



## Département de Technologie chimique industrielle

### Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme  
de Licence professionnelle en :

### Génie de la formulation

### Thème :

## Comportement des bétons renforcés par des fibres métalliques

#### Réalisé par :

BEDJADJAT Adel Abdelhadi Yahia

#### Encadré par :

- MOULAHCENE Lamia
- MAMOUN Laid

MCB / Institut de la technologie, Université de  
BOUIRA  
Responsable contrôle qualité béton/ BTPH  
HASNAUI-SPA

#### Examiner par :

- S. HAMIDOUCH
- A. AICHOIR

MCB / Institut de la technologie, Université de  
BOUIRA  
MCB / Institut de la technologie, Université de  
BOUIRA

# Remerciement

En premier lieu, je tiens à remercier mes maîtres de stage, Mr. EL LAID et Mme. HADJER, responsable control qualité béton et chef de fabrication de l'entreprise BTPH Hassnoui wilaya de sidi bel abbes. Un grand merci pour leur accueil chaleureux, ainsi que pour leur patience et leurs précieux conseils. Ils m'ont beaucoup appris sur le travail et les défis qu'un ingénieur doit relever au quotidien.

Je profite a cette occasion pour adresser mes profonds remerciements aux responsables et au personnel de BTPH Hassnaoui et Mme Moulahcéne. Ils ont toujours été à mon écoute et ont su m'apporter un soutien sans faille.

Enfin, un grand merci à ma mère, mon frère et mon amie S.Nadjia, pour leurs conseils, ainsi que pour leur soutien inconditionnel, à la fois économique et moral.

## Résumé :

L'intérêt de renforcement de béton ordinaire par des fibres est d'améliorer le comportement vis à vis différentes sollicitations et prouver l'efficacité des fibres. L'amélioration de la résistance du béton renforcé par des fibres métalliques permet non seulement d'avoir un meilleur comportement en flexion mais aussi d'améliorer la traction, la compression, la résistance à l'abrasion, absorption et la dissipation de l'énergie, réduire l'initiation et la propagation des fissures, augmenter la durabilité du béton, ralentir la dégradation.

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 des conclusions douteuses, sachant que le super plastifiant apporte lui seul un pourcentage d'amélioration à la pâte cimentaire.

Parmi les paramètres qui influents sur les performances mécaniques d'un béton fibré sont 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 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.

Une étude de béton avec les différents pourcentages de fibre et de dosage de l'adjuvant et une maniabilité variable et les essais de compression, de traction par flexion ainsi l'essai avec extensomètre sont effectués pour prouver l'intérêt de renforcement de béton ordinaire par des fibres et leurs efficacités.

## ملخص

إن الاهتمام بتعزيز الخرسانة العادية بالألياف هو لتحسين السلوك مع ضغوط مختلفة ولإثبات فعالية هذه الألياف. إن تحسين مقاومة الخرسانة المعززة بالألياف المعدنية لا يجعل من الممكن فقط الحصول على سلوك تنني أفضل ولكن أيضاً لتحسين الجر والضغط ومقاومة التآكل وامتصاص الطاقة وتبيده، وتقليل بدء الشقوق وتكاثرها، زيادة استدامة الخرسانة وإبطاء التدهور. في هندسة المواد في الفصل يعمل وفقاً لأصولها، وعلم المعادن، ويبدو أن المقارنة من حيث السلوك، والخرسانة البلاستيكية مع الخرسانة الشديدة أو الناعمة هي فرضية تؤدي إلى استنتاجات مشكوك فيها، مع العلم أن الفاتح الفائقة يجلب النسبة المئوية لتحسين معجون الأسمنت. من بين المعلمات التي تؤثر على الأداء الميكانيكي لخرسانة الألياف هو توزيع الألياف واتجاهها. ترتبط هذه المعلمة مباشرة بحالة العامل الملموس وللحصول على خليط يفضي إلى الحصول على نفس تشتت الألياف. دراسة ملموسة مع نسب مئوية مختلفة من الألياف وجرعة المساعد واختبارات المناورة والضغط المتغيرة وإجراء جر الثاني وبالتالي الاختبار مع مقياس قياس تحدث لإثبات مصلحة الخرسانة العادية بواسطة الألياف وكفاءتها.

## Abstract:

The interest in strengthening ordinary concrete by fibers is to improve behavior with different stresses and proven the effectiveness of fibers. Improving the resistance of concrete reinforced by metal fibers not only makes it possible to have better bending behavior but also to improve traction, compression, resistance to abrasion, absorption and dissipation of energy, reduce the initiation and propagation of cracks, increase the sustainability of concrete, slow down degradation.

In material engineering, in class the materials according to their origins, mineralogy, plasticity therefore it seems that comparison in terms of behavior, plastic concrete with firm or soft concrete is a hypothesis which leads to questionable conclusions, knowing that the super plasticized only brings a percentage of improvement to the cement paste.

Among the parameters, that influential on the mechanical performance of fiber concrete is the distribution of fibers and their orientation. This parameter is linked directly to the state of concrete worker, so it would be more judicious to compare the fiber dosages with the same maneuverability (same plasticity) and in order to give the same chances of distribution and orientation of the fibers in the concrete matrix and to have a mixture conducive to obtaining the same dispersion of the fibers.

A concrete study with the different percentages of fiber and dosage of the adjuvant and variable maneuverability and compression tests, flexion traction thus the test with extensometer is carried out to prove the interest of ordinary concrete by fibers and their efficiency

# *Sommaire*

---

<b>Remerciement</b>	
<b>Résumé</b>	
<b>Sommaire</b>	
<b>Liste des figures</b>	
<b>Liste des tableaux</b>	
<b>Liste des symboles et abréviations</b>	
<b>Introduction générale</b>	1

## **Chapitre I : Présentation de l'entreprise**

<b>I.1. Entreprise d'accueil</b>	2
<b>I.2. Création et construction</b>	2
<b>I.3. Organisation du groupe</b>	2
<b>I.3.1. Forme juridique</b>	2
<b>I.4. Activités</b>	3
<b>I.5. Politique qualité</b>	3

## **Chapitre II : Recherches Bibliographiques**

<b>II.1 - Définition d'un béton de fibre.....</b>	<b>4</b>
<b>II.2– Type des fibres.....</b>	<b>4</b>
<b>II.2.1 – Fibres artificielles .....</b>	<b>4</b>
<b>II.2.1.1– Fibre de verre .....</b>	<b>4</b>
<b>II.2.1.2–Fibres métalliques .....</b>	<b>5</b>
<b>II.2.1.3–Fibres de polypropylène.....</b>	<b>6</b>
<b>II.2.2 – Fibres naturelles .....</b>	<b>7</b>
<b>II.3 - Composition des bétons de fibres et comportement pas de composition .....</b>	<b>7</b>
<b>II.4 - Avantages du béton fibré.....</b>	<b>8</b>
<b>II.4.1- Aspect technique .....</b>	<b>8</b>
<b>II.4.2- Aspect économique.....</b>	<b>8</b>
<b>II.5- Rôle et domaines d'applications des fibres.....</b>	<b>8</b>
<b>II.6 –Effet de l'addition des Fibres sur le comportement des Bétons a l'état Frais....</b>	<b>11</b>
<b>II.7 - Formulation du Béton de fibre .....</b>	<b>13</b>
<b>II.7.1 - Optimisation Des Bétons De Fibres Métalliques (Méthode B.Lesage).....</b>	<b>14</b>

## *Sommaire*

<b>II.8 - Facteurs influant sur le comportement d'un béton renforcé de fibres .....</b>	<b>15</b>
<b>II.9.2 Comportement en Traction par Flexion .....</b>	<b>15</b>
<b>II.8.2– Distribution des fibres et leur orientation .....</b>	<b>15</b>
<b>II.8.3– Forme et Longueur et de la fibre .....</b>	<b>16</b>
<b>II.8.4– Dosage en fibre .....</b>	<b>17</b>
<b>II.9 - Comportements des BFM à l'état durcis.....</b>	<b>17</b>
<b>II.9.1 - Comportement en compression .....</b>	<b>17</b>
<b>II.9.2 Comportement en Traction par Flexion.....</b>	<b>20</b>
<b>II.9.3 – Module de Young .....</b>	<b>24</b>
<b>II.9.4 La norme NF EN 12390 .....</b>	<b>25</b>
<b>II.10 - Conclusion de chapitre I.....</b>	<b>25</b>
<b>Chapitre III : Partie Expérimentale</b>	
<b>III.1 - Constituants des bétons étudiés .....</b>	<b>26</b>
<b>III.1 .1 - Granulats .....</b>	<b>26</b>
<b>III.1.1.A.Analyse Granulométrique (Norme : NF EN 933-1 -Déc. 97.....</b>	<b>26</b>
<b>III.1.1.A.1 - Sable .....</b>	<b>26</b>
<b>III.1.1.A.2 Gravier 3/8 .....</b>	<b>27</b>
<b>III.1.1.A.3 Gravier 8/15 .....</b>	<b>27</b>
<b>III.1.1.B - Caractéristiques physiques.....</b>	<b>28</b>
<b>III.1.1.B.1 - Sable 0/3 .....</b>	<b>28</b>
<b>III.1.1.B .2- Gravier 3/8.....</b>	<b>28</b>
<b>III.1.1.B .3- Gravier 8/15.....</b>	<b>28</b>
<b>III.1.2. Ciment .....</b>	<b>29</b>
<b>III.1.3.Fibres .....</b>	<b>30</b>
<b>III.1.4 Adjuvant.....</b>	<b>31</b>
<b>III.1.5 Eau de gâchage .....</b>	<b>31</b>
<b>III.2- Formulation .....</b>	<b>31</b>
<b>III.2.A- Méthode de DREUX GORISS pour la composition de béton .....</b>	<b>32</b>
<b>A. Dosage en ciment et en eau .....</b>	<b>32</b>
<b>B. Calcule de dosage en ciment .....</b>	<b>33</b>
<b>C. Courbe de référence .....</b>	<b>34</b>
<b>D. Ligne de partage .....</b>	<b>35</b>
<b>E. Dosage en masse des granulats. ....</b>	<b>36</b>
<b>III.2.B - Mise en œuvre .....</b>	<b>36</b>
<b>III.2.B.1 - Malaxage .....</b>	<b>37</b>
<b>III.2.B.2 - Dimensions et remplissage des éprouvettes .....</b>	<b>38</b>
<b>III.3 - Essais sur béton frais .....</b>	<b>38</b>
<b>III.3.1– Affaissement au cône d'Abrahams (Norme 12350).....</b>	<b>38</b>
<b>III.3.2– Maniabilimètre L.C.L .....</b>	<b>39</b>

## *Sommaire*

<b>III.4 - Essais sur béton durci .....</b>	<b>40</b>
<b>III.4.1 – Résistance à la compression : [NF EN 12390-3].....</b>	<b>40</b>
<b>III.4.2 - Résistance en traction par flexion : [NF EN 12390-5].....</b>	<b>43</b>
<b>III.4.3- Extensomètre : [NF EN 12390-5].....</b>	<b>43</b>
<b>III.5 – Méthodologie de la préparation des gâchés de béton .....</b>	<b>45</b>
<b>III .6– Environnement de conservation .....</b>	<b>45</b>

### **Chapitre IV : Résultats et discussions**

<b>Parti 1 Analyse des résultats pour maniabilité variable</b>	
<b>(Taux d'adjuvant constant).</b>	<b>46</b>
<b>A - à l'état frais .....</b>	<b>46</b>
<b>B - à l'état durci.....</b>	<b>47</b>
<b>a. Résistance à la compression .....</b>	<b>47</b>
<b>b. Résistance à la compression (Extensomètre) .....</b>	<b>48</b>
<b>c. Module de Young .....</b>	<b>49</b>
<b>d. Essai flexion trois points. ....</b>	<b>50</b>
<b>i. Comparaison des résultats selon l'état d'environnement ou (Climat) .....</b>	<b>50</b>
<b>Parti 2 Analyse des résultats pour maniabilité constante</b>	<b>59</b>
<b>(taux d'adjuvant variable).</b>	
<b>➤ Dosage en Adjuvant (%).....</b>	<b>59</b>
<b>➤ Analyse des différents mélanges à l'état durci.....</b>	<b>60</b>
• <b>Résistance à la compression .....</b>	<b>60</b>
• <b>Résultats de l'Extensomètre, contrainte déformation .....</b>	<b>61</b>
• <b>Module de Young expérimental .....</b>	<b>61</b>
• <b>Résistance à la flexion .....</b>	<b>63</b>
✓ <b>Comparaison des résultats selon l'état d'environnement ou (Climat).</b>	<b>63</b>
<b>Partie III – Comparaison entre les résultats de la partie I et la partie II</b>	<b>70</b>
<b>➤ Résistance à la compression</b>	<b>70</b>
<b>➤ Module de Young</b>	<b>71</b>
<b>➤ Flexion</b>	<b>72</b>
<b>Conclusion générale</b>	<b>75</b>
<b>Références</b>	<b>77</b>

## *Liste des Figures*

---

<b>Figure I.1.</b> Groupe des sociétés Hasnaoui «GSH» .....	2
<b>Figure II.1.</b> Forme des fibres métalliques.....	4
<b>Figure II.2.</b> Fibres polypropylène.....	5
<b>Figure II.3.</b> Rôle des fibres dans la matrice de béton.....	8
<b>Figure II.4.</b> Apport du renfort par des fibres (Essai de traction).....	8
<b>Figure II.5.</b> Utilisation des fibres métalliques dans les dallages industriels .....	10
<b>Figure II.6.</b> Effet de la taille des granulats sur la distribution de fibres ...	10
<b>Figure II.7.</b> Effet des fibres sur la maniabilité de béton. ....	11
<b>Figure II.8.</b> Recherche de la maniabilité du rapport S/G optimal.....	13
<b>Figure II.9.</b> Influence de la direction du carottage sur le comportement en traction d'un béton fibré .....	15
<b>Figure II.10.</b> Évolution du gain de résistance compression du béton renforcé de fibres	17
<b>Figure II.11.</b> Influence de la teneur et longueur de fibres métalliques comportement en compression d'un béton fibré .....	18
<b>Figure II.12.</b> Résistance à la compression. Selon BENTALHA.....	19
<b>Figure II.13.</b> Résistance à la flexion du béton renforcé de fibres en fonction du temps.	20
<b>Figure II.14.</b> Résistances à la traction. ....	21
<b>Figure II.15.</b> Exemple de diagramme contrainte - déformation en compression ( $E_0$ module de Young).....	22
<b>Figure II.16.</b> Évolution de la résistance en compression et du module de Young expérimental en fonction de la teneur en fibre .....	23
<b>Figure III.1.</b> Type de fibre métallique utilisé.....	29
<b>Figure III. 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 III.3.</b> Courbe de l'Analyse granulométrique .....	34
<b>Figure III.4.</b> Malaxeur utilisé .....	36
<b>Figure III.5.</b> Confection des éprouvettes (cylindriques et prismatiques) .....	37
<b>Figure III.6.</b> Affaissement au cône d'Abrahams .....	38
<b>Figure III.7.</b> Maniabilimètre L.C.L.....	38
<b>Figure III.8.</b> Essai de compression simple .....	40

## *Liste des Figures*

---

<b>Figure III.9.</b> Essai de traction par Flexion.	41
<b>Figure III.10.</b> Essai de compression avec enregistrement des déplacements (Extensomètre)	43
<b>Figure IV.1.</b> Influence des fibres sur la maniabilité .....	45
<b>Figure IV.2.</b> Résistances à la compression à 28 jours (Influence des fibres).....	46
<b>Figure IV.3.</b> Courbe contrainte déformation (Compression).....	47
<b>Figure IV.4.</b> Influence des Fibres sur le module de Young .....	49
<b>Figure IV.5.</b> Résistance à la flexion des BFM (Adj. constant) sous environnement ambient A .....	50
<b>Figure IV.6.</b> Résistance à la flexion des BFM (Adj constant) sous environnement humide B .....	51
<b>Figure IV.7.</b> Résistance à la flexion des BFM (Adj. constant) sous environnement chaud C.....	52
<b>Figure IV.8.</b> Influence de l'environnement sur la flexion pour maniabilité variable .....	52
<b>Figure IV.9.</b> Résistance à la flexion des BFM (Adj. constant) sous environnement D	53
<b>Figure IV.10.</b> Résistance à la flexion de BFM 1,25% (Adj constant) a différents climats	54
<b>Figure IV.11.</b> Résistance à la flexion de BFM 1,5% (Adj constant) a différents climats...	55
<b>Figure IV.12.</b> Résistance à la flexion de BFM 1,75% (Adj constant) a différents climats	55
<b>Figure IV.13.</b> Résistance à la flexion de BFM 2 % (Adj. constant) à différents climats...	56
<b>Figure IV.14.</b> Résistance à la flexion de BFM 2.25 % (Adj. constant) à différents climats	57
<b>Figure IV.15.</b> Taux d'adjuvant en fonction de la teneur en Fibre (Maniabilité constante) ...	58
<b>Figure IV.16.</b> Résistances des BFM à la compression 28 jours (Différents taux) (Maniabilité constante).....	59
<b>Figure IV.17.</b> Courbe contrainte déformation (Compression) (Maniabilité Constante) ....	60
<b>Figure IV.18.</b> Module de Young (Différents taux) (Maniabilité constante) .....	61
<b>Figure IV.19.</b> Résistances des BFM à la flexion à environnement ambient. (Maniabilité constante) .....	62
<b>Figure IV.20.</b> Résistances des BFM à la flexion à Différents % fibre. (Maniabilité constante) .....	62
<b>Figure IV.21.</b> Résistances des BFM à la flexion à environnement ambient. (Maniabilité constante) .....	64
<b>Figure IV.22.</b> Résistances des BFM à la flexion à l'environnement alterné. (Maniabilité constante) .....	65
<b>Figure IV.23.</b> Résistances de BFM 1,25% à la flexion différente Climats. (Maniabilité	



## *Liste des Figures*

---

constante) .....	66
<b>Figure IV.24.</b> Résistances de BFM 1,5% à la flexion différente Climats. (Maniabilité constante) .....	66
<b>Figure IV.25.</b> Résistances de BFM 1,75% à la flexion différente Climats. (Maniabilité constante) .....	67
<b>Figure IV.26.</b> Résistances de BFM 2 % à la flexion différents Climats. (Maniabilité constante) .....	68
<b>Figure IV.27.</b> Résistances de BFM 2,25% à la flexion différente Climats. (Maniabilité constante) .....	68
<b>Figure IV.28.</b> Résistances de BFM à la compression.....	69
<b>Figure IV.29.</b> Module de Young des BFM.....	70
<b>Figure IV.30.</b> Résistances de BFM à la Flexion conservation à l'air libre.....	71
<b>Figure IV.31.</b> Résistances de BFM à la Flexion Protocole B .....	72
<b>Figure IV.32.</b> Résistances de BFM à la Flexion Protocole C .....	72
<b>Figure IV.33.</b> Résistances de BFM à la Flexion Protocole D .....	72

## Liste des Tableaux

---

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

## Liste des symboles et abréviations

---

**BAP** : Béton auto plaçant

**BF** : Béton fibré

**BFM** : Béton de fibres métalliques

**BO** : Béton ordinaire

**BSF** : Béton sans Fibre

**BSP** : Béton avec sous-produits industriels

**BT** : Béton témoin

**BTPH** : Société de bâtiments, travaux public et hydraulique Hasnaoui

**FM** : Fibre métallique

**GSH** : Groupe des sociétés Hasnaoui

**ISO** : International Organization for Standardization

**LCPC** : Laboratoire central des ponts et chaussées

**OHSAS** : Occupational Health and Safety Assessment Series

**SFI** : Béton avec fibres industrielles

## Introduction générale

---

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 [1].

L'intérêt des fibres est d'agir comme des armatures à l'intérieur du béton, permettant de répartir la fissuration. Elles sont plus efficaces que les armatures traditionnelles vis-à-vis des fissures, 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.

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) afin de donner les mêmes chances de distribution et orientations des fibres dans la matrice de béton et pour avoir un mélange propice à l'obtention de la même dispersion des fibres [1].

C'est dans cette optique que s'insère notre travail qu'on a dressé 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 suivie d'une comparaison entre le comportement du béton fibré avec ouvrabilité avec celui d'une ouvrabilité constante pour sortir d'une conclusion générale [1].

## I.1. Entreprise d'accueil

Pour répondre à une forte demande nationale du secteur de la construction, le GROUPE DES SOCIÉTÉS HASNAOUI «GSH», dispose d'importantes capacités de réalisation et de production, parfaitement intégrées à ses métiers de base en reposant sur une stratégie axée sur le développement de partenariats internationaux, ce qui lui a permis au fil des années d'acquérir un savoir-faire, qui lui donne cette possibilité unique en Algérie d'intégrer continuellement de nouveaux systèmes et processus faisant appel aux technologies les plus avancées.



Figure I.1. Groupe des sociétés Hasnaoui «GSH»

## I.2. Création et construction

Depuis la création de la première société du groupe en 1974, la zone industrielle a sidi bel abbés. Le pôle construction n'a cessé de croître par l'intégration de nouveaux métiers et l'innovation en matière de matériaux et techniques de construction, permettant d'offrir aujourd'hui à travers ses différentes filiales une large gamme de produits : Agrégats, Aciers façonnés, Béton prêt à l'emploi, Adjuvants pour bétons, Mortiers secs prêt à l'emploi, Portes intérieures en bois, Systèmes pour menuiserie aluminium et Revêtements décoratifs en pierres naturelles.

## I.3. Organisation du groupe

L'association des activités et l'importante intégration des composants pour la construction ainsi que la validation par la certification aux normes internationales confèrent au Groupe :

- Une conviction dans l'art de construire,
- Une autonomie de prise en charge des différents projets,
- Une maîtrise de la gestion des projets, assurant ainsi une position concurrentielle incontestable et de meilleures parts de marché [1].

### I.3.1. Forme juridique

Société par actions [1].

#### **I.4. Activités**

Une expérience et un savoir-faire de plus de quarante ans, qui permettent au Groupe des Sociétés Hasnaoui d'identifier et de répondre aux attentes des intervenants dans l'acte de bâtir, essentiellement les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'œuvre, en les accompagnant notamment dans les phases d'études et de conception des projets en proposant des solutions constructives et des matériaux durables avec un référentiel normatif.

Pour faire connaître ses matériaux de construction, le GROUPE DES SOCIÉTÉS HASNAOUI « Pole Construction », a choisi de s'inscrire dans une démarche de vulgarisation qui repose sur des prescriptions techniques, conformément aux dispositions normatives et réglementaires en vigueur.

Dans le présent site de prescriptions techniques des matériaux et des produits du GROUPE DES SOCIÉTÉS HASNAOUI, une attention particulière est accordée à la classification des matériaux, aux caractéristiques techniques et normatives, aux domaines d'application et aux méthodologies et recommandations de mise en œuvre. Et parmi ces filières se trouve la filière BTPH, qui est la filière spécialisée dans le béton, et c'est la filière dans laquelle j'ai pratiqué le stage.

#### **I.5. Politique qualité**

Conscient de l'environnement concurrentiel qui entoure l'activité et que la force de toute entreprise réside dans ses méthodes de gestion, le Groupe des sociétés HASNAOUI a décidé d'entreprendre une démarche Qualité afin de capitaliser et formaliser l'expérience cumulée durant quarante années d'activité.

C'est dans cet esprit que le Groupe des Sociétés HASNAOUI s'engage à mettre en place et à maintenir une démarche globale d'amélioration de la Qualité, de respect de l'Environnement et de développement durable, de la santé et de la sécurité conformément aux référentiels ISO 9001 version 2015 et ISO 14001 version 2015 et OHSAS 18001 version 2007. Cette satisfaction implique un changement en profondeur dans tous les domaines d'activité du Groupe des Sociétés HASNAOUI pour offrir des matériaux de construction, des logements et des services de qualité.

Groupe des sociétés Hasnaoui [1]

**II.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 ! [2].

L'une des caractéristiques mécanique 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.

**II.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 mécaniques. 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 :

**II.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.

**II.2.1.1 – 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 ;

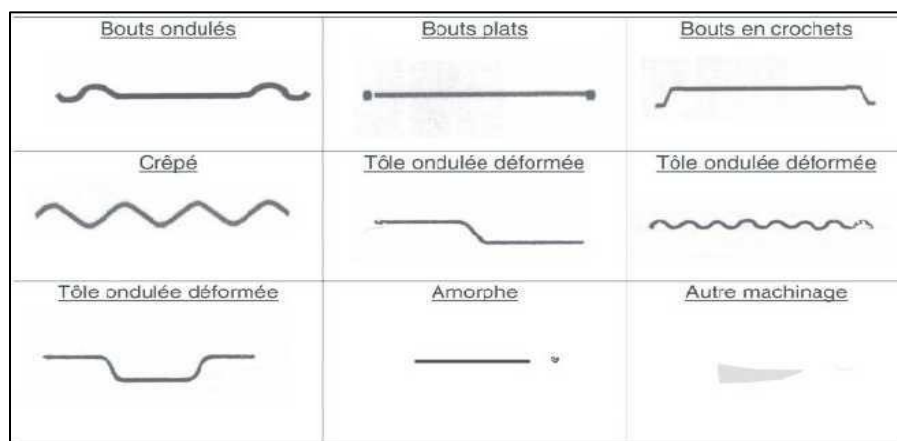
- Bonne adhérence avec la matrice.
- Bonne résistance à l'humidité et à la corrosion.
- Faible conductibilité thermique.

**II. 2.1.2– Fibres métalliques**

Leur résistance à la traction doit être supérieure à 1000 MPa selon la norme NF EN ISO 16120-2 et [3]. 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 [4].

Les fibres métalliques sont de types et de formes variées et présentent une très bonne compatibilité avec le béton. La figure II.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 II.1-** Formes des fibres métalliques.



**II. 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 polyoléfinés 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, 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 est 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 II.2** : Fibres polypropylène.

**II.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 [5].

### **II.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 [6]. 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'homogénéité du composite dépend de trois facteurs essentiels à savoir :

La géométrie des fibres définit par l'élancement, 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 [7].

Les granulats du matériau doivent avoir des dimensions permettent leurs encadrements par la fibre [8], 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.

#### **II.4- Avantages du béton fibré**

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

##### **II.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.

##### **II.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.

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

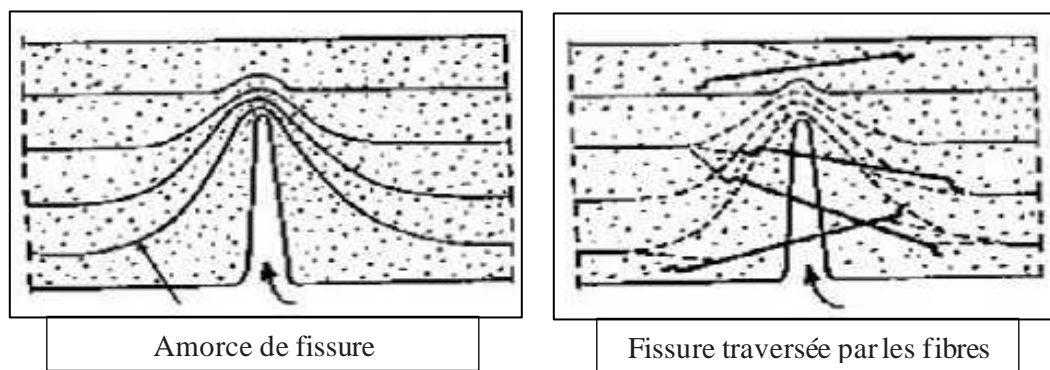
Lorsque les charges appliquées au béton s'approchent de la charge de rupture, les fissures se propagent, parfois rapidement. Les fibres noyées dans le béton jouent le rôle de « couture » des fissures Fig. II.3. En effet la longueur maximale d'une microfissure est de l'ordre de la dimension des plus gros granulats [9]. La longueur moyenne de fibres utilisées est supérieure à

---

la dimension du plus gros granulats. Les fibres empêchent la propagation des microfissures qui peuvent s'agrandir par

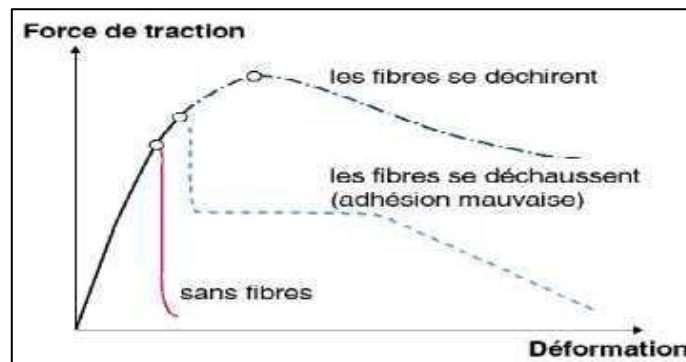
- Allongement élastique ou plastique des fibres.
- Effritement de la matrice de béton au voisinage de la fibre.
- Glissement des fibres
- Rupture des fibres.

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 II.3). Sont tendues et soumises au cisaillement, les fibres absorbent une partie d'énergie qui conduit à la propagation des microfissures.



**Figure II.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 II.4).



**Figure II.4** - Apport du renfort par des fibres (Essai de traction) [10].

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,

**Tableau. II.1** Domaine d'application de béton fibré [11].

<b>Domaine d'application</b>	<b>Intérêt de l'ajout des fibres dans le béton</b>
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

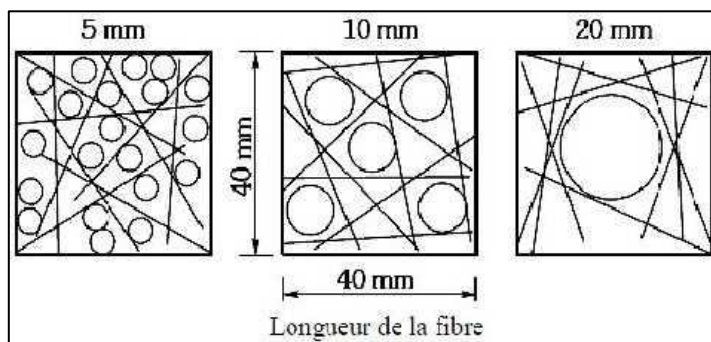


**Figure II.5** – utilisation des fibres métalliques dans les dallages industriels

### II.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 :

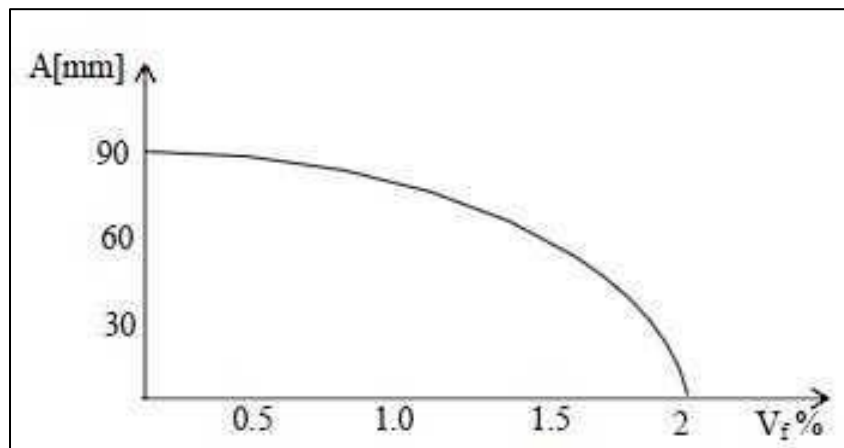
La porosité du squelette granulaire est d'autant plus grande que le volume de fibres est important [12]. Pour que les fibres soient efficaces à l'état durci, il est recommandé de choisir des fibres plus longues que la taille du plus gros granulat [Johnston 1996] (Figure II.6), suivant des proportions 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. II.6** Effet de la taille des granulats sur la distribution de fibres [13].

L'introduction de fibres entraînant une diminution de l'affaissement estimé entre 50 et 75 mm [14]. 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 II.7)

L'ajout d'un super plastifiant est donc fortement conseillé afin de remédier à cette perte d'ouvrabilité [14].



**Figure. II.7** – Effet des fibres sur la maniabilité de béton. [15].

concretes with different aspect ratio of the fibers.

## II.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.

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 [16] 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.

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.

### II.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.

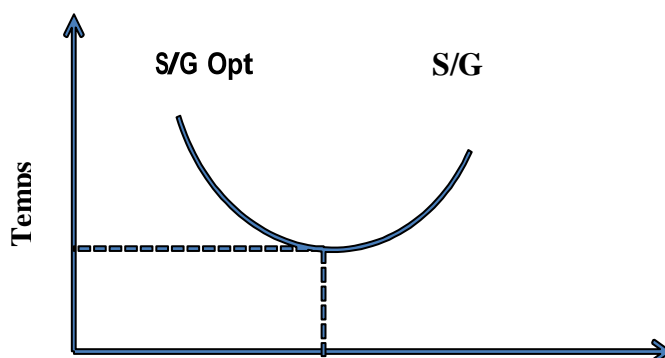


Figure I.8 – Recherche de la maniabilité du rapport S/G optimal

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.

### II.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.



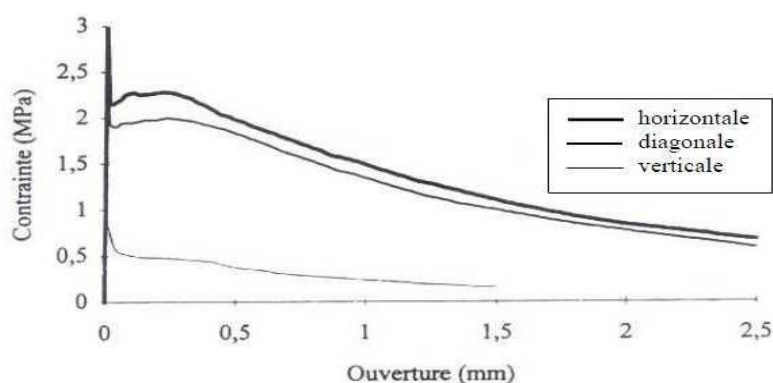
### II.8.1 – Nature des fibres

L'amélioration des propriétés de béton fibrés est fonction de type de fibre incorporé dans le béton. Les travaux menés par [17] 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.

### II.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 [18], 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. II.5.



**Figure II-9** Influence de la direction du carottage sur le comportement en traction d'un béton fibré [18,19].

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 [20,21].

**II.8.3 – Forme et longueur de la fibre**

L'élançement ou le rapport longueur/diamètre joue un rôle prépondérant dans la maniabilité d'un béton renforcé de fibres (notamment métalliques) [22,23,24]. Pour un dosage en fibre donné, plus l'élançement est important, plus la maniabilité du béton diminue. Rossi explique ceci par deux constatations empiriques [24] :

- Pour une longueur de fibre et un volume donné, 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.

**II.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 [25] ont montré que :

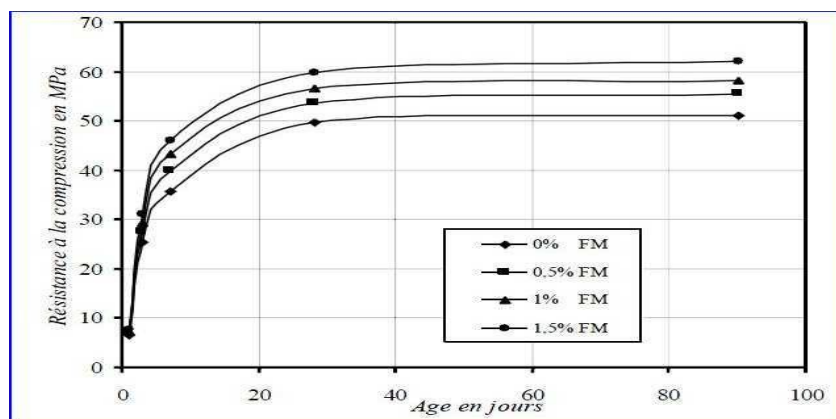
- L'ouvrabilité diminue avec l'augmentation de la teneur en fibres métallique ;
- La résistance à la compression et à la flexion augmente avec l'augmentation du pourcentage des fibres pour arriver à un maximum correspond à un dosage respectivement de 3,0% et 4,0%, des fractions volumiques de fibres ;
- 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.

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

### II.9.1 - Comportement en compression

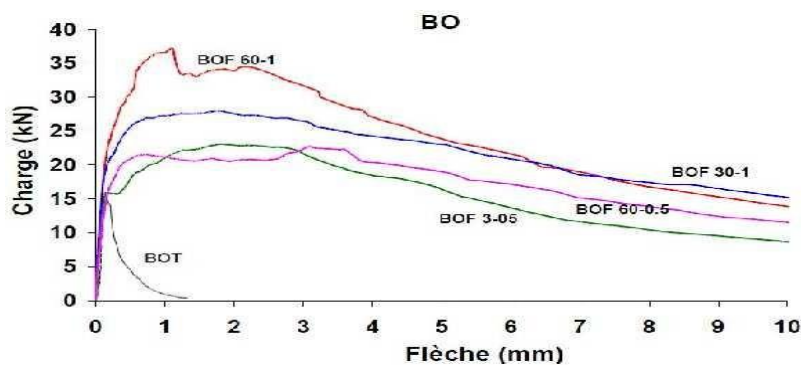
La résistance à la compression simple d'un ouvrage est la donnée de base pour le calcul de la structure en béton armé. La plupart des résultats de la littérature concernant les bétons de fibres montrent une légère augmentation de l'effort maximum de compression avec la teneur en fibres mais au détriment de la maniabilité [23,26].

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 [4].



**Figure II.10** - Évolution du gain de résistance compression du béton renforcé de fibres [27].

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 [28].



**Figure II-11** Influence de la teneur et longueur de fibres métalliques sur le comportement en compression d'un béton fibré [28].

**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.

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.

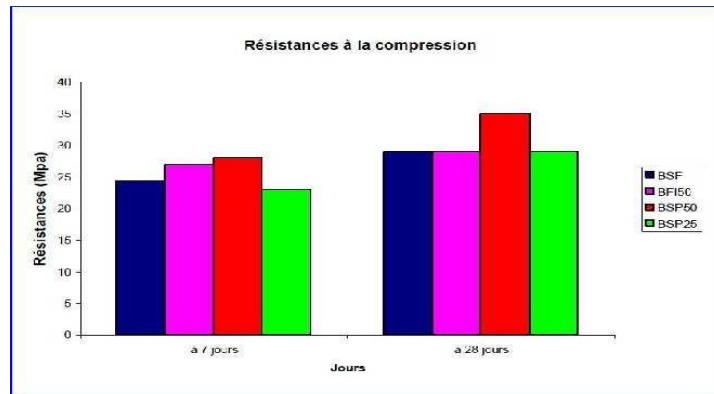


Figure II.12. Résistance à la compression

**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

**II.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 a 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 [27].

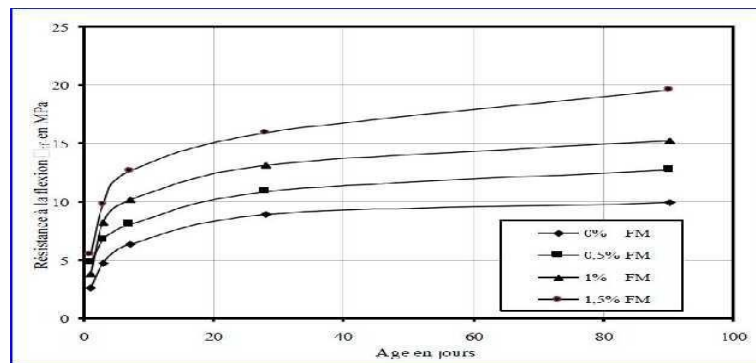


Figure II.13. Résistance à la flexion du béton renforcé de fibres en fonction du temps

[27].

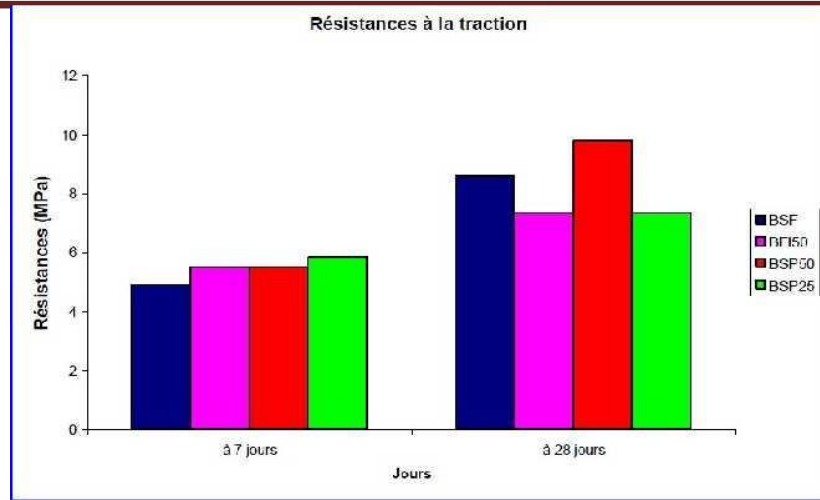


Figure II.14- Résistances à la traction

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

II.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.

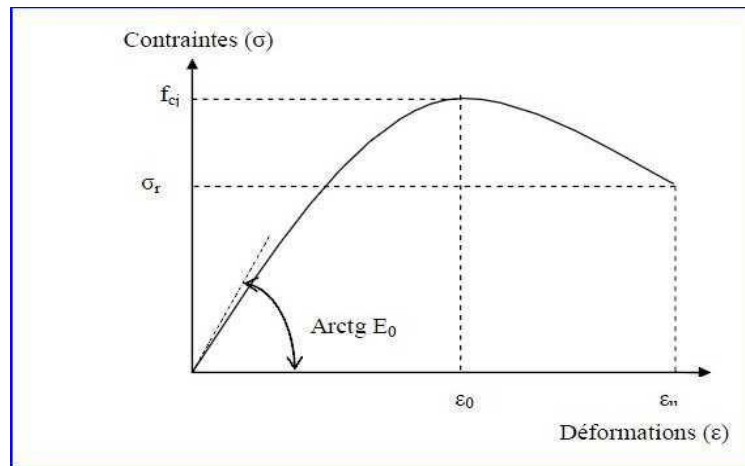
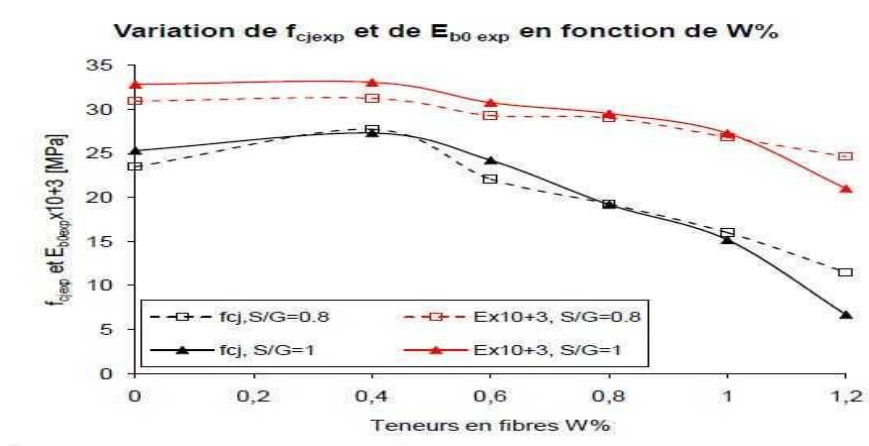


Figure II.15 : Exemple de diagramme contrainte - déformation en compression ( $E_0$ , module de Young)

[30] 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 [31].

Selon les travaux [31], 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 tende 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 II.16.



**Figure II.16** Évolution de la résistance en compression et du module de Young expérimental en fonction de la teneur en fibre [31].

#### II.9.4 La norme NF EN 12390 :

Un nouveau référentiel d'essais a été mis au point dans le contexte de la norme EN 206-1. Il comporte 20 normes d'essais mesurant les caractéristiques du béton :

- 12 sur béton frais vibré ou autoplaçant (série NF EN 12350)
- 8 sur béton durci (série NF EN 12390).

#### II.10 - Conclusion du chapitre I

Dans ce chapitre nous avons résumé, l'état de connaissance sur l'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 renforcé 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).

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 BTPH, Hassnauï selon le plan suivant :

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

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

**III.1 .1 - Granulats**

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

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

**III.1.1.A.1 Sable**

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

**Tableau. III.1** Analyse granulométrique du sable.

Ouverture des tamis (mm)	Masse de Refus Ri (g)	rccentage 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

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 .

**III.1.1.A.2 Gravier 3/8**

**Tableau. III.2** Analyse granulométrique du Gravier 3/8 (1600 g).

Ouverture des tamis (mm)	Masse de Refus Ri (g)	Pourcentage de refus ( $R_i/M_1 \times 100$ )	Pourcentages cumulés de Tamisât : $100-(R_i/M_1 \times 100)$
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			

**III.1.1.A.3 Gravier 8/15**

**Tableau. III.3** Analyse granulométrique du Gravier 8/15 (3000 g).

Ouverture des tamis (mm)	Masse de Refus Ri (g)	Pourcentage de refus ( $R_i/M_1 \times 100$ )	Pourcentage cumulés de Tamisât : $100-(R_i/M_1 \times 100)$
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

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



**III.1.1.B- Caractéristiques physiques**

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

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

**Tableau. III.4.** Caractéristiques physiques de sable

Caractéristique	Unité	Résultat
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

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

**Tableau. III.5.** Caractéristiques physiques Gravier 3/8

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

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

**Tableau. III.6.** Caractéristiques physiques Gravier 8 /15

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

**III.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 :

**Tableau. III.7.** Caractéristiques physiques du Ciment

		<b>Résultats</b>
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

**Tableau. III.8 :** Caractéristiques Mécaniques du Ciment

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

**Tableau. III.9.**Caractéristiques minéralogiques du Ciment

<b>Phase</b>	<b>Constituant minéraux du Clinker</b>	<b>Teneur rapportée au Clinker (%)</b>
Clinker	$\text{C}_3\text{S}$	57
	$\text{C}_2\text{S}$	19
	$\text{C}_3\text{A}$	05
	$\text{C}_4\text{AF}$	13
	CaO.L	01
Régulateur de prise	Gypse	05

ciment commercialisé, conservé est de caractéristique conforme aux normes.

**III.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 :

**Tableau. III.10.**Caractéristiques de Fibre

Caractéristique	Valeur
Longueur	30 mm ± 3 mm
Diamètre	0.375 mm±0.02mm
L des extrémités des crochets	1 mm ≤ L ≤ 3 mm
Amplitude de crochet	h ≥ 0,75 mm
Angle du crochet	α ≥ 20°
R à la traction	R <sub>m</sub> > 1 050 N/mm <sup>2</sup>
Type d’ancrage	fibre avec 2 crochets
Conditionnement	Fibres encollées en plaquette
Facteur d’élanement	80 =L/d = 30/0.75



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

**III.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 [32].

Il présente les caractéristiques suivantes :

**Tableau. III.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

**III.1.5 Eau de gâchage**

L’eau utilisée pour la confection du béton est une eau potable de la ville de SBA. 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>.

**III.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 [1].

**Tableau. III.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 augmenter
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 [33].

**III.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

**B. Dosage en ciment et en eau :**

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

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

Résistance 28jours

$f_{cm}$  : 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 [33].

**Tableau. III.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  $D < 16\text{mm}$  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 :

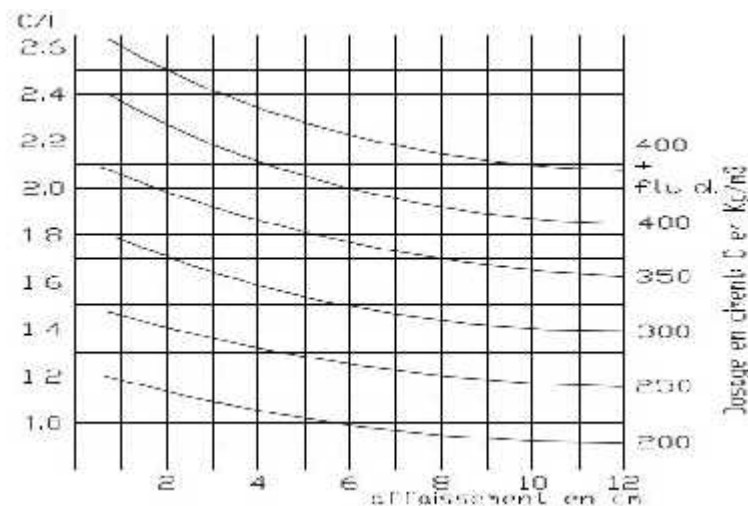
$$\frac{C}{E} = \frac{\sigma_{28}}{G \cdot F_t} + G \dots\dots\dots(\text{III.2})$$

-  $D < 16 \text{ mm}$  donc  $G = 0.45$ , avec une bonne qualité des granulats.

$$\frac{C}{E} = \frac{40.1}{0.4 \times 42.5} + 0.45 = 2.54$$

**C. 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.



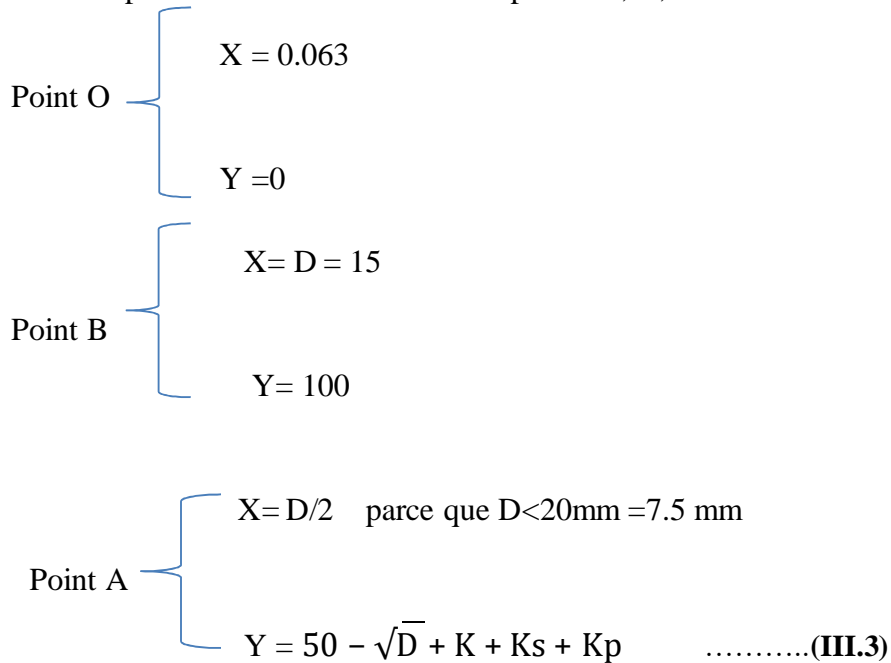
**Figure III. 2-** Graphe indiquant le dosage en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée on déduit le dosage en ciment

$C/E = 2.54$  et  $A = 10 \text{ cm}$  le dosage en ciment 400 Kg plus adjuvant.

$C/E = 2.54$  on déduit  $E = 400 / 2.54 = 157.48 \text{ kg.}$

**D. Courbe de référence**

La courbe de référence a comme point d'origine le point O et passe par le point de brisure A et point final 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.

**Tableau. III.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**

Ks : Coefficient d'ajustement pour les sables.

$$Ks = 6 Mf - 15 = 6 \times 2.83 - 15 = 2 \dots\dots\dots(III.4)$$

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

Kp = 0 si béton non pompable

5 < Kp < 10 si béton pompable.

Kp = 0

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

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

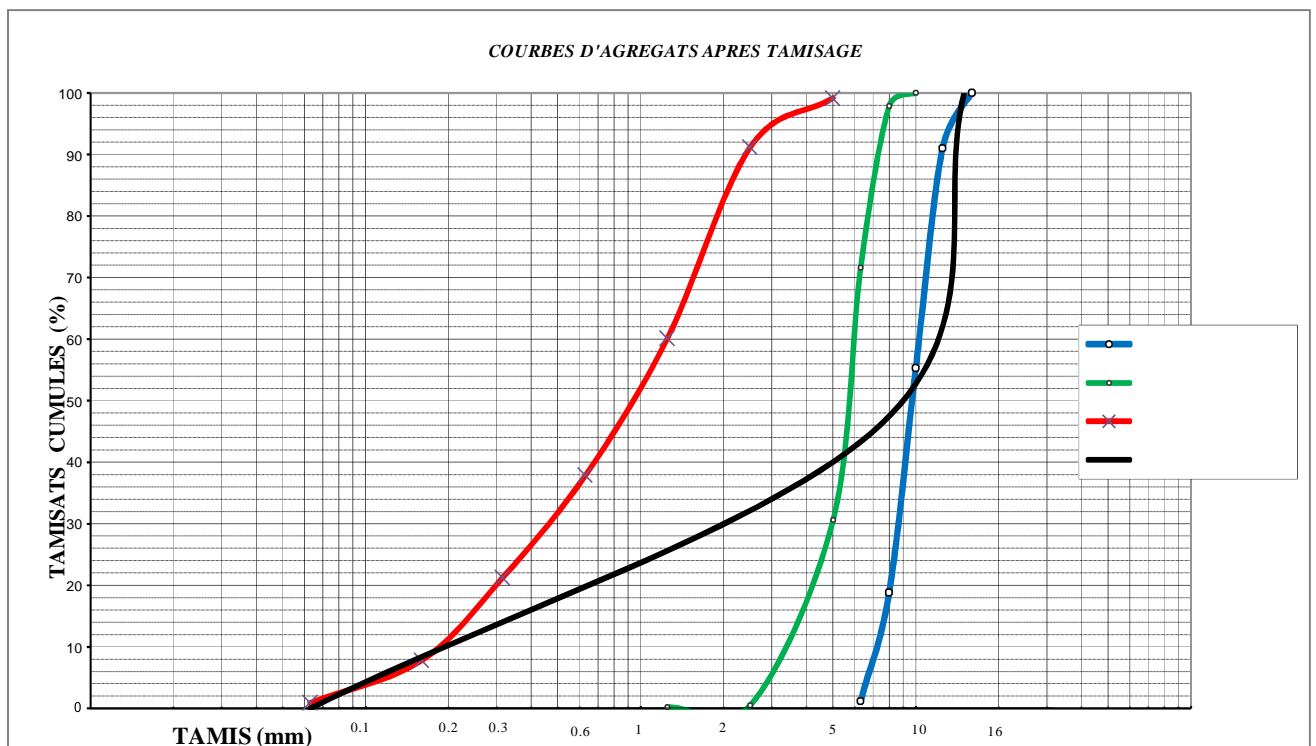
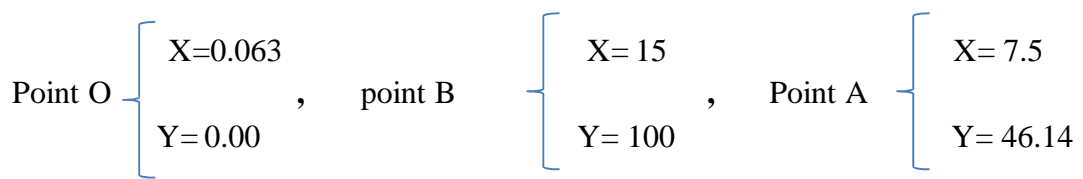


Figure III.3. Courbe de l'Analyse granulométrique.

**E. 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 [1].



**F. 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  $M_{G8/15} = 2.60 \times 278.25 = 842.08 \text{ kg}$

**III.2.B - Mise en œuvre**

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

**III.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 [1].

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 [1].
  - 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 minutes et 30 secondes. 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 III.4.** Malaxeur utilisé

### III.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'air libre dans notre cas [1].



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

## III.3 - Essais sur béton frais

### III.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.



Figure III.6. Affaissement au cône d'Abrahams

### III.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 III.7 [1].

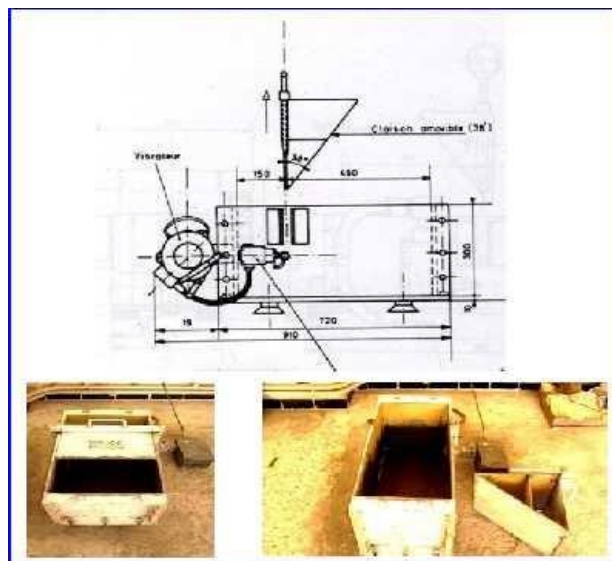


Figure III.7. Maniabilimètre L.C.L

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 cette suite à l'indisponibilité de Maniabilimètre [1].

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

#### **III.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 [33].

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 :

$$F_C = F/A_C \dots\dots\dots(III.5)$$

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

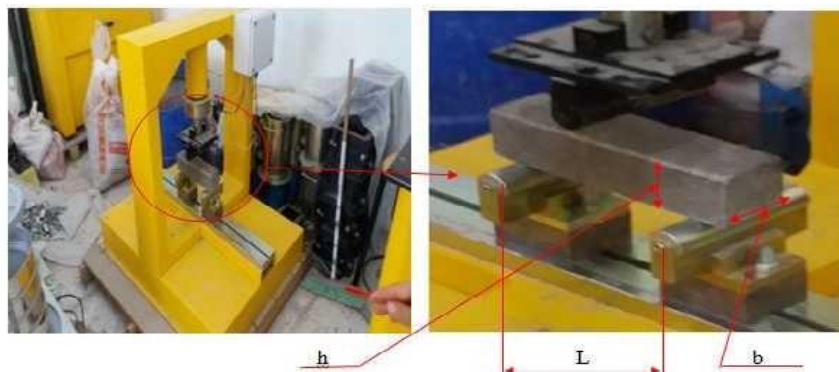


Exemple de mode de rupture

Figure III.8 : Essai de compression simple.

**III.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 III.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. III.9. Essai de traction par Flexion.

$$\sigma_t = \frac{3 \times L \times F}{2 \times b \times h^2} \dots\dots\dots(5)$$

Avec :

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

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

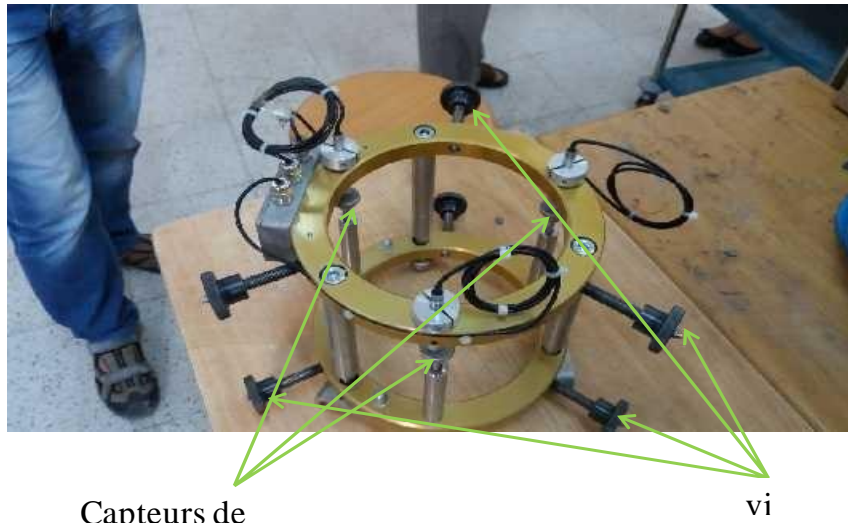
L : la portée en mm, b et h sont la largeur et la hauteur de l'éprouvette exprimées en mm

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

**III.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  $\Delta l$  de l'éprouvette pendant l'essai et par conséquent la déformation [33].



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



**III.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 [1].

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 [1].

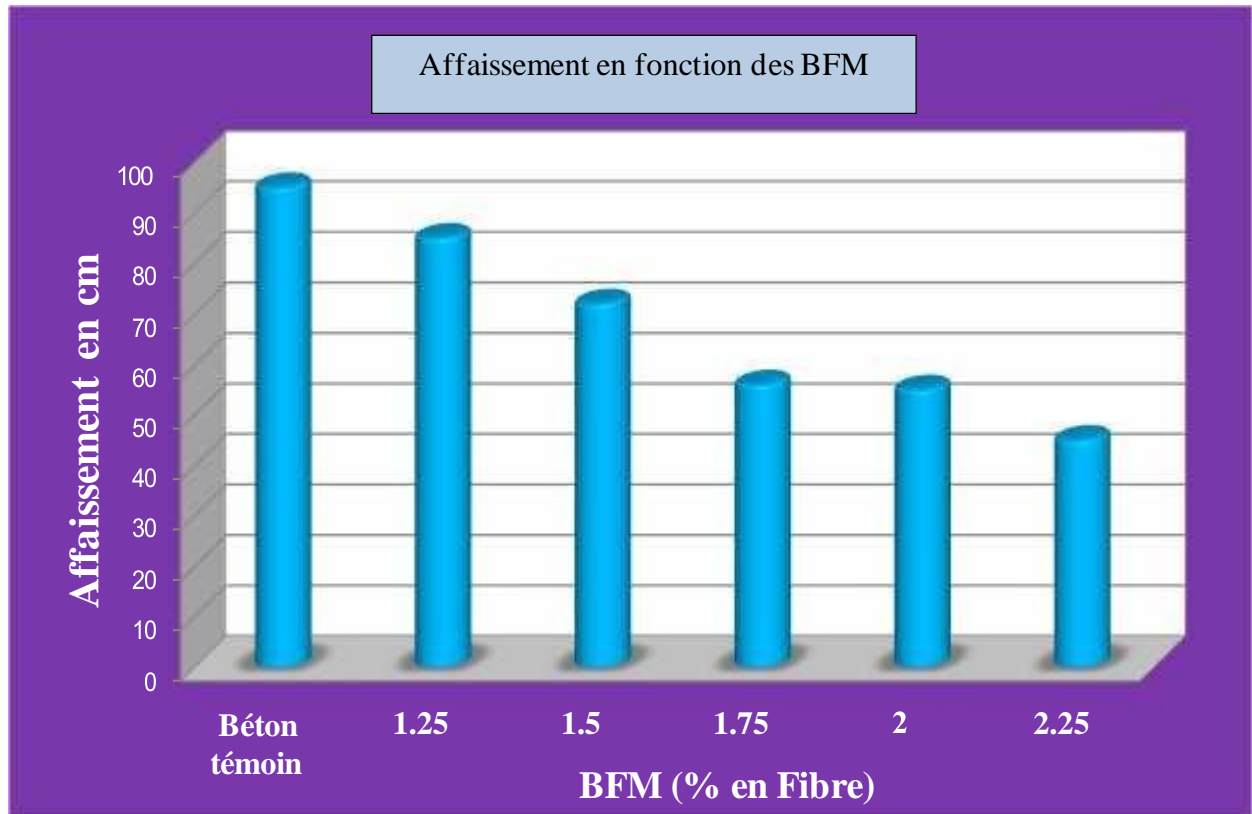
Appellation :

- 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.

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

**Parti 1****Analyse des résultats pour maniabilité variable  
(Taux d'adjuvant constant).****A) à - l'état frais****Figure IV.1.** 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 IV.1. 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 IV 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

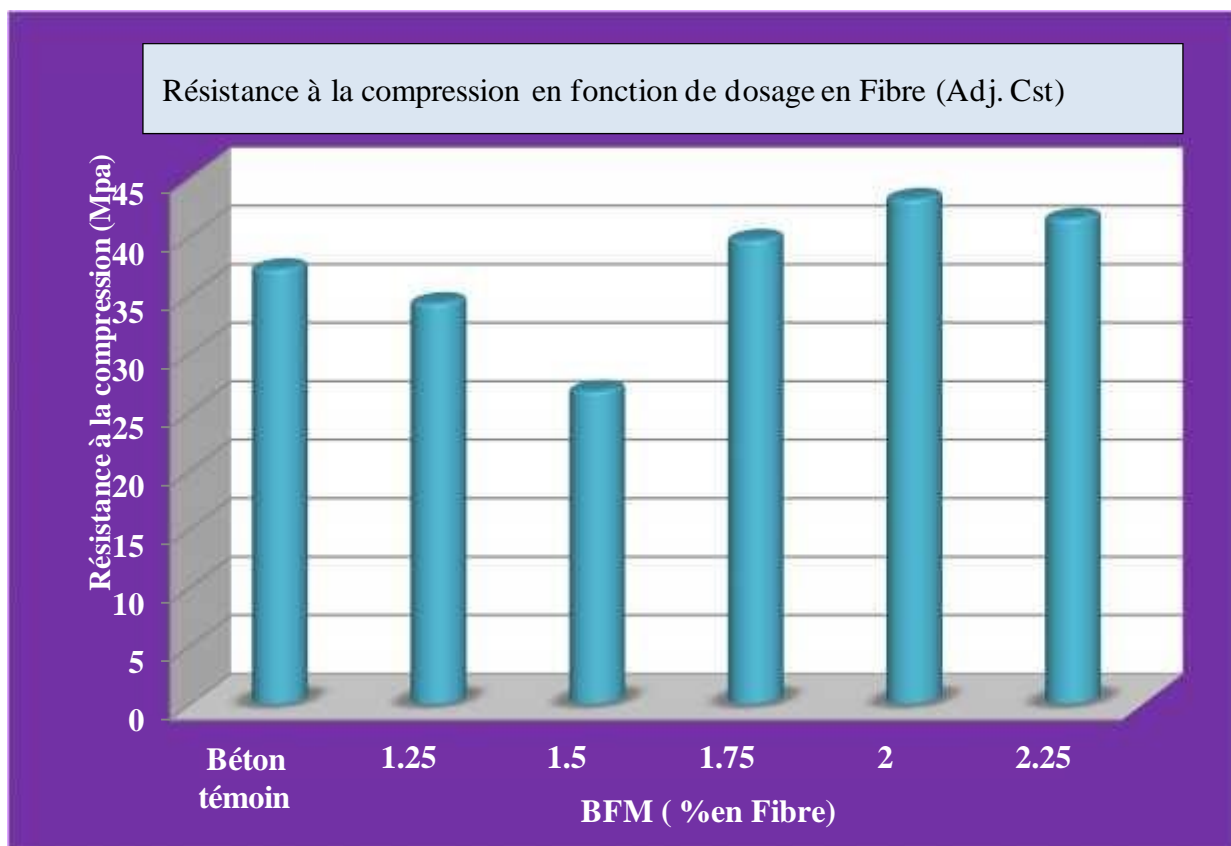


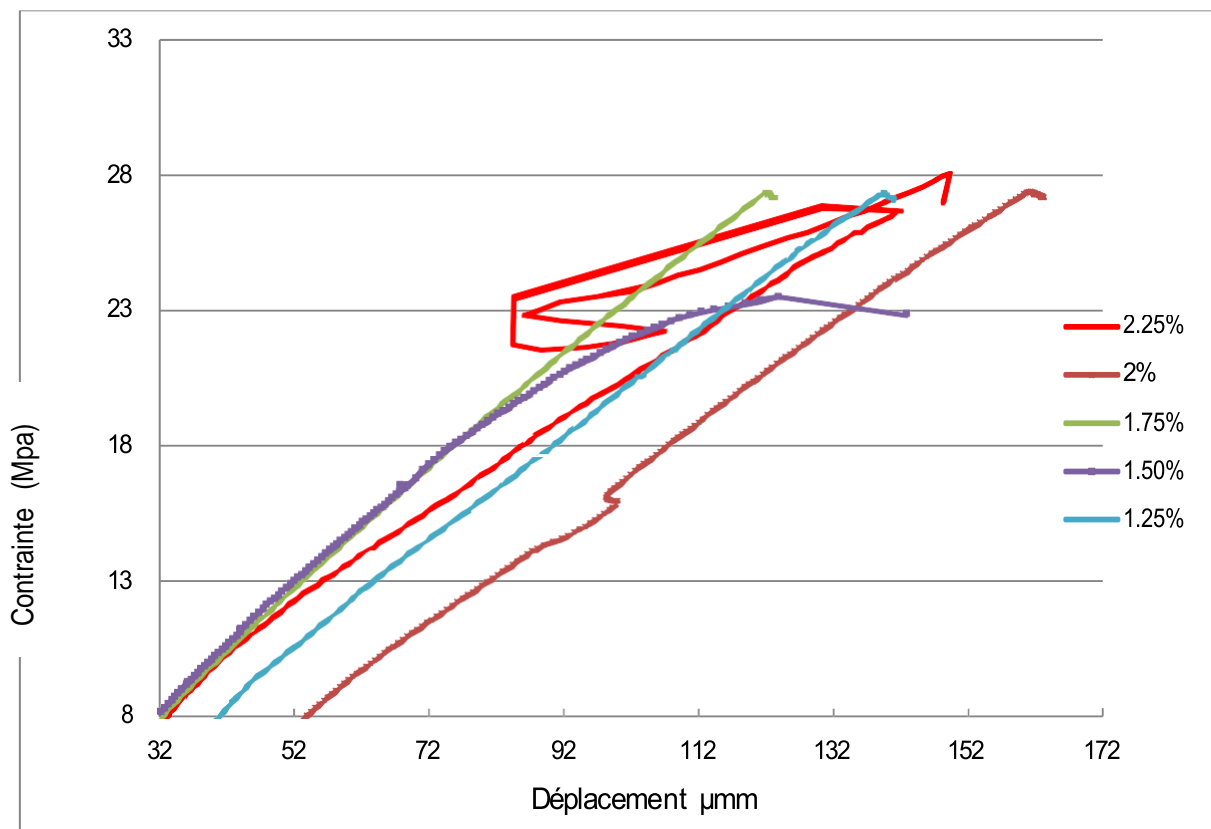
Figure IV.2. Résistances à la compression à 28 jours (Influence des fibres)

On remarque d'après les résultats obtenus, pour les dosages de 1.75 %, 2%, 2.25% 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 donné par le pourcentage 1,75%.

Quand 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 IV.3.** Courbe contrainte déformation (Compression)

De la courbe on figure (IV.2) :

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.

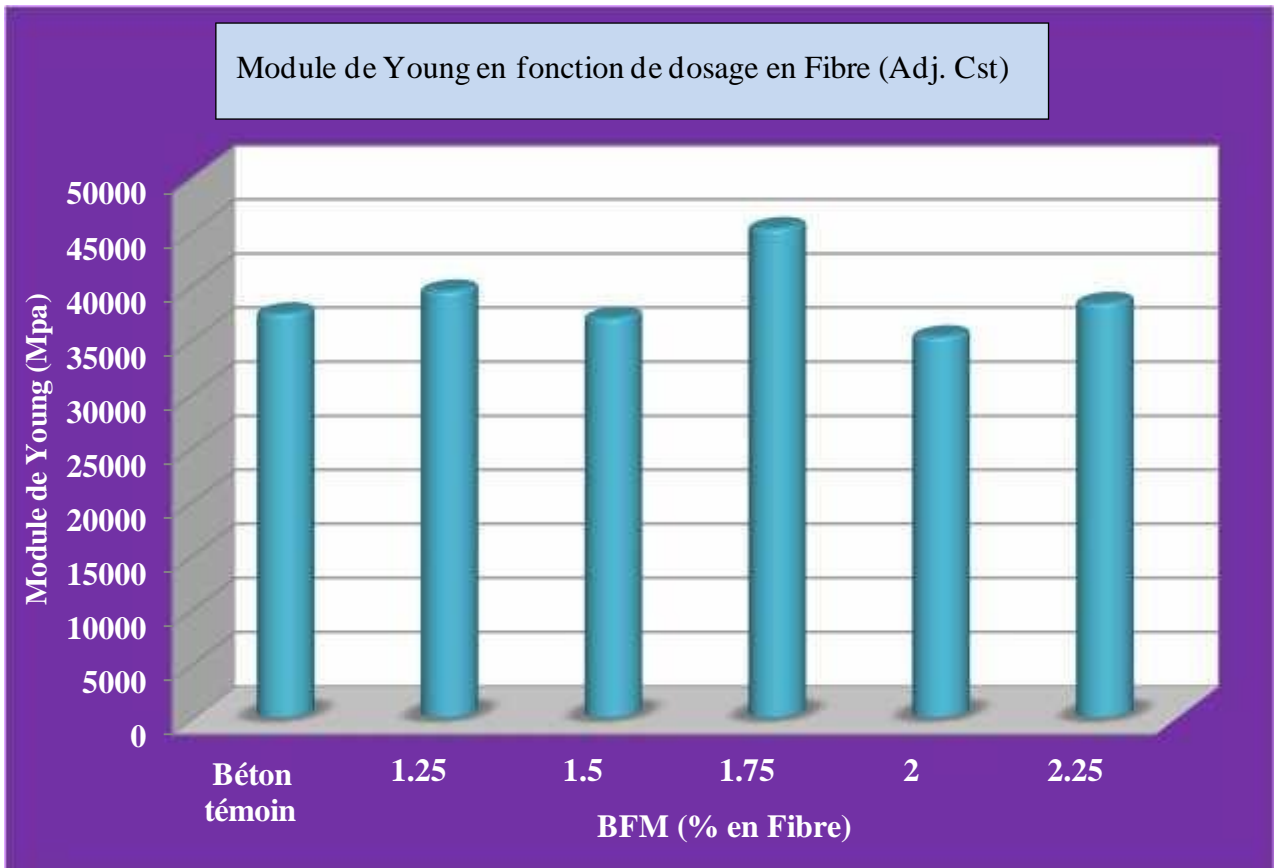
Le mélange à 2,25%, sa courbe est aléatoire à la fin de l'essai. Pour la courbe de 1,5% n'atteint pas la même contrainte de rupture que les autres.

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

- **Module de Young**

**Tableau IV.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 IV.4** Influence des Fibres sur le module de Young.

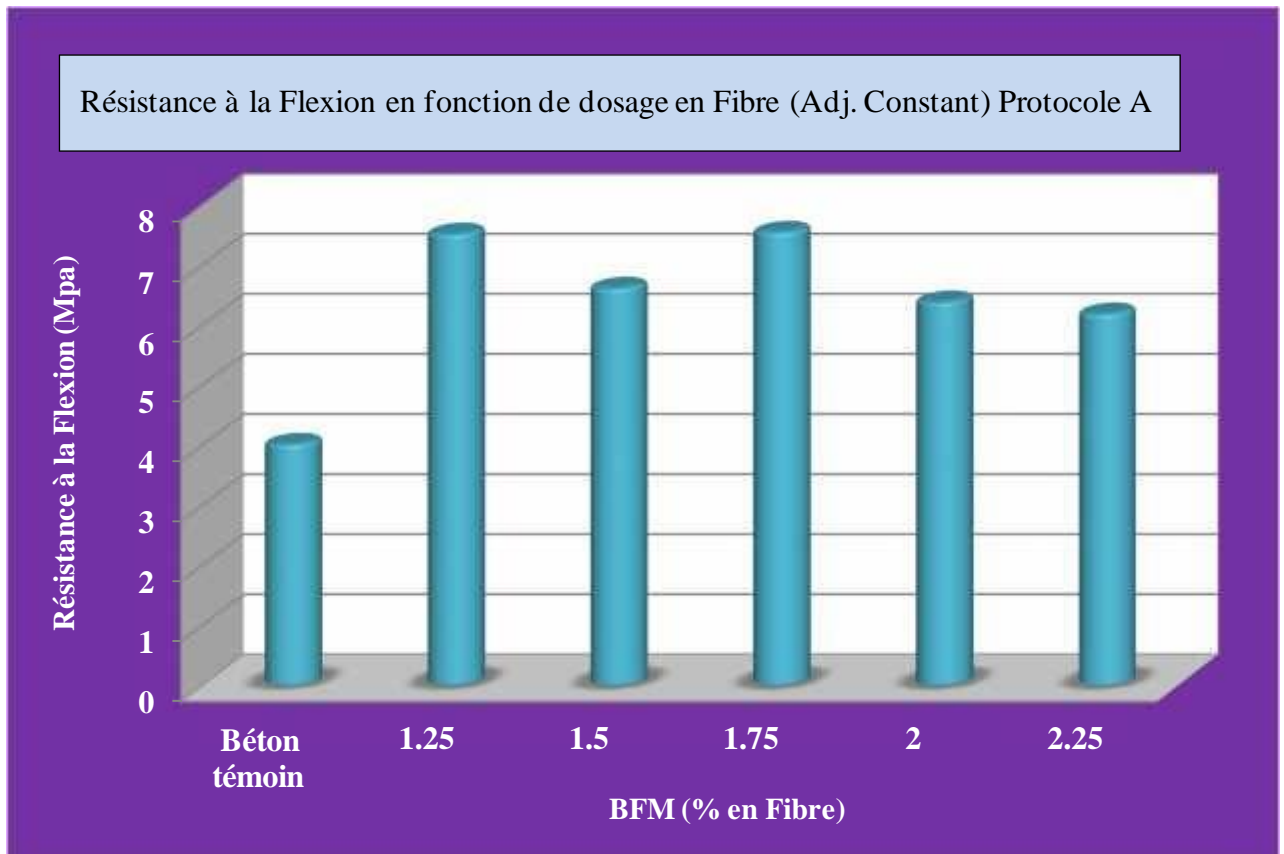
Le béton à 1.75% de fibre présente un module élevé par rapport aux autres dosages de béton,

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 IV.5.** Résistance à la flexion des BFM (Adj. constant) sous environnement ambiant A

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

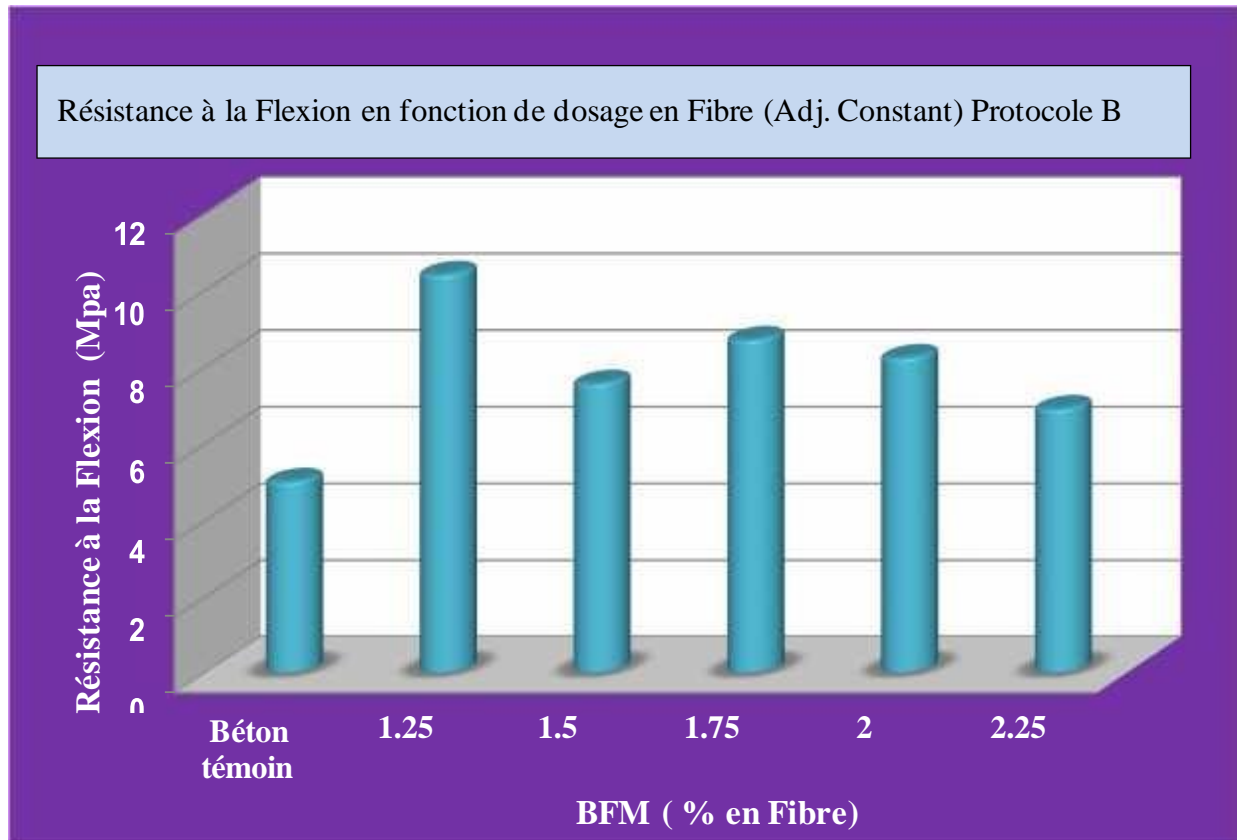
L'amélioration de la résistance à la flexion est de 87% pour un dosage de 1.25% de fibre, 65% pour un dosage de 1.5%, 88% pour un dosage de 1.75 % de fibres, 60% pour un dosage de 2% de fibre et 54% pour un dosage de 2.25 %. A la lumière de ces résultats on peut déduire que le dosage optimum est de 1.75% 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 IV.6. :** 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



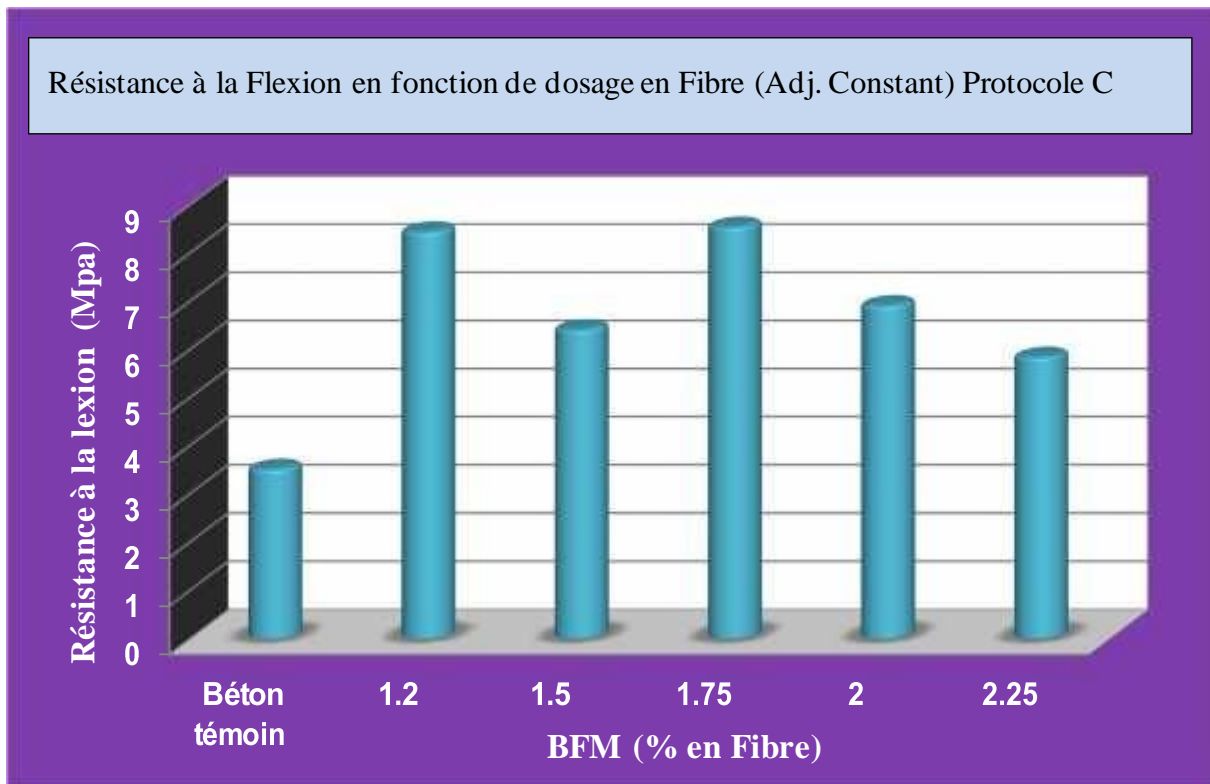


Figure IV.7 : résistance à la flexion des BFM (Adj. constant) sous environnement chaud C

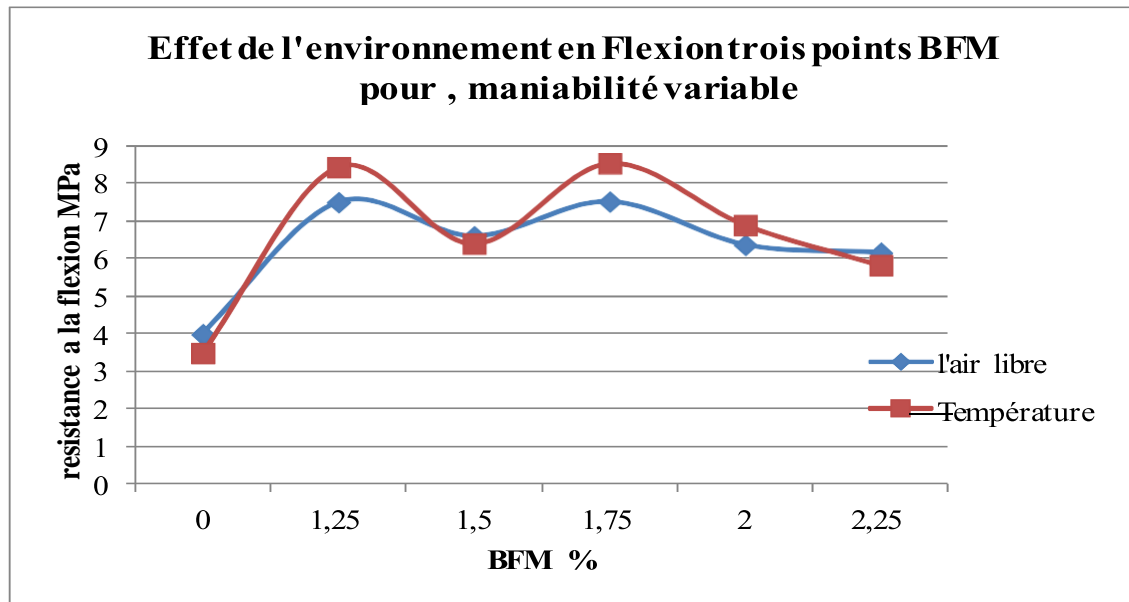


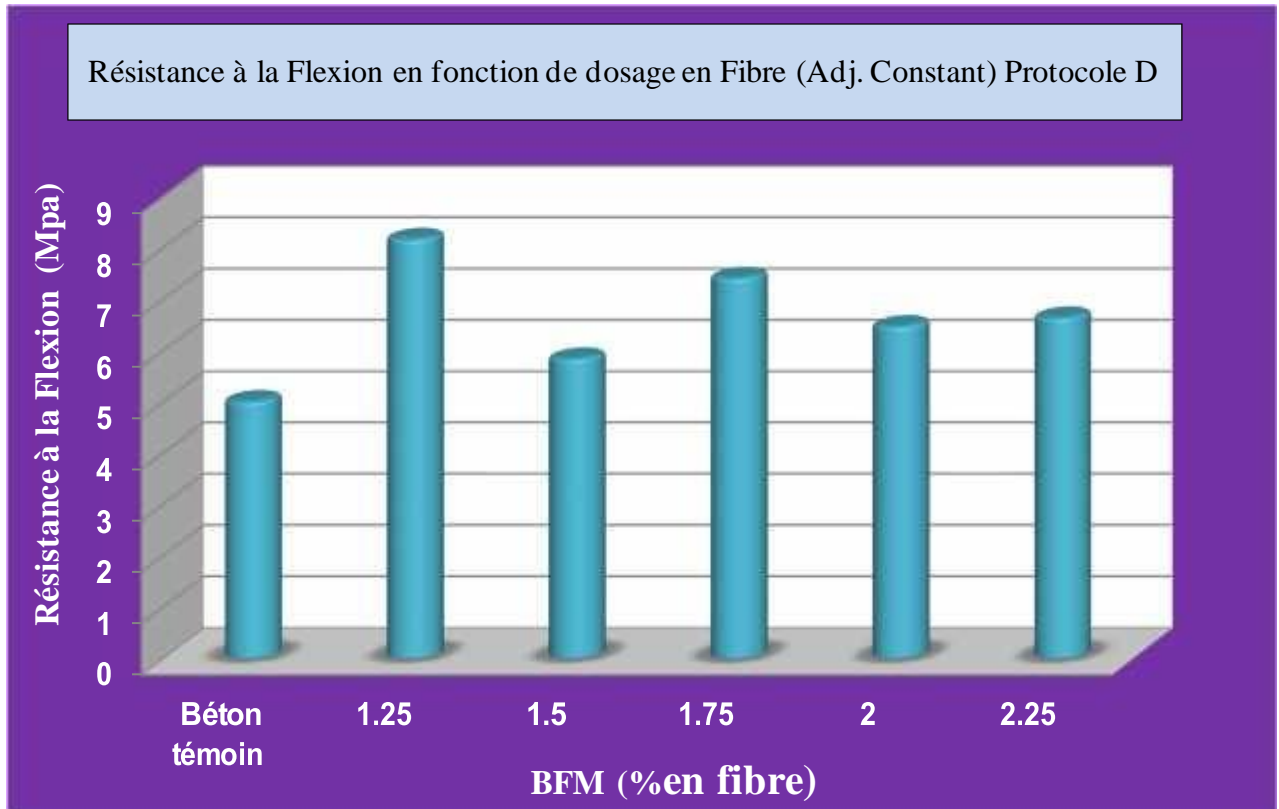
Figure IV.8 Influence de l'environnement sur la flexion pour maniabilité variable

On remarque une 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 IV.9.** Résistance à la flexion des BFM (Adj. constant) sous environnement D

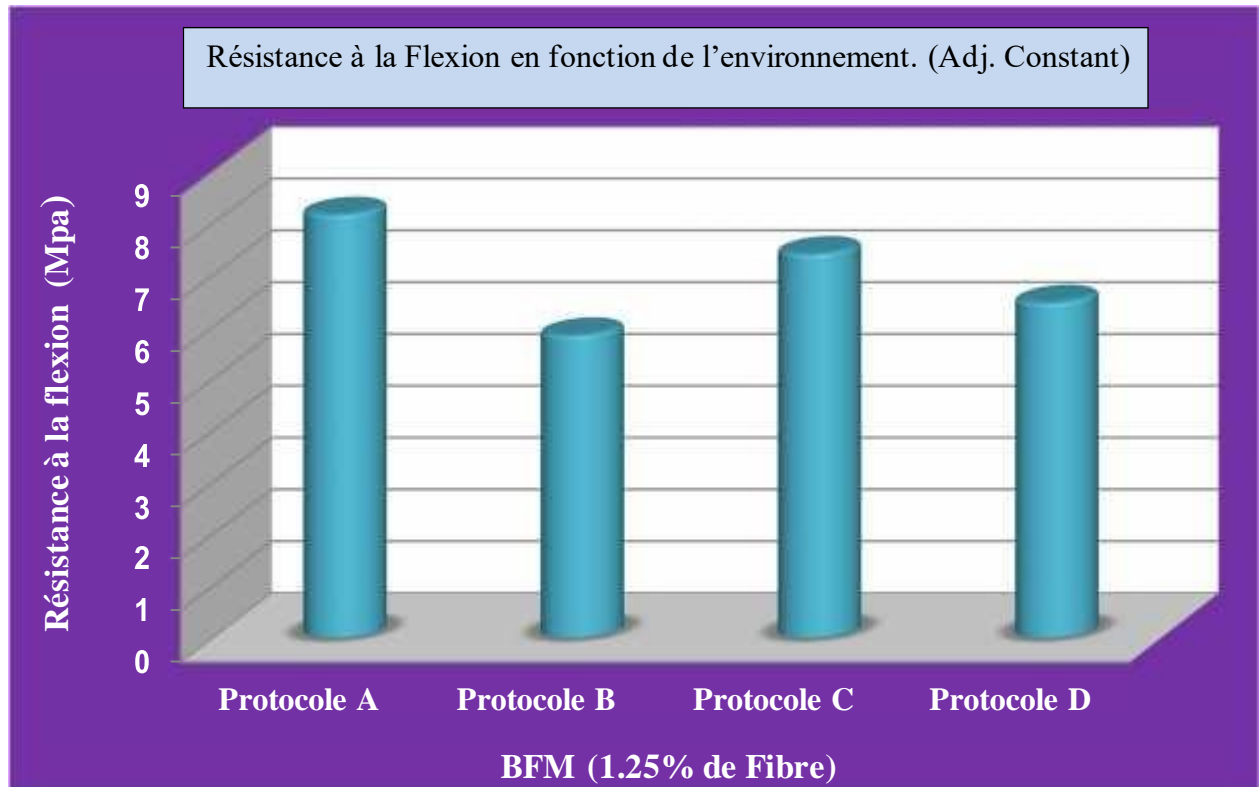
On peut dire que ; le plus faible % est enregistré pour le mélange à base de 1,5%.

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

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

## ✓ Comparaison de même dosage en fibre sous différents environnements

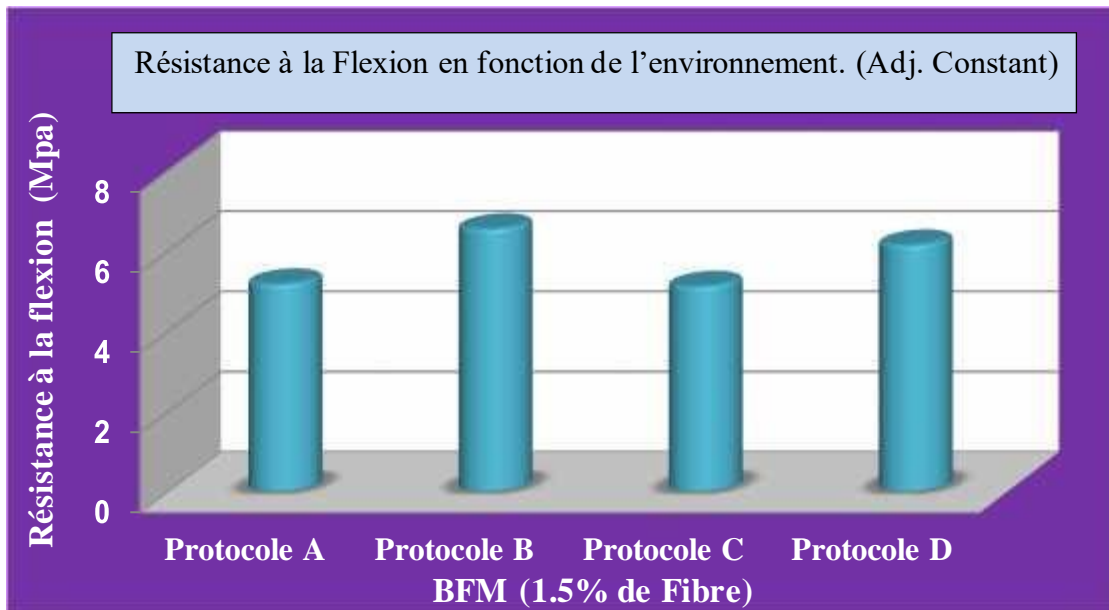
## a) Béton de 1.25% de fibre :



**Figure IV.10** : 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 graphe on conclut que pour le taux de 1,25% de fibre sachant que la valeur de la résistance à la flexion du béton ordinaire est de 4 MPa résiste mieux que le BO pour tous les climats, comme on signale la chute de résistance au climat humide.

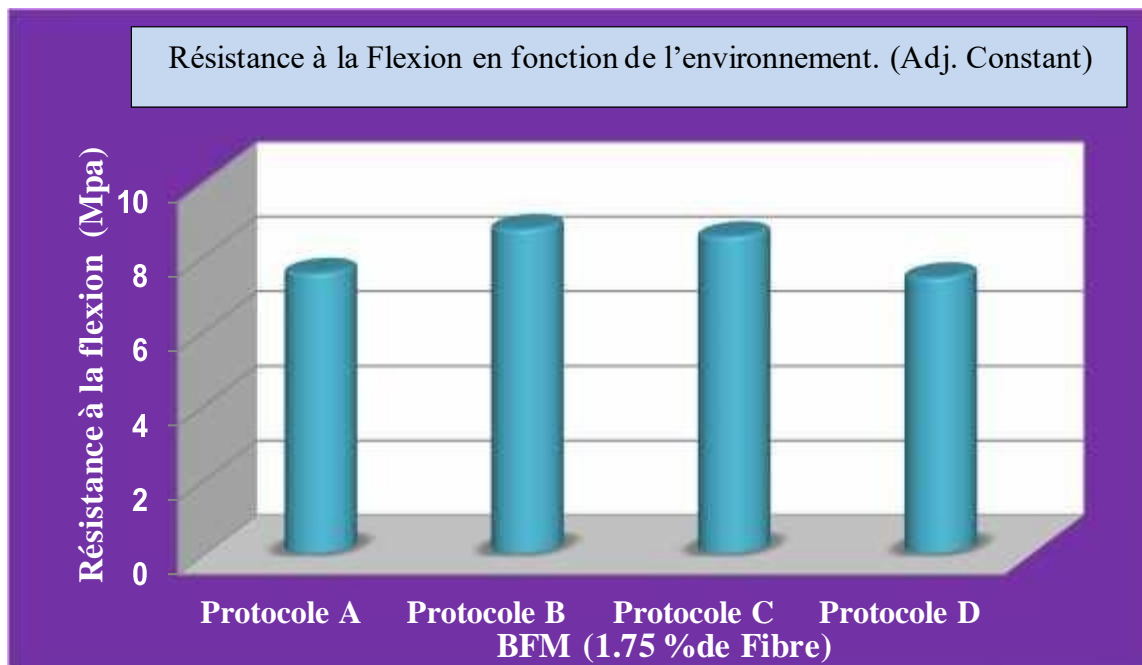
### C.2.2 – Béton fibré de 1.5% de fibre



**Figure IV.11** : 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 IV.12** : Résistance à la flexion de BFM 1,75% (Adj constant) à 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 à 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

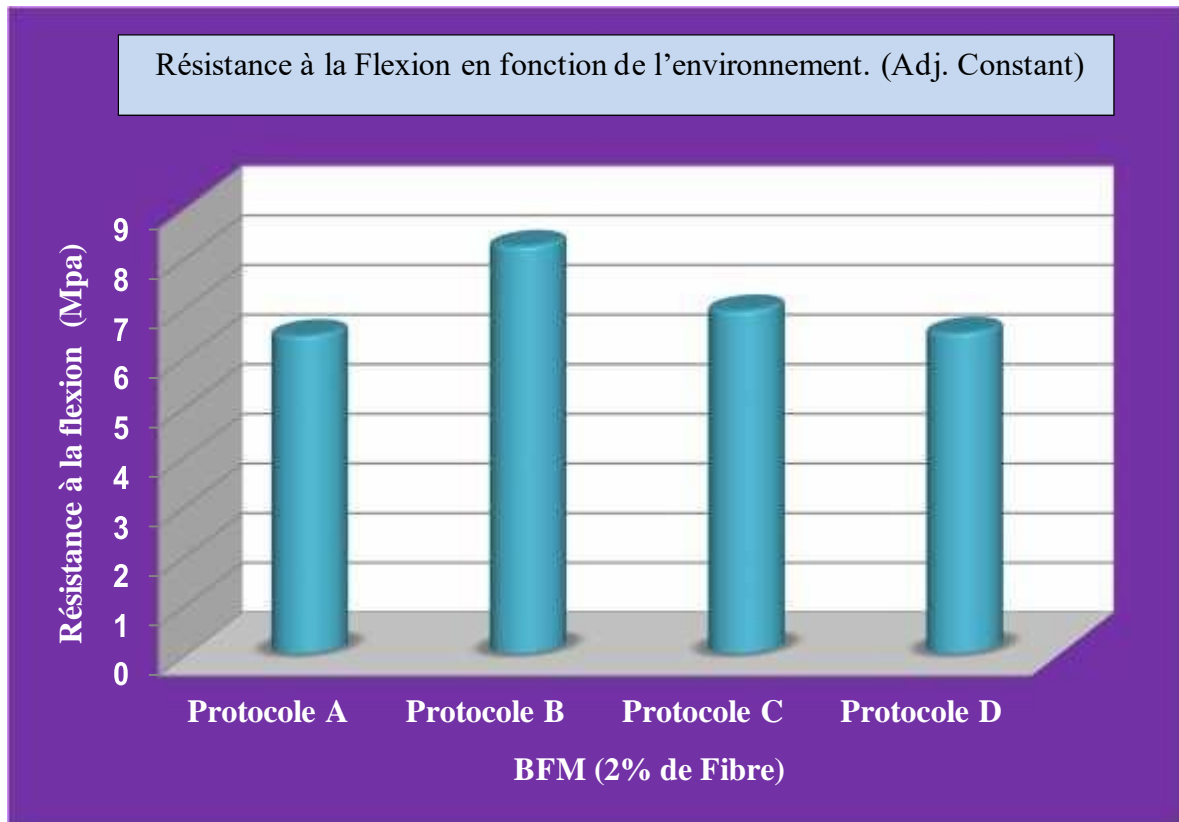
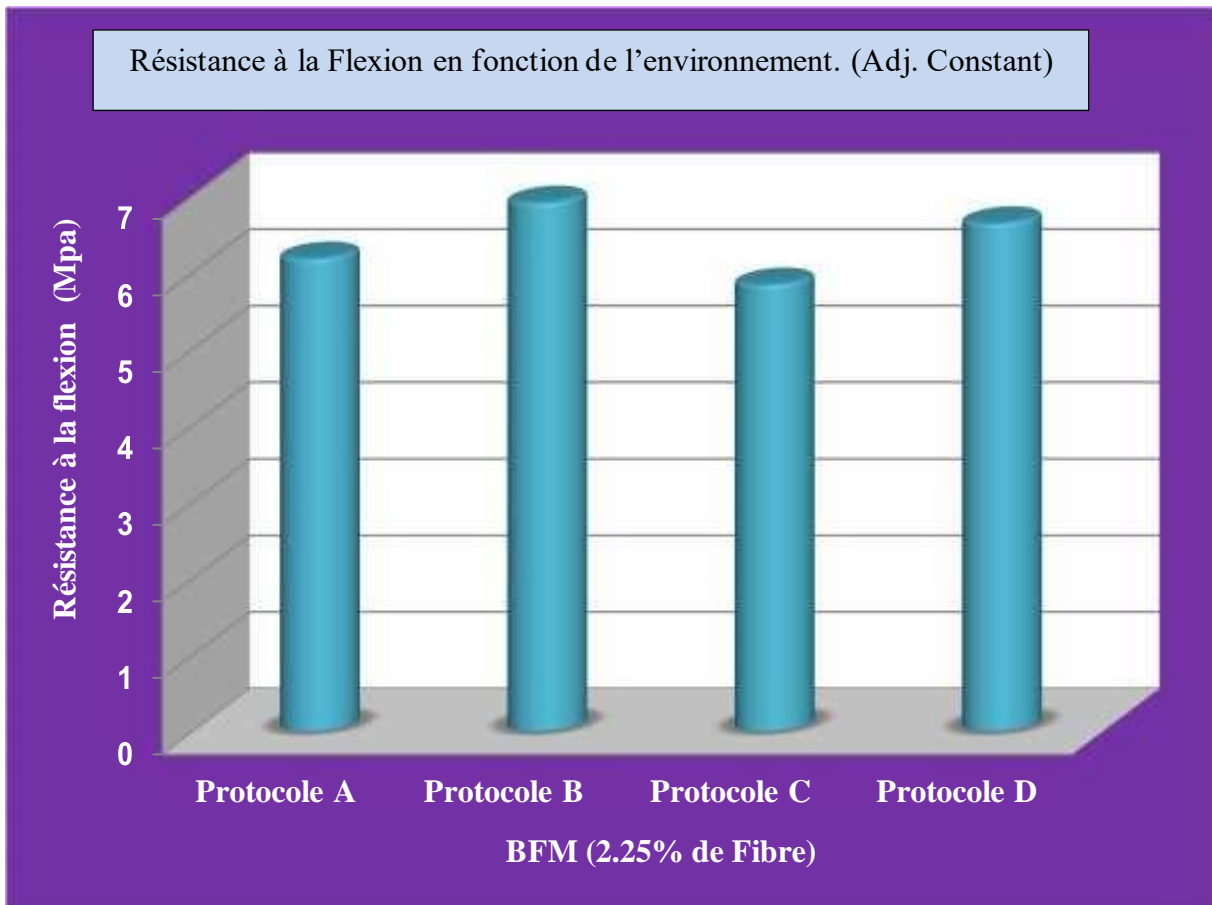


Figure IV.13 : Résistance à la flexion de BFM 2 % (Adj. constant) à différents climats

L'amélioration est de 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 IV.14** : Résistance à la flexion de BFM 2.25 % (Adj. constant) à différents climats

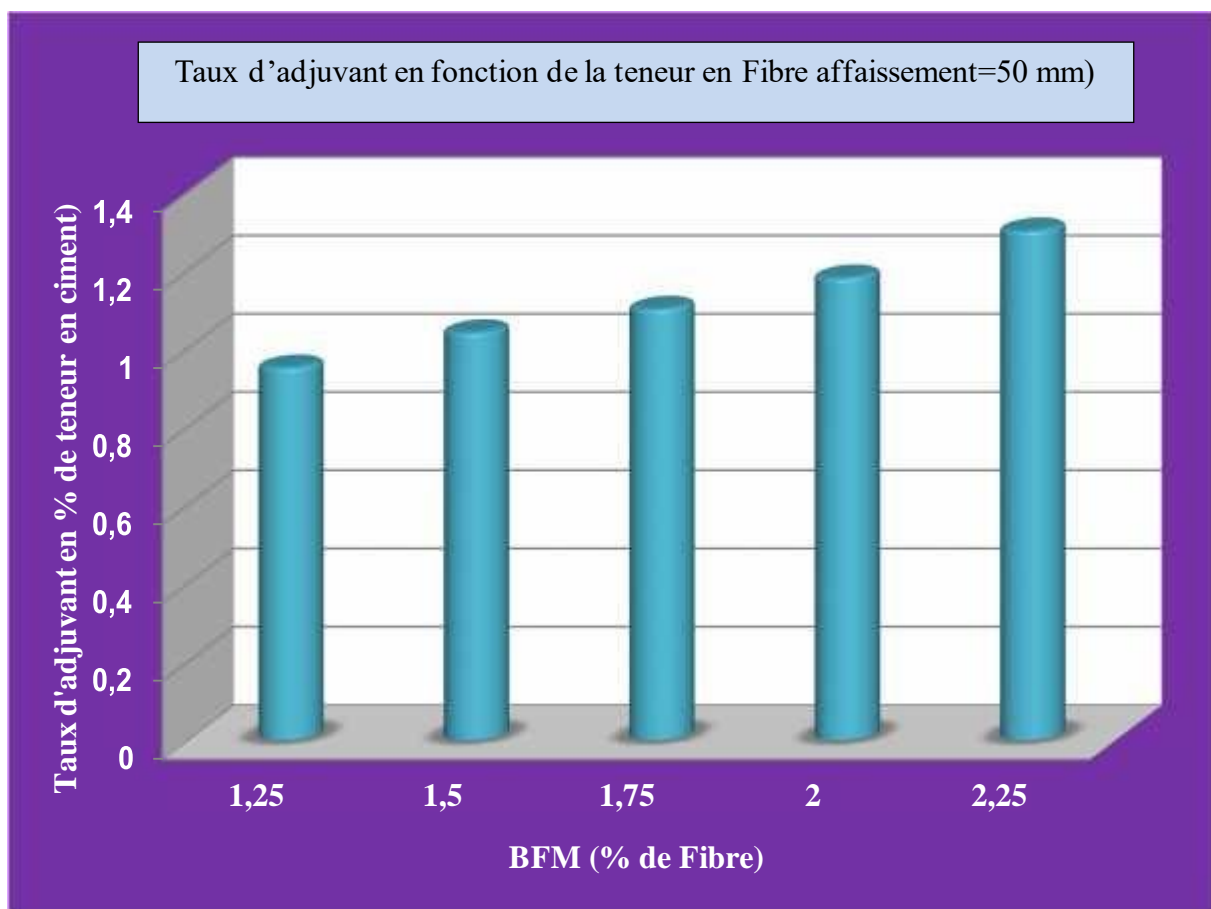
Une résistance plus élevée constaté pour le climat humide mais la plus faible amélioration est obtenue à conservation sous température.

**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 IV.15** 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 est indispensable.

Les résultats obtenus donnant un affaissement de 50mm.

➤ Analyse des différents mélanges à l'état durci.

• Résistance à la compression.

Tableau IV.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

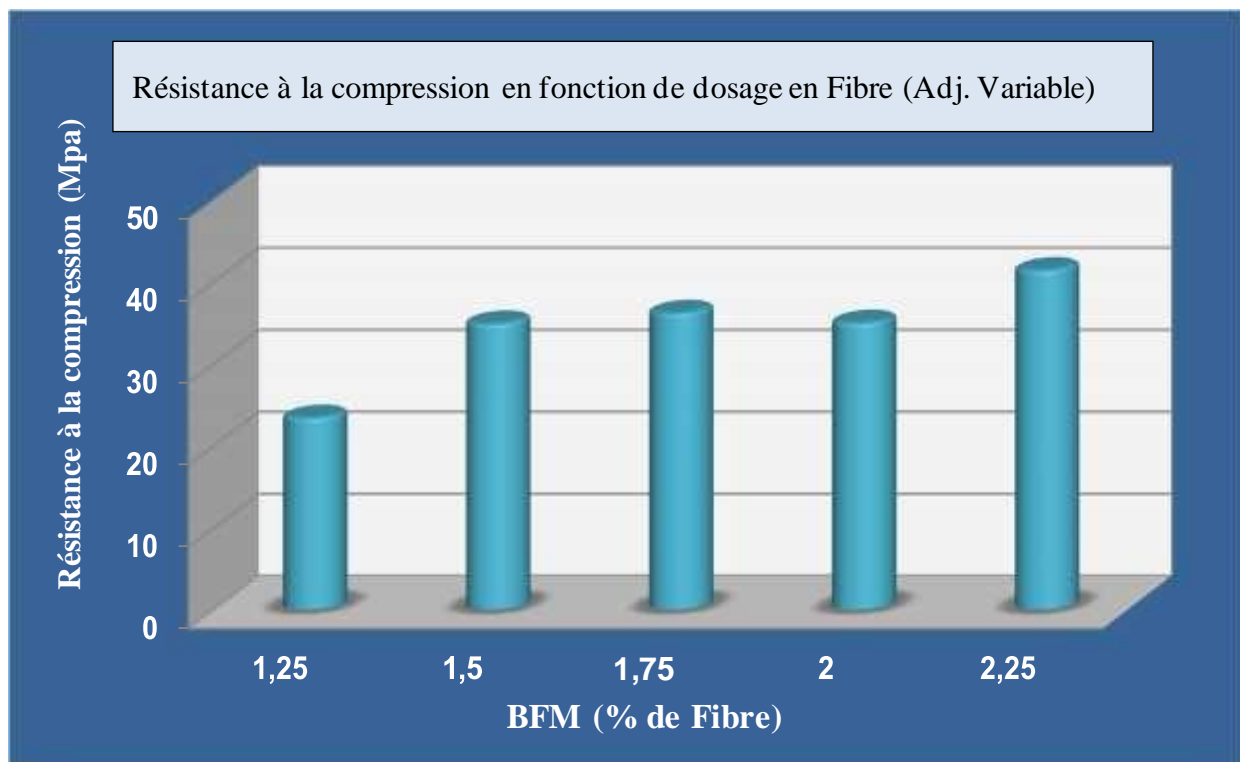


Figure IV.16 Résistances des BFM à la compression 28 jours (Différents taux)  
(Maniabilité constante)

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

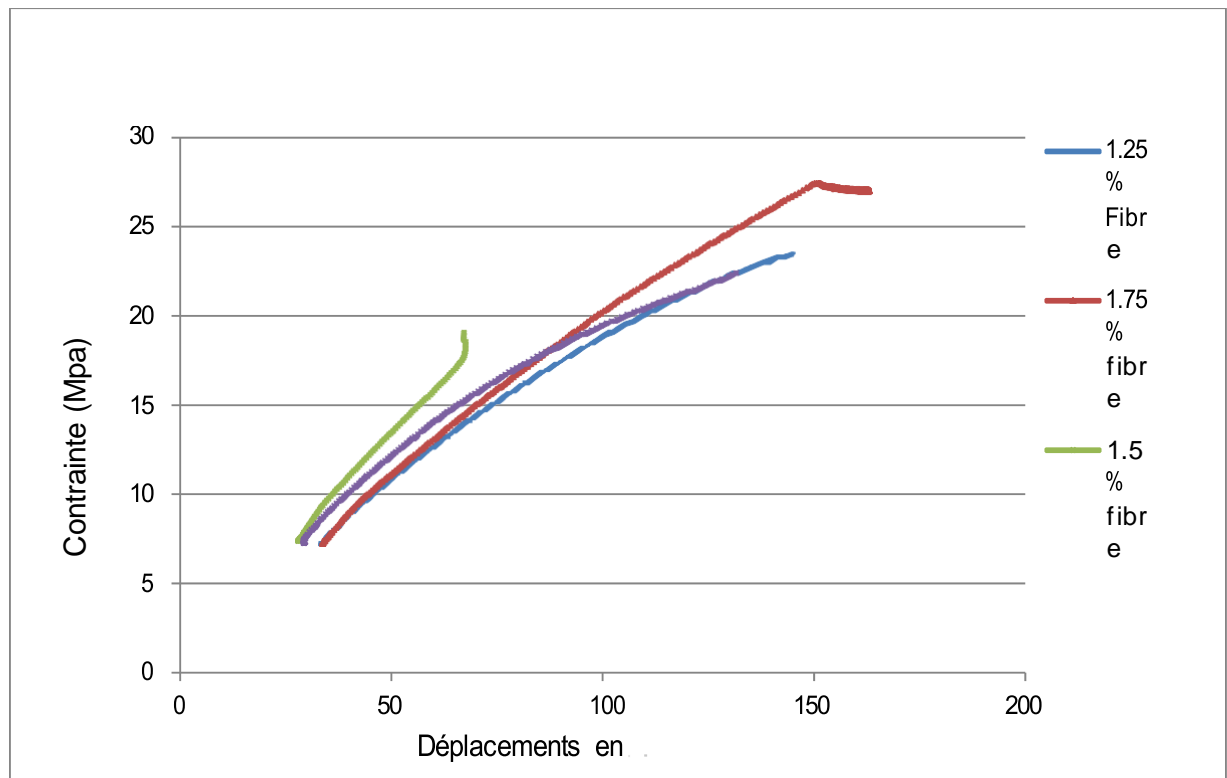


Figure IV.17 Courbe contrainte déformation (Compression) (Maniabilité Constante)

On conclut ce qui suit :

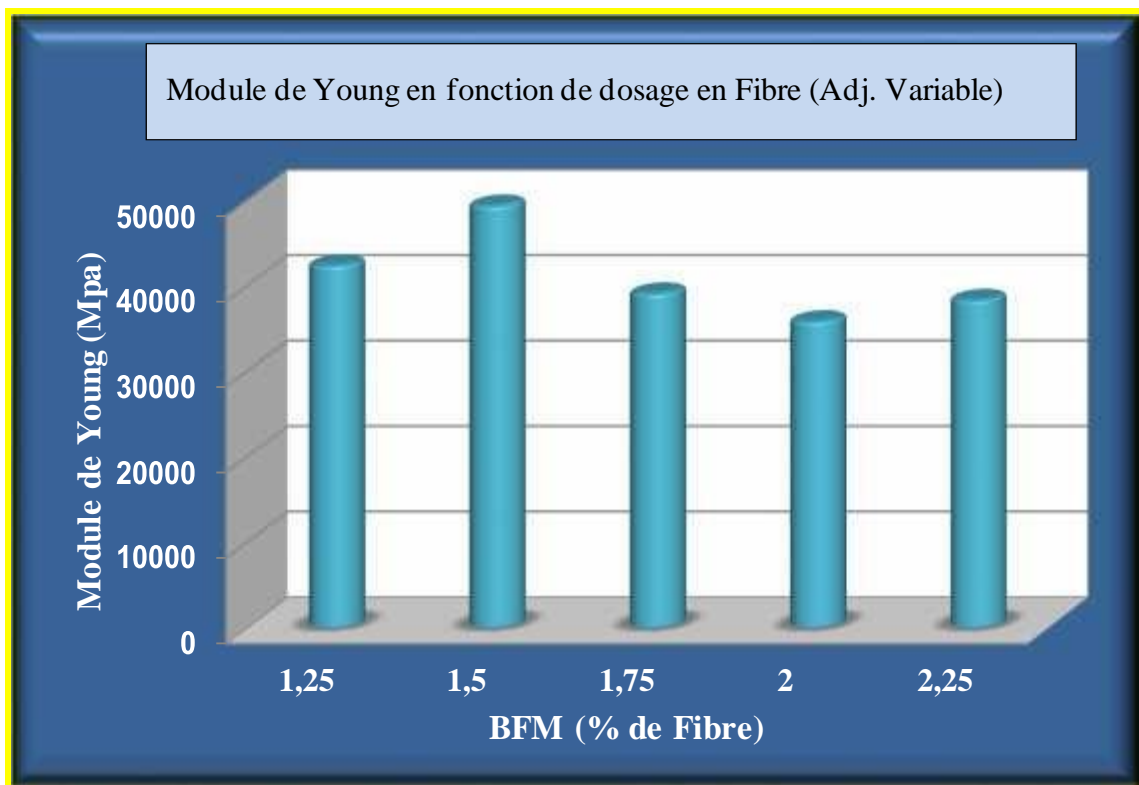
Le béton fibré à 1,5% présente le plus fragile et module élevé, le dosage 1,75% a un palier plastique considérable.

- Module de Young expérimental.

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

Tableau IV 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 IV.18** Module de Young (Différents taux) (Maniabilité constante)

Le béton fibré à 1,5% présente un module élevé.

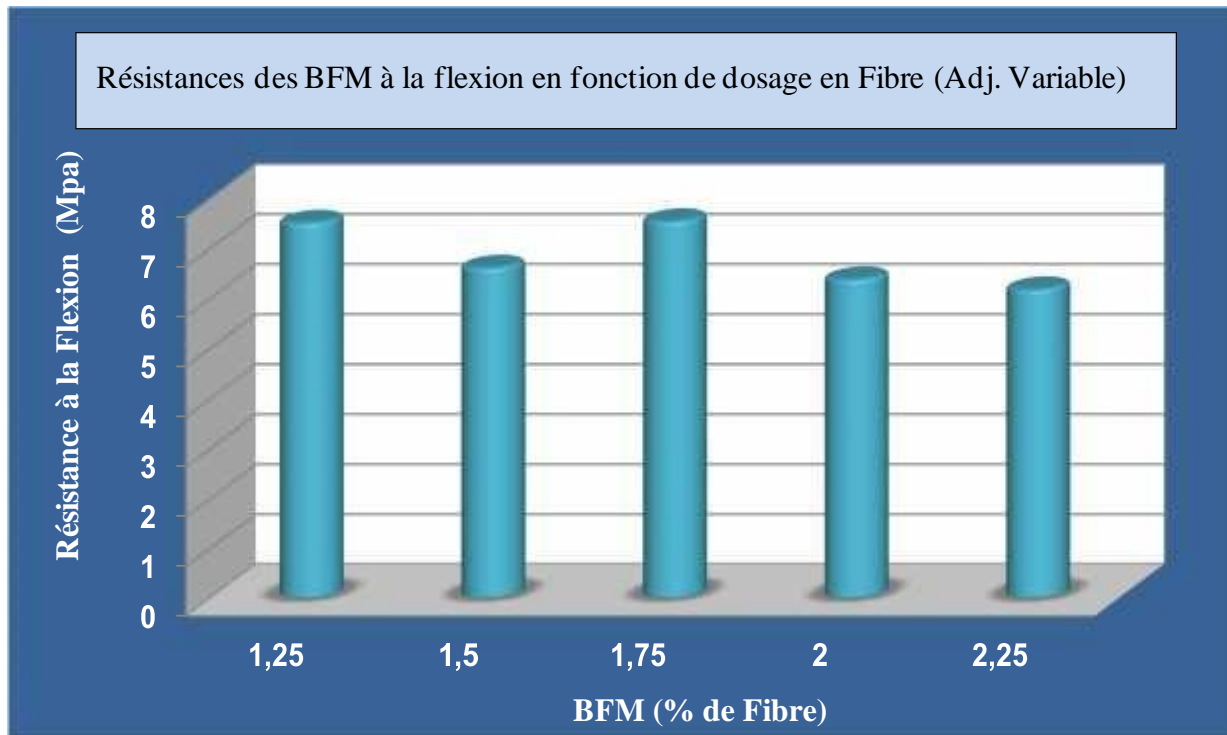
Le dosage 1,75% à un palier plastique considérable.

Au-delà d'un dosage de 1.75 % on 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.



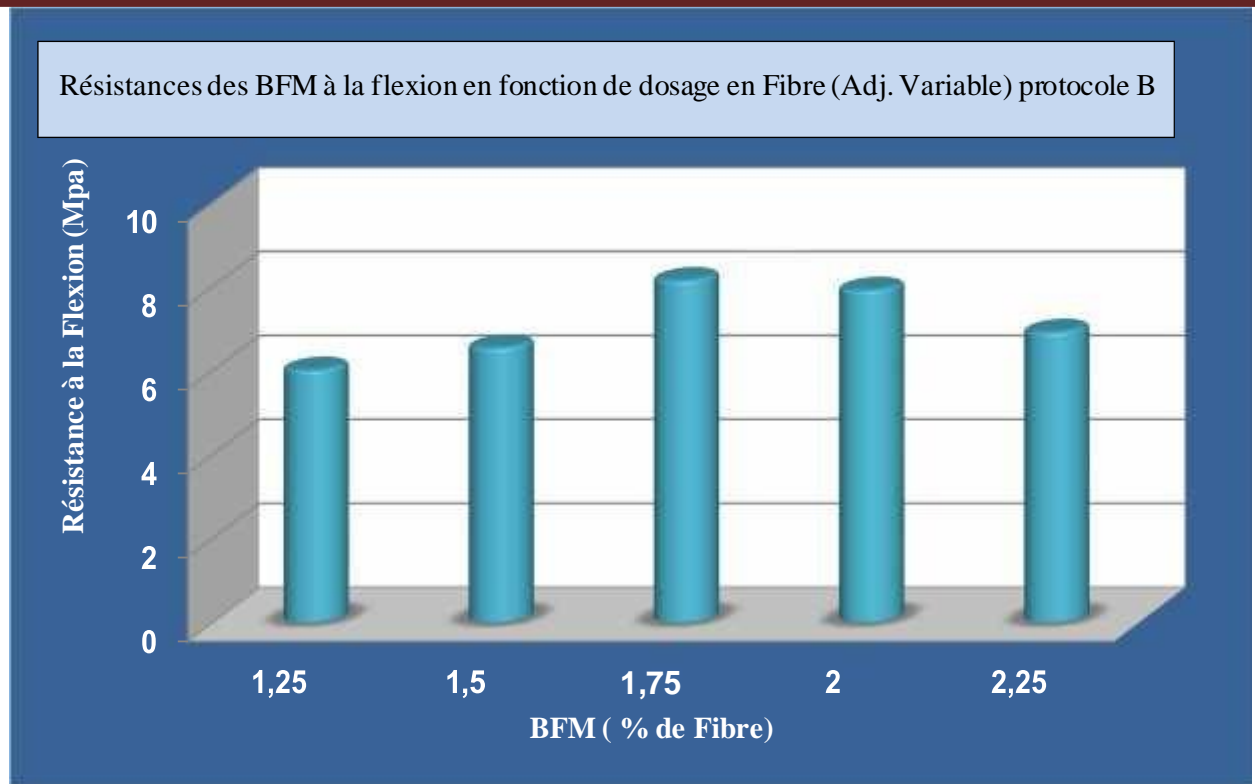
**Figure IV.19** Résistances des BFM à la flexion à Différents % fibre. (Maniabilité constante)

On conclut du graphe 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.



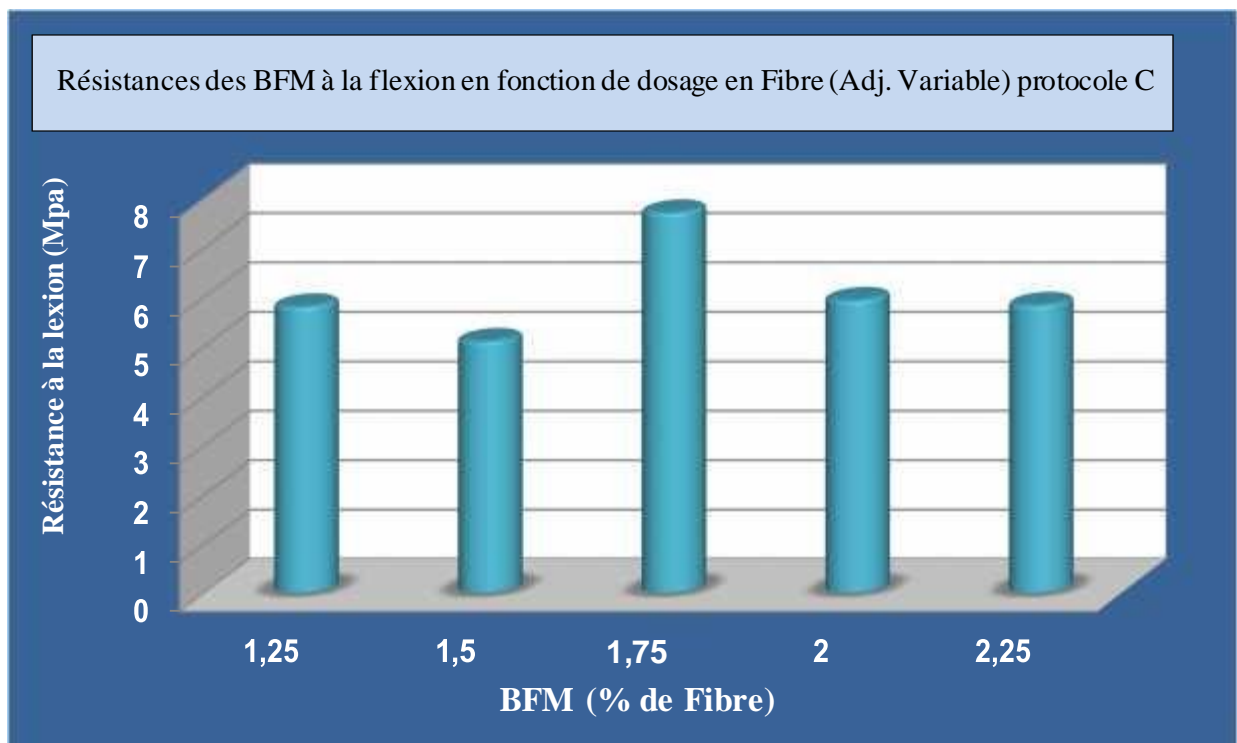
**Figure II.20** Résistances des BFM à la flexion à environnement ambiant. (Maniabilité constante)

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%. et 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.



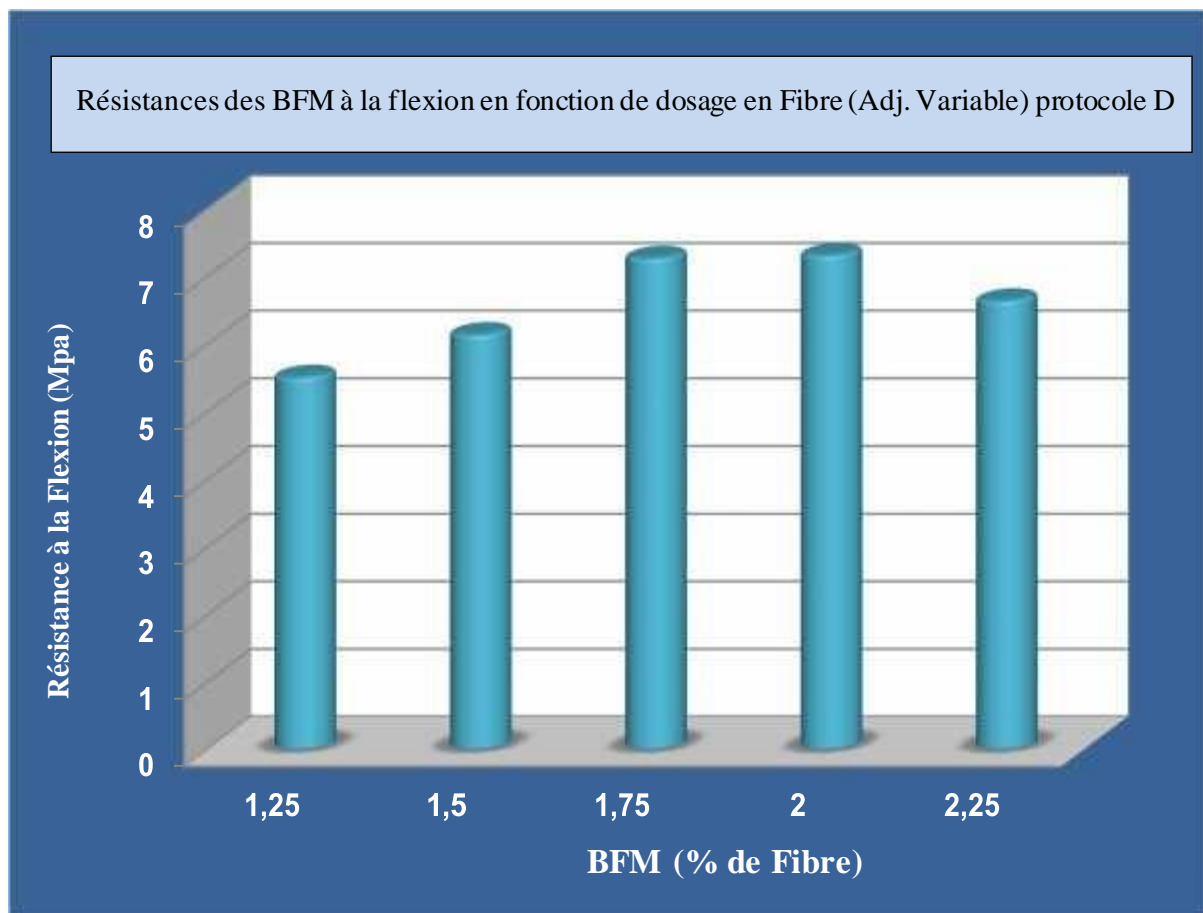
**Figure IV.21.** Résistances des BFM à la flexion à l'environnement chaud. (Maniabilité constante)

On remarque une diminution de la résistance de 3,44% ,1,16% , 5,5% en comparaison à 28jours conservés 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%.

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.



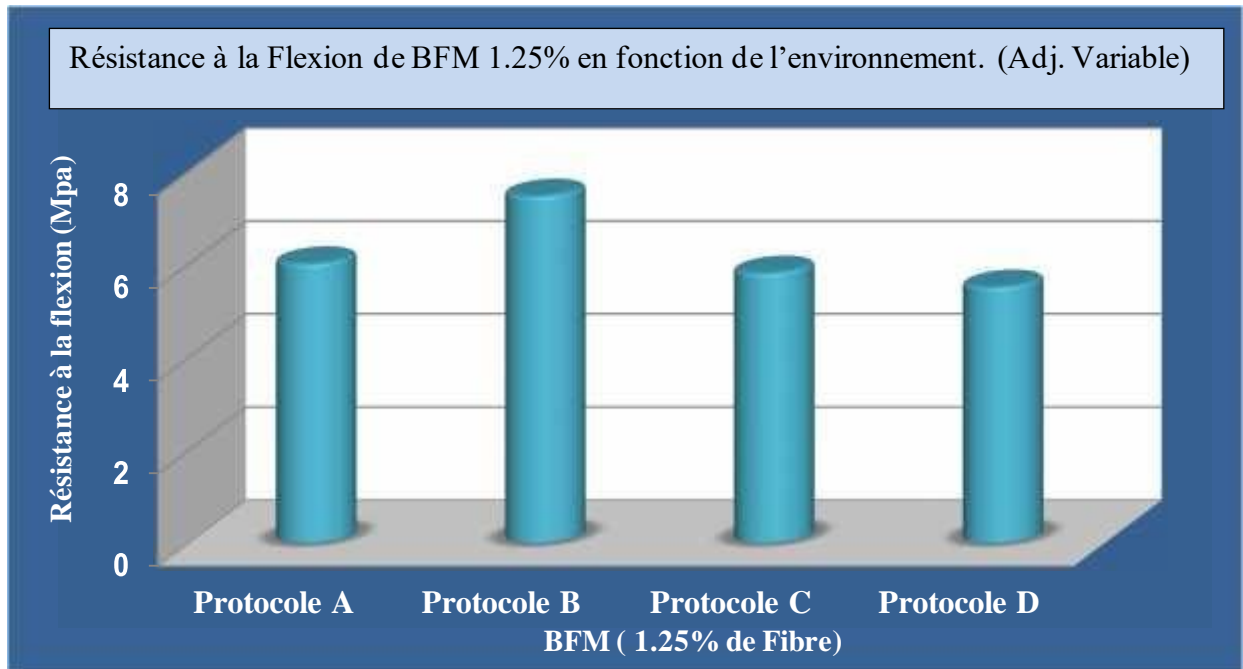
**Figure IV.22** Résistances des BFM à la flexion à l'environnement alterné. (Maniabilité constante)

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.



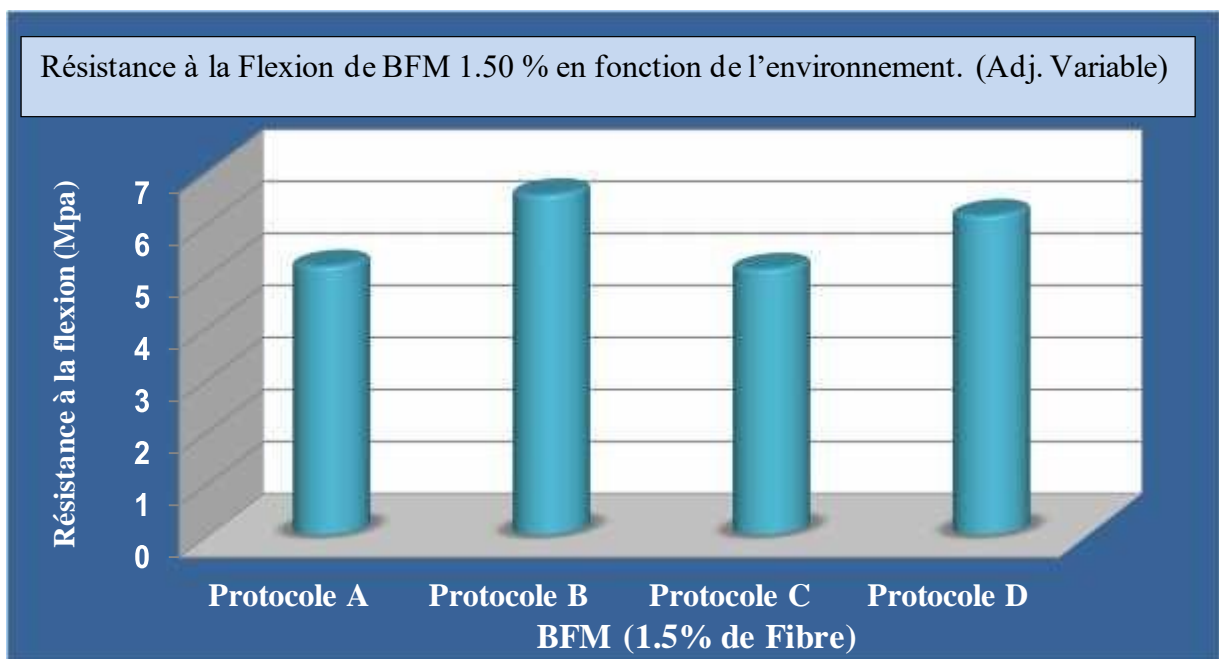
**Figure IV.23** Résistances de BFM 1,25% à la flexion différente Climats. (Maniabilité constante)

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.

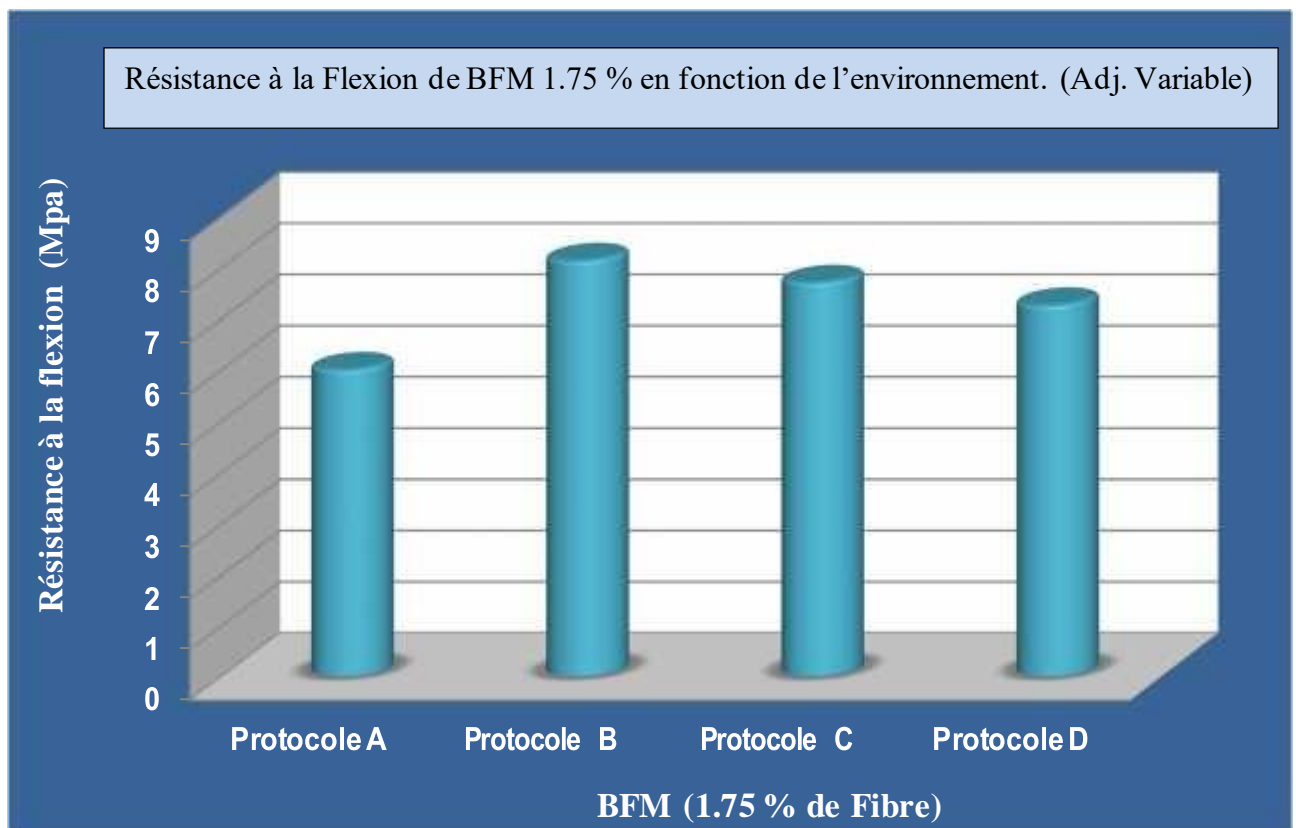


**Figure IV.24.** Résistances de BFM 1,5% à la flexion différente Climats. (Maniabilité constante)

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 IV.25** 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.



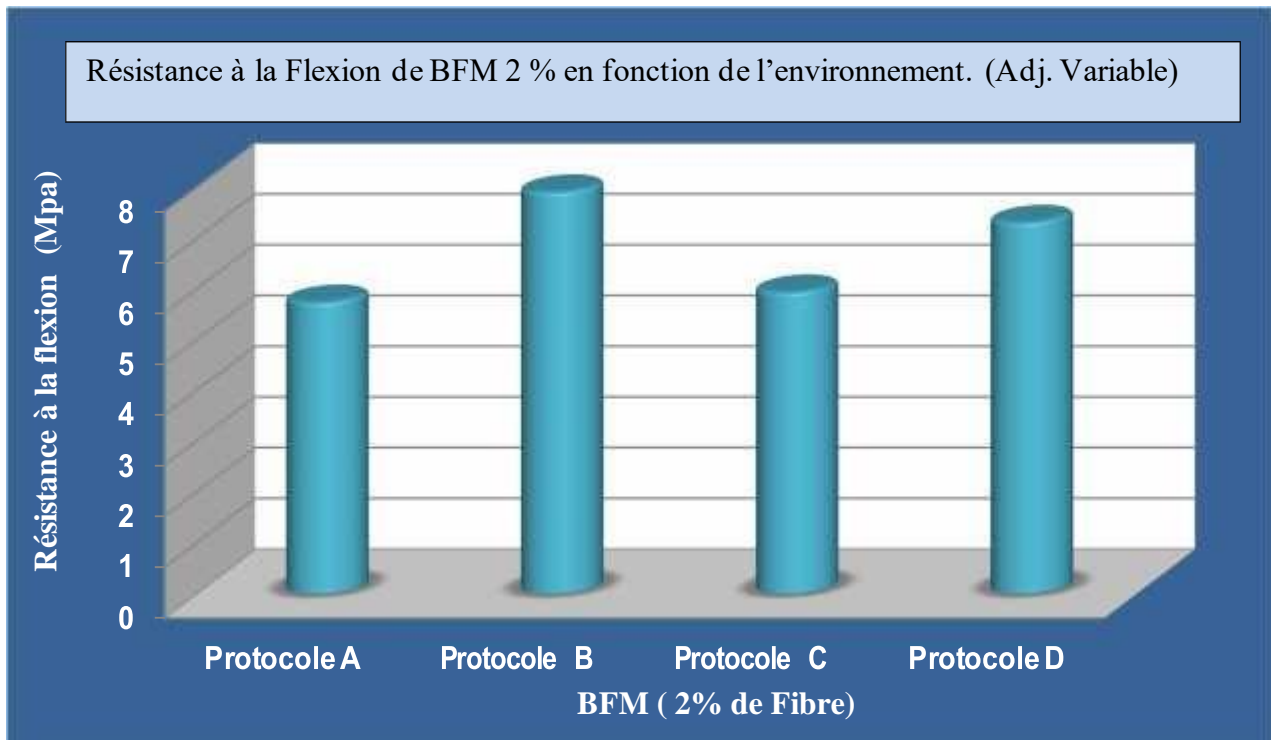


Figure IV.26 Résistances de BFM 2 % à la flexion différents Climats. (Maniabilité constante)

D'après 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.

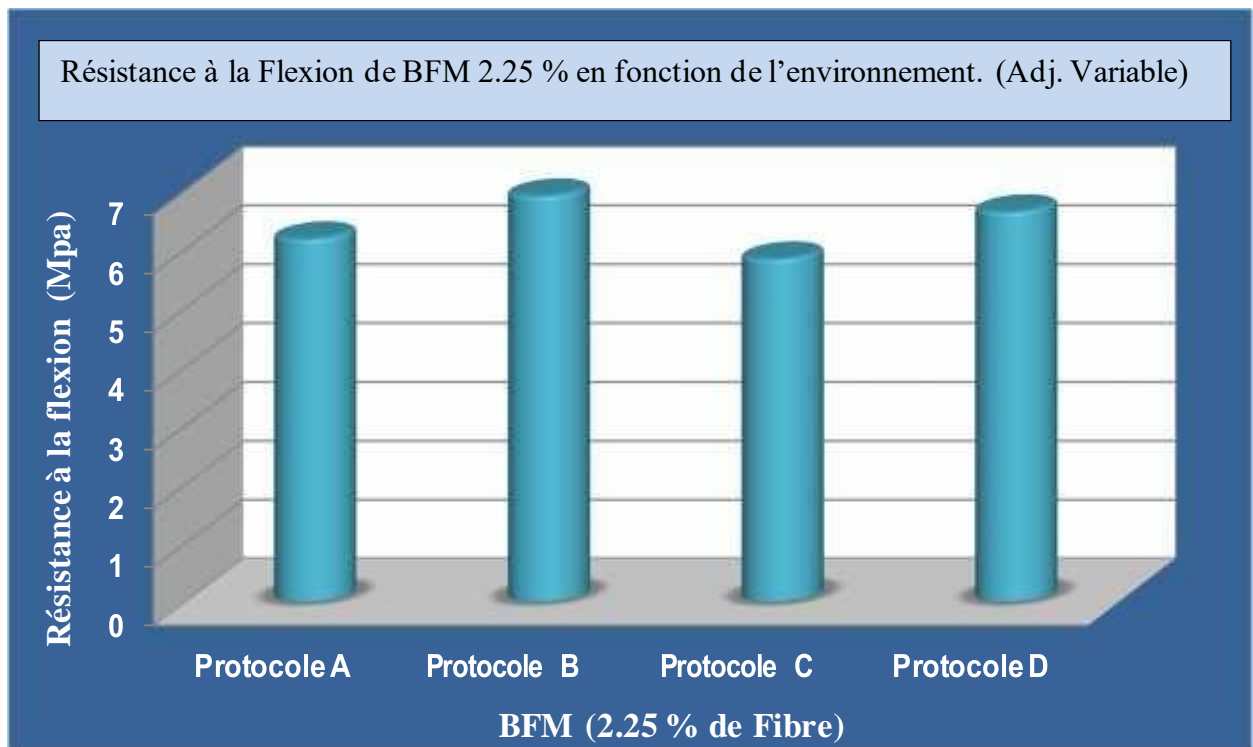


Figure IV.27 Résistances de BFM 2,25% à la flexion différente climats (Maniabilité constante)

On remarque 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 :

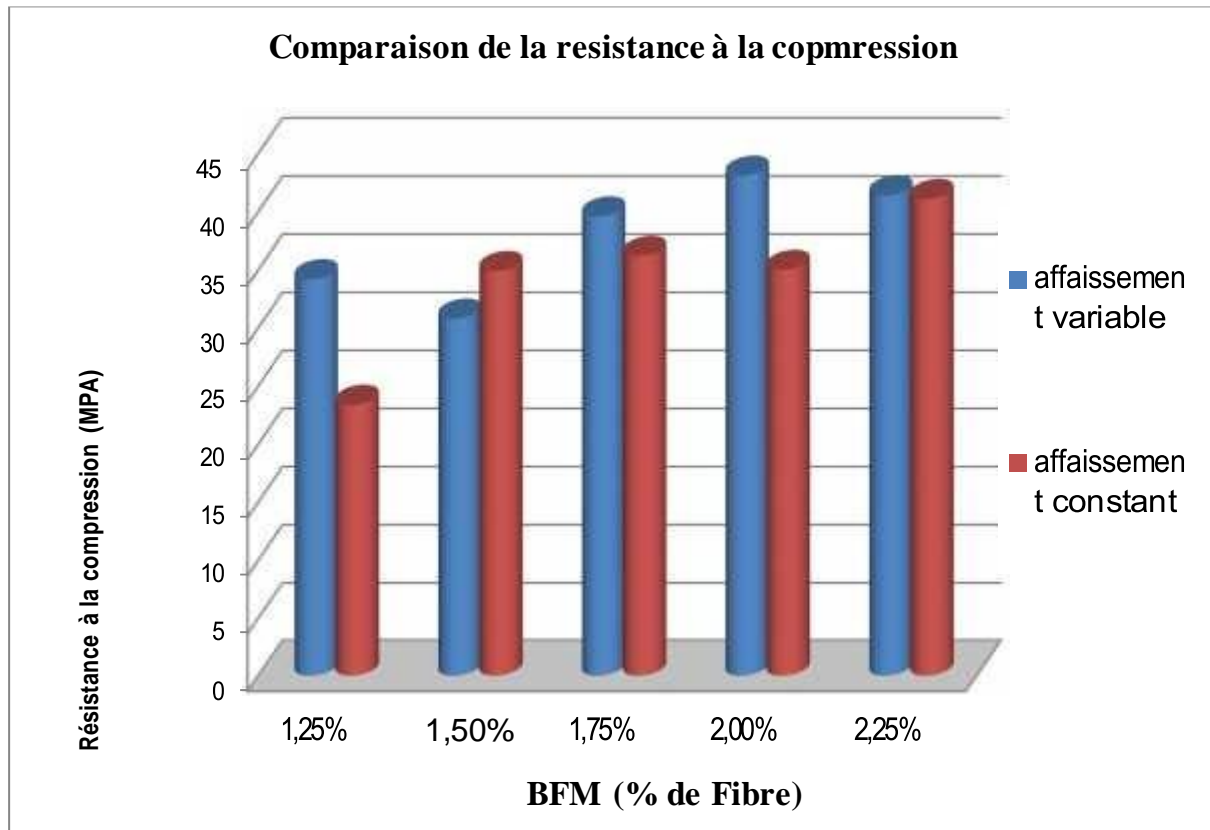
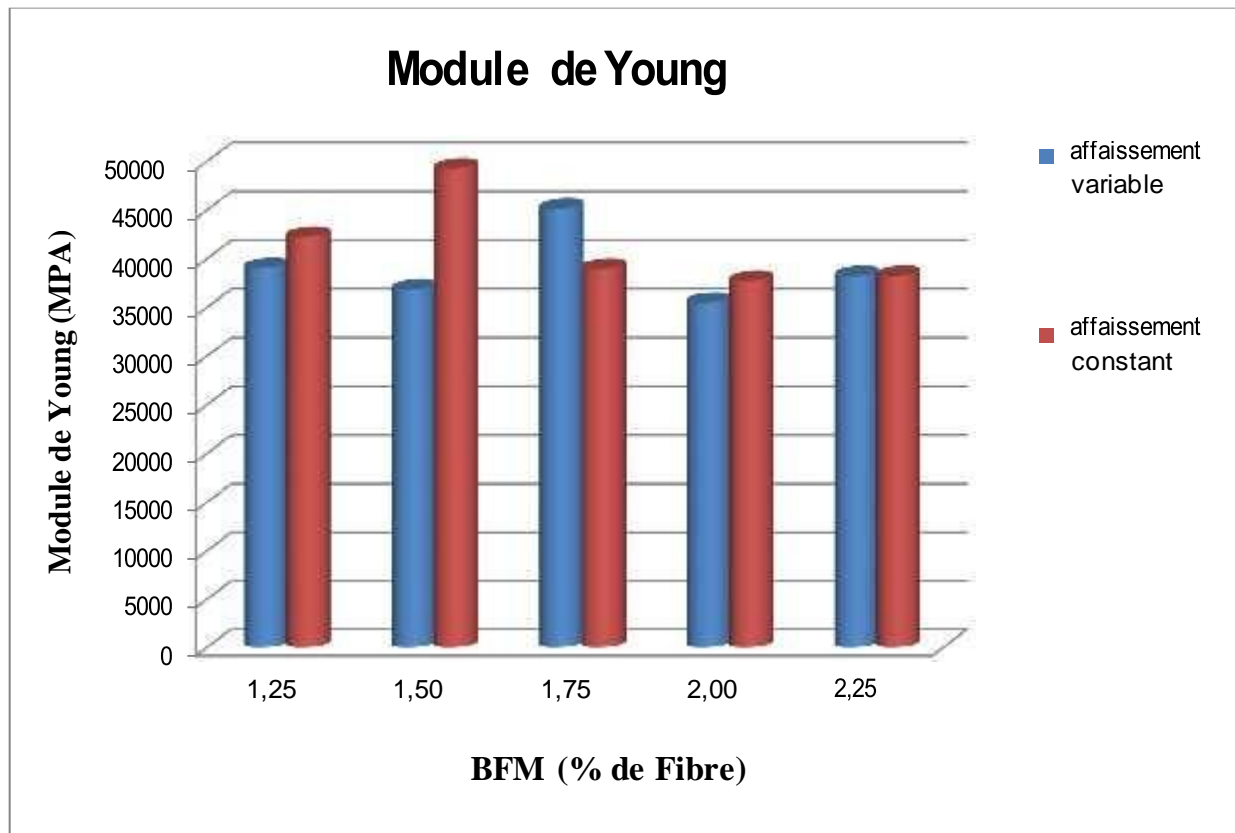


Figure IV.28 Résistances de BFM à la compression

## ➤ Module de Young



**Figure IV.29** 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)

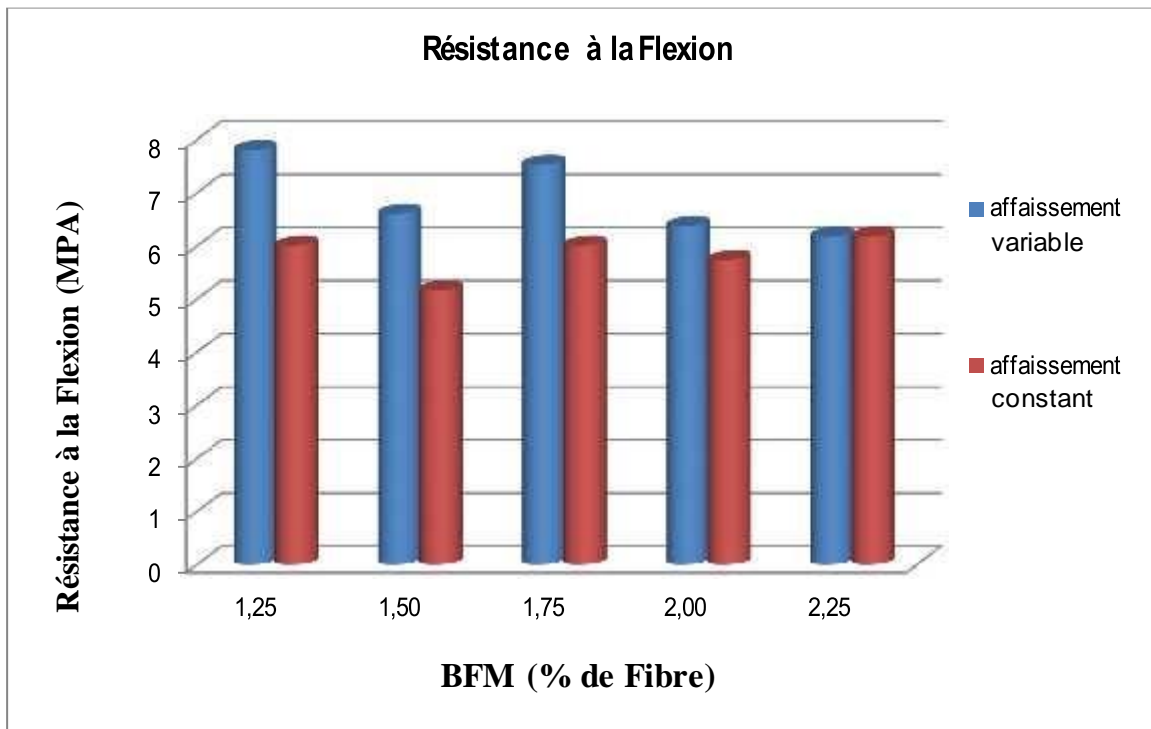


Figure IV.30 Résistances de BFM à la Flexion conservation à l'air libre

On 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 à l'effet ou à l'excès d'adjuvants par rapport à la matrice cimentaires.

▪ (Protocole B)

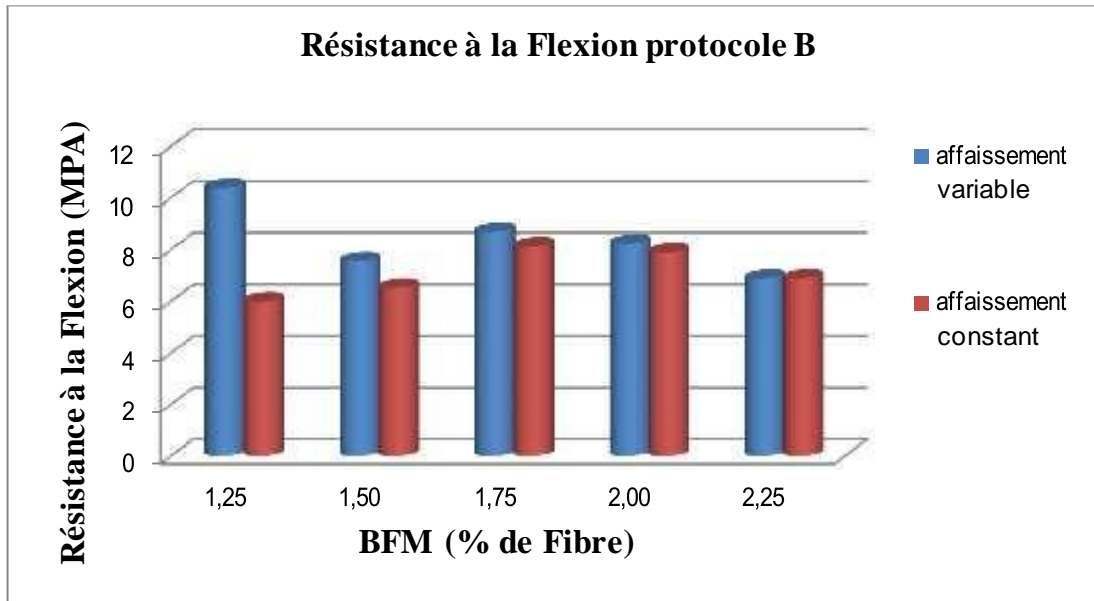


Figure IV.31 Résistances de BFM à la Flexion Protocole B

Les résultats sont proches entre les deux méthodes en quantité inférieure quand on utilise une 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 différentes méthodes, la comparaison ne donne pas les mêmes conclusions.

Pour 1,25% une énorme différence de comportement.

▪ (Protocole C)

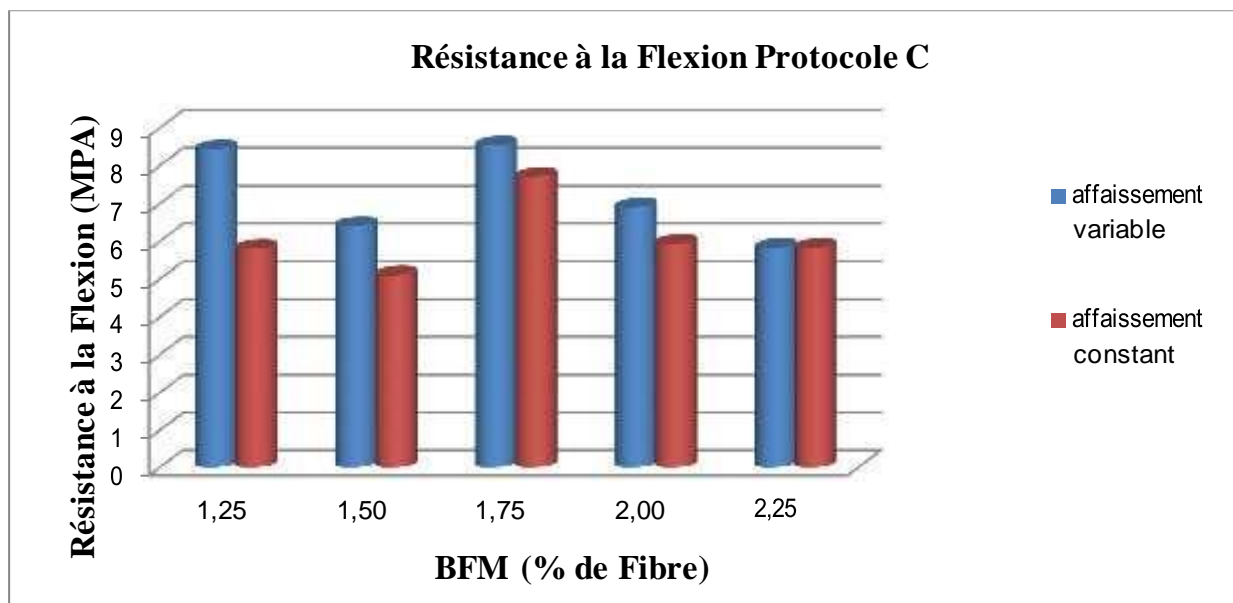


Figure IV.32 Résistances de BFM à la Flexion Protocole C

On remarque que : 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)

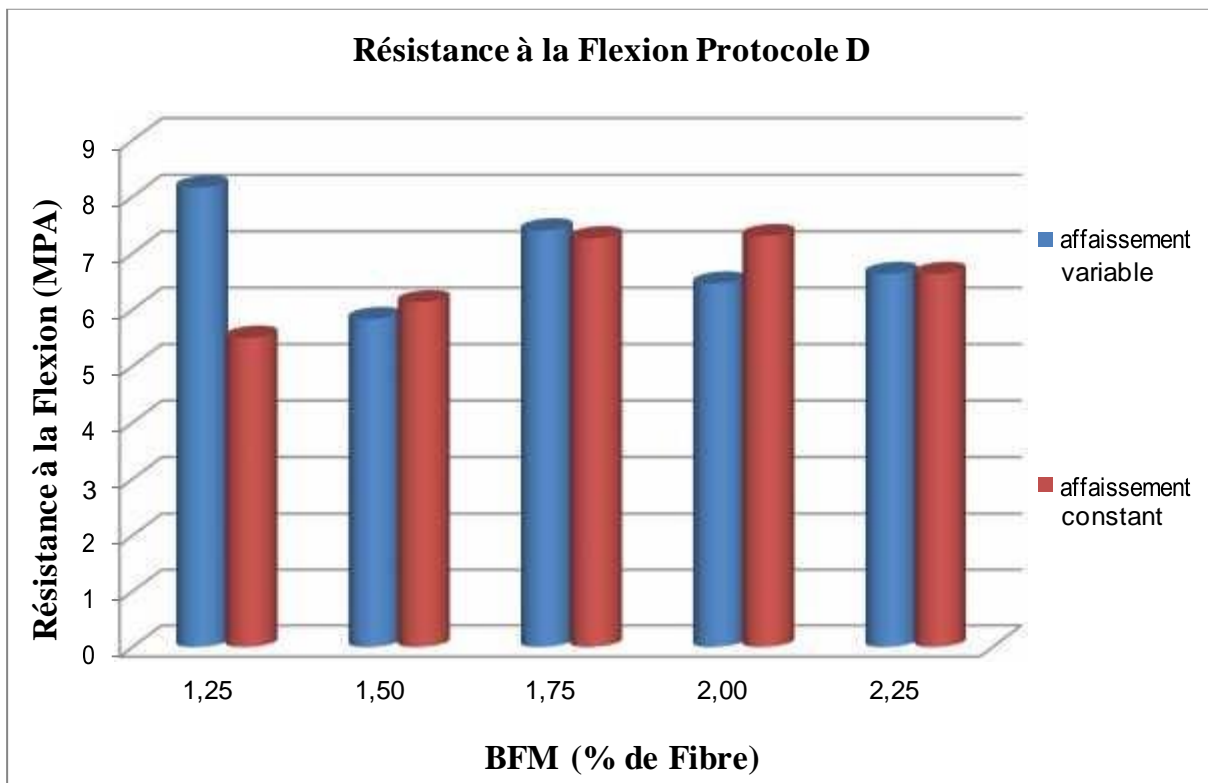


Figure IV.33 Résistances de BFM à la Flexion Protocole D

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 générale*

---

Le béton de fibre, ce matériau est employé dans une vaste gamme d'applications.

Préciser et quantifier les comportements mécaniques, prévoir l'effet de la présence des fibres dans la matrice et évaluer 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 :

Une Hypothèse numérique où l'adjuvant est 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 de 2.25%.
- ✓ L'extensomètre pour de faible contrainte on enregistre une déformation primaire pour les mélanges 2% et 1,25%.
- ✓ La courbe de 1,5% n'atteint pas la même contrainte de rupture que les autres et la courbe du mélange à 1,75 % présente la plus grande tangente

Une hypothèse sur la flexion :

- ✓ 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 %, 60% pour un dosage de 2% et 54% pour un dosage de 2.25 %, dans un climat de température ambiante.
- ✓ Une haute résistance obtenue pour le béton dosé a 1,25% de fibre métallique et une diminution de la résistance au-delà de 1,75% de fibre métallique dans l'eau.
- ✓ Chute de la résistance du béton 2,25% de fibre par rapport au climat (air libre) et on note que les mélanges à 1,25% et 1,75% ont une bonne résistance à l'environnement chaud.
- ✓ Le plus faible % est enregistré pour le mélange à base de 1,5% et 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.

## *Conclusion générale*

---

Hypothèse rhéologique où la maniabilité est constante ce qui résulte des bétons élastiques, plastique ou ferme :

- ✓ Plus la quantité de fibre augmente plus la résistance à la compression est améliorée.
- ✓ L'extensomètre de béton fibré à 1,5% présente le plus fragile avec un faible module et un dosage 1,75% à un palier plastique considérable

Une hypothèse sur la flexion :

- ✓ En termes de quantité les dosages 1,25 % et 1,75% résistent mieux que les autres dont l'allure des histogrammes résulte une diminution à partir du dosage 1,75% à l'air ambiant.
- ✓ 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%.
- ✓ Diminution de la résistance à chaud de 3,44% 1,16% / 5,5% en comparaison a 28jours conservé 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%.
- ✓ 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



## *Références*

---

- [1]. Présentation PDF de Groupe HASSNAUI sur le site Fliphtml5. Consulté en 2019 (<https://online.fliphtml5.com/ixuwl/chbc/#p=7>)
- [2]. Pierre ROSSI (TUNNELS ET ESPACE SOUTERRAIN - n°218 - Mars/Avril 2010)
- [3]. Asquapro (Utilisation des bétons projetés pour la réparation et le renforcement des structures Comité Technique) Asquapro Fascicule technique ASQUAPRO page 7 Version 2014
- [4]. (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), année 2005
- [5]. Mohammad Dalour Hossen Beg; The Improvement of Interfacial Bonding, Weathering and Recycling of Wood Fibre Reinforced Polypropylene Composites; These de doctorat, Université of Waikato, Hamilton, New Zealand, 2007.
- [6]. ABQ, Guide de bonnes pratiques pour l'utilisation des fibres dans le béton réalisé par Association Béton Québec, janvier 2005, p 9
- [7]. HUGHES, FATTUCHI, « the workability of steel fiber reinforced concrete » GB. MGAZINE of concrète rechercher, vol.28 N°96 1981.
- [8]. DEHOUSSE, N ; VANSTERMANS, A ; KUYKENS, T ; 1974 les mortiers et bétons renforcés de fibres d'acier, Bruxelles , CSTC Revue N°2 1974
- [9]. 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)
- [10]. Cotterell B., Mai Y.W., "Fracture Mechanics of Cementitious Materials. Blackie, Academic & Professional", London/Chapman and Hall. p. 294. (1996)
- [11]. Youcef FRITIH Thèse de doctorat sur Apport d'un renfort de fibres sur le comportement d'éléments en béton auto plaçant armer. pp19 Le 08 Juillet 2009
- [12] 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
- [13] Johnston C.D., "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, Marrs and Cleland, E&FN Spon, London, pp. 155-179 (1996)
- [14] Johnston C.D., "Fiber-Reinforced Cements and Concretes", Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, 368 pages ISBN: 9056996940, (2001)
- [15] 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.
- [16]. Baron J., Lesage R. Compacité et maniabilité des bétons hydrauliques. Rapport de Recherche LPC n°3, (1969)
- [17]. 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.
- [18]. Casanova P. "Bétons renforcés de fibres métalliques du matériau à la structure",

## *Références*

---

LCPC. (1996)

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

[20]. Bonzel J., Schmidt M, 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, (1986).

[21]. Harrouche N. Formulation et comportement à la fissuration des bétons de fibres métalliques, thèse de Docteur - Ingénieur de l'université de Paris VI, (1989),

[22]. Snyder J., al D.R. Factor affecting flexural strength of steel fibrous concrete. ACI Journal, vol 69, n° 2, pp. 96-100, (1972).

[23] (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.

[24]. Rossi P. Les bétons de fibres métalliques, Ponts et Chaussées, Paris, 309p, (1998).

[25]. Abdul Ghaffar<sup>1</sup>, Amit S. Chavhan, Dr.R.S. Tatwawadi<sup>3</sup>  
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

[26]. Swamy R. N. Fiber reinforcement of cement and concrete, Matériaux et Constructions, n°45, mai -juin, pp. 235-254, (1975).

[27]. 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

[28]. Bensaid BOULEKBACHE<sup>1</sup>, 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

[29] Ali ELLOUZE, Mongi BEN OUEZDOU<sup>1</sup>, 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 Décembre 2005.

[30]. R.N. Swang et P.S. Mangat, "Compatibility of steel fibre reinforced concrete", Vol. 8, N°5, pp. 34-35.,(1974).

[31]. Djebali Saïd., Thèse de doctorat soutenue. Caractérisation des éléments de structures en béton de fibre métalliques, en 2013

[32]. 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.

[33]. (G. DREUX et FESTA « nouveau guide de béton et de ses constituants édition EYROLLES 7ème édition 1995).