5} + 0.45 = 2.54$$

**B. Calcule de dosage en ciment.**

À partir des abaques indiquant approximativement le dosage en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée on déduit le dosage en ciment.

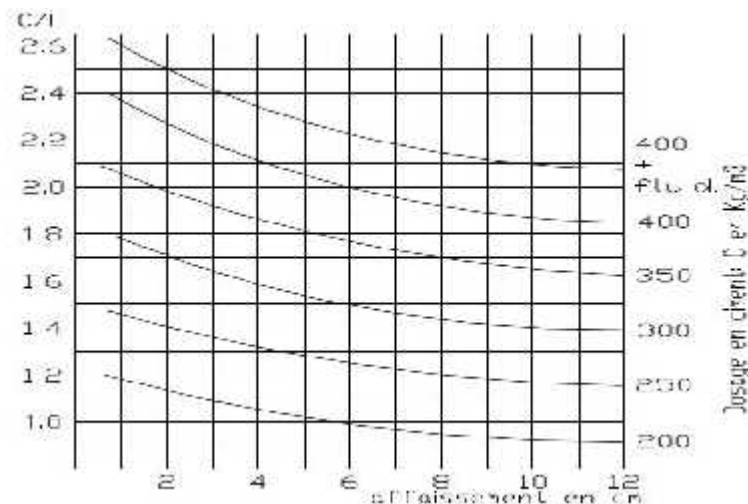


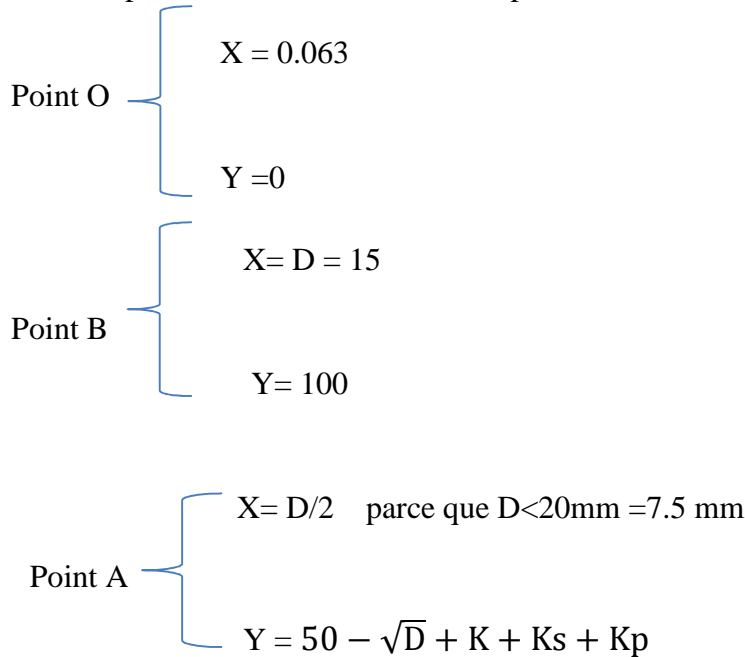
Figure II. 2- Graphe indiquant le dosage en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée on déduit le dosage en ciment.

C/E = 2.54 et A= 10 cm le dosage en ciment 400 Kg plus adjuvant.

C/E =2.54 on déduit E = 400 / 2.54 = 157.48 kg.

**C. Courbe de référence.**

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



**K :** coefficient d’optimisation de la compacité en fonction du type de vibration, de la forme des granulats, et du dosage en ciment. Voir tableau ci-dessous.

**TAB. II.14.** Valeur de coefficient K

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Format des granulats		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage ciment	400+f	-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

Nous avons vibration normale, dosage en ciment 400 +f et granulats concassés donc

**K= -2**

$K_s$  : Coefficient d'ajustement pour les sables.

$$K_s = 6 M_f - 15 = 6 \times 2.83 - 15 = 2$$

$K_p$  : Ajustement du dosage en sable pour faciliter le transfert par les pompes à béton.

$$K_p = 0 \text{ si béton non pompable}$$

$$5 < K_p < 10 \text{ si béton pompable.}$$

$$K_p = 0$$

$$Y = 50 - \sqrt{15} + 1.38 - 2 = 46.14$$

Donc nous avons les coordonnées de la courbe de référence comme suit :

$$\text{Point O} \left\{ \begin{array}{l} X=0.063 \\ Y=0.00 \end{array} \right. , \quad \text{point B} \left\{ \begin{array}{l} X=15 \\ Y=100 \end{array} \right. , \quad \text{Point A} \left\{ \begin{array}{l} X=7.5 \\ Y=46.14 \end{array} \right.$$

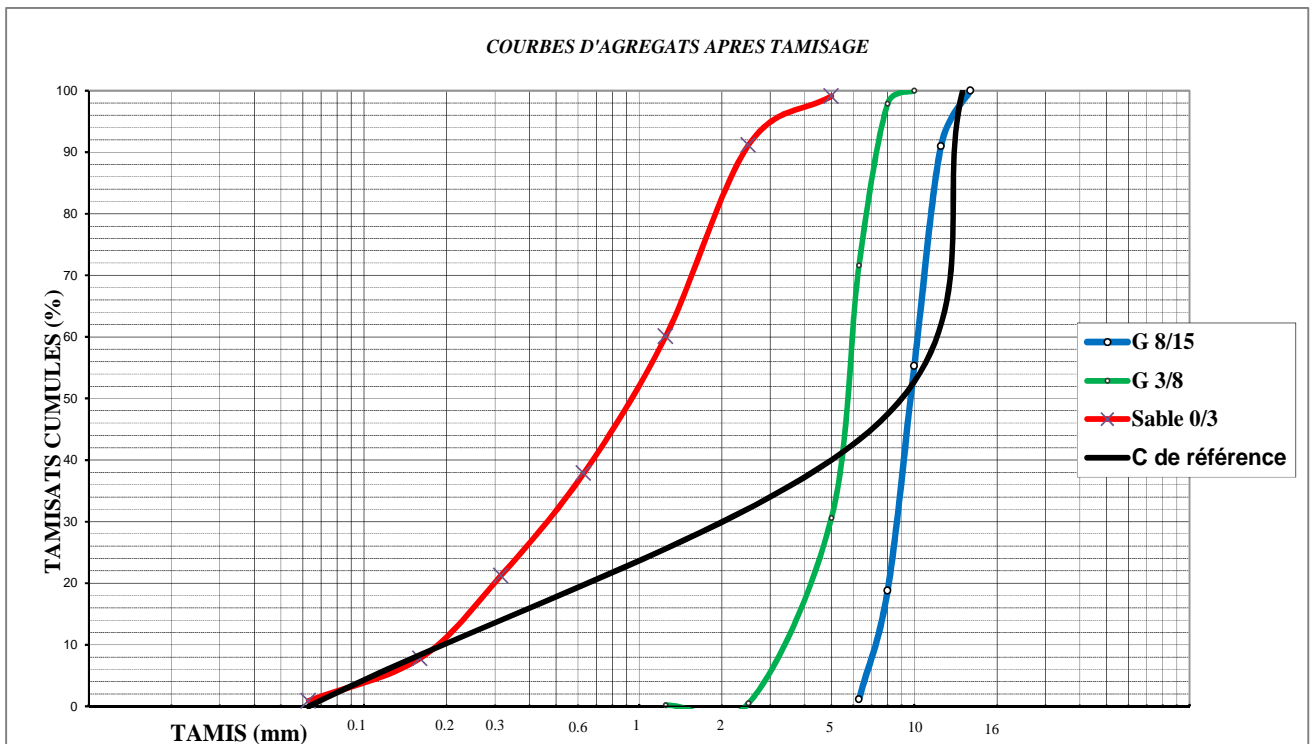


Figure II.3. Courbe de l'Analyse granulométrique.

**D. Ligne de partage.**

La ligne de partage joint le point d'ordonnée 95% de la courbe granulaire du plus petit granulat au point d'ordonnée 5% de la courbe granulaire du plus gros granulat.

**E. Dosage en masse des granulats.**

D'après la courbe des granulats ci-dessus on obtient les dosages des granulats suivant :

- Sable 0/3 : 41 %.
- Gravier 3/8 : 12 %.
- Gravier 8/15 : 47%.

D max = 15mm, béton plastique vibration normale.

D'après le tableau de valeur du coefficient de compacité  $\gamma = 0,812$ .

Les valeurs des constituants solides sont les suivantes :

- Volume absolu total :  $V = 1000 \times \gamma = 812 \text{ L}$
- Volume absolu de ciment :  $400/3.00 = 133.33 \text{ L}$
- Volume absolu des granulats :  $V_g = 812 - 133.33 = 678.67 \text{ L}$

Donc le dosage des fractions des granulats en litres sera :

- Volume absolu du sable 0/3 .....:  $678.67 \times 0.41 = 278.25 \text{ L}$
- Volume absolu du gravier 3/8 ..... :  $678.67 \times 0.12 = 81.44 \text{ L}$
- Volume absolu du gravier 8/15 .....:  $678.67 \times 0.47 = 318.97 \text{ L}$

La masse volumique absolue des granulats sont les suivantes :

- $M_v$  : Sable (0/3) =  $2.60 \text{ g/cm}^3$ .
- $M_v$  : Gravier (3/8) =  $2.64 \text{ g/cm}^3$ .
- $M_v$  : Gravier (8/15) =  $2.64 \text{ g/cm}^3$ .

Masse de sable  $M_s = 2.60 \times 278.25 = 723.45 \text{ kg}$

Masse de sable  $M_{G3/8} = 2.60 \times 278.25 = 215.00 \text{ kg}$

Masse de sable  $M_{G8/15} = 2.60 \times 278.25 = 842.08 \text{ kg}$

**II.2.B - Mise en œuvre**

Nous exposons les différentes étapes effectuées pour confectionnés les différents échantillons lors de notre campagne expérimentale. Ces techniques expérimentales menées conformément aux normes en vigueur (NF EN 480-1).



**II.2.B.1 - Malaxage.**

Le malaxeur utilisé est un malaxeur à axe verticale, à tambour Capacité cuve 130 litre, capacité utile 90 litres, avec roues, barre de traction et pales additionnelles destinées au béton d'affaissement faible. Il permet pendant le malaxage d'observer l'ouvrabilité de béton (voir figure II.3)

Les étapes de malaxage sont comme suit :

- Introduction du gravier 8/15 ensuite gravier 3/8 ensuite le ciment et en dernier lieu le sable.
  - l'homogénéisation du mélange à sec (ciment et sable et gravier) pendant 30 secondes. Le malaxage se fait à vitesse lente.
  - Introduction de l'eau de gâchage au cours du malaxage, ce qui a pour but de mouiller le Mélange et de faciliter la mise en place, le fluidifiant est ajouté directement dans le béton au même temps avec l'eau ainsi les fibres métalliques qui sont ajoutées progressivement en pluie au mélange, cette étape prend 2 minute et 30 seconde. Après l'introduction de tous les constituants malaxer pendant 2 minutes et on détermine la consistance dans les 5 min qui suivent la fin du malaxage.
- La confection des éprouvettes se fait dans les 30 min qui suivent la fin du malaxage.



**Figure II.4.** Malaxeur utilisé

### II.2.B.2 - Dimensions et remplissage des éprouvettes :

Pour les différents essais sur le béton durci, nous avons choisis des éprouvettes cylindriques type 32 x 16 cm pour les essais de compression simple, et prismatique 7x7x28cm pour les essais de flexion. Les essais sont effectués conformément aux normes NF EN 12390.

Des prélèvements sont réalisés dans des moules déjà graissés par un produit de décoffrage, ce dernier est rempli à raison deux couches puis vibré, selon la condition d'hypothèse de formulation.

À la fin du coulage, il faut araser les éprouvettes à l'aide d'une règle. La face supérieure de l'éprouvette doit être lisse et bien finie. Après 24 heures, démouler les éprouvettes, et les conserver à l'aire libre dans notre cas.



Figure II.5 - Confection des éprouvettes (cylindriques et prismatiques)

### II.3 - Essais sur béton frais.

#### II.3.1 – Affaissement au cône d'Abrahams (Norme 12350).

Cet essai consiste à remplir un moule tronconique ( $D=20$  cm,  $d= 10$ cm,  $h= 30$ cm) en trois couches tassées par une tige d'acier de 16 mm de diamètre et d'extrémité arrondie. Le piquage est exécuté selon un ordre de 25 coups par couche avec répartition des coups uniformément 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, on mesure l'affaissement [**Groupe Eyrolles**]. voir Figure II.6



Figure II.6. Affaissement au cône d'Abrahams

### II.3.2 – Maniabilimètre L.C.L

C'est un appareil constitué par des plaques d'acier formant un parallélépipède de dimension 30x30x60 cm. Muni d'une plaque inclinée de 38 ° par rapport à la verticale qui divise le moule en deux compartiments de volumes différents. Voir Figure II.7

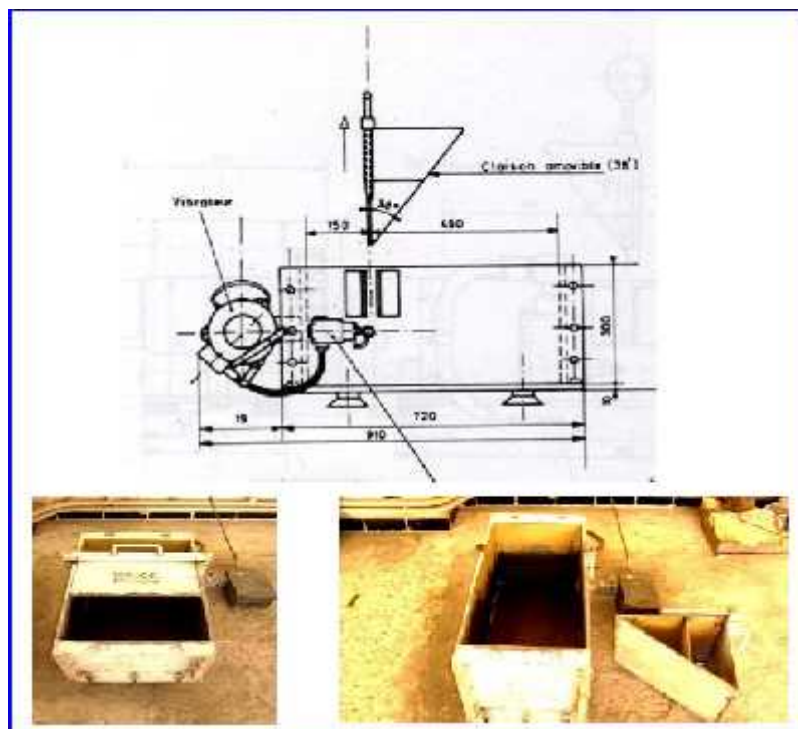


Figure II.7. Maniabilimètre L.C.L

Le principe de l'essai est de mesurer le temps d'écoulement du béton soumis à une vibration. La conduite de l'essai est la suivante : on introduit le béton dans la partie la plus grande délimitée par la cloison. Le béton est mis en place en 4 couches, chaque couche étant soumise à 6 coups au moyen de la tige de piquage. Quatre minutes après la fin du malaxage, la cloison est retirée, provoquant la mise en route du vibreur et le déclenchement du chronomètre. Sous l'effet de la vibration, le béton s'écoule. Le chronomètre est arrêté quand le béton atteint un trait repère sur la paroi opposée du boîtier. Le temps  $t$  mis par le béton pour s'écouler caractérise sa consistance. Ce temps sera d'autant plus court que le béton sera plus fluide et plus maniable. L'essai de mesure du temps d'écoulement est réalisé conformément à la norme NF 18-452 et NF P 15-437. (Norme utilisée pour le cas béton).

Pour notre cas on a utilisé le cône d'Abrahams et ce suite à l'indisponibilité de Maniabilimètre.

#### **II.4 - Essais sur béton durci.**

##### **II.4.1 – Résistance à la compression : [NF EN 12390-3]**

Les essais de compression sur des éprouvettes de béton fibré et témoin sont réalisés au laboratoire de Génie Civile UAMOB à l'aide d'une Presse de compression de capacité 3000KN [3R] à asservissement hydraulique, en contrôlant la vitesse de chargement. Le pilotage de la presse est assuré par un logiciel qui donne les résultats sous forme numérique et graphiques.

L'essai est mené sur des éprouvettes de forme cylindrique normalisées (16x32 cm ; norme [NF EN 12390-1]) voir Figure II.8, Confectionné et conservés selon la norme [NF EN 12390-2] dans notre cas à l'air libre.

L'éprouvette, une fois rectifiée doit être centrée sur la presse d'essai avec une erreur inférieure à 1% de son diamètre. La vitesse de montée en charge est effectuée à raison de 0.6 Mpa/s avec une tolérance de 0.2 MPA. Pour des éprouvettes de 16x32 cm, La charge de rupture est la charge maximale enregistrée au cours de l'essai. La contrainte de résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette.

La résistance à la compression est donnée par l'équation suivante :  $F_C = F/A_C$  avec :

$F_C$  : Résistance en compression,

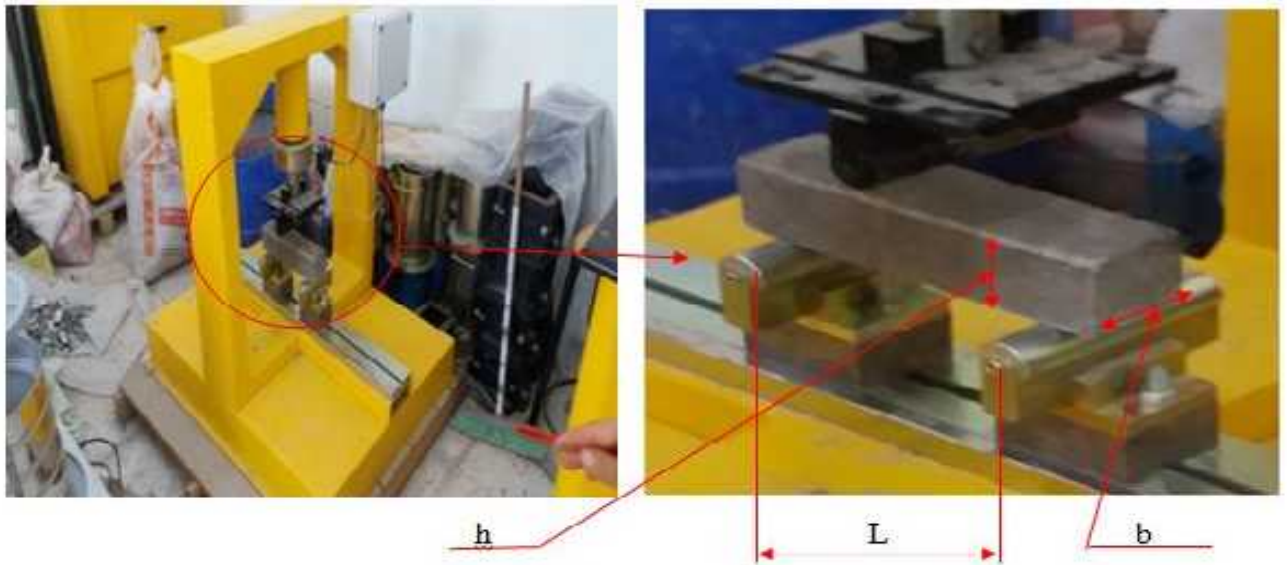
$F$  : Charge maximale, exprimée en Newtons ;

$A_C$  : Aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée.

**Machine de compression****Éprouvette après écrasement****Éprouvettes cylindrique 16x32 cm****Exemple de mode de rupture****Figure II.8** : Essai de compression simple.

#### II.4.2 - Résistance en traction par flexion : [NF EN 12390-5]

Pour évaluer la résistance de traction par flexion on a utilisé des éprouvettes prismatiques normalisées, de dimensions 7 x 7 x 28 cm (Figure II.9) conforme à la norme EN 12390-1. La presse qui répond aux normes est, munie d'un banc de flexion 3 points. Cet essai permet de déterminer la résistance à la traction par flexion du béton étudié, l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion une éprouvette prismatique de côté  $a$  et de longueur  $4a$  (7 x 7 x 28). Le module de flexion déterminé à partir de la portion linéaire de la courbe force déformation et la résistance de traction par flexion est égale :



Machine de Flexion



Éprouvettes prismatiques 7x7x28 cm



Exemple de rupture : béton témoin

Figure. II.9. Essai de traction par Flexion.

$$\sigma_t = \frac{3 \times L \times F}{2 \times b \times h^2}$$

Avec :

$\sigma_t$  : Contrainte de traction en (N/mm<sup>2</sup>)

F : charge totale appliquée à la rupture en flexion exprimé en N.

L : la portée en mm, b et h sont la largeur et la hauteur de l'éprouvette exprimées en mm

(Voir Figure. II.9 ci-dessus).

**II.4.3- Extensomètre : [NF EN 12390-5]**

L'éprouvette cylindrique de dimension 16x32 cm de béton est soumise à une contrainte de compression uni-axiale, avec la même machine utilisée pour la compression. La courbe contrainte-déformation est enregistrée pendant l'essai pour permettre de déterminer le module d'élasticité du matériau. La déformation longitudinale est mesurée sur la paroi de l'éprouvette, sur trois génératrices décalées de 120° dans la « partie centrale » de l'éprouvette.

L'extensomètre est utilisé (voir Figure II.10), est constitué de deux anneaux rigides, chacun fixé à la paroi de l'éprouvette au moyen de trois vis. La vis est arrondie à son extrémité pour éviter la pénétration de la vis dans l'éprouvette. Trois capteurs de déplacement sont fixés à l'un des anneaux pour déterminer le déplacement entre les deux anneaux. La moyenne des trois mesures donne la valeur de  $\epsilon$ , de l'éprouvette pendant l'essai et par conséquent la déformation.

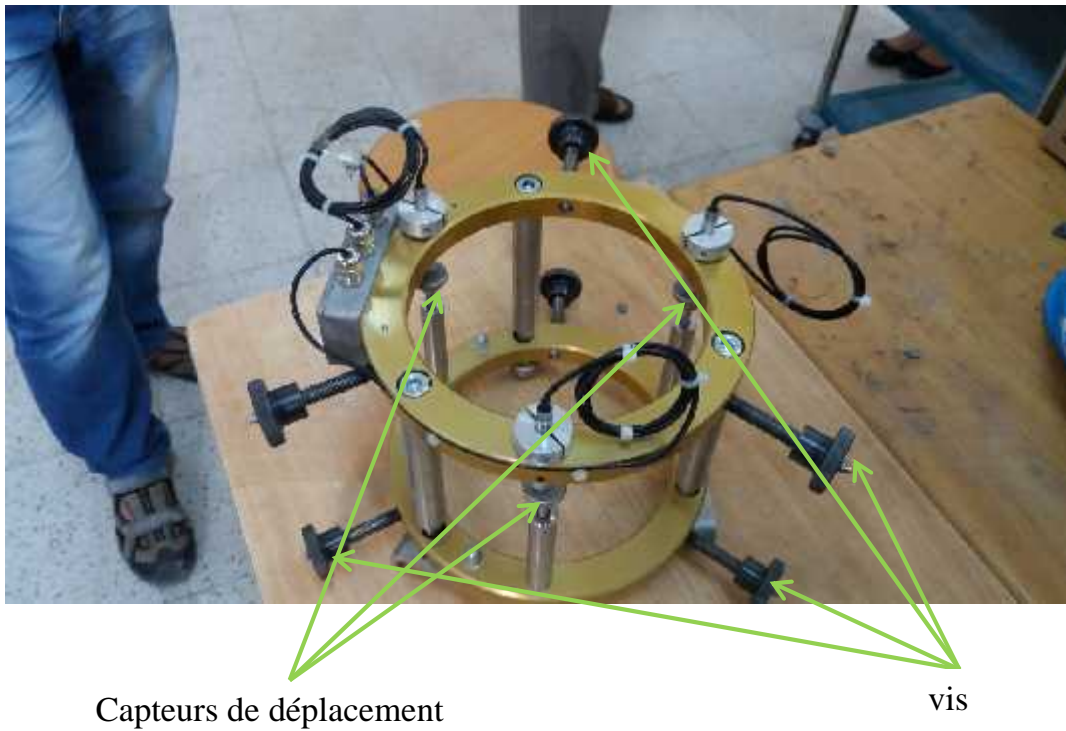


Figure II.10 Essai de compression avec enregistrement des déplacements (Extensomètre)



## II.5 – Méthodologie de la préparation des gâchés de béton.

Dans ce paragraphe nous décrivons les différents axes ou protocoles réalisés afin de répondre à notre problématique posée.

Pour chaque gâché de béton on a confectionné trois éprouvettes cylindriques 16x32 cm et vingt et un (21) éprouvettes prismatiques 7 x 7 x 28 cm.

Les différentes étapes de préparation de béton sont.

- **Première étape :** Préparation de béton témoin avec 1.3 % d'adjuvant en masse de la teneur en ciment.
- **Deuxième étape :** Préparation de béton fibré avec maniabilité variable (taux d'adjuvant constant) pour les différents pourcentages de fibre 1.25% 1,5% 1,75. 2% 2,25%)

**Troisième étape :** Préparation de béton fibré avec maniabilité constante (taux d'adjuvant variable (Affaissement constant) pour les différents pourcentages de fibre 1,5% 1,75. 2% 2,25%).

Pour la troisième étape on a fixé l'affaissement à la valeur que nous avons trouvé dans la deuxième étape avec 2.25% de fibre et 1.3 % d'adjuvant et on a réalisé quatre gâchés avec cette affaissement (constant) avec des taux de fibre de : 2%, 1.75%, 1.5% et 1.25% et des taux d'adjuvant variable pour avoir la maniabilité souhaitée.

Appellation :

- BT béton témoin
- BF 1.25% : Béton fibré avec 1.25% de fibre.
- BF 1.5% : Béton fibré avec 1.5% de fibre.
- BF 1.75% : Béton fibré avec 1.75% de fibre.
- BF 2% : Béton fibré avec 2% de fibre.
- BF 2.25% : Béton fibré avec 2.25% de fibre.

## II.6– Environnement de conservation.

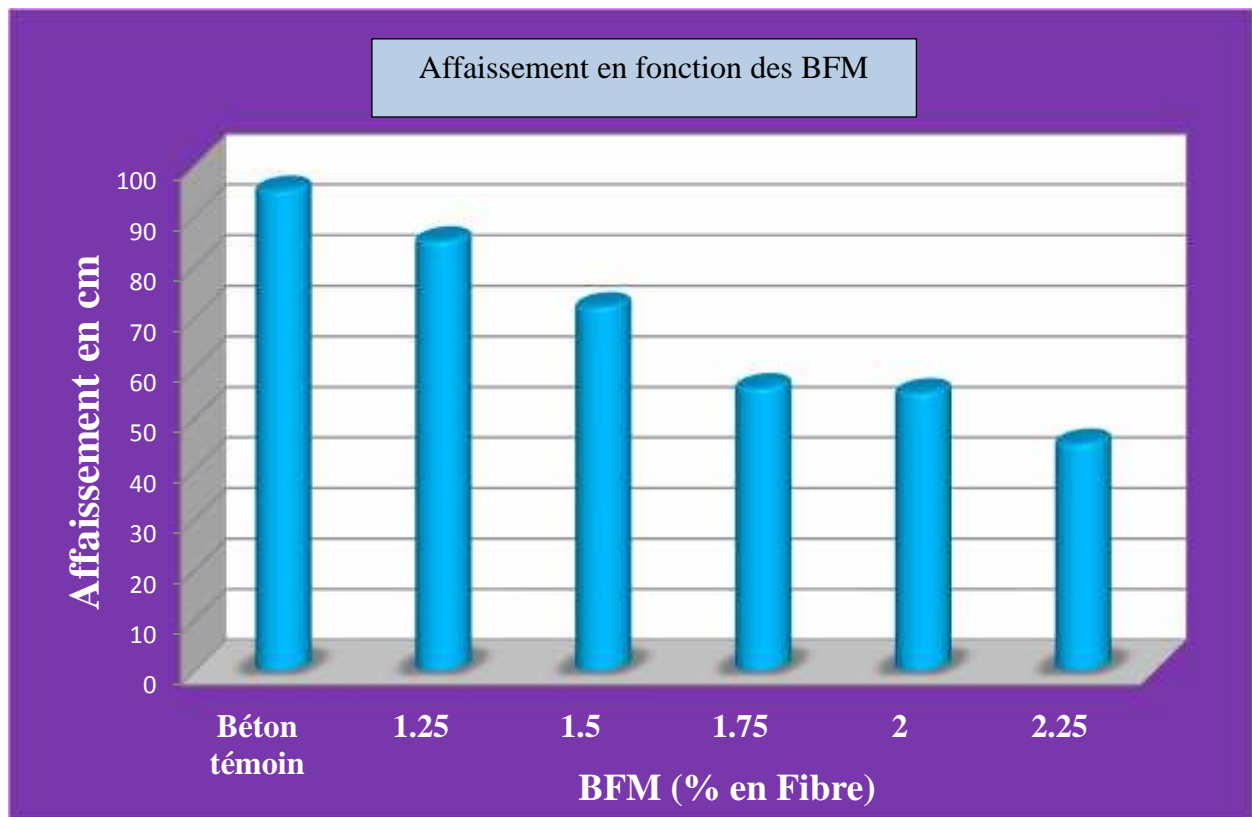
Afin de connaître l'influence de mode de conservation sur la résistance en traction par flexion nous avons procédé pour chaque étape et pour chaque gâché à la conservation des éprouvettes prismatiques selon quatre (04) protocoles (A, B, C, D).

- ✓ Protocole A : Conservation pendant 28 jours à l'air libre à 20°.
- ✓ Protocole B : Conservation pendant 28 jours à l'air libre à 20° ensuite dans l'eau pendant deux (02) jours.
- ✓ Protocole C : Conservation pendant 28 jours à l'air libre à 20° ensuite pendant trois (03) jours à l'étuve sous une température de 50 °.
- ✓ Protocole D : Conservation pendant 28 jours à l'air libre à 20° ensuite pendant Trois (03) jours dans l'eau ensuite durant Trois (03) jours à l'air libre.

## II. 7- Résultats et discussions

**Parti 1****Analyse des résultats pour maniabilité variable  
(Taux d'adjuvant constant).**

## A) à - l'état frais.

**Figure II.11.** Influence des fibres sur la maniabilité

Nous avons mesuré l'affaissement des différents mélanges par le cône d'Abrams, on a constaté une diminution de la maniabilité lors de remplissage des moules, Les résultats sont représentés par la figure II.11. À partir de cette dernière on conclut que la maniabilité diminue en augmentant le pourcentage des fibres.

## B - à l'état durci.

- Résistance à la compression.

Tableau II 15. Résultats des essais de compression simple

Béton	Résistance à la compression (MPa) à 28 jours	Charge de rupture (KN)
BT	37.1	742.1
BF 1.25%	34.2	684.1
BF 1.5%	30.8	601.5
BF1.75%	39.6	792.57
BF 2%	43.1	861.3
BF 2.25%	41.4	731.38

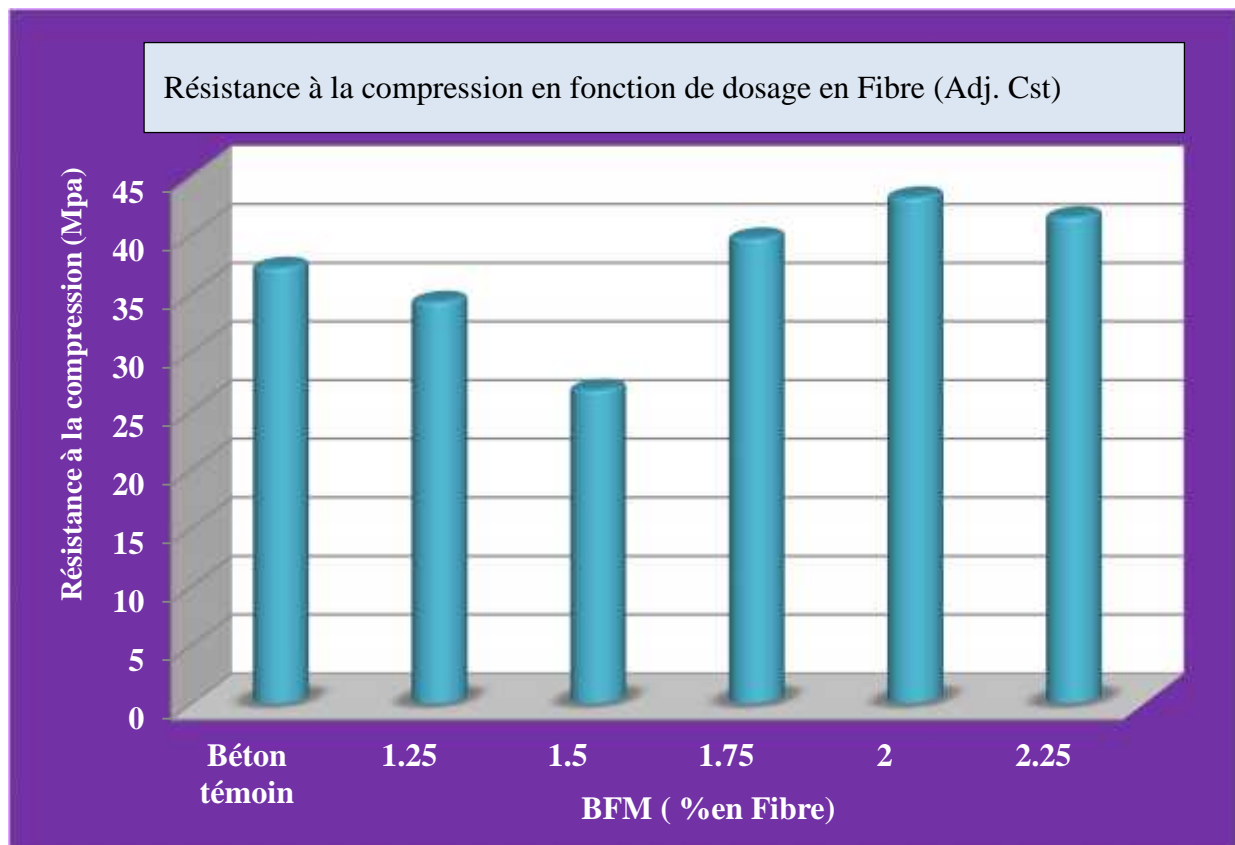


Figure II.12. Résistances à la compression à 28 jours (Influence des fibres)

On remarque d'après les résultats obtenus, pour les dosages de 1.75 %, 2%,2.25% on constate une augmentation de la résistance à la compression par rapport au béton témoin. Par contre une baisse de résistance à la compression par rapport pour les dosages de 1.25% et 1.5%, le taux d'amélioration est de 6 % ; 16% ; 11% respectivement pour les dosages de 1.75 %, 2% et pour un dosage de 2.25%.

Comme on remarque que, le meilleur résultat donner par le pourcentage 1,75%.

Quant à la baisse de la résistance pour les dosages de 1.25% et 1.5% la cause est probablement lié à la mauvaise orientation des fibres dans la matrice de béton. L'augmentation de la résistance est due à la bonne répartition des fibres dans la matrice de béton, c'est-à-dire proche de l'homogénéité

- **Résistance à la compression (Extensomètre).**

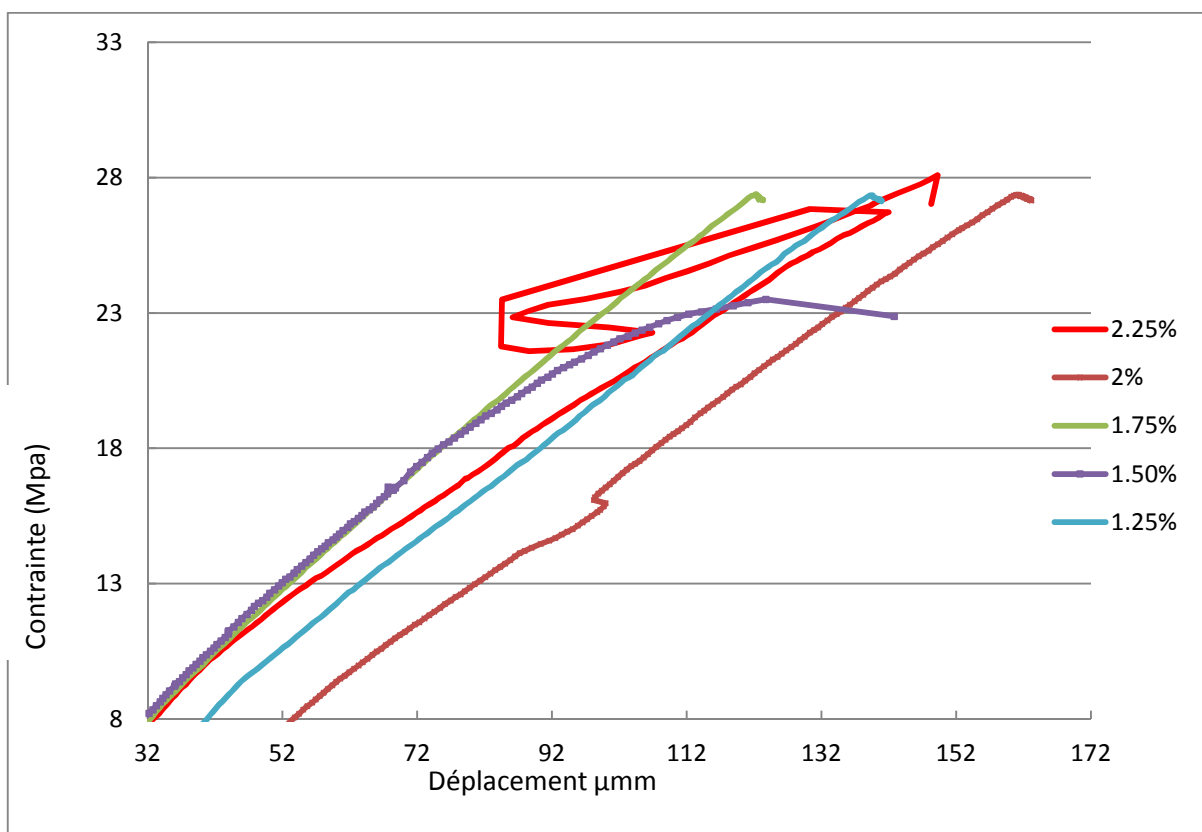


Figure II.13. Courbe contrainte déformation (Compression)

À partir du graphe on conclut que :

Toutes les courbes présentent un tronçon droit puis courbé ensuite rupture,

Qu'au départ de l'application et pour de faible contrainte on enregistre une déformation primaire pour les mélanges 2% et 1,25% contrairement à d'autres pourcentages.

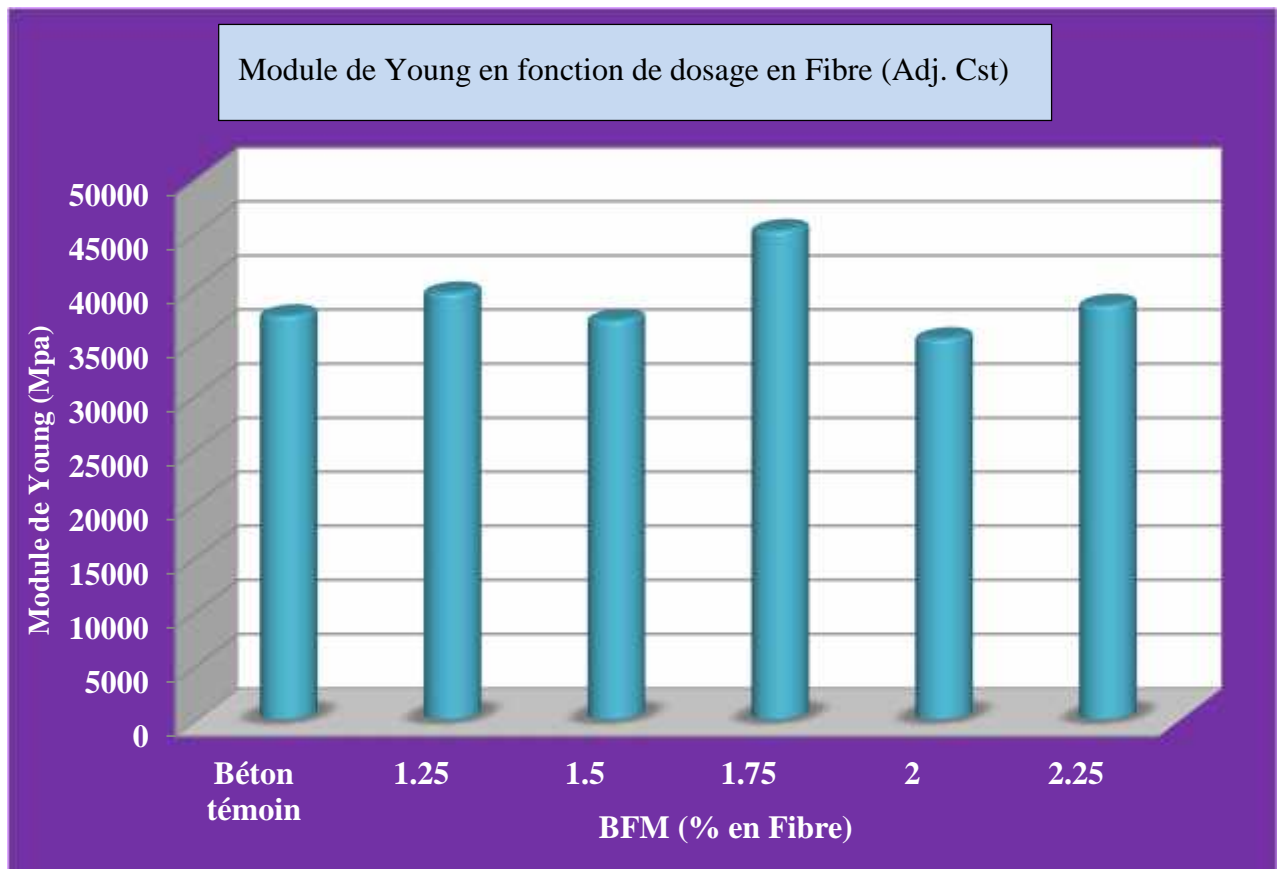
Le mélange à 2,25%, sa courbe est aléatoire à la fin de l'essai. Pour la courbe de 1,5% n'atteint pas la même contrainte de rupture que les autres.

La courbe du mélange à 1,75 % présente la plus grande tangente

- **Module de Young.**

**Tableau II.16.** Valeurs de module de Young BFM (maniabilité Variable)

<b>Béton</b>	<b>valeurs de modules de Young expérimental (Mpa)</b>
Béton témoin	37.250
BFM 1.25%	39.059
BFM 1.50%	36.842
BFM 1.75%	45.136
BFM 2%	35.498
BFM 2.25%	38.225



**Figure II.14** Influence des Fibres sur le module de Young.

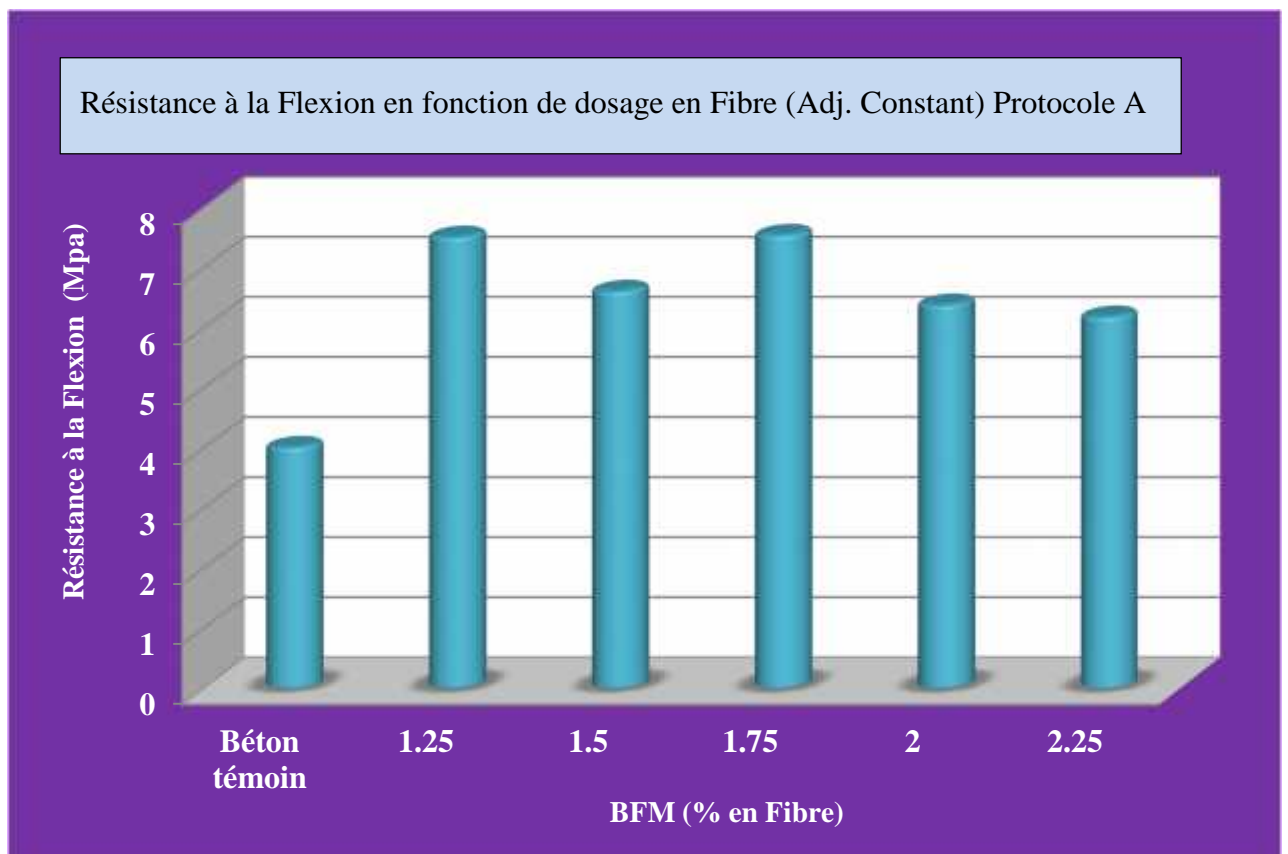
Le béton à 1.75% de fibre présente un module élevé par rapport aux autres dosages de béton,

Le béton à 2% de fibre présente un module inférieur à celui de de béton témoin

Les autres mélanges ont presque le même module de béton témoin.

- **Essai flexion trois points.**
  - **Comparaison des résultats selon l'état d'environnement ou (Climat).**
- ✓ **Protocole A (l'air libre)**

Les résultats des essais de flexion par traction des éprouvettes conservés à l'air libre pendant 28 jours sont représentés sur la figure ci-dessous.



**Figure II.15.** Résistance à la flexion des BFM (Adj. constant) sous environnement ambiant A

On constate que l'ajout de fibres métallique entraîne une nette augmentation de la résistance à la flexion par rapport au béton ordinaire.

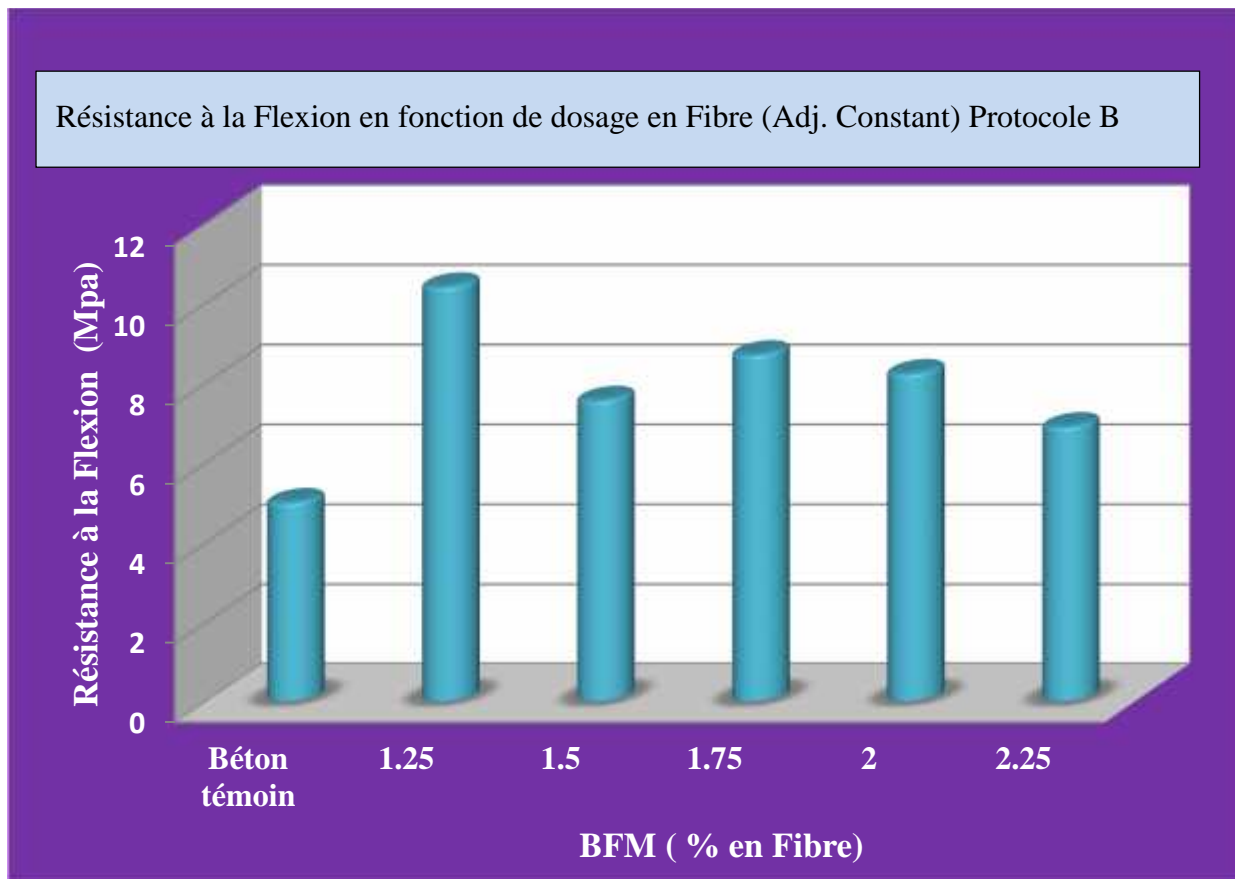
L'amélioration de la résistance à la flexion est de 87% pour un dosage de 1.25% de fibre, 65% pour un dosage de 1.5%, 88% pour un dosage de 1.75 % de fibres, 60% pour un dosage de 2% de fibre et 54% pour un dosage de 2.25 %. A la lumière de ces résultats on peut déduire que le dosage optimum est de 1.75% de fibres.

À partir de 1,75% plus on augmente le taux de fibre plus la résistance diminue.

Il est bien clair que l'amélioration apportée par l'ajout des fibres sur le comportement mécanique en traction par flexion est beaucoup plus importante que celle à la compression, cette amélioration est due à la participation de la fibre à la couture de fissures.

✓ **Protocole B (dans l'air puis l'eau)**

Les résultats des essais de flexion par traction des éprouvettes conservés à l'air libre pendant 28 jours ensuite conservés dans l'eau pendant trois (03) jours sont représentés sur la figure ci-dessous



**Figure II.16.** : Résistance à la flexion des BFM (Adj constant) sous environnement humide B

Tous les mélanges présentent une amélioration en comparaison au béton ordinaire conservé uniquement dans l'air, ce qu'on peut expliquer par amélioration de l'adhérence matrice –fibre dans cet environnement

Une haute résistance obtenue pour le béton dosé a 1,25% de fibre métallique.

Une diminution e la résistance au-delà de 1,75% de fibre métallique.

✓ **Protocole C (dans l'air puis température)**



Les résultats des essais de flexion par traction des éprouvettes conservés à l'air libre pendant 28 jours ensuite conservés à l'étuve pendant trois (03) jours sous une température de 50 ° sont représentés sur la figure ci-dessous

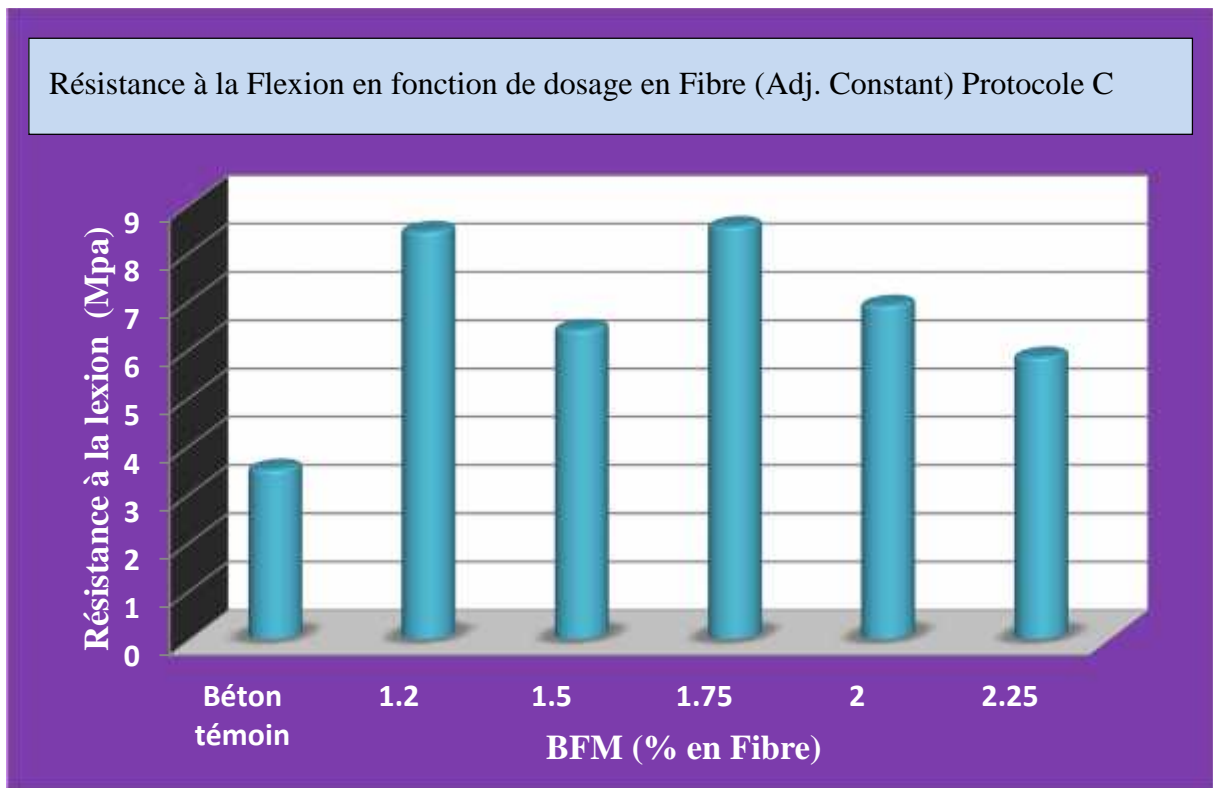


Figure II.17 : résistance à la flexion des BFM (Adj. constant) sous environnement chaud C

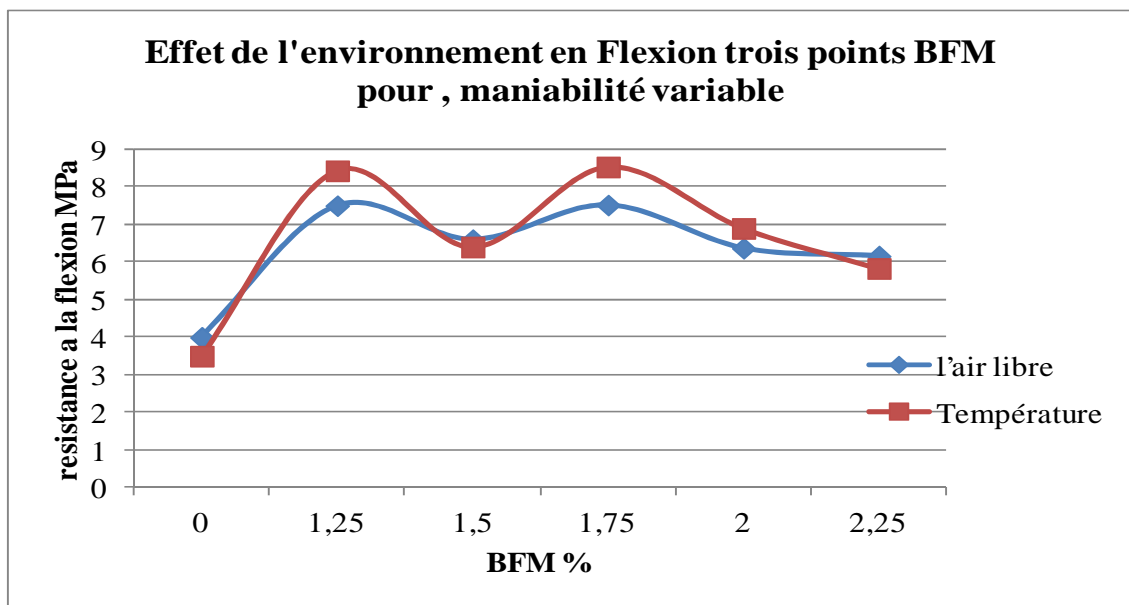


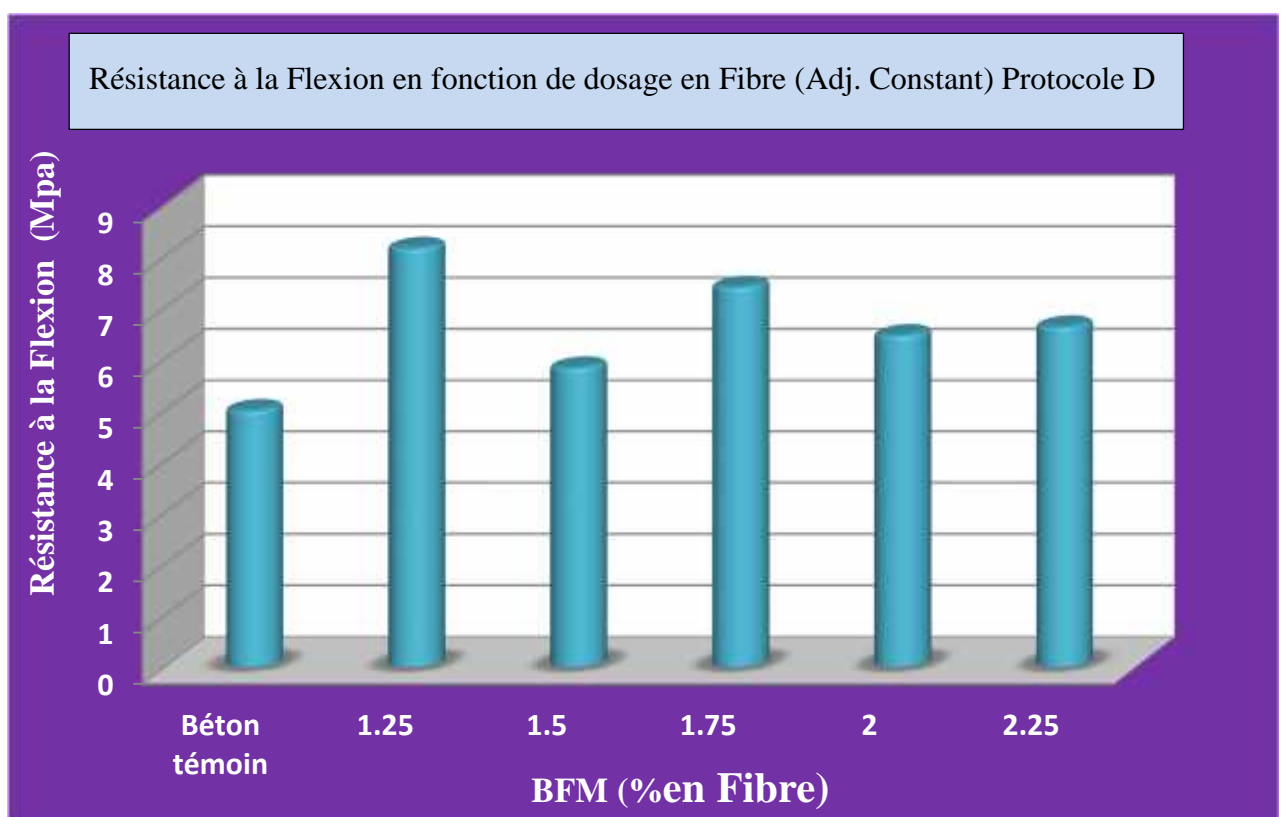
Figure II.18 Influence de l'environnement sur la flexion pour maniabilité variable

Chute de la résistance du béton ordinaire et de béton de 2,25% de fibre par rapport au climat (air libre)

L'apport des bétons fibrés est très remarquable dans cet environnement, en note les mélanges à 1,25% et 1,75% ont une bonne résistance.

✓ **Protocole D**

Les résultats des essais de flexion des éprouvettes conservés à l'air libre pendant 28 jours ensuite conservés dans l'eau pendant trois (03) jours ensuite conservés à l'air libre pendant trois (03) jours sont représentés sur la figure ci-dessous.



**Figure II.19** : Résistance à la flexion des BFM (Adj. constant) sous environnement D

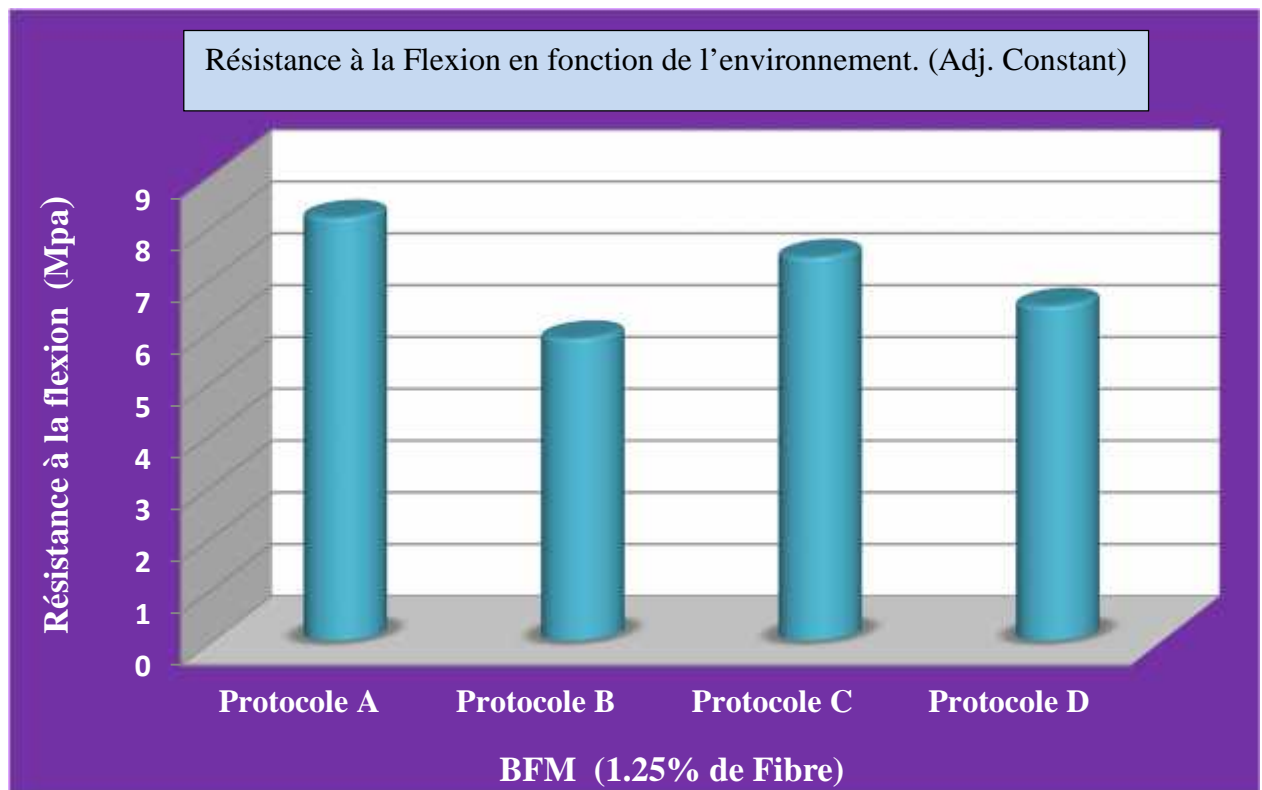
Le plus faible % est enregistré pour le mélange a base de 1,5%.

Tous les mélanges fibrés ont une résistance meilleure par rapport au béton ordinaire

Les deux meilleurs pourcentages sont 1,25% et 1 75%.

✓ **Comparaison de même dosage en fibre sous différents environnement.**

**a) Béton de 1.25% de fibre.**

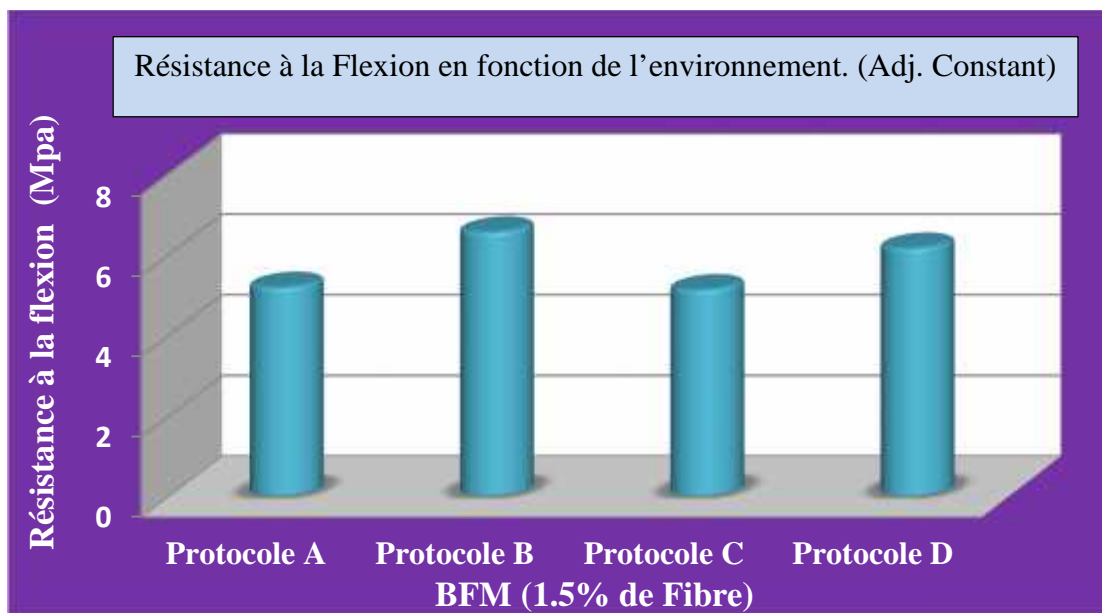


**Figure II.20 :** Résistance à la flexion de BFM 1,25% (Adj constant) a différents climats

L'amélioration déjà prouvée par le béton fibré sans aucun additif par rapport au béton témoins dans les différents environnements, à partir de ce graph on conclut que pour le taux de 1,25%

Sachons que la valeur de la résistance à la flexion du béton ordinaire est de 4 MPa, du graphe nous constatons que l'ajout de 1,25% de fibre résiste mieux que le BO pour tous les climats, comme en signale la chute de résistance au climat humide.

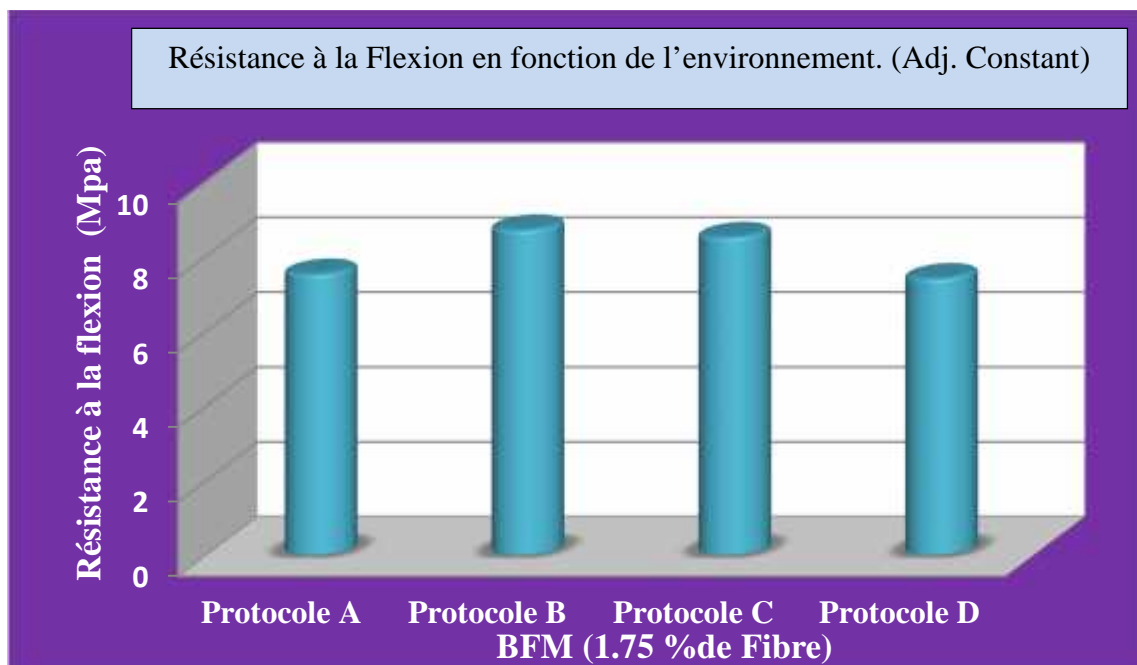
### C.2.2– Béton fibré de 1.5% de fibre.



**Figure II.21 :** Résistance à la flexion de BFM 1,5% (Adj constant) a différents climats

Le mélange de 1,5% de fibre métallique montre une très légère amélioration par rapport au béton ordinaire, mais on constate l'influence de l'humidité sur ce mélange, car pour le climat B et D (présence d'eau) la résistance à la flexion est notable.

### C.2.3 – Béton fibré de 1.75 % de fibre

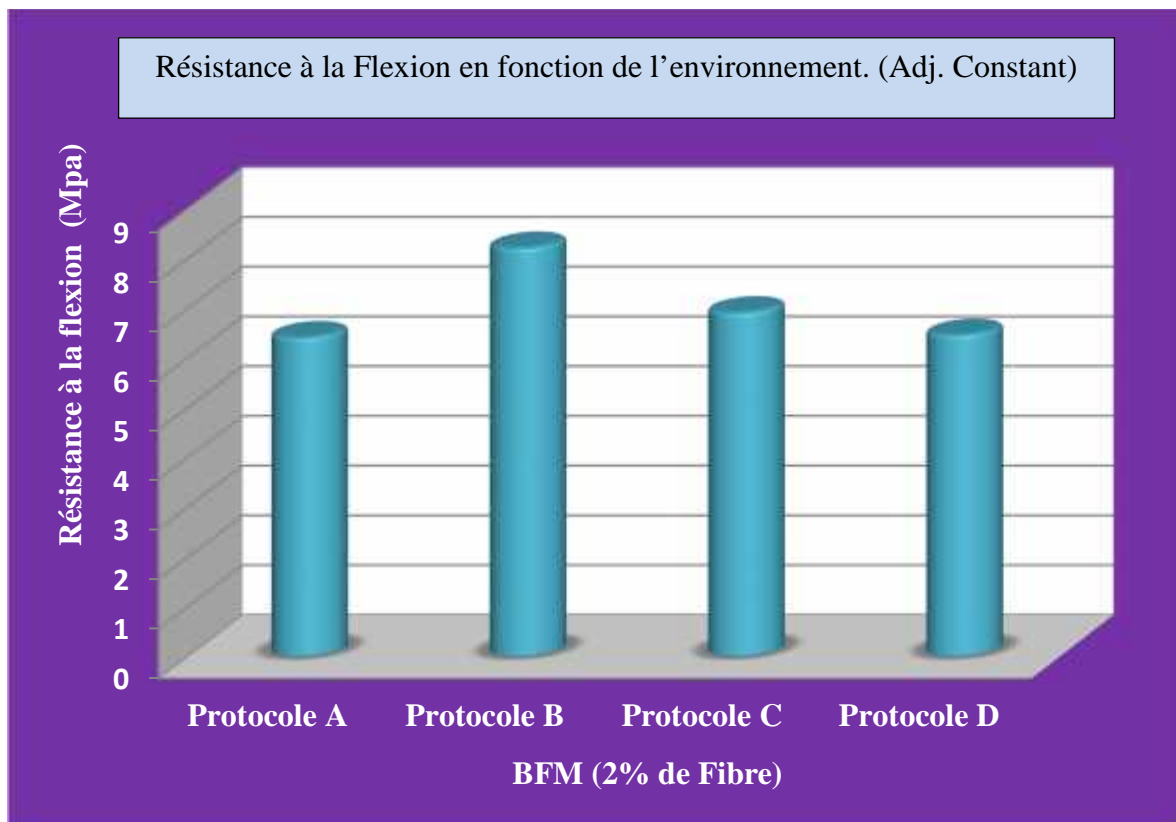


**Figure II.22 :** Résistance à la flexion de BFM 1,75% ( Adj constant) a différents climats  
Le mélange à 1,75% présente une résistance importante en comparaison au BO.

L'amélioration est deux fois plus que le béton ordinaire pour le dosage a 1,75% sous climats humide et chaud.

Une chute sensiblement pour le climat aléatoire D. et un maximum au climat humide

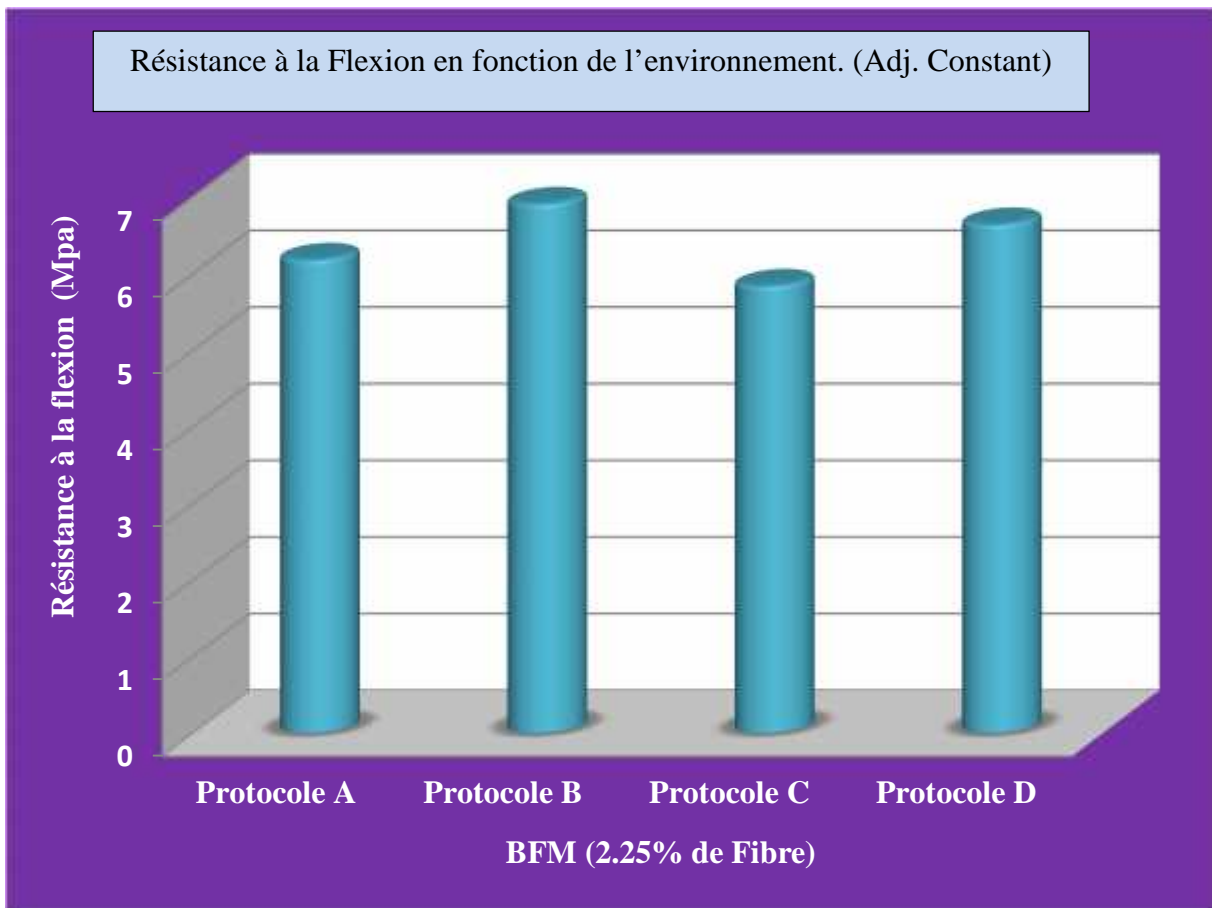
#### C.2.4– Béton fibré de 2 % de fibre.



**Figure II.23 :** Résistance à la flexion de BFM 2 % (Adj. constant) à différents climats

L'amélioration est 40 à 50% plus que le béton ordinaire pour le dosage à 2% sous différents climats. Une résistance sensiblement observé pour le climat humide mais la plus faible amélioration est obtenue a l'air ambiant.

#### C.2.5 – Béton fibré de 2.25 % de fibre.



**Figure II.24 :** Résistance à la flexion de BFM 2.25 % (Adj. constant) à différents climats

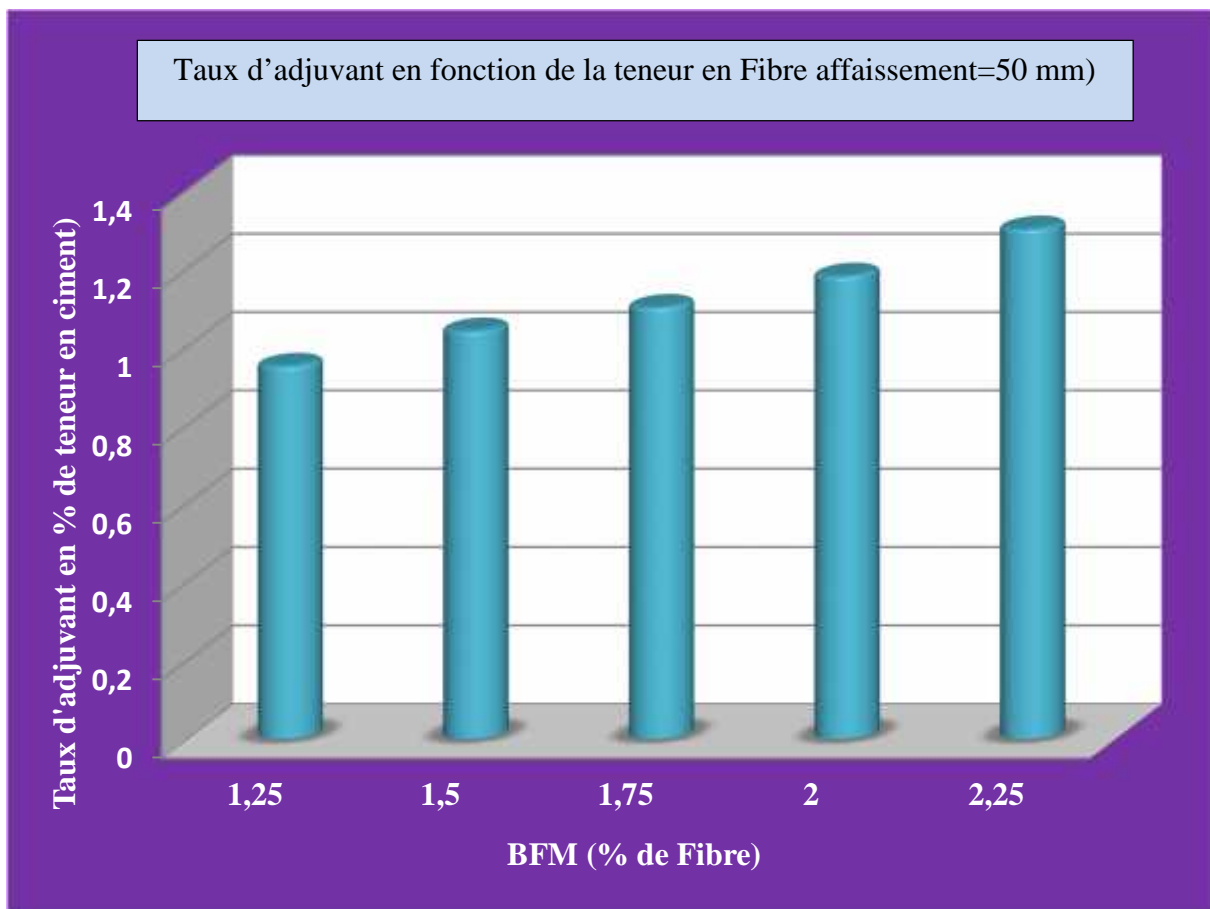
Une résistance plus élevée constaté pour le climat humide mais la plus faible amélioration est obtenue à conservation sous température.

**Parti 2** Analyse des résultats pour maniabilité constante  
(taux d'adjuvant variable).

**Analyse des différents mélanges à l'état Frais**

➤ **Dosage en Adjuvant (%).**

Les taux d'adjuvants ajoutés aux différents mélanges en fonction de la teneur en fibre pour avoir la même maniabilité (45mm) sont représentés sur la figure ci-dessous



**Figure II.25** Taux d'adjuvant en fonction de la teneur en Fibre (Maniabilité constante)

On constate clairement que les fibres diminuent la maniabilité d'un béton ce qui confirme ce que nous avons constaté dans la première partie (maniabilité variable). Pour cette raison l'ajout d'un super plastifiant indispensable. Les résultats obtenus donnant un affaissement de 50mm.

➤ Analyse des différents mélanges à l'état durci.

• Résistance à la compression.

Tableau II.17. Résultats des essais de compression simple (Adj. variable)

Béton	Résistance à la compression (MPa) à 28 jours
BF 1.25%	23.4
BF 1.5%	34.9
BF1.75%	36.2
BF 2%	35
BF 2.25%	41.4

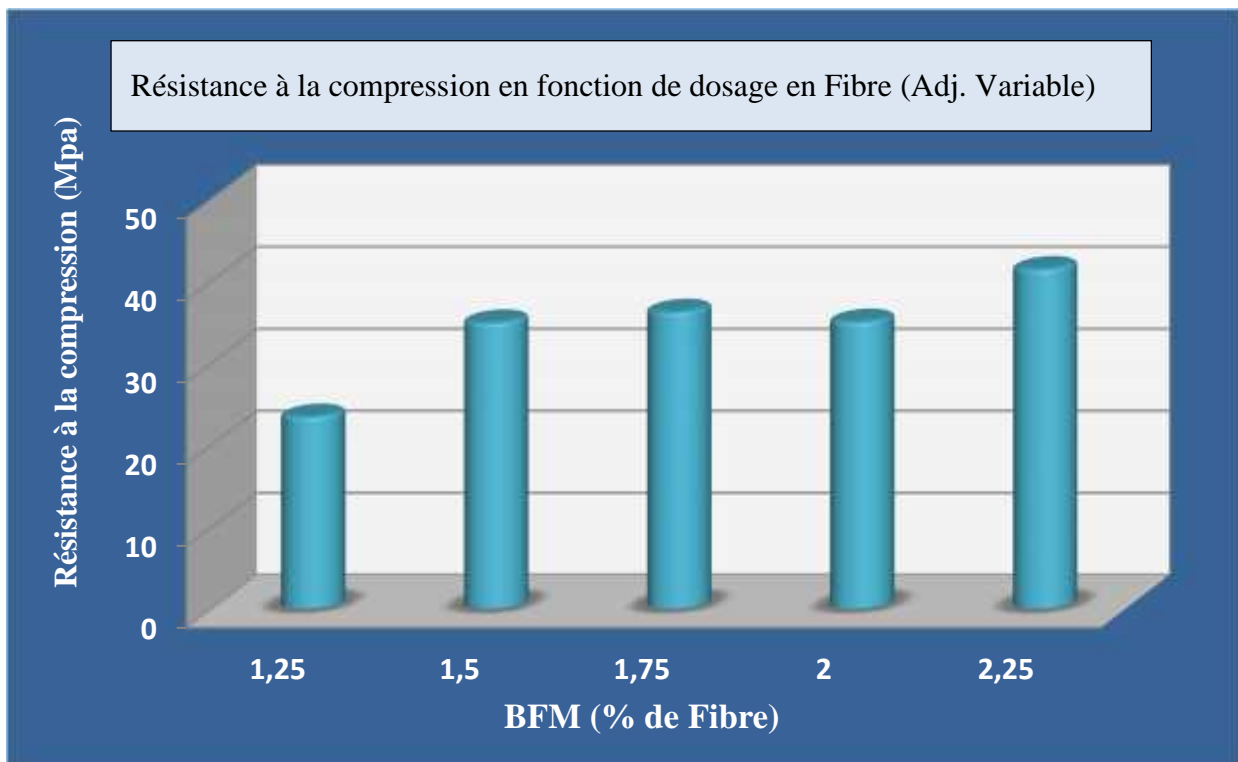


Figure II.26 Résistances des BFM à la compression 28 jours (Différents taux) (Maniabilité constante)

On conclut de la courbe : plus la quantité de fibre augmente plus la résistance à la compression est améliorée. Une sensible diminution pour 2% de fibre métallique.



• Résultats de l'Extensomètre, contrainte déformation

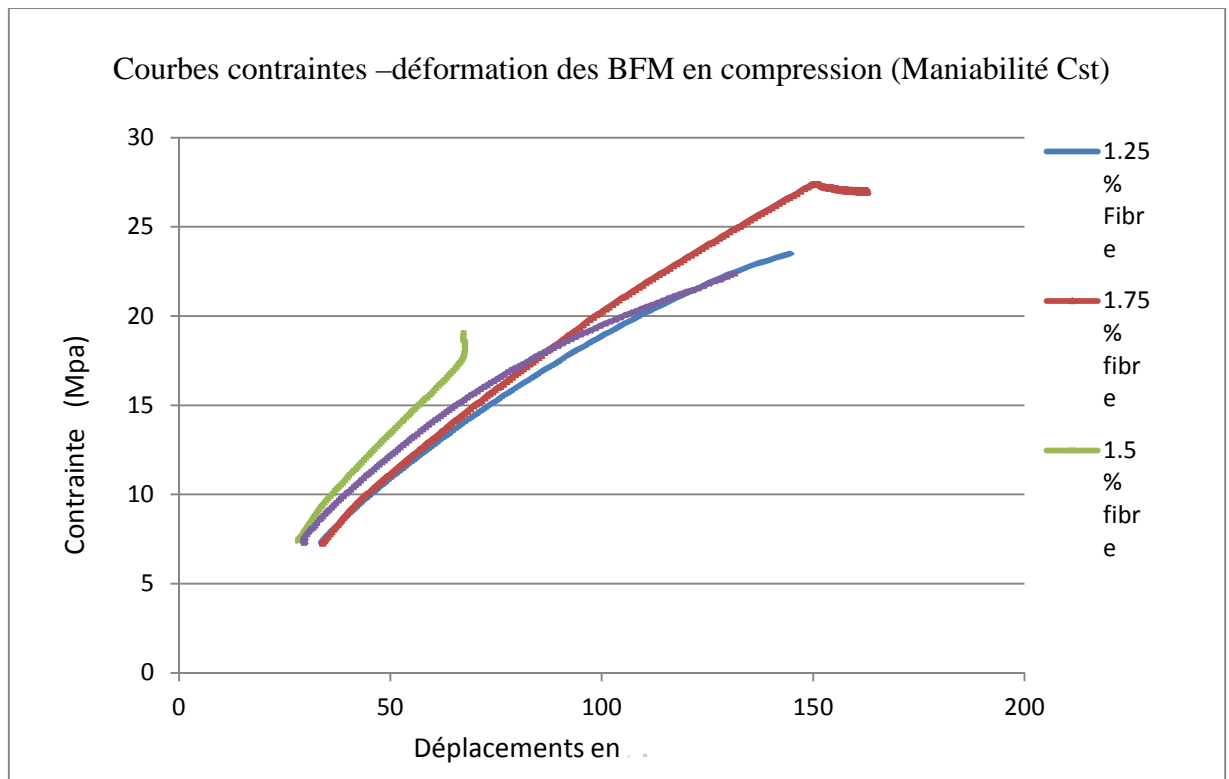


Figure II.27 Courbe contrainte déformation (Compression) (Maniabilité Constante)

De la figure II.26 on conclut ce qui suit :

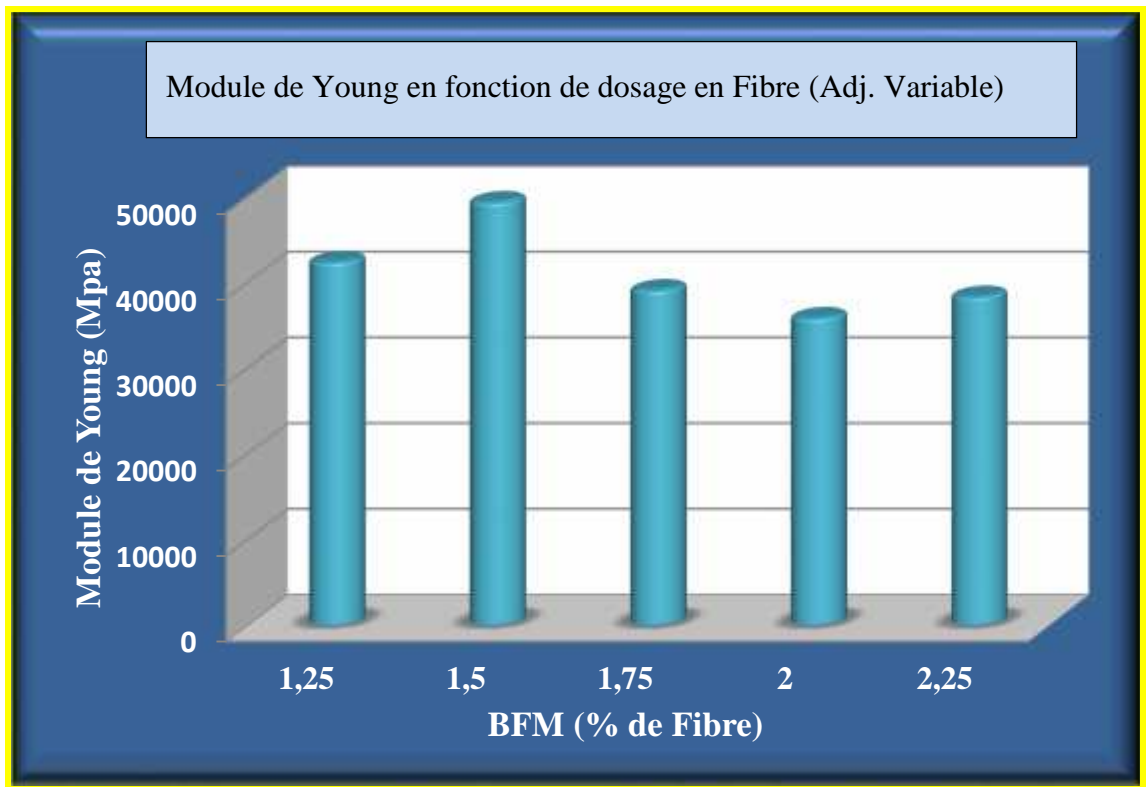
Le béton fibré a 1,5% présente le plus fragile et module élevé, le dosage 1,75% a un palier plastique considérable.

• Module de Young expérimental.

Les résultats de calcul des valeurs de modules de Young sont représentés dans le tableau ci-dessous

Tableau II 18. Valeurs de modules de Young des BFM (maniabilité Cst)

BFM %	valeurs de modules de Young expérimental
1.25%	42264.15094
1.5%	49259.25926
1.75%	38987.34177
2%	35729.16667
2.25%	38225.25597



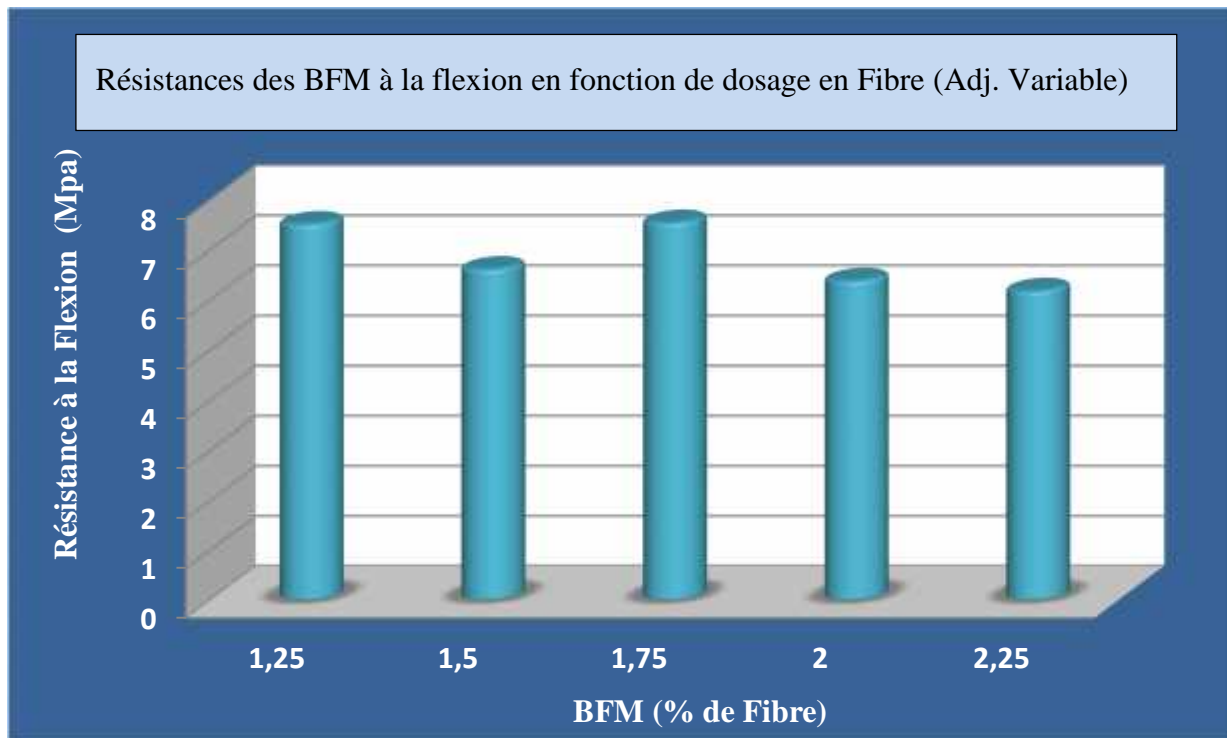
**Figure II.28** Module de Young (Différents taux) (Maniabilité constante)

Le béton fibré à 1,5% présente un module élevé, le dosage 1,75% a un palier plastique considérable.

Au-delà d'un dosage de 1.75 % enregistre une diminution de module

- Résistance à la flexion
  - ✓ Comparaison des résultats selon l'état d'environnement ou (Climat)
    - II.3.1.1 – Comparaison protocole A (Air libre)

Les résultats des essais de flexion par traction des éprouvettes conservés à l'air libre pendant 28 jours sont représentés sur la figure ci-dessous.



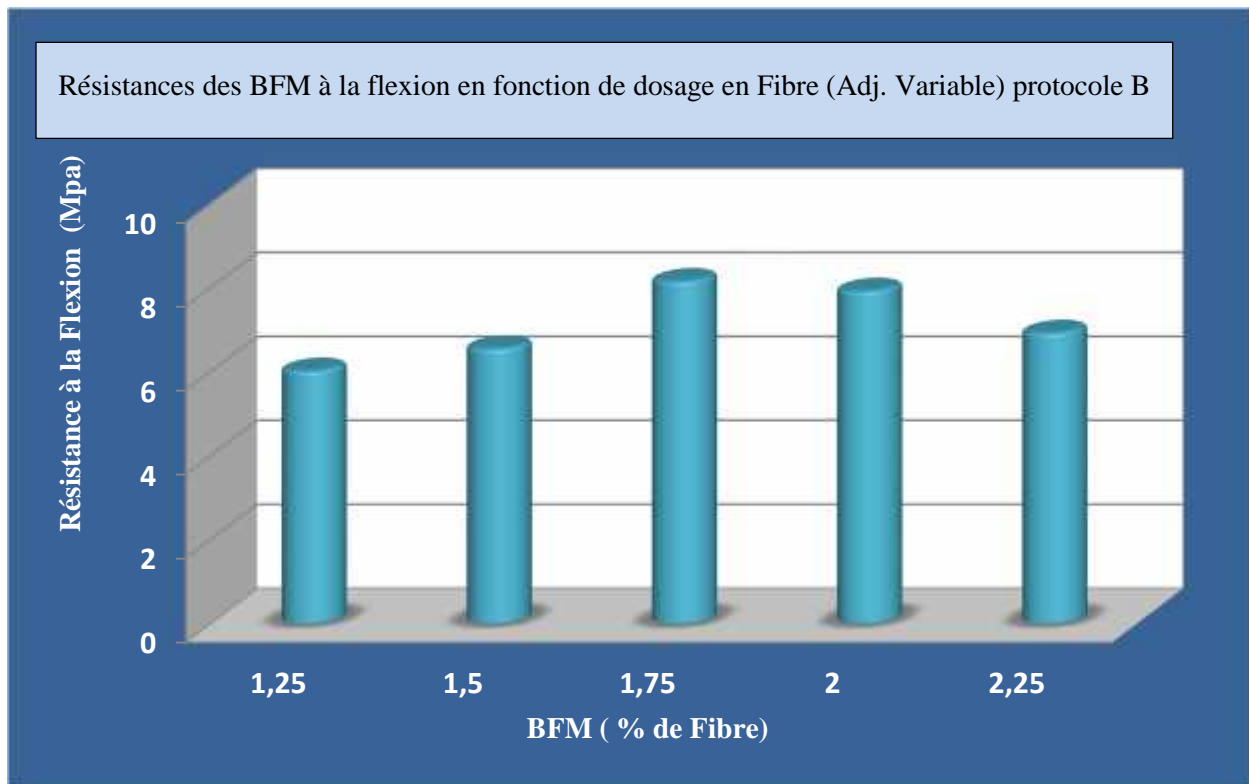
**Figure II.29** Résistances des BFM à la flexion à Différents % fibre. (Maniabilité constante)

Du graph on conclut que tous les dosages on a une amélioration représentative, en terme de quantité les dosages 1,25 % et 1,75% résiste mieux que les autres.

L'allure des histogrammes résulte une diminution à partir du dosage 1,75% ;

- **Comparaison Protocole B (Climats humide)**

Les résultats des essais de flexion par traction des éprouvettes conservés à l'air libre pendant 28 jours ensuite conservés dans l'eau pendant trois (03) jours sont représentés sur la figure ci-dessous.



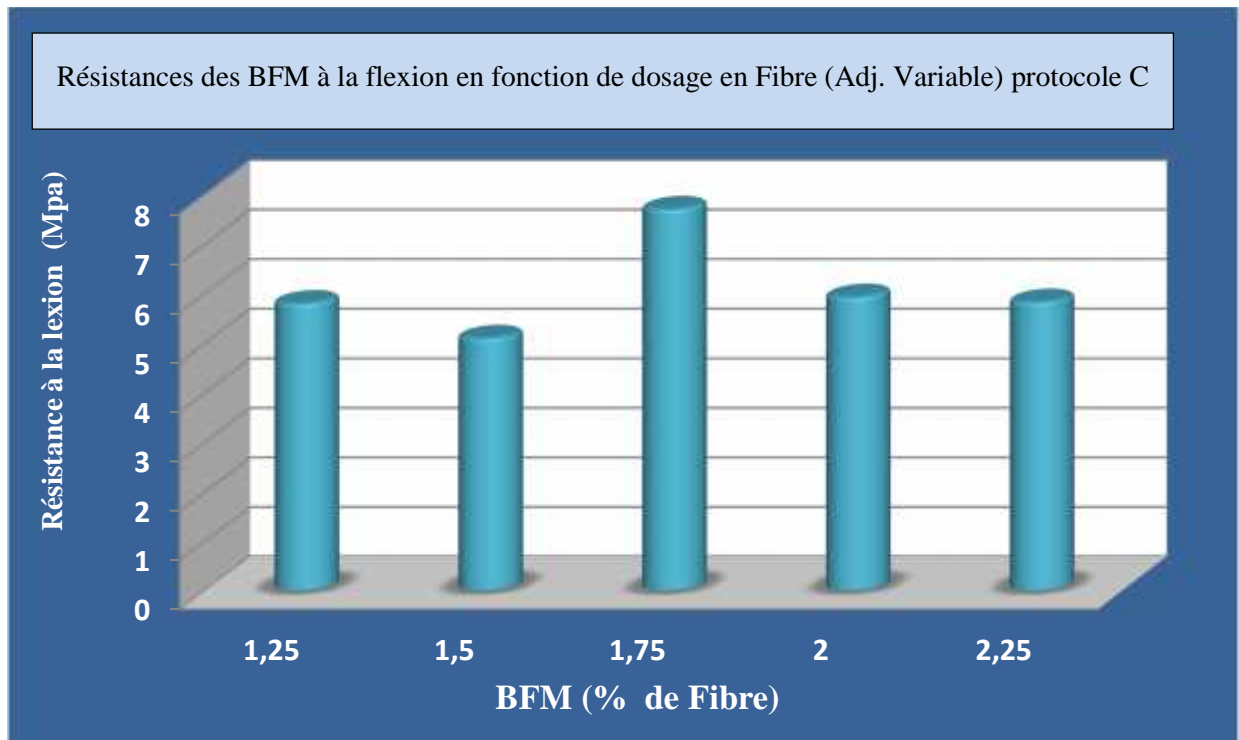
**Figure II.30** Résistances des BFM à la flexion à environnement ambiant. (Maniabilité constante)

On remarque : dans cette méthode l'augmentation de la résistance à la flexion en fonction des fibres à une forme d'une courbe en cloche qui a pour optimum 1,75%.

Pour l'effet de l'eau sur les différents dosages nous quantifions le taux d'amélioration par rapport à la température ambiante : 26%, / 35,5% / 37,8% / 11,8% respectivement pour les dosages 1,25 % . 1,5% 1,75% . 2% . 2,25%.

#### ○ Comparaison des bétons protocole C

Les résultats des essais de flexion des éprouvettes conservés à l'air libre pendant 28 jours ensuite conservés à l'étuve pendant trois (03) jours sous une température de 50 ° sont représentés sur la figure ci-dessous.

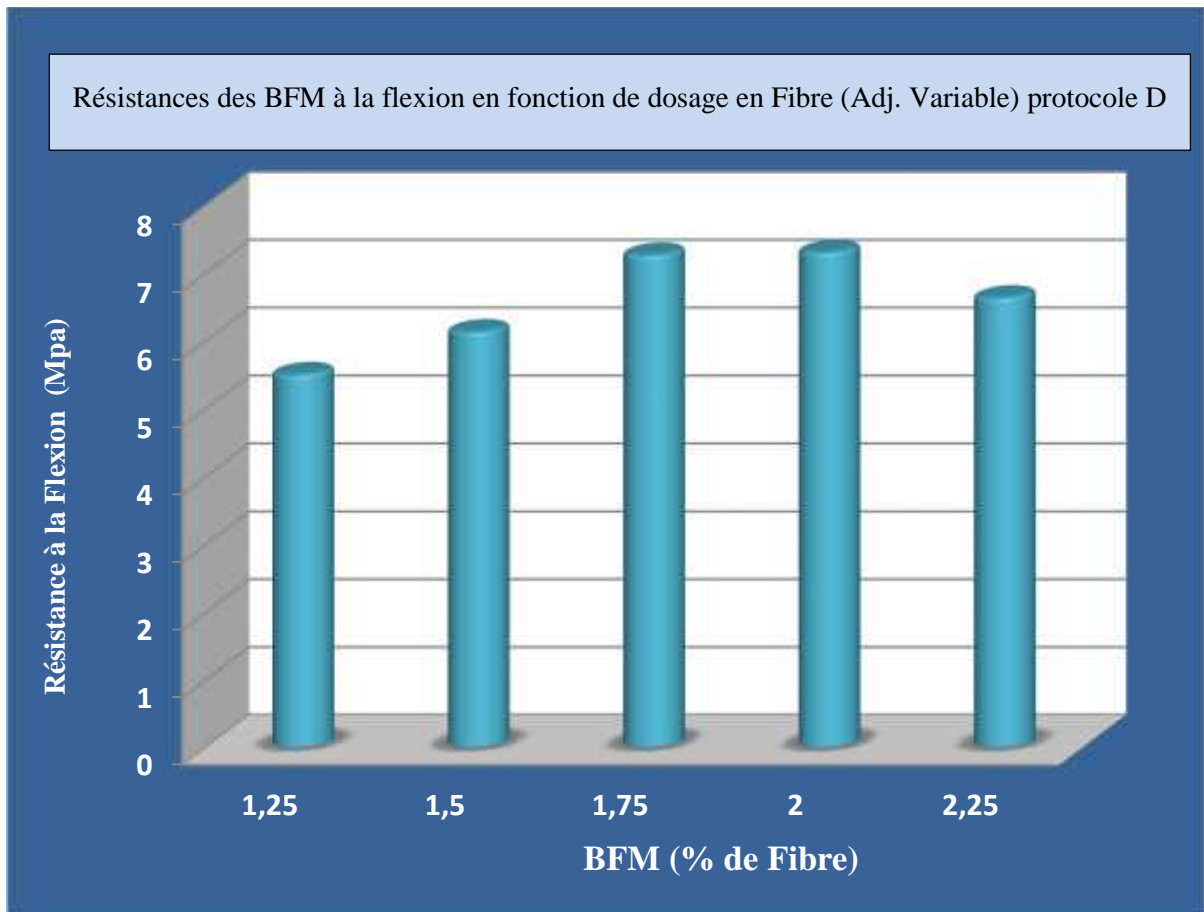


**Figure II.31.** Résistances des BFM à la flexion à l'environnement chaud. (Maniabilité constante)

Diminution résistance de 3,44% 1,16% / 5,5% en comparaison à 28jours conservation a l'air libre pour les dosages 1,25% 1,5% et 2,25%, et une augmentation de 28,33% / 3,4% pour 1,75% et 2%. Mais tous les BFM résistent mieux que le béton ordinaire dans cet environnement.

○ – **Comparaison des bétons protocole D**


Les résultats des essais de flexion par traction des éprouvettes conservés à l'air libre pendant 28 jours ensuite conservés dans l'eau pendant trois (03) jours ensuite conservés à l'air libre pendant trois (03) jours sont représentés sur la figure ci-dessous.



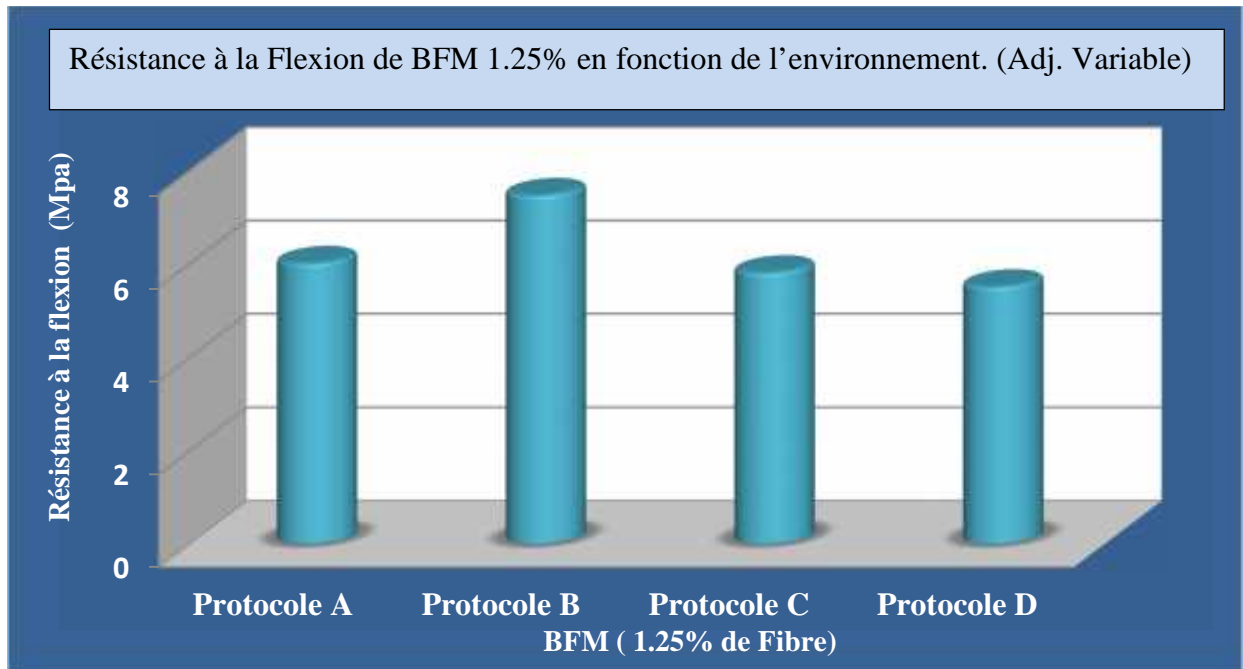
**Figure II.32** Résistances des BFM à la flexion à l'environnement alterné. (Maniabilité constante)

On remarque : dans cette méthode l'augmentation de la résistance à la flexion en fonction des fibres à une forme d'une courbe en cloche qui a pour optimum 1,75%. Qui est de même que le climat B, uniquement dans cet environnement avec un taux moindre.

- – Comparaison de même dosage en fibre et différents environnements.

 **Béton dosé à 1.25% de fibre.**

Les résultats des essais de flexion par traction des éprouvettes de BFM 1.25 % conservés à différents environnements sont représentés sur la figure ci-dessous.



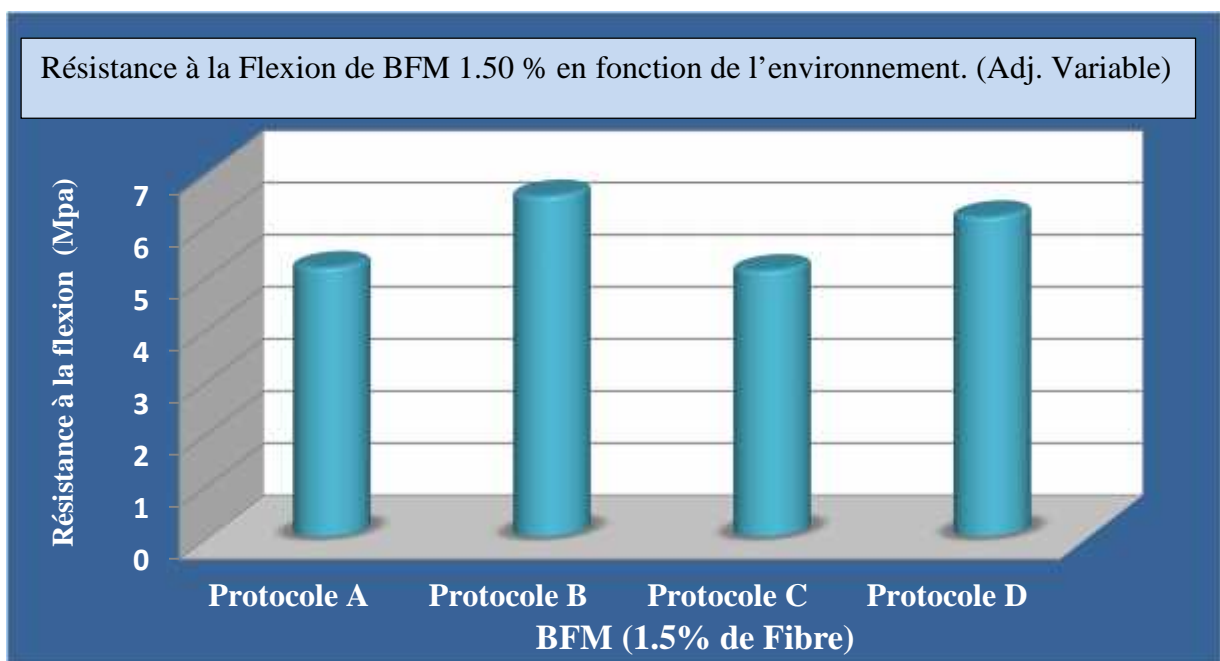
**Figure II.33** Résistances de BFM 1,25% à la flexion différente Climats. (Maniabilité constante)

La courbe en cloche a pour optimum dans l'environnement humide,

Nous concluons une baisse sensible de la résistance des deux environnements comparés avec l'air ambiant.

#### 🚩 Béton fibré de 1.5% de fibre.

Les résultats des essais de flexion par traction des éprouvettes de BFM 1.50 % conservés à différents environnements sont représentés sur la figure ci-dessous.

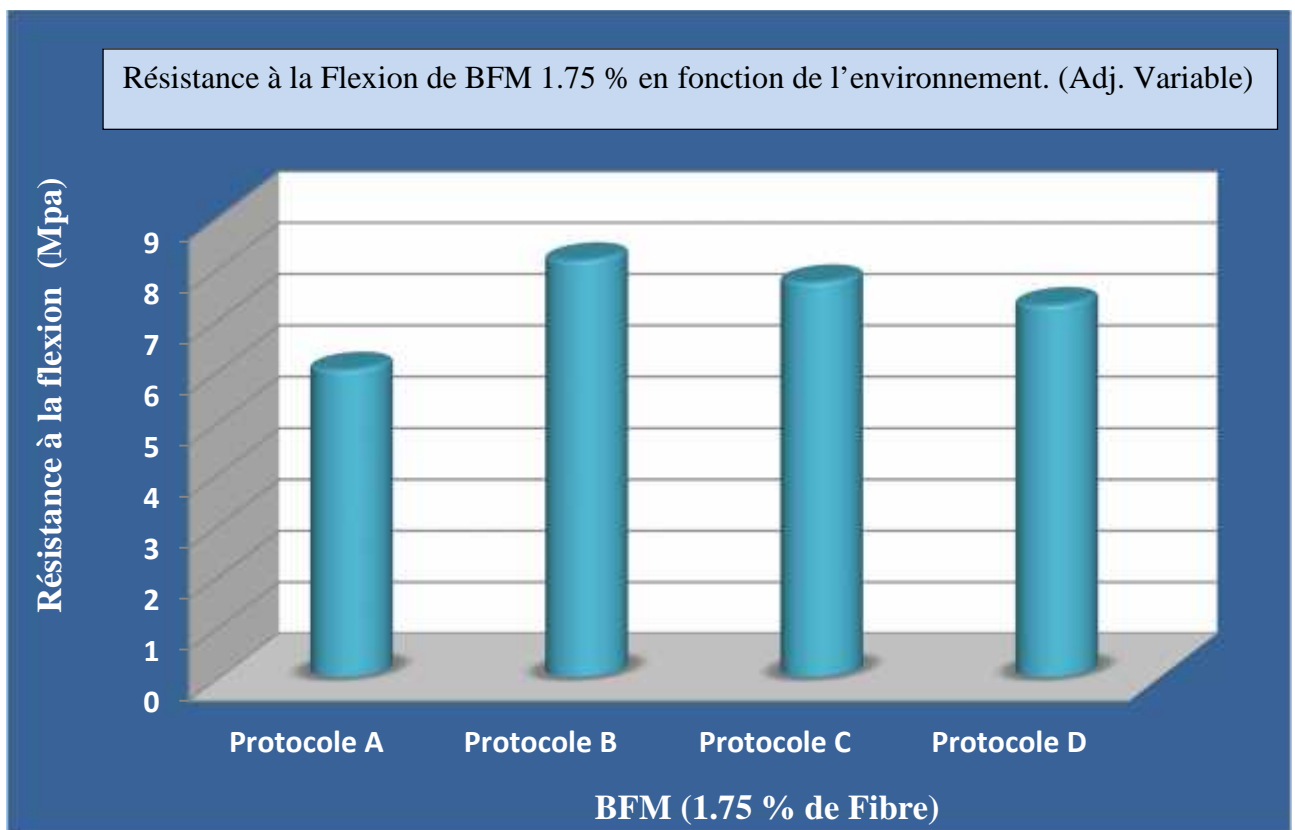


**Figure II.34.** Résistances de BFM 1,5% à la flexion différente Climats. (Maniabilité constante)

Le comportement à dosage de 1,5% de FM a un comportement mieux en présence de l'eau, et une baisse pour le climat chaud.

**🚦 Béton fibré de 1.75 % de fibre.**

Les résultats des essais de flexion par traction des éprouvettes de BFM 1.75 % conservés à différents environnements sont représentés sur la figure ci-dessous.



**Figure II.35** Résistances de BFM 1,75% à la flexion différente Climats. (Maniabilité constante)

Le béton dosé à 1,75% de fibre métallique a le meilleur comportement pour l'ensemble de condition environnementale

**🚦 Béton fibré de 2 % de fibre.**

Les résultats des essais de flexion par traction des éprouvettes de BFM 2 % conservés à différents environnements sont représentés sur la figure ci-dessous.



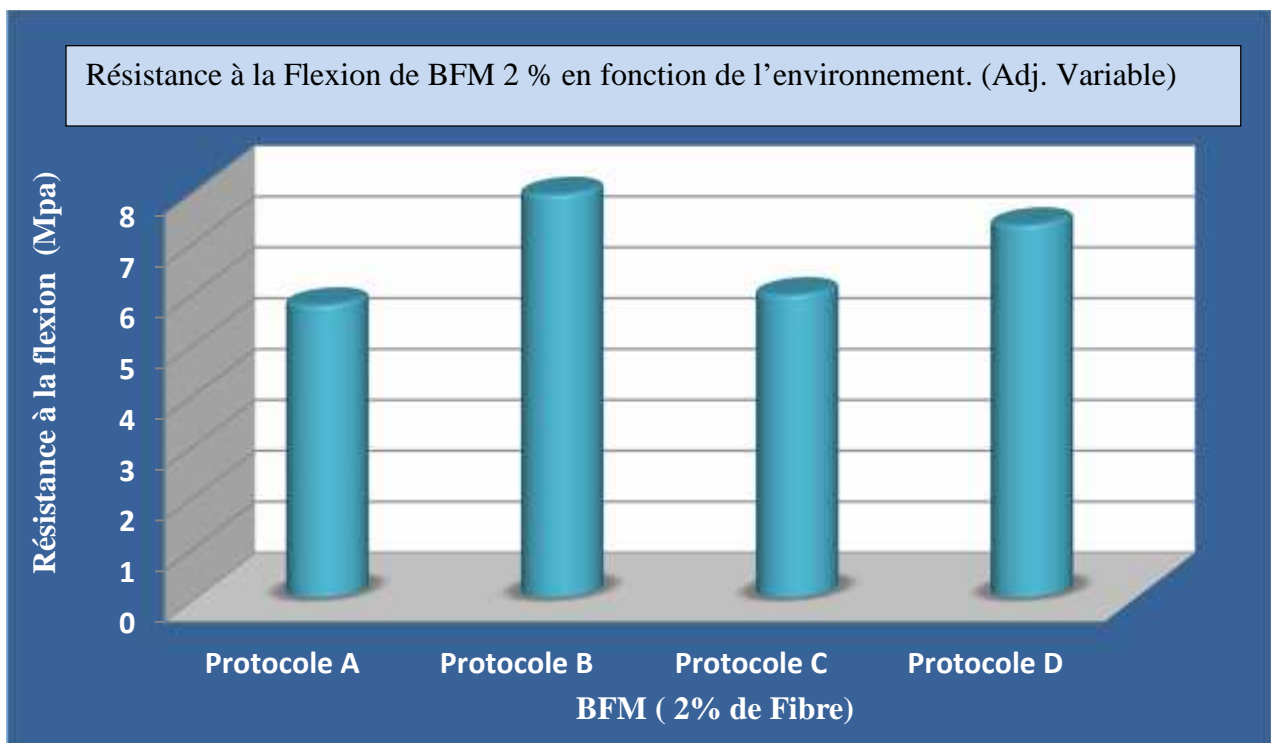


Figure II.36 Résistances de BFM 2 % à la flexion différents Climats. (Maniabilité constante)

De la figure on conclut que le béton dosé à 2% de fibre métallique résiste mieux que le béton ordinaire, beaucoup mieux au climat humide et alterné

🚦 Béton fibré de 2.25 % de fibre.

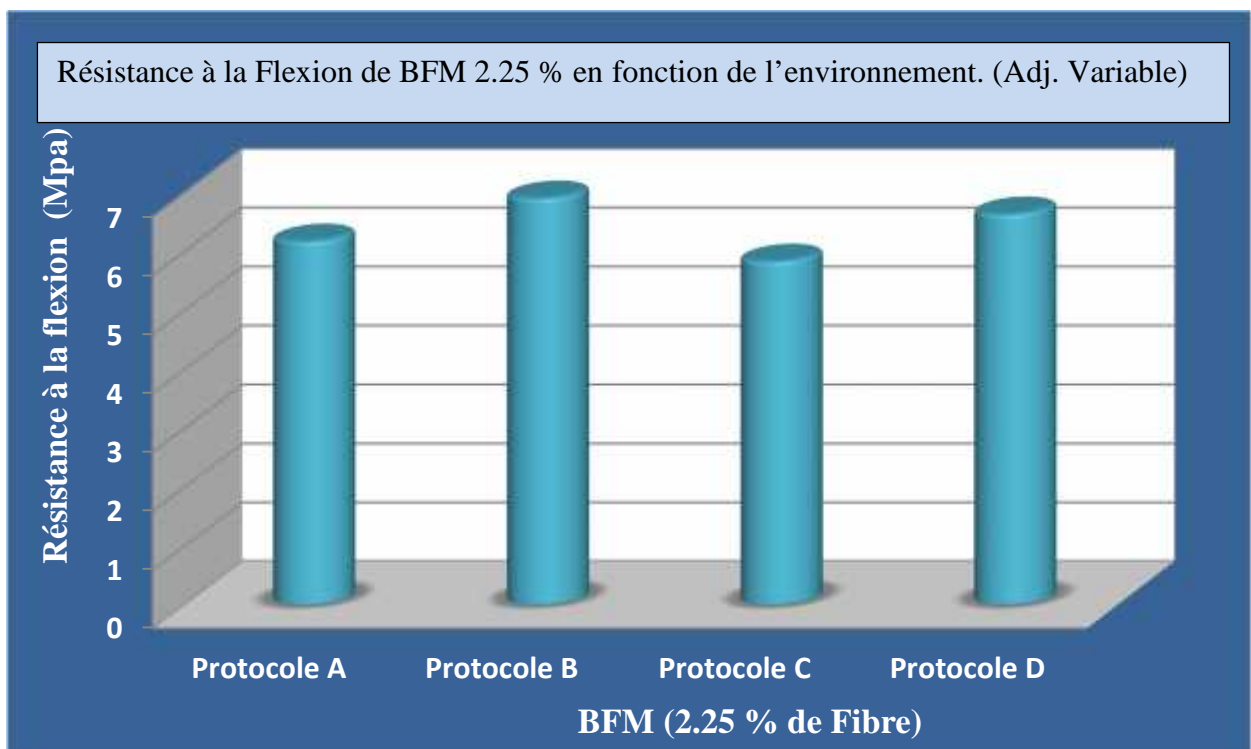
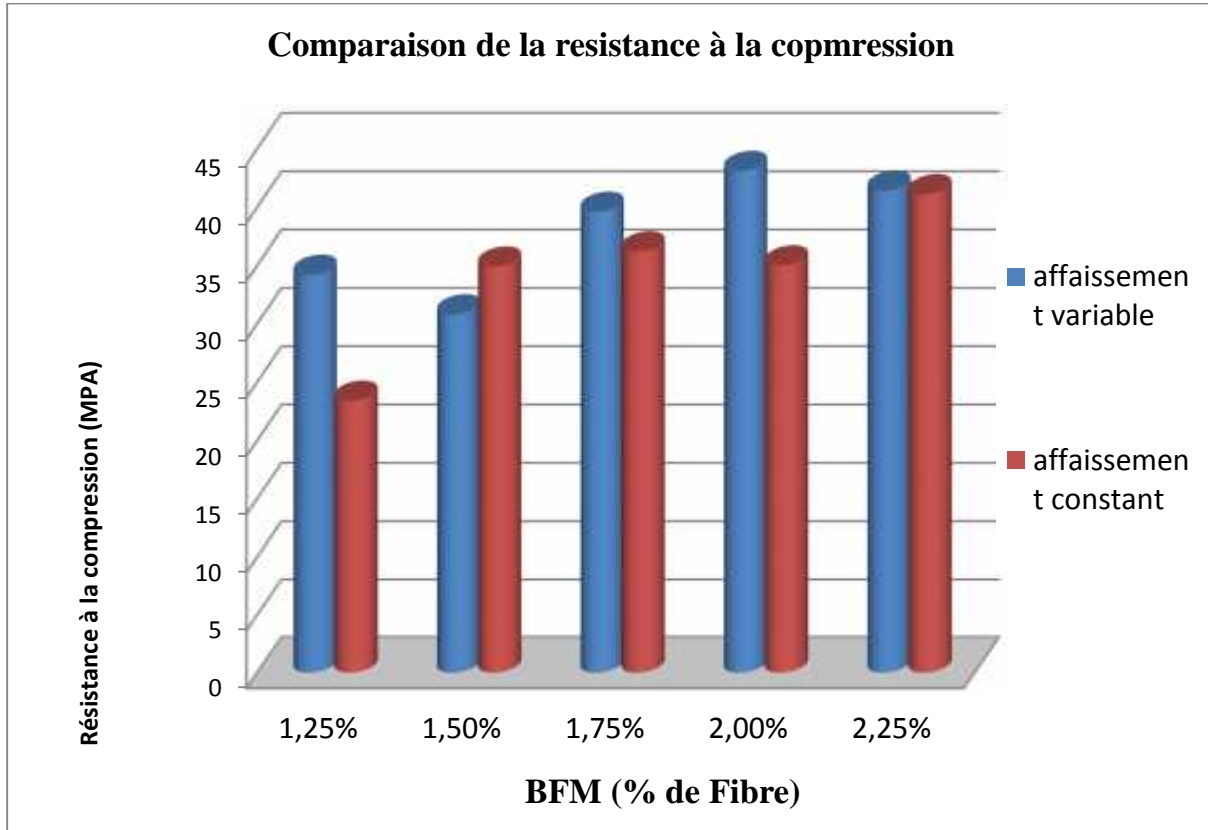


Figure II.37 Résistances de BFM 2,25% à la flexion différente Climats. (Maniabilité constante)

Un comportement très proche a tous les conditions environnementales.

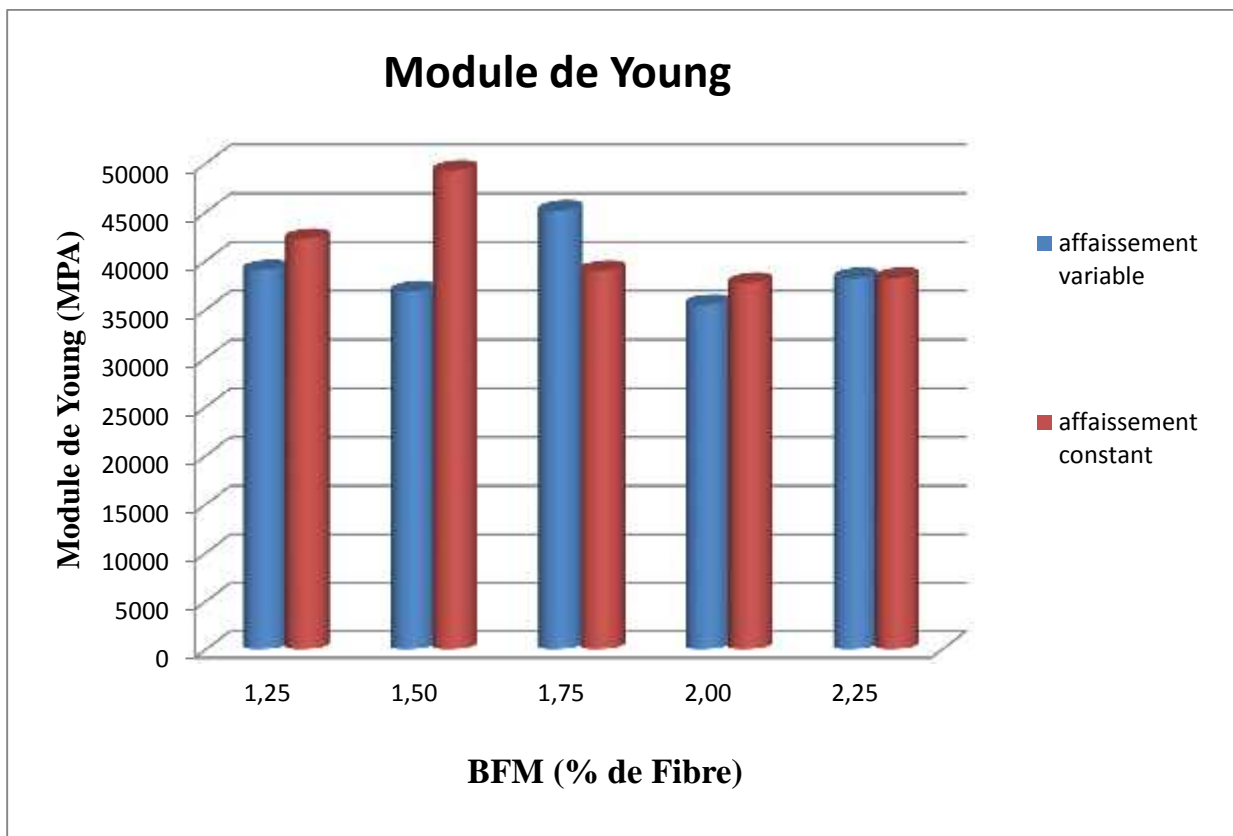
**Partie III – Comparaison entre les résultats de la partie I et la partie II**

➤ **Résistance à la compression :**



**Figure II.38** Résistances de BFM à la compression

➤ **Module de Young**



**Figure II.39** Module de Young des BFM

A maniabilité variable le béton à 1.75 % de Fibre présente un module mieux que les autres.

Après la valeur correspondante à 1.75 % on constate une baisse de module.

Quant à maniabilité constante c'est le dosage de 1.25 % qui a donné un module élevé ensuite il y a une diminution de valeur de module.

- Flexion
  - Comparaison en fonction de l'environnement
    - conservation air libre (protocole A)

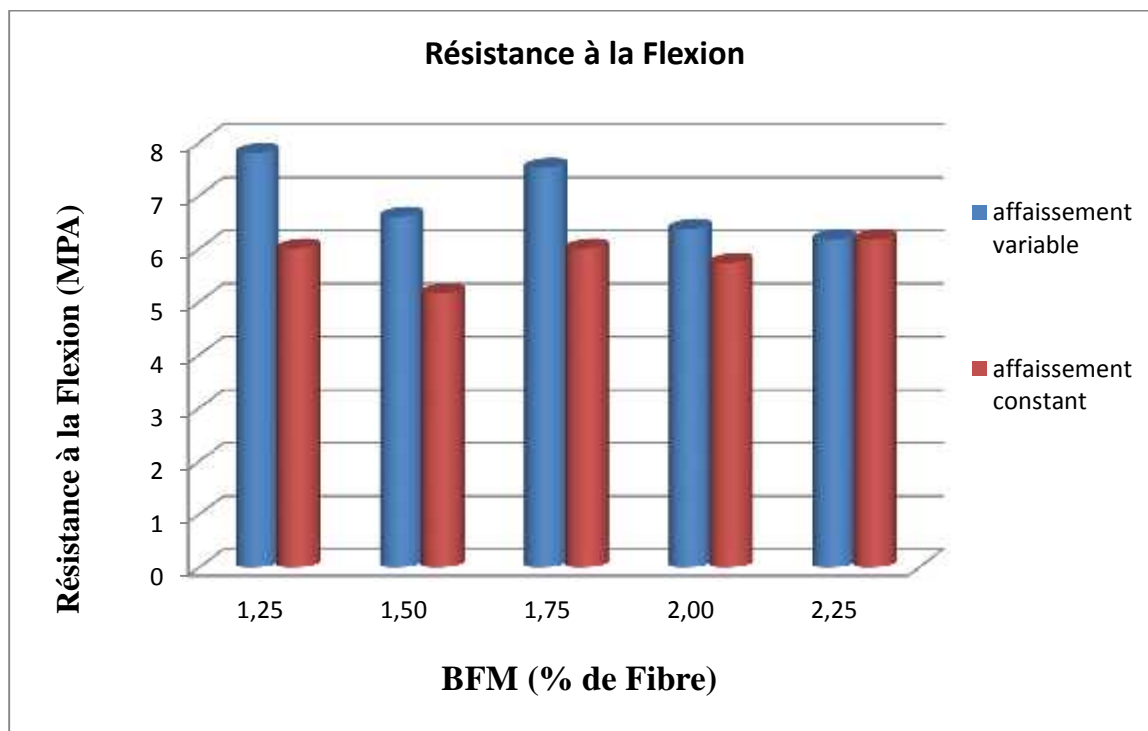
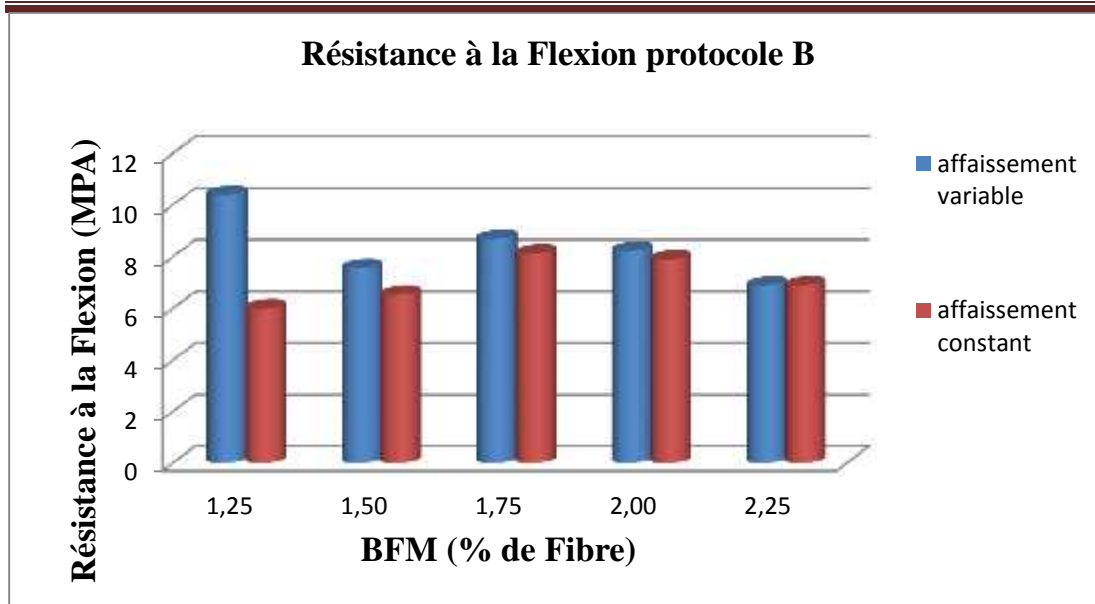


Figure II.40 Résistances de BFM à la Flexion conservation à l'air libre

En remarque que l'adjuvant a un rôle très important dans cet environnement, d'ailleurs pour les bétons fermes présentent des résistances moindre en comparaison au béton plastique (1,25% 1,5% et 1,75%)

Deux différentes conclusions entre les deux méthodes, le taux d'amélioration dans les deux méthodes est bien différents, car cette amélioration n'est pas du uniquement à l'incorporation des fibres, mais a l'effet ou à l'excès d'adjuvants par rapport à la matrice cimentaires.

- (protocole B)

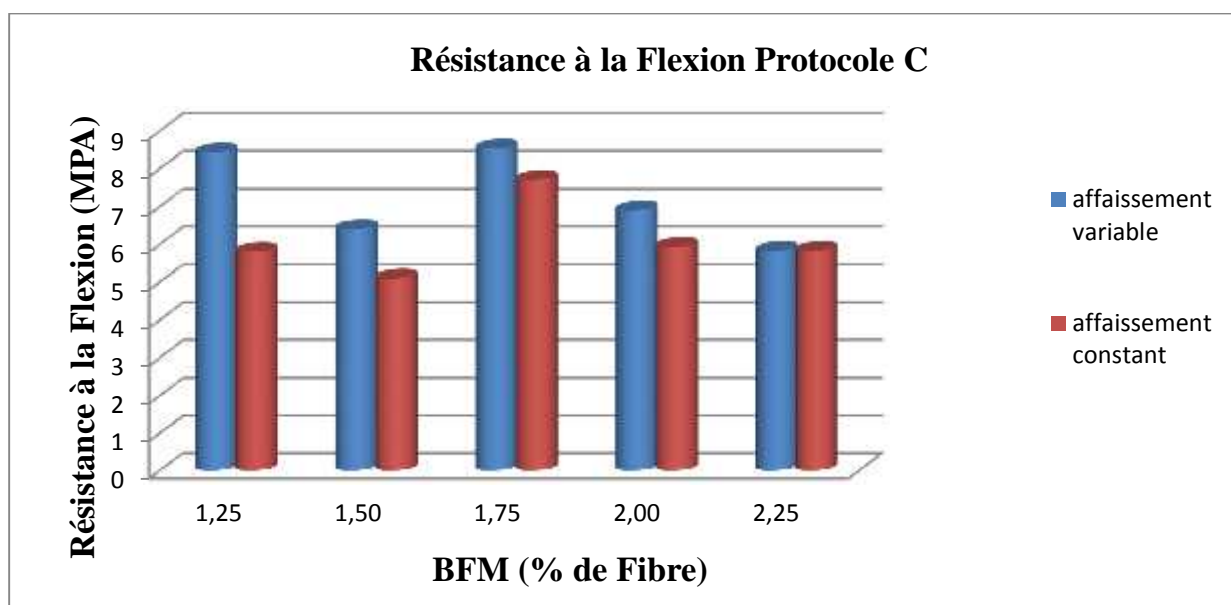


**Figure II.41** Résistances de BFM à la Flexion Protocole B

Les résultats sont proches entre les deux méthodes en quantité inférieure quand, on utilise maniabilité constante, lors des bétons dosés supérieur 1,5% l'aspect du mélange bétons (ordinaire + fibre métallique) devient béton ferme.

Plus la quantité d'adjuvant diffère entre les deux gâchés pour les deux différents méthodes, la comparaison ne donne pas les mêmes conclusions. Pour 1,25% une énorme différence de comportement.

- (protocole C)



**Figure II.42** Résistances de BFM à la Flexion Protocole C

Supérieur à 1,75% de fibre métallique, les deux résultats se rapprochent, et inférieur à cette valeur les résultats s'éloignent.

Pour le dosage 1,75% présente le meilleur comportement dans les deux méthodes. Par contre 1,25% change de comportement ou réduction de résistance à la diminution d'adjuvant.

Dans les deux méthodes et pour l'environnement C cet histogramme montre que : tous les BFM résistent mieux que le BO ;

Plus le béton est élastique plus les résultats sont différents, ce qui veut dire que le taux d'amélioration est du conjointement au (fibre + adjuvant)

- (protocole D)

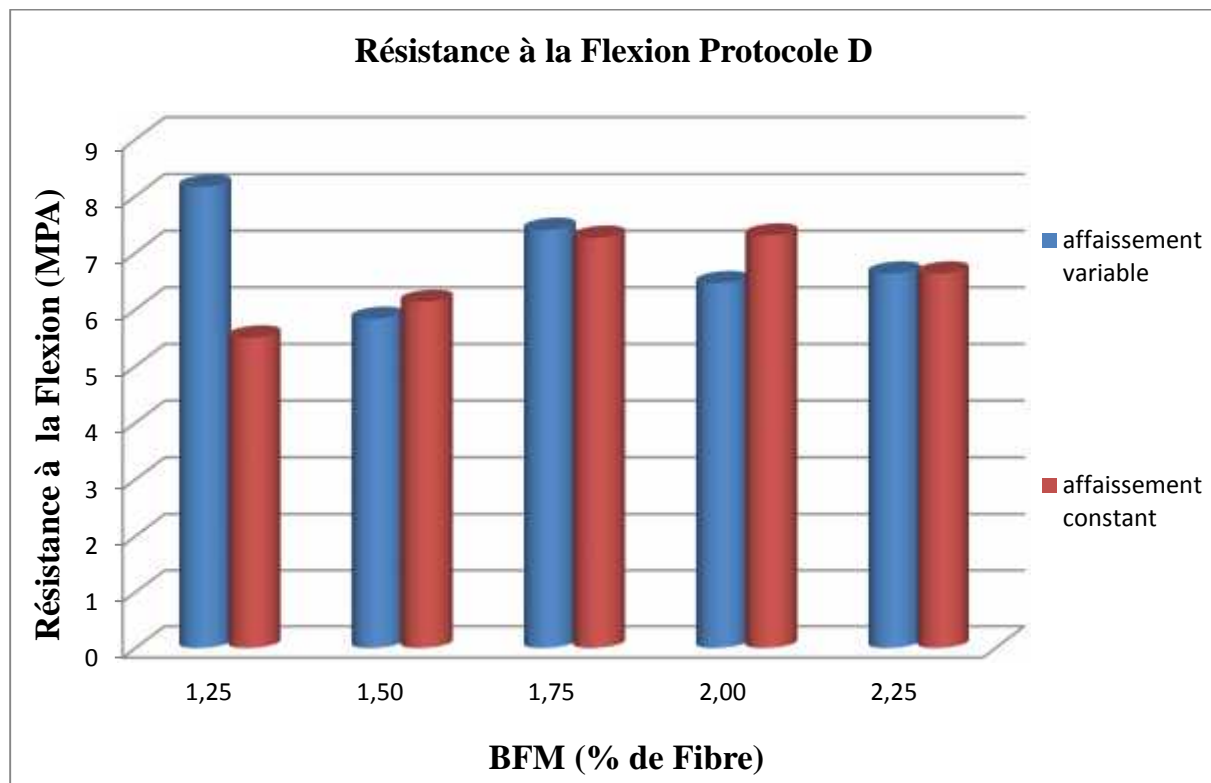


Figure II.43 Résistances de BFM à la Flexion Protocole D

À l'environnement alterné, nous constatons que l'adjuvant à quantité permettant une maniabilité constante donne le meilleur comportement, sauf pour 1,25%.

Dans cet environnement les résultats sont comparables pour l'hypothèse d'affaissement constant et hypothèse d'adjuvant constant

**Conclusion**

Le béton de fibre, ce matériau est employé dans une vaste gamme d'applications et faisant objet de plusieurs travaux de publication et de brevet. Préciser et quantifier les comportements mécaniques, prévoir l'effet de la présence des fibres dans la matrice et évaluation des performances à moyen et long terme est la problématique des études de recherche.

Tenant compte de la base de données unique dans une étude, en termes de (granulats, ciment, fibres, eau) les variables sont le dosage en fibre et la maniabilité.

Les différents dosages formulés en fixant l'une des variables séparément, résultent ce qui suit :

- **Hypothèse numérique ou (adjuvant constant) :**

Une baisse de résistance à la compression pour les dosages de 1.25% et 1.5%, le taux d'amélioration est de 6 % ; 16% ; 11% respectivement pour les dosages de 1.75 %, 2% et pour un dosage de 2.25%.

**Extensomètre :** Pour de faible contrainte on enregistre une déformation primaire pour les mélanges 2% et 1,25%.

Pour la courbe de 1,5% n'atteint pas la même contrainte de rupture que les autres. La courbe du mélange à 1,75 % présente la plus grande tangente

**Flexion :**

- A° L'amélioration de la résistance à la flexion est de 87% pour un dosage de 1.25% de fibre, 65% pour un dosage de 1.5%, 88% pour un dosage de 1.75 % de fibres, 60% pour un dosage de 2% de fibre et 54% pour un dosage de 2.25 %. Dans le climat température ambiante.
- B° Une haute résistance obtenue pour le béton dosé a 1,25% de fibre métallique. Une diminution e la résistance au-delà de 1,75% de fibre métallique dans l'eau.
- C° Chute de la résistance du béton 2,25% de fibre par rapport au climat (air libre). en note les mélanges à 1,25% et 1,75% ont une bonne résistance à l'environnement chaud.
- D° Le plus faible % est enregistré pour le mélange à base de 1,5%. tous les mélanges fibrés ont une résistance meilleure par rapport au béton ordinaire. Les deux meilleurs pourcentages sont 1,25% et 1 75% dans l'environnement alterné.
- **Hypothèse rhéologique** ou (maniabilité constante ce qui résulte des bétons élastiques, plastique ou ferme, à comparer) :

Plus la quantité de fibre augmente plus la résistance à la compression est améliorée. Une sensible diminution pour 2% de fibre métallique

**Extensomètre** : Le béton fibré à 1,5% présente le plus fragile et faible module, le dosage 1,75% à un palier plastique considérable

**Flexion** :

- A° En terme de quantité les dosages 1,25 % et 1,75% résiste mieux que les autres. L'allure des histogrammes résulte une diminution à partir du dosage 1,75% à l'air ambiant.
- B° Une courbe de forme en cloche qui a pour optimum 1,75%.. Nous quantifions le taux d'amélioration par rapport à la température ambiante : 26%, / 35,5% / 37,8% / 11,8% respectivement pour les dosages 1,25 %, 1,5% 1,75% 2%. 2,25%.
- C° Diminution de la résistance à chaud de 3,44% 1,16% / 5,5% en comparaison à 28jours conservation à l'air libre pour les dosages 1,25% 1,5% et 2,25%, et une augmentation de 28,33% / 3,4% pour 1,75% et 2%.
- D° l'augmentation de la résistance à la flexion en fonction des fibres à une forme d'une courbe en cloche qui a pour optimum 1,75%, comportement similaire au climat humide mais de résistances moindres.

A la lumière de ces résultats on peut déduire que la méthode numérique, c'est-à-dire [taux d'adjuvant constant] ou bien ne pas tenir compte de fermeté ou élasticité des bétons, ne quantifié pas réellement le comportement des BFM. Dans cette méthode l'excès de super plastifiants permet une certaine fluidité aux fibres, ce qui engendre la ségrégation de ces derniers ou la mauvaise répartition. Plus le rapport Super plastifiants /fibre est important plus la distribution est non homogène.



---

## Résumé.

L'intérêt de renforcement de béton ordinaire par des fibres est d'améliorer le comportement vis à vis différentes sollicitations, et prouvé l'efficacité des fibres.

L'amélioration de la résistance du béton renforcé par des fibres métalliques permet non seulement d'améliorer le comportement en flexion, traction compression, la résistance à l'abrasion. Absorber et dissiper l'énergie, réduire l'initiation et la propagation des fissures, augmenter la durabilité du béton, ralentir la dégradation. Les résultats obtenus par les différents chercheurs, concernant l'amélioration des performances mécanique de béton fibré sont obtenus majoritairement en utilisant une plasticité différentes, C.-à-d. un taux de super plastifiants constant quel que soit la quantité des fibres incorporé. Toutes les études confirment la difficulté de mise en œuvre ou bien perte de maniabilité,

En génie des matériaux, en classe les matériaux selon leurs origines, minéralogie, plasticité. Donc il paraît que la comparaison en termes de comportement, un béton plastique à un béton ferme ou mou est une hypothèse qui aboutisse à de conclusions douteuses, sachant que le super plastifiant apporte lui seul un pourcentage d'amélioration à la pâte cimentaire.

Parmi les paramètres qui influent sur les performances mécaniques d'un béton fibré est la distribution des fibres et leur orientation. Ce paramètre est lié directement à l'état d'ouvrabilité de béton, donc il serait plus judicieux de comparer les différents dosages en fibre avec la même maniabilité (même plasticité), et ce afin de donner les mêmes chances de distribution et orientation des fibres dans la matrice de béton et pour avoir un mélange propice à l'obtention de la même dispersion des fibres.

On a procédé à l'étude de béton avec les différents pourcentages de fibre (1.25%,1.5%,1.75%,2%,2.25%), premièrement : avec même dosage de l'adjuvant (maniabilité variable), deuxièmement : les mêmes pourcentages de fibre mais on fixe la maniabilité (maniabilité constante, hypothèse rhéologique).

Des essais de compression, et traction par flexion ainsi l'essai avec extensomètre ont été effectués pour chaque mélange à différents environnements avec analyse et discussion des résultats.

On peut déduire que la méthode numérique, c'est-à-dire [taux d'adjuvant constant] ou bien ne pas tenir compte de la plasticité des bétons, ne quantifie pas réellement le comportement des BFM. Dans cette méthode l'excès de super plastifiants permet une certaine fluidité aux fibres, ce qui engendre la ségrégation de ces derniers ou la mauvaise répartition. Plus le rapport Super plastifiants /fibre est important plus la distribution est non homogène.

---

## Abstract

The Ordinary concrete reinforcing fiber interest is to improve the behavior towards different stresses, and proved the effectiveness of the fibers. Improving the strength of the concrete reinforced by metal fibers makes it possible not only to improve the behavior in bending, compressive strength, and resistance to abrasion. Absorb and dissipate energy, reduce the initiation and propagation of cracks, increase the durability of concrete, slow degradation. The results obtained by the researchers was on improving mechanical performance of fiber concrete is mainly obtained using a different plasticity, superplasticizers a constant rate regardless of the amount of incorporated fibers. All studies confirm the difficulty of implementation or loss of maneuverability,

In materials engineering, classroom materials according to their origins, mineralogy, plasticity. So it seems that the comparison in terms of behavior, a plastic concrete to a firm or soft concrete is a hypothesis that leads to questionable conclusions, given that the superplasticizer brings him only a percentage improvement in the cement paste. Among the influential parameters on the mechanical performance of fiber concrete is the fiber distribution and orientation. This is linked directly to the state of concrete workability, so it would be better to compare the vas dosages fiber with the same handling (even plasticity), in order to give the same chance of distribution and fiber orientation in the concrete matrix and for a mixture suitable for obtaining the same fiber dispersion. We proceeded to study concrete with different percentages of fiber (1.25%, 1.5%, 1.75%, 2%, 2.25%), first: with the same dosage of the adjuvant (variable maneuverability), secondly: the same percentages of fiber but secure handling (constant handling, rheological hypothesis). compression tests and tensile bending test with extensometer and were made for each mixture in different environments with analysis and discussion of results. One can deduce that the numerical method, that is to say [constant adjuvant rate] or ignore the plasticity of concrete, not really quantified the behavior of the BFM. In this method the excess superplasticizers allows some flow to the fibers, which causes segregation thereof or maldistribution. The higher the ratio Superplasticizers / fiber is important more the distribution is not uniform.

**Bibliographies**

[**Asquapro**] Utilisation des bétons projetés pour la réparation et le renforcement des structures  
Comité Technique Asquapro Fascicule technique ASQUAPRO page 7 Version 2014

[**ABQ**] Guide de bonnes pratiques pour l'utilisation des fibres dans le béton réalisé par Association  
Béton Québec, janvier 2005, p 9

[**Abdul Ghaffar -2014**] Abdul Ghaffar1, Amit S. Chavhan, Dr.R.S.Tatwawadi3  
Steel Fibre Reinforced Concrete, ISSN: 2231-5381 [Http://www.ijettjournal.org](http://www.ijettjournal.org) Page 791  
International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) – Volume 9 Number 15 - Mar  
2014

[**Antonio Domingues de Figueiredo 2015.**] Antonio Domingues de Figueiredo , Marcos  
Roberto Ceccatob., Workability Analysis of Steel Fiber Reinforced Concrete Using Slump and Ve-  
Be Test Mat. Res. vol.18 no.6 São Carlos Nov. /Dec. 2015 Epub Nov 03, 2015 On-  
line version ISSN 1980-5373

[**Ali ELLOUZE 2005**] Ali ELLOUZE, Mongi BEN OUEZDOU1, Mohamed Ali KARRAY,  
Aouicha BEDDEY, Étude des Bétons à Fibres renforcés par des Fibres Métalliques à Base de  
Matériaux Locaux. Colloque CMEDIMAT 2005, 06 et 07 Décembre2005.

[**Bensaid BOULEKBACHE**] Bensaid BOULEKBACHE1, Mustafa HAMRAT, Mohamed  
CHEMROUK, Sofiane. AMZIANE. Comportement des bétons fibrés à la flexion : influence des  
fibres et de la résistance à la compression. 31èmes Rencontres de l'AUGC, E.N.S. Cachan, 29 au 31  
mai 2013

[**Baron 1969**] Baron J., Lesage R. (1969), Compacité et maniabilité des bétons hydrauliques.  
Rapport de Recherche LPC n°3.

[**Baron 1965**] Baron J., Lesage R. (1965), Pour une étude pratique de la maniabilité : le  
maniabilimètre Lesage du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Bulletin de Liaison des LPC,  
n°13.

[**Bonzel 1986.**] Bonzel J., Schmidt M. (1986), Distribution and orientation of steel fibres in concrete  
and their influence on the characteristics of steel fibre concrete, FRC-86, Development in Fiber  
Reinforced Cement and Concrete, RJLEM Symposium, Sheffield, vol. 1.

[**Cotterell 1996.**] Cotterell B., Mai Y.W., (1996) "Fracture Mechanics of Cementitious Materials.  
Blackie, Academic & Professional", London/Chapman and Hall. p. 294.

[**Casanova P., Rossi P., (1997)**] "Analysis and Design of Steel Fiber Reinforced Concrete  
Beams", ACI Structural Journal, Vol.94, No.5, pp.595-602.

[**Casanova P., (1996)**] "Bétons renforcés de fibres métalliques du matériau à la structure",  
LCPC.

## *Bibliographies*

---

- [Djebali 2013]** Thèse de doctorat soutenue en 2013. Caractérisation des éléments de structures en béton de fibre métalliques Djebali Saïd.
- [Damgir et al]** Damgir, R. M. & Ghugal, Y. M., "prediction of compressive strength by incorporating steel fibers", 35th Conference on Our World in Concrete & Structures, Singapore, August 2010, pp. 25 - 27.
- [DEH 75]**, DEHOUSSE, N ; VANSTERMANS, A ; KUYKENS, T ; 1974 les mortiers et bétons renforcés de fibres d'acier, Bruxelles , CSTC Revue N°2 1974.
- [G.DREUX ET J.FESTA en 1995]** (G.DREUX et FESTA (1995) « nouveau guide de béton et de ses constituants édition EYROLLES 7ime édition 1995).
- [Gopalaratnan et al]** Gopalaratman, V.S. & Shah, S.P., "Softening Response of Plain Concrete in Direct Tension", American Concrete Institute, Journal, may 1, 1985, Vol. 82, n° 3, pp. 310-323.
- [Grunewald et Walravens 2001]** Grunewald S., Walraven J.C., (2001) "Parameter-study on the influence of steel fibers and coarse aggregate content on the fresh properties of self-compacting concrete", Cement and Concrete Research vol.31, pp. 1793-1798
- [HUG .81]**. HUGHES, FATTUCHI, « the workability of steel fiber reinforced concrete « GB. MGAZINE of concrete recherché, vol.28 N°96 1981.
- [Harrouche 1989]**. Harrouche N. (1989), Formulation et comportement à la fissuration des bétons de fibres métalliques, thèse de Docteur - Ingénieur de l'université de Paris VI.
- [Johnston 1996]** Johnston C.D., (1996) "Proportioning, mixing and placement of fibre-reinforced cements and concretes, Production Methods and Workability of Concrete", proceedings of the international RILEM conference, edited by Bartos, Marris and Cleland, E&FN Spon, London, pp. 155-179.
- [Johnston 2001]** Johnston C.D., (2001) "Fiber-Reinforced Cements and Concretes", Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, 368 pages ISBN: 9056996940.
- [JEJ 77]** JEJCIC.O : ZANGHLLINE .F 51977). Mortier et ciment armé de fibres : une étude bibliographique, annales l'T.T.B.T.P., suppl. N°347 série matériaux 51, pp 46-87.
- [Mohammad Dalour Hossen]** Mohammad Dalour Hossen Beg; The Improvement of Interfacial Bonding, Weathering and Recycling of Wood Fibre Reinforced Polypropylene Composites; These de doctorat, University of Waikato, Hamilton, New Zealand, 2007.
- [Mme BENTALHA]** Thèse de doctorat sur Influence de l'introduction de Fibres Métalliques sur le Comportement Différé d'une Matrice Cimentaire. Caractérisation - Comportement monotone – Microstructure Mme BENTALHA. PP71
- [Pierre ROSSI]** (TUNNELS ET ESPACE SOUTERRAIN - n°218 - Mars/Avril 2010)
- [ROSSI, 2005]**. (ROSSI, P., ARCA, A., PARANT, E., FAKHRI, P. (2005), Bending and Compressive Behaviors of a New Cement Composite, Cement and Concrete Research, no 35, p. 27-33)

## *Bibliographies*

---

- [ROS.84].** SERNA ROSS, (1984), étude de la contribution des fibres métalliques à l'amélioration du comportement du béton au cisaillement thèse de doctorat de l'ENPC (1984)
- [Rossi P. (1998)]** Les bétons de fibres métalliques, Ponts et Chaussées, Paris, 309p.
- [R.N. Swang et P.S. Mangat (1974),]** "Compatibility of steel fibre reinforced concrete", Vol. 8, N°5, pp. 34-35.].
- [ Ramli M., Thanon dawood E].,** "High-Strength Flowable Mortar Reinforced By Steel Fiber ", Slovak journal of civil engineering, Vol. XIX, 2011, No. 3, pp.10 – 16.
- [Snyder J., al D.R. (1972)]** Factor affecting flexural strength of steel fibrous concrete.  
ACI Journal, vol 69, n° 2, pp. 96-100.
- [Swamy R. N. (1975)],** Fiber reinforcement of cement and concrete, Matériaux et Constructions, n°45, mai -juin, pp. 235-254.
- [Swamy 1974b]** (Swamy R. N., Mangat P. S., (1974b), Influence of fiber geometry on the properties of steel fiber reinforced concrete, Cement and Concrete Research, vol. 4, n° 3, pp. 451 - 465.
- [Setti F. 1, Ezziane K. 1, Setti B.]** F. Setti 1, K. Ezziane 1, B. Setti 2, F. Merzoug, Étude Du Comportement Des Poutres En Béton Renforce De Fibres Métalliques Sous Chargement Monotone Croissant. Colloque international «réduction du risque sismique» chlef les 10 et 11 octobre 2012
- [Tabet Nesrine]** Thèse de magistère, contribution à l'étude de l'influence de la nature et dimensions des fibres sur le comportement physico-mécanique des bétons autoplaçants fibrés (BAPF) 2012.
- [Yousef FRITIH]** Thèse de doctorat sur Apport d'un renfort de fibres sur le comportement d'éléments en béton auto plaçant armé. [Yousef FRITIH] pp19 Le 08 Juillet 2009
- [100]** Groupe Eyrolles: « Cône d'Abrams. » Edition Eyrolles.2010.