



جامعة بجاية  
Tasdawit n Bgayet  
Université de Béjaïa

Université Abderrahmane Mira Bejaia

Faculté de Technologie

Département de Génie civil

## Mémoire

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME

DE MASTER EN GENIE CIVIL

Option : structure

Thème :

### Elaboration des mortiers renforcés par des fibres métalliques

Réalisé par :

M<sup>elle</sup> SLIMANI Nassima

M<sup>elle</sup> HIDJA Fairouz

Encadré par :

Mr.MEZIANI Belkacem

juré:

1: Mr.BOUKLOUDA Abdelhafid

2: Mr.SERIKMA Mourad

*Promotion* 2022 /2023

## *Remerciements*

*Nous tenons tout à exprimer notre remerciement et notre profonde gratitude au bon dieu(Allah), le tout puissant de nous avoir donné le courage, la force, la santé et la volonté afin que nous puissions accomplir ce travail et réaliser notre but.*

*Nous remercions nos parents qui nous ont soutenus beaucoup pendant toute la vie et qui continuerons à nous aider dans tous les projets de l'avenir. Ainsi que tous les membres de nos familles qui ont participé de près ou de loin à nous encourager et nous aider dans notre projet.*

*Il est difficile d'exprimer, en quelques mots ma profonde gratitude et mon sincère remerciement à notre encadreur **Mr Meziani Belkacem** d'avoir accepté ce travail et pour le soutien et l'aide qu'il n'a jamais manqué de nous apporter, pour ces précieux conseils, ses critiques constructives et ses orientations durant l'élaboration de ce modeste travail. Nous avons apprécié sa patience, sa gentillesse, ses qualités humaines, sa disponibilité et son accueil, tout au long de la réalisation de ce mémoire.*

*Je voudrais aussi remercier vivement **Mme HAMMOU Salima** et **SAIGHI Mouna** pour leurs encouragements, leurs gentillesse, leurs aides durant la période de réalisation de ce modeste travail.*

## **DEDICACE**

*C'est beaucoup d'orgueil que je dédie ce travail aux perles rares de ma vie, mes parents, car ils sont orgueilleux de me voir terminer ma recherche. Leur présence dans les moments les plus difficiles de ma vie déterminante et les efforts déployés pour m'instruire sont considérablement.*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A ma très cher mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cassé de prier pour moi ;*

*A mon très cher père, pour ses encagement, son soutien surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave e déroulement de mes étude ;*

*A mes chères sœurs, Ghania, Lynda, Salima et Liza ;*

*A mes chers frères, Abdelhak et Anis ;*

*A mon petit prince Adem que j'aime trop et que je le souhaite un meilleur avenir ;*

*Au meilleur copine au monde : Mouna ;*

*A mes chères et adorables amies au terme de l'amitié qui nous a réunis.*

*A tous ceux qui sont dans mes pensées et que je n'ai pas cités ;*

*NASSIMA*

## **DEDICACE**

*J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail,*

*A la prunelle de mes yeux maman, pour son amour qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi.*

*A mon support mon père qui ont su me donner une bonne éducation, son soutien et la confiance qui m'a accordé.*

*A ma grand-mère pour ses encouragement que dieu te bénisse, longue vie.*

*A mes frères (Sofiane et Tarik).*

*A mes amis Sissa, Lili, Zouzou, Kati, Nabil, Fares.....et à tous mes amis qui ont toujours été là pour moi, leurs encouragements ont été d'une grande aide.*

*Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon directeur de mémoire, Monsieur "Meziani belkacem", je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé. Je remercie mon cher binôme Nassima pour tous ses efforts sacrifiés pour réussir notre mémoire, pour ton encouragement et ton soutien heureuse de t'avoir connu.*

*A tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.*

*Fairouz*

## Liste des figures

<b>Figure I. 1.</b> Structure d'un matériau composite .....	<b>02</b>
<b>Figure I. 2.</b> Classification des matériaux composites .....	<b>04</b>
<b>Figure I.3.</b> Constituant et fabrication de mortier .....	<b>05</b>
<b>Figure I.4.</b> Composition de mortier .....	<b>06</b>
<b>Figure I.5.</b> sable d'oued souf.....	<b>07</b>
<b>Figure I.6.</b> les étapes de fabrication du ciment .....	<b>08</b>
<b>Figure I.07.</b> Moule des prismes $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ .....	<b>11</b>
<b>Figure I.08.</b> Gonflement au jeune âge d'un échantillon de mortier mûri dans l'eau.....	<b>12</b>
<b>Figure I.9.</b> Diffèrent type des fibres .....	<b>14</b>
<b>Figure I.10.</b> Différents types de fibres métalliques .....	<b>15</b>
<b>Figure I.11.</b> Fibre métallique à crochet .....	<b>16</b>
<b>Figure I.12.</b> Fibre végétale .....	<b>17</b>
<b>Figure I.13.</b> Diversité de l'offre de fractions végétales .....	<b>18</b>
<b>Figure I.14.</b> Classification des fibres naturelles .....	<b>19</b>
<b>Figure I.15.</b> Fibre de polypropylène .....	<b>20</b>
<b>Figure I. 16.</b> Confrontation des courbe contrainte déformation entre mortier témoin et mortier	<b>21</b>
<b>Figure I.17:</b> Illustration de l'apport du renfort par des fibres .....	<b>22</b>
<b>Figure I.18 :</b> Mortier fibré .....	<b>22</b>
<b>Figure I.19 :</b> Les facteurs influant sur le comportement d'un béton renforcé de fibres .....	<b>24</b>
<b>Figure I.20.</b> Courbes contraintes-déformations en compression de mortiers de références et mortiers fibrés .....	<b>25</b>
<b>Figure I.21.</b> Courbes contraintes-déformations de flexion des mortiers de référence et .....	<b>26</b>
<b>Figure I.22 :</b> Influence du % sur le retrait avec fibres industrielles .....	<b>26</b>
<b>Figure II.1.</b> Ciment utilisé pour la confection des mortiers .....	<b>30</b>
<b>Figure II.2.</b> Photo du sac de ciment CPJ-CEM II/A 42.5 prise au laboratoire .....	<b>30</b>
<b>Figure II.3.</b> Appareil Vicat .....	<b>31</b>
<b>Figure II.4.</b> Essai de consistance du ciment utilisé .....	<b>33</b>
<b>Figure II.5.</b> Aiguille d'appareil de Vicat .....	<b>34</b>
<b>Figure II.6.</b> Photo du sac de sable normalisé selon la norme .....	<b>35</b>
<b>Figure II.7.</b> Courbe granulométrique du sable normalisé .....	<b>35</b>
<b>Figure II.8.</b> Photo des fibres métalliques utilisées dans le mortier .....	<b>36</b>
<b>Figure II.9.</b> Moule d'utilisation pour la matrice cimentaire de dimension $4 \times 4 \times 16$ .....	<b>38</b>
<b>Figure II.10.</b> Préparation et malaxage du mortier .....	<b>40</b>

## Liste des figures

<b>Figure II.11.</b> malaxeur utilisé pour la préparation du mortier .....	41
<b>Figure II.12.</b> Fabrication et moulage des éprouvettes .....	41
<b>Figure II.13.</b> Mortier sur table a choc .....	41
<b>Figure II.14.</b> Moule couvert avec du film plastique .....	42
<b>Figure II.15.</b> Décoffrage des éprouvettes, dimensions : 4x4x16 cm <sup>3</sup> .....	42
<b>Figure II.16.</b> Conservation des éprouvettes dans l'eau .....	43
<b>Figure II.17.</b> Pesé hydrostatique sous l'eau .....	44
<b>Figure II.18.</b> Pesé hydrostatique à l'Etat saturé .....	44
<b>Figure II.19.</b> Etuve à 39C <sup>0</sup> .....	45
<b>Figure II.20.</b> Machine de tests de flexion CONTROLS .....	46
<b>Figure II.21.</b> Eprouvette de mortier avant et après le teste de flexion .....	46
<b>Figure II.22.</b> éprouvette soumis aux tests de compression .....	47
<b>Figure II.23.</b> éprouvette de mortier vierge avant et après le test de compression .....	47
<b>Figure III.1.</b> Evolution de la porosité en fonction de rapport E/C .....	49
<b>Figure III.2.</b> Retrait des mortiers en fonction de E/C .....	51
<b>Figure III.3.</b> La résistance à la flexion en fonction de rapport E/C .....	52
<b>Figure III.4.</b> La résistance de compression en fonction de rapport E/C .....	53
<b>Figure III.5.</b> L'influence des fibres sur la flexion à 7 jours .....	54
<b>Figure III.6.</b> L'influence des fibres sur la flexion à 28 jours .....	55
<b>Figure III. 7.</b> Essai de traction par flexion .....	56
<b>FigureIII.8.</b> L'influence de la longueur et du pourcentage des fibres sur La résistance à la compression à 7 jours .....	57
<b>FigureIII.9.</b> Influence de la longueur et du pourcentage des fibres sur la résistance à la compression à 28 jours .....	58
<b>Figure III.10.</b> Essai de compression .....	59

## Liste des tableaux

<b>Tableau I. 01.</b> différents types de ciment .....	<b>09</b>
<b>Tableau I. 02.</b> diffèrent type de fibre.....	<b>14</b>
<b>Tableau I. 03.</b> Caractéristiques des fibres couramment utilisées .....	<b>16</b>
<b>Tableau I.04.</b> Composition massique typique de quelques fibres naturelles .....	<b>18</b>
<b>Tableau I. 05:</b> Propriétés physiques et mécaniques de certaines fibres .....	<b>21</b>
<b>Tableau I.06 :</b> avantage et inconvénient des fibres .....	<b>23</b>
<b>Tableau II.01 :</b> mode opératoire de l'essai de consistance .....	<b>32</b>
<b>Tableau II.02 :</b> formulation des pâtes de ciment .....	<b>33</b>
<b>Tableau II. 03 :</b> Caractéristiques des fibres métalliques utilisées .....	<b>36</b>
<b>Tableau II. 04 :</b> Masse volumique apparente de fibre métallique utilisée .....	<b>36</b>
<b>Tableau II.05 :</b> Dosage et pesée des constituants .....	<b>39</b>

<b>Introduction générale</b> .....	<b>01</b>
<b>I. Etude Bibliographique</b>	
I.1. Introduction .....	<b>02</b>
I.2. Généralité sur les matériaux composites .....	<b>02</b>
I.2.1. Définition .....	<b>02</b>
I.2.2. Classification des matériaux composites .....	<b>03</b>
I.2.2.1. Classification suivant la forme des constituants .....	<b>03</b>
I.2.2.2. Classification suivant la nature des constituants .....	<b>03</b>
I.2.3. Les Caractéristiques générales des matériaux composites .....	<b>04</b>
I.2.3.1. Caractéristiques des matériaux organiques .....	<b>04</b>
I.2.3.2. Caractéristiques des matériaux minéraux ou inorganiques .....	<b>04</b>
I.2.3.3. Caractéristiques des matériaux métalliques .....	<b>05</b>
I.3. Généralités sur les mortiers à matrice cimentaire .....	<b>05</b>
I.3.1. Définition .....	<b>05</b>
I.3.2. Composition de mortier .....	<b>06</b>
I.3.2.1. Sable .....	<b>06</b>
I.3.2.2. Le liant .....	<b>07</b>
I.3.2.3. L'Eau .....	<b>09</b>
I.3.2.4. Les adjuvants .....	<b>09</b>
I.3.2.5. Les ajouts .....	<b>10</b>
I.3.3. Les caractéristiques principales des mortiers .....	<b>10</b>
I.3.3.1. Résistance à la compression .....	<b>10</b>
I.3.3.2. Résistance à la traction .....	<b>11</b>
I.3.3.3. Déformations volumétriques au jeune âge .....	<b>11</b>
I.3.3.4. Autres qualités recherché d'un mortier .....	<b>12</b>
I.3.4. Domaine d'utilisation .....	<b>13</b>
I.4. Généralité sur les fibres .....	<b>13</b>
I.4.1. choix du type .....	<b>13</b>
I.4.2. Les différents types de fibres .....	<b>14</b>
I.4.2.1. Fibres métalliques .....	<b>15</b>
I.4.2.2. Fibres naturelles végétales .....	<b>17</b>
I.4.2.3. Fibre de polypropylène .....	<b>20</b>
I.4.4. Rôle des fibres .....	<b>21</b>
I.5. Elaboration de mortier renforcé par des fibres métalliques .....	<b>22</b>
I.5.1 Définition .....	<b>22</b>

I.5.2. Avantage et inconvénients du mortier fibré .....	23
I.5.3. la formulation du mortier à base des fibres métalliques .....	23
I.5.4. Influence des caractéristiques et dosages des fibres .....	24
I.5.4.1. Influence du pourcentage sur la résistance à la compression .....	24
I.5.4.2. Influence des fibres sur la résistance à la flexion .....	25
I.5.4.3. Influence des fibres métalliques sur le retrait .....	26
I.5.4.4. Le rapport longueur/diamètre de la fibre métallique .....	27
Conclusion .....	28
<b>II. Matériel et Méthode</b>	
II.1. Introduction .....	29
II.2. Matériaux utilisés .....	29
II.2.1. ciment .....	29
II.2.1.1. Caractéristiques du ciment utilisé .....	30
II.2.1.3. Mesure des temps de début et fin de prise .....	31
II.2.1.4. Essai de consistance .....	32
II.2.1.5. Essai de prise .....	33
II.2.2. Sable normalisé .....	34
II.2.4. Les fibres métalliques .....	36
II.3. Préparation des échantillons .....	37
II.3.1. Matériel utilisé .....	37
II.3.2. Confection des mortiers fibrés .....	37
II.4. Formulation des mortiers renforcés de fibres métalliques .....	38
II.4.1. Dosage et pesée des constituants .....	38
II.4.2. Préparation des éprouvettes d'essais .....	39
II.4.3. Malaxage .....	40
II.4.4. Conservations des éprouvettes .....	42
II.5. Caractérisation des mortiers renforcés de fibres métalliques .....	43
II.5.1. Masse volumique sèche .....	43
II.5.2. La densité .....	43
II.5.3. La porosité .....	44
II.5.4. Le retrait .....	45
II.5.5. Tests mécaniques .....	45
II.5.5.1. L'essai de flexion .....	45
II.5.5.2. L'essai de compression .....	47
Conclusion .....	48
<b>III. Résultats interprétations</b>	
Introduction .....	49

III.1. Etude des réponses en fonction de rapport E/C .....	<b>49</b>
III.1.1. La porosité .....	<b>49</b>
III.1.2. Étude de retrait .....	<b>51</b>
III.1.3. Essai de flexion .....	<b>52</b>
III.1.4. Essai de compression .....	<b>53</b>
III.2. Influence des fibres sur les réponses mécaniques .....	<b>54</b>
III.2.1. Essai de flexion .....	<b>54</b>
III.2.2. Essai de compression .....	<b>57</b>
Conclusion .....	<b>59</b>
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>61</b>

**Résumé :**

L'ajout d'un déchet (les fibres) dans les matériaux de construction, particulièrement, les mortiers est une technique de plus en plus utilisée, pour plusieurs raisons, soit écologique, soit économique, soit pour améliorer certaines propriétés à l'état frais ou durci.

Les propriétés mécaniques du mortier de fibres dépendent de plusieurs facteurs qui sont les conditions de mise en œuvre, le dosage, l'espacement, l'orientation et la distribution des fibres dans le mortier.

Le but de ce travail est d'étudier l'influence des rapports E/C à différentes valeurs (0.45;0.5;0.55) sur le retrait et les caractéristiques mécaniques (traction et compression) du mortier ; et de quantifier l'effet des fibres métalliques sur la variation dimensionnelle due au retrait, de même sur le comportement mécanique du mortier, concernant la résistance à la compression et à la flexion. A cet effet trois mélanges ont été utilisés, un mortier sans fibres servant de mortier témoin, et un mortier renforcé de fibres métalliques en variant simultanément les dosages de fibres (1% ; 2%) et trois longueurs de fibres (6 mm;8 mm;10mm).

Les résultats obtenus montrent que l'addition des fibres entraîne une augmentation de la résistance à la traction par flexion, on constate aussi une légère progression de la résistance à la compression en fonction du taux de fibres métalliques.

**Mots clés :** mortier, fibres métalliques, flexion, compression, retrait.

**Abstract**

The addition of a waste product (fibers) to construction materials, particularly mortars, is a technique that is being more and more used for many reasons, either ecological or economical or to improve certain properties in the fresh or hardened state.

The mechanical properties of fiber mortar depend on a number of factors, including processing conditions, dosage, spacing, orientation and distribution of the fibers in the mortar.

The aim of this work is to study the influence of different W/C ratios (0.45; 0.5; 0.55) on the shrinkage and mechanical properties (tensile and compressive strength) of the mortar; and to quantify the effect of metal fibers on the dimensional variation due to shrinkage, as well as on the mechanical behavior of the mortar, concerning compressive and flexural strength, Three mixtures were used, a mortar without fibers serving as a reference mortar, and a mortar reinforced with metal fibers by simultaneously varying fiber percentage (1%; 2%) and three fiber lengths (6 mm;8 mm;10mm).

The results obtained show that the addition of fibers leads to an increase the flexural tensile strength, and a slight increase in compressive strength as a function of the metal fiber content.

**Key words:** mortar, metal fibers, bending, compression, shrinkage.

# *Introduction générale*

## Introduction générale

Les matériaux composite dans le domaine du génie civil sont devenue des matériaux courants des lors que la performance est recherchée. Les composite renforcé des fibres sont utilisées pour le développement des matériaux de construction et en génie civil pour leurs propriétés spécifique très élevées. La littérature scientifique montre bien un intérêt à l'amélioration des propriétés des matériaux composites mélanges avec des fibres. Ces matériaux renforcés des fibres présentant de bonnes performances à la flexion et à la compression. Ils peuvent aussi réduire le retrait et s'opposer à l'apparition des fissures.

L'utilisation des fibres dans le mortier présente une bonne solution pour améliorer le comportement mécanique du composite. L'introduction des fibres dans le mortier permet d'avoir un composite durable avec de bonnes propriétés mécaniques. En effet, l'association des fibres dans le mortier permet d'améliorer de nombreuses caractéristiques.

La recherche et l'expérience acquises ont permis l'introduction des fibres dans le domaine de la construction, et qui rend la possibilité de produire des éléments minces, plus légers et plus résistants. L'incorporation des fibres métalliques dans le mortier a une influence directe sur sa maniabilité qui se traduit par une mise en œuvre très étudié.

L'objectif de cette recherche est d'effectuer une étude de caractérisation et du comportement mécanique du mortier renforcé des fibres métalliques. Pour mieux connaître l'influence du taux de fibres métalliques sur ce comportement, une campagne d'essais sur matériau a été effectuée le comportement à la traction par flexion, et à la compression est analysé pour différents essais. Le mémoire est structuré en trois chapitres, répartis comme suit :

Le premier chapitre est consacré à une étude bibliographique. Celle-ci se focalise tout d'abord, généralités sur les matériaux composites, mortier et ces différents types et l'influence des fibres et leurs caractéristiques physiques et mécaniques.

Le deuxième chapitre s'intéresse à l'étude des caractéristique des matériaux utilisé et formulation, et les déférentes essais sur les mortiers ainsi les propriétés mécanique (flexion, compression) et rhéologique (retrait) des mortiers continents des fibres métallique qui ont été utilisés pour pouvoir analyser le comportement de ce matériau.

Le troisième chapitre concernera les résultats obtenus de l'étude, les différentes relations structure-propriétés matrice/fibre seront abordées.

Enfin, la conclusion générale et quelques perspectives de ce travail seront exposées.

*Chapitre I*  
*Etude Bibliographique*

## I. Etude Bibliographique

### I.1. Introduction :

Les matériaux composites sont des matériaux de construction qui combinent les avantages des matériaux traditionnels avec les avantages des matériaux modernes tels que les fibres métalliques. Dans ce chapitre nous allons discuter des propriétés des mortiers composites renforcés des fibres métalliques de leurs avantages et leurs inconvénients. Nous allons examiner les différentes applications de ces matériaux dans l'industrie de la construction.

### I.2. Généralité sur les matériaux composites :

#### I.2.1. Définition :

Un matériau composite est un assemblage de deux ou plusieurs matériaux, l'assemblage final ayant des propriétés supérieures aux propriétés de chacun des matériaux constitutifs. On appelle maintenant de façon courante « matériaux composites » des arrangements de fibres, les renforts qui sont noyé dans une matrice dont la résistance mécanique est beaucoup plus faible. La matrice assure la cohésion et l'orientation des fibres, elle permet également de transmettre les sollicitations auxquelles sont soumises les pièces [1].

Un matériau composite renforcé par des fibres est tout alliage ou matière première comportant un renfort sous forme Filamentaire. Il nécessite l'association intime d'au moins deux composants : le renfort (La fibre) et La matrice (Figure I.1), qui doivent être compatibles entre eux et se solidariser, ce qui introduit la Notion d'un agent de liaison, l'interface.

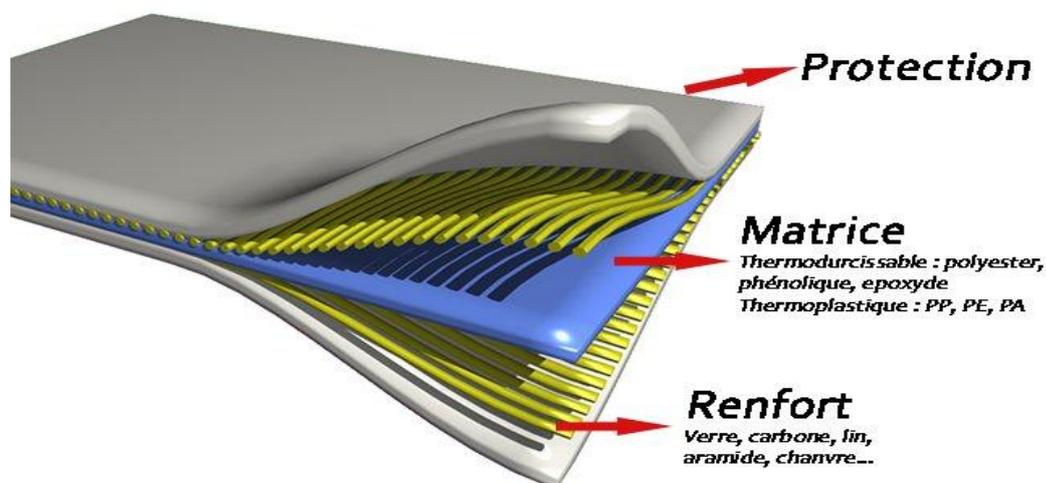


Figure I.1. Structure d'un matériau composite

## **I.2.2. Classification des matériaux composites :**

Les composites peuvent être classés suivant la forme des composants où Suivant la nature des composants.

### **I.2.2.1. Classification suivant la forme des constituants**

En fonction de la forme des constituants, les composites sont classés en deux Grandes Classes : les matériaux composites à particules et les matériaux composites à fibres.

### **I.2.2.2 Classification suivant la nature des constituants [2]**

Selon la nature de la matrice et du renfort nous pouvons citer :

#### **A. composites à matrice organique (CMO) :**

Qui est le plus utilisé aujourd'hui grâce à son cout plus bas permettant une production en série ;

#### **B. composites à matrices céramiques (CMC) :**

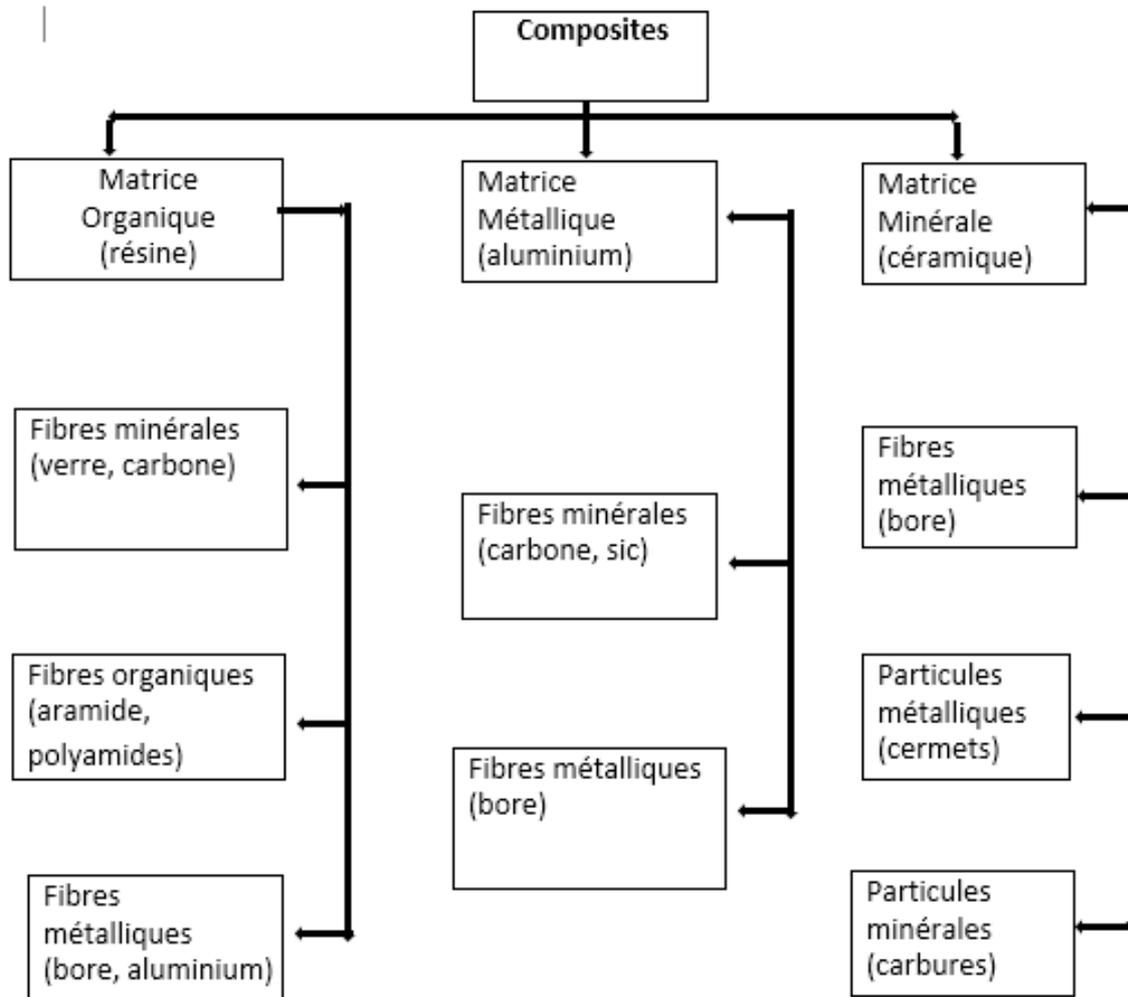
Qui est majoritairement utilisé pour des domaines très spécifiques à haute technicité et travaillant à haute température ;

#### **C. composites à matrices métalliques(CMM) :**

Qui peut être utilisé pour diverses applications comme l'automobile, les loisirs ou encore l'électronique.

Les matériaux composites à matrice organique ne peuvent être utilisés que dans le domaine des températures ne dépassant pas 200 à 300 °C, alors que les matériaux composites à matrices métallique ou minérale sont utilisés au-delà : Jusqu'à 600 °C pour une matrice métallique et jusqu'à 1000 °C pour une matrice Céramique.

Les matériaux composites se divisent en 3 familles principales comme montrer au-dessous



**Figure I.2.** Classification des matériaux composites [3]

### I.2.3. Les Caractéristiques générales des matériaux composites :

Les propriétés des matériaux composites dépendent :

- De l'interaction fibre matrice ;
- La nature de l'interface matrice renfort ;
- La nature des constituants et leurs propriétés ;
- La géométrie du renfort et sa distribution.

#### I.2.3.1. Caractéristiques des matériaux organiques :

- Facilité de mise en offre ;
- Biodégradable.

## I.2.3.2. Caractéristiques des matériaux minéraux ou inorganiques :

- Rigidité ;
- Dureté ;
- Résistance mécanique ;
- Résistance chimique.

## I.2.3.3. Caractéristiques des matériaux métalliques :

- Résistance mécanique ;
- Résistance aux torsions ;
- Conductivité électrique et thermique.

## I.3. Généralités sur les mortiers à matrice cimentaire :

### I.3.1. Définition :

Le mortier est un matériau de construction obtenu par mélange homogène d'une matière inerte ( sable ) avec une matière active ( liant ), le tout gâché avec certaine quantité d'eau, éventuellement des adjuvants, réalisé dans des proportions bien définies de manière à obtenir une pâte de plasticité convenable pour la mise en œuvre.



Figure I.3. Constituants et fabrication des mortiers

Le mortier est à la base de tous les travaux de maçonnerie que ce soit pour construire, pour enduire ou pour réparer.

En fonction de leur composition on distingue 5 types de mortiers :

**Mortier de ciment** : Fabriqué avec du ciment artificiel de type Portland, blanc ou gris. Il est très résistant.

**Mortier de chaux** : Fabriqué avec la chaux hydraulique. Moins résistant et moins étanche que le mortier de ciment, il est plus souple et laisse respirer les murs.

**Mortier bâtard** : Fabriqué avec un mélange de ciment et de chaux. Il présente des caractéristiques intermédiaires entre le mortier de ciment et le mortier de chaux.

**Mortier réfractaire** : A base de "fondu", pour les cheminées et barbecues.

**Mortier rapide** : A base de ciment "prompt", pour les scellements

## I.3.2. Composition de mortier :

Les mortiers sont constitués par des mélanges de :

- Sable ;
- Liant (ciment ou chaux) ;
- Eau ;
- Adjuvants.



Figure I.4. Composition de mortier

Dans un mortier, le liant peut être du ciment, de la chaux ou un mélange des deux.

### I.3.2.1. Sable :

#### A-1. Définition :

Le sable est une masse meuble de matières minérales inorganiques, finement granuleuses (0.08 à 5 mm), habituellement composées de quartz (silice), et d'une petite proportion de mica, de feldspath, de magnétite et autres minéraux durs. Le sable est un élément très important dans la constitution des bétons et c'est généralement par la médiocre qualité du sable que périssent les bétons.



**Figure I.5.** Sable d'oued souf

## **A-2. Le rôle de sable :**

Le rôle du sable dans un mortier est de :

- Diviser la masse du liant pour permettre la prise (liant aérien).
- Diminuer le retrait et ses conséquences.

## **A-3. Sable pour mortier normal :**

Les sables utilisés sont les sables appelés "sable normalisé". Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Ils jouent un rôle primordial en réduisant les variations volumiques, les chaleurs dégagées et le prix de revient des bétons. Ils doivent être propre et ne pas contenir d'éléments nocifs.

### **I.3.2.2. Le liant :**

Quel qu'il soit, le liant employé doit être de bonne qualité. Son choix pour la confection d'un mortier est très important

Généralement, on peut utiliser :

- Les ciments normalisés (gris ou blanc) ;
- Les ciments spéciaux (alumineux fondu, ...)
- Les liants à maçonner ;
- Les chaux hydrauliques naturelles ;
- Les chaux éteintes

Le ciment est une matière pulvérulente (en d'autre termes poudre), formant avec l'eau une pâte plastique liante, capable d'agglomérer, en durcissant, des substances variées comme par

exemple du mortier en le mélangeant à du sable ou bien du béton en le mélangeant à du sable et du gravier.

## B-1. Les Constituants du ciment : [4]

Le ciment est composé de clinker moulu auquel on ajoute une quantité de gypse, destiné à régulariser la prise. Pour modifier les propriétés du ciment, on ajoute les autres constituants associés au clinker grâce à leurs caractéristiques chimiques ou physiques.

## B-2. Fabrication du ciment

Le ciment est généralement fabriqué en cuisant vers 1450 °C des mélanges de calcaire et d'argile (environ 80% de calcaire et 20% d'argile). On obtient alors des nodules durs, appelés clinkers (c'est en broyant très finement ceux-ci, additionnés d'un peu de gypse, qu'on produit le ciment Portland).

D'autres types peuvent être obtenus en mélangeant ce clinker broyé avec des constituants, broyés également, qui présentent des propriétés hydrauliques ou pouzzolaniques : ce sont soit des laitiers de hauts fourneaux granulés, soit des cendres volantes ou encore des pouzzolanes, naturelles ou artificielles.

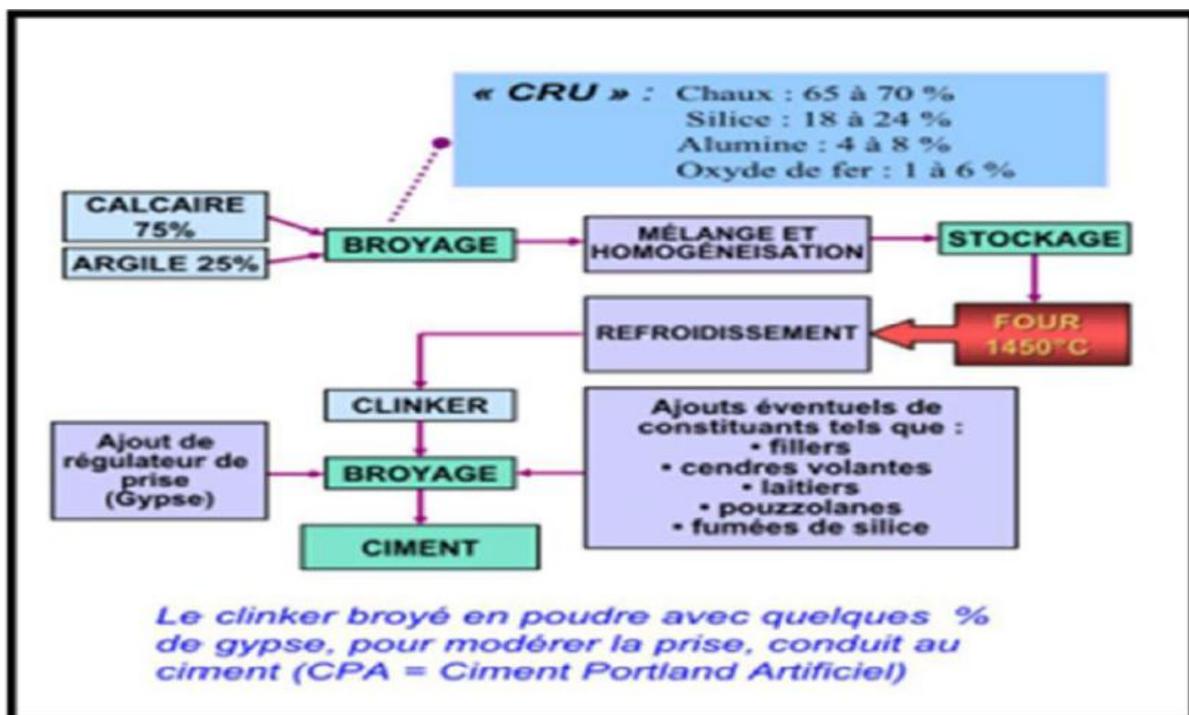


Figure I.6. Les étapes de fabrication du ciment [5]

## B-3. Différents types de ciment [33]

Les ciments constitués de clinker et des constituants secondaires sont classés en fonction de leur composition, en cinq types principaux par la norme **NF EN 197-1 [38]** Ils sont notés CEM et numérotés de 1 à 5 en chiffres romains dans leur notation européenne

**Tableau I.1.** Différents types de ciment [6]

Types de ciment	Notation	% Clinker(K) (y compris le gypse)	% Autres constituants	Constituants secondaires
Ciment portland	CPA-CEM I	95-100	-	0-5
Ciment portland composé	CPJ-CEM II/A	80-94	6-20	-
	CPJ-CEM II/B	65-79	21-35	-
Ciment de haut fourneau	CHF-CEM III/A	35-64	36-65	0-5
	CHF-CEM III/B	20-34	66-80	0-5
	CLK-CEM III/C	5-19	81-95	0-5
Ciment pouzzolanique	CPZ- CEM IV/A	65-90	10-35	0-5
	CPZ- CEM IV/B	45-64	36-55	0-5
Ciment aux laitiers et aux cendres	CLC- CEM V/A	40-64	18-30	0-5
	CLC- CEM V/B	20-39	31-50	0-5

### I.3.2.3. L'Eau [7]

Le choix de l'eau de gâchage a aussi une grande importance car elle remplit un double rôle : elle sert à hydrater le ciment et ce qui est plus important, elle contribue à son ouvrabilité. L'eau devrait être propre et ne pas contenir de produits nocifs tels que des acides, des alcalis ou des matières organiques. Lorsqu'elle est potable, on peut l'utiliser.

Dans notre étude nous avons utilisé l'eau de robinet de laboratoire de génie civil.

### I.3.2.4. Les adjuvants [8]

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des mortiers. Ils modifient les propriétés des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (environ de 5% du poids de ciment).

Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants :

- Les plastifiants (réducteurs d'eau) ;
- Les entraîneurs d'air ;
- Les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs) ;
- Les hydrofuges.

## I.3.2.5. Les ajouts :

Les ajouts que l'on utilise dans les mortiers sont :

- Poudres fines pouzzolaniques (cendres volante, fumée de silice.) ;
- Fibres de différentes natures ;
- Colorants (naturels ou synthétiques) ;
- Polymères.

## I.3.3. Les caractéristiques principales des mortiers [9]

Pour pouvoir évaluer les caractéristiques des mortiers on prend souvent comme référence le mortier 1/3 composé en poids de: une partie de ciment et de 3 parties de sable normalisé dont les grains s'échelonnent de 80 microns à 2 mm et 0,5 partie d'eau. Ce mortier est malaxé et mis en place dans des moules métalliques suivant des méthodes normalisées. On effectue sur ce mortier des essais de gonflement, de retrait, et de résistance mécanique.

La résistance mécanique est l'une des caractéristiques essentielles du mortier, Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4 x 4 x 16 cm<sup>3</sup> conservés dans l'eau à 20°C.

Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours).

Les résistances des mortiers dépendent de plusieurs paramètres à savoir :

- La nature et la qualité des constituants (ciment, granulats, eau, adjuvants).
- Les conditions de la mise en œuvre des constituants.
- Les conditions thermo hygrométrique ambiantes de conservation.
- Rapport E/C;

### I.3.3.1. Résistance à la compression [10]

Est la propriété la plus utilisée dans le dimensionnement et la conception des ouvrages en mortier. Le mortier est caractérisé par la résistance à la compression **fc28**. Mesurée sur des éprouvettes écrasées à 28 jours.

## I.3.3.2. Résistance à la traction [10]

Elle est moins étudiée que la résistance en compression car le mortier est conçu essentiellement pour résister à la compression et son comportement en traction est quasi fragile le comportement en traction du mortier peut être identifié par l'essai de flexion sur trois points désignée par  $ft_{28}$ .

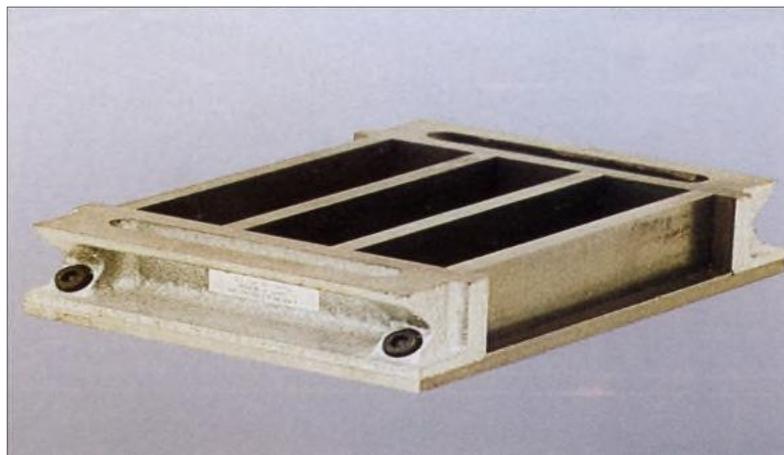
## I.3.3.3. Déformations volumétriques au jeune âge [11]

Le volume commence à varier peu de temps après sa mise en place. Les variations volumétriques au jeune âge, durant les premières 24 heures, peuvent influencer les changements volumétriques (comme le retrait de séchage) et la fissuration du béton durci, particulièrement dans le cas des bétons ayant un faible rapport eau/liants.

Les différentes formes de changements volumétriques au jeune âge sont les suivantes :

### ➤ Le retrait :

Le retrait du béton est à l'origine d'une fissuration qui peut être importante. On entend par retrait les déformations d'origine thermique ou hydrique du béton. Les retrait sont 2 à 3 fois plus faible que celui de pâte pure, ils se mesurent sur des prismes  $4 \times 4 \times 16$  Cm en mortier  $1/3$ , munis de plots à leurs extrémités et conservés, après démoulage, dans une enceinte à  $20^{\circ}\text{C}$  et à  $90\%$  d'humidité relative.

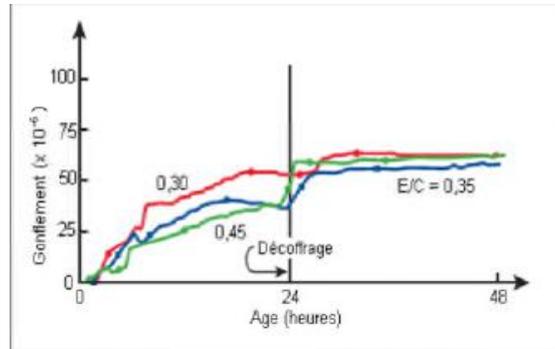


**Figure I.7.** Moule des prismes  $4 \times 4 \times 16$  cm<sup>3</sup>.

### ➤ Le gonflement :

Le mortier et la pâte de ciment gonflent en présence d'eau externe. Le volume de la masse de béton augmente lorsque l'eau externe est aspirée dans la porosité capillaire pour y occuper les espaces vides créés par le retrait chimique.

Le gonflement résulte des effets de la croissance cristalline, de l'absorption d'eau et de la pression osmotique. Ce gonflement au jeune âge est relativement faible, soit environ  $50 \times 10^{-6}$  lorsque le mortier n'est plus en contact avec de l'eau externe, le gonflement s'arrête et les retraits endogènes et de séchage engendrent une contraction du béton.



**Figure I.8.** Gonflement au jeune âge d'un échantillon de mortier mûri dans l'eau [11]

### I.3.3.4. Autres qualités recherchées d'un mortier :

Pour les mortiers traditionnels réalisés sur chantier, les performances requises sont réputées satisfaites moyennant le respect des dosages en liants donnés dans le DTR Maçonnerie ou dans le DTU 20.1 ; quant aux mortiers industriels, ils font l'objet des spécifications de fabrication précises. Les principales caractéristiques visées sont les suivantes :

- Maniabilité
- Déformabilité :
- Adhérence
- Prise ;
- Retrait et gonflement.

Les caractéristiques essentielles du produit utilisé sont les suivantes :

- Sur la poudre : masse volumique, granulométrie ;
- Sur la pâte : rétention d'eau, durée pratique d'utilisation, temps ouvert, temps d'ajustage, temps de prise ;
- La quantité d'eau à utiliser est fonction du dosage et de la finesse de la granulométrie du sable
- Sur le produit durci : résistance en compression, résistance en traction par flexion, module d'élasticité, variations dimensionnelles et pondérales.

Les mortiers d'enduit doivent avoir une bonne adhérence à la base et une faible variation de volume pendant le durcissement afin d'éviter la formation des fissures dans l'enduit. La fluidité des mortiers d'enduits ordinaires et des mortiers décoratifs est différente pour chaque couche de l'enduit.

Pour les couches de finition on utilise les sables fins d'un diamètre inférieur à 1.2 mm pour obtenir une surface rugueuse.

### **I.3.4. Domaine d'utilisation des mortiers :**

En général, les variétés de mortier sont liées directement par son domaine d'application qui est très vaste, une typologie des mortiers à partir de son utilisation permet de citer les catégories suivantes :

- Mortier de pose
- Mortier pour les crépis
- Pierres artificielles
- Support pour les peintures murales
- Mortier d'injection
- Mortier pour la mosaïque
- Mortier de réparation
- Mortier fibré.

### **I.4. Généralité sur les fibres :**

Les fibres sont des matériaux fins et allongés, sont utilisés pour fabriquer des tissus, des cordes, des papiers, des matériaux composites et d'autres produits. Les fibres peuvent être naturelles, artificielles ou synthétique et ont des propriétés physiques et chimiques différentes en fonction de leur composition et leur structure.

L'utilisation des fibres dans la construction remonte à plusieurs siècles, les fibres naturelles sont produites pour des applications en tant que renfort dans le domaine de Génie Civil. L'intérêt pour leur utilisation ne cesse de se croître pour la fabrication du béton prêt à l'emploi, les fibres peuvent exister sous différents types et formes.

#### **I.4.1. choix du type [12]**

Il existe différents types de fibres dont les caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques diffèrent selon leurs natures ou leurs géométries. Les fibres sont couramment utilisées pour les

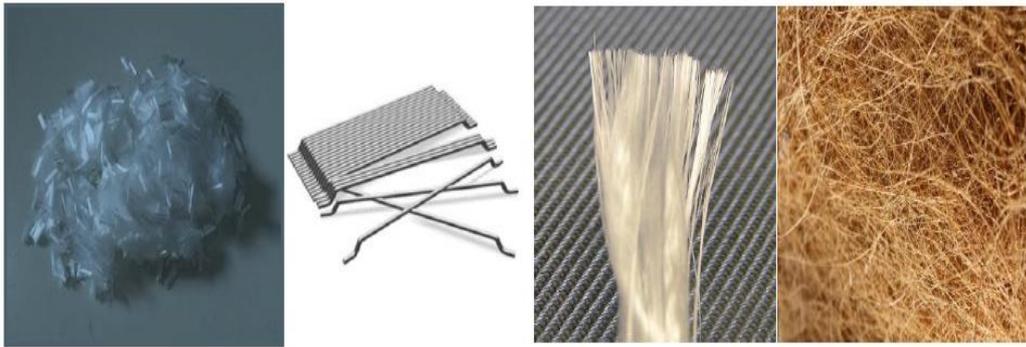
fabrications de béton et mortiers, sont généralement métallique, synthétique, de verre ou naturelle, ils présentent des avantages et des inconvénients, certains sont effectués par des dégradations chimiques dans les matériaux cimentaires ou présentent un mauvais comportement dans les milieux alcalins.

#### I.4.2. Les différents types de fibres [13]

Les différentes fibres actuellement disponibles peuvent être classées selon leur origine en trois grandes familles selon le tableau suivant :

**Tableau I.2.** Différents types de fibres [13]

Familles de fibres	Matériaux	Caractéristiques
Fibres métallique	Acier, fonte, inox, cuivre	-Bonne résistance à la flexion, à la traction et à la rupture. -Réduction de la dimension des fissures.
Fibres organique	Acrylique, aramide, carbone, kevlar, polypropylène.	-Réduction de fissuration au jeune âge (retraits plastique). -Fibres souples, ce qui améliore leur ouvrabilité. -Peu résistance aux températures élevées (140-170°C maximum).
Fibre minérale	Basalte, mica, verre, Wollaston	-Excellente tenue au feu (800°C maximum). Bonne isolation thermique. -Permet la fabrication de parois très minces.



**Figure I.9.** Différents types des fibres

### I.4.2.1. Fibres métalliques [14]

Les fibres métalliques sont des fibres fabriqués à partir de métaux ou d'alliages métalliques, sont souvent utilisé comme matériau de renforcement dans les composites de polymères matériaux de construction et les produits d'isolation.

Les fibres métalliques sont appréciées pour leur résistance, leur durabilité et leur conductivité électrique et thermique. Les métaux utilisés pour fabriquer les fibres métalliques comprennent l'aluminium, le cuivre, l'acier inoxydable et le titane.

La fibre métallique est parmi les fibres les plus commercialisées vendues, et bien sûr disponibles sous des formes et dimensions les plus variées.



**Figure I.10.** Différents types de fibres métalliques

➤ **Quelques types de fibres couramment usitées :**

**Tableau I.3.** Caractéristiques des fibres couramment utilisées [15]

Type de fibre	Forme/ géométrie	Matière constituante	R <sub>t</sub> X10 <sup>2</sup> [MPa]	E X10 <sup>5</sup> [MPa]	L [mm]	l [mm]	D [mm]	e [mm]
Bekaert Dramix ZC50/50		Fil d'acier étiré à froid	11	2	50	.....	0,5	.....
Eurosteel 50/80 60/100		Acier tréfilé à moins de 0.15% C	14	2	50 60		0,8 à 1	....
Twincon E à 2 têtes		Acier tréfilé	12	2	54	.....	1	.....
Pont à Mousson		Fonte amorphe à 5% de Cr	20	1,4	60	1,5 à 2	.....	0,03
Harex		Obtenues par le fraisage de blocs d'acier.	7	2	32	2	.....	0,25

\*R<sub>t</sub> : résistance à la traction du matériau de la fibre, \*E : module d'élasticité à la traction du matériau de la fibre, \*L : Longueur, \*l : Largeur, \*D : Diamètre, \*e : Epaisseur.

Les fibres d'acier sont sans doute les plus utilisées dans le domaine de génie civil. Ces fibres sont obtenues à partir de fils d'acier tréfilés. Elle présente en général des crochets aux extrémités afin d'améliorer leur ancrage dans le béton. Elles sont utilisées pour améliorer le comportement mécanique d'un béton de structure.



**Figure I.11.** Fibre métallique à crochet

## ➤ Rôle des fibres métalliques dans le mortier :

- Diminution de la fissuration ;
- Augmentation de la ductilité ;
- Augmentation de la résistance à la fatigue de l'ouvrage ;

### I.4.2.2. Fibres naturelles végétales :

Les fibres végétales sont utilisées depuis de nombreux siècles dans plusieurs domaines tels que la papeterie et le textile. Récemment, une attention croissante est portée aux fibres naturelles pour les utiliser comme renforts de matrices polymères [16]. Ces matériaux à base de fibres végétales sont de plus en plus utilisés dans des domaines de pointe tels que l'aéronautique, l'automobile, les équipements industriels et l'électronique [17]. L'origine des fibres naturelles est le principal critère de classification : végétale, animale et minérale.

Pour les fibres végétales, on peut trouver principalement deux types :

- Les fibres ligno-cellulosiques issues du bois qui se trouvent généralement sous deux formes : résineux ou feuillus ;
- les fibres agricoles qui peuvent être de feuilles, de graines, de fruits ou des tiges.

Les premiers travaux de recherche sur les composites renforcés par fibres naturelles utilisaient des matrices thermosensibles. Les matrices les plus employées sont les polyesters, les vinyles esters et les résines époxy. Ces dernières matrices époxy sont largement les plus présentes parmi les publications, en raison de leurs très hautes propriétés mécaniques et résistance aux dégradations environnementales.

Les sources des fibres végétales présentent des granulométries variables : fibres longues, fibres courtes, particules et farines



Figure I.12. Fibre végétale

## ➤ Structure et composition des fibres naturelles :

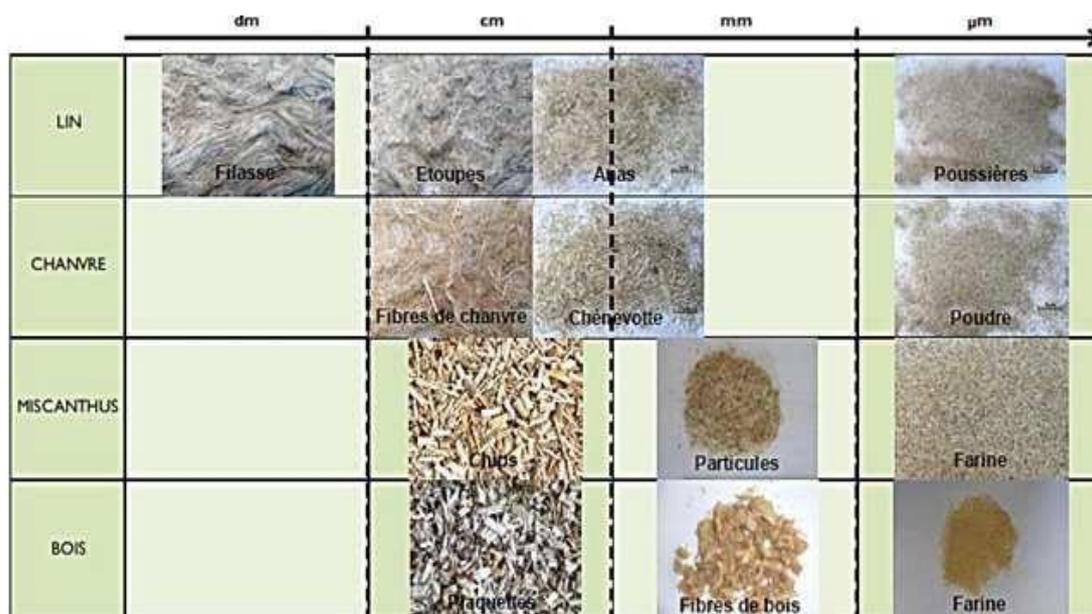
Les principaux constituants des fibres naturelles sont : la cellulose, les hémicelluloses et les lignines. Elles comprennent aussi des protéines, des extractibles et certains composés inorganiques en pourcentage limité [16].

Chacune des fibres a la forme d'un bio-composite multicouche dans lequel la cellulose est l'élément structurant rigide enrobé par la lignine qui se comporte comme la matrice

En règle générale, l'augmentation de la teneur en cellulose entraîne une croissance de la résistance à la traction et du module d'Young des fibres.

**Tableau I.4.** Composition massique typique de quelques fibres naturelles [18].

Fibres	Cellulose (%)	Lignine (%)	Hémicellulose (%)	Pectine (%)	cendres (%)
Lin	71	2.5	18.6	1.3	1.5
Cotton	87.5	1	6	5	70.6
Jute	74.2	12.5	16	0	20.5
Chanvre	80	10	18.5	0.9	0.8
Ramie	72.4	0.65	14.5	1.9	0.3
Noix de coco	39	42.5	0.2	4	-
Sisal	66	10	12	1.4	2



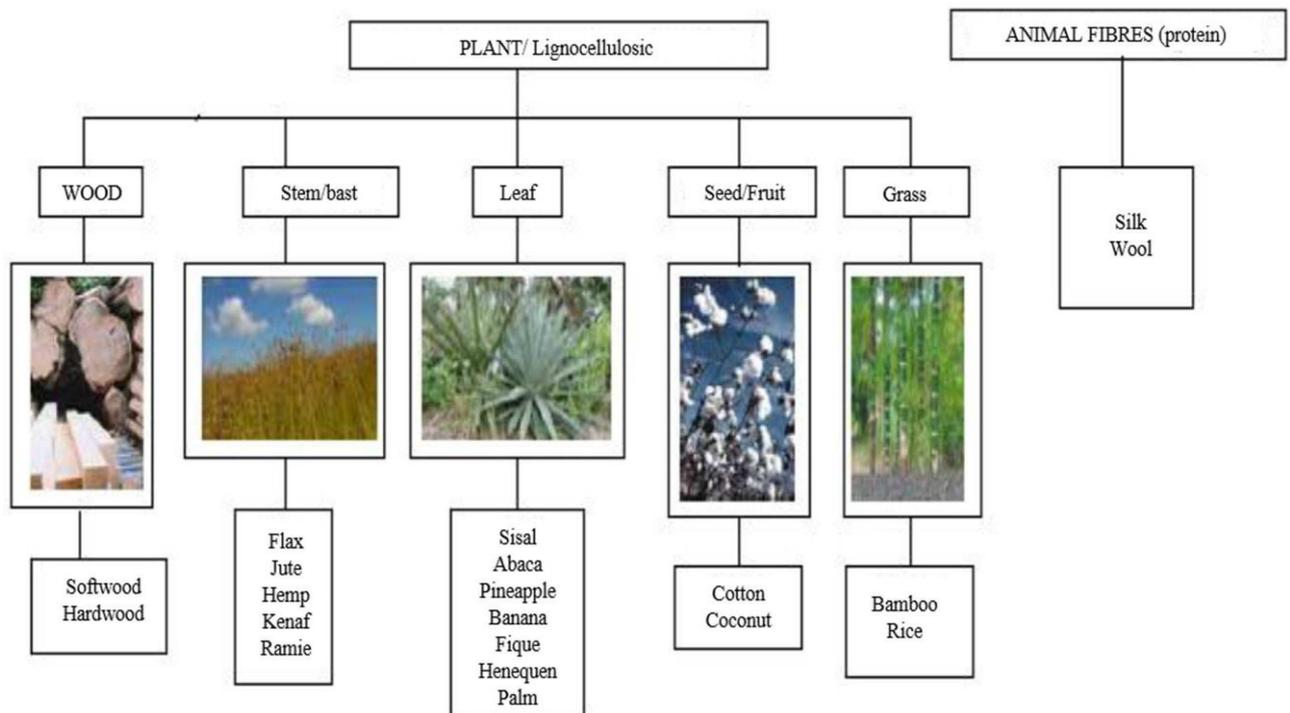
**Figure I.13.** Diversité de l'offre de fractions végétales [19].

➤ **Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres végétales [20]**

Généralement une fibre végétale est caractérisée physiquement par son diamètre, sa densité et son teneur en eau et son pourcentage d'absorption d'eau. Et elle est caractérisée mécaniquement par sa résistance à la traction, son élongation à la rupture et son module d'élasticité.

Les propriétés mécaniques des composites naturels sont influencées par la proportion de fibres, la nature des fibres courtes/unidirectionnelles/type de tissage ainsi que la mise en forme.

La résistance à la contrainte des composites naturels augmente avec le pourcentage volumique de fibres jusqu'à un maximum pour un taux massique de fibres de 50-70%. Les propriétés mécaniques des matériaux composites renforcés de fibres sont intimement liées aux propriétés de l'interface fibre/matrice polymère. Le caractère hydrophile des fibres naturelles conduit à une absorption importante et peut affecter l'interface avec la matrice polymère hydrophobe par gonflement différentiel et conduire à un vieillissement prématuré.



**Figure I.14.** Classification des fibres naturelles [21].

### I.4.2.3. Fibre de polypropylène :

Les fibres de polypropylène sont des matériaux composites consistant en fibres continues ou discontinues de polypropylène assemblées dans une matrice plastique.

Les fibres de polypropylènes sont résistantes, durables et léger, elles présentent aussi une résistance accrue à la fissuration et à l'écaillage. Les fibres de polypropylène aident également à réduire la formation de fissures dues aux changements de la température et d'humidité.



**Figure I.15.** Fibre de polypropylène

#### ➤ **Les propriétés des fibres de polypropylène : [20]**

Les fibres polypropylènes sont intéressantes pour les pièces à démoulage immédiate (meilleur comportement au jeune âge). Elles améliorent l'aspect et la précision des angles, des tranches ou des arêtes des pièces moulées. Elles permettent de réaliser des parements esthétiques, avec des motifs très précis, et sont utilisées aussi pour la formulation des bétons projetée ou des mortiers de réparation.

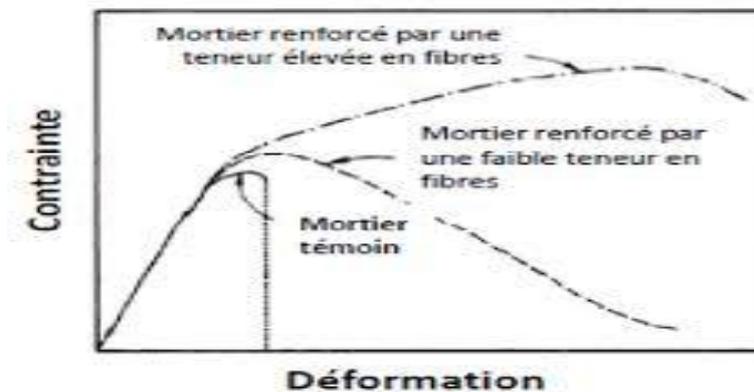
#### ➤ **Les avantages de l'utilisation des fibres de polypropylène en renforcement :**

- Réduction de la fissuration ;
- Une amélioration de la résistance à l'usure et à l'impact ;
- Elles assurent la sécurité des travaux ;
- Ils ont une haute résistance à la traction ; système alternatif de renforcement des mailles : moins cher, plus rapide et plus facile à utiliser ;
- Augmentation de la durabilité et une amélioration de la résistance aux produits chimique.

#### ➤ **domaine d'utilisation :**

Les fibres de polypropylènes sont utilisées dans les applications suivant :

- Mortiers spéciaux :
- Préfabriqués en mortier ;
- mortier haute résistance ;
- Les revêtements de sol ;
- **II.3. Avantage de fibre :**
- Réduction de la fissuration ;
- Réduisent le fluage, c'est-à-dire la déformation du mortier avec le temps sous une contrainte constante ;
- Le retrait de fibre peut être diminué de 35% ou moins si l'on a ajouté 1,5% de fibre par volume.



**Figure I. 16.** Confrontation des courbe contrainte déformation entre mortier témoin et mortier fibré

**Tableau I.5.** Propriétés physiques et mécaniques de certaines fibres

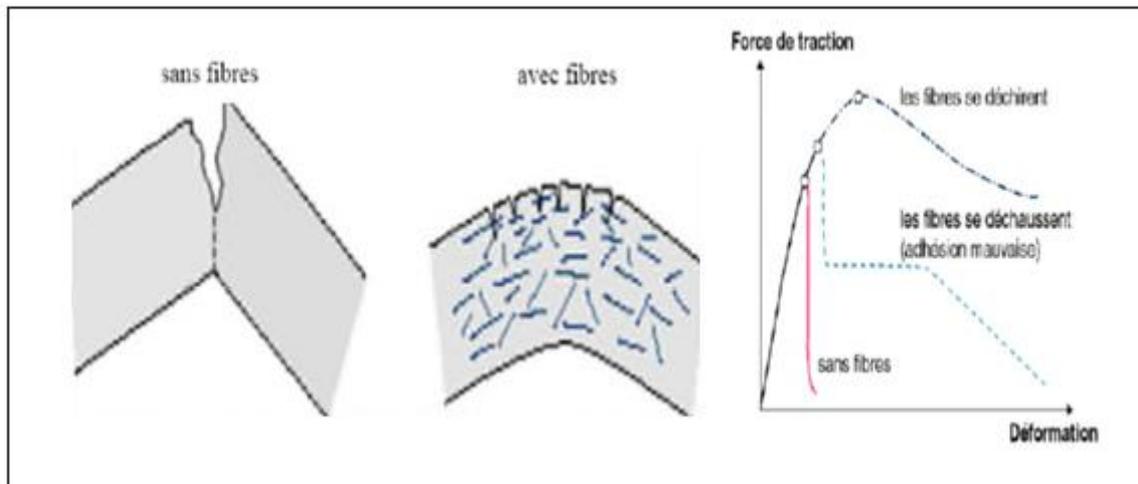
Fibre	Diamètre (mm)	Densité	Allongement de rupture (%)	Module d'élasticité (GPA)	Résistance en traction (GPA)
Acier	5-500	7.8	03	200	01
Verre	15	2.6	2-3.5	80	02
Polypropylène	7.5	0.9	20.0	5	0.5

**I.4.4. Rôle des fibres :**

Les fibres ajoutées au mortier peuvent être en acier, en verre ou en polypropylène, les fibres ont généralement pour rôle de renforcer la structure et améliorer la résistance globale. Selon le type, le dosage et les éléments en béton dans lesquels elles sont insérées.

Les fibres permettent : L'augmentation de la ductilité et le comportement post-fissuration.

- La réduction de la microfissuration due aux variations dimensionnelles notamment au jeune âge.
- la réduction de la fissuration d'origine mécanique (chargement extérieur).
- l'augmentation de la résistance à la traction par flexion.



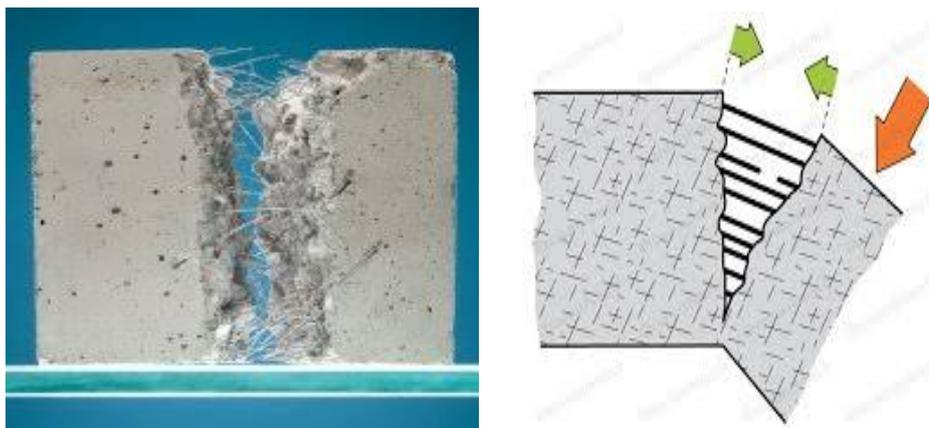
**Figure I.17:** Illustration de l'apport du renfort par des fibres [22].

En réalité, les fibres ont des effets sur les performances mécaniques des matrices cimentaires dans tous les modes de rupture.

## I.5. Elaboration de mortier renforcé par des fibres métalliques :

### I.5.1 Définition :

Le mortier renforcé de fibres métalliques est un matériau composite, renforcé avec des fibres qui peut être utilisé en tant qu'enduit extérieur et intérieur, mortier de montage de brique, ou réalisation gobetis. Ces fibres sont réparties de manière homogène dans le mortier et permettent de lui conférer des propriétés particulières propres à leur nature et à leur caractéristique mécanique.



**Figure I.18 : Mortier fibré**

**I.5.2. Avantage et inconvénients du mortier fibré :**

Les avantages et inconvénients des mortiers à base de fibres métalliques sont énumérés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau I.6.** Avantages et inconvénients des fibres

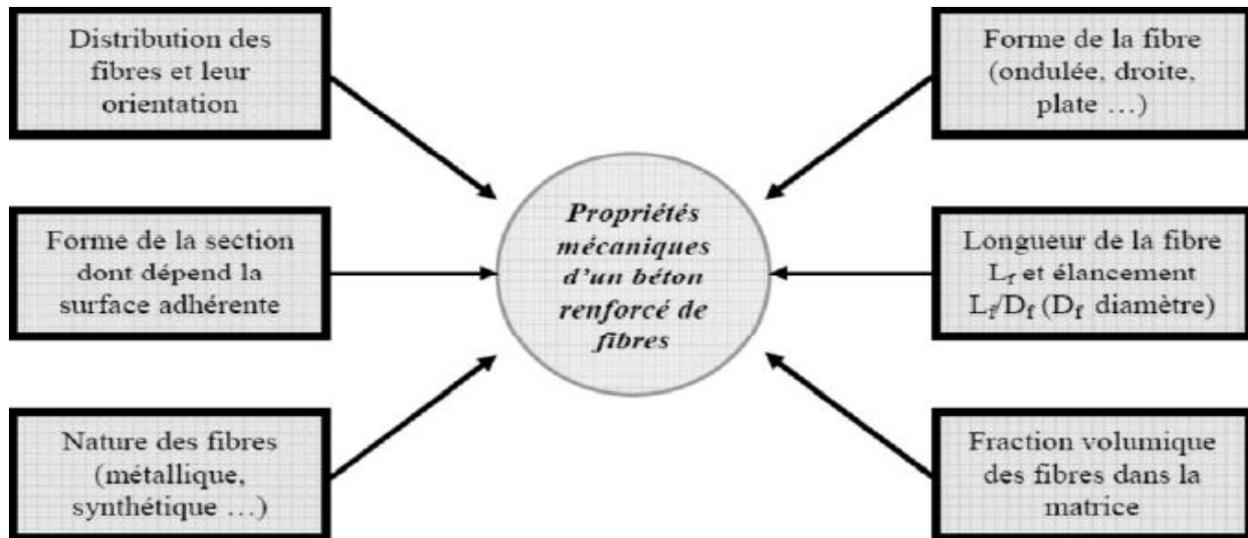
Avantage	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- plus léger ;</li> <li>- plus durable ;</li> <li>-remplacement total ou partiel des armatures traditionnelles passives (fibres métalliques)</li> <li>- diminution du risque de fissuration</li> <li>- résistance au feu, à l'abrasion, à la traction et à la flexion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- il est plus cher</li> <li>- l'incorporation de fibres diminue l'ouvrabilité du mortier, l'ajout de super plastifiant est alors recommandé.</li> <li>- il est interdit d'utiliser des fibres structurales en zone de risque sismique modéré et plus.</li> </ul>

**I.5.3. la formulation du mortier à base des fibres métalliques :**

Cette étude présente, en premier lieu la formulation d'un mortier témoin optimisé sans fibre métallique. En deuxième lieu, nous avons étudié l'influence des fibres sur le mortier. Une amélioration de ces caractéristiques mécaniques a été observée. Les dimensions des fibres sont parues importantes.

L'emploi des fibres métalliques de petits diamètres augmente la résistance du mortier, dans le temps, l'apparition des fissures par comparaison aux observations sur l'utilisation des fibres de grands diamètres.

L'emploi des fibres métalliques longues et de petits diamètres améliore en plus la ductilité du mortier. L'augmentation du pourcentage des fibres métalliques incorporés dans un mètre cube de mortier améliore nettement les caractéristiques mécaniques.



**Figure I.19 :** Les facteurs influant sur le comportement d'un béton renforcé de fibres.

#### I.5.4. Influence des caractéristiques et dosages des fibres :

Il existe différents types de fibres dont les caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques diffèrent selon leurs natures ou leurs géométries.

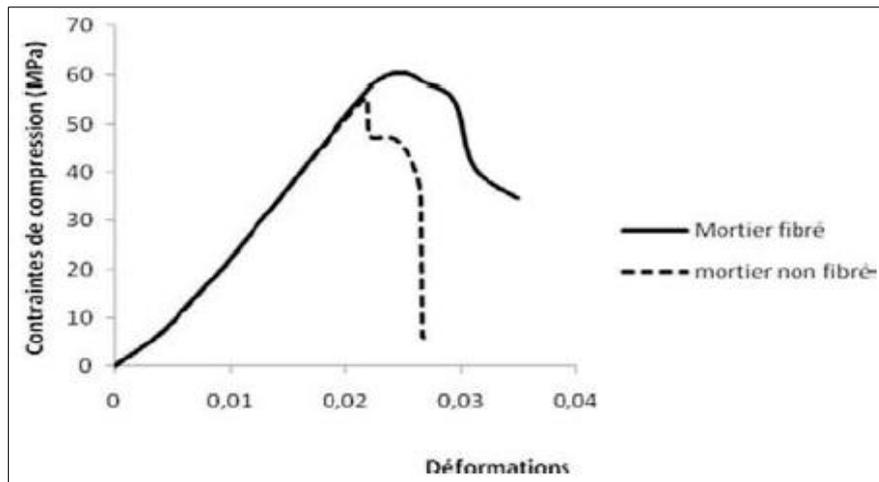
##### I.5.4.1. Influence du pourcentage sur la résistance à la compression :

La figure montre que les fibres n'apportent pas d'amélioration appréciable en compression et que la résistance n'est que légèrement affectée comme l'ont montré un certain nombre d'études, **Balaguri 1994 [23], Rossi, 1996 [24]**.

D'autres auteurs sont en désaccord et parlent soit d'une augmentation de 15 à 20 % ou quelques fois d'une légère diminution, **Gopalaratnam et al, 1985 [25]**.

Les fibres ne jouent un rôle significatif qu'après la rupture de la matrice cimentaire ; l'énergie dissipée, caractérisée par l'aire sous la courbe, est très nettement augmentée.

Il est important de remarquer que le module d'élasticité reste pratiquement inchangé.



**Figure I.20.** Courbes contraintes-déformations en compression de mortiers de références et mortiers fibrés [23]

**Gopalaratnan et al. [26]** Observent dans leurs résultats statiques en compression, que la présence de fibres d'acier dans la matrice augmente la résistance à la rupture de 35 % pour 1.5 % de volume de fibres, De même **Damgir et al. [27]**. Ont trouvé dans leurs résultats que la résistance à la compression augmente lorsque le volume de fibres augmente, cette amélioration atteint 21.20 % à 28 jours pour un dosage de 2% de fibres, après des essais sur mortier trouve que la résistance diminue pour un dosage en fibres supérieur à 1.25%.

#### I.5.4.2. Influence des fibres sur la résistance à la flexion :

L'ajout des fibres dans le mortier a des conséquences plus marquées sur la résistance en traction. Ils ont remarqué que, avec l'addition de 0,5% de fibres d'acier, la résistance à la flexion augmente de 25% par rapport à celle du mortier non renforcé.

Les résultats font également apparaître un comportement ductile du mortier fibré.

La présence de fibres ductiles dans la matrice modifie considérablement le comportement fragile en limitant le phénomène de propagation rapide et instable de la rupture.

Leur présence rend non seulement la propagation de la fissure plus lente et progressive avec l'accroissement de la charge, mais autorise un transfert de contrainte à travers les lèvres.

Ceci permet au composite d'avoir une résistance post fissuration et de supporter des déformations beaucoup plus grandes que la matrice seule.

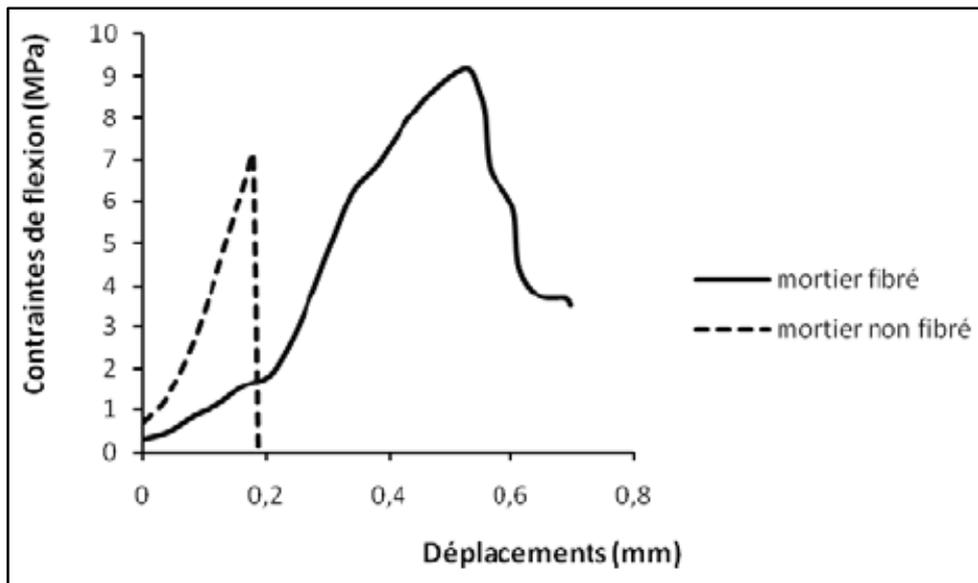


Figure I.21. Courbes contraintes-déformations de flexion des mortiers de référence et mortiers fibré [32]

I.5.4.3. Influence des fibres métalliques sur le retrait :

Le phénomène de retrait engendre des contraintes significatives qui peuvent donc conduire à la fissuration. Mais de nos jours une nouvelle technique peut être appliquée pour tenter de remédier à cet aspect négatif, cela consiste à l'ajout des fibres métalliques au sein de la matrice, ces derniers pouvant participer d'une manière positive dans la réduction du retrait. **Beddar et al**, constate, d'après ses études, que les fibres métalliques diminuent le retrait. Cette diminution est de l'ordre de 16 % par rapport à un mortier sans fibres à 28 jours, pour une proportion de 0.5 % de volume de fibres. [28]

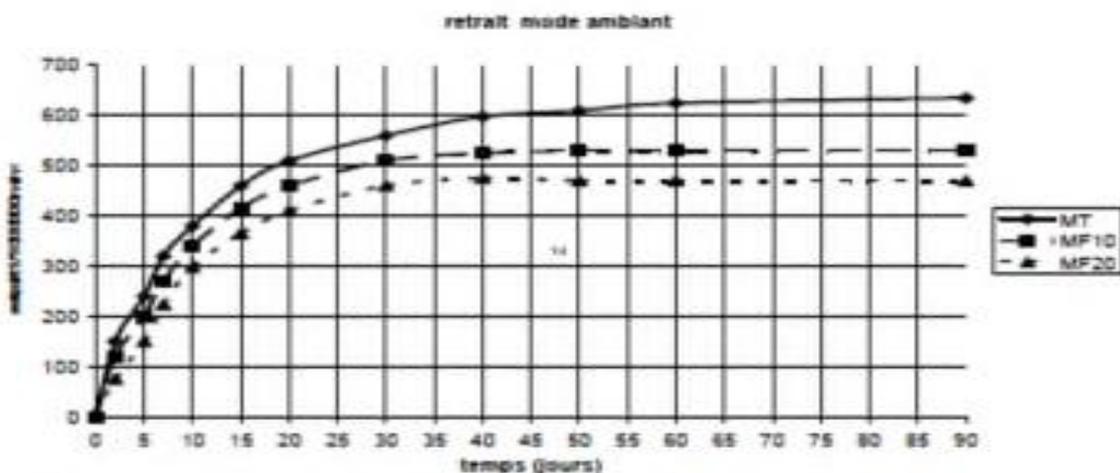


Figure I.22 : Influence du % sur le retrait avec fibres industrielles [28]

**I.5.4.4. Le rapport longueur/diamètre de la fibre métallique de la matrice cimentaire :**

Des études expérimentales antérieures, réalisées par **Snyder et Lankard (1972) [29]**, **Swamy et Mangat (1974) [30]**, **Hughes et Fattuhi (1976) [31]** ont montré que le rapport longueur/diamètre des fibres joue un rôle central dans la maniabilité d'une matrice cimentaire.

Si on raisonne à longueur de fibre et pour un même dosage plus la fibre aura un diamètre petit plus la surface spécifique de la fibre sera importante, et plus le nombre de fibre sera grand. La surface spécifique plus grand conduit à des frottements plus importants entre la fibre et la matrice, alors que le plus nombre de fibres conduit à une probabilité plus élevée de contacts entre fibres. Ces deux facteurs expliquent parfaitement la perte de maniabilité observée lorsque le rapport longueur/diamètre de la fibre augmente.

Si on raisonne à rapport longueur/diamètre de fibre donné et pour un dosage donné, plus le diamètre de la fibre est petit plus la fibre doit être courte et inversement.

Dans ce cas si on se réfère au raisonnement précédent, on aboutit à la conclusion que plus la fibre est courte, plus elle perturbe la matrice du point de vue rhéologique, et donc moins bonne est la maniabilité, ce qui constitue un résultat inverse de la réalité expérimentale, car il est connu que pour rapport  $L/d$ , une fibre courte conduit à une meilleure maniabilité qu'une fibre longue.

Dans notre étude on n'a utilisé des fibres métalliques crochets, Leurs extrémités recourbées développent un ancrage et dissipent une énergie de fissuration par plastification de la fibre et par frottement à l'interface avec la matrice. L'avantage de ces fibres est qu'elles développent un ancrage supplémentaire en plus de l'adhérence avec la matrice les rendant plus efficaces que les fibres droites. L'utilisation des fibres de forme recourbé et avec un rapport longueur/diamètre élevée a changé énormément le mécanisme d'endommagement et à augmenter les forces relatives à la charge ultime.

Le renforcement par des fibres métallique a pour objectif d'améliorer la résistance et la durabilité des matériaux de construction telle que le béton et le mortier. Les fibres métalliques sont ajoutées pour renforcer la structure du matériau et pour empêcher les fissures de se propager, les fibres peuvent améliorer la résistance à la compression, à la traction, et à la flexion du matériau peuvent aussi à prévenir les fissure et les dommages causés par les vibrations ou les chocs. Cela permet d'augmenter la capacité de charge et la durabilité des structures en béton ou en mortier.

Un travail très important a été fait par plusieurs chercheurs sur le comportement des bétons de fibres et après des essais de flexion et de compression, trouve que l'ajout de 1% et 2% de fibres métalliques dans un mortier normal peut avoir des effets différents sur les propriétés du mortier.

L'ajout de 1% de fibre améliore la résistance à la compression et à la traction et l'ajout de 2% donne une plus grande amélioration de la résistance à la compression et de la résistance aux chocs que l'ajout de 1% cela peut également réduire davantage la résistance à la flexion et la ductilité du mortier et aussi les fibres diminuent le retrait, cette diminution est de l'ordre de 16 % par rapport au témoin pour le dosage de 1% de fibres, et de 27% pour le dosage de 2%.

On constate que l'ajout de 1% de fibre est suffisant pour améliorer la résistance du mortier dans la plupart des cas car l'ajout de 2% peut rendre le mortier plus difficile à travailler et augmenter sa viscosité ce qui peut rendre le mélange plus difficile à appliquer.

L'emploi des déchets métalliques de petits diamètres augmente la résistance du mortier, dans le temps, l'apparition des fissures par comparaison aux observations sur l'utilisation des fibres métalliques de grands diamètres. L'emploi des fibres métalliques longues et de petits diamètres améliore en plus la ductilité du mortier.

La géométrie des fibres ainsi que le dosage de ces dernières jouent un rôle important sur le comportement mécanique mais aussi sur la maniabilité du mélange.

Les fibres de 0.6cm peuvent aider à améliorer la résistance du mortier mais les fibres de 0.8cm et 1cm peuvent offrir une résistance encore mieux.

Les fibre courte de 0.6cm et 0.8cm réduire les fissure et améliore la résistance à la traction, tandis que les fibres longues plus de 1cm augmentent la résistance à la flexion et à la compression.

Alors on constate que les fibres de 0.8 cm offrir un bon équilibre entre résistance à la flexion et à la compression du mortier.

Le rapport eau/ciment optimal dépend du type de ciment utilisé et des conditions spécifique de l'application.

Un rapport  $E/C=0.55$  est plus élevé cela signifie qu'il y a plus d'eau dans le mélange ce qui rendre le mélange plus facile à travailler mais aussi plus faible et moins résistant par contre le rapport  $E/C=0.45$  est plus faible ce qui signifie qu'il y'a moins d'eau dans le mélange ce qui peut rendre le mortier plus dur à travailler mais aussi plus résistant et plus durable.

Alors on constate que le rapport  $E/C=0.5$  est considéré comme un bon choix pour la qualité du mortier car il offre un bon équilibre entre résistance et maniabilité.

### **Conclusion :**

Cette étude bibliographique nous a permis de comprendre l'importation des matériaux composites et mortier dans l'industrie de la construction, nous avons examiné les avantages et les inconvénients de ces matériaux ainsi que l'influence des fibres sur leurs résistances. Et on conclut que les matériaux composites et mortiers sont des choix de plus en plus populaires pour la construction de bâtiment on raisonne de leur légèreté, de leurs résistance et de leurs durabilité.

*Chapitre II*  
*Matériaux et méthodes*

**II. Matériaux et Méthodes****II.1. Introduction :**

Dans cette partie, on s'intéresse à la présentation des matériaux et des méthodes utilisées pour réaliser les différents essais expérimentaux de la recherche. Tous les essais sur les mortiers, ainsi que les méthodes de contrôle ont été effectués suivant les normes Européennes et Algériennes en vigueur.

**II.2. Matériaux utilisés [39].**

Le mortier est un mélange de sable, ciment, eau et éventuellement d'adjuvants. De multiples compositions de mortier peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liants (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables ; le choix de leur nature et de leur dosage est en fonction de l'utilisation envisagée du mortier.

Le mortier normal est un mortier qui sert à définir certaines caractéristiques d'un ciment et notamment sa résistance. Ce mortier est réalisé conformément à la norme **NF EN 196-1 [34]**. La norme décrit le sable utilisé pour les essais ainsi que le malaxeur.

La méthode de composition du mortier classique utilisée est celle donnée par la norme **EN-196-1**. Sa composition massique est comme suit :

- 03 Parties de sable.
- 01 Partie de ciment.
- Partie d'eau.

Dans cette étude expérimentale on utilise deux types de mortier :

- Mortier témoin : (ciment + sable + l'eau)
- Mortier à base de fibres métalliques : (ciment + sable + l'eau + les fibres métalliques).

**II.2.1. ciment :**

Le ciment est un liant hydraulique, Il se présente sous l'aspect d'une poudre très fine qui, mélangée avec de l'eau, forme une pâte faisant prise et durcissant progressivement dans le temps, c'est le constituant fondamental du mortier puisque c'est lui qui assure la cohésion des différents constituants.

Dans notre étude expérimentale le ciment utilisé est un ciment normalisé gris de type **CPJ CEM II/A -R 42,5** de Ain El 'Kbira, ce ciment convient pour la fabrication des mortiers et tous travaux de béton armé.



**Figure II.1.** Ciment utilisé pour la confection des mortiers

### II.2.1.1. Caractéristiques du ciment utilisé :

Le choix du CPJ 42.5 s'explique facilement par le fait qu'il s'agit du seul ciment commun disponible localement. D'une manière générale, le choix du ciment dépend, en particulier, de la résistance souhaitée du béton, des exigences de mise en œuvre et de l'environnement de la structure.

Ce ciment se compose principalement entre 80 à 94% de clinker et d'autres constituants : laitier de haut fourneau de la cimenterie "AIN EL'KBIRA" (Wilaya de Sétif), fumée de silice (limitée à 10%), pouzzolane naturelle, cendres volantes et calcaire.

\*



**Figure II.2.** Photo du sac de ciment CPJ-CEM II/A 42.5 prise au laboratoire.

### II.2.1.2. Volume absolu du ciment :

$$V_c = \frac{m}{\gamma} = \frac{450}{3.1} = 145.16L$$

Avec ;  $m_c$  : Dosage en ciment (en masse)

$\gamma$  : Masse volumique du ciment

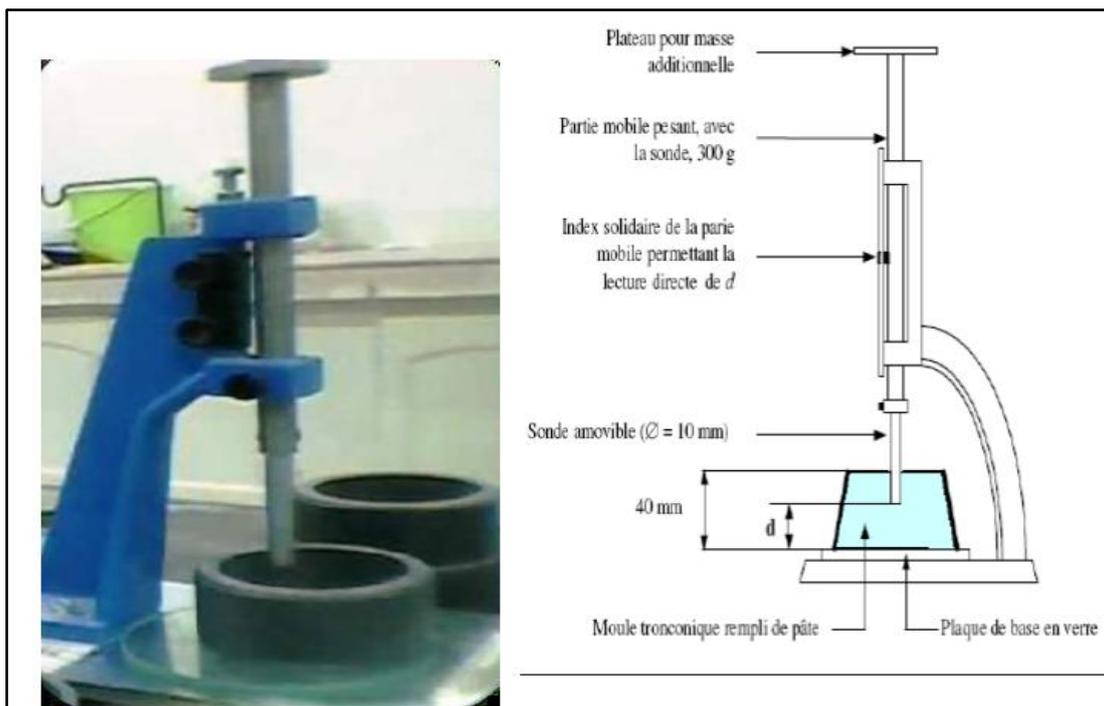
### II.2.1.3. Mesure des temps de début et fin de prise [35]

L'essai de prise du ciment est un essai en laboratoire qui consiste à déterminer le temps disponible pour la mise en œuvre in situ des pâtes de ciment.

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.

Les essais se font à l'aide de l'aiguille de Vicat qui donne deux repères pratiques :

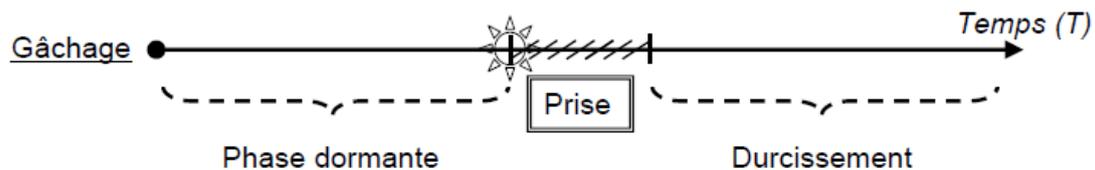
- Le début de prise correspond au moment où l'on constate une augmentation relativement brusque de la viscosité de la pâte avec échauffement, il correspond au moment où cette dernière ne s'enfonce plus complètement jusqu'au fond de la coupelle mais s'en arrête à  $4\text{mm} \pm 1\text{mm}$ .
- La fin de prise correspond au moment où la pâte est devenue un bloc rigide, sa détermination est faite sur la même coupelle que celle utilisée pour début de prise, la fin de prise correspond au moment où l'aiguille ne pénètre plus que de  $0.5\text{mm}$  dans la pâte



**Figure II.3.** Appareil Vicat

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.

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.



**II.2.1.4. Essai de consistance EN 196-3 [35] :**

**Matériel utilisé :**

- 1- Malaxeur normalisé : avec une cuve de 5 litres de contenance et d'une pale de malaxage pouvant tourner à 2 vitesses ;
- 2- Appareil de VICAT (du nom de l'ingénieur français).L'appareil est composé d'un moule tronconique (h=40 ; mm d1= 70 mm et d2= 80 mm) et d'une tige coulissante équipée à son extrémité d'une sonde de  $\Phi = 10$  mm ;
- 3- Balance ;
- 4- Chronomètre.

**Mode opératoire de l'essai :**

L'essai de prise se réalise selon les étapes suivantes : préparer 400g de ciment, une pâte pure de rapport E/C compris entre 0.3 à 0.5, verser l'eau dans la cuve du malaxeur contenant le ciment, mettre le malaxeur en marche et déclencher le chronomètre.

**Tableau II.1.** Mode opératoire de l'essai de consistance

Opération	Introduction du ciment	Introduction de l'eau	Mettre enroule	Raclage de la cuve	Mettre enroule
Durée des opérations	/	5 à 10 S	90 S	15 S	90 S
Etat du malaxeur	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.

**Tableau II.2.** Formulation des pâtes de ciment

E/C	Ciment (g)	Eau (g)
0.22	400	88
0.26	400	104
0.30	400	120

La sonde est amenée à la surface de l'échantillon et relâchée sans élan (sans vitesse). La sonde alors s'enfonce dans la pâte. Lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30 s d'attente), relever la distance **d** séparant l'extrémité de l'aiguille de la plaque de base.



**Figure II.4.** Essai de consistance du ciment utilisé

La pâte sera à consistance normale si  $d = 6\text{mm} \pm 1\text{mm}$  :

Si  $d > 7\text{mm}$  : il n'y a pas assez d'eau ;

Si  $d < 5\text{mm}$  : il y a trop d'eau.

Dans les 2 cas, il faut jeter la pâte, nettoyer et sécher le matériel et recommencer avec une nouvelle pâte.

#### **II.2.1.5. Essai de prise EN 196-3 [35] :**

Le but est de mesurer le temps de prise du liant hydraulique (ciment) à l'aide de l'appareil Vicat, autrement dit, le temps qu'il faut pour qu'il se solidifie. Pour cela, on mesurera l'enfoncement de l'aiguille dans le ciment, du temps de gâchage, et le temps de début et fin de prise

### Matériel utilisé :

C'est le même appareil qui est utilisé (dans les mêmes conditions) à l'exception de la sonde qui cisaille l'échantillon, le diamètre est beaucoup plus petit ( $\Phi = 1.13 \text{ mm}$ ).

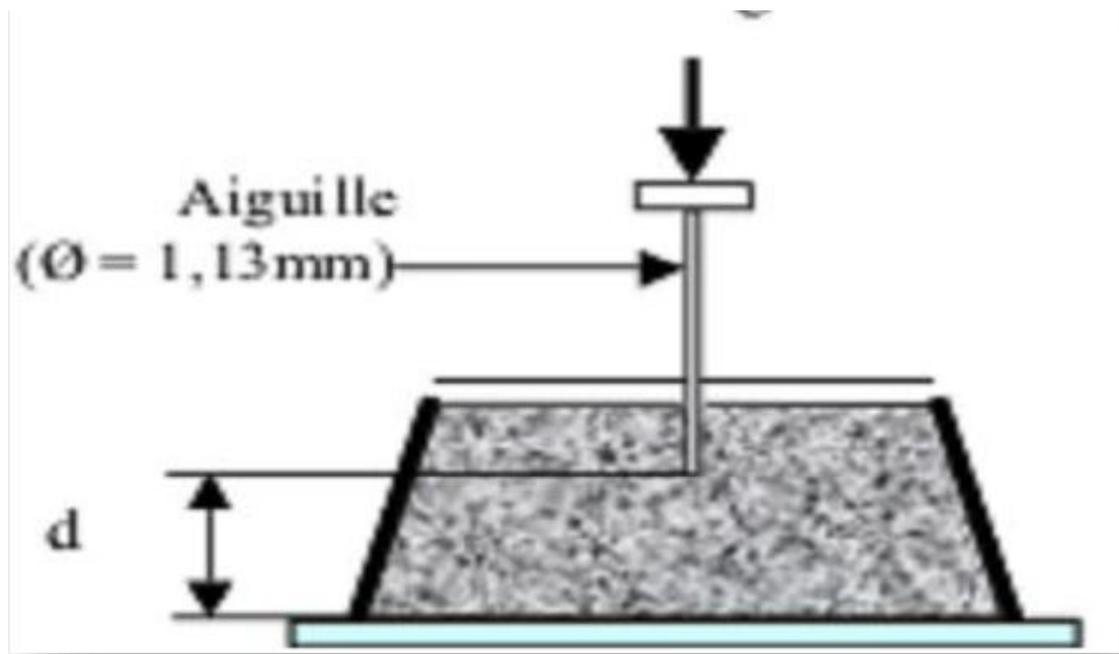


Figure II.5. Aiguille d'appareil de Vicat

### Mode opératoire :

Une fois la pâte à consistance normale obtenue, on procède au changement de la sonde de Vicat par l'aiguille de Vicat et on l'amène à la surface de l'échantillon et relâchée sans élan (sans vitesse). L'aiguille alors s'enfonce dans la pâte. Lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30s d'attente), relever la distance  $d$  séparant l'extrémité de l'aiguille de la plaque de base.

La durée de prise : elle est très changeable, de 10 minutes pour les liants à prise rapide jusqu'à 8 heures et au-delà pour les liants à prise très lente. La prise a toujours lieu avec dégagement de chaleur et diminution de volume ou retrait.

### II.2.2. Sable normalisé NF EN 196-1 [34] :

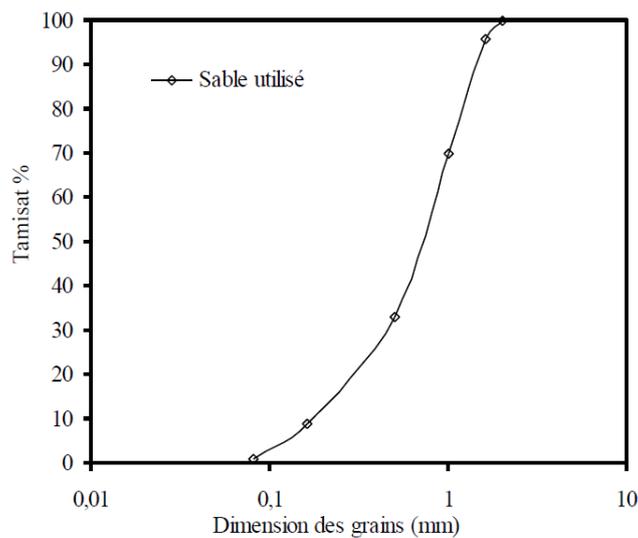
Dans ce travail on a utilisé un sable normalisé conforme aux exigences des normes EN 196-1 et ISO 679 :2009 qui est un sable naturel, siliceux notamment dans ses fractions les

plus fines. Ce sable est propre avec des grains généralement isométrique et arrondis. Il est sèche et criblé offrant ainsi toutes les garanties de qualité et de régularité. Il est contrôlé par laboratoire d'essai des matériaux de la ville de Paris (L.E.M.V.P) et confectionné dans des sacs en plastique de points de 1350g  $\pm$  5g.



**Figure II.6.** Photo du sac de sable normalisé selon la norme EN 196-1

La courbe granulométrique suivante donnant la répartition des différentes tailles des grains de ce sable.



**Figure II.7.** Courbe granulométrique du sable normalisé [34]

### II.2.3. L'eau de gâchage :

L'eau utilisée dans cette étude pour la préparation et l'élaboration des différentes formulations est l'eau potable du robinet de laboratoire de génie civil.

### II.2.4. Les fibres métalliques :

Dans cette étude, les fibres utilisées commercialisées. Elles sont fabriquées à partir de fil d'acier tréfilé à froid et comportent un ancrage mécanique constitué de crochets aux deux extrémités, elles sont destinées à remplacer le treillis anti fissuration et les armateurs périphérique éventuelles.



**Figure II.8.** Photo des fibres métalliques utilisées dans le mortier.

Le tableau suivant illustre le type des fibres utilisées et récapitule leurs caractéristiques.

**Tableau II.3.** Caractéristiques des fibres métalliques utilisées

forme	Longueur (cm)	Diamètre (mm)	Elancement (L/d)	Résistance à la traction (MPa)
	0.6	0.55	0.6/5.5	1100
	0.8		0.8/5.5	
	1		1/5.5	

### Masse volumique apparente :

Le premier essai sur les fibres métallique est de mesurer la masse volumique d'un échantillon. On a mesuré donc la masse volumique apparente.

-calcul la masse volumique :

**Tableau II.4.** Masse volumique apparente de fibre métallique utilisée

Longueur des fibres (cm)	0.6 cm	0.8 cm	1 cm
Masse volumique (kg / m <sup>3</sup> )	1250	1160	900

**II.3. Préparation des échantillons :**

Le rapport Eau/Ciment (E/C) de ces mélanges est très important, même s'il ne peut pas toujours être optimisé lors de la mise en œuvre du procédé de solidification. Il conditionne la qualité de la pâte et la porosité ouverte du matériau (volume des pores, taille et géométrie des pores, distribution poreuse) ainsi que le taux d'hydratation à 28 jours.

Notre étude consiste à étudier et optimiser les résistances à la traction par flexion, à la compression et la variation des retraits des différentes éprouvettes de mortier en fonction des paramètres d'entrées à citer, E/C, la longueur et le pourcentage des fibres.

**II.3.1. Matériel utilisé :**

1. des moules normalisés permettre de réaliser trois éprouvettes prismatique (4\*4\*16);
2. Un malaxeur avec récipient en acier inoxydable (cuve), batteur. Le malaxeur est pourvu de plusieurs vitesses : lente, moyenne, rapide ;
3. une balance ;
4. chronomètre ;
5. Appareil à choc ;
6. Règle à rasé ;
7. Machine d'essai de résistance à la flexion ;
8. Machine d'essai de résistance à la compression.

**II.3.2. Confection des mortiers fibrés :**

Pour la confection des composites à matrice cimentaire, les fibres sont ajoutée à la matrice à des concentrations de 1 et 2 % en masse.

Les moules utilisés dans cette étude sont de dimensions 4\*4\*16 cm<sup>3</sup> pour disposer d'un nombre suffisant d'éprouvettes et réaliser des essais normalisés (3 échantillons par essai).



**Figure II.9.** Moule d'utilisation pour la matrice cimentaire de dimension 4\*4\*16.

#### **II.4. Formulation des mortiers renforcés de fibres métalliques**

##### **II.4.1. Dosage et pesée des constituants EN 196-1 [34]**

Dans le but de connaître les effets des fibres métalliques sur les caractéristiques mécaniques et chimiques des mortiers. Et connaissant le dosage du ciment (450g) ; selon la norme **EN 196-1** pour un mortier normal, on peut déterminer le poids du ciment et celui des fibres métalliques aux différents pourcentages.

Dans le cas de la préparation de trois (03) éprouvettes (4x4x16) cm<sup>3</sup>, les quantités sont respectivement les suivantes :

##### **Pourcentage des fibres métalliques dans le mortier :**

Les fibres sont rajoutées en pourcentages (0% ,1%, 2%) celui de 0% est un mortier témoin, les masses des fibres sont déterminé en substitution de la masse de ciment.

##### **- Mortier sans fibres (M0)**

\* sable normalisé → 1350 ± 5g

\* Ciment → 450 ± 2g

\* Eau → 225 ± 1g

Le rapport E /C = 0,5.

##### **- Mortier avec 1% de fibres métalliques (M1)**

$P_{total} = (P_f + P_c) = 450g.$

$P_f \rightarrow 1\%$

On aura  $P_f = 4.5\text{g}$  ;

**- Mortier avec 2% de fibres métalliques (M2)**

$P_{\text{total}} = (P_f + P_c) = 450\text{g}$ .

$P_f \rightarrow 2\%$

On aura  $P_f = 9.0\text{g}$  ;

**Tableau II.5.** Dosage et pesée des constituants

mixture	Pourcentage des fibres (%)	Longueur des fibres (cm)	fibre (g)	E/C	Ciment (g)	Sable (g)	E/C	EAU (g)
1	0	/	0	0.45	450	1350	0.45	202.5
2	0	/	0	0.5	450	1350	0.50	225
3	0	/	0	0.55	450	1350	0.55	247.5
4	1	0.6	4.5	0.5	445.5	1350	0.50	225
5	1	0.8	4.5	0.5	445.5	1350	0.50	225
6	1	1	4.5	0.5	445.5	1350	0.50	225
7	2	0.6	9	0.5	441	1350	0.50	225
8	2	0.8	9	0.5	441	1350	0.50	225
9	2	1	9	0.5	441	1350	0.50	225

#### II.4.2. Préparation des éprouvettes d'essais [36]

Des essais sont effectués au niveau du laboratoire pour optimiser la composition préliminaire, en fixant la quantité de sable 1350g et de ciment 450g et faire varier le rapport E/C, on a testé trois mélanges avec E/C différent (0.45; 0.5; 0.55) pour chercher la valeur optimale donnant la meilleure ouvrabilité.

Les mélanges sont préparés avec des fractions volumiques de 0 ; 1 et 2% de fibres (par rapport au volume total du béton). Afin d'assurer la répartition homogène des fibres durant le malaxage du mélange, elles ne sont introduites qu'à la fin, après que l'eau ajoutés.

La préparation des éprouvettes (4x4x16cm) est réalisée selon la norme **NF P 18-400[36]**. Le malaxage est réalisé à l'aide d'un piétrain dont la durée de malaxage totale est de 4 minutes. La vibration a été réalisée à l'aide d'une table vibrante (table à choc) à amplitude de vibration réglable à 60 coups. Les échantillons sont démoulés après une journée puis conservés dans l'eau jusqu'au jour de l'essai.

L'expérimentation mise en œuvre consiste à mener des essais de mesure du retrait libre des éprouvettes prismatiques, menues de tiges fixées aux extrémités. Les éprouvettes sont séchées à l'air libre après démoulage, et isolées à leurs deux extrémités pour éviter les effets de bord.

Et les essais mécaniques sont l'essai de traction par flexion à trois points et l'essai de compression sur les demi-prismes.

### II.4.3. Malaxage :

Le mélange doit être effectué au moyen d'un malaxeur, ces mortiers sont malaxés pendant 4 minutes conformément aux prescriptions de la norme :

- D'abord on mélange les fibres (0 ; 1 et 2%) avec ciment et on met le malaxeur en marche à la vitesse lente ;
- Après 30s de malaxage on ajoute les différentes quantités d'eau et le malaxé à la vitesse lente pendant 30s ;
- On introduit régulièrement le sable normalisé pendant les 30s suivantes
- On met le malaxeur à sa vitesse rapide et on continue le malaxage pendant 30s supplémentaires ;
- On Arrête le malaxeur pendant 1min et dans les 15 premières secondes on enlève au moyen d'une raclette tout le mortier adhère aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.
- On reprend ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60s.
- Après on va mettre le mélange dans les moules après les avoir huilés et on le dépose sur la table à choc;
- On justifie les parois avec une raclette et on le laisse à l'air libre après le couvrir avec un film transparent pendant 24h avant le démoulage.



Figure II.10. Préparation et malaxage du mortier.



**Figure II.11.** Malaxeur utilisé pour la préparation du mortier

Le mélange de mortier est gâché dans des moules ( $4 \times 4 \times 16$ ) cm<sup>3</sup>, préalablement huilés afin de permettre un décoffrage facile voir (**figure II.12**)



**Figure II.12.** Fabrication et moulage des éprouvettes

On dépose le moule sur la table à choc



**Figure II.13.** Mortier sur table à choc

Après coulage du mortier et assurer le surfacage des faces supérieures des moules, les éprouvettes sont ensuite entreposées dans la salle du laboratoire pendant 24 heures. Les moules sont couverts d'un sac plastique afin d'éviter toute évaporation de l'eau.



**Figure II.14.** Moule couvert avec du film plastique.

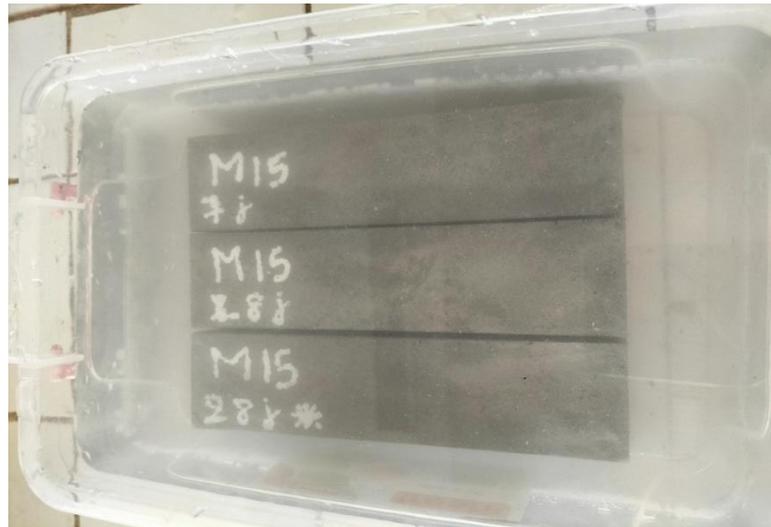
### II.4.4. Conservations des éprouvettes [36]

Les moules sont conservés dans une pièce à température ambiante, et démoulés après 24 heures.



**Figure II.15.** Décoffrage des éprouvettes, dimensions :  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$

- ✓ On mentionne sur la surface supérieure des éprouvettes la référence du mortier et on les pèse après le décoffrage ;
- ✓ Les éprouvettes sont par la suite immergées dans l'eau de robinet pendant 28 jours.



**Figure II.16.** Conservation des éprouvettes dans l'eau.

- ✓ Les éprouvettes sont retiré et mesuré humide après 7 ; 14 et 28 jours pour ensuite effectuer les tests mécaniques de compression et de flexion.

## **II.5. Caractérisation des mortiers renforcés de fibres métalliques :**

### **II.5.1. Masse volumique sèche :**

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel, après passage à l'étuve à 105C<sup>0</sup>. Souvent exprimé en gramme par centimètre cube g/cm<sup>3</sup> elle varie en fonction de la masse volumique des constituants.

La masse volumique de chaque éprouvette est donnée par la formule :

$$\rho = \frac{M_s}{V_{epp}}$$

Avec : M<sub>s</sub> est la masse sèche (g)

V<sub>epp</sub> : est volume de l'éprouvette (cm<sup>3</sup>)

### **II.5.2. La densité :**

C'est la quantité de masse dans un objet par unité de volume. Elle peut être calculée en divisant la masse d'un objet par son volume.

$$d = \frac{\rho}{\rho_{eau}}$$

$\rho_{eau}$  : c'est la masse volumique de l'eau (g/cm<sup>3</sup>).

La densité est un nombre sans unité.

### II.5.3. La porosité :

C'est une mesure de la quantité d'espace vide ou de pores dans un matériau, elle peut être exprimée en pourcentage ou en volume. La porosité peut avoir un impact sur les propriétés d'un matériau, telle que la résistance, la conductivité, la perméabilité et la densité.

$$Pr(\%) = \frac{M_{st} - M_s}{M_{st} - M_{ph}} \times 100$$

$M_s$  : Masse sèche ;

$M_{st}$  : Masse saturé ;

$M_{ph}$  : Masse par la poussé hydrostatique.

- Les éprouvettes doivent être sorties de l'eau et essuyée avec un papier ou un chiffon propre pour les mesurés et les pesé (état humide) ;
- On plonge les éprouvettes dans l'eau et on les repesé une deuxième fois avec deux méthode diffèrent on appelle la pesée hydrostatique
- 

a) sous l'eau ;



b) à l'état saturé.



**Figure II.17.** Pesé hydrostatique sous l'eau    **figure II.18.** Pesé hydrostatique à l'Etat saturé

-Après on va les mettre dans l'étuve pendant 24h à la température 39C<sup>0</sup>,



**Figure II.19.** Etuve à 39C<sup>0</sup>

- Finalement on va les pesés après le retrait de l'étuve (état sèche) ;

### II.5.4. Le retrait NF P 15-433 [37]

Le retrait est une contraction ou une réduction de volume qui produit lorsqu'un matériau sèche ou durci. Le retrait hydraulique dû aux qualités hydrauliques du liant et à l'évaporation de l'eau.

$$\Delta l = l(t) - l(t_0).$$

**l (t<sub>0</sub>) :** La longueur de l'éprouvette au temps t<sub>0</sub> choisis pour l'origine. En général cette origine est prise au moment de démoulage, soit 24 h après la confection des éprouvettes.

**l (t) :** Lorsque les éprouvettes sont conservées dans l'air est généralement négatif.

### II.5.5. Tests mécaniques :

Avant de faire l'essai de flexion et de compression Après 7 et 28 jours il faut passer par les étapes suivantes :

#### II.5.5.1. L'essai de flexion NF P18-407 [38]

L'essai de flexion trois points a été réalisé sur la machine de marque CONTROLS d'une capacité maximal de 200KN, asservie en force. Les essais ont réalisé avec une vitesse de chargement de 50 N/S.

L'essai de rupture par flexion est effectué sur une éprouvette prismatique de  $(4*4*16)$  Cm<sup>3</sup> placé sur deux roulants distants de 100mm. En veillant à ce que l'axe longitudinal de l'éprouvette soit dans le plan de flexion de l'appareil. On actionne la machine qui va appliquer une charge progressive et continue et sans chocs à vitesse constante sur l'éprouvette jusqu'au moment de rupture.



**Figure II.20.** Machine de tests de flexion CONTROLS

Nous avons testé les éprouvettes  $(4*4*16)$  cm<sup>3</sup>, à 7 jours et 28 jours.



**Figure II. 21.** Eprouvette de mortier avant et après le teste de flexion

### II.5.5.2. L'essai de compression NF P18-406 [39]

Les essais des compressions ont été réalisés sur la même machine avec un montage approprié à la compression.

L'essai consiste à placer l'extrémité du demi-prisme, de chaque éprouvette obtenu après rupture par flexion, dans la machine d'essai à la compression entre deux plaques d'acier présentée. Elle est disposée de telle sorte que la section comprimée soit de  $(4*4)$  cm<sup>2</sup>.

A l'aide de la machine on presse le demi éprouvette à vitesse constante, en lui appliquant une charge progressive jusqu'à rupture de l'éprouvette.



**Figure II.22.** Eprouvette soumis aux tests de compression

Ces essais ont été réalisés sur les demies éprouvette issues des essais de flexion  
La résistance en compression a été évaluée selon la norme (NF P 18\_406).



**Figure II.23.** Éprouvette de mortier vierge avant et après le test de compression.

### **Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents matériaux et matériel utilisés dans cette étude avec leurs caractéristique, la formulation des différent mélange.

Trois paramètres ont été varié la longueur de la fibre, le pourcentage et le rapport E/C. On a mentionné aussi la caractérisation des différents matériaux utilisés dans notre étude et les caractéristiques mécaniques en compression et en flexion ainsi que le comportement en retrait.

*Chapitre III*  
*Résultats et interprétations*

**III. Résultats et interprétations**

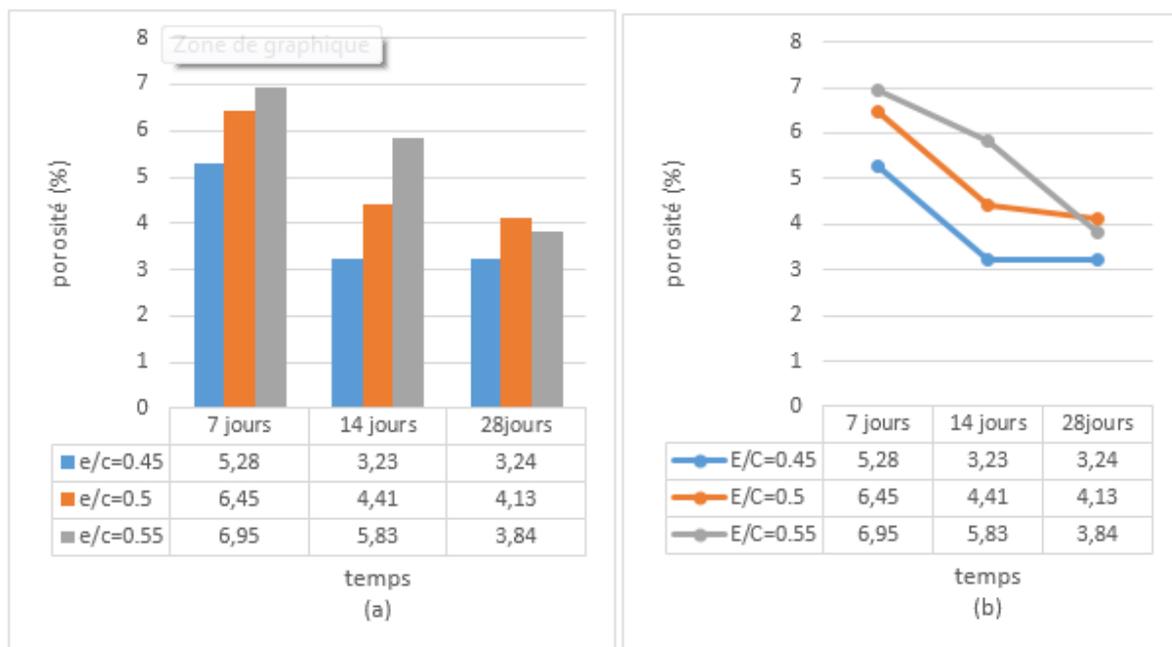
**Introduction :**

Ce dernier chapitre consiste à présenter les différents résultats des essais obtenus sur les mortiers à base des fibres métalliques, ainsi que leurs discussions et interprétation des différents phénomènes étudiés. Les matériaux renforcés sont caractérisés en flexion 3 points et en compression. Les essais de flexion ont été effectués sur des échantillons prismatiques de dimensions  $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$  et ceux de compression ont été réalisés sur des cubes équivalents  $(4 \times 4 \times 4) \text{ cm}^3$ . Une synthèse des résultats des caractéristiques mécaniques (résistance en traction par flexion, résistance en compression) obtenus est présentée dans ce chapitre.

L'objectif de ce chapitre est d'étudier les variations dues aux retraits et les résistances à la flexion et à la compression des mortier en variant le rapport E/C et en deuxième lieu avoir une analyse de la variabilité des résistance en fonction des deux paramètres d'entrées, la longueur des fibres et le pourcentage de ces dernières ; finalement on analysera l'influence des deux paramètres longueur et pourcentage de fibre simultanément sur la variabilité des résistances caractéristiques des mortiers étudiés.

**III.1. Etude des réponses en fonction de rapport E/C**

**III.1.1. La porosité :**



**Figure III.1.** Evolution de la porosité en fonction de rapport E/C.

On a fait un test de porosité sur trois éprouvettes d'un mortier normal dans une durée de 28 jours avec la variation de rapport E/C (0.45 ; 0.5 ; 0.55).

A partir des résultats qu'on a obtenue (figure III.1.a), nous avons remarqué que les valeurs calculé pour le 7<sup>ème</sup> jours, du pourcentage de la porosité pour le rapport E/C=0.45 donne une valeur égale à 5.28 %, pour le E/C=0.5 on a trouvé le pourcentage égale à 6.45 %, et le pourcentage de la porosité égale à 6.95 dans le rapport E/C=0.55. La comparaison entre les valeurs du 14<sup>ème</sup> jours, le pourcentage de la porosité pour le rapport E/C=0.45 est égale à 3.23 %, pour le E/C=0.5, le pourcentage égale à 4.41 %, et le pourcentage de la porosité égale à 3.84 dans le rapport E/C=0.55. Pour le 28<sup>ème</sup> jours, l'allure de la variation donne une valeur maximale pour le E/C=0.5 on a trouvé le pourcentage égale à 4.13 %, pour le rapport E/C=0.45 donne une valeur égal à 3.24 %, et le pourcentage de la porosité égale à 3.84 dans le rapport E/C=0.55.

A partir des résultats qui on a obtenue (figure III.1.b), la comparaison entre les valeurs de la porosité pour les différents rapports de E/C en fonction du temps, on remarque que le pourcentage de la porosité diminue continument du 07<sup>ème</sup> jour jusqu'aux 28<sup>ème</sup> jours, et le pourcentage de diminution est relativement différent de l'éprouvette à l'autre.

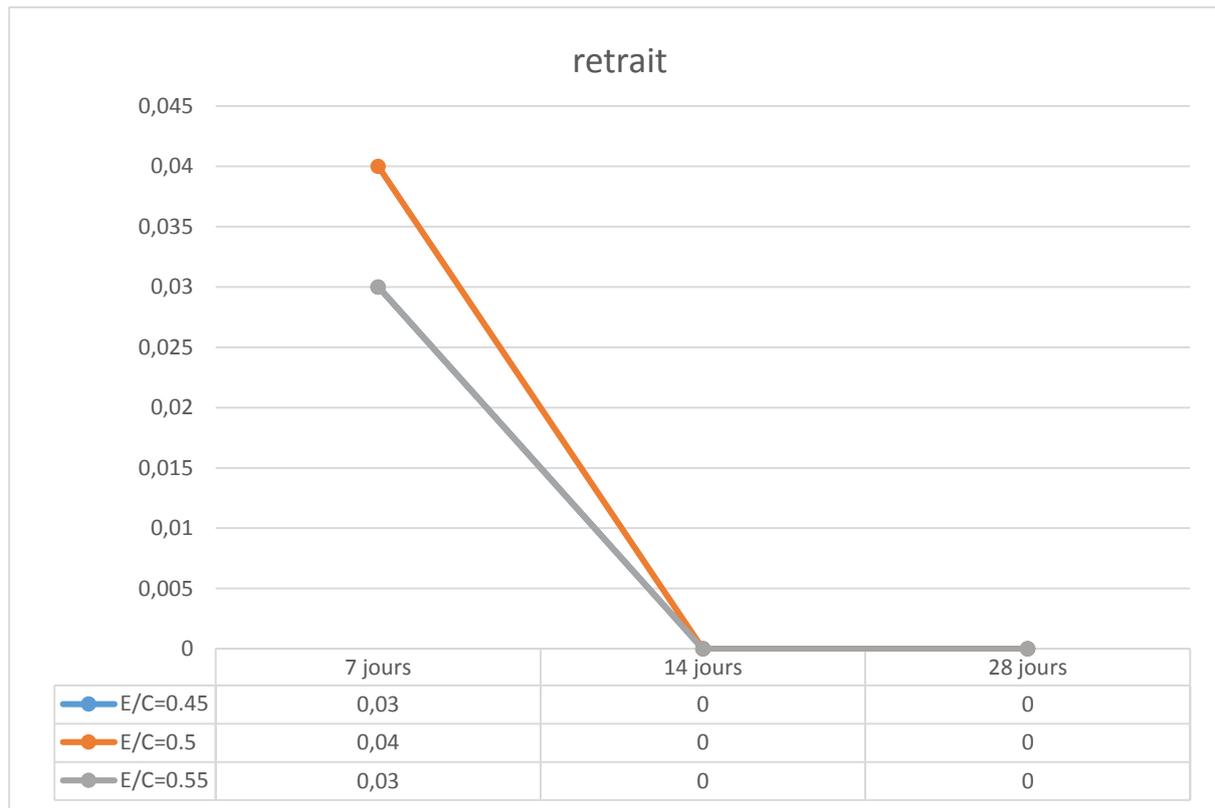
Nous avons remarqué aussi que le pourcentage de diminution de la porosité est totalement différent avec les différents rapports de E/C.

D'après les résultats, on conclut que la porosité est très dépendante du rapport E/C car il gouverne l'espacement initial des grains de ciment. Pour le rapport E/C élevé, les grains de ciment sont initialement plus éloigné, l'eau en excès par apport au ciment et une grande partie de cette eau ne réagira pas, ainsi des capillaires plus gros, la résistance du mortier sera alors plus faible, à l'inverse, si en réduisant le E/C, on rapproche les grains de ciment et l'eau réagit mieux, les capillaires seront plus petits donc le mortier sera plus résistant, mais on ne peut pas diminuer le E/C sans risquer de manque d'eau pour hydrater correctement le ciment.

Donc plus le rapport E/C augment plus la porosité augmente et à l'inverse plus le rapport diminue plus la porosité diminue.

Il existe donc un E/C optimal et dans notre cas le rapport E/C optimal c'est 0.5.

**III.1.2. Étude de retrait :**



**Figure III.2.** Retrait des mortiers en fonction de E/C

N.B : la courbe de E/C=0.45 coïncide avec le E/C=0.55

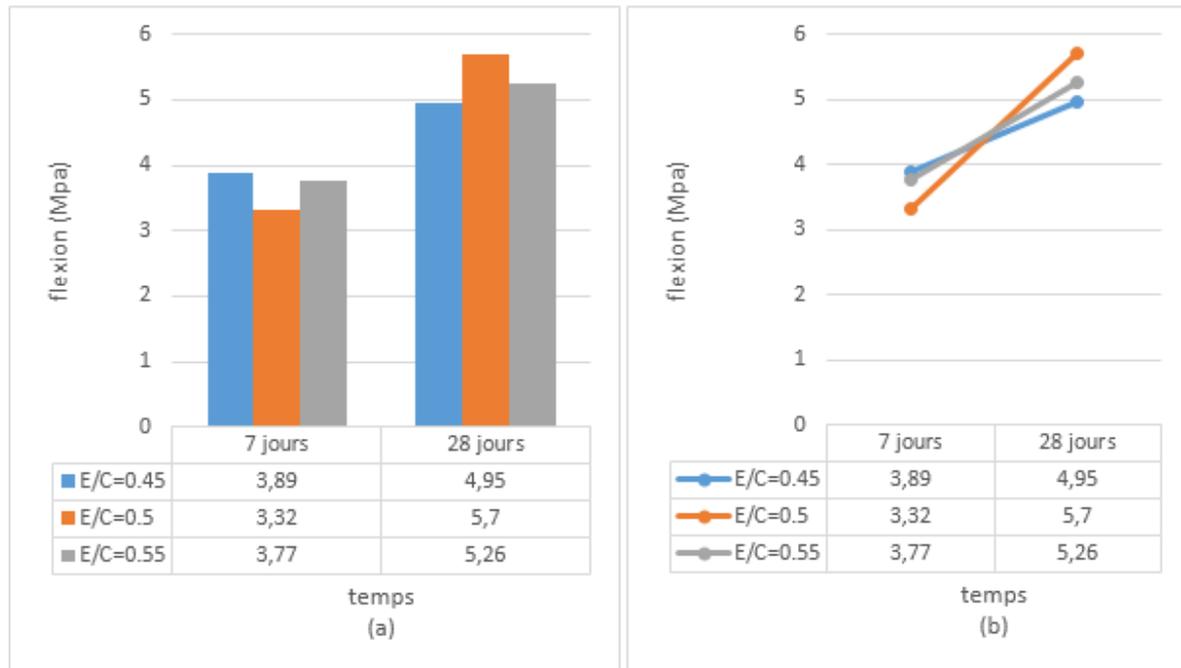
Le retrait d'un mortier diminue avec l'augmentation des jours, cela est dû à l'évaporation continue de l'eau dans le mortier qui diminue avec le temps.

Cependant, le taux de retrait peut varier en fonction de nombreux facteurs, tels que la teneur en eau, la température et l'humidité relative.

On conclut que le E/C à une influence sur le retrait en effet un rapport augmente peut entrainer une plus grande quantité d'eau dans le mortier, ce qui peut augmenter le taux de retrait lors du séchage.

## III.1.3. Essai de flexion :

Les résultats de l'essai de la résistance en flexion sont présentes sur la figure III.2. En rappel, l'essai a été effectué sur les éprouvettes  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ .



**Figure III.3.** La résistance à la flexion en fonction de rapport E/C.

D'après la figure (III.3.a), les essais qui on a fait après 7 jours et 28 jours avec différent rapport de E/C, on a trouvé en 7eme jours 3.89 MPA dans le rapport E/C=0.45 et E/C=0.5 on a trouvé 3.32 MPA et 3.77 MPA dans le rapport E/C=0.55, d'après ces résultats on remarque une augmentation de la résistance à la flexion pour E/C=0.45 à E/C=0.5 et une diminution de la résistance à la flexion pour E/C=0.5 à E/C=0.55. Les même résultats sont observés pour les résistances à la flexion mesurées à 28 jours, une augmentation des résistances est observé en passant du rapport E/C=0.45 à E/C=0.5, et les valeurs mesurés diminues pour E/C=0.55.

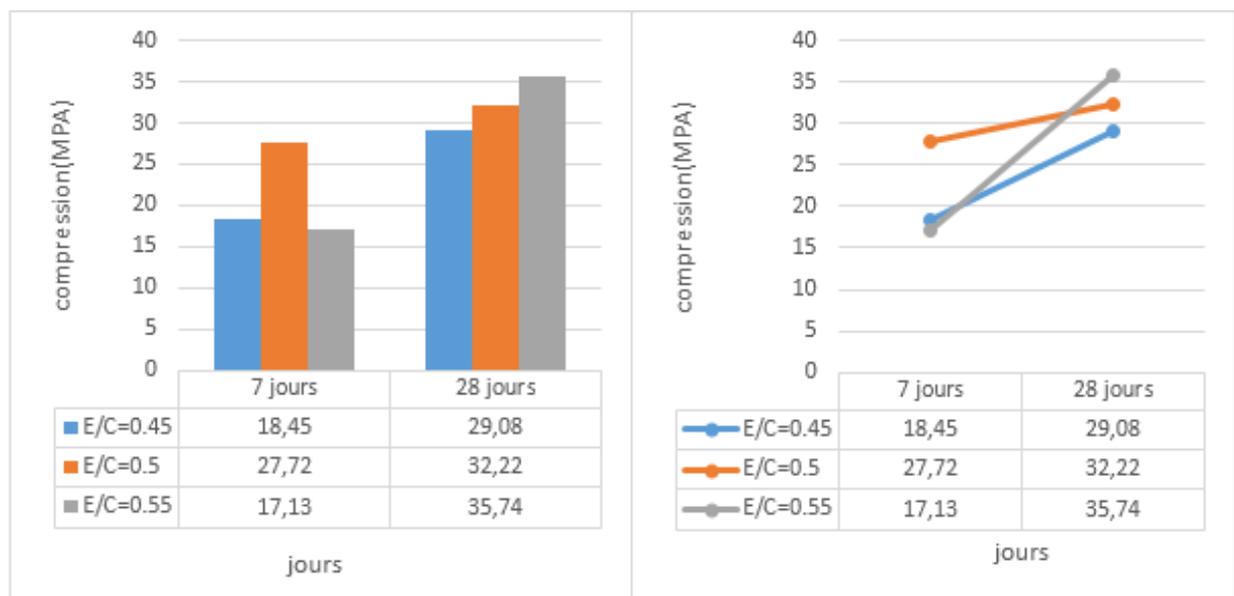
Les courbe montrant l'évolution de la résistance à la flexion en fonction du temps (figure III.3.b), on remarque que la résistance augmente avec l'augmentation du temps de 7 à 28 jours pour tous les E/C, donc on constate que la résistance est dépendante du temps.

Le E/C plus élevé peut entrainer une réduction de la résistance à la flexion du mortier cela est dû à la présence de grande quantité d'eau dans le mortier, l'évaporation de l'eau interstitielle entraine une porosité résiduelle ce qui rendre le mortier plus susceptible de micro fissure ou de se briser sous pression.

E/C plus faible peut entraîner une croissance de la résistance à la flexion, mais peut rendre le mortier plus difficile à travailler, cela est dû à la quantité limite d'eau dans le mortier pour l'hydratation du ciment, donc il est important de trouver un rapport de E/C approprié pour le mortier et dans notre étude le E/C=0.5 le rapport optimal.

### III.1.4. Essai de compression :

Les résultats de l'essai de la résistance en compression sont présentés sur la figure III.4. En rappel, l'essai a été effectué sur les éprouvettes 4×4 cm<sup>2</sup>.



**Figure III.4.** La résistance de compression en fonction de rapport E/C

D'après la figure III.4 on remarque que la résistance à la compression en 7eme jours de rapport E/C=0.5 est le plus élevé par rapport à la valeur des rapport E/C=0.45 qui égale à 18.45 MPA, E/C=0.55 qui égale à 17.13 MPA, mais par contre à 28eme jour la résistance la plus élevée est dans le rapport E/C=0.55 qui donne une valeur égale à 35.74 MPA, comme on remarque un forte augmentation de 7 à 28 jours dans les rapport E/C=0.45 et E/C=0.55, mais une légère augmentation dans le rapport E/C=0.5.

On conclut que la résistance à la compression donne une valeur idéale avec le rapport E/C=0.5 qui donne une valeur égale 27.72 MPA en 7eme jours et 32.22 MPA en 28eme jours.

### Interprétation :

Le rapport E/C est un paramètre important pour la qualité des matériaux et il a une influence sur la résistance à la compression et la flexion.

Si le rapport E/C est trop élevé, le mortier sera plus poreux et moins résistant, ce qui peut entraîner une diminution de résistance à la flexion et à la compression.

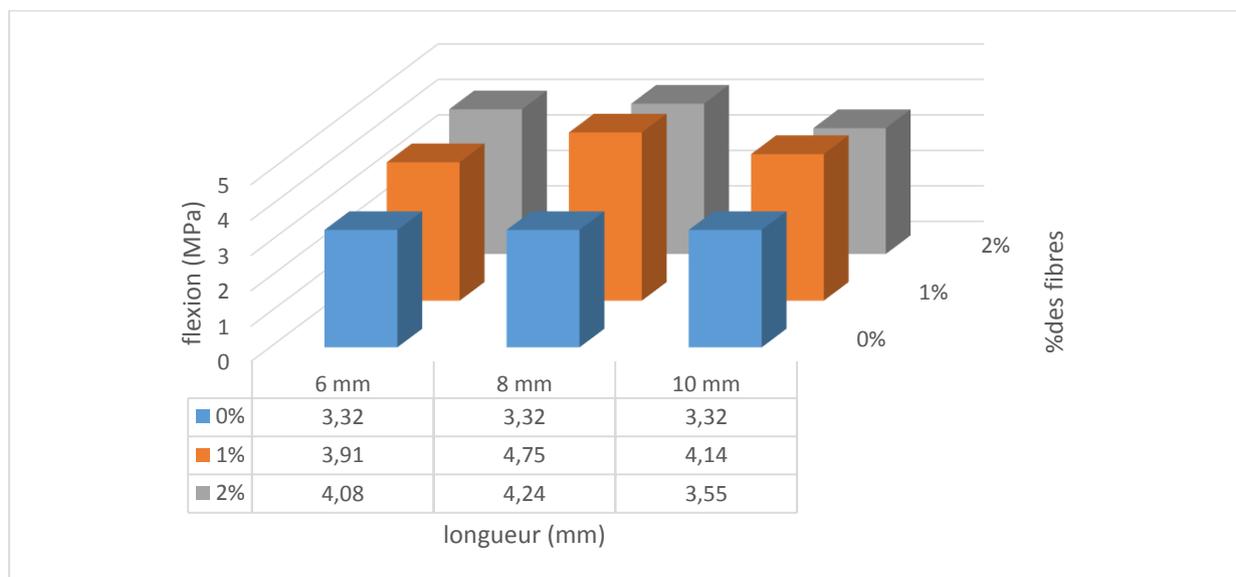
Si le rapport E/C est trop faible, le mortier sera trop sec et difficile à travailler ce qui peut également affecter la résistance du mortier, en général le rapport E/C=0.5 est recommandé pour obtenir une résistance optimale.

### III.2. Influence des fibres sur les réponses mécaniques :

Pour montrer l'influence des pourcentages des fibres et de la longueur sur un mortier normal, l'étude a été faite pour le rapport E/C = 0.5, le pourcentage varie entre les valeurs (0 %, 1 % et 2 %) avec trois longueurs (6 mm, 8 mm et 10 mm). Les éprouvettes du mortier ont été testées sous essais mécaniques (essai de flexion et essai de compression) à 7 jours et 28 jours.

#### III.2.1. Essai de flexion :

Les résultats de la résistance à la flexion de mortier renforcé de fibre métallique sont présentés dans la figure ci-dessous :



**Figure III.5.** L'influence des fibres sur la flexion à 7 jours

D'après les résultats qui on a obtenu dans le 7eme jours, on remarque que la résistance à la flexion du mortier avec 1 et 2 % de fibres métalliques est élevée par rapport au mortier témoin (0 % fibres), nous avons remarqué que les valeurs mesuré pour la longueur 6mm on a trouvé 3.32 MPa pour 0 % et 3.91 MPa pour 1% et 4.08 MPa pour 2 %,et on observe que les résistances de la longueur de 8mm est plus élevé par rapport à celle de 6mm tel que on a trouvé 3.32 MPa en 0% et 4.75 MPa dans 1% et on a trouvé en 2% 4.24 MPa alors que les résistance qui on a

trouvé avec la longueur de 10mm, 3.32 MPa pour 0 % et 4.14 MPa pour 1 % et finalement 3.55 MPa pour 2 %, cela traduit l'influence des différents pourcentages de fibre dans le mortier. On conclut que la résistance à la flexion optimale est celle de 1 % de fibre métallique de 8 mm de la longueur qui donne une valeur de 4.75 MPa.

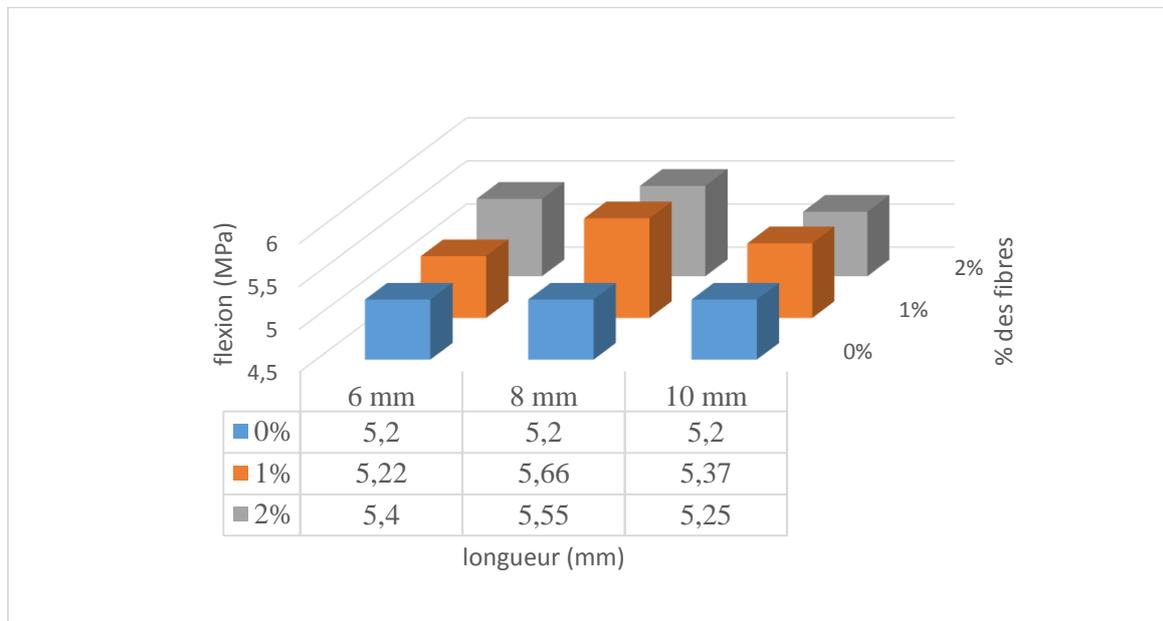


Figure III.6. L'influence des fibres sur la flexion à 28 jours

La résistance à la flexion des éprouvettes de mortier préparées avec et sans fibres métalliques ont été mesurées à l'âge de 28 jours.

D'après les résultats qui on a obtenu on remarque que la résistance à la flexion de mortier avec 1 et 2 % de fibres métalliques est élevée par rapport au mortier témoin (0% fibres), nous avons remarqué que les valeurs mesurés pour la longueur 6 mm on a trouvé 5.2 MPa pour 0 % et 5.22 MPa, et pour 1 % et 5.4 MPa pour 2 % ;et on observe que les résistances de la longueur de 8 mm sont plus élevés par rapport à celles de 6 mm tel que on a trouvé 5.2 MPa en 0 % et 5.66 MPa dans 1% et on a trouvé en 2 % 5.55 MPa alors que les résistance qui on a trouvé avec la longueur de 10 mm, 5.2 MPa pour 0 % et 5.37 MPa pour 1 % et finalement 5.25 MPa pour 2 %, cela traduit l'influence des différents pourcentages de fibres dans le mortier.

Comme on remarque aussi que l'ajout de 1 % de fibres métalliques fait augmenter fortement la résistance à la flexion par rapport à l'ajout de 2 %, donc la résistance atteint sa valeur maximale avec un dosage de 1 % de fibres métalliques.

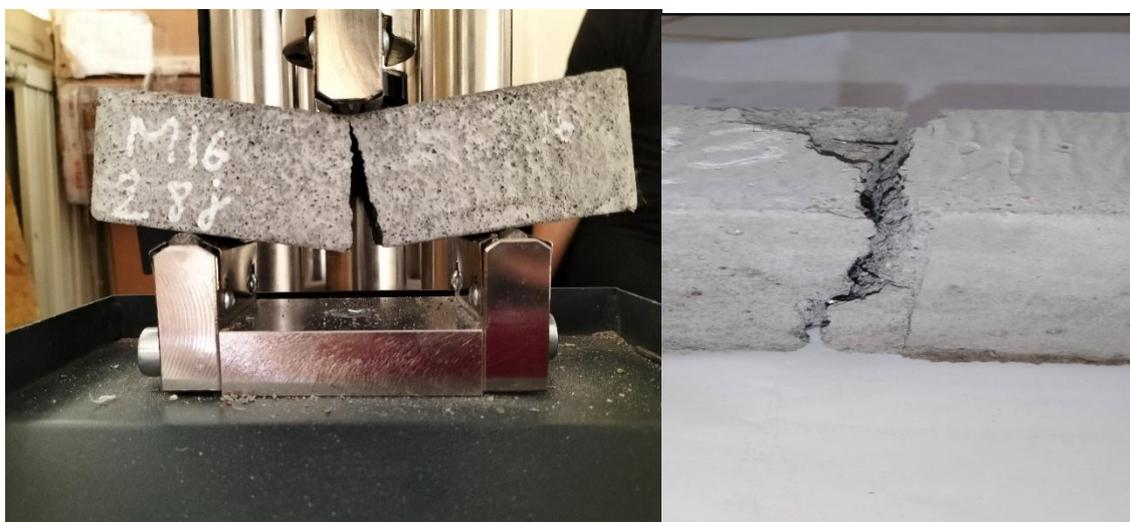
On conclut que la valeur optimale pour la résistance en flexion de 28 jours est celle de 1 % de fibres de 8 mm de longueur qui donne une valeur égale à 5.66 MPa.

On aboutit à la conclusion que utilisation des fibres plus de 1 % serait à l'origine d'une diminution de la résistance à la flexion, donc l'augmentation du pourcentage de fibres ne garantit pas une meilleure résistance à la flexion.

Si on raisonne à la longueur de fibres donné pour un même pourcentage, plus la fibre aura une longueur grande, plus la résistance à la flexion augmente et inversement.

Et d'après la figure on observe que de 6 mm à 8 mm y'a une augmentation de la résistance par contre de 8 à 10 mm on remarque une légère diminution.

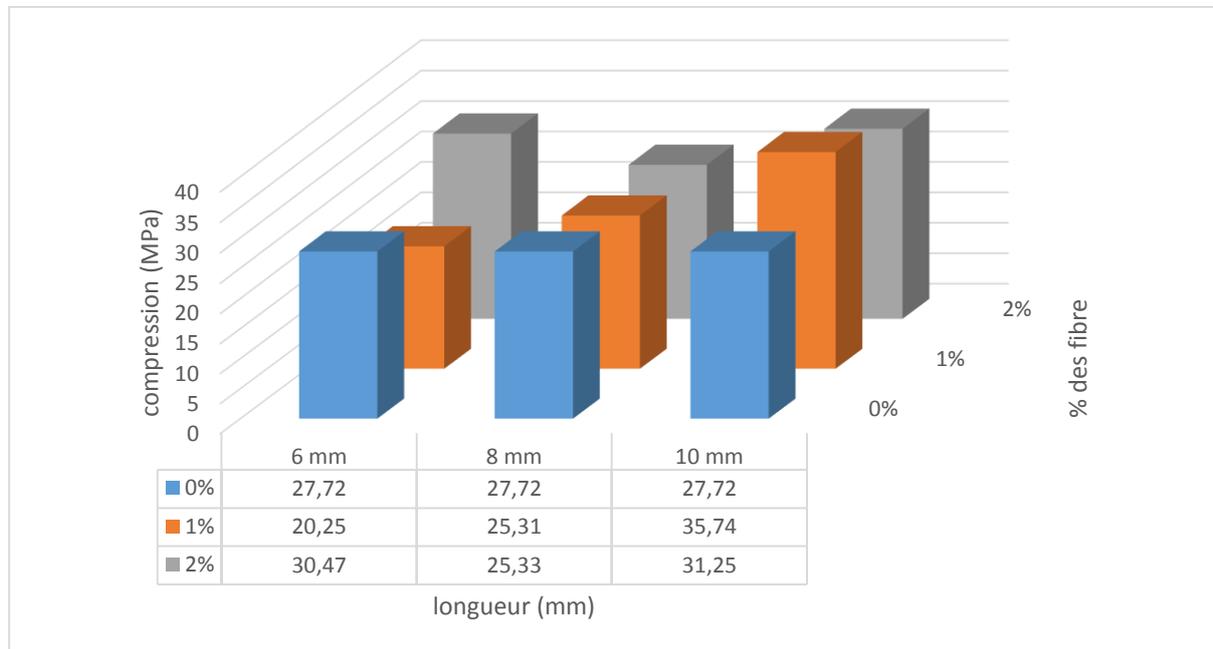
Et finalement on constate que la résistance à la flexion a obtenue pour une proportion optimale de 1% de fibres métalliques de 8mm de longueur.



**Figure III. 7.** Essai de traction par flexion

## III.2.2. Essai de compression :

Les résultats de la résistance à la compression de mortier renforcé de fibre métallique sont présentés dans la figure ci-dessous :

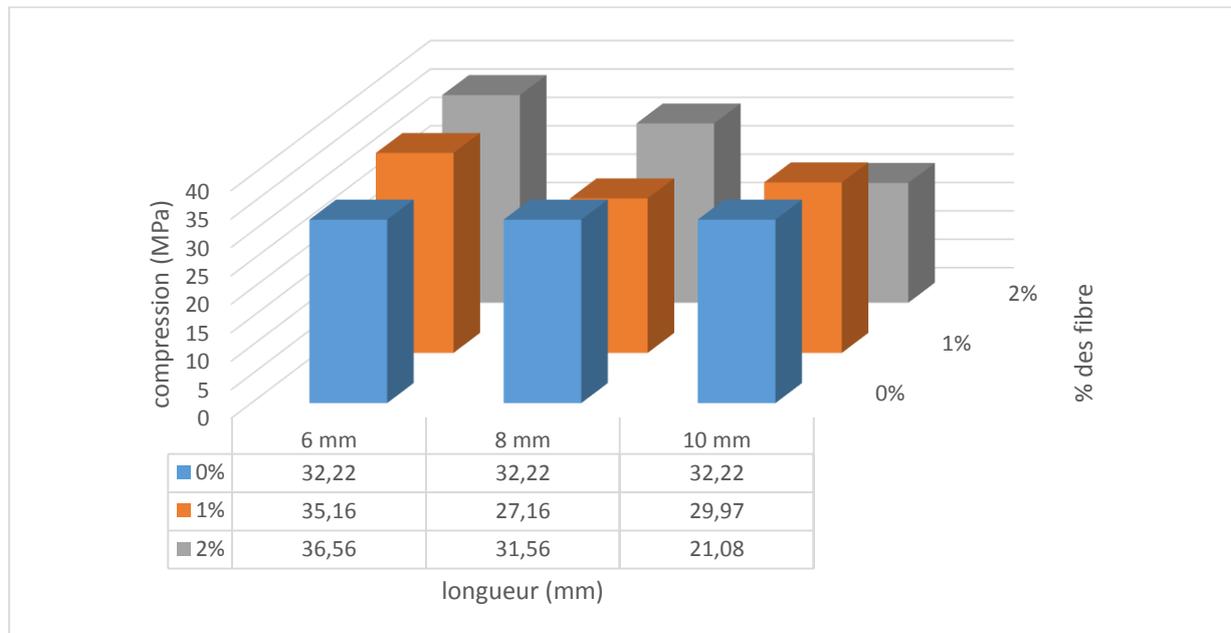


**Figure III.8.** L'influence de la longueur et du pourcentage des fibres sur la résistance à la compression à 7 jours

La résistance à la compression des éprouvette de mortier préparées avec et sans fibre métallique ont été mesurées à l'âge de 7 jours.

pour la longueur 6mm on a trouvé 27.72 MPa pour 0 % et 20.25 MPa pour 1 % et 30.47 MPa pour 2 % ; et on observe que les résistances de la longueur de 10 mm sont plus élevés par rapport à celles de 6 mm tel que on a trouvé 27.72 MPa en 0% et 35.74 MPa dans 1% et on a trouvé en 2 % 31.25 MPa alors que les résistance qui on a trouvé avec la longueur de 8 mm, 27.72 MPa pour 0 % et 25.31 MPa pour 1 % et finalement 25.33 MPa pour 2 %, cela traduit l'influence des différents pourcentages de fibre dans le mortier.

Et d'après les résultats on conclut que la résistance optimale c'est la résistance qui contient 1% de fibre métallique de 10 mm de longueur qui donne une valeur égale à 35.74 MPa



**Figure III.9.** Influence de la longueur et du pourcentage des fibres sur la résistance à la compression à 28 jours

La résistance à la compression des éprouvette de mortier préparées avec et sans fibres métalliques ont été mesurées à l’âge de 28 jours.

pour la longueur 6mm, on a trouvé 32.22 MPa pour 0 % et 35.16 MPa pour 1 % et 36.56 MPa pour 2 % ; et on observe que les résistances de la longueur de 8 mm sont inférieurs par rapport à celle de 6 mm tel que on a trouvé 32.22 MPa en 0% et 27.16 MPa dans 1% et on a trouvé en 2 % 31.56 MPa alors que les résistances qui on a trouvé avec la longueur de 10 mm, 32.22 MPa pour 0 % et 29.97 MPa pour 1 % et finalement 21.08 MPa pour 2 %

Et d’après les résultats on conclut que la résistance optimale c’est la résistance qui contient 2% de fibres métalliques de 6 mm qui donne une valeur égale à 36.56 MPa

On conclut que La longueur de la fibre à utiliser est dépendante des caractéristiques mécaniques du mortier et Il est évident que le choix de la fibre est lie à la caractéristique mécanique que l’on désire améliorer, par exemple :

-les fibres de pourcentage élevé de fibre courte augmentent la résistance à la compression.



**Figure III.10.** Essai de compression

**Conclusion :**

D'après les résultats de l'étude, il a été observé que la variation de E/C a une incidence sur la porosité, le retrait, la flexion et la compression du mortier. En effet une diminution du rapport E/C a entraîné une réduction de la porosité et du retrait, tandis qu'une augmentation de la résistance à la flexion et compression été observé.

Cette étude a permis d'étudier l'addition de fibres métalliques sur comportement physique et mécanique de mortier, les résultats obtenus montrent que l'incorporation de fibres métalliques améliore les résistances mécaniques des mortiers, en outre la proportion de 1% de fibres métalliques de 8 mm permet d'avoir une résistance à la flexion optimale de 4.75 MPa à 7 jours et 5.66 MPa à 28 jours.

La proportion de 2% de 6mm permet d'avoir une résistance à la compression optimale de 36.56 MPa.

Ces résultats suggèrent que le choix du rapport E/C et l'ajout de fibres sont des facteurs à prendre en compte lors de la conception de structures en mortier fibré.

# *Conclusion générale*

## Conclusion générale

Les objectifs principaux de notre travail étaient, d'évaluer l'influence d'utilisation des fibres métalliques sur le comportement mécanique des mortiers. Une série d'éprouvette ont été confectionnées, et ont été caractérisé en flexion 3 points et en compression. Les essais de flexion ont été effectués sur des échantillons prismatiques de dimensions  $(4 \times 4 \times 16)$  cm<sup>3</sup> et ceux de compression ont été réalisés sur des cubes équivalents  $(4 \times 4 \times 4)$  cm<sup>3</sup>.

Les mortiers contenant des fibres métalliques à différents pourcentages ont été confectionnés et conservés dans des conditions bien définies, les rapports E/C des compositions de mortier étaient de 0.45 ; 0.5 et 0.55, les propriétés mécaniques telles que la résistance à la compression et à la flexion, et la variation dimensionnelle (retrait) ont été étudiés.

D'après les résultats obtenus sur l'introduction des fibres métalliques en substitution du ciment ont conclu :

- le rapport E/C influe sur le retrait des mortiers en fonction du temps ;
- les résistances caractéristiques des mortiers a 28 jours sont directement influencées par la variation du rapport E/C ; les valeurs plus et moins élevée donnent une résistance réduite ; la valeur optimale d'après les résultats obtenue est donnée pour le rapport E/C = 0.50.
- L'amélioration apportée par l'ajout des fibres sur le comportement mécanique en traction par flexion augmente en fonction du temps, et l'ajout de fibres d'acier engendre une nette amélioration de cette résistance en présence de 1% de fibres ; le pourcentage optimum est 1%, avec une longueur de fibre égale à 8 mm
- La résistance à la compression sur des éprouvettes prismatiques évolue en fonction du temps quel que soit le dosage de fibres utilisée. Ce gain dépend de la concentration et de la géométrie de ces fibres, et atteint sa valeur maximale à 7 jours et se stabilise au-delà de 28 jours autour d'une valeur plus faible située entre 1 % et 2 %.
- Les éprouvettes confectionnées avec les mortiers renforcés par les fibres métalliques sont restées juste fissurées après écrasement. La rupture des éprouvettes fibrés est graduelle et se manifeste progressivement ; il a été observé que les éprouvettes tiennent même après l'apparition des premières fissures.
- Nous avons jugé que la formulation à 1% de fibres est intéressante du faite qu'elle présente une bonne résistance à la compression et à la flexion un retrait acceptables et proches de celles de 0% (mortier témoin).

En perspective l'étude peut être menée en variant les trois paramètres simultanément, pour plus raffiner les résultats de l'interaction entre les valeurs d'entrée.

## *Référence*

## Référence bibliographique

- [1] **Jean-Marie Berthelot**, Généralités sur les Matériaux Composites, Mécanique des Matériaux et Structure Composites, Le Mans, France 1992.
- [2] **Dalila Hammiche**, synthèse d'un nouvel agent de couplage PVC-g-MA et son utilisation dans les composites PVC/Alfa, mémoire de magister université de Bejaia 2010.
- [3] **Mr. Menail Younes**, Cours Matériaux Composites 2017.
- [4] **V.PHOUMMAVONG** «Cours en ligne Matériaux de Construction». Université national LAOS 2006.
- [5] **R.DALLEMAGNE et J.GOURGAND** :«les bétons dans la construction». CIB béton, 2005.
- [6] **J.BARON, et J.P. OLIVIER**: « Les bétons bases et données pour leur formulation». Edition EYROLLES, 1999.
- [7] **El Khadiri, A.Diouri A.Boukhari,J. Aride and F.Puertas** “Mechanical behavior of various mortars made by combined fly ash and limestone in Moroccan Portland” Cement and Concrete Research – Vole 32 , pp. 1597-1603- 2002.
- [8] **Monsieur Vimane PHOUMMAVONG**  
Vice-doyen et Professeur à la Faculté d'Ingénierie, Université Nationale du Laos, Campus Numérique Francophone de Vientiane.
- [9] **V.PHoummavong**, cour en ligne matériaux de construction université national LAOS2006.
- [10] **Boutiba Aldja** « Accélération du durcissement par énergies renouvelables du béton frais et caractérisation du béton durci » thèse d'ingénieur. Université de Bejaia.
- [11] **Aitcin, Pierre-Claude** « Does concrete shrink or Does it Swell » concrete international, American concrete Institute, Farmington Hills, Michigan. Decembre1999.
- [12] **Youcef Fritih** “Apport d'un comportement d'élément en béton auto plaçant armé” thèse de doctorat université de Toulouse 2009.
- [13] Ecole française du béton, 92974 paris, la défense cedex.
- [14] **Houari, H.**, Contribution à l'étude du comportement du béton renforcé de fibres métalliques soumis à l'action des charges maintenues et cycliques. 1995.
- [15][**BOUZ. 03**]. **BOUZEROURA, M.**, (2003) "Etude du comportement du béton de fibres ondulées. Proposition d'une relation simplifiée contrainte-déformation". Magister en génie civil- Université de Tizi-Ouzou, 2003.
- [16] **A. K. Bledzki, J. Gassan and S. Theis**, "Wood-filled thermoplastic composites", Mechanics of Composite Materials, vol. 34, n° 6, pp. 563-568, 1998.

- [17] **M. Zimniewska, M. Wladyka-Przybylak and J. Mankowski**, "Cellulosic bast fibers, their structure and properties suitable for composite applications", in *Cellulose Fibers: Bioand Nano-Polymer Composites*, pp. 97-119, Springer, 2011.
- [18] **M. J. John and R. D. Anandjiwala**, "Recent developments in chemical modification and characterization of natural fiber-reinforced composites", *Polymer composites*, vol. 29, n° 2, pp. 187-207, 2008.
- [19] C. Meirhaeghe and H. Bewa, "Evaluation de la disponibilité et de l'accessibilité de fibres végétales à usages matériaux en France", *Étude Fibres Recherche Développement*, ADEME, 2011..
- [20] **K. Oksman**, "Mechanical properties of natural fibre mat reinforced thermoplastic", *Applied Composite Materials*, vol. 7, n° 5-6, pp. 403-414, 2000.
- [21] D. Chandramohan and K. Marimuthu, "A review on natural fibers", *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, vol. 8, n° 2, pp. 194-206, 2011.
- [22][COT. 96]. **COTTERELL B., MAI Y.W., (1996)** "Fracture Mechanics of Cementitious Materials. Blackie Academic & Professional", London/Chapman and Hall. p. 294.
- [23]**Balaguru, P** "fiber Reinforced Concrete for structural Components." A state of art, Workshop on Fiber Reinforced cement & concrete, July 1994, Sheffield, U.K.
- [24]**Rossi, P et al** "Compressive behavior of concrete: physical mechanisms and modeling", *J. Eng. Mech*, ASCE, 122(11), 1996, p. 1038-1043.
- [25]**Gopalaratman, V.S et al** "Softening Response of Plain Concrete in Direct Tension", *ACI Journal*, may-  
**June 1985, Vol. 82, n° 3**, pp. 310-323.
- [26] **Gopalaratman, V.S. & Shah, S.P.**, "Softening Response of Plain Concrete in Direct Tension", *American Concrete Institute, Journal*, May 1, 1985, Vol. 82, n° 3, pp. 310-323.
- [27]**Damgir, R. M. & Ghugal, Y. M.**, "prediction of compressive strength by incorporating steel fibers", *35th Conference on Our World in Concrete & Structures*, Singapore, August 2010, pp. 25 - 27.
- [28] **Beddar, M. & Belagraa, L** influence of fibrous waste addition on the shrinkage of mortars, *Asian journal of civil engineering*, Vol. 4, N°. 1, 2003, pp. 65-72.
- [29] **Snyder (j), lankard (dr)**: "factor affecting flexural strength of steel fibrous concrete". *ACI journal*, vol.69, n0 2, 1972, p.96-100.
- [30] **Swamy (RN), mangat (P, S)** "influence of fiber geometry on the properties of steel fiber reinforced concrete". *Cement and concrete research*, vol, 4 n<sup>0</sup> 3, 1974, p 307-313

[31] **Hugues (BP), fattuhi (N I)** “the workability of steel fiber reinforced concrete” magazine of concrete research, vol 28 n<sup>o</sup>96, 1976 p 157-161.fiber ", Slovak journal of civil engineering, Vol. XIX, 2011, No. 3, pp.10 – 16.

[32] **pierre rossi** , ‘les bétons de fibres métallique ‘, édition Eyrolles, 1998

### **LES NORMRS**

[33] : **NF EN 197-1** : Normalisation française. Ciment : Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants

[34] : **NF EN 196-1** : Méthode d’essais des ciments ;

[35] : **NF EN 196-3** : Norme française. Méthodes d’essais des ciments. Détermination du temps de prise et de la stabilité. **AFNOR**

[36] **NF P 18–404** : Norme française. Essais d’étude, de convenance et de contrôle. Confection et conservation des éprouvettes

[37] **NF P 15–433** : Norme française. Méthodes d’essais des ciments. Détermination du retrait et du gonflement.

[38] **NF P 18–407** : Norme française. Essai pour béton durci. Résistance à la flexion des éprouvettes.

[39] **NF P 18–406** : Norme française. Essai pour béton durci. Résistance à la compression des éprouvettes.

## CEM II/A-L 42.5 R

Répond aux exigences de EN 197-1

### CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DU CLINKER

Caractéristiques du Clinker (Formule de Bogue)		Recette Du Ciment		Indicateur	Valeurs moyenne
C <sub>3</sub> S (%)	62.72	Clinker	80%	CaOl	0.92
C <sub>2</sub> S (%)	10.86	Coquillage (Calcaire)	16.2%	SR	2.43
C <sub>3</sub> A (%)	8.47	Gypse	3.8%	AFR	1.628
C <sub>4</sub> AF (%)	9.83				

### CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DU CIMENT

Propriétés	Valeurs Moyennes	Valeurs limites	Normes d'essai
Début de prise	152 MIN	≥60	NF EN 196-3
Eau de gâchage	28.8%	---	NF EN 196-3
Le Chatelier	2.33mm	<10mm	NF EN 196-3
SSB (Finesse)	4201	---	NF EN 196-6
Teneur en SO <sub>3</sub>	2.6	≤4	NF EN 196-2
Perte au feu	5.37	---	NF EN 196-2
Teneur en Chlorures	0.08%	≤0.10	NF EN 196-2

### RESISTANCES A LA COMPRESSION SUR MORTIER

Échéances	Valeurs moyennes	Ecart-type	Valeurs Limites NF EN 197-1	Normes d'essai
2 Jours	23.6	1.32	≥20 MPa	NF EN 196-1
7 Jours	34.1	1.8	---	NF EN 196-1
28 Jours	43.5	2.89	42.5 à 62.5 MPa	NF EN 196-1

Les valeurs indiquées sont des valeurs moyennes, elles peuvent varier légèrement dans les limites autorisées par les normes. Le succès des travaux entrepris avec ce ciment reste naturellement conditionné par le respect des règles de bonne pratique en matière de préparation, mise en œuvre et conservation des mortiers et bétons.

Vérifiez que ce ciment est bien adapté à l'usage auquel vous le destinez.

Vérifiez que les produits éventuellement ajoutés au ciment (adjuvants,...) sont compatibles avec le résultat escompté.



# Société Nouvelle du Littoral

Siège Social & Usine : Z.A. – BP 9 – 11370 LEUCATE (France)

Tél. : 33 (0) 4 68 40 14 05 – Fax : 33 (0) 4 68 40 92 72

Internet : [www.s-n-l.fr](http://www.s-n-l.fr) - e.mail : [contact@s-n-l.fr](mailto:contact@s-n-l.fr) • [s.n.l@wanadoo.fr](mailto:s.n.l@wanadoo.fr)

SABLE NORMALISE CEN CERTIFIE CONFORME –  
EN 196.1 par l'AFNOR et conforme ISO 679

Contrôlé par le Laboratoire d'Essais des Matériaux de la Ville  
de Paris (L.E.M.V.P.)  
4 Avenue du Colonel Henri Rol-Tanguy  
75014 PARIS

## Caractéristiques du sable - Autres que granulométrie et masse sachet

### Fabrication Sable Normalisé CEN, conforme EN 196-1

	Date mesure	Valeur ponctuelle	Valeur min	Valeur max
Masse volumique réelle (Mg/m3) EN 1097-6	novembre-11	2,64		
Absorption eau (%) EN 1097-6	novembre-11	0,2		
Module de finesse (%) EN 12620	novembre-11		2,6	2,7
Écoulement sable (s) EN 933-6	novembre-11	28		
Teneur en eau (%)	janvier-17		0,02	0,07
	février-17		0,01	0,07
	mars-17		0,03	0,07
Teneur en chlorure (ppm)	janvier-17		< 50	
	février-17		< 50	
	mars-17		< 50	
Teneur en silice (% SiO <sub>2</sub> )	janvier-16	98,05		
Teneur alumine (% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) ISO 29581-2	janvier-16	0,54		
Teneur fer (% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) ISO 29581-2	janvier-16	0,07		
Perte au feu 950 °C (EN 196-2)	janvier-16	0,16		
teneur P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> % ISO 29581-2	janvier-16	0		



S.N.L. fondée en 1910 – SAS capital 250 000 € - NIF FR 93 976 750 257 – SIRET 976 750 257 00025 APE 0812Z  
Certifiée pour la PREPARATION DU SABLE NORMALISE CEN POUR LA DETERMINATION DES RESISTANCES MECANIKES DES CIMENTS



FR C3 - MAJ 04/12-

## SIKA® METAL FIBRES VISCOCHAPE®

Fibres métalliques pour la SIKA® VISCOCHAPE®.

<b>Présentation</b>	Les fibres SIKA® METAL FIBRES VISCOCHAPE® sont fabriquées à partir de fils d'acier tréfilés. Elles sont en forme de baïonnette encollées en plaquettes pour assurer une bonne répartition dans la chape.
<b>Domaines d'application</b>	<p>Les fibres SIKA® METAL FIBRES VISCOCHAPE® sont utilisées exclusivement dans la chape autonivelante SIKA® VISCOCHAPE®. Elles sont destinées à remplacer le treillis anti-fissuration et les armatures périphériques éventuelles (cas des planchers rayonnants électriques) dans les cas suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ chape désolidarisées sur polyane pour les locaux P4,</li> <li>■ chape sur isolant de classe SC2,</li> <li>■ planchers chauffants à eau basse température,</li> <li>■ planchers réversibles,</li> <li>■ planchers rayonnants électriques.</li> </ul> <p>Les fibres SIKA® METAL FIBRES VISCOCHAPE® peuvent être utilisées avec des tuyaux chauffants en plastique.</p>
<b>Caractères généraux</b>	<p>Grâce à la nature de l'acier qui les constitue et au système d'ancrage mécanique dont elles sont dotées aux extrémités, les SIKA® METAL FIBRES VISCOCHAPE® présentent des caractéristiques de grande résistance à l'arrachement et à la traction.</p> <p>Incorporées dans la SIKA VISCOCHAPE, les SIKA® METAL FIBRES VISCOCHAPE® lui confèrent les propriétés suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ ductilité grâce à la capacité des fibres à se déformer pour des efforts élevés sans diminution significative de la résistance,</li> <li>■ ténacité liée à la redistribution des contraintes et l'amélioration de l'absorption d'énergie nécessaire à la rupture,</li> <li>■ accroissement de la résistance à la fatigue et aux chocs,</li> <li>■ contrôle de la fissuration grâce à la reprise des contraintes qui permet de maîtriser l'ouverture des fissures en s'opposant à leur propagation.</li> </ul>
<b>Caractéristiques</b>	
<b>Nature</b>	Fils d'acier carbone (EN 10016-2 – C9D) tréfilés sans revêtement
<b>Géométrie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Elancement (l/d) : 55</li> <li>■ Diamètre : 0,55 mm</li> <li>■ Longueur : 30 mm</li> </ul>
<b>Nombre de fibres</b>	16750 fibres/kg
<b>Longueur de fibres pour 10 kg/m<sup>3</sup></b>	5025 m
<b>Résistance à la traction</b>	➤ 1100 MPa
<b>Conditionnement</b>	Sacs papier de 10 kg, palette de 60 sacs (600 kg)
<b>Stockage</b>	Ne pas gerber les palettes



<b>Conservation</b>	Protéger les palettes de la pluie
<b>Conditions d'application</b> <b>Dosage</b>	Dans la SIKA® VISCOCHAPE®, les SIKA® METAL FIBRES VISCOCHAPE® se substituent aux treillis anti-fissuration et armatures périphériques éventuelles pour un dosage de 10 kg/m <sup>3</sup> de chape.
<b>Mise en oeuvre</b> <b>Préparation du mélange</b>	Il est recommandé d'ajouter les SIKA® METAL FIBRES VISCOCHAPE® directement dans le malaxeur de la centrale à béton simultanément au sable. Ne pas introduire les fibres en premier et ne pas jeter les sacs en papier dans le malaxeur. Malaxer le mélange (sable, ciment, filler et fibres) pendant 15 secondes avant l'introduction de l'eau de gâchage. Le temps de malaxage total est de 90 secondes.
<b>Précautions d'emploi</b>	Lors de l'ouverture des sacs ou la manipulation des sacs ouverts, il est conseillé de porter des gants et des lunettes de protection. Consulter la fiche de données de sécurité.
<b>Mentions légales</b>	Produit réservé à un usage strictement professionnel Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile. «Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Nos agences sont à votre disposition pour toute précision complémentaire. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»



Sika El Djazair,  
08 route de l'Arbaa, 16111 Eucalyptus  
Alger/ ALGERIE  
www.sikaeldjazair.com

Tel.: 213 (0) 21 50 21 84  
213 (0) 21 50 16 92 à 95  
Fax: 213 (0) 21 50 22 08  
Email: sika@sikaeldjazair.com

