

Ordre...../F.S.S.A/UAMOB/2021

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET  
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ DE BOUIRA  
FACULTE DES SCIENCES ET DES SCIENCES APPLIQUEES  
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



*Mémoire de Master en Génie Civil  
Spécialité : Matériaux en Génie Civil*

**THEME**

**EFFET DE FIBRES SUR LES PROPRIÉTÉS DES MORTIERS**

**Présenté par :**

Mr. IZEMMOUR ABDELLAH  
Mr. KORICHI ABDELMOUNAIM

**Devant le jury composé de :**

AITTAHAR KAMEL	PR	UAMOB	Président
KENNOUCHE SALIM	MCB	UAMOB	Encadreur
HAMI BRAHIM	MCB	UAMOB	Examinateur

**Année Universitaire 2020-2021**

# Dédicace

***À MON PÈRE***

***À MA MÈRE***

***À TOUS LES NOMBRES DE MA FAMILLE***

***À TOUS MES AMIS***

***JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL***

Izemmour Abdellah

# Dédicace

À mes parents.

À mes frères, ma sœur et ses filles, le fils de mon frère «MOHAMED

NIDALE » et sa sœur, ma famille et tous mes amis et collègues

À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

Korichi Abdelmounaim

## **Remerciement**

Je tiens à remercier tout d'abord le DIEU Tout Puissant.

À nos familles pour les sacrifices qu'elles ont faits pour que nous terminions nos études.

À notre promoteur MR. KENNOUCHE SALIM pour ses précieux conseils et ses efforts considérables pour mener à bien ce travail.

À tous les enseignants et le personnel administratif de l'UAMOB qui ont contribué à notre formation et à l'élaboration de ce travail.

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

Izemmour Abdellah  
Korichi Abdelmounaim

## Résumé

L'ajout des fibres métalliques a un effet positif sur les caractéristiques mécaniques des bétons et mortiers. L'utilisation des fibres métalliques permet non seulement d'améliorer le comportement en traction par flexion, mais aussi la résistance à l'abrasion.

Parmi les paramètres qui influents sur les performances mécaniques d'un béton fibré est la disposition des fibres, en conséquence, la disposition des fibres dans la matrice est très importante à maîtriser. Donc il serait plus judicieux de comparer les différentes dispositions de fibre pour déduire la disposition optimale de ces dernières pour donner la meilleure performance de mortiers et bétons, dans ce sens notre travail est positionné, nous avons étudié l'effet de trois dispositions de fibres (en volume total, partie supérieure et inférieure des éprouvettes), avec la fixation du pourcentage de fibres à l'intérieur du mélange (1%), qui sont comparés au mortier témoins sans fibres.

Des essais de la masse volumique ont révélé une chute de (9,57%) pour les éprouvettes témoins, et de (14,04%), (15,42%), (16,65%), pour les variantes (1% VT, 1% SUP et 1 % INF) respectivement), d'autre part les essais mécaniques ont montré une augmentation de (24,94%), (27,13%), (27,67%) pour les essais de compression, et pour ceux de flexion on a noté une évolution de (27,06%), (31%), (27,15%) pour les variantes (1% VT, 1% SUP et 1 % INF) respectivement), par rapport aux éprouvettes témoins.

Cette étude nous a permis de mettre en évidence l'effet de la disposition des fibres dans les éprouvettes de mortiers étudié.

**Mots clés :** Mortier, fibres, masse volumique, essais de compression, essais de flexion.

## المخلص

إضافة الألياف المعدنية لها تأثير إيجابي على الخصائص الميكانيكية للخرسانة والملاط.

لا يؤدي استخدام الألياف المعدنية إلى تحسين السلوك في الانحناء والجر فقط ولكن مقاومة التآكل أيضا.

من بين الخصائص التي تؤثر على الأداء الميكانيكي للخرسانة المسلحة بالألياف ترتيب الألياف و نتيجة لذلك، فإن ترتيب الألياف في المصفوفة مهم جدًا للتحكم. لذلك سيكون من الحكمة مقارنة ترتيبات الألياف المختلفة لاستنتاج الترتيب الأمثل للأخير لإعطاء أفضل أداء للملاط والخرسانة، وعلى هذا الأساس قمنا بعملنا، ودرسنا تأثير ثلاثة ترتيبات ليفية (في الحجم الكلي، الجزء العلوي والسفلي من قطع الاختبار)، مع تثبيت نسبة الألياف داخل الخليط (1%)، والتي تتم مقارنتها مع ملاط عادي بدون ألياف.

أظهرت اختبارات الكتلة الحجمية انخفاضاً قدره (9.57%) لعينات الملاط العادي، وبنسبة (14.04%)، (15.42%)، (16.65%) للمتغيرات (1% VT، 1% SUP، 1% INF على التوالي)، من ناحية أخرى أظهرت الاختبارات الميكانيكية زيادة (24.94%)، (27.13%)، (27.67%) لاختبارات الانضغاط، وبالنسبة لاختبارات الانحناء لوحظ تطور بنسبة (27.06%)، (31%)، (27.15%) للمتغيرات (1% VT، 1% SUP و 1% INF على التوالي)، مقارنة بعينات الملاط العادي.

أتاحت لنا هذه الدراسة إثبات تأثير ترتيب الألياف في عينات اختبار الملاط المراد دراستها.

**الكلمات المفتاحية:** الملاط، الألياف، الكتلة الحجمية، اختبارات الضغط، اختبارات الانحناء.

**Abstract:**

The addition of metal fibers has a positive effect on the mechanical characteristics of concrete and mortars. The use of metal fibers not only improves the behavior in bending, traction, but resistance to abrasion too.

Among the parameters that influence the mechanical performance of fiber-reinforced concrete is the arrangement of the fibers, as a result, the arrangement of the fibers in the matrix is very important to control. So it would be more judicious to compare the different fiber layouts to deduce the optimal layout of the latter to give the best performance of mortars and concretes, in this sense our work is positioned, we studied the effect of three fiber layouts (in total volume, upper and lower part of the test pieces), with the fixing of the percentage of fibers inside the mixture (1%), which are compared with the control mortar without fibers.

Density tests revealed a drop of (9.57%) for the control specimens, and of (14.04%), (15.42%), (16.65%), for the variants (1 % VT, 1% SUP and 1% INF) respectively), on the other hand the mechanical tests showed an increase of (24.94%), (27.13%), (27.67%) for the tests of compression, and for those of bending one noted an evolution of (27.06%), (31%), (27.15%) for the variants (1% VT, 1% SUP and 1% INF) respectively), compared to the control specimens.

This study allowed us to demonstrate the effect of the arrangement of fibers in the test specimens of mortars studied.

**Keywords:** Mortar, fibers, density, compression tests, bending tests.

## SOMMAIRE

Dédicace.....	II
Remerciement .....	IV
Résumé.....	V
Liste des figures .....	XI
Liste des tableaux .....	XIV
Introduction générale.....	1
<b>CHAPITRE I : LES FIBRES .....</b>	<b>3</b>
Introduction .....	3
<b>I.1. Définition .....</b>	<b>4</b>
<b>I .2. Diffèrent nature de fibre.....</b>	<b>4</b>
I.2.1. Fibres minérales.....	4
I.2.2. Fibres végétales.....	4
I.2.3. Fibres synthétiques .....	6
I.2.4. Fibres artificielles.....	7
A. Les fibres de cellulose .....	7
B. Fibres de polypropylènes .....	7
C. Fibres de verre.....	8
D. Fibres métalliques.....	8
D.1. Connaissance du matériau .....	8
D.2. Les fibres FIBRAFLEX (fibres de fonte amorphe).....	11
D.4. Les fibres Bekaert de chez Dra mix .....	11
D.5. Les fibres Ruban en fonte amorphe de Pont –à- Mousson .....	12
D.6. Autres fibres .....	12
<b>I.3. Conclusion .....</b>	<b>12</b>
<b>CHAPITRE II : LES BETONS FIBRES .....</b>	<b>13</b>
<b>II.1. GENERALITES SUR LE BETON ET LE BETON DE FIBRES .....</b>	<b>13</b>
II.1.1. Généralités sur le béton .....	13
II.1.2. Généralités sur le béton renforcé de fibres.....	13
<b>II.2. Définition .....</b>	<b>15</b>
<b>II.3. Composition des bétons de fibres et comportement.....</b>	<b>15</b>
<b>II.4. Méthode de formulation du béton fibré .....</b>	<b>16</b>
II.4.1. Optimisation des bétons de fibres métalliques (méthode B Lesage) .....	17
<b>II.5. Propriétés des bétons fibrés .....</b>	<b>18</b>

<b>II.6. Domaine d'utilisation des bétons fibrés.....</b>	<b>18</b>
<b>II.7. Avantages des bétons fibrés.....</b>	<b>20</b>
<b>II.7.1. Aspect technique.....</b>	<b>20</b>
<b>II.7.2. Aspect économique .....</b>	<b>20</b>
<b>II.8. Les inconvénients du béton fibré .....</b>	<b>20</b>
<b>II.9. La durabilité d'un béton fibré.....</b>	<b>20</b>
<b>II.9.1. Matériaux utilisés .....</b>	<b>21</b>
<b>II.9.2. Préparation des échantillons et essais .....</b>	<b>22</b>
<b>II.9.3. Résultats et discussions.....</b>	<b>24</b>
<b>II.9.3.1. Caractéristiques mécaniques.....</b>	<b>24</b>
<b>II.9.3.2. Test à la phénolphthaléine.....</b>	<b>28</b>
<b>II.9.3.3. Observation au MEB .....</b>	<b>29</b>
<b>II.9.3.4. Commentaire sur les résultats .....</b>	<b>30</b>
<b>II.10. Les différents travaux de recherche sur les bétons fibrés .....</b>	<b>31</b>
<b>II.10.1. Travail 01 : Effet de l'addition des Fibres sur le comportement des Bétons a l'état Frais</b> <b>» .....</b>	<b>31</b>
<b>II.10.2. Travail 02 : « Essais de traction par Flexion» .....</b>	<b>33</b>
<b>II.10.2.1. Influence du type de fibres .....</b>	<b>35</b>
<b>II.10.2.2. Influence de la longueur des fibres .....</b>	<b>35</b>
<b>II.10.2.3. Influence du pourcentage en fibres.....</b>	<b>35</b>
<b>II.10.3. Travail 03 :«Distribution des fibres et leur orientation » .....</b>	<b>37</b>
<b>II.11. Conclusion.....</b>	<b>38</b>
<b>Chapitre III : partie expérimentale .....</b>	<b>39</b>
<b>III.1. Objectif .....</b>	<b>39</b>
<b>III.2. Matériaux et méthodes .....</b>	<b>39</b>
<b>III.2.1. Le sable .....</b>	<b>39</b>
<b>III.2.1.1. Analyse granulométrique.....</b>	<b>39</b>
<b>A-Définition.....</b>	<b>40</b>
<b>B-Principe de l'essai .....</b>	<b>40</b>
<b>C-Matériel utilisé.....</b>	<b>40</b>
<b>D-Résultats.....</b>	<b>41</b>
<b>E-Module de finesse.....</b>	<b>41</b>
<b>III.2.2. Le ciment .....</b>	<b>42</b>
<b>III.2.2.1. Essai de temps de prise .....</b>	<b>42</b>
<b>A-Définition et But de l'essai .....</b>	<b>42</b>
<b>B-Principe .....</b>	<b>42</b>

C-Matériel utilisé.....	43
D-Mode opératoire .....	43
E-Résultats .....	44
III.2.3. L’adjuvant .....	45
III.2.4. Les fibres .....	45
II.2.5. Eau de gâchage.....	46
III.3. Matériel utiliser .....	46
III.3.1. Balance électronique .....	46
III.3.2. Malaxeur.....	47
III.3.3. Moule prismatique 4*4*16 .....	47
III.3.4. Table de vibration .....	48
III.4. Formulation .....	48
III.4.1.Confection des éprouvettes.....	48
III.4.1.1. Différentes étapes de confection .....	49
III.4.1.1.1. Pesée les constituants.....	49
III.4.1.1.2. L’incorporation des fibres .....	49
III.4.1.1.3. Malaxage.....	49
III.4.1.1.3.A. Mode opératoire du mortier témoin .....	49
III.4.1.1.3.B. Mode opératoire du mortier fibré (volume total).....	50
III.4.1.1.3.C. Mode opératoire du mortier fibré (partie supérieure et inférieure).....	50
III.4.1.1.4. Confection des éprouvettes .....	51
III.5. Essais sur mortier .....	52
III.5.1. Essais physiques.....	52
III.5.1.1. La masse volumique .....	52
III.5.1.2. Masse volumique apparente .....	52
III.5.2. Essais mécaniques .....	52
III.5.2.1. Essai de Traction par flexion .....	52
III.5.2.2. Essai de compression .....	54
III.5.3. Environnement de conservation .....	55
III.6. Résultats et discussions .....	55
III.6.1. Discussion sur la masse volumique.....	55
III.6.2. Discussion sur la résistance à la flexion et la résistance à la compression .....	58
III.6.2.1.Essai de flexion .....	58
III.6.2.2.Essai de compression .....	60
III.7. Conclusion .....	62
Conclusion générale.....	63

<b>Perspectives et recommandations .....</b>	<b>64</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>65</b>

## Liste des figures

<b>Figure I. 1 :</b> Des fibres d'acier, de verre, de matériaux synthétiques et naturels de différentes longueurs et formes peuvent être utilisées dans le béton.....	3
<b>Figure I. 2:</b> Structure et composition d'une paroi végétale .....	5
<b>Figure I. 3:</b> Classification des différents types de fibres naturelles . .....	6
<b>Figure I. 4:</b> Rôle des fibres dans la matrice de béton .....	9
<b>Figure I. 5:</b> Fissuration dans le béton sans et avec fibres .....	9
<b>Figure I. 6:</b> Comportement de charge –déformation de béton avec fibres et béton sans fibres . .....	10
<b>Figure I. 7:</b> Les fibres métalliques, (formes et dimensions variables) . .....	10
<b>Figure II. 1 :</b> Recherche de la maniabilité du rapport g/s optimal . .....	18
<b>Figure II. 2:</b> Aspect d'une fibre non altérée .....	21
<b>Figure II. 3 :</b> Aspect des éprouvettes a la sortie des égouts . .....	23
<b>Figure II. 4:</b> Capteurs LVDT utilisés pour la lecture des déplacements en flexion 3 points .	23
<b>Figure II. 5:</b> Essai de compression .....	24
<b>Figure II. 6:</b> Contrainte de rupture en compression .....	24
<b>Figure II. 7:</b> Contrainte de rupture en flexion .....	25
<b>Figure II. 8:</b> Altération d'une fibre métallique au contact des égouts . .....	25
<b>Figure II. 9:</b> Courbes efforts-déplacement pour e/c =0,5 .....	26
<b>Figure II. 10:</b> Courbes efforts-déplacement pour e/c=0,65 .....	26
<b>Figure II. 11:</b> Courbes effort-déplacement pour e/c=0,8 . .....	26
<b>Figure II. 12:</b> Énergie de fissuration .....	27
<b>Figure II. 13:</b> Modules élastiques .....	28
<b>Figure II. 14:</b> Forces résiduelles .....	28
<b>Figure II. 15:</b> Front a ph réduit détecte par pulvérisation de phénolphtaléine .....	29
<b>Figure II. 16:</b> Front à ph réduit détecte par pulvérisation de phénolphtaléine .....	30
<b>Figure II. 17:</b> Effet de la taille des granulats sur la distribution de fibres .....	32
<b>Figure II. 18:</b> Effet des fibres sur la maniabilité de béton . .....	32
<b>Figure II. 19:</b> Corrections exponential entre ve-be de la teneur en fibres des bétons avec différents rapports d'astect des fibres . .....	33
<b>Figure II. 20 :</b> Allure des courbes charge-flèche .....	34
<b>Figure II. 21:</b> influence de la longueur des fibres sur la résistance à la traction par flexion .	36
<b>Figure II. 22:</b> Influence de la direction du carottage sur le comportement en traction d'un béton fibré .....	37
<b>Figure III. 1:</b> L'essai d'analyse granulométrique.....	40
<b>Figure III. 2:</b> Type de ciment utilisé .....	42
<b>Figure III. 3:</b> Appareil de Vicat .....	43
<b>Figure III. 4:</b> L'essai de temps de prise .....	44
<b>Figure III. 5:</b> type de fibre métallique utilisé.....	45
<b>Figure III. 6:</b> Balance électronique utilisée.....	46
<b>Figure III. 7:</b> malaxeur utilisé .....	47
<b>Figure III. 8:</b> Moule prismatique utilisé.....	48

<b>Figure III. 9:</b> Table de vibration utilisée .....	48
<b>Figure III. 10:</b> L'essai de malaxage .....	50
<b>Figure III. 11:</b> Mortier frais .....	52
<b>Figure III. 12:</b> Moule prismatique 4 x 4 x 16 cm .....	53
<b>Figure III. 13:</b> La presse de traction par flexion utilisée.....	53
<b>Figure III. 14:</b> Presse de l'essai de compression.....	55
<b>Figure III. 15:</b> La variation de la masse volumique en fonction de temps .....	56
<b>Figure III. 16:</b> La masse volumique en fonction de la contrainte de flexion.....	57
<b>Figure III. 17:</b> La masse volumique en fonction de la contrainte de compression .....	57
<b>Figure III. 18:</b> Essai de flexion .....	58
<b>Figure III. 19:</b> La variation de la résistance à la flexion en fonction du temps .....	59
<b>Figure III. 20 :</b> Exemple de la disposition des fibres dans une éprouvette de béton .....	60
<b>Figure III. 21:</b> Essai de compression .....	60
<b>Figure III. 22:</b> La variation de la résistance à la compression en fonction du temps .....	61
<b>Figure III. 23:</b> La contrainte de compression en fonction de la contrainte de flexion.....	61

**Liste des tableaux**

<b>Tableau I. 1:</b> Caractéristiques physiques et mécaniques de la fibre Bekaert .....	11
<b>Tableau I. 2:</b> Caractéristique physiques et mécaniques de la fibre Nova tex .....	12
<b>Tableau I. 3 :</b> Caractéristiques physiques et mécaniques du ruban en fonte .....	12
<b>Tableau II. 1:</b> Quelques sites où le béton de fibres a été utilisé .....	19
<b>Tableau II. 2 :</b> Propriétés physiques et mécaniques des fibres . .....	21
<b>Tableau II. 3 :</b> Composition des mortiers à E/C=0,5 .....	22
<b>Tableau III. 1:</b> Résultats de l'analyse granulométrique .....	41
<b>Tableau III. 2:</b> mode opératoire de la pâte de ciment .....	44
<b>Tableau III. 3 :</b> Caractéristiques de L'adjuvant .....	45
<b>Tableau III. 4 :</b> Informations et caractéristiques normalisées du Fibre .....	46
<b>Tableau III. 5:</b> variation de la masse volumique on fonction des jours.....	56
<b>Tableau III. 6 :</b> La variation de la résistance à la flexion en fonction du temps.....	58
<b>Tableau III. 7 :</b> La variation de la résistance à la compression en fonction du temps.....	60

# Introduction générale

---

## 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. Pour éviter les problèmes de rupture ainsi que pour pallier sa faible résistance en traction et pour contenir une macro fissuration stable dans les zones tendues, le béton doit être renforcé dans la plupart des cas par des armatures.

Depuis plus de trois décennies, des fibres tant métalliques que plastiques ou autres ont été incorporées dans les bétons. L'utilisation de ces bétons renforcés de fibres a connu diverses applications. On peut citer les dallages industriels, la réparation des canalisations d'assainissement, la projection sous voûte dans les tunnels, la réalisation de chaussées entièrement faites en béton de fibres, des chaussées d'autoroutes ou chaussées de parkings aéronautiques.

Le renforcement des bétons par des fibres améliore leur résistance à la traction. Durant l'apparition et la propagation des microfissurations, ces fibres peuvent couvrir les microfissures actives qui retardent l'apparition des macro fissurations et éviter ainsi la rupture brutale. Néanmoins, l'incorporation des fibres métalliques dans le béton frais a une influence directe sur sa maniabilité qui se traduit par une mise en œuvre souvent difficile.

Parmi les paramètres qui influent sur les performances mécaniques d'un béton fibré est la disposition des fibres. Ce paramètre est lié directement à l'état d'ouvrabilité de béton, donc il serait plus judicieux de comparer les différentes éprouvettes de béton fibrés avec la même quantité de fibre. C'est dans cette optique que s'insère notre travail, notre mémoire se dévise en deux parties.

-La première partie est la recherche bibliographique, qui comporte les chapitres I et II.

**Chapitre I:** généralités sur les fibres.

**Chapitre II:** Comprend tout ce qui appartient à béton fibré (histoire, méthodes de formulation, utilisations, avantages, inconvénients, .....etc.).

## Introduction générale

---

-La deuxième partie (**chapitre III**) 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 mortier étudié. Ensuite en première étape on a procédé à l'étude de mortier avec les différentes dispositions de fibre (volume total, partie inférieure, et supérieure) avec même pourcentage de fibre (1%), avec la préparation de mortier témoin comme référence.

Des essais de la masse volumique, la compression, et la traction par flexion ont été effectués pour chaque éprouvette à 3 étapes (après 7 jours, 14 jours, 28 jours de la formulation) avec analyse et discussion pour chaque étape suivie d'une comparaison entre les différents mortiers préparés.

-Enfin, nous présentons une conclusion générale sur l'étude élaborée et cela d'après les résultats expérimentaux obtenus, tout en donnant des recommandations à les prendre en considération dans les prochaines recherches et cela pour une meilleure exploitation de ce matériau.

## CHAPITRE I : LES FIBRES

### Introduction

Les fibres dans la construction ont été utilisées depuis des siècles. Les trente dernières années, l'intérêt pour leur utilisation ne cesse de pousser pour la fabrication du béton prêt à l'emploi, du béton préfabriqué et du béton projeté. Fabriquées à partir d'acier, de plastique, de verre et de matériaux naturels (cellulose) ou autres, les fibres sont disponibles en diverses formes (rondes, plates, gaufrées et déformées), dont la longueur varie généralement entre 6 mm et 150 mm et dont l'épaisseur est comprise entre 0,005 à 0,75 mm (figure. I.1). Elles sont ajoutées au béton durant le malaxage. Les principaux facteurs qui contrôlent la performance d'un matériau composite sont [1].

1. Les propriétés physiques des fibres et de la matrice.
2. L'adhérence entre les fibres et la matrice.

Bien que les principes de base soient les mêmes, il existe plusieurs différences caractéristiques entre les armatures conventionnelles et les systèmes à base de fibres [1] :

1. Les fibres sont généralement distribuées à travers toute une section donnée tandis que les barres d'armature ou les treillis d'armature sont disposés seulement là où ils sont requis ;
2. La plupart des fibres sont plutôt courtes et peu espacées, contrairement aux barres ou aux treillis d'armature en continu ;



**Figure I. 1** : Des fibres d'acier, de verre, de matériaux synthétiques et naturels de différentes longueurs et formes peuvent être utilisées dans le béton.

3. En général, il n'est pas possible d'obtenir le même rapport entre la surface de renforcement et la surface de béton que celui obtenu en utilisant un réseau de barres d'armature ou de treillis [1].

La plupart du temps, un faible volume de fibres est ajouté au béton (moins de 1 à 3 %), ce qui s'avère efficace pour réduire la fissuration due au retrait plastique [1].

## **I.1. Définition**

La mise au point de produits composites renforcés de fibres dans les secteurs de la construction civile ou maritime, dans l'industrie automobile, l'aérospatiale et autres offre l'opportunité de surpasser certaines difficultés qui ont demeurées un obstacle devant l'évolution des caractéristiques, mécaniques ou techniques des matériaux. Devant cet exploit, les chercheurs de par le monde et jusqu'aujourd'hui, tentent d'utiliser des fibres de différentes natures et caractéristiques pour parer certaines anomalies qui demeurent un handicap devant la vulgarisation de leurs utilisations surtout dans le domaine de Génie Civil. À cet effet, différents types de fibres sont utilisées dans les matériaux de constructions afin de remédier à certaines anomalies, dans le but d'une amélioration des performances mécaniques et rhéologiques de ces derniers[2].

## **I.2. Différent nature de fibre**

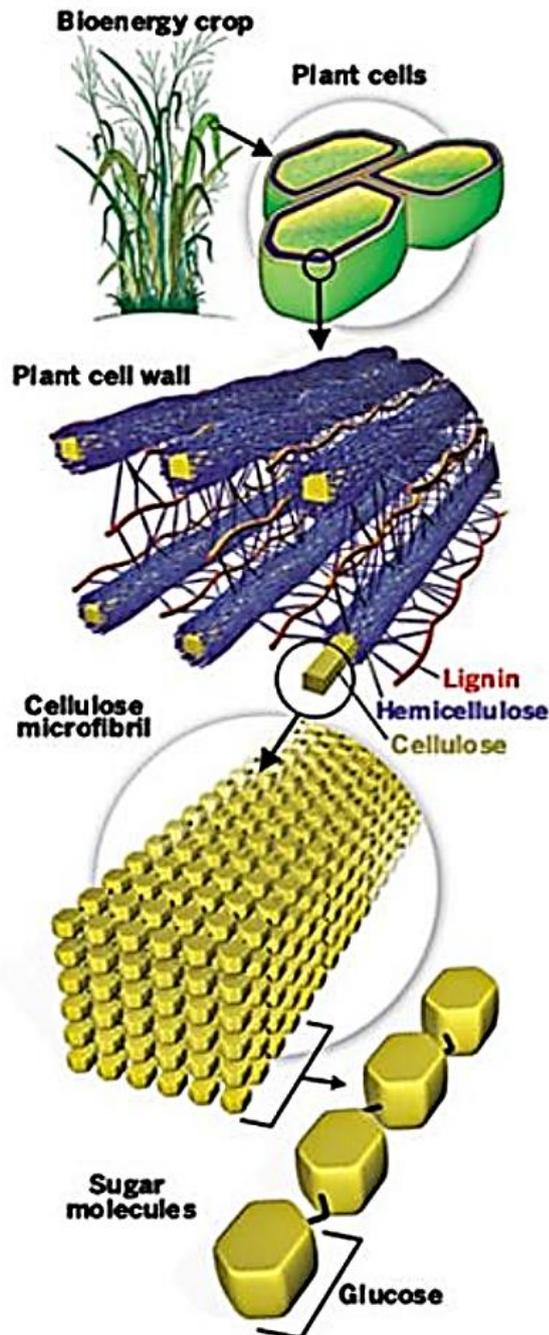
Les fibres sont classées selon leur origine (naturelle, synthétique ou artificielle), leur forme (droite, ondulée, aiguille, ...etc.), leur dimension (macro ou microfibre) et aussi par leurs propriétés mécaniques. Les principales fibres utilisées sont.

### **I.2.1. Fibres minérales**

Elles regroupent plusieurs sortes de fibres (amiante, alumine.....etc.), et sont utilisées en grande quantité dans plusieurs applications traditionnelles. Les fibres d'amiante autrefois utilisées pour l'isolation et l'ignifugea, se sont aujourd'hui révélées cancérogènes.

### **I.2.2. Fibres végétales**

Les fibres végétales peuvent être considérées comme composites naturels constituées essentiellement de fibrilles de cellulose, maintenues ensemble par une matrice composée principalement de lignine et d'hémicellulose (Figure I.2). Les fibrilles de cellulose sont orientées en hélice suivant un angle nommé angle micro fibrillaire [3]. Les conditions climatiques, l'âge et le processus de digestion influent non seulement sur la structure des fibres, mais aussi la composition chimique [4].

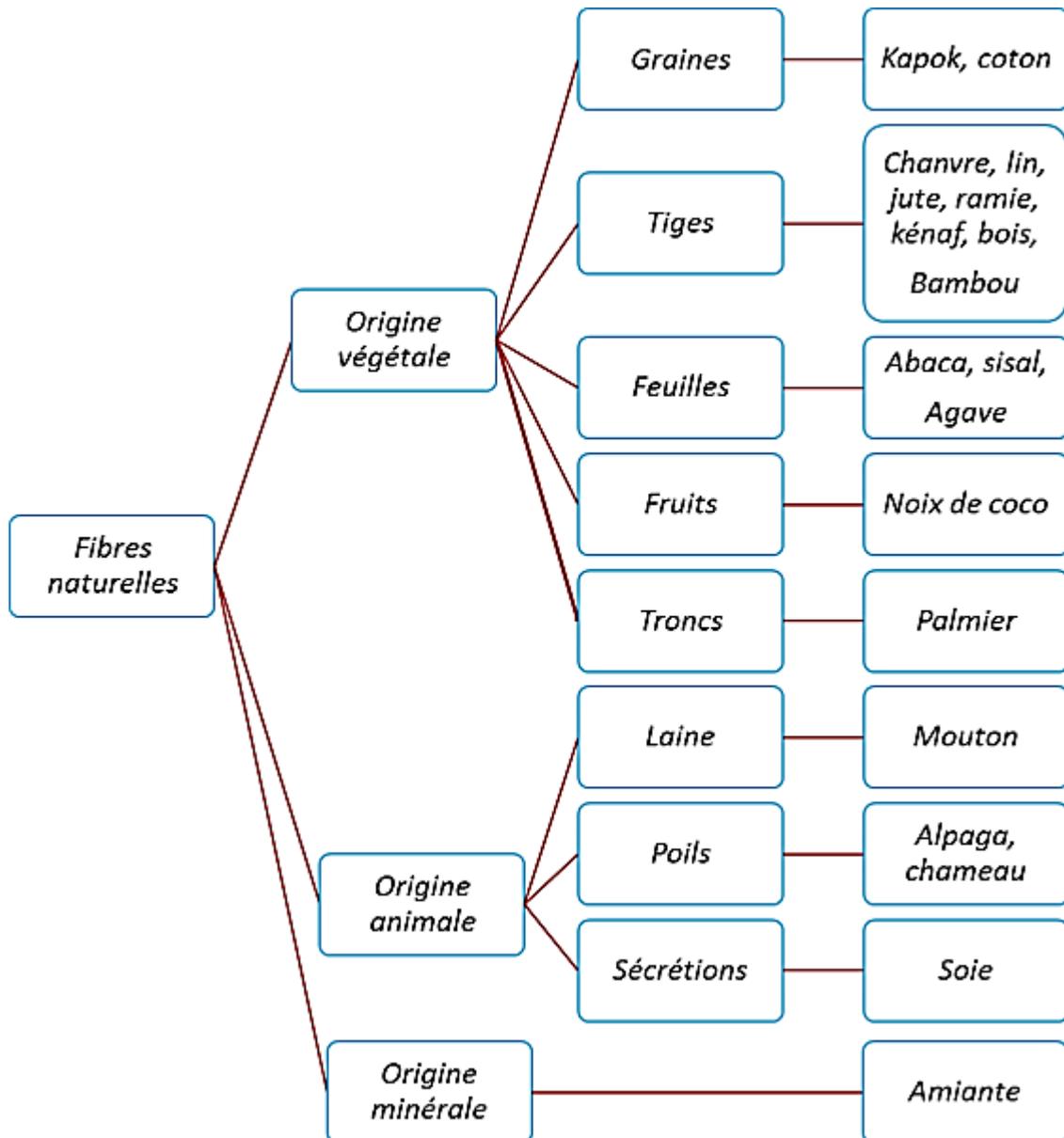


**Figure I. 2:** Structure et composition d'une paroi végétale [5].

La principale fibre végétale est la cellulose qui résiste aux alcalis. Les fibres végétales résistent aussi à la plupart des acides organiques mais sont détruites par les acides minéraux forts. Il existe quatre sortes de fibres végétales : les fibres provenant des poils, les fibres du liber, et les fibres extraites des troncs de certaines graminées. Elles sont souvent utilisées dans la fabrication du papier et dans les panneaux de construction (fibres de bois).

# CHAPITRE I : Les fibres

Les fibres naturelles sont subdivisées en fonction de leurs origines, venant de plantes (cellulosique), d'animaux (protéinique) ou de minéraux (amiante) [3]. La classification des différents types de fibres naturelles est présentée dans la figure I.3.



**Figure I. 3:** Classification des différents types de fibres naturelles [3].

## I.2.3. Fibres synthétiques

Cette famille regroupe plusieurs types de fibres comme (nylon, polypropylène, acryle, polyester ...etc.). Elles sont apparues à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle sous le nom de rayonne.

Elles sont dérivées de la cellulose naturelle, aujourd'hui, la plupart des fibres synthétiques proviennent de produits dérivés du pétrole et de polymères géants dont la structure ressemble à celle des matières plastiques. La première fibre plastique.

Commercialisée avec succès, le Nylon, daté de 1938. Depuis, de nombreux synthétiques, dont les fibres acryliques, l'aramide, l'oléfine et le polystyrène sont apparus. Ces fibres ont également été étudiées à des fins industrielles très précises, telles que la fabrication des matériaux d'isolation, tissus pare-balles, les fuselages et ailes d'avion [6].

### **I.2.4. Fibres artificielles**

Ce type de fibres est le plus utilisé dans le domaine industriel en général et dans le domaine de génie civil en particulier. Il regroupe les fibres de verre, les fibres de carbone, les fibres d'acier et d'autres. Elles sont aujourd'hui les plus répandues dans l'industrie de la construction.

Ci-après nous allons présenter les principales fibres utilisées pour renforcer les mortiers et bétons :

#### **A. Les fibres de cellulose**

Sont obtenues à partir du bois par différents processus chimiques et mécaniques. Elles étaient utilisées pendant des années comme un additif au ciment d'amiante et non pas comme un renfort. Aujourd'hui, elles sont utilisées principalement pour renforcer les matrices organiques et aussi des matrices cimentaires destinées à la fabrication des plaques minces, des pipes, et d'autres types d'éléments. Leurs propriétés physiques sont changeables selon les modes de fabrication de ce type de fibres. Les diamètres de ces fibres varient de 1 à 4 mm, tandis que leurs longueurs comprises entre 10 à 50 mm, alors que l'élanement peut être dans les environs de 100. Leurs résistances en traction varient entre 10 et 30 MPa. Elles sont très efficaces dans l'amélioration de la résistance mécanique d'un composite. Cette amélioration est réalisée essentiellement par le freinage des fissures.

#### **B. Fibres de polypropylènes**

Le polypropylène est un polymère cristallisable de la famille des polyoléfines. Il est fabriqué depuis 1954 pour l'industrie textile. Il a connu une extension croissante dans ce domaine où il apporte les avantages suivants : bonne résistance à la traction qui peut atteindre 800 MPa, déformabilité élevée. Ces fibres sont obtenues suivant le processus d'extrusion, étirage qui confère une orientation prépondérante aux molécules et qui engendre des propriétés mécaniques élevées. L'ajout de fibres de polypropylène au mortier et au béton remonte à 1960 mais ce n'est qu'à partir de 1967 qu'apparaissent des réalisations intéressantes notamment en Grande Bretagne. Ces fibres sont utilisées dans les bâtiments pour l'élaboration de panneaux

décoratifs, ainsi que l'élaboration de revêtement de façades dans plusieurs constructions et aussi dans la réalisation des canalisations et des pieux.

### **C. Fibres de verre**

Ces fibres sont fabriquées à partir de verre fondu qui passe dans une filière, chauffé par effet Joule, qui comporte 50 à 800 trous d'un diamètre de l'ordre de 10 à 100  $\mu\text{m}$ . Elles sont disponibles dans le commerce sous forme de bobines (découpage à la demande) ou sous forme de morceaux prédécoupés de 3, 6, 12, et 50 mm de long. Ils sont regroupés en trois types : La fibre de verre classique (silice, soude, chaux), la fibre de verre au zirconium et la fibre de verre au borosilicate.

Ces fibres sont généralement caractérisées par les propriétés suivantes :

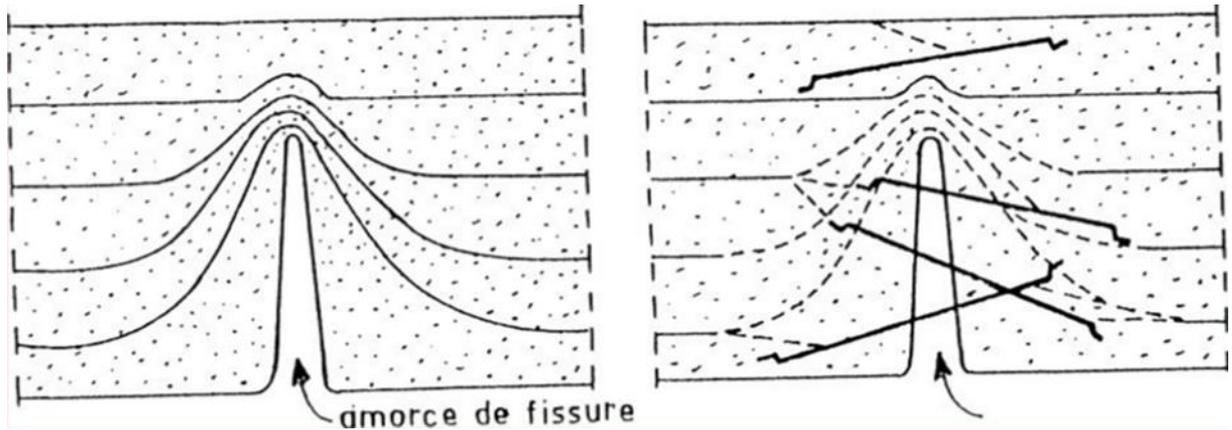
- bonne adhérence avec la matrice,
- disponibilité sous toutes les formes (coupées, continues ...),
- bonne résistance à l'humidité et à la corrosion,
- conductivité thermique relativement faible.

### **D. Fibres métalliques**

Ce type de fibres, qui regroupe les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, a été et reste encore l'objet de recherches très importantes dans le monde. On se limite aux fibres d'acier qui sont sans doute les plus utilisées dans le domaine du génie civil. En effet, les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion interrassiale entre fibre et matrice. Les fabricants des fibres d'acier ont essayé par tous les moyens d'améliorer l'adhérence en jouant sur l'irrégularité de la surface de la fibre, ce qui les conduit aux nombreuses variétés de fibres qui se différencient les unes des autres par leur diamètre, leur section (ronde, carrée, rectangulaire), leur longueur et leurs modes d'opération. Les diamètres des fibres d'acier varient généralement entre 0.1 et 0.7 mm, avec des longueurs de 10 à 70 mm [6].

#### **D.1. Connaissance du matériau**

Le béton renforcé de fibres métalliques (BRFM) est un matériau composite dont les Propriétés mécaniques résultent de la combinaison des propriétés du béton, des fibres et de l'interface entre les matériaux. Permettrait d'augmenter la résistance au feu (par limitation des ouvertures des fissurations protègent les armatures traditionnelles).



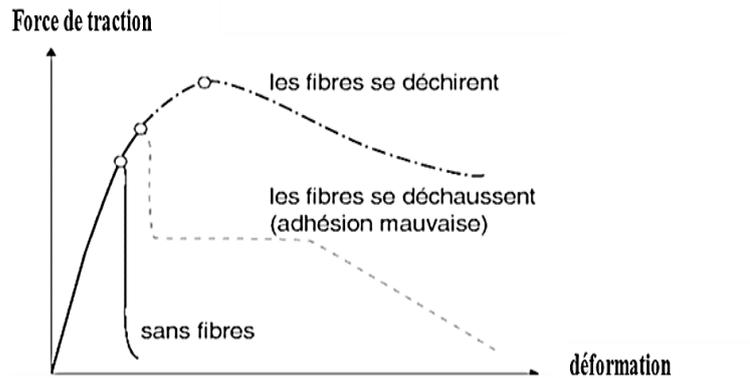
**Figure I. 4:** Rôle des fibres dans la matrice de béton [6].



**Figure I. 5:** Fissuration dans le béton sans et avec fibres [6].

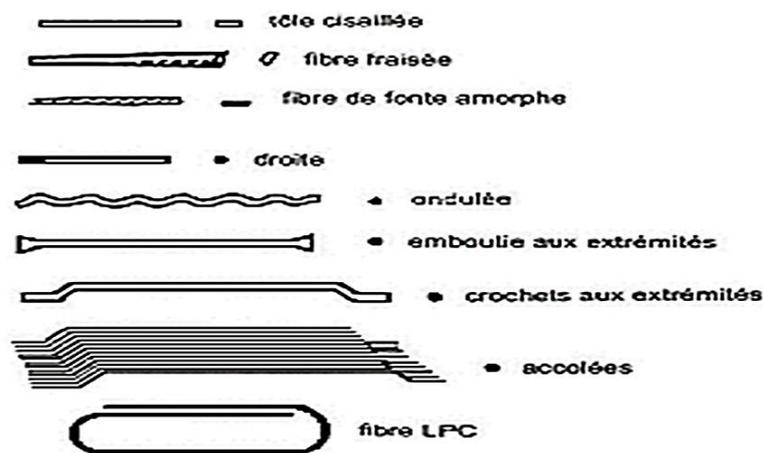
Il est à noter que le rôle principal des fibres dans un matériau peut être lié à deux points essentiels :

- ❖ Le contrôle de la propagation d'une fissure dans un matériau en état de service.
- ❖ La transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes voir figures **I.6** et **I.7**.



**Figure I. 6:** Comportement de charge –déformation de béton avec fibres et béton sans fibres [6].

## a. Forme de la fibre d'acier



**Figure I. 7:** Les fibres métalliques, (formes et dimensions variables) [6].

## b. Section transversale de la fibre d'acier

Pour des usages particuliers, certaines fibres utilisées sont inoxydables ou traitées contre la corrosion. Leur principal avantage est une amélioration de la résistance à la traction et à la flexion, une augmentation de la ductilité donc une bonne tenue aux chocs ainsi qu'à l'usure. De ces avantages découlent les principaux domaines d'utilisation : en particulier les dallages industriels, les ouvrages coulés en place tels que les pieux, piste d'aéroport, revêtement de tunnel, soutènement ; ces deux dernières applications font appel à la technique des bétons projetés, les voussoirs de tunnel préfabriqués sur site, les produits en béton manufacturé tels que pannes, panneaux de façade, pré cadre de baies.

La recherche de l'adhérence et d'une bonne compatibilité avec le béton a donné naissance à une grande variété de fibres métalliques susceptibles, par leurs formes ou leurs états de

## CHAPITRE I : Les fibres

---

surfaces de mieux s'ancrer dans le béton. À ce propos nous citons les fibres métalliques les plus utilisées.

### D.2. Les fibres FIBRAFLEX (fibres de fonte amorphe)

Elles se présentent sous forme de rubans métalliques de 5 à 30 mm de longueur, de 1,6 mm de largeur et de quelques microns d'épaisseur. De par sa souplesse elles sont facilement incorporées dans le béton, que l'on peut ensuite couler, pomper ou projeter sans problème. Par la présence de chrome dans l'alliage donne à FIBRAFLEX une grande résistance à la corrosion ; elles présentent aussi une résistance à la traction remarquable qui est supérieure ou égale à 1400 MPa.

### D.3. Les fibres HAREX

La fibre HAREX a été spécialement conçue pour une utilisation en armatures de chapes. Ce type de fibre optimise la qualité et l'ouvrabilité des chapes. Celle-ci est obtenue par fraisage. Les copeaux produits légèrement enroulés sur eux même, possèdent une résistance à la traction d'environ 700 MPa.

### D.4. Les fibres Bekaert de chez Dra mix

Ces fibres en acier tréfilé sont fabriquées par Bekaert\* ; elles se présentent sous forme de plaquettes encollées, ce qui facilite l'introduction dans le béton et évite la formation d'oursin (la colle se dissout dans l'eau de gâchage). Le crochet développe progressivement un ancrage puis dissipe de l'énergie par plastification de celui-ci ainsi que par frottement à l'interface avec la matrice. Les plus courtes sont utilisées essentiellement en béton projeté. Le tableau (I.1) donne les caractéristiques physiques et mécaniques de la fibre Bekaert.

**Tableau I. 1:** Caractéristiques physiques et mécaniques de la fibre Bekaert [6].

Fibre	Diamètre en (mm)	Longueur en (mm)	Résistance à la traction en (MPa)
Bekaert de chez Dra mix	0.4 – 0.8	25–60	1100

- ❖ Présenter une adhérence exceptionnelle dans le béton ;
- ❖ Ne modifie pas les caractéristiques rhéologiques du béton ;
- ❖ S'oriente dans le sens de la taloche de façon à ne pas apparaître en surface du béton.

\*Bekaert est une entreprise belge spécialisée dans la transformation de fil d'acier et les techniques de revêtement.

Le tableau (I.2.), présente les caractéristiques physiques et mécaniques de la fibre Nova tex.

## CHAPITRE I : Les fibres

**Tableau I. 2:** Caractéristique physiques et mécaniques de la fibre Nova tex [6].

Fibre	Diamètre en (mm)	Longueur en (mm)	Résistance à la traction en (MPa)
Nova tex	0,7	30	1150

### D.5. Les fibres Ruban en fonte amorphe de Pont –à- Mousson

Les fibres ruban en fonte amorphe sont obtenues par refroidissement brutal, cette trempe crée une structure vitreuse qui est en partie à l'origine de sa résistance à la corrosion.

La mise en œuvre de ces fibres ne possède pas de problème particulier quant au béton coulé sur place pourvu que les dosages restent inférieurs à 0.75 %. Par contre on peut introduire jusqu'à 1% de fibres dans un béton de sable. Mais il faut savoir que l'une de leur caractéristique importante est leur grande résistance à la corrosion [6].

Le tableau (I.3), illustre les caractéristiques physiques et mécaniques du ruban en fonte. A.

**Tableau I. 3 :** Caractéristiques physiques et mécaniques du ruban en fonte, á [6]

Fibre	Longueur en (mm)	Résistance à la traction en (MPa)
Ruban en fonte amorphe	0,7	200

### D.6. Autres fibres

Le besoin d'atteindre des performances techniques élevées fait que la recherche pour trouver et utiliser des fibres de nature et de formes variées ne cesse de ce développé. En effet, un grand nombre de fibres peuvent être employées dans le renforcement des matériaux de construction, qu'elles soient animales, végétales ou minérales. Parmi cela nous pouvons citer les fibres céramiques qui ont connu beaucoup d'applications industrielles sous différentes formes. Elles ont trouvé un très grand succès surtout dans le domaine de la construction des fours et équipements auxiliaires.

### I.3. Conclusion

Selon ce qui on cherche, la nature des fibres utilisées est en relation avec les applications et les modes de mise en œuvre ; le choix des fibres dépend du rôle que l'on désire leur faire jouer. Toutefois, pour un rôle structural de contrainte importante, l'utilisation d'une fibre de caractéristiques mécaniques élevées pour renforcer les matériaux de constructions est inévitable. Après un siècle d'études, les chercheurs s'accordent à dire que les fibres doivent être :

- ❖ Compatible avec la matrice.
- ❖ Rugueuses, pour permettre une bonne adhérence.
- ❖ D'un prix abordable, compte tenu des dosages à employer [6].

### CHAPITRE II : LES BETONS FIBRES

#### II.1. GENERALITES SUR LE BETON ET LE BETON DE FIBRES

##### II.1.1. Généralités sur le béton

Le béton, depuis son origine, a été réalisé à partir des composants de base qui sont : le ciment, l'eau et les granulats. Le ciment constitue la phase liante du béton, avec une taille de grains comprise entre 1 et 100 micromètres ; le sable, avec une taille de grains comprise entre 1 et 5 mm et les granulats ou graviers de grosseur comprise entre 5 et 25mm.

Les romains le confectionnaient à partir de la chaux, de céramique écrasée et de sable volcanique (Vitruvius "d'Architectura » 1er siècle av. J.C.). Le Panthéon de Rome, an 124 après J.C., est couvert par une gigantesque coupole en béton [7].

Il existe dans la nature sous forme de poudingues calcaires et siliceux, mais c'est aussi un matériau qui est mis en œuvre par l'homme d'abord d'une manière pragmatique dans la maçonnerie romaine qui était faite de cailloux noyés dans un mortier pouzzolanique, puis de manière plus scientifique à partir du 19<sup>ème</sup> siècle.

Aujourd'hui, il est le matériau le plus utilisé dans tous les domaines de construction, qu'il s'agisse du bâtiment ou des ouvrages d'art comme les ponts ou barrages ou encore dans les pistes d'atterrissage ou jetées de ports.

Si le matériau est plastique donc modulable lors de sa fabrication, il acquiert ses propriétés mécaniques au cours du temps. Une fois mature, le béton doit être considéré comme un composite constitué de granulats et d'une pâte de ciment durcie, dont les propriétés dépendent, en grande partie, de sa formulation.

L'évolution des connaissances du matériau, les exigences nouvelles en matière de propriétés ont incité les chercheurs et les industriels à introduire dans les formulations de nouveaux produits afin d'obtenir des propriétés recherchées. Ainsi, actuellement, assiste-t-on à une large variété de gammes de bétons pour répondre à la forte demande des industriels. S'appuyant sur les connaissances de ces nouveaux matériaux, les maîtres d'œuvre proposent des ouvrages innovants. Il s'agit là de réaliser des ouvrages avec des compositions de béton répondant aux critères exigés définis pour chaque ouvrage [6].

##### II.1.2. Généralités sur le béton renforcé de fibres

L'idée de renforcer le béton avec des éléments courts en acier de type fibres n'est pas récente, elle date depuis l'antiquité. D'après le chercheur Exode [8] [9], les Égyptiens ont utilisé les pailles pour renforcer la brique de boue. Il y a aussi une certitude que les fibres d'amiante ont été utilisées dans le renforcement des poteries en argile en Finlande, il y a de cela 5000 ans [8]. Dans d'autres sources [9], [10], il a été indiqué que les pailles ont été utilisées pour

## Chapitre II : Les bétons fibrés

---

renforcer les briques, tandis que les poils d'animaux et les fibres d'amiante ont été introduits pour renforcer le plâtre et la pâte de ciment Portland. On peut noter aussi la réalisation au milieu du XV<sup>e</sup> siècle d'alliages métalliques avec des fibres de carbone.

M. BRAUN et d'autres chercheurs [11], ont rapporté que la paille a été rajoutée dans des matériaux de construction tels que le mortier, le plâtre ...etc. [6].

JOSEPH LAMBOT en établissant en 1847 un brevet, suggère l'ajout de fils continus ou de treillis métalliques pour créer un nouveau matériau qui peut être, à son avis, une solution face aux problèmes de fissuration des bétons [9]. Ces développements sont à l'origine de la technologie actuelle du béton armé. Ce concept conduit toutefois à un matériau anisotrope dans lequel les armatures continues qui ne travaillent que dans une direction privilégiée, et sont relativement inefficaces face aux fissures microstructurales [6].

Vingt-sept ans après, l'américain A. BERNARD est parvenu en Californie (U.S.A), à créer une pierre artificielle par l'ajout de granulats en fer recuit dans un mélange de béton [9]. Ensuite, en 1899, un processus de fabrication d'éléments composites à base de ciment et d'amiante a été mis au point par LHATSHELS [6].

Pour améliorer la résistance du béton, une série d'essais a été faite par J. PORTER en 1910, qui a conclu que la présence des fibres courtes dans le béton augmente sa résistance à l'écrasement et à la traction. Par la suite une série de brevets ont été établis par J. GRAHAM (1910), WEAKLY (1912), FICKLEY (1914) [12].

En 1963, deux articles ont été publiés par ROMUALDI et BATSON [13] [14], le premier, sous le titre, "The mechanics of crack arrest in concrete ", le deuxième s'intitule "Behavior of reinforced concrete beams with closely spaced reinforced ". Dans ces deux articles, une analyse théorique des résultats donnés par les brevets de Battelle Development Corporation a été validée avec des données expérimentales obtenues à partir de l'essai de flexion. Par la suite, les recherches sur les bétons de fibres ont connu un réel développement grâce aux travaux de ROMUALDI, BATSON et MANDEL et d'autres. Dans ces travaux, qu'on peut qualifier comme des essais pilotes en déformation, les chercheurs sont arrivés à mettre en évidence les propriétés nouvelles de ce composite. Ils ont décrit les mécanismes de propagation et d'arrêt d'une fissure au sein d'une matrice fragile [6].

La fin des années soixante a connu la participation d'un grand nombre de chercheurs afin d'orienter les axes de recherche vers l'application, avec toute la fiabilité du béton de fibres dans les domaines de construction. Les travaux se multiplient et une multitude de types de fibres a été introduite dans le commerce comme étant de nouvelles applications. Le plus

## Chapitre II : Les bétons fibrés

---

grand progrès dans ce domaine a commencé dans les années soixante-dix avec l'incorporation des fibres d'acier dans l'industrie réfractaire [6].

À partir de l'année 1970, il s'est produit une sorte de réveil dans le domaine de la technologie des bétons renforcés de fibres. L'amélioration de certaines propriétés spécifiques des bétons renforcés de fibres a permis leur utilisation de façon permanente dans des applications industrielles. Mais aujourd'hui, avec le développement des moyens expérimentaux, l'utilisation de ce type de matériaux s'est orientée vers les structures présentant des phénomènes de fissuration avec des bétons traditionnels [6].

Le premier article dans ce concept peut être attribué à LANKARD et SHEETS [15]. Dans cet article, ces auteurs confirment que l'ajout de 1% à 2% de fibres au béton réfractaire donne une amélioration significative à sa résistance, sa ténacité et sa durabilité [6].

### II.2. Définition

"Le béton de fibres est un matériau composite constitué d'une matrice béton et d'un renfort par inclusion directe de fibres isolées". Alors que la matrice béton a pour rôle de diffuser les efforts, les fibres ont pour rôle principal la compensation des défaillances de la matrice et de suppléer la perte de résistance en traction de la matrice au droit d'une fissure.

Les fibres sont des éléments discontinus, de nature variable, répartis uniformément dans la matrice et ayant une orientation aléatoire (naturelle) ou forcée. Les fibres permettent l'arrêt et la couture des fissures améliorant ainsi le comportement post-fissuration du béton. Ces dernières jouent un rôle de renforcement qui compense la fragilité du béton par couture de la microfissuration et la macro fissuration. Elles ont de plus, la capacité de transférer les charges, dès lors qu'une bonne adhérence fibre/matrice est assurée [16].

La distribution homogène des fibres dans le béton est donc la condition principale pour pouvoir parler d'un béton renforcé uniformément, avec les mêmes caractéristiques dans tous les points de la matrice.

Par ailleurs, les fibres constituent une sorte de granulats filiforme gênant l'assemblage optimal du squelette des granulats. La géométrie des fibres, leur dosage, ainsi que la mise en place du matériau frais, sont des paramètres affectants très fortement le comportement global du matériau durci [17].

### 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

## Chapitre II : Les bétons fibrés

---

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 [18]. Un béton fibré continue donc à supporter des charges après la formation de fissures. L'augmentation de la capacité en flexion est obtenue grâce à l'augmentation de la résistance résiduelle par l'utilisation des fibres. Cette propriété est aussi fonction de la nature, de la quantité et de l'efficacité des fibres utilisées. Il est important de se rappeler que la distribution uniforme des fibres dans le mélange est la condition essentielle pour obtenir une amélioration des caractéristiques mécaniques du béton fibré. Il faut combiner tout apport de fibres dans le béton à des techniques d'insertion des fibres permettant d'éviter la formation « d'oursins ». La recherche d'une composition optimale du béton de fibre est assez difficile, car l'ouvrabilité et l'homogénéité du composite dépend de trois facteurs essentiels à savoir : La géométrie des fibres définit par l'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 [19].

Les granulats du matériau doivent avoir des dimensions permettent leur encadrement par la fibre [20], 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 [21].

### **II.4. Méthode de formulation du béton fibré**

Le problème de la formulation de béton est compliqué de fait de nouveau constituant tel qu'adjuvant, et les fibres sont venus s'ajouter au constituant de béton ordinaire. Pour le béton ordinaire plusieurs méthodes Dans l'objectif d'une composition optimale de béton renforcé en fibre métallique, le laboratoire central des ponts et chaussée LCPC propose une méthode expérimentale qui a comme point de départ la méthode Baron - Lesage [22] de formulation des bétons courants.

## Chapitre II : Les bétons fibrés

---

Cette méthode est basée sur les deux postulats suivants :

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

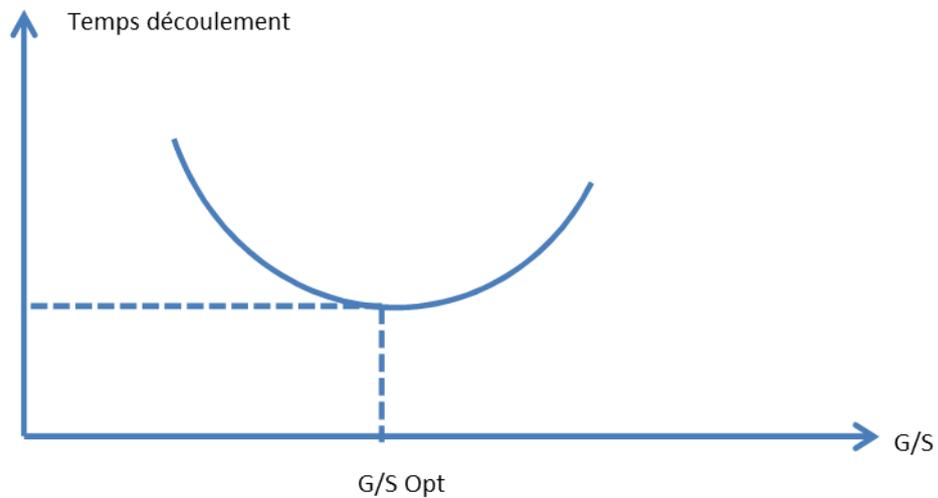
Pour que cette méthode soit applicable au béton de fibres métalliques on fait l'hypothèse supplémentaire suivante : L'ajout de fibre métallique ne modifie pas les deux premières hypothèses.

Rossi préconise l'utilisation de maniabilimètre LCL [23] pour la mesure de la maniabilité, lorsque le dosage en fibres est important. Cet appareil (décrit dans le deuxième chapitre) permet de quantifier la maniabilité par le temps d'écoulement d'un volume fixé de béton dans un récipient soumis à une vibration. Cette méthode de mesure est particulièrement adaptée aux bétons de fibres. En effet, les fibres forment un enchevêtrement qui limite l'écoulement statique, rendant ainsi inutilisable un essai comme le cône d'Abrams lorsque la teneur en fibres est élevée. De plus, le maniabilimètre utilise un volume de 30L qui est plus représentatif que les 6 L du cône d'Abrams. La composition du béton doit être mise en fonction des caractéristiques de la fibre et des emplois. Afin de compenser la diminution de maniabilité due à l'incorporation des fibres il est recommandé l'emploi de super plastifiants. Pour notre cas, et suite à l'indisponibilité de cet appareil nous avons utilisé le cône d'Abrams pour mesurer la maniabilité. Comme dans notre étude l'objectif n'était pas la formulation d'un béton fibré avec maniabilité figée donc nous avons utilisé la méthode de Dreux Goriss pour la formulation de béton témoins, ensuite on a évalué l'influence des Fibres sur le comportement de béton à l'état frais et à l'état durci [21].

### II.4.1. 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 II. 1** : Recherche de la maniabilité du rapport g/s optimal [21].

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 [21].

### **II.5. Propriétés des bétons fibrés**

L'un des propriétés essentielles des bétons fibrés c'est le bon comportement à la traction et aux déformations à savoir :

- une moindre fragilité due à l'augmentation de la déformabilité, le béton ne se rompant plus brusquement sous l'effet de l'ouverture d'une fissure mais se microfissurant, et chaque microfissure étant momentanément cousue par la présence des fibres qui, ainsi retardent la rupture ;
- une meilleure résistance aux chocs, à l'usure et à l'abrasion.
- une légère augmentation de la résistance à la traction, la résistance à la compression n'étant, quant à elle, pas modifiée.
- une tenue au gel sensiblement supérieure [24].

### **II.6. Domaine d'utilisation des bétons fibrés**

Depuis le concept de béton de fibres a été conçu, de nombreux travaux de recherche ont montré que l'ajout de fibres d'acier dans une matrice de béton permet au composite (béton-fibres) d'augmenter ses caractéristiques mécaniques comme la résistance à la compression ou la résistance à la flexion. Mais ce type de béton n'est pas considéré comme un substituant aux bétons traditionnels, mais comme un matériau nouveau type, qui devient intéressant dans l'optique de la conception d'une structure performante [6].

## Chapitre II : Les bétons fibrés

**Tableau II. 1:** Quelques sites où le béton de fibres a été utilisé [6]

APPLICATIONS	INTERET APORTE PAR L'ADJONCTION DES FIBRES DANS LE BETON
Canalisation et coque minces faiblement sollicitées.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amélioration de la tenue des pièces aux jeunes âges.</li> <li>- Modification des variations dimensionnelles, lutte contre les fissurations.</li> </ul>
Dallage, chaussées en béton, Dallages manufacturés, et tous Éléments structurés et tous éléments structuraux soumis à la flexion.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- diminution de 40% de l'ouverture de fissures,</li> <li>- augmentation de la rigidité après fissuration,</li> <li>- augmentation de la résistance au cisaillement,</li> <li>- augmentation de la résistance à l'usure.</li> </ul>
Éléments structuraux soumis à la Compression (poteaux, pieux, fondations...etc.).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- amélioration de la charge ultime,</li> <li>- pas de rupture catastrophique.</li> </ul>
Structures Soumises à des sollicitations pulsionnelles exp : piste d'aéroport.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- l'énergie absorbée est plus importante,</li> <li>- la durée de choc est augmentée,</li> <li>- la loi de comportement du matériau est fortement modifiée.</li> </ul>
Réparation des revêtements routiers, tablier de ponts	<ul style="list-style-type: none"> <li>- amélioration de la résistance aux chocs,</li> <li>- amélioration de la déformation.</li> </ul>
Parties exposées aux fortes variations de température et même aux hautes températures.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- remplacement avec succès du revêtement réfractaire,</li> <li>- diminution le coût de réparation des éléments réfractaires</li> </ul>
Stabilisation des parois rocheuse, les talus, les tunnels, les galeries souterrains.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- évite le travail de fixation du grillage ordinairement employé,</li> <li>- diminution du coût de réparation de stabilisation des parois rocheuses et les talus.</li> </ul>
Fabrication des pieux, revêtement ignifuges isolants (construction navale).panneaux de revêtement de façade....etc.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- augmentation de la résistance aux chocs,</li> <li>- augmentation de la résistance à l'usure,</li> <li>- augmentation de la durabilité de revêtement.</li> </ul>

### II.7. Avantages des bétons fibrés

Ils sont présentés selon l'aspect technique et l'aspect économique comme suit :

#### II.7.1. Aspect technique

De côté technique les avantages 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.7.2. Aspect économique

De côté économique les avantages sont :

- diminution du coût de mise en place et du temps de construction.
- une optimisation du dimensionnement [24].

### II.8. Les inconvénients du béton fibré

Mais le béton fibré présente, inévitablement, quelques inconvénients dont il vaut mieux être au courant ! Le premier est évident dès que l'on compare les coûts : le béton fibré est plus cher à l'achat que le béton classique. Certes, la pose sera plus simple pour le béton fibré, mais la matière initiale est plus complexe donc plus coûteuse. D'autre part, il faut prévoir un vieillissement à terme moins réussi que pour le béton classique. En effet, le béton fibré ne pourra pas résister éternellement à l'eau et à la pression. Il faut donc envisager de le remplacer dans un avenir lointain.

### II.9. La durabilité d'un béton fibré

La durabilité d'un béton dépend de plusieurs facteurs, on peut citer les caractéristiques mécaniques finales, les sollicitations de service, les sollicitations de l'environnement.

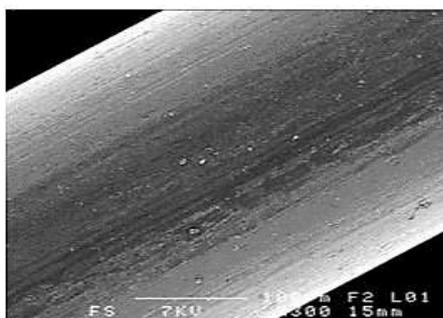
Monsieur Fedouai-Akmoussi [25] faire une étude sur le comportement mécanique et la durabilité d'un béton fibré dans un milieu agressif, il est réalisé trois essais qui sont : les essais de résistances mécaniques, le test à la phénolphthaléine et l'étude microstructurale (MEB) Les compositions ont été fabriquées avec des rapports eau sur ciment (0,5 ; 0,65 ; 0,8), un dosage en fibres métalliques de 0,5 %. Après une année de conservation dans trois

## Chapitre II : Les bétons fibrés

environnements différents qui sont: environnement témoin humide (20°C et 95% HR), environnement cycles (mouillage et séchage), et environnement agressif (égouts), il est caractérisé les performances mécaniques et de durabilité des mortiers étudiés. Une observation au microscope électronique à balayage (MEB) a été réalisée sur les échantillons de rapport (E/C=0,8) afin de mieux visualiser les différentes modifications de la microstructure de la matrice. L'observation au MEB montre qu'il y'a une détérioration de la surface externe des échantillons par les phénomènes biochimiques qui sont provoqués par une attaque bactérienne et une attaque sulfatique.

### II.9.1. Matériaux utilisés

Le ciment utilisé est un ciment Portland CEM I 52.5, sa surface spécifique Blaine est de 3600  $\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$ . Le sable utilisé est un sable siliceux normalisé selon CEN 196-1[26] conforme à la norme ISO 679[27]. Sa granulométrie est comprise entre 0.08 et 2 mm, sa masse volumique réelle est égale à 2640  $\text{kg}/\text{m}^3$ . Nous avons utilisé des fibres métalliques droites de longueur 25 mm et de diamètre 0.25 mm (Figure II.2), leurs caractéristiques physiques et mécaniques sont données dans le Tableau II.2. Le taux de pourcentage en fibres utilisés est de 0.5 % du volume total du mortier.



**Figure II. 2:** Aspect d'une fibre non altérée [25].

**TABLEAU II. 2 :** Propriétés physiques et mécaniques des fibres [25].

Propriétés	Fibre métallique
Masse volumique ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	7800
Résistance en traction (GPa)	1 – 3
Module d'élasticité (GPa)	200
Résistance au feu ( $^{\circ}\text{C}$ )	1500
Coefficient de dilatation ( $\mu\text{m}/\text{m}$ )	11

## Chapitre II : Les bétons fibrés

---

### II.9.2. Préparation des échantillons et essais

Dans cette étude nous avons confectionné deux séries de mortiers selon la norme (EN 206-1) [28] qui sont :

(MN : mortier sans fibres et MNfm : mortier avec fibres métalliques). La composition des mortiers est donnée dans le tableau II.3.

**TABLEAU II. 3** : Composition des mortiers à E/C=0,5[25]

Composition (kg/m <sup>3</sup> )	MN	MNfm
Ciment	494	492
Sable	1483	1476
Eau	247	246
Fibres métalliques 0,50 %	/	39.0

De plus chaque série a été étudié pour trois valeurs de E/C (0,5 ; 0,65 ; 0,8). Pour chaque cas, la proportion sable / ciment est conservée égale à 3.

Après le gâchage, les moules d'éprouvettes (4×4×16) cm<sup>3</sup> ont été remplis de mortier et conservées dans une salle à 20 °C et 95 % d'Humidité Relative (HR) pendant 24 heures. Une fois démoulées, les éprouvettes sont conservées dans la même salle pendant sept jours. Ensuite, les éprouvettes ont été placées dans une salle à 20°C et 55 % HR jusqu'à 28 jours d'âge.

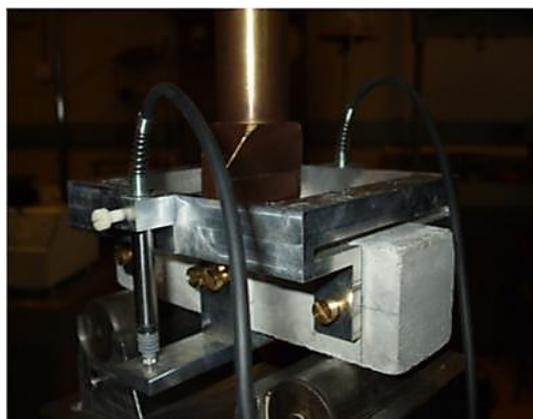
Après 28 jours, et afin de caractériser les performances mécaniques et de durabilité dans l'environnement égouts, une série d'éprouvettes a été immergée dans le flux d'un regard d'assainissement de la ville de Rennes (Figure II.3), une autre série a été placée en environnement cycles (mouillage/séchage) et pour témoin nous avons placé une série d'éprouvette en environnement humide.



**Figure II. 3 :** Aspect des éprouvettes a la sortie des égouts [25].

A 365 jours d'âge, des essais de compression et de flexion 3 points ont été effectués. Afin d'éviter les effets parasites provoqués par les défauts de parallélisme et de planéité de la face supérieure de l'éprouvette, nous avons appliqué le chargement sur les faces latérales de l'éprouvette.

Les essais de flexion ont été réalisés selon la norme NF P 18-407[29]. La vitesse de montée en charge est de 0,1 mm/min. La mesure de la flèche a été réalisée à l'aide de deux capteurs LVDT ( $\pm 1$ mm), placés à l'aide d'un dispositif à mi- portée de la travée (Figure II.4). Ces derniers sont en contact avec la face inférieure de l'éprouvette. Cette méthode de mesure permet de suivre l'évolution des déplacements en fonction de la charge jusqu'à la rupture.



**Figure II. 4:** Capteurs LVDT utilisés pour la lecture des déplacements en flexion 3 points [25].

Les essais de compression ont été réalisés sur les demis – éprouvettes issues des essais de flexion trois points comme indiqué sur la figure II.5 avec une vitesse de chargement de 0,25 mm/min. La résistance en compression a été évaluée selon la norme (NF P 18 – 406)[30]. Nous avons testé des cubes de  $(4 \times 4 \times 4) \text{ cm}^3$ .



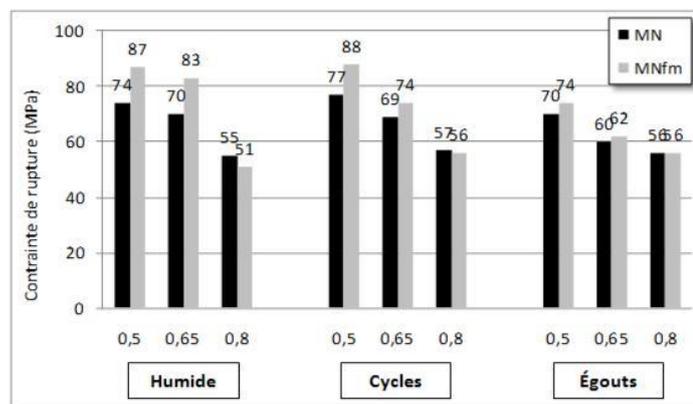
**Figure II. 5:** Essai de compression [25].

De plus, il est mesuré l'épaisseur du béton à pH réduit après pulvérisation d'une solution de phénolphthaléine sur la face de rupture qui révèle l'interface entre la zone saine et la zone dépassivée. Et enfin des observations au microscope électronique à balayage ont été réalisées afin de visualiser les différentes formations.

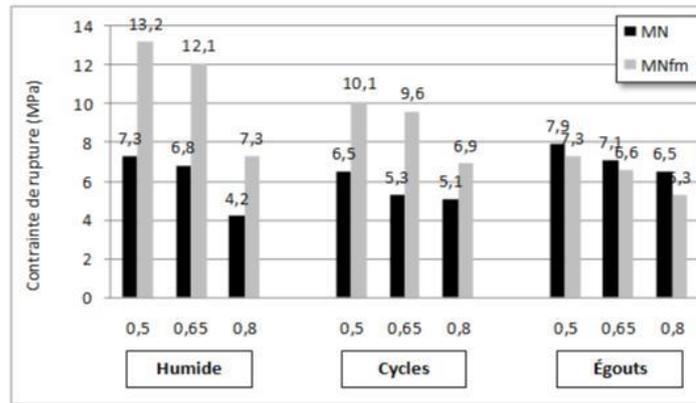
### II.9.3. Résultats et discussions

#### II.9.3.1. Caractéristiques mécaniques

Par ces essais, il est déterminé les contraintes de rupture en compression et en flexion. Les figures II.6 et II.7 montrent les résultats obtenus après une année d'exposition dans les différents environnements.

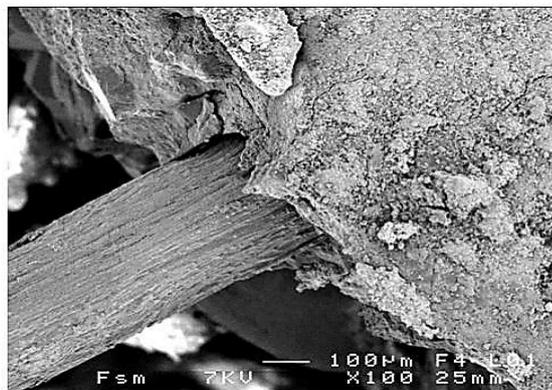


**Figure II. 6:** Contrainte de rupture en compression [25]



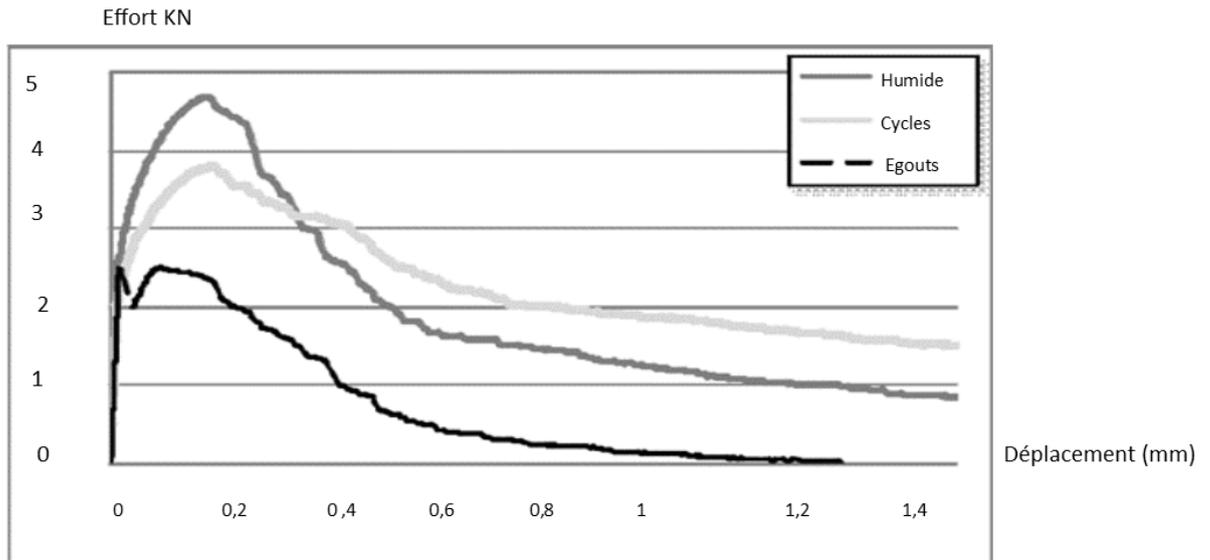
**Figure II. 7:** Contrainte de rupture en flexion [25]

Les mortiers fibrés (MNfm) présentent des contraintes de rupture en compression plus importante par rapport aux mortiers sans fibres MN pour les différents environnements et les différents rapports E/C. Par contre en flexion la résistance des mortiers MNfm a diminué par rapport aux mortiers MN dans l'environnement égouts de 7,6% pour E/C = 0,5, de 7% pour E/C = 0,65 et de 18% pour E/C = 0,8. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'après exposition aux agents agressifs dans les égouts, les fibres métalliques qui étaient en contact des effluents, ont subi une dégradation qui a altéré leur section initiale et donc a diminué leurs caractéristiques physico-chimiques (Figure II.8). Ceci a provoqué une augmentation de la porosité donc une diminution des résistances en flexion.

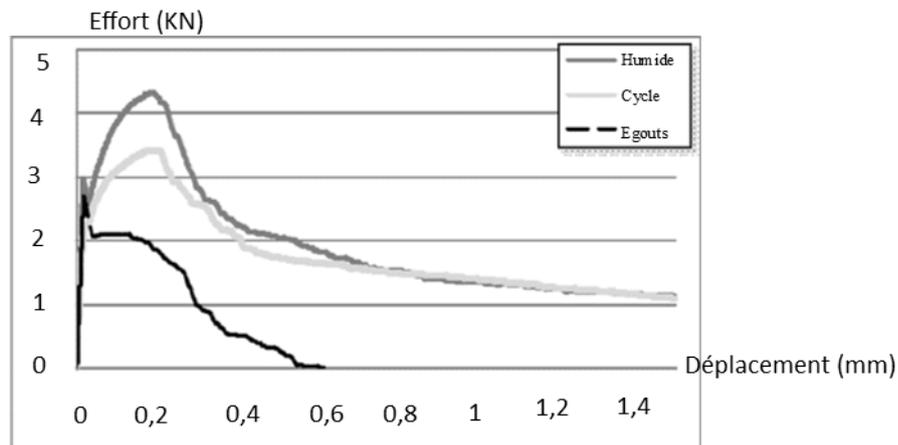


**Figure II. 8:** Altération d'une fibre métallique au contact des égouts [25].

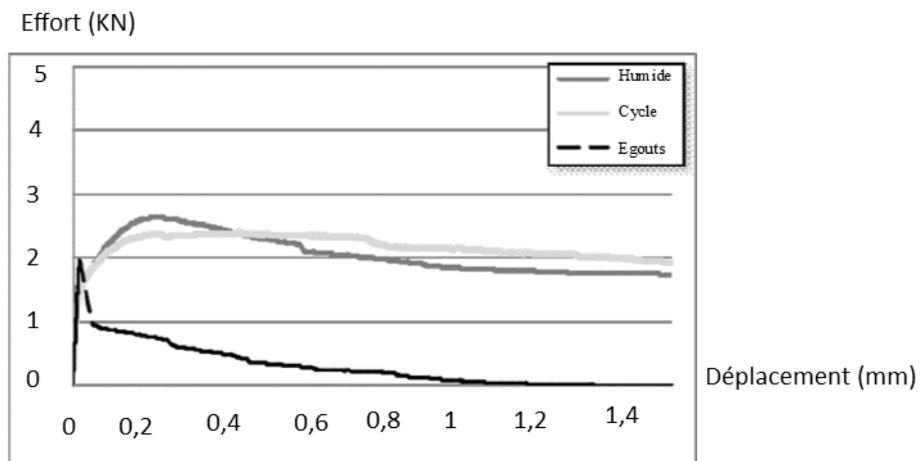
Sur les figures II. (9,10 et 11) nous il est représenté les courbes efforts-déplacements. Pour chaque rapport E/C, nous avons superposé les courbes obtenues sur les mortiers fibrés des trois environnements (humide, cycles et égouts).



**Figure II. 9:** Courbes efforts-déplacement pour  $e/c = 0,5$ [25].



**Figure II. 10:** Courbes efforts-déplacement pour  $e/c = 0,65$ [25].

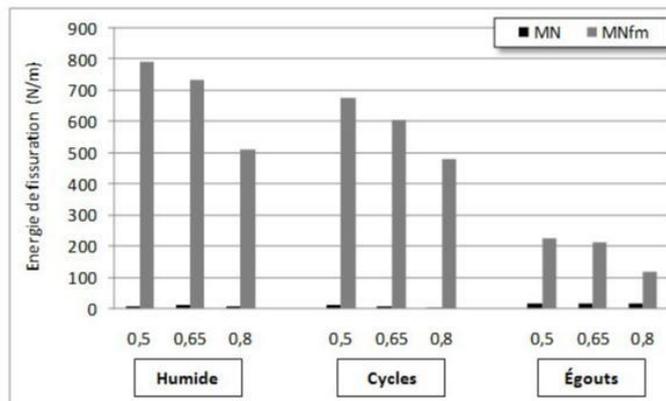


**Figure II. 11:** Courbes effort-déplacement pour  $e/c = 0,8$ [25].

## Chapitre II : Les bétons fibrés

Les courbes ainsi obtenues montrent que ces mortiers ne se rompent pas brutalement, ils présentent un comportement plutôt ductile.

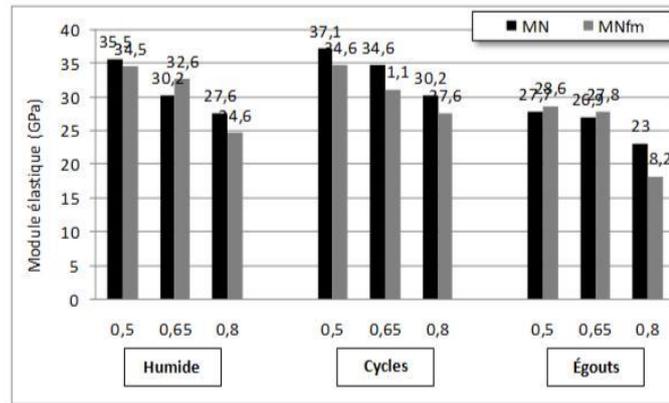
Pour une meilleure exploitation des données, il est utilisé les courbes efforts-déplacements pour calculer les énergies de fissuration en flexion par une unité de surface transversale, les résultats sont donnés en figure II.12. Cette énergie est obtenue par un calcul d'intégrale selon la méthode utilisée par [31].



**Figure II. 12:** Énergie de fissuration [25]

Les résultats montrent que les mortiers fibrés conservés en milieu humide présentent une importante énergie de rupture. De plus, les résultats montrent que l'énergie de rupture varie proportionnellement au rapport E/C, cela dans les trois environnements de conservation (humide, cycles et égouts). En comparant les environnements cycles et égouts par rapport à l'environnement humide pour le rapport E/C égale à 0,5, on observe une chute d'énergie de fissuration respectivement de 15% et 71%.

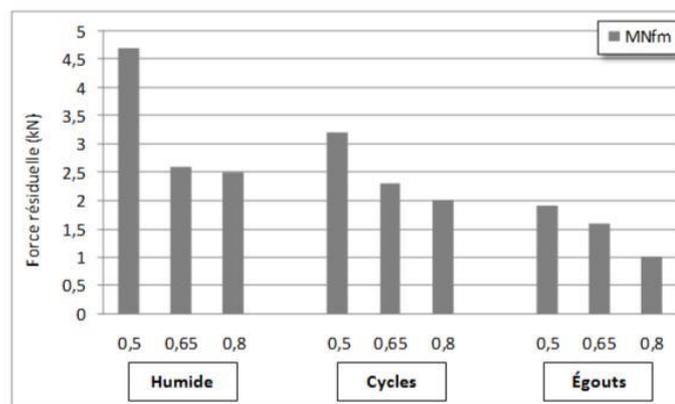
Sur la figure II.13 est représenté les modules élastiques estimés par la pente de la première phase du diagramme en flexion (efforts-déplacements) qui est la partie élastique.



**Figure II. 13:** Modules élastiques [25].

Pour tous les rapports E/C, on constate que les mortiers conservés dans les environnements humide et cycles, présentent des modules d'élasticité plus importants par rapport à ceux conservés en environnements égouts.

Les forces résiduelles sont présentées sur la figure II.14.



**Figure II. 14:** Forces résiduelles [25]

En comparant l'environnement égout avec l'environnement cycles pour  $E/C = 0,5$ , on constate une chute de force résiduelle de l'ordre de 40%, 30% pour  $E/C = 0,65$  et 50% pour  $E/C = 0,5$ . Si on compare l'environnement égout avec l'environnement humide, on a une chute de 59% pour  $E/C = 0,5$ , 40% pour  $E/C = 0,65$  et 60% pour  $E/C = 0,8$ .

### II.9.3.2. Test à la phénolphtaléine

La profondeur de carbonatation a été déterminée par le test à la phénolphtaléine (indicateur coloré). La pulvérisation de cet indicateur, virant au rose vif lorsque le pH est supérieur à 9, permet de mettre en évidence le front carbonatation du béton. Cinq mesures ont été prises sur

## Chapitre II : Les bétons fibrés

chaque face de l'éprouvette en évitant les lectures aux coins, ce qui nous a permis de représenter la moyenne de 20 lectures. Les résultats sont présentés sur la figure II.15.

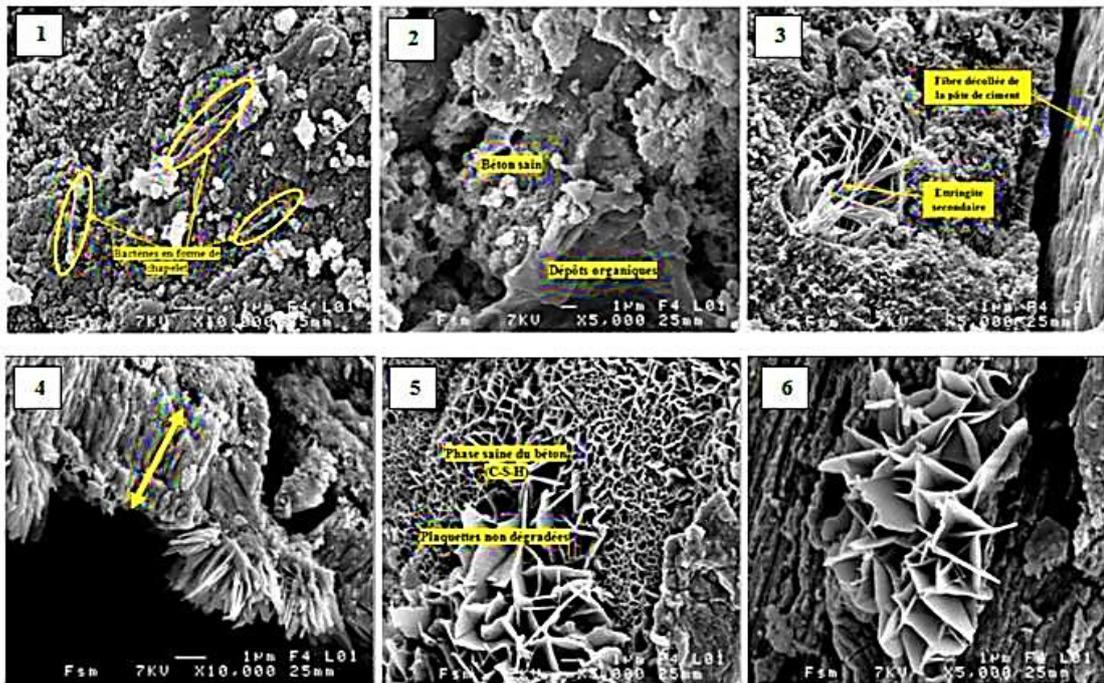
	MN	MNfm
E/C = 0,5		
E/C = 0,65		
E/C = 0,8		

**Figure II. 15:** Front a pH réduit détecté par pulvérisation de phénolphthaléine [25]

Toutes les éprouvettes conservées dans les environnements humide et cycles ne présentent pas d'épaisseur à pH réduit. Par contre celles conservées en égouts présentent une épaisseur à pH réduit qui varie en fonction du rapport E/C pour les deux types de mortiers (mortier normal et mortier fibré). On constate qu'il y'a une légère augmentation de la profondeur à pH réduit pour les mortiers fibrés par rapport à ceux non fibrés, ceci peut s'expliquer par le fait qu'en surface extérieure des éprouvettes certaines fibres sont restées apparentes, elles auraient favorisé l'accès à la solution agressive. L'ajout de fibres métalliques a engendré l'augmentation de la porosité, ce qui a favorisé l'augmentation de la perméabilité donc une diminution de la durabilité.

### II.9.3.3. Observation au MEB

Les observations faites au microscope électronique à balayage (MEB) sont présentées sur la figure II.16, elles concernent seulement les mortiers avec un rapport E/C = 0,8 et qui sont conservés dans les égouts afin de mieux analyser les différentes modifications de la microstructure.



**Figure II. 16:** Front à pH réduit détecté par pulvérisation de phénolphthaléine [25].

- 1) Les traces de bactéries ( $\times 10\,000$ ), 2) Dépôts de matière organique ( $\times 5000$ ), 3) ettringite secondaire ( $\times 5000$ ),
- 2) Aspect des C-S-H dégradés ( $\times 10\,000$ ), 5) La phase saine du béton (C-S-H) ( $\times 5000$ ), 6) Plaquettes des C-S-H non dégradées ( $\times 5000$ ).

La figure II.16 présente l'aspect des différentes formations microstructurales de la matrice. La photo (1) illustre les traces de bactéries en forme de chapelet. Sur la photo (2), on voit les dépôts de matière organique repérés à l'intérieur d'un pore et juste au-dessus on voit le béton sain qui est mieux représenté sur les photos (5 et 6). La photo (3) illustre l'interface entre la matrice et la fibre. La fibre décollée de la matrice présente un aspect altéré et juste à gauche on peut voir la formation de l'étréngité secondaire. L'absence de liaison observée entre les fibres et la matrice explique en partie l'augmentation de la profondeur de l'épaisseur à pH réduit pour les mortiers exposés à l'égout. Cette ouverture de la structure permet la pénétration de dioxyde de carbone et des acides provoquant des réactions biochimiques. Des C-S-H dégradés sur une épaisseur de  $4\ \mu\text{m}$  sont repérés sur la photo (4). Nous pouvons remarquer que la dégradation des CSH était apparente sur une faible épaisseur.

### II.9.3.4. Commentaire sur les résultats

Le comportement d'un béton dans le milieu égouts est très complexe, du fait qu'il soit soumis aux attaques bactériennes et sulfatiques en même temps.

## Chapitre II : Les bétons fibrés

---

Les résultats de cette étude, après une année de conservation dans le milieu égouts, il montre que:

Les résistances en compression des mortiers conservés dans les différents environnements sont sensiblement les mêmes.

Pour la flexion, les mortiers fibrés (MNfm) conservés dans l'environnement égouts présentent une diminution de résistance par rapport à ceux conservés dans l'environnement humide et cycles. Cette diminution peut s'expliquer par le début de corrosion des fibres métalliques qui étaient en contact avec les eaux usées, qui au final ne participent pas à la résistance à la traction et à une modification de la surface du mortier. Par contre pour les mortiers non fibrés, on constate un gain de résistance ce qui peut s'expliquer par le fait que les pores présents dans la matrice sont obstrués par la formation de cristaux d'étrangéité et de gypse, observations confirmées par le MEB.

Les épaisseurs à pH réduit obtenues sur les mortiers fibrés sont plus importantes par rapport à celles obtenues sur les mortiers non fibrés, ceci n'est pas due à la carbonatation, vu que l'environnement des regards d'assainissement est un environnement fermé et très humide. Donc il est probable que cette modification soit due aux effets biochimiques qui sont responsables de ces altérations à la surface externe du mortier.

Les observations au MEB ont mis en évidence : un début de colonisation bactérienne, présence d'une faible épaisseur des C-S-H dégradés, formations d'étrangéité secondaire et une phase saine du mortier.

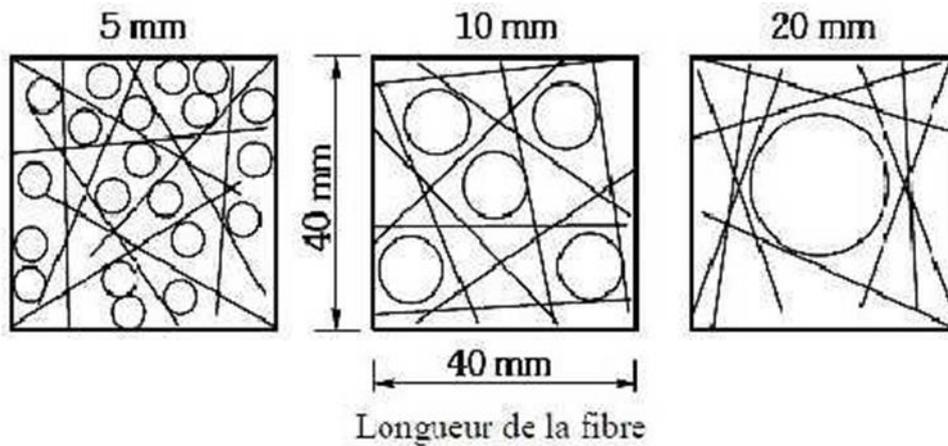
### **II.10. Les différents travaux de recherche sur les bétons fibrés**

#### **II.10.1. Travail 01 : Effet de l'addition des Fibres sur le comportement des Bétons a l'état Frais » [21]**

L'ajout de fibres affectera considérablement la maniabilité du béton :

Plus le volume de la fibre est grand, plus la porosité du squelette des particules est grande [32]. Afin de rendre la fibre efficace à l'état durci, il est recommandé choisissez des fibres d'une longueur supérieure à la taille maximale des agrégats (figure II.17) [33].

Le rapport est supérieur à 2 à 4 fois. Si vous souhaitez pomper du béton, il recommande de réduire le volume de l'agrégat d'origine de 10% par rapport au béton ordinaire pour faciliter le fonctionnement.

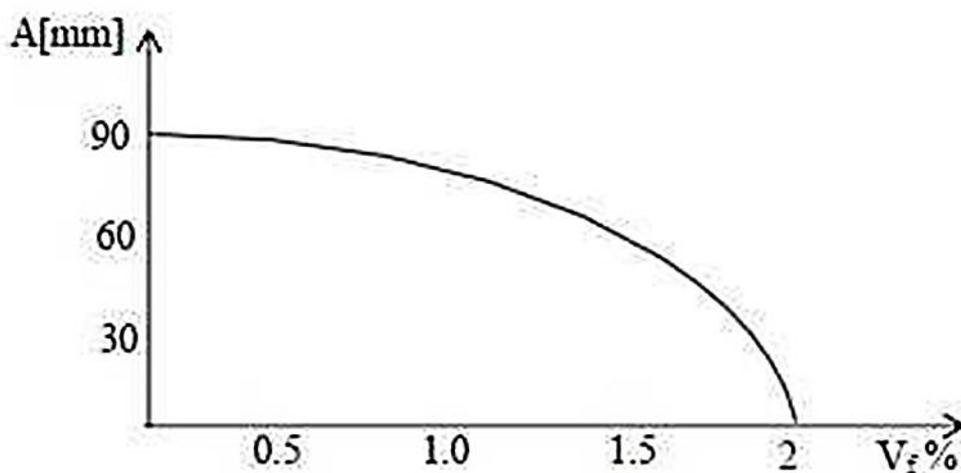


**Figure II. 17:** Effet de la taille des granulats sur la distribution de fibres [33].

L'introduction de fibre conduit à une réduction de l'affaissement estimée entre 50 et 75 mm [34]. La teneur élevée en fibres entraîne une baisse rapide de l'ouvrabilité du béton. Cette baisse est due au fait que l'ajout de fibres entraîne une augmentation de la surface spécifique du mélange, ce qui conduit à l'absorption d'eau et au séchage du Le mélange.

Il en résulte une absorption d'eau et un séchage du mélange, ce qui signifie que l'ouvrabilité du béton est réduite (Figure II.18).

Par conséquent, il est fortement recommandé d'ajouter un super plastifiant pour compenser cette perte d'opérabilité [34].

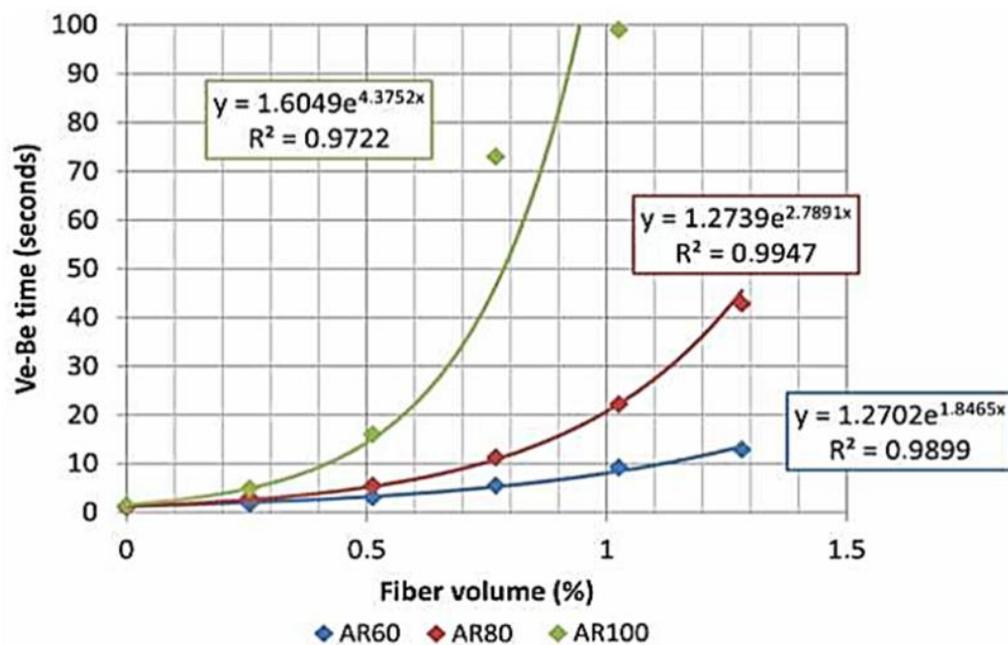


**Figure II. 18:** Effet des fibres sur la maniabilité de béton [35].

[36] Les recherches sur l'effet des fibres métalliques sur l'ouvrabilité du béton montrent que l'ajout de fibres métalliques au béton plastique réduira considérablement la fluidité (Figure II.19). Lorsque le rapport d'aspect de la fibre est réduit, l'intensité de mouvement relative de

## Chapitre II : Les bétons fibrés

l'agrégat est plus petite. Une meilleure solution peut être obtenue en réduisant la taille maximale des agrégats ou en augmentant la teneur en mortier de béton. Par conséquent, compte tenu de l'influence des fibres, il est nécessaire d'utiliser une méthode de conception combinée appropriée pour garantir des conditions d'utilisation appropriées pour -fiber reinforced concrete (FRC).



AR60 : fibre de longueur 60 mm et  $\varnothing=1$ mm,

AR80 : fibre de longueur 80 mm et  $\varnothing=0.75$ mm.

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

**Figure II. 19:** Corrections exponentiel entre ve-be de la teneur en fibres des bétons avec différents rapports d'aspect des fibres [21].

- D'après ces travaux on conclure que :
- L'augmentation de volume des fibres en parallèle à l'augmentation de la porosité.
- L'introduction de fibres entraînant une diminution de l'affaissement.
- Une teneur en fibre forte conduit à une diminution rapide de la maniabilité de béton.
- L'introduction des fibres métalliques sur le béton diminuer sa mobilité.

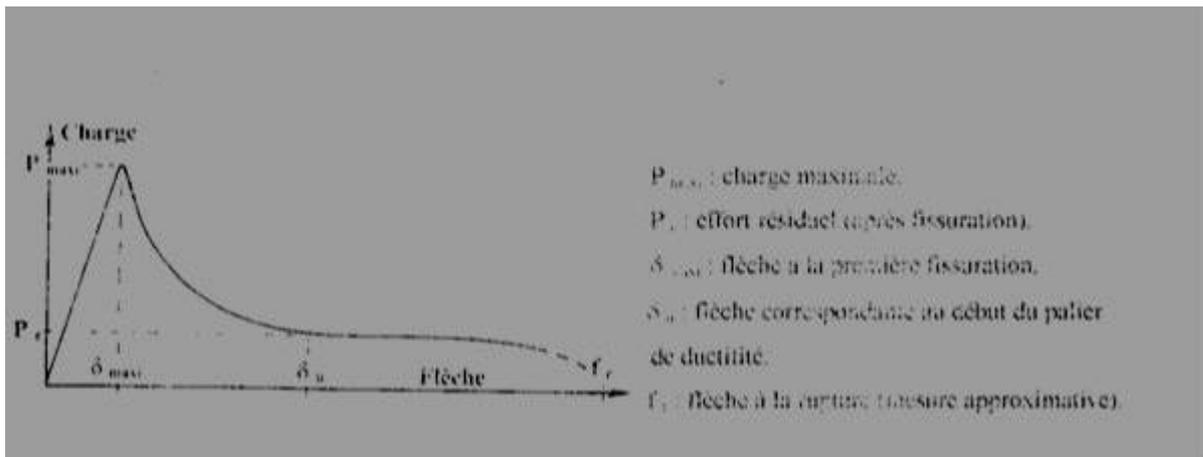
### II.10.2. Travail 02 : « Essais de traction par Flexion » [6]

Le béton testé dans cette étude [37] était renforcé avec des fibres dramix et les longueurs des fibres étaient de 50 mm et 30 mm. Le corps de l'échantillon a une forme prismatique de 100x100x400 mm, et le test a été réalisé 28 jours après la coulée. Ils reposent sur deux

## Chapitre II : Les bétons fibrés

supports distants de 300 mm (centrés) et supportent une charge verticale, qui est appliquée au milieu de la travée centrale. Appliquer graduellement la charge à une vitesse de chargement contrôlée (machine d'essai Tribel OPM200), voir Figure II.20, jusqu'à ce que chaque béton cède.

Enregistrez ensuite la courbe de déformation de charge. La figure II.20 montre la forme de la courbe obtenue lors de l'essai de traction en flexion de l'éprouvette.



**Figure II. 20** : Allure des courbes charge-flèche [6].

La courbe présente un premier étage, à savoir l'élasticité linéaire, jusqu'à ce que la force maximale correspondant à l'apparition de la première fissure soit atteinte. La force maximale est fonction du pourcentage de fibre.

Le deuxième étage est caractérisé par des branches plus ou moins ductiles. À ce stade, la fibre est sous tension. Ils interviennent en "provoquant" des fissures et en limitant leur ouverture. La longueur et le pourcentage de la fibre deviennent des paramètres importants. En effet, l'effort nécessaire pour arracher la fibre dépend de la longueur d'adhérence et du système d'ancrage (le crochet de la fibre Dramix). Concernant le pourcentage, plus le pourcentage est élevé, plus le nombre de fibres de la matrice cousue est important.

Enfin, dans la troisième phase, la courbe tend à s'aplatir et ne s'annule qu'après une grande déformation. Il y a une réduction des efforts due à l'existence des fibres au niveau de la fissure. Cet effort qui permet au matériau de résister encore est appelé effort résiduel. La rupture survient ensuite soit par arrachement, soit par rupture des fibres [37].

### **II.10.2.1. Influence du type de fibres**

Les performances globales des deux types de béton (béton armé de fibres Dramix et béton armé de fibres locales, la longueur des fragments est de 30 et 50 mm, et les pourcentages sont de 0,5 et 1%) sont fondamentalement les mêmes. Échantillons de test. L'ajout de fibres au béton peut fournir un certain degré de ductilité. Pour une longueur de fibre égale à 30 mm et un pourcentage de fibres de 1%, de meilleurs résultats peuvent être obtenus en utilisant des fibres coupées.

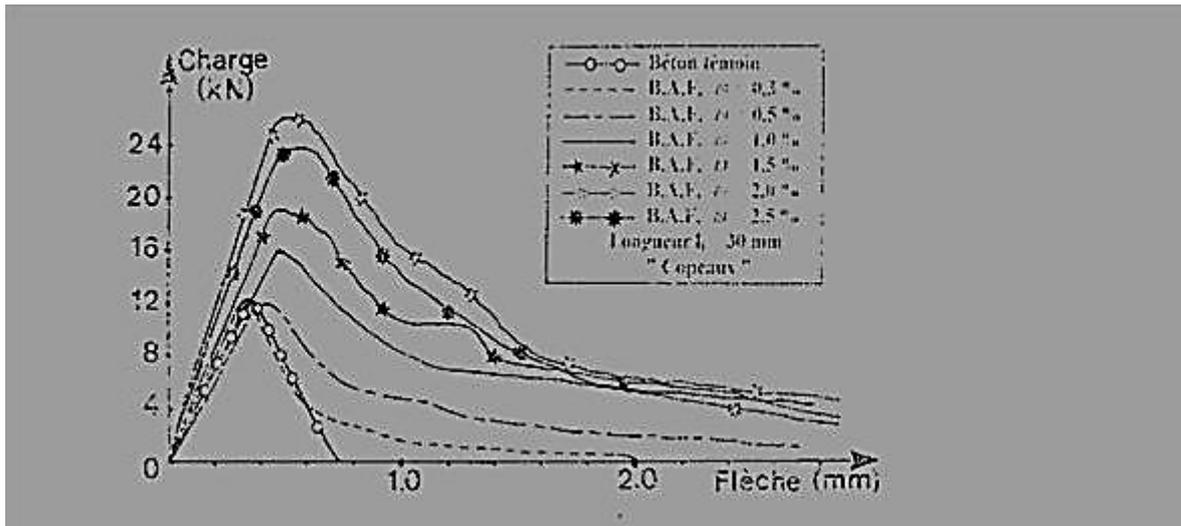
Cependant, en termes d'énergie de rupture, dans l'éprouvette renforcée de fibres Dramix, l'énergie de rupture est plus importante (pour  $l_f = 50$  mm). Ceci peut s'expliquer par le fait que ces fibres ont un système d'ancrage et qu'elles sont pourvues de crochets aux extrémités. Par conséquent, l'adhérence de la matrice fibreuse (béton) est meilleure [37].

### **II.10.2.2. Influence de la longueur des fibres**

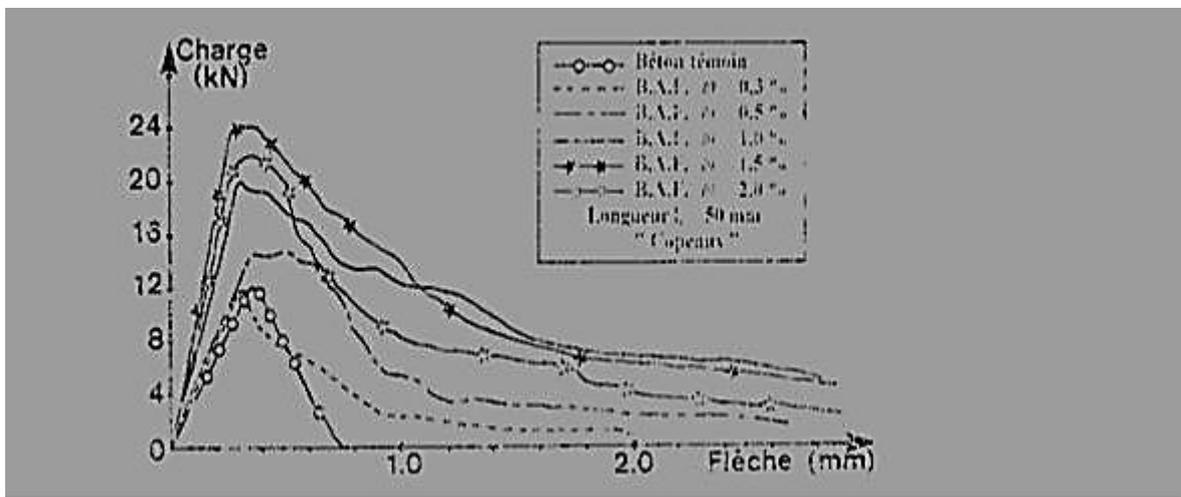
Pour le béton déchiqueté avec des fibres, les pourcentages sont de 0,3 ; 0,5 ; 1 ; 1,5 ; 2% et 2,5% de longueur et 30 et 50 mm de longueur. On peut en conclure que pour les faibles pourcentages, la longueur a peu d'effet sur les propriétés de traction d'échantillon. En revanche, plus le pourcentage est élevé, plus l'effet de la longueur de fibre est important. Au même pourcentage, les fibres plus longues sont plus efficaces pour couvrir les fissures. L'effort requis pour arracher la fibre et l'énergie de rupture sont plus importants.

### **II.10.2.3. Influence du pourcentage en fibres**

La figure II.22 montre l'effet du pourcentage de fibres sur le comportement de l'échantillon sous tension de flexion. Pour chaque longueur de fibre, la comparaison des différentes courbes avec le béton témoin (sans fibre) montre clairement ce phénomène. Il apparaît que les fibres confèrent une ductilité au matériau et la fracture devient ductile plutôt que cassante. La contrainte maximale et l'énergie de rupture à la première fissuration augmentent avec le pourcentage de fibre [38].



$L_f=30$  mm



$L_f=50$  mm

**Figure II. 21:** influence de la longueur des fibres sur la résistance à la traction par flexion [6].

**D'après ces travaux elle a conclu que :**

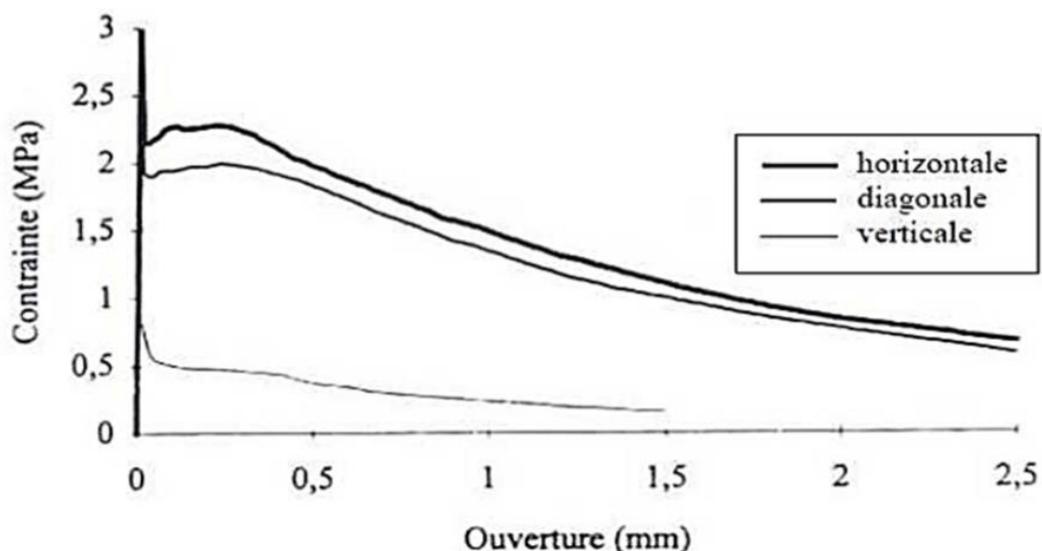
L'introduction de fibres dans la matrice de béton apportera une certaine ductilité aux propriétés mécaniques du matériau, cet ajout retardera les microfissures et retiendra les « fragments » en cas de rupture accidentelle. Il a été montré que la résistance à la compression et la résistance à la flexion sont légèrement augmentées. Cependant, certaines précautions doivent être prises dans le traitement de ce matériau, car la fibre modifiera la capacité de traitement. Compte tenu des problèmes liés au traitement (formation d'oursins et de globules, créant ainsi des pores dans la matrice), le pourcentage maximal de fibres incorporées est encore limité. Dans la deuxième partie de ce travail, nous nous intéressons à l'ouvrabilité du béton armé de fibres métalliques. La fibre utilisée provient du traitement des déchets de pièces

mécaniques en acier, et son utilisation est un moyen de recycler ces déchets. Des essais mécaniques (traction directe et compression) sont aussi effectués [6].

### II.10.3. Travail 03 : «Distribution des fibres et leur orientation » [21]

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 [39] 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 **Figure II.22**.



**Figure II. 22:** Influence de la direction du carottage sur le comportement en traction d'un béton fibré [39], [40].

## Chapitre II : Les bétons fibrés

---

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 [41], [42].

-D'après ces travaux on conclure que :

- La mise en œuvre des bétons lors de coulage influence sur l'orientation des fibres.
- L'orientation des fibres affecte sur la résistance de béton.

### **II.11. Conclusion**

Dans ce chapitre les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- On trouve une diversité des fibres, on peut les classer selon la nature, la longueur, le diamètre, ainsi il existe une grande différence dans les caractéristiques mécaniques et physiques des fibres.
- Les fibres jouent le rôle de renfort de la matrice donc ils obstruent la propagation de rupture du béton.
- La durabilité de béton de fibres dépend essentiellement de la corrosion des fibres.
- Les caractéristiques des fibres et de la matrice jouent un rôle important sur les propriétés des matériaux.
- Le béton fibré est très utile et son utilisation est très vaste.

### **Chapitre III : partie expérimentale**

Ce chapitre résume la caractérisation des matériaux utilisés dans notre travail, les différents essais physico-mécaniques réalisés sur les matériaux utilisés pour la fabrication du mortier (Sables, Ciment, Eau de gâchage, adjuvant, fibre ..... ) et les différents essais réalisés sur mortier à l'état frais et durci tel que les propriétés mécaniques (Résistance à la compression et résistance à la flexion).

#### **III.1. Objectif**

Le but de notre travail consiste à étudier les mortiers renforcés à partir des fibres métalliques locales.

Pour cela nous avons préparé des éprouvettes 4×4×16 comme témoins, et des éprouvettes avec des renforts des fibres métalliques, en utilisant un pourcentage de 1% de fibres, l'incorporation des fibres s'effectue en fraction volumique par rapport au mélange totale.

Les éprouvettes ont été confectionnées selon la modalité de la norme EN 196-1[43] qui explique le mode opératoire correspond à la préparation du mortier pour mesurer la résistance mécanique à la flexion et à la compression.

Notre travail est effectué au niveau de laboratoire du Faculté des Sciences et des sciences appliquées département Génie Civil à l'université Akli Mohand Oulhadje-Bouira.

#### **III.2. Matériaux et méthodes**

##### **III.2.1. Le sable**

Le sable que nous avons utilisé pour notre mortier est avec distribution granulométrique varie entre 0.063mm et 5mm.

##### **III.2.1.1. Analyse granulométrique**

L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat dont les dimensions sont comprises entre 0,063 et 125 mm.

Cet essai est réalisé suivant la norme NF P 18-560 [44].

L'échantillon représentatif doit avoir une masse comprise entre 200D et 600D. Où D la plus grande dimension des granulats à analyser.

On appelle tamisât ou passant l'ensemble des grains qui passent à travers le tamis, et refus l'ensemble des grains qui sont retenus sur le tamis.



**Figure III. 1:** L'essai d'analyse granulométrique

### **A-Définition**

On appelle granulats un ensemble de grains minéraux, de dimensions comprises entre 0 et 125 mm, de provenance naturelle ou artificielle, destinés à la confection :

- des mortiers, des bétons,
- des couches de fondation, des couches de base et de roulement des chaussées,
- et des assises et des ballasts de voies ferrées.

Les granulats sont appelés fillers, sablons, sables, gravillons, graves ou ballast suivant leurs dimensions.

### **B-Principe de l'essai**

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes.

Les masses des différents refus et tamisant sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique.

### **C-Matériel utilisé**

-Les dimensions de mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

-La norme actuelle EN 933-2 [45] préconise, pour l'analyse granulométrique, la série de tamis suivante en (mm): 0.063, 0.125, 0.25, 0.50, 1, 2, 4, 8, 16, 31.5, 63, 125.

## Chapitre III : Partie expérimentale

### D-Résultats

- Peser le refus du tamis ayant la plus grande maille : soit R1 la masse de ce refus.
- Poursuivre la même opération avec tous les tamis de la colonne pour obtenir les masses des différents refus cumulés ...
- Les masses des différents refus cumulés  $R_i$  sont rapportées à la masse totale de l'échantillon  $m_1$ .
- Les pourcentages de refus cumulés ainsi obtenus, sont inscrits sur la feuille d'essai. Le pourcentage des tamisants cumulés sera déduit.

### E-Module de finesse

- Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion.
- Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (MF).
- Le module de finesse est d'autant plus petit que le granulat est riche en éléments fins.

Norme Européenne EN 12620 [46]

$$MF = (\text{la somme du refus cumulés en \% des tamis } \{0,125-0,25-0,5-1-2-4\})/100$$

Lorsque MF est comprise entre :

- 1.8 et 2.2 : le sable est à majorité de grains fins,
- 2.2 et 2.8 : on est en présence d'un sable préférentiel,
- 2.8 et 3.3 : le sable est un peu grossier. Il donnera des bétons résistants mais moins maniables.

**Tableau III. 1:** Résultats de l'analyse granulométrique

Tamis (mm)	Refus (g)	refus (%)	Refus cumulés (%)
4	60	3	3
2	550	27,5	30,5
1	460	23	53,5
0,5	320	16	69,5
0,25	240	12	81,5
0,125	340	17	98,5
fond	30	1,5	

$$MF = \text{refus cumulés} / 100 = (3 + 30,5 + 53,5 + 69,5 + 81,5 + 98,5) / 100 = 336,5 / 100 = 3,3$$

## Chapitre III : Partie expérimentale

MF est comprise entre 2.8 et 3.3 donc : le sable est un peu grossier. Il donnera des bétons résistants mais moins maniables.

### III.2.2. Le ciment

Pour tous les mélanges que nous avons réalisés, le ciment utilisé est un ciment CME II/A-M (P-L) 42.5 N provenant de la cimenterie de Sour El-ghozlane (GICA).



Figure III. 2: Type de ciment utilisé

#### III.2.2.1. Essai de temps de prise

##### A-Définition et But de l'essai EN 196-3[47]

La présence de régulateur de prise dans la masse des liants hydrauliques offre à ces derniers, après gâchage, une prise qui commence après quelques heures.

Il est donc nécessaire de connaître le temps de début de prise des liants hydrauliques en vue de déterminer le temps disponible pour la mise en œuvre in situ des mortiers et des bétons dont ils sont confectionnés.

Les essais se font à l'aide de l'aiguille de Vicat qui donne deux repères pratiques : le début de prise et la fin de prise.

##### B-Principe

L'essai consiste à suivre la transformation d'état d'un matériau visqueux, facile à travailler à l'état d'un matériau durci (plus difficile voire impossible à travailler).

Le temps de début de prise est déterminé à l'instant où l'aiguille de Vicat ne s'enfonce plus jusqu'au fond d'une pastille de pâte pure de ciment à consistance normalisée.

En effet, pour chaque liant utilisé, il y'a une teneur en eau nécessaire qui donne à la pâte une consistance dite "normale". La détermination de cette teneur en eau est en fait un préalable à la mesure de la prise.

## Chapitre III : Partie expérimentale

L'appareil de Vicat est utilisé à la fois pour la détermination de la consistance normale ainsi qu'à la mesure du temps de début de prise.

### C-Matériel utilisé

-Salle climatisée : L'essai doit se dérouler dans une salle, dont la température est de  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  et dont l'humidité relative est supérieure à 90%. À défaut d'une telle humidité relative, l'échantillon testé pourra, entre deux mesures, être entreposé dans de l'eau maintenue à  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ,

-Malaxeur normalisé : avec une cuve de 5 litres de contenance et d'une pale de malaxage pouvant tourner à 2 vitesses (dites lente 140 tr/mn et rapide 285 tr/mn).

-Appareil de VICAT (du nom de l'ingénieur français).

L'appareil est composé d'un moule tronconique ( $h=40$  mm  $d_1= 70$  mm et  $d_2= 80$  mm) et d'une tige coulissante équipée à son extrémité d'une sonde de  $\Phi = 10$  mm,

- Balance précise à 0,1 g près.

- Chronomètre précise à 0,1 s près.

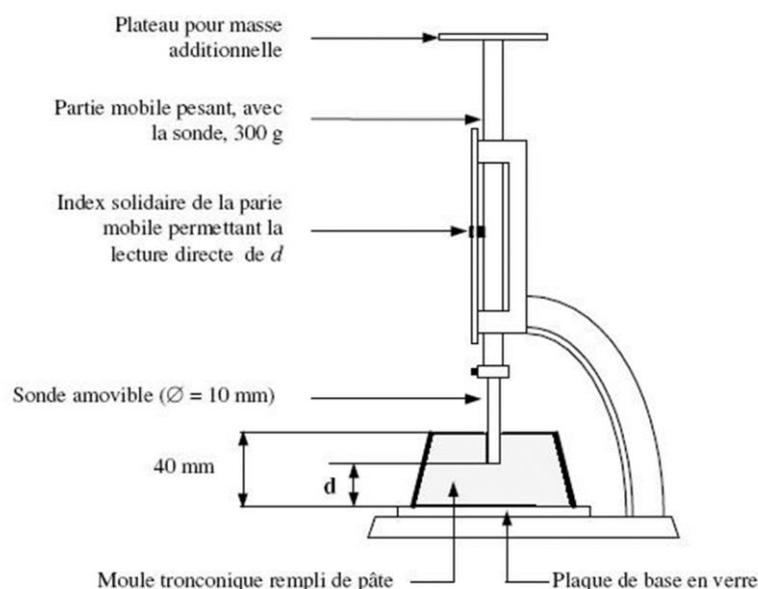


Figure III. 3: Appareil de Vicat

### D-Mode opératoire

\*On procède par tâtonnements :

-préparer 0.5 kg de ciment, une pâte pure de rapport  $E/C=0,26$ . Verser l'eau dans la cuve du malaxeur contenant le ciment,

-mettre le malaxeur en marche (voir le **tableau III.2**) et déclencher le chronomètre.

## Chapitre III : Partie expérimentale

**Tableau III. 2:** mode opératoire de la pâte de ciment

Opérations	Introduction du ciment	Introduction de l'eau	Mettre en route	Raclage de la cuve	Mettre en route
Durée des opérations		5 à 10 s	90s	15s	90s
État du malaxeur	arrête	arrête	Vitesse lente	arrête	Vitesse lente

-la pâte est alors rapidement introduite dans le moule tronconique posé sur une plaque de verre, sans tassement ni vibration excessifs. Il faut enlever l'excès de pâte par un mouvement de va-et-vient effectué avec une truelle maintenue perpendiculairement à la surface supérieure du moule. Puis l'ensemble est placé sur la platine de l'appareil de Vicat.

-L'aiguille est amenée à la surface de l'échantillon et relâchée sans élan (sans vitesse). La sonde alors s'enfonce dans la pâte.

-recommencer l'opération à des intervalles de temps convenablement espacés (~ 10-15 mn) jusqu'à ce que  $d = 4\text{mm} \pm 1\text{mm}$ .

-cet instant mesuré à 5 mn près est le temps de début de prise pour le ciment testé.



**Figure III. 4:** L'essai de temps de prise

### E-Résultats

-Le temps de début de prise : 3 heures et 05 minutes.

-Le temps de fin de prise : 6 heures et 15 minutes.

## Chapitre III : Partie expérimentale

### III.2.3. L'adjuvant

Les adjuvants sont des produits chimiques incorporés au mortier frais en faible quantité (inférieure à 5%). Ils améliorent les propriétés physico-mécaniques des mortiers auxquels ils sont ajoutés. La fourchette de dosage recommandée est de 0.2 à 3% du poids de ciment. Le dosage optimal doit être déterminé en fonction du type de ciment et des effets recherchés.

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 : MasterGlenium SKY 3180. Cet adjuvant est importé de l'Italie par l'Entreprise Nationale des Grandes Ouvrages d'Arts ENGOA pour ces chantiers.

Il présente les caractéristiques suivantes Tableau :

**Tableau III. 3** : 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.2.4. Les 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. La fibre comporte à chacune de ses extrémités un façonnage en forme de baïonnette appelé « crochet » destiné à favoriser son ancrage dans le béton.



**Figure III. 5**: type de fibre métallique utilisé

## Chapitre III : Partie expérimentale

Les principales caractéristiques dimensionnelles et physiques sont les suivantes :

**Tableau III. 4 :** Informations et caractéristiques normalisées du Fibre

Forme	Crochets
Longueur	30 mm
Diamètre	0,55 mm
Collage	Encollées
Résistance à la traction	1345 N/mm <sup>2</sup>
Élancement	55

### II.2.5. Eau de gâchage

Pratiquement, on peut utiliser toutes les eaux naturelles potables n'ayant pas une odeur ou un goût. Pour les essais sur le mortier on a utilisé l'eau potable de la ville de Bouira. Il ne contient aucune impureté nuisible donc il est approprié pour la fabrication du Béton. La masse volumique prise en compte pour les calculs de formulation est la valeur conventionnelle de 1000 kg/m<sup>3</sup>.

### III.3. Matériel utiliser

#### III.3.1. Balance électronique

Dans notre travail on utilise une balance de précision EMS : balance de laboratoire d'entrée de gamme avec grand plateau de pesés.



**Figure III. 6:** Balance électronique utilisée

### III.3.2. Malaxeur

Pour la formulation de notre mortier on utilise un « malaxeur Controlab » :

Est un malaxeur a vitesse variable pour la préparation des mélanges peu visqueux de par sa faible capacité. Mouvement de rotation planétaire de l'outil. Variateur de vitesse électronique pour toute vitesse de rotation de 62tr/min à 125 tr/min et en mouvement planétaire de 140 à 285 tr/min. Le et récipient de malaxage 5 litres en acier inoxydable.

Possibilité d'introduction de produits en cours de malaxage (option)

-Alimentation : monophasé 230 V 50 Hz.

-Puissance : 300 W.

-Dimensions : 410\*260\*470 mm.

-Poids : 15Kg.



**Figure III. 7:** malaxeur utilisé

### III.3.3. Moule prismatique 4\*4\*16

**Avantage :**

Robuste et durable :

-Moule entièrement inoxydable.

-Gravures d'indentification profondes garanties à vie, adapte à tout type de table a chocs :

-Poids : 11,5 Kg.

-Faible encombrement : 200\*214 mm.

- Facile d'utilisation :

-Montage, démoulage rapide grâce aux repères.

-Nettoyage simple (toutes les pièces sont démontables).

-Large poignée de manutention.



**Figure III. 8:** Moule prismatique utilisé

### III.3.4. Table de vibration

La vibration des mortiers est obligatoire pour obtenir des mortiers présentant de bonnes caractéristiques mécaniques et physiques et, en particulier, une compacité maximale et des parements de qualité.

Pour notre travail on utilise une table de vibration (table vibrante).



**Figure III. 9:** Table de vibration utilisée

### III.4. Formulation

#### III.4.1. Confection des éprouvettes

Le mortier est préparé selon la modalité de la norme NF P15-403[48], qui prend en considération une partie de liant et de trois parties de sable et d'une demi partie d'eau ( $E/C=0.5$ ).

## Chapitre III : Partie expérimentale

---

Cette norme fait l'objet d'une caractérisation mécanique à la flexion et à la compression simple à 28 jours, des éprouvettes prismatiques  $4 \times 4 \times 16$ , suivant ce protocole, nous avons confectionné des éprouvettes avec différents pourcentages.

### III.4.1.1. Différentes étapes de confection

#### III.4.1.1.1. Pesée des constituants

La masse des constituants nécessaires aux essais est déterminée en fonction des éprouvettes à préparer ; elle est pesée avec une précision de 0.5% dans le cas de la préparation de 3 éprouvettes  $4 \times 4 \times 16$ , les quantités sont respectivement les suivantes :

Sable étuvé.....1350g ;  
Liant.....450g ;  
Eau.....225g avec (E/C=0.5).

N B :

La quantité des fibres est incorporée par rapport au volume selon la méthode suivante.

#### III.4.1.1.2. L'incorporation des fibres

L'incorporation des fibres en fraction volumique s'effectue selon le calcul suivant

$$Mv_{acier} = M_{acier} / v_{acier}$$

$$v_{acier} = M_{acier} / Mv_{acier}$$

$$v_{acier} = X \cdot V_{mortier}$$

$$M_{acier} = Mv_{acier} \cdot X \cdot V_{mortier}$$

X=les dosages des fibres (1%) par rapport au volume totale du mélange.

$$Mv_{acier} = 7800 \text{ Kg/m}^3$$

$$V_{mortier} = 4 \times 4 \times 16 = 256 \text{ cm}^3 = 0,000256 \text{ m}^3$$

$$M_{acier} = 7800 \times 1\% \times 0,000256$$

$$M_{acier} = 7800 \times 0,01 \times 0,000256$$

$$M_{acier} = 0,02 \text{ Kg} = 20 \text{ g.}$$

#### III.4.1.1.3. Malaxage

##### III.4.1.1.3.A. Mode opératoire du mortier témoin

-Introduire l'eau en premier dans la cuve du malaxeur ; y verser ensuite le ciment ; aussitôt après, mettre le malaxeur en marche à vitesse lente.

-Après 30 s de malaxage introduire régulièrement le sable pendant les 30s suivantes. Mettre alors le malaxeur à sa vitesse rapide et continuer le malaxage pendant 30s supplémentaires.

## Chapitre III : Partie expérimentale

-Arrêter le malaxeur pendant 1 min 30 s. Pendant les 15 premières secondes enlever au moyen d'une raclette tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.

-Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 s.

Le mortier prêt, le verser dans des moules prismatiques 4x4x16 cm. La mise en place est réalisée par vibration.

### III.4.1.1.3.B. Mode opératoire du mortier fibré (volume total)

-Mettre 225 ml d'eau ;

-Mettre 450 g de ciment ;

-Malaxer pendant 30s à vitesse lente, introduire les fibres d'une manière aléatoire ; puis malaxer pendant 2mn à vitesse rapide.

-arrêter le mouvement avec le batteur démonter son axe racler les parois et le fond du récipient de façon qu'aucune partie de mortier n'échappe au malaxage.

-Après remontage du batteur reprendre le malaxage pendant 2 minutes à vitesse rapide.



Figure III. 10: L'essai de malaxage.

### III.4.1.1.3.C. Mode opératoire du mortier fibré (partie supérieure et inférieure)

On doit préparer deux mélanges :

1-Mortier normale avec la moitié des masses de tous les constituants utilisés précédemment :

Sable étuvé.....675g ;

Liant.....225g ;

Eau.....112,5g avec (E/C=0.5).

N B : On préparer ce mélange avec le même mode opératoire précédent du mortier normal.

## Chapitre III : Partie expérimentale

---

2-Mortier fibré avec les mêmes masses de tous les constituants utilisés dans le cas précédent :

Sable étuvé.....675g ;  
Liant.....225g ;  
Eau.....112,5g avec (E/C=0.5).  
Masse de fibre ..... 20 g (1%).

### III.4.1.1.4. Confection des éprouvettes

Les éprouvettes sont moulées au moyen de l'appareil à chocs (Tonitechnic conformément au mode opératoire suivant) :

- Le malaxage étant terminé, forme une galette rectangulaire.
- Partager en 06 fractions égales, le moule ayant été fixé sur la table à chocs.
- Introduire dans chacun des 3 compartiments une fraction de la galette, égaliser la surface du mortier au moyen de la raclette maintenue verticale, déplacée dans un double aller et retour.
- Recommencer les mêmes opérations pour la deuxième couche après 60 nouveaux chocs.
- Le moule étant tiré de la machine et débarrassé de la hausse, araser le mortier avec l'arrête de la règle métallique plate, maintenue verticale et déplacée par un mouvement de scie de faible amplitude et sur la longueur des éprouvettes.

N B : Pour le mortier fibré (partie supérieure et inférieure) on faire la même opération mais dans la première couche on utilise le mortier fibré et aux deuxièmes couches on utilise le mortier normal.

Et pour le mortier fibré (partie supérieure) lorsque on faire les essais mécaniques on tourner les éprouvettes vers l'envers pour les fibres devenir dans la partie supérieure.



**Figure III. 11:** Mortier frai

### **III.5. Essais sur mortier**

#### **III.5.1. Essais physiques**

##### **III.5.1.1. La masse volumique**

Les masses volumiques apparentes et spécifiques des granulats sont calculés d'après la norme française NF P18-555 [49].

##### **III.5.1.2. Masse volumique apparente**

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent du corps. C'est-à-dire du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient.

La masse volumique ( $Mv$ ) des mortiers frais a été déterminée par la formule suivante :

$Mv = M/V$  ( $M$  est la masse de récipient et  $V$  son volume).

#### **III.5.2. Essais mécaniques**

##### **III.5.2.1. Essai de Traction par flexion [NF EN 12390-5] [50]**

Pour évaluer la résistance de traction par flexion on a utilisé des moules prismatiques normalisées, de dimensions 4 x 4 x 16 cm (**Figure III.12**) conforme à la norme EN 12390-1 [51]. 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  $4a$  (4 x 4 x 16).



Figure III. 12: Moule prismatiques 4 x 4 x 16 cm.



Figure III. 13: La presse de traction par flexion utilisée.

## Chapitre III : Partie expérimentale

---

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 :

$$\frac{x L x F}{x b x ^ 2}$$

Avec :

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

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

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

### III.5.2.2. Essai de compression [NF EN 12390-3][52]

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 cubique normalisées ((4x4x16) cm ; norme NF EN 12390-1[51]) voir Figure III.14, Confectionné et conservés selon la norme NF EN 12390-2 [53] dans notre cas à l'air libre.

L'éprouvette, une fois rectifiée doit être centrée sur la presse d'essai avec une erreur inférieure à 1% de son diamètre. La vitesse de montée en charge est effectuée à raison de 0.6 MPa/s avec une tolérance de 0.2 MPa. Pour des éprouvettes de 4x4x16 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 :  $FC = F/AC$  avec :

FC : Résistance en compression.

F : Charge maximale, exprimée en Newtons.

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



**Figure III. 14:** Presse de l'essai de compression.

### III.5.3. Environnement de conservation

Afin de connaître l'influence de mode de conservation sur la résistance en traction par flexion et la compression 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 dans l'eau pendant (05) jours, ensuite à l'aire libre pendant (01) jour.

-Protocole B : Conservation dans l'eau pendant (12) jours, ensuite à l'aire libre pendant (01) jour.

-Protocole C : Conservation dans l'eau pendant (26) jours, ensuite à l'aire libre pendant (01) jour.

### III.6. Résultats et discussions

#### III.6.1. Discussion sur la masse volumique

-Le tableau III.5 au-dessous représente la variation de la masse volumique en dans les éprouvettes ou ont confectionné des éprouvettes témoins comportent un mortier sans fibres, des éprouvettes de 1% des fibres(1% VT), des éprouvettes de 1% des fibres dans la partie supérieure de l'éprouvette(1% SUP), et des éprouvettes de 1% de fibres dans la partie inférieure de l'éprouvettes(1% INF).

## Chapitre III : Partie expérimentale

**Tableau III. 5:** variation de la masse volumique on fonction des jours

	Mv frais (g/cm <sup>3</sup> )	Mv (7j) (g/cm <sup>3</sup> )	Mv (14j) (g/cm <sup>3</sup> )	Mv (28j) (g/cm <sup>3</sup> )
Témoins	2,3	2.17	2.13	2,08
1 % VT	2,28	2.18	2.11	1,96
1 % SUP	2.27	2.22	2.02	1,92
1 % INF	2.3	2.22	2.1	1,94

Avec :

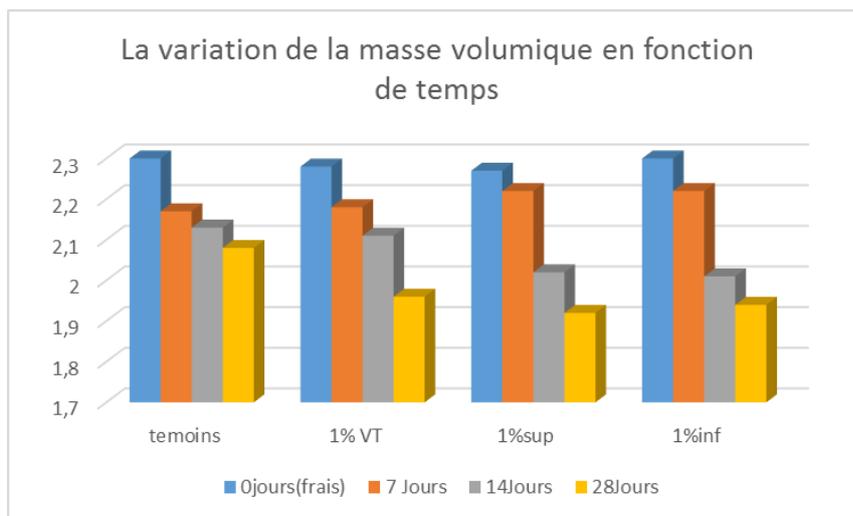
-témoins : mortier témoin (sans fibre).

-1 % VT : mortier fibré avec 1 % de fibre disposé sur tout le volume de l'éprouvette.

-1 % SUP : mortier fibré avec 1 %de fibre disposé sur la partie supérieure de l'éprouvette.

-1 % INF : mortier fibré avec 1 %de fibre disposé sur la partie inférieure de l'éprouvette.

D'après ce tableau en peut tracer un histogramme représente les valeurs de la masse volumique en fonction des jours :

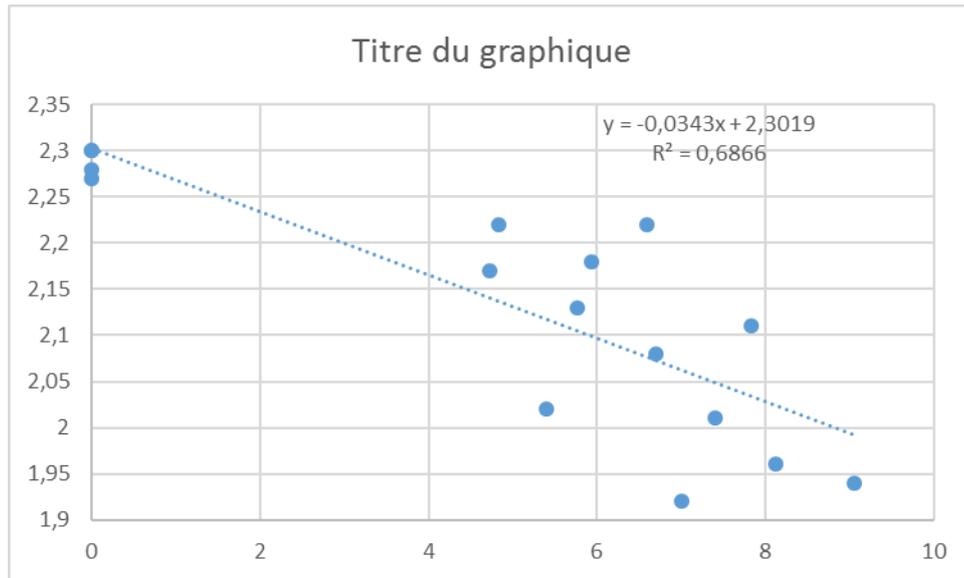


**Figure III. 15:** La variation de la masse volumique en fonction de temps.

### Commentaire :

À partir des résultats représentés sur la figure III.15 on remarque que la masse volumique diminue en fonction du temps jusqu'à 28 jours en raison de la continuité de l'hydratation, et on remarque que la valeur moyenne de la masse volumique des éprouvettes témoins (sans renfort) est la plus grande par rapport aux autres éprouvettes.

-on peut aussi tracer un graphique qui représente la variation de la masse volumique en fonction de la contrainte de flexion comme suit :



**Figure III. 16:** La masse volumique en fonction de la contrainte de flexion.

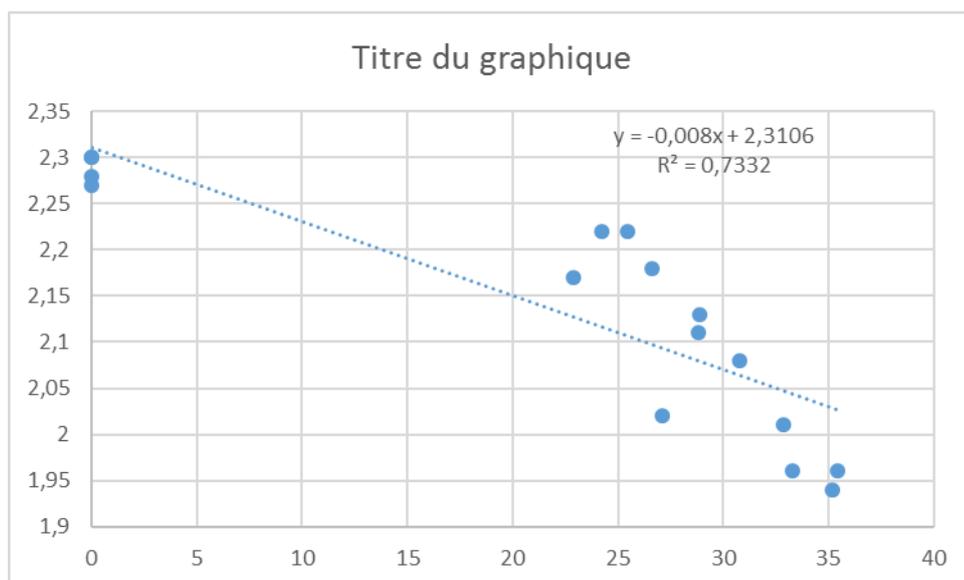
### Commentaire :

D'après ce graphe (Figure III.16) on remarque qu'il existe une relation entre la masse volumique et la contrainte de flexion par un coefficient de corrélation  $R^2 = 0,6866$ .

Nous pouvons expliquer cette relation dans la phrase suivante :

Chaque fois la masse volumique est diminuée, la résistance à la flexion du mortier est augment et vis-versa.

- On peut aussi tracer un graphe représenter la relation entre la contrainte de compression et la masse volumique comme suivant :



**Figure III. 17:** La masse volumique en fonction de la contrainte de compression.

## Chapitre III : Partie expérimentale

### Commentaire :

Le graphe précédant montre qu'il existe une relation entre la masse volumique et la contrainte de compression avec un coefficient de corrélation  $R^2=0.7332$ .

Nous pouvons expliquer cette relation dans la phrase suivante :

Chaque fois la masse volumique est diminuée, la résistance à la compression du mortier est augment et vis-versa.

### III.6.2. Discussion sur la résistance à la flexion et la résistance à la compression

#### III.6.2.1. Essai de flexion



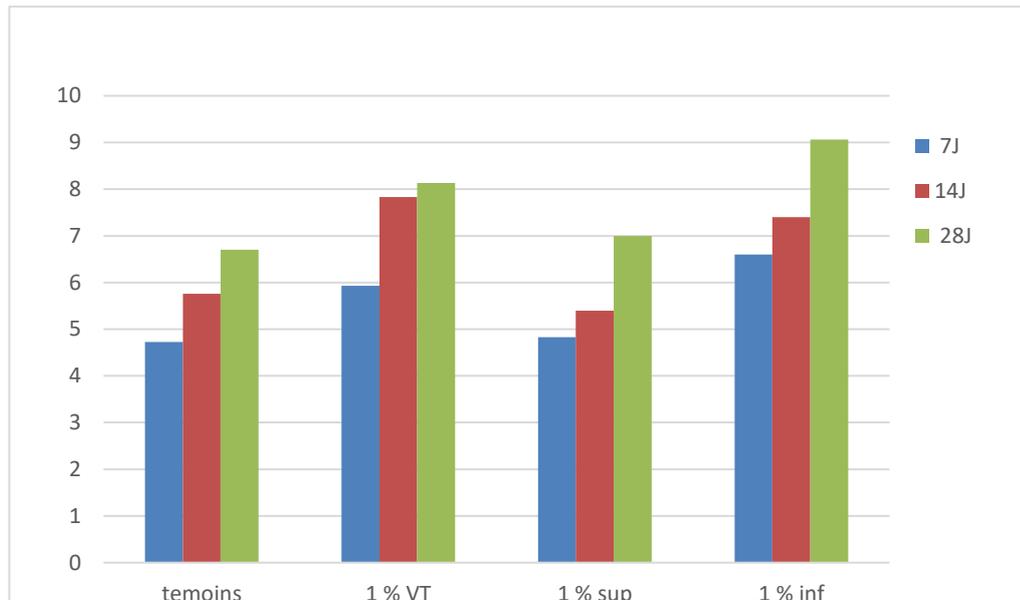
Figure III. 18: Essai de flexion.

-le tableau suivant représente la variation de la résistance à la flexion des éprouvettes dans le temps :

Tableau III. 6 : La variation de la résistance à la flexion en fonction du temps

	R <sub>F</sub> (7j) (MPa)	R <sub>F</sub> (14j) (MPa)	R <sub>F</sub> (28j) (MPa)
Témoins	4,73	5,76	6,7
1 % VT	5,93	7,83	8,13
1 % sup	4,83	5,4	7
1 % inf	6,6	7,4	9,06

- D'après ce tableau on peut tracer un histogramme comme suivant :



**Figure III. 19:** La variation de la résistance à la flexion en fonction du temps.

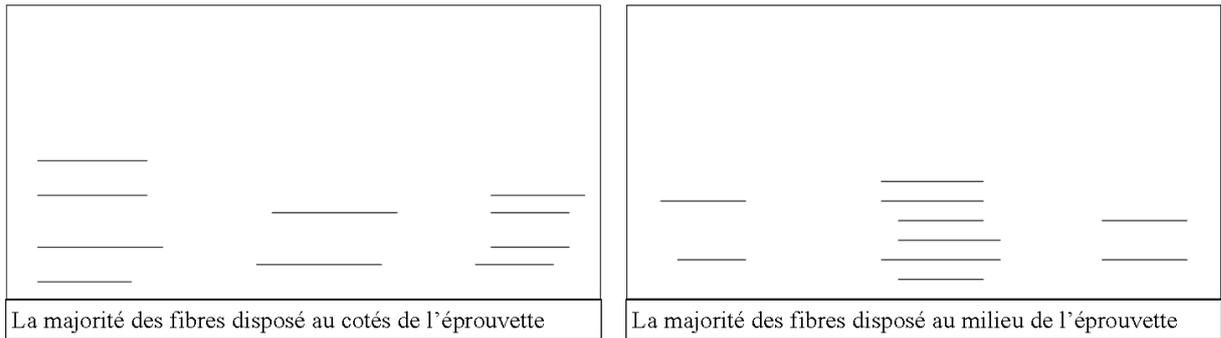
### Commentaire :

D'après les résultats représentés sur la figure III.17 nous avons remarqué que la résistance à la flexion est augmentée en fonction du temps, aussi les variantes à base de fibres disposées dans la partie inférieure ont donné de meilleurs résultats des résistances, cela est expliqué par la présence des fibres dans la partie tendue.

### N B :

Dans le béton fibré on a un grand problème qui on ne peut pas garantir l'augmentation de la résistance à la flexion, par exemple dans notre travail on remarque que dans quelques fois la résistance dans le mortier qui contient des fibres dans la partie inférieure est moins de celle du mortier qui contient des fibres au volume total, bien que la théorie dit la contraire, la cause de ce problème si que nous ne pouvons pas contrôler la disposition des fibres dans le mortier.

Nous pouvons contrôler la disposition des fibres verticalement (partie supérieure, partie inférieure, le volume totale) mais nous ne pouvons pas contrôler la disposition horizontale (au milieu de l'éprouvette ou sur les coins), chaque fois que le nombre des fibres est grand au milieu de l'éprouvette la résistance à la flexion est augmentée, et à chaque fois que le nombre des fibres est grand aux coins de l'éprouvette et manque au milieu la résistance à la flexion est diminuée.



**Figure III. 20** : Exemple de la disposition des fibres dans une éprouvette de béton.

### III.6.2.2. Essai de compression



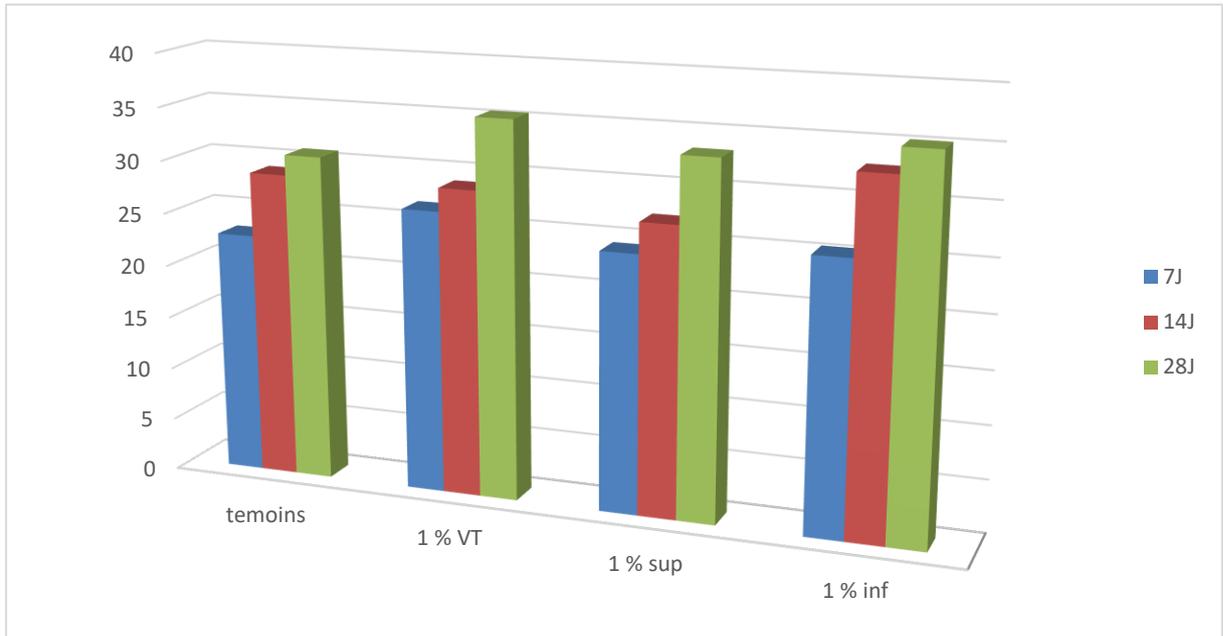
**Figure III. 21**: Essai de compression.

- Le tableau suivant représente la variation de la résistance à la compression en fonction des jours :

**Tableau III. 7** : La variation de la résistance à la compression en fonction du temps.

	R <sub>C</sub> (7j) (MPa)	R <sub>C</sub> (14j) (MPa)	R <sub>C</sub> (28j) (MPa)
Témoins	22,86	28,88	30,8
1 % VT	26,61	28,81	35,45
1 % sup	24,25	27,13	33,28
1 % inf	25,46	32,88	35,2

- D'après le tableau précédant on peut tracer un histogramme comme suivant :

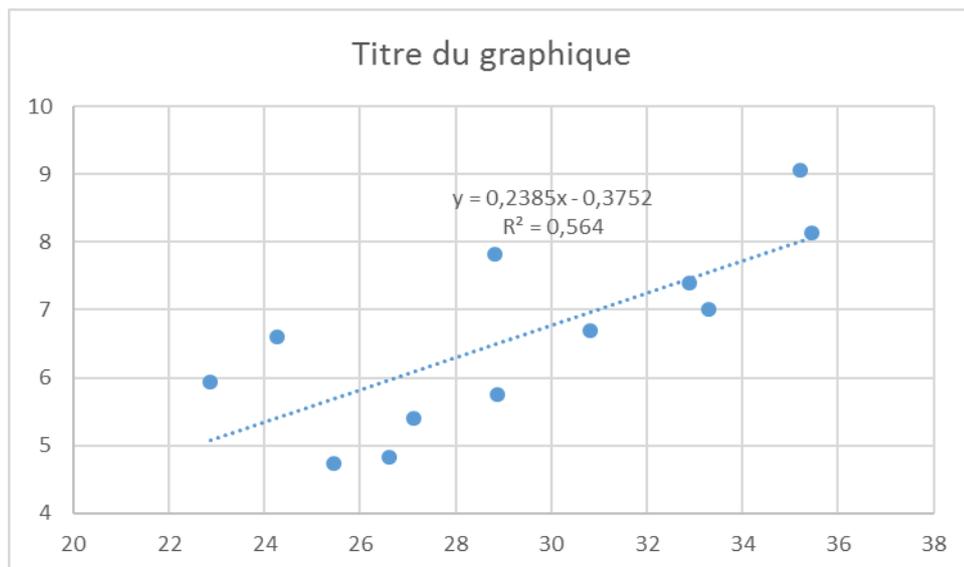


**Figure III. 22:** La variation de la résistance à la compression en fonction du temps.

### Commentaire :

On remarque que la résistance à la compression augmente en fonction du temps, ainsi la résistance à la compression des éprouvettes avec fibres dans le volume total a donné les valeurs de la résistance les plus importantes, cela est due à la présence des fibres.

- On peut tracer un graphe représente la relation entre la contrainte de compression et la contrainte de flexion comme suit :



**Figure III. 23:** La contrainte de compression en fonction de la contrainte de flexion.

### Commentaire :

On remarque dans le graphe qu'il existe une relation entre la contrainte de compression et la contrainte de flexion par un coefficient de corrélation  $R^2 = 0.564$ .

### III.7. Conclusion

Cette partie nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

-La masse volumique des mortiers varie selon l'état frais et durci (de 2.3 à 2.08)  $\text{g/cm}^3$  pour les éprouvettes témoins, et de (2.28 à 1.96)  $\text{g/cm}^3$ , de (2.27 à 1.92)  $\text{g/cm}^3$  de (2.3 à 1.94)  $\text{g/cm}^3$ , pour les variantes (1% VT, 1% SUP et 1 % INF) respectivement.

-La résistance à la compression augmente en fonction du temps de 7jours jusqu'à 28jours, qui varie de (22.86 à 30.8) MPa pour les éprouvettes témoins, et de (26.61 à 35.45) MPa, de (24.25 à 33.28) MPa, de (25.46 à 35.2) MPa, pour les variantes (1% VT, 1% SUP et 1 % INF) respectivement.

- La résistance à la flexion augmente en fonction du temps de 7jours jusqu'à 28 jours, qui varie de (4,73 à 6,7) pour les éprouvettes témoins, et de (5,93 à 8,13) MPa, de (4,83 à 7) MPa, de (6,6 à 9,06) MPa, pour les variantes (1% VT, 1% SUP et 1 % INF) respectivement.

- Il existe une relation entre la masse volumique et la contrainte de flexion par un coefficient de corrélation  $R^2=0.6866$ , et une relation avec la contrainte de compression par un coefficient de corrélation  $R^2=0.7332$ .

- La relation entre la contrainte de flexion et la contrainte de compression se manifeste par un coefficient de corrélation  $R^2=0.564$ .

## Conclusion générale

L'ajout des fibres pour renforcer le béton ce n'est pas une méthode nouvelle, mais avec le temps les chercheurs font des études et des essais sur les bétons comportent les fibres quelle que soit leur nature, les conclusions des travaux de recherche ont mentionné l'effet positif de l'introduction des fibres sur les caractéristiques techniques des bétons.

Notre travail est axé dans ce sens, dont on a étudié l'effet de la répartition des fibres en fonction de la hauteur des éprouvettes élaborées, les résultats de l'études ont permis de noter ce qui suit :

- La masse volumique des mortiers varie selon l'état frais et durci (de 2.3 à 2.08) g/cm<sup>3</sup> pour les éprouvettes témoins, et de (2.28 à 1.96) g/cm<sup>3</sup>, de (2.27 à 1.92) g/cm<sup>3</sup> de(2.3 à 1.94) g/cm<sup>3</sup>, pour les variantes (1% VT, 1% SUP et 1 % INF) respectivement, avec une chute de (9,57%) pour les éprouvettes témoins, et de (14,04%), (15,42%), (16,65%), pour les variantes (1% VT, 1% SUP et 1 % INF) respectivement.

- Les résistances à la compression augmente en fonction du temps de 7jours jusqu'à 28jours, elles varient de (22.86 à 30.8) MPa pour les éprouvettes témoins, et de (26.61 à 35.45) MPa, de (24.25 à 33.28) MPa, de (25.46 à 35.2) MPa, pour les variantes (1% VT, 1% SUP et 1 % INF) respectivement, avec une augmentation de (25,78%) pour les éprouvettes témoins, et de (24,94%), (27,13%), (27,67%) pour les variantes (1 % VT, 1% SUP et 1 % INF) respectivement.

- Les résistances à la flexion augmente en fonction du temps de 7jours jusqu'à 28 jours, elles varient de (4,73 à 6,7) pour les éprouvettes témoins, et de (5,93 à 8,13) MPa, de (4,83 à 7) MPa, de (6,6 à 9,06) MPa, pour les variantes (1% VT, 1% SUP et 1 % INF) respectivement, avec un développement de (29,44%) pour les éprouvettes témoins, et de (27,06%), (31%), (27,15%) pour les variantes (1% VT, 1% SUP et 1 % INF) respectivement.

- Des relations ont été noté entre la masse volumique et les contraintes de flexion et compression, avec des coefficients de corrélation estimer à ( $R^2=0.6866$ ), ( $R^2=0.7332$ ) respectivement, aussi la relation entre les contraintes de flexion et de compression été estimé à ( $R^2=0.564$ ).

- Afin d'assurer l'amélioration des performances mécaniques des bétons et mortier renforcés par des fibres, il faut utiliser des méthodes modernes et développées pour contrôler parfaitement la disposition des fibres à l'intérieure de la matrice.

### **Perspectives et recommandations**

A la lumière de ce travail des recommandations et des perspectives peuvent être énumérée à savoir :

- Une étude sur la durabilité des mortiers et bétons dans différents milieux agressifs.
- L'effet de l'orientation des fibres sur les propriétés physico-mécaniques des bétons.
- L'influence de la disposition dans le cas des bétons.
- Étude des propriétés rhéologiques des bétons fibrés.
- Ne pas oublier le coté économique lors de la formulation du béton fibré.

## Bibliographies

### Références bibliographiques

- [1]: Steven. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, Williams C.Panarese Normand F.Macleod et Richard J. McGrath, «Dosage et controle des mélanges de béton », livre 2004, BULLETIN D'INGENIER EB101, Portland Cement Association, ISBN 0-89312-218-1,348 pp.
- [2]: Allaoua Belferrag, 2007, Valorisation des fibres métalliques issues des déchets, laboratoire EVRNZA Universté KASDI Merbah de Ourgla139 pages.
- [3]: Baley C. (2013), “ Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites”. *Techniques de l'Ingénieur*, pp. 1-23.
- [4]: Bledzki A.K., Gassan J. (1999), “Composites reinforcedwith cellulose based fibres”. *Progress in Polymer Science*, Vol. 24, pp. 221-274.
- [5]: Ritter S.K. (2008), “Lignocelluloses’: A Complex Biomaterial”. *Chemical & Engineering News*, Vol. 86, p. 15.
- [6]: Madame MAKHLOUF Née CHERGUI NADIA. (30- novembre 2010). « CHARACTERISATION EN STATIQUE DU COMPORTEMENT EN TRACTION DIRECTE DU BETON ARME DE FIBRES EN COPEAUX», MEMOIRE DE MAGISTER, Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou Faculté Génie de la Construction Département de Génie Civil, 82 pages.
- [7]: Gérard BERNIER, Formulation des bétons. Techniques de l'ingénieur.10/05/2004,C2210 v2.
- [8]:P.K. MEHTA (1986), " Concrete: structure, properties, and materials ", Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1986, 450p.
- [9]: E.N. ANTOINE (1985), "Fiber reinforced for concrete", Concrete International design and construction, Vol 7, N° 3, March 1985, pp.21-25.
- [10]: ACI COMMITTEE (1984), "State of the art report on fiber reinforced concrete", Journal. American. Concrete Institute. March-April 1984, pp.140-146.
- [11]: M. BRAUN &A. MAJDIC (1980), "Reinforcing castables with stainless steel fibres"Intercera, Vol 129, pp.113-118.
- [12]: H.F. PORTER, "Preparation of concrete from selection of materials to final disposition". Journal American Concrete. Institute. Vol. 6, 1910, 296p.
- [13]: J.P. ROMUALDI &G.B BATSON (1963), "Mechanics of crack arrest in concrete”. Proceeding of American. Society of Civil Engineers, Vol.89, June 1963, pp.147-168.

## Bibliographies

[14]: J.P. ROMUALDI & G.B. BATSON (1963); "Behavior of reinforced concrete beams with closely spaced short lengths of wire reinforcement". Journal. American. Concrete Institute Vol.60, N°6, June 1963, pp.775-789.

[15]: D.R. LANKARD & H.D. SHEETS (1971); «Use of steel wire fibers in refractory constables». Am. Cer. Soc., Vol. 63, No.7, 1971.

[16]: Rossi P., (1994), "Steel fiber reinforced concretes (SFRC): An example of French research", ACI Materials Journal, vol. 91, n° 3, 1994, pp. 273-279.

[17]: Rossi P., Harrouche N., Lemaou F., (1989), "Comportement mécanique des bétons de fibres métalliques utilisés dans les structures en béton armé et en béton précontrainte", Annales de l'ITBTP, série matériaux 73, décembre 1989, n° 479 bis, pp. 166-183.

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

[19]: HUGHES, FATTUCHI, « the workability of steel fiber reinforced concrete »GB. MAGAZINE of concrete recherché, 1981, vol.28 N°96.

[20]: DEHOUSSE, N ; VANSTERMANS, A ; KUYKENS, T ; 1974 les mortiers et bétons renforcés de fibres d'acier, Bruxelles, CSTC Revue N°2 1974.

[21]: MEDDAHI KAMEL et MEDDAHI NACIRA Née REZGUI, 2016, « COMPORTEMENTS DES BETONS RENFORCÉS PAR DES FIBRES METALLIQUES, MÉTHODOLOGIE ET HYPOTHÈSE DE RECHERCHE », Mémoire de fin d'étude/master, Université AKLI MOHAND OULHADJE-Bouira, 170 pages.

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

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

[24]: JEAN FESTA et GEORGES DREUX, 1998, « Nouveau guide du béton et de ses constituants », 8ème édition, 416 pages.

[25]: OurdiaFedaoui-Akmoussi, 2016, « étude du comportement mécanique et durabilité des bétons fibrés : influence de différents environnements et de la nature des fibre », Université Mouloud Mammeri.

[26]: Sable CEN 196-1-Standard sand, Sable normalisé CEN certifié conforme EN 196-1.

[27]: ISO 679, 2009, Ciments-méthodes d'essai, détermination de la résistance mécanique.

[28]: Norme Française EN 206-1, Avril 2004, Béton-spécification, performances, produits et conformité.

## Bibliographies

- [29] : Norme Française P18-407, Décembre 1981, Bétons-Essai de flexion.
- [30] : Norme Française P18-406, Février 1969, Béton de construction-Détermination des caractéristiques mécaniques des bétons, Essai de compression.
- [31]: GUO X.H., TIN-LOI F., LI H., « Determination of quasi brittle fracture law for cohesive crack models», *Cement and Concrete Research*, Vol 29, 1999, p. 1055-1059.
- [32]: [Grunewald et Walravens 2001] Grunewald S., Walraven J.C., (2001) “Parameter-study on the influence of steelfibers and coarse aggregate content on the fresh properties of self-compacting concrete”, *Cement and Concrete Research* vol.31, pp. 1793-1798.
- [33]: [Johnston 1996] Johnston C.D., (1996) “Proportioning, mixing and placement of fiber-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.
- [34]: [Johnston 2001] Johnston C.D., (2001) “Fiber-Reinforced Cements and Concretes”, Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, 368 pages ISBN: 9056996940.
- [35] : 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.
- [36]: [Antonio Dominguez de Figueiredo 2015.] Antonio Dominguez de Figueiredo, Marcos Roberto Ceccatob, *Workability Analysis of Steel Fiber Reinforced Concrete Using Slump and Ve-Be Test Mat. Res. vol.18 no.6 São Carlos Nov. /Dec. 2015 EpubNov 03, 2015 On-line version ISSN 1980-5373.*
- [37] : A. ADJRAD (2000); "Renforcement du béton par des copeaux métalliques, étude expérimentale et modélisation", Thèse de magister 2000. Université Mouloud Mammeri de Tiz-Ouzou.
- [38] : A. BOUHERAOUA, Effets des fibres bi-ondulées sur le comportement du béton, étude expérimentale, Thèse de magister 2006, Université Mouloud Mammeri de Tiz-Ouzou.
- [39] : [Casanova P., (1996)] “Bétons renforcés de fibres métalliques du matériau à la structure”, LCPC.
- [40]: [Casanova P., Rossi P., (1997)] “Analysis and Design of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams”, *ACI Structural Journal*, Vol.94, No.5, pp.595-602.
- [41] : Harrouche N. (1989), Formulation et comportement à la fissuration des bétons de fibres métalliques, thèse de Docteur - Ingénieur de l'université de Paris VI.
- [42]: Bonzel J., Schmidt M. (1986), Distribution and orientation of steel fibers in concrete and their influence on the characteristics of steel fiber concrete, FRC-86, Development in Fiber Reinforced Cement and Concrete, RILEM Symposium, Sheffield, vol. 1.

## Bibliographies

[43] : Norme Française EN 196-1 : septembre 2016 : Méthodes d'essais des ciments - Partie 1 : détermination des résistances.

[44] : Norme Française P 18-560 : septembre 1990 : Granulats : Analyse granulométrique par tamisage-GRANULATE.

[45] : Norme Française EN 933-2 : juillet 2020 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats-partie 2 : détermination des granularité-Tamis de contrôle, dimensions nominales des ouvertures.

[46] : Norme Européenne EN 12620 : Juin 2008 : Granulats pour béton.

[47] : EN 196-3 : Septembre 2017 : Méthodes d'essai des ciments-partie 3 : détermination du temps de prise et de la stabilité.

[48] : Norme Française P15-403 : Juillet 1963 : Liants hydrauliques. Technique des essais. Sable normal et mortier normal.

[49] : NF P18-555 : Décembre 1990 : Granulats – Mesures des masses volumiques, coefficients d'absorption et teneur en eau des sables-GRANULATS.

[50] : Norme Française EN 12390-5 : juin 2019 : Essais pour béton durci - Partie 5 : résistance à la flexion des éprouvettes.

[51] : Norme Française EN 12390-1 : Novembre 2019 : Essais pour béton durci - Partie 1 : forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules.

[52] : Norme Française EN 12390-3 : juin 2019 : Essais pour béton durci – Partie 3 : résistance à la compression des éprouvettes.

[53] : Norme Française EN 12390-2 : juin 2019 : Essais pour béton durci - Partie 2 : confection et conservation des éprouvettes pour essais de résistance.

# ANNEXES

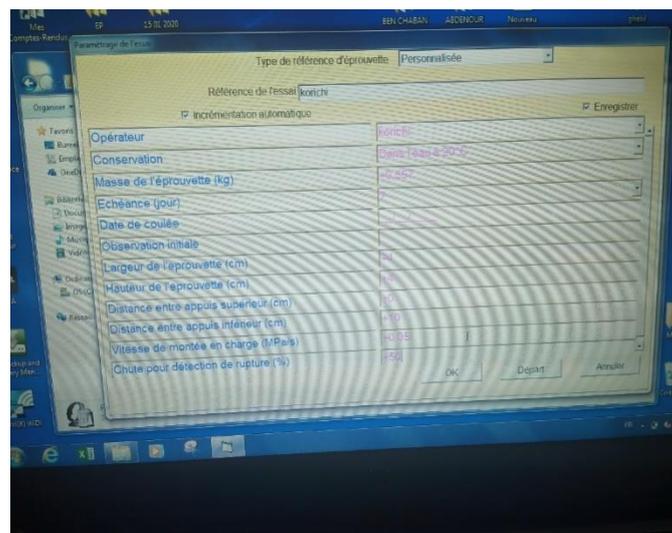
## ANNEXES

ref	Code	Mv frais(g/cm)	Mv 7j(g/cm)	Mv 14j(g/cm)	Mv 28j(g/cm)	RF 7j(Mpa)	RF 14j(Mpa)	RF 28j(Mpa)	RC7j(Mpa)	RC14j(Mpa)	RC28j(Mpa)
temoins	1	2,42	2,21	2,17	2,09	4,9	5,3	6,7	22,4	29,8	33,9
									26,7	24,9	29,2
	2	2,25	2,13	2,1	2,12	4,3	7,7	6,5	19,4	29	25,6
									19,8	30,8	32,7
	3	2,25	2,19	2,14	2,05	5	4,3	6,9	27,2	34,5	31,9
									21,7	24,3	31,5
	Moy	2,3	2,17	2,13	2,08	4,73	5,76	6,7	22,86	28,88	30,8
1% VT	1	2,29	2,17	2,07	1,99	6,4	7,6	6,7	22,7	26,3	40,4
									24,3	26,7	35
	2	2,33	2,21	2,13	2,01	5,8	8	9,2	26,9	30,2	32
									28	29,1	39,2
	3	2,24	2,16	2,15	1,88	5,6	7,9	8,5	32,9	30,7	36,4
									24,9	29,9	29,7
	Moy	2,28	2,18	2,11	1,96	5,93	7,83	8,13	26,61	28,81	35,45
1% sup	1	2,28	2,2	2	1,87	4,2	4,2	7,9	30,4	24,6	30
									23,5	28	33,9
	2	2,25	2,23	2,1	2,02	5,6	5,3	6,5	21,3	27,2	36,6
									22,5	27	36,4
	3	2,3	2,24	1,97	1,88	4,7	6,7	6,6	26	26,1	30,7
									21,8	29,9	32,1
	Moy	2,27	2,22	2,02	1,92	4,83	5,4	7	24,25	27,13	33,28
1% inf	1	2,25	2,15	2	1,94	7,3	9,6	7,5	27,8	32,2	39,2
									28,4	39,5	31,5
	2	2,33	2,26	2	1,96	7,1	7,6	8,8	26,1	41,8	28,1
									20,6	41,2	35,4
	3	2,34	2,27	2,03	1,92	5,4	5	10,9	22,1	19,9	35
									27,8	22,7	42
	Moy	2,3	2,22	2,01	1,94	6,6	7,4	9,06	25,46	32,88	35,2

**Annexe 1:** Les résultats de toute les essais.



**Annexe 2:** Des éprouvettes de mortiers après le démoulage.



**Annexe 3 :** Exemple des paramètres des essais.

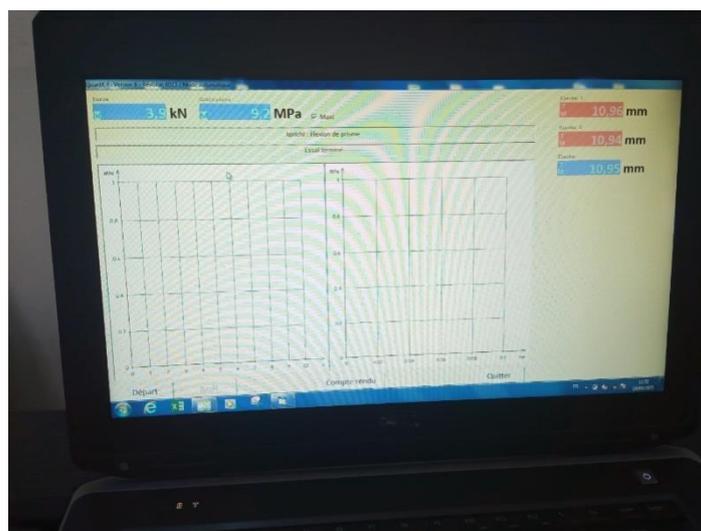
## ANNEXES



**Annexe 4** : Éprouvette de mortier fibré après la rupture sur l'essai de flexion.



**Annexe 5** : Des éprouvettes de mortier fibrés après l'essai de flexion.



**Annexe 6** : Exemple des résultats de l'essai de flexion.

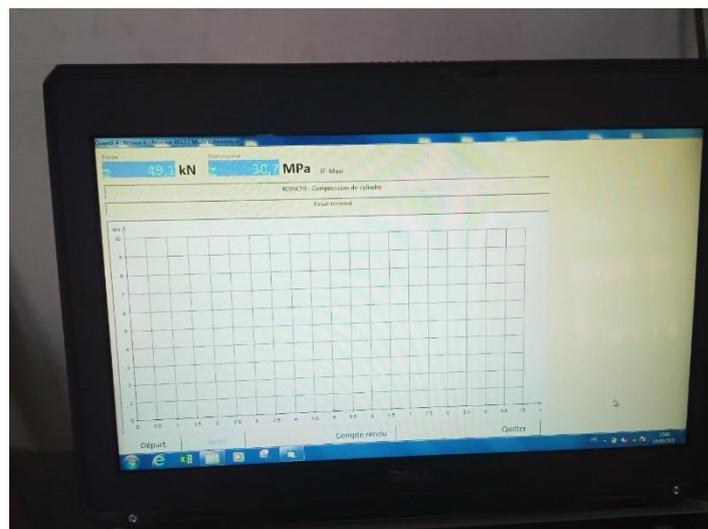
## ANNEXES



**Annexe 7 :** Éprouvette de mortier fibré après la rupture sur l'essai de compression.



**Annexe 8 :** Des éprouvettes de mortier fibré après l'essai de compression.



**Annexe 9 :** Exemple de résultats de l'essai de compression.