

N° Ordre...../F.S.S.A/UAMOB/2019

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ de Bouira**



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées  
Département de Génie Civil

**Mémoire de fin d'études**

Présenté par :

**Mr. SADOUN Faouzi**

**Mr. DJEBRI Lakhel**

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 2** en :

**Filière : Génie Civil**

**Spécialité : Matériaux en Génie Civil**

**Thème :**

**Etude comparative entre les mortiers renforcés avec la fibre  
métalliques et verre.**

**Devant le jury composé de :**

HAMI Brahim	MCB	UAMOB	Président
KENNOUCHE Salim	MCB	UAMOB	Encadreur
SAOUDI Nacira	MCB	UAMOB	Examineur

**Année Universitaire 2018/2019**

## ***Remerciements***

*Nous tenons à remercier tout d'abord notre encadreur, Monsieur KENNOUCHE.S pour sa patience, et surtout pour sa confiance, ses remarques et ses conseils, sa disponibilité et sa bienveillance.*

*Qu'il trouve ici le témoignage de ma profonde gratitude.*

*On voudrait également remercier les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques et critiques.*

*On tient aussi à remercier les ingénieurs responsables de laboratoire LCTP Bouira et laboratoire matériaux pour leurs aides et disponibilité.*

*Nos vifs remerciements à tous mes enseignant(e)s, en signe d'un grand respect et d'un profond amour !!!*

*Merci à vous tous*

## ***Dédicace***

*À mes parents.*

*À mon frère et sœurs et ma famille*

*À tous mes amis et collègues*

*À tous les ingénieurs de laboratoire LCTP Bouira*

*À tous les étudiants de la promotion 2018/2019*

*Spécialité : Matériaux en Génie Civil*

*A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer .....*

**SADOUN FAOUZI**

## *Dédicace*

*À mes parents.*

*À mes frères et sœurs et ma famille*

*À tous mes amis et collègues*

*À tous les ingénieurs de laboratoire LCTP Bouira*

*À tous les étudiants de la promotion 2018/2019*

*Spécialité : Matériaux en Génie Civil*

*A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer .....*

**DJEBRI LAKHAL**

## Résumé

Le renforcement des matériaux de construction, particulièrement les mortiers par des fibres est une technique de plus en plus utilisée, dans le but d'améliorer leurs caractéristiques mécaniques, notamment leurs résistances à la flexion et à la compression.

Ce travail présenté dans ce mémoire, a pour principal objectif de faire une étude comparative sur plusieurs variantes de mortier, renforcé avec deux types de fibres à savoir les fibres métalliques et celles de verre, ces dernières sont additionnées séparément et simultanées à des taux qui varient de 0,5 %, 1 % et 2 %, pour évaluer les caractéristiques physicomécaniques des échantillons issus de chaque variantes, une campagne d'essais physique et mécaniques à travers des essais de flexion trois points et de compression est réalisée, afin d'estimer l'effet d'addition des fibres sur les propriétés physicomécaniques essentielles des mortiers fibrés par rapport aux échantillons témoins.

Les résultats obtenus permettent de confirmer l'amélioration des propriétés physicomécaniques, notamment les résistances mécaniques en flexion et compression dans le cas d'addition avec les fibres métalliques au taux de 2 %, par comparaison aux échantillons témoins et ceux élaborés avec les fibres de verre.

**Mots clé :** *mortier, fibre métallique, fibre de verre, résistance mécanique.*

**Abstract:**

Reinforcement of construction materials, particularly mortars by fibers is a technique increasingly used, in order to improve their mechanical characteristics, including their resistance to bending and compression.

The research project presented in this thesis, has for main objective to make a comparative study on mortars with addition of different types of fibers such as : the metallic and glass fiber were introducing at percentages that vary to 0,5 %, 1 % and 2 % for each fiber in order to know the influence of the fiber (metal and glass) on the physico-mechanical properties of fiber mortars.

The results shwas the flexural strength and compressive strength of the mortar reinforced with metal fibers gives a better resistance comparing to mortar reinforced with glass fibers..

**Key words:** *mortar, steel fiber, glass fiber, mechanical strength*

## ملخص

يعد تقوية مواد البناء وخاصةً الملاط بواسطة الألياف، تقنية مستخدمة بشكل متزايد لغرض تحسين خصائصها الميكانيكية ، بما في ذلك مقاومتها للثني والضغط يهدف مشروع البحث المقدم في هذه المذكرة إلى إجراء دراسة مقارنة بين الملاط مقوى بنوعين مختلفين من الألياف (المعدنية والزجاجية) التي تتراوح نسبتها بين 0.5 % و 1 % و 2 % لكل نوع من الألياف والتي يتم مقارنتها مع عينات مرجعية بدون ألياف من أجل تقدير تأثير محتوى الألياف (المعدنية والزجاجية) على الخصائص الفيزيائية الميكانيكية لملاط ذو الألياف من النتائج التي تم الحصول عليها ، وجدنا أن قوة لانتشاء والقوة الانضغاطية للملاط المقوى بالألياف المعدنية تعطي مقاومة أفضل للملاط المقوى بالألياف الزجاجية.

الكلمات المفتاحية: الملاط، الألياف المعدنية ، الألياف الزجاجية ، القوة الميكانيكية

## Tables des matieres

Introduction générale.....	2
Chapitre I : Les Mortiers .....	3
I.1.Les mortiers .....	4
I.2. Compositions .....	4
I.2.1. Les liants .....	4
I.2.1. 1. Le ciment.....	5
I.2.1.1.1. Les Constituants du ciment.....	5
I.2.1.1.1.1. Clinker.....	5
I.2.1.1.1.2. Le gypse (CaSO4).....	6
I.2.1.1.2. Classification des ciments courants.....	6
I.2.2. Les sables .....	7
I.2.3. Les adjuvants.....	8
I.2.4. Les ajouts .....	8
I.2.5. L'eau de gâchage.....	8
I.3.Classification des mortiers .....	9
I.3.1. Selon leur domaine d'utilisation .....	9
I.3.2. Selon la nature du liant.....	9
I.4. Classes des mortiers.....	10
I.5. Les caractéristiques principales des mortiers.....	11
I.5.1.Ouvrabilité.....	11
I.5.1.1. La table à secousses .....	11
I.5.1.2. Le maniabilimètre du LCPC .....	11
I.5.1.3. Le cône.....	12
I.5.2. Prise.....	12
I.5.3. Résistances mécaniques .....	12
I.5.4. Retraits et gonflements.....	13
I.6. Conclusion .....	13
Chapitre II : Les fibres dans les matériaux.....	14
II.1. Introduction .....	15
II.2.Définition des fibres .....	15
II.3. Différentes nature de fibres .....	15
II.3.1.Fibres naturelle .....	15
II.3.1.1. Fibres végétales .....	15

II.3.1.2. Fibres animale.....	15
II.3.2. Fibres minérales.....	16
II.3.2.1. Fibres d’amiante .....	16
II.3.2.2. Fibres de verre .....	16
II.3.2.3. Fibres de carbone.....	17
II.3.3.Fibres organique .....	18
II.3.4. Fibres Métallique .....	19
II.3.4.1. Les Fibres d’acier .....	20
II.4. Propriétés des fibres .....	20
II.4.1. La notion de fibres structurales.....	20
II.4.2. Le facteur d’élancement .....	20
II.4.3. La performance.....	21
II.4.4. La valeur de résistance résiduelle .....	21
II.4.5. La distribution des contraintes mécaniques .....	21
II.4.6. La résistance à l’abrasion.....	22
II.4.7. Les propriétés spécifiques à chaque type de fibres.....	22
II.5. Rôle des fibres .....	23
II.6.Conclusion .....	23
Chapitre III : L’étude bibliographique .....	24
III.1. L’étude de Dengwu Jiao et All .....	24
III.1.2. Programme expérimental.....	24
III.1.2.1.Matériaux .....	24
III.1.2.2. Mode opératoire .....	25
III.1.3. Résultats et discussion.....	27
III.1.3.1. Propriétés rhéologiques du mortier frais .....	27
III.1.3.1.1. Courbes rhéologiques .....	27
III.1.3.1.2. Limite d'élasticité et viscosité plastique .....	28
III.1.3.2. Effets couplés du mélange de fibres de verre et de cisaillement en rotation .....	30
III.1.3.2.1 Courbes rhéologiques .....	30
III.1.3.2.3. Indice rhéologique :.....	33
III.1.4. Conclusions .....	34
III.2. L’étude de M.BENTALHA et H.HOUARI .....	35
III.2.1. Introduction.....	35
III.2.2.PRESENTATION DES MATERIAUX TESTE : .....	36

III.2.2.1. Définition des corps d'épreuve : .....	36
III.2.2.2. Choix de la composition du mortier.....	36
III.2.2.3. Matériaux de base.....	36
III.2.2.3.1 Ciment .....	36
III.2.2.3.2. Eau de gâchage .....	37
III.2.2.3.3. Fluidifiant .....	37
III.2.2.3.4. Granulats.....	38
III.2.2.3.5 Renforts .....	38
III.2.2.4. Caractérisation.....	39
III.2.2.4.1. Etude à l'état frais.....	39
III.2.2.4.2. Etude à l'état durci.....	39
III.2.3. COMPORTEMENT SOUS CHARGEMENT MONOTONE CROISSANT (ESSAIS STATIQUES EN FLEXION) .....	41
III.2.3.1. Description des essais et des dispositifs de mesure.....	41
III.2.3.2. Résultats des essais statiques.....	41
III.2.3.2.1. Diagramme charge – flèche .....	41
III.2.4. CONCLUSION .....	43
Chapitre IV : Partie Expérimentale .....	45
IV.1. Matériaux utilisés .....	46
IV.1.2. Eau de gâchage.....	46
IV.1.3. Le ciment.....	46
IV.1.4. Sable.....	47
IV.1.4.1. Définition .....	47
IV.1.4.3. Module de finesse (MF).....	48
IV.2. Préparation des mortiers.....	52
IV.2.1. Mortier normal (Témoin) .....	52
IV.2.2. Préparation des éprouvettes.....	52
IV.2.3. Le malaxage .....	52
IV.2.4. Démoulage et conservation des éprouvettes .....	53
IV.3. Mortiers fibrés.....	54
IV.4. Les essais sur les mortiers fibrés .....	54
IV.4.2. Les essais mécaniques .....	55
IV.5. Remarques sur la préparation des éprouvettes .....	55
IV.6. Résultats des essais .....	57

IV.6.1. Résultats essais physiques.....	57
IV.6.1.1 Remarques sur les résultats d'essais physiques .....	58
IV.6.2. Résultats des essais mécaniques.....	58
IV.6.2.1. Essais de flexion trois points.....	58
IV.6.2.2. Essais de compression.....	59
IV.6.3. Analyses statistiques des résultats.....	61
IV.6.3.1 Remarques.....	62
IV.6.4. Discussion et interprétation des résultats .....	63
IV.6.4.1. Les Propriétés physique .....	63
IV.6.4.2. Les propriétés mécaniques .....	63
IV.6.4.2.1. Flexion.....	63
Conclusion générale .....	67
Recommandations et perspectives .....	68

## Liste des figures

Figure I. 1: Le ciment. ....	5
Figure I. 2: Table à secousses .....	11
Figure I. 3: Principe de fonctionnement du maniabilimètre .....	11
Figure I. 4: l'appareille Vicat. ....	12
Figure I. 5 : Moule pour moulage des éprouvettes de mortier .....	12
Figure II. 1: Vue microscopique de fibres d'amiante .....	16
Figure II. 2: Fibre de verre . ....	17
Figure II. 3: Fibres de carbone . ....	18
<b>Figure II. 4:</b> Les fibres de polypropylènes. ....	18
Figure II. 5: Différentes forme de fibres métallique .....	20
Figure II. 6: Essais de l'ASTM C 1018 .....	22
Figure II. 7 : Illustration de l'apport du renfort par des fibres.....	23
Figure III. 1: distribution granulométrique du ciment, fumé de silice et cendres volantes. ....	25
Figure III. 2: procédure de test des propriétés rhéologique.....	26
Figure III. 3: effets des adjuvants minéraux sur les courbes d'écoulement du mortier frais lors de l'essai initial. .....	27
Figure III. 4: Courbe rhéologiques de mortier frais sans ajout de fibres après cisaillement en rotation. ....	28
Figure III. 5 : L'effet du mélange des fibres et du cisaillement en rotation sur les propriétés rhéologiques du mortier frais. ....	30
Figure III. 6: Contrainte de cisaillement en fonction du taux de cisaillement à l'essai initiale pour mortier binaire ciment-cendres volante.....	31
Figure III. 7: Courbes rhéologiques du mortier binaire cendres volantes-ciment après un cisaillement en rotation. ....	31
Figure III. 8: limite élastique et viscosité plastique du mortier binaire frais à base de ciment-cendres volante. ....	33
Figure III. 9: Indice rhéologique de mortier binaire ciment-cendres volantes sous différents volume de fibres de verre et mélange par cisaillement en rotation. ....	34
Figure III. 10: Caractéristiques géométriques de la poutrelle .....	36
Figure III. 11: Résistances à la compression. ....	40
Figure III. 12: Résistances à la traction. ....	40
Figure III. 13: Dispositif d'essai flexion 4 points.....	41
Figure III. 14: Courbes charges – flèches.....	42
Figure III. 15: Fissuration et rupture d'une poutrelle .....	43
Figure IV. 1 : La série des tamis.....	47
Figure IV. 2: Courbes granulométriques de sable 0/3. ....	48
Figure IV. 3: Principe de l'essai d'équivalente de sable. ....	49
Figure IV. 4: Essai d'équivalent de sable. ....	50
Figure IV. 5: Fibres métalliques et de verre. ....	51
Figure IV. 6: (a) : Malaxeur, (b) : La table vibrante, (c) : Moules prismatiques.....	53
Figure IV. 7: La chambre humide. ....	53
Figure IV. 8: Mesure des masses volumiques des éprouvettes. ....	54
Figure IV. 9: Machine d'essais de flexion et de compression pilotée par ordinateur (L.C.T.P). ....	55

Figure IV. 10: Essais de flexion et compression (L.C.T.P).....	55
Figure IV. 11: Phénomène d’enchèvement du mélange avec 2 % de fibre de verre.....	56
Figure IV. 12: Découpe de la fibre de verre langue.....	56
Figure IV. 13: Moules utilisés.....	56
Figure IV. 14: Variation des masses volumiques des différentes variantes en fonction du temps.....	57
Figure IV. 15: Résistances en flexion des différentes variantes étudiées en fonction du temps.....	59
Figure IV. 16: Résistances en compression des différentes variantes étudiées en fonction du temps.....	60
Figure IV. 17: Corrélation entre la masse volumique et la résistance en flexion.....	61
Figure IV. 18: Corrélation entre la masse volumique et la résistance en compression.....	62
Figure IV. 19: corrélation entre les résistances en compression et celles en flexion.....	62
Figure IV. 20: éprouvette après test de flexion.....	64
Figure IV. 21: Eprouvette après test de compression.....	65

### Liste des tableaux

Tableau I. 1: Composition chimique et minéralogique du clinker .....	6
Tableau I. 2: Les différents types de ciment courants .....	7
Tableau II. 1: Caractéristiques mécaniques des fibres d’amiante .....	16
Tableau II. 2: Caractéristiques mécaniques des fibres de verre .....	17
Tableau II. 3: Propriétés mécaniques des fibres de carbone .....	18
Tableau II. 4: Propriétés mécaniques des fibres de polymère .....	19
Tableau II. 5: Facteur d’élancement.....	21
Tableau III. 1: Compositions chimique et les propriétés physique de ciment, fumé de silice et cendres volantes. .....	25
Tableau III. 3 : Composition chimique et minéralogique du clinker.....	37
Tableau III. 4: Propriétés physiques du ciment.....	37
Tableau III. 5: Résistances mécaniques du ciment (bars).....	37
Tableau III. 6: Composition chimique de l’eau.....	37
Tableau III. 7: Caractéristiques du fluidifiant.....	38
Tableau III. 8: Caractéristiques géométriques.....	38
Tableau III. 9: Caractéristiques physiques .....	38
Tableau III. 10: Description des renforts.....	38
Tableau III. 11: Composition du mortier (pour 1 m <sup>3</sup> ).....	39
Tableau III. 12 : Maniabilité, air occlus, densité.....	39
Tableau III. 13: Résistances à la compression à 7 et 28 jours.....	39
Tableau III. 14: Résistances à la traction à 7 et 28 jours.....	40
Tableau III. 15: Résultats des essais mécaniques en flexion (Âge de chargement 7 jours ; poutrelles (10x10x120) cm <sup>3</sup> E/C = 0,42 ; 1% de fibres.....	42
Tableau IV. 1: Composition chimique ciment CEM II/A 42.5.....	46
Tableau IV. 2 : Caractéristiques minéralogiques de ciment.....	46

Tableau IV. 3: Caractéristiques physiques du ciment CEM II/A 42.5 .....	47
Tableau IV. 4: Les résultats d'analyse granulométrique de sable 0/3 .....	48
Tableau IV. 5 : Les valeurs d'équivalent de sable indiquant la nature et qualité du sable .....	50
Tableau IV. 6: Caractéristiques physico-chimiques du super plastifiant SIKA VISCOCRET 665 .....	51
Tableau IV. 7: caractéristique et propriétés des fibres. ....	51
Tableau IV. 8 : Composition massique des variantes étudiées.....	54
Tableau IV. 9: Les masses volumiques des différentes variantes en fonction des âges.....	57
Tableau IV. 10: Les résistances en flexion trois points des variantes étudiées en fonction du temps.....	58
Tableau IV. 11: Les résistances en compression des variantes étudiées en fonction du temps.....	59

# **Introduction générale**

## **Introduction générale**

Le béton et le mortier sont les matériaux les plus utilisés dans la construction, mais, ils résistent mal à la traction et à la fissuration. Le renforcement des bétons et des mortiers par des fibres peut offrir des solutions techniques pour l'amélioration des performances mécaniques.

Devant l'évolution des matériaux composites, le béton et le mortier ne font pas l'exception, les chercheurs et les producteurs de fibres ont pensé à l'incorporation des fibres comme matériau de renfort dans les matrices cimentaires. Depuis, utilisation dans le béton est devenue de plus en plus une pratique courante.

Des applications sont développées grâce à la capacité prouvée par l'expérience de ces nouveaux composites, à limiter et à contrôler la fissuration sous sollicitations mécaniques et à améliorer la résistance à la flexion et au choc.

Plusieurs types des fibres sont utilisés dans le renforcement des bétons et des mortiers, notamment : les fibres d'acier, de verre, de polymère, de carbone et végétales etc.

Les fibres présentent des caractéristiques géométriques et mécaniques intéressantes selon leur nature. Chacune a une influence particulière sur les lois de comportement mécanique du béton et de mortier, ce qui se traduit par des applications adaptées et spécifiques.

L'objectif de notre travail est de faire une étude comparative sur des mortiers à base de différents types de fibres telles que : les fibres métalliques et les fibres de verre dont les pourcentages varient de 0,5 %, 1 %, et 2 % pour chaque, et mortier témoin fibre afin de connaître l'influence du taux de fibre (métallique et verre) sur les propriétés physico-mécaniques des mortiers fibrés.

Notre travail est divisé en deux parties :

La première partie, est une étude bibliographique qui est divisée en trois chapitres :

- **Chapitre I** : les mortiers.
- **Chapitre II** : les fibres dans les matériaux.
- **Chapitre III** : étude bibliographique.

La deuxième partie, est consacrée pour l'étude expérimentale :

- **Chapitre IV** : résultats et discussions.

On terminera ce travail par une conclusion générale.

# **Chapitre I : Les Mortiers**

### **I.1. Les mortiers**

Dans toute construction, il est indispensable de réunir entre eux les différents éléments (blocs de béton, briques, éléments en béton préfabriqué, etc.) au moyen d'un mortier de ciment ou d'autre liant qui a pour but de :

- solidariser les éléments entre eux.
- assurer la stabilité de l'ouvrage.
- comblent les interstices entre les blocs de construction.

Le mortier est obtenu par le mélange d'un liant (chaux ou ciment), de sable, d'eau et éventuellement d'additions. Des compositions multiples de mortier peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau.

En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables ; leur choix et le dosage sont fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement.

La durée de malaxage doit être optimum, afin d'obtenir un mélange homogène et régulier.

Les mortiers peuvent être :

- Préparés sur le chantier en dosant et en mélangeant les différents constituants y compris les adjuvants.
- Préparés sur le chantier à partir de mortiers industriels secs prédosés et avant l'utilisation, il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire.
- Livrés par une centrale : ce sont des mortiers prêts à l'emploi.

Les mortiers industriels se sont beaucoup développés ces dernières années, permettant d'éviter le stockage et le mélange des constituants sur des chantiers.

### **I.2. Compositions**

Les mortiers sont constitués par des mélanges de :

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

#### **I.2.1. Les liants**

On utilise généralement des liants hydrauliques qui peuvent être le ciment, cette dernière est une matière pulvérulente à base de silicate et d'aluminate, et de la chaux obtenue par la cuisson [2].

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.

### **I.2.1. 1. Le ciment**

Est un liant hydraulique constitué de poudre minérale. Il réagit avec l'eau en donnant des hydrates stables qui lui confèrent une résistance mécanique. Les réactions d'hydratation du ciment conduisent à la formation d'une pâte durcissant progressivement à l'air ou dans l'eau [3].

Le ciment est la partie « noble » du béton, c'est son développement qui a rendu possible la construction en béton. Il constitue aussi, dans la plupart des bétons, le matériau le plus coûteux.

Son rôle est en fait celui d'une (colle à cailloux) [4].



**Figure I. 1:** Le ciment.

#### **I.2.1.1.1. Les Constituants du ciment**

##### **I.2.1.1.1.1. Clinker**

C'est un produit obtenu par cuisson jusqu'à fusion partielle (clinkirisation) du mélange calcaire + argile, dosé et homogénéisé et comprenant principalement de la chaux (CaO) de la silice (SiO<sub>2</sub>) et de l'alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Le mélange est en général constitué à l'aide de produits naturels de carrière (calcaire, argile, marne..). C'est le clinker qui, par broyage, en présence d'un peu de sulfate de chaux (gypse) jouant le rôle de régulateur, donne des Portland [5].

Les éléments simples (CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) se combinent pour donner les constituants minéraux suivants (Figure (I.2)).

- Silicate tricalcique (C<sub>3</sub>S) : 3CaO.SiO<sub>2</sub> (Alite).

- Silicate bicalcique (C<sub>2</sub>S) : 2CaO.SiO<sub>2</sub> (Belite).
- Aluminate tricalcique (C<sub>3</sub>A) : 3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- Ferroaluminate calcique (C<sub>4</sub>AF): 4CaO .Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> .Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Célite).

**Tableau I. 1:** Composition chimique et minéralogique du clinker [6].

<b>Composants Minéralogiques</b>	<b>Teneurs limites (%)</b>	<b>Teneur moyenne (%)</b>
<b>C<sub>3</sub>S</b>	<b>40-70</b>	<b>60</b>
<b>C<sub>2</sub>S</b>	<b>00-30</b>	<b>15</b>
<b>C<sub>3</sub>A</b>	<b>02-15</b>	<b>08</b>
<b>C<sub>4</sub>AF</b>	<b>00-15</b>	<b>08</b>
<b>Oxydes</b>	<b>/</b>	<b>/</b>
<b>CaO</b>	<b>60-69</b>	<b>65</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>18-24</b>	<b>21</b>
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>04-08</b>	<b>06</b>
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>01-08</b>	<b>03</b>
<b>MgO</b>	<b>&lt;05</b>	<b>02</b>
<b>K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>&lt;02</b>	<b>01</b>
<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>&lt;03</b>	<b>01</b>

#### **I.2.1.1.1.2. Le gypse (CaSO<sub>4</sub>)**

L'addition de gypse au clinker a pour but de régulariser la prise du ciment, notamment de ceux qui contiennent des proportions importantes d'aluminate tricalcique. Grâce à ce gypse, la prise du ciment, c'est-à-dire le début de son durcissement, s'effectue au plus tôt une demi-heure après le début de l'hydratation. Sans gypse, la prise serait irrégulière et pourrait intervenir trop rapidement.

#### **I.2.1.1.2. Classification des ciments courants**

Selon que des constituants, autres que le gypse, sont ou non ajoutés au clinker lors la norme **NF EN 197 1**. Le tableau (I.2) ci –dessous donne la liste des différents types des ciments courants normalisés avec indication, pour chacun d’eux, de leur désignation propre et des pourcentages respectifs de constituants qu’ils comportent aérations de fabrication, on obtient les différents types de ciments définis par la norme.

Tableau I. 2: Les différents types de ciment courants [7].

Désignations	Types de Ciments	Teneur en clinker	Teneur en% de l'un de constituants suivant : laitier pouzzolanes-cendres-calcaires-schistes-fumées de silice	Teneur en constituants secondaires (filler)
<b>CPA-CEMI</b>	Ciment portland	95 à 100%		0 à 5%
<b>CPJ-CEMII/A</b>	Ciment portland Composé	80 à 94%	-de 6 à 20 % de l'un quelconque des constituants, sauf dans les cas où les constituant est des fumées de silice auquel cas la proportion est limitée à 10%	0 à 5%
<b>CPJ-CEMII/B</b>		65 à 79%	-de 21 à 35 % avec les mêmes restrictions que ci-dessus.	0 à 5%
<b>CHF-CEMIII/A</b>	Ciment de haut fourneau	35 à 64%	35 à 65 % de laitier de haut fourneau	0 à 5%
<b>CHF-CEMIII/B</b>		20 à 34%	-66 à 80 % de laitier de haut fourneau	0 à 5%
<b>CLK-CEMIII/C</b>		5 à 19%	-81 à 95% de laitier de haut fourneau	0 à 5%
<b>CPZ-CEMIV/A</b>	Ciment pouzzolanique	65 à 90%	-10 à 35 %de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces dernières étant limitées à10%.	0 à 5%
<b>CPZ-CEMIV/B</b>		45 à 64%	-36 à 55 %comme ci-dessus	0 à 5%
<b>CLC-CEM V/A</b>	Ciment au laitier et aux cendres	40 à 64%	18 à 30 % de laitier de haut fourneau et 18 à 30% de cendres siliceuses ou de pouzzolanes.	0 à 5%
<b>CLC-CEM V/B</b>		20 à 39%	-31 à 50 % de chacun des 2 constituants comme ci-dessus	0 à 5%

### I.2.2. Les sables

#### ➤ Pour mortier normale

Les sables utilisés sont les sables appelés “sable normalisé”. Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important : Ils réduisent les variations volumiques, les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide.

Généralement les sables peuvent être :

- Naturels roulés (de rivières, de sablières, de plage..), de nature siliceuse ou silico-calcaire;
- Naturels concassés (roches de carrières), comme des basaltes, porphyres, quartzites. Ils sont anguleux et durs.
- Spéciaux (lourds, réfractaires, légers):
- Sable de laitier.
- Sable d'oxydes de fer, de chromite.
- Sable de briques concassés ; etc

Le diamètre maximum des grains de sable utilisés pour les mortiers est :

- Extra-fins : jusqu'à 0,8 mm (en tamis), soit 1 mm (en passoire).
- Fins : jusqu'à 1,6 mm.
- Moyens : jusqu'à 3,15 mm.
- Gros : jusqu'à 5 mm.

### **I.2.3. Les adjuvants**

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons. Ils modifient les propriétés des bétons et 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 etc.

### **I.2.4. 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.2.5. L'eau de gâchage**

L'eau joue un rôle important, elle sert à hydrater le ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier, ainsi elle contribue à son ouvrabilité. L'eau doit être propre ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis). L'eau potable convient toujours le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé, Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers et des bétons sont précisées dans la norme **NA-**

**442.** Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale [8].

### **I.3. Classification des mortiers**

#### **I.3.1. Selon leur domaine d'utilisation**

Généralement les mortiers varient selon leur domaine d'application, on peut citer les catégories suivantes :

- Mortier de pose.
- Mortier de joints.
- Mortier pour les crépis.
- Mortier pour le sol.
- Mortier pour les stucs.
- Pierres artificielles.
- Support pour les peintures murales.
- Mortier d'injection.
- Mortier pour les mosaïques.
- Mortier de réparation pour pierres [9].

#### **I.3.2. Selon la nature du liant**

On peut classer les mortiers selon la nature du liant en :

##### ➤ **Mortier de ciment portland**

Le ciment portland donne au mortier de maçonnerie sa résistance mécanique, en particulier la résistance initiale, qui est indispensable à une époque où la vitesse de construction est telle que l'on exige qu'un mur puisse supporter une charge importante le lendemain même de sa construction. Les mortiers de ciment portland manquent de plasticité, ont un faible pouvoir de rétention d'eau et sont difficiles à travailler. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1,3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 0,35. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables [9].

##### ➤ **Mortier de chaux**

C'est le composant traditionnel du mortier, il possède une plasticité et un pouvoir de rétention d'eau excellent, mais sa résistance mécanique est faible et sa cure est lente. La chaux grasse, obtenue par extinction de la chaux vive en la laissant vieillir, est le produit de qualité que l'on devrait utiliser, mais le vieillissement prend beaucoup de temps et le travail de la chaux grasse est très salissant. C'est pourquoi il est plus pratique d'utiliser la chaux hydratée sèche. La cure des mortiers de chaux s'effectue lentement par carbonatation sous l'effet du gaz carbonique de l'air; ce processus peut être fortement ralenti par un temps froid et humide [9].

➤ **Mortiers bâtards**

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux, dans les proportions égales, suivant leur domaine d'utilisation éventuelle, les compositions de chaux et ciment peuvent être variées [9].

➤ **Mortier à base de ciment de maçonnerie**

C'est un produit déposé contenant du ciment portland et un filler minéral inerte (calcaire) et des adjuvants tels que des agents mouillants, des agents hydrofuges et des entraîneurs d'air, les adjuvants donnent la plasticité et le pouvoir de rétention d'eau que confère la chaux aux mortiers de ciment. Certains ciments de maçonnerie sont des mélanges de ciment portland et de chaux hydratée, avec des adjuvants [9].

➤ **Les Mortier réfractaire**

Il est fabriqué avec du ciment fondu, qui résiste à des températures élevées. Il est utilisé pour la construction des cheminées et barbecues [10].

➤ **Les Mortier rapide**

Il est fabriqué avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les scellements [10].

➤ **Les Mortier industriel**

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortier, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins:

- Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié.
- Mortiers d'imperméabilisation.
- Mortier d'isolation thermique.
- Mortier de jointoiement.
- Mortier de ragréage.
- Mortier de scellement, mortier pour chapes.
- Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment.
- Mortier de réparation [10].

#### **I.4. Classes des mortiers**

- **Classe 1:** Adjuvant modifiant les caractéristiques des mortiers, bétons et coulis à l'état frais.
- **Classe 2:** Adjuvant modifiant les caractéristiques des mortiers, bétons et coulis pendant la prise et le durcissement.
- **Classe 3:** Adjuvant modifiant la teneur en air ou en autre gaz.
- **Classe 4:** Adjuvant modifiant la résistance des mortiers, bétons et coulis.

- **Classe 5:** Adjuvant améliorant la durabilité des mortiers, bétons et coulis.
- **Classe 6:** Adjuvant modifiant des propriétés spéciales [11].

### I.5. Les caractéristiques principales des mortiers [1]

Sont :

- ouvrabilité.
- prise.
- résistances mécaniques.
- retraits et gonflements, etc.

#### I.5.1. Ouvrabilité

L'ouvrabilité d'un mortier se mesure à l'aide de divers appareils. Les plus connus sont:

##### I.5.1.1. La table à secousses

Le mortier, après avoir été mis en place et démoulé d'un moule tronconique, reçoit 15 chocs en 15 secondes. On mesure le diamètre de la galette ainsi obtenue. L'étalement en % est donné par la formule:

Avec  $D_f$  = diamètre final et  $D_i$  = diamètre initial.

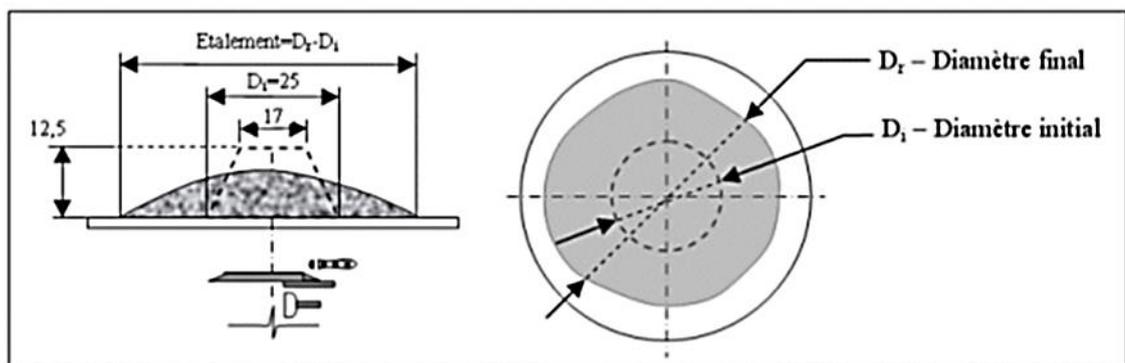


Figure I. 2: Table à secousses [1]

##### I.5.1.2. Le maniabilimètre du LCPC

Il est constitué d'un moule parallélépipédique comportant une paroi mobile et un vibreur. Le principe de l'essai consiste, après avoir enlevé la paroi mobile, à mesurer le temps mis par le mortier sous vibrations pour atteindre un repère gravé sur la face intérieure du moule.

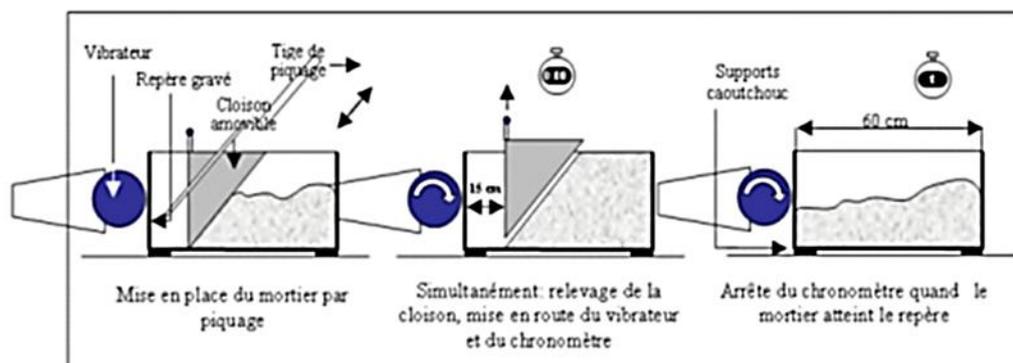


Figure I. 3: Principe de fonctionnement du maniabilimètre [1]

### **I.5.1.3. Le cône**

Dans le cas d'un mortier fluide, on peut mesurer le temps d'écoulement d'une certaine quantité de mortier au travers d'un ajustage calibré situé à la partie inférieure d'un cône. Le cône peut aussi être muni d'un vibreur.

### **I.5.2. Prise**

Le temps de prise se mesure habituellement sur une pâte pure de ciment de consistance normale (24 à 30 % d'eau) et conformément à la norme concernée (à l'aide de l'appareil de Vicat). Il est possible d'obtenir (hors norme) le temps de prise d'un mortier avec le même appareillage mais en plaçant une surcharge de 700 grammes sur le plateau supérieur.

Le poids de l'aiguille pénétrant dans le mortier est de 1000 grammes.

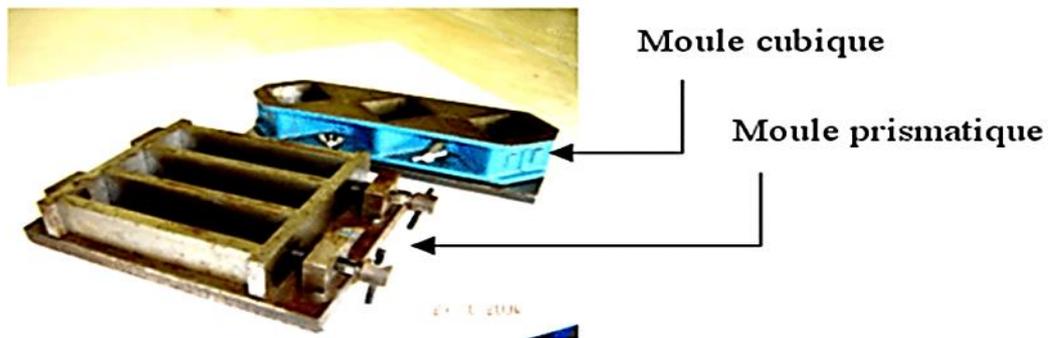
Le début de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à  $5 \pm 1$  mm du fond (taille des plus gros grains de sable) et la fin de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 0,5 mm du niveau supérieur.



**Figure I. 4:** l'appareil Vicat.

### **I.5.3. Résistances mécaniques**

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de  $(4 \times 4 \times 16)$  cm<sup>3</sup> conservées dans l'eau à 20 °C.



**Figure I. 5 :** Moule pour moulage des éprouvettes de mortier

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 (comme dans le cas des bétons) dépendent de très nombreux facteurs :

- Nature et dosage en ciment.
- Rapport E/C.
- Granulométrie et nature du sable.
- Energie de malaxage et mise en œuvre.
- Protection les tous premiers jours.

### **I.5.4. Retraits et gonflements**

Les retraites se mesurent sur des prismes ( $4 \times 4 \times 16$ )  $\text{cm}^3$  en mortier 1/3, munis de plots à leurs extrémités et conservés, après démoulage, dans une enceinte à 20 °C et à 90 % d'humidité relative. Ce retrait progresse à peu près comme le logarithme entre 1 et 28 jours.

Le mortier prend son retrait plus rapidement que la pâte pure. Le rapport du retrait de la pâte pure sur le retrait du mortier croît avec le temps. Il est de l'ordre de 1,5 à 2,5 les premiers jours, puis augmente pour atteindre 2,5 à 3,5 en un an. En moyenne, le retrait sur mortier est 2 à 3 fois plus faible que celui de la pâte pure (avec le même ciment).

Le gonflement des mortiers (qui se produisent lorsqu'ils sont conservés dans l'eau) se mesure sur les mêmes éprouvettes de  $4 \times 4 \times 16$   $\text{cm}^3$  conservées dans l'eau à 20 °C. Ils sont en général assez faibles (cas de ciment stable ayant une expansion aux aiguilles de le Chatelier inférieure sur pâte pure à 10 mm).

### **I.6. Conclusion**

Le mortier est composé essentiellement de sable, liant et eau, ses caractéristiques sont intimement liées à la qualité de ses composés, notamment les conditions de préparation et l'environnement, néanmoins l'amélioration des propriétés physicomécaniques des mortiers telle que la résistance à la flexion préoccupe les spécialistes, qui œuvrent dans plusieurs pistes afin d'atteindre les objectifs escomptés, parmi les techniques retenues, c'est celle de recourir au renforcement de ses derniers par les fibres issues de plusieurs natures.

## **Chapitre II : Les fibres dans les matériaux**

## **II.1. Introduction**

Le renforcement des matériaux de construction, en l'occurrence les bétons et les mortiers, par des fibres est une technique de plus en plus utilisée dans le but d'améliorer leurs performances mécaniques, notamment leurs résistances à la traction, flexion et à la fissuration ainsi que la ductilité.

Le mortier et le béton de fibres est un matériau qui a connu ces derniers temps beaucoup de développements et nombreuses sont les études qui ont été effectuées durant les trois dernières décennies. Des fibres de toutes natures ont été expérimentées. Les plus répandues sont les fibres d'amiantes, de verre, d'acier, de plastique, de carbone et végétales.

## **II.2. Définition des fibres**

Le terme fibre se rapporte à un corps solide flexible. La fibre est un composant filiforme (rapport longueur /diamètres est très élevé : (25-1500) de faible longueur (5- 60mm) et dont l'épaisseur est comprise entre (0,005-0,75) mm les fibres sont disponibles sous différentes formes (rondes, plates, gaufrées) d'origine minérale, organique ou métallique, les fibres sont courtes et dispersées dans toute la masse de béton [12].

## **II.3. Différentes nature de fibres**

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

### **II.3.1. Fibres naturelle**

#### **II.3.1.1. Fibres végétales**

La principale fibre végétale est la cellulose qui résiste aux alcalis. Les fibres végétales résistent aussi à la plupart des acides organiques mais sont détruites par les acides minéraux forts. Il existe quatre sortes de fibres végétales : les fibres provenant des poils, les fibres du liber, et les fibres extraites des troncs de certaines graminées. Elles sont souvent utilisées dans la fabrication du papier et dans les panneaux de construction (fibres de bois) [13].

#### **II.3.1.2. Fibres animale**

Les fibres animales sont composées principalement de protéines. La kératine constitue les poils (dont les laines en tout genre) et les plumes. La soie est une sécrétion de fibroïne produite par le ver à soie, chenille d'un papillon du genre bombyx et les araignées. La laine et les plumes sont des très bons isolants pour la construction.

**II.3.2. Fibres minérales**

**II.3.2.1. Fibres d'amiante**

Ces fibres sont considérées comme les renforcements les plus anciens des matrices cimentaires et aussi pour la confection de tissus résistants aux feux.

Elles sont en fait, des bâchettes de micro- fibres extrêmement fines, difficilement fusibles (vers 1500°C) et ont l'avantage d'être inattaquables par les ciments. Elles possèdent une excellente tenue au feu, une bonne résistance à la traction et un module d'élasticité élevé. Elles sont aussi plus résistantes aux agressions chimiques et aux microorganismes, ainsi que leur résistance électrique élevée. Les fibres d'amiante sont utilisées dans les applications suivantes : voiles, tuyaux, panneaux, matériaux d'isolation thermique et protection contre le feu, tuyaux d'égout, plaques de toitures plates et ondulées, revêtements de mur [14].



**Figure II. 1:** Vue microscopique de fibres d'amiante [14]

**Tableau II. 1:** Caractéristiques mécaniques des fibres d'amiante [14].

Type de fibre	Amiante
Diamètre (mm)	0.0002 - 0.002
Longueur (mm)	5
Masse Volumique (g/cm <sup>3</sup> )	2.6 – 3
Résistance à la reptur S <sub>fu</sub> (MPa)	100 – 300
Module de Young E (GPa)	80 – 150

**II.3.2.2. Fibres de verre**

Ces fibres sont fabriquées à partir de verre fondu qui passe dans une filière, chauffé par effet Joule, qui comporte 50 à 800 trous d'un diamètre de l'ordre de 10 à 100µm. Elles sont disponibles dans le commerce sous forme de bobines (découpage à la demande) ou sous forme de morceaux prédécoupés de 3, 6, 12, et 50 mm de long. Ils sont regroupés en trois

## Chapitre II : Les fibres dans les matériaux

types : La fibre de verre classique (silice, soude, chaux), la fibre de verre au zirconium et la fibre de verre au borosilicate. Ces fibres sont généralement caractérisées par les propriétés suivantes :

- Bonne adhérence avec la matrice ;
- Disponibilité sous toutes les formes (coupées, continues ...) ;
- Bonne résistance à l'humidité et à la corrosion ;
- Conductivité thermique relativement faible [14].



Figure II. 2: Fibre de verre [14].

Tableau II. 2: Caractéristiques mécaniques des fibres de verre [14].

Type de verre	E	R	S
Résistance à la rupture $S_{fu}$ (MPa)	3400	4400	4900
Module de Young E (GPa)	73	86	87
Masse volumique ( $g/cm^3$ )	2.54	2.55	2.54

### II.3.2.3. Fibres de carbone

Le carbone est très dispendieux ce qui le rend beaucoup moins populaire que le verre moins disponible sur le marché, les fibres de carbone sont cependant reconnues comme étant les fibres les plus performantes.

Les types de fibres de carbone sont classés selon leurs propriétés mécaniques. Ces propriétés dépendent des cycles de pyrolyse ainsi que de la nature du précurseur. On distingue deux types de fibres divisés en quatre grandes classes de fibres.

- les types hauts modules soient les classes UHM (Ultra Haut Module) et HM (Haut Module),
- les types hautes résistances soient les classes I THR ou VHS (Très haute résistance ou very high strength) et HR ou HS (haute résistance ou high strength).

## Chapitre II : Les fibres dans les matériaux

Les fibres de carbone sont très fragiles ce qui rend l'opération de malaxage du béton de ces fibres très difficile. Pour cela, elles sont ajoutées par la suite au béton par projection. Par ailleurs, le béton de ces fibres présente des caractéristiques de durabilité très intéressantes [15].

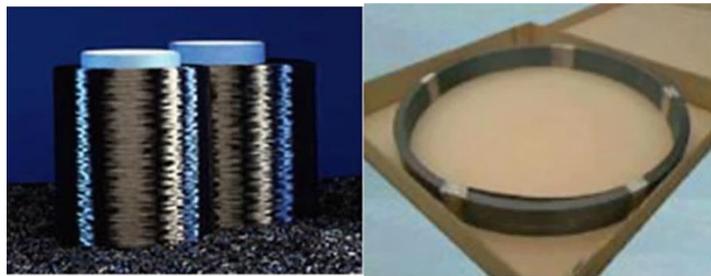


Figure II. 3: Fibres de carbone [15].

Tableau II. 3: Propriétés mécaniques des fibres de carbone [15]

Type de Carbone	H.R	H.M
Diamètre D (mm)	8	8
Masse Volumique (g/cm <sup>3</sup> )	1.75	1.81
Résistance à la rupture Sfu (MPa)	3000-5000	2800
Module de Young E (GPa)	220	400

### II.3.3.Fibres organique

Les fibres de polymères sont d'origine plastique, on distingue trois familles principales de ces fibres à savoir [15]:

- Le polyamide qui représente la famille la plus importante des plastiques par leur tonnage. Le PA résiste mal aux acides minéraux.
- Le polychlorure de vinyle (PVC), est une matière thermoplastique obtenue par polymérisation du chlorure de vinyle. Le PVC résiste bien aux acides et aux alcalis.
- Le polypropylène (PP), est un thermoplastique formé de chaîne linéaire constitué de motifs propylènes dans le cas d'un homopolymère et d'une altération contrôlée de motifs propylène et éthylène dans les copolymères. Le PP résiste bien aux alcalis et aux acides.



Figure II. 4: Les fibres de polypropylènes.

Le module de Young de ces fibres est de même ordre de grandeur que celui du béton.

L'adhérence fibre-béton est généralement faible, du fait qu'il n'y a aucune liaison chimique possible entre les fibres et la matrice, ce qui limite la reprise des efforts par les fibres à l'interface fibre-matrice après la fissuration de la matrice.

Par contre, il faut noter l'excellente résistance de ces fibres (PVC, PP) vis-à-vis aux acides, aux sels et alcalins du béton [15].

De ce fait, des études menées sur des bétons renforcés par ce type de fibres ont montrés que ce matériau composite présentait des propriétés mécaniques comparables à celle d'un béton renforcé par des fibres de verre [15].

**Tableau II. 4:** Propriétés mécaniques des fibres de polymère [16].

Type de Polymère	Référence	Module d'élasticité E (GPA)	Contrainte à la traction (MPa)
PA6.6	Rhône-Poulenc A218	3	90
PVC	PVC rigide de Solvay	2.5	50
PP	RY6100 de Shell	5	40

#### **II.3.4. Fibres Métallique**

Ce type de fibres, qui regroupe les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, ont été et reste encore l'objet de recherches très importantes dans le monde.

Dans la présente étude, nous nous sommes intéressé à la fibre métallique (acier), vue les caractéristiques (forme, élancement, caractéristiques physicochimique... etc.) qu'elles présentent.

L'ajout des fibres au béton, apporte une certaine ductilité ; pour une longueur de fibres égale à 30 mm et un pourcentage en fibres de 1%, le résultat est meilleur avec les fibres en copeaux.

Cependant, en ce qui concerne l'énergie de rupture, elle est plus importante dans le cas des éprouvettes armées de fibres Dramix (pour  $L_f=50\text{mm}$ ). Ceci peut s'expliquer par le fait que ces fibres présentent un système d'ancrage, elles sont munies de crochets aux extrémités. L'adhérence fibres-matrice (béton) est ainsi meilleure.

Il existe sur le marché, une panoplie de fibres métalliques d'acier, voici quelques types de fibres :

- Fibres ondulées - crantées - torsadées-droites.
- Fils, rubans.
- Fibres à extrémités aplaties, à crochets, à têtes coniques, etc. [17]



**Figure II. 5:** Différentes formes de fibres métalliques [17].

#### **II.3.4.1. Les Fibres d'acier**

Les fibres d'acier restent parmi les fibres les plus utilisées dans le renforcement des bétons ou mortiers. En effet, ces fibres présentent une bonne résistance à la traction et un module d'élasticité très élevé [18].

### **II.4. Propriétés des fibres**

#### **II.4.1. La notion de fibres structurales**

La notion de fibres structurales n'est applicable qu'à certains types de fibres métalliques pour lesquelles les résistances résiduelles s'apparentent à l'action structurale des armatures traditionnelles. Il est important de réaliser que le terme « fibre structurale » est inapplicable à la plupart des types de fibres.

Il est à noter que les applications de dalles sur sol ne sont pas considérées comme étant structurales. Les fibres métalliques et les macros fibres synthétiques peuvent être utilisées en concentration nécessaire pour satisfaire aux spécifications du devis [19].

#### **II.4.2. Le facteur d'élanement**

Le facteur d'élanement est défini par un ratio géométrique. Le facteur d'élanement est donc le ratio qui représente le rapport de la longueur sur le diamètre équivalent de la fibre. Le tableau 4-2 indique des valeurs de ratio pour certains types de fibres.

Le lien entre la matrice du béton et la fibre augmente proportionnellement avec le facteur d'élanement. Par contre, les fibres avec un facteur d'élanement supérieur à 60 et dotées d'une géométrie particulière sont potentiellement susceptibles de former des « oursins » [19].

**Tableau II. 5:** Facteur d'élanement. [19].

<b>Types de fibres</b>	<b>Elancement (L/D)</b>
<b>Macro synthétiques</b>	<b>50-100</b>
<b>Métalliques</b>	<b>25-100</b>
<b>Fonte amorphe</b>	<b>1200-1400</b>
<b>Polypropylène</b>	<b>140-1700</b>
<b>Carbone</b>	<b>150-400</b>

### **II.4.3. La performance**

La performance des fibres est directement reliée à la valeur de résistance résiduelle qu'il est possible d'obtenir pour une formulation donnée d'un béton. La performance des fibres est évaluée selon différentes normes japonaises et américaines [19].

### **II.4.4. La valeur de résistance résiduelle**

Les fibres dans le béton apportent une meilleure résistance aux déformations en flexion des ouvrages de béton soumis à des charges. C'est lorsque apparaît la première fissure que les fibres sont sollicitées et qu'il est possible de déterminer une valeur de résistance résiduelle.

Effectivement, les fibres apportent une meilleure cohésion et résistance intrinsèque de la matrice et augmentent ainsi la résistance à la propagation et à l'augmentation de la fissuration.

Les fibres permettent une reprise de charge en post-fissuration.

Il existe trois méthodes d'essais de référence qui donnent des valeurs différentes pour la détermination de la résistance résiduelle :

- ASTM C1018 : détermine le facteur de résistance résiduelle.
- ASTM C1399 : détermine la résistance résiduelle moyenne.
- JCI SF-4 : détermine la résistance résiduelle équivalente.

L'essai JCI SF-4 est le plus utilisé pour les méthodes de conception [19].

### **II.4.5. La distribution des contraintes mécaniques**

Un des principaux avantages de l'ajout des fibres est le meilleur contrôle de la post fissuration du béton. Les fibres ont la particularité d'absorber l'énergie de fissuration et de redistribuer les contraintes mécaniques dans la matrice du béton.

La répartition des fibres dans la masse du béton permet de différer la rupture fragile du béton en s'opposant à la propagation des microfissures (figure II.6), Selon les fibres utilisées et les ouvrages auxquels elles sont incorporées, ce rôle se traduit par des améliorations en post-fissuration relatives à :

- La résistance à la traction.

- La résistance aux impacts.
- La résistance à la fatigue.
- La résistance à l'abrasion.
- La réduction des fissures de retrait.



**Figure II. 6:** Essais de l'ASTM C 1018 [19].

#### **II.4.6. La résistance à l'abrasion**

L'essai de résistance à l'abrasion s'effectue selon les normes **ASTM C 418 et C 779**.

Un article de la revue « Concrete Technology Today » de l'Association Canadienne du Ciment explique la résistance à l'abrasion de la manière suivante :

Les informations sur la résistance à l'abrasion du béton fibré sont rares et conflictuelles. Selon les valeurs disponibles, lorsque l'érosion est provoquée par la cavitation et par l'action abrasive d'un fort débit d'eau ou à l'impact de larges débris, c'est alors que le béton fibré améliore la résistance à l'abrasion. Par contre, pour une érosion de basse vitesse, c'est plutôt la propriété de la matrice et des granulats que celle de l'utilisation de fibres qui détermine la résistance à l'abrasion.

De la même façon, c'est également la propriété de la matrice qui détermine la résistance à l'usure pour le pavage et les dalles sur sol [19].

#### **II.4.7. Les propriétés spécifiques à chaque type de fibres**

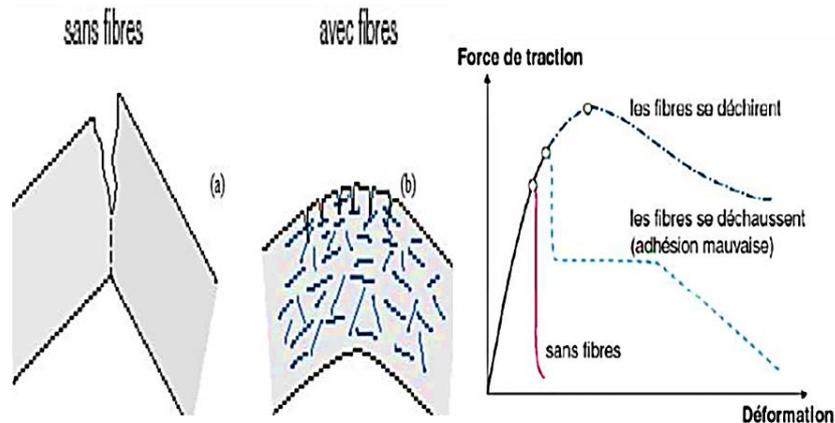
Les fibres ont un rôle qui se traduit par des résultats variables, donc des applications différentes en fonction de leur nature. Pour apprécier l'apport des fibres au béton et leur influence sur ses lois de comportement, il importe de connaître leurs caractéristiques, aussi bien géométriques que mécaniques.

Selon leur type, les fibres métalliques, synthétiques ou naturelles ont une influence différente sur les propriétés du béton durci.

Le type de liant utilisé dans le béton, la géométrie et la composition des fibres, ainsi que leur orientation, leur distribution et leur densité à travers le béton, sont des facteurs qui influencent les propriétés du béton frais et durci [19].

## II.5. Rôle des fibres

Au début, les chercheurs ont essayé, par l'addition de fibres, d'augmenter les caractéristiques mécaniques du béton ou de mortier comme la résistance à la compression et la résistance à la flexion, mais le résultat obtenu était limité. Ils n'ont constaté que le rôle principal des fibres dans un matériau cimentaire peut-être apprécié sous deux volets :



**Figure II. 7 :** Illustration de l'apport du renfort par des fibres.

- Le contrôle de la propagation d'une fissure dans un matériau en état de service en réduisant l'ouverture des fissures.
- Transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes.
- 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.
- l'amélioration de la tenue au feu et de la résistance aux chocs, à la fatigue, à l'usure, et à l'abrasion [20].

## II.6. Conclusion

L'utilisation des fibres comme renfort dans les matériaux est largement applicable, vue l'amélioration des propriétés techniques de ses derniers notamment la résistance à la flexion, par leurs rôles de renforcement et la limitation du phénomène de propagation des fissures, néanmoins plusieurs aspects restent à améliorer, et à maîtriser à savoir leurs effets sur le comportement à l'état frais et leurs durabilités.

## **Chapitre III : L'étude bibliographique**

**III.1. L'étude de Dengwu Jiao et All [21]**

L'auteur dans son travail s'intéresse à l'étude des propriétés rhéologiques des mortiers renforcé par les fibres de verre, car les contraintes de cisaillement sont toujours appliquées au béton frais lors des processus de mélange et de transport, qu'ont une influence significative sur la dispersion et l'agglomération des particules de ciment.

Comme on le sait, les processus opérationnels de l'ingénierie moderne, notamment les applications du béton comprennent le mélange, le transport, le pompage, coulée de coffrage, etc. À chaque processus, le béton frais est soumis à différentes contraintes de cisaillement. Par exemple, le processus de mélange peut fournir «un état le plus délocalisé» pour le béton frais en raison de ses taux de cisaillement élevés. Le taux de cisaillement appliqué lors du transport est associé à la vitesse de rotation, au volume du tambour et à les propriétés rhéologique du béton lui-même, et sa valeur varie de 1 à 8 s<sup>-1</sup> Pour le processus de pompage, le béton frais est soumis à contrainte de cisaillement très élevée et pression élevée en même temps. Comme une conséquence, la limite d'élasticité et la teneur en air sont nettement augmentées et la viscosité du béton frais est réduite. Cependant, la seule source de contrainte de cisaillement appliquée du béton après le coulage dans le coffrage est la force gravimétrique et donc le taux de cisaillement appliqué est généralement inférieur à 0,1 s<sup>-1</sup>. Il est à noter que le taux de cisaillement connu par les pâtes de ciment dans le béton frais dépend de la nature du béton. Processus de fonctionnement, à savoir l'histoire de cisaillement, joue un rôle important dans les évolutions de la rhéologie propriétés et stabilité du béton frais dans le temps.

**III.1.1. Programme expérimental**

**III.1.1.1. Matériaux**

Le ciment utilisé ici était du ciment Portland P I 42,5 conforme aux normes chinoises.

Normes GB175-2007. Les cendres volantes et les fumées de silice ont été utilisées en complément matériaux à base de ciment. La composition chimique et les propriétés physiques du ciment, Les cendres volantes et les fumées de silice sont présentées dans le tableau III.1. La distribution granulométrique de ciment, les cendres volantes et la fumée de silice sont illustrés à la Figure III.1. Sable de quartz naturel avec une granulométrie de 2,36 mm a été utilisée sous forme d'agrégat fin. Une sorte de commercial Des fibres de verre résistant aux alcalis d'une densité de 0,91 g / cm<sup>3</sup> ont été utilisées dans cette étude. Le diamètre moyen et la longueur de la fibre de verre sont respectivement de 20 µm et 6 mm La résistance à la traction et le module élastique sont respectivement de 346 MPa et 4268 MPa .

Un adjuvant de gamme de haut réducteur d'eau à base de poly-carboxylate de type poudre (HRWRA) a été utilisé.

Tableau III. 1: Compositions chimique et les propriétés physique de ciment, fumé de silice et cendres volantes.

Types	Ciment	Cendres volantes	Fumé de silice
SiO <sub>2</sub> (%)	20,76	52,70	93,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	4,58	25,80	0,41
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	3,27	9,70	0,80
CaO (%)	62,13	3,70	0,20
MgO (%)	3,13	1,81	0,60
SO <sub>3</sub> (%)	2,8	0,80	0,39
Autres	1,47	4,33	2,59
Perte au feu	1,86	1,76	2,01
Densité (g/cm <sup>3</sup> )	3,15	2,56	2,15

Note : d'autres incluent K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, MnO, ZnO etc.

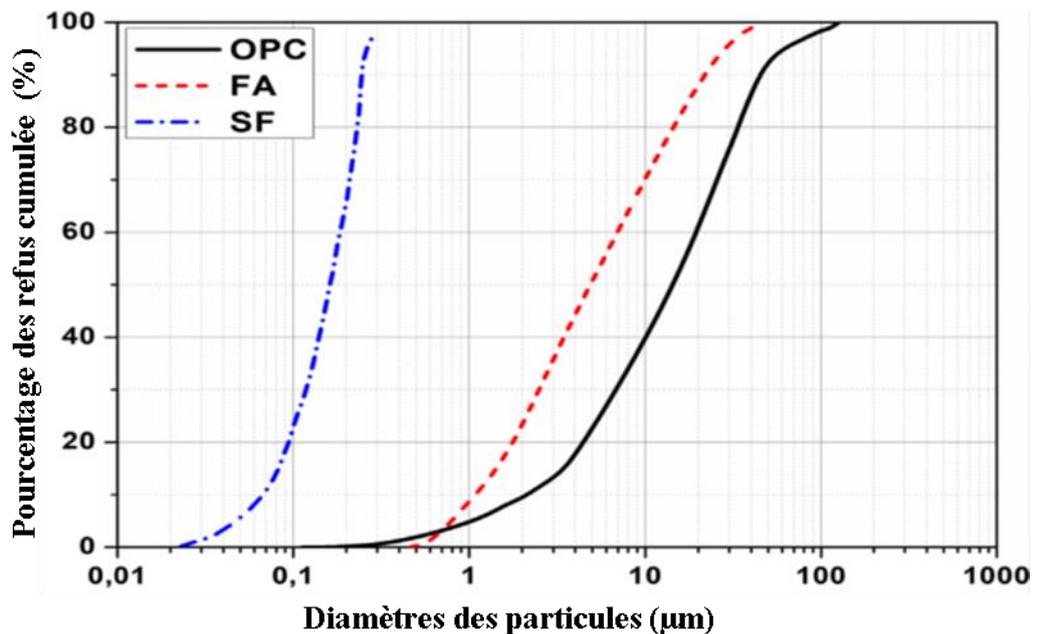


Figure III. 1: distribution granulométrique du ciment, fumé de silice et cendres volantes.

### III.1.1.2. Mode opératoire

Les matériaux à base de ciment et le sable naturel ont d'abord été ajoutés au Hobart mixé. Les éléments ont été mélangés à sec à une vitesse de rotation de 140 tr / min pendant 2 min. et la fibre de verre a été introduite progressivement au même moment. Puis les mélanges secs ont été mélangés en continu à une vitesse de rotation de 280 tours / minute pendant 5 minutes pour obtenir une répartition homogène des fibres de verre dans les échantillons. Ensuite l'eau et HRWRA ont été ajoutés dans le mélangeur et mélangés à une vitesse de rotation de 140 tr / min. pendant 1 min. Ceci a été suivi en mélangeant le mortier à une vitesse de rotation de 280 tr / min. pendant 3 min. Les propriétés rhéologiques des mortiers frais ont été mesurées à l'aide d'un rhéomètre. Le diamètre du conteneur est de 41,94 mm La surface intérieure du recepient est sablée.

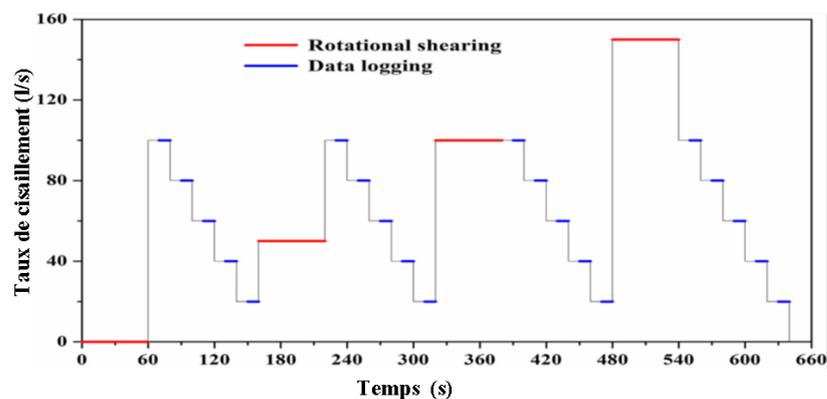
### Chapitre III : L'étude bibliographique

La géométrie de la palette à quatre pales verticales (avec la longueur et diamètre de 40.00 et 22.00 mm respectivement) a été choisie comme mesure de mesure système, ce qui pourrait réduire considérablement le phénomène de glissement. Après que le mortier ait été préparé, il a été versé dans le recepaient pour rhéologie mesure. Pour éliminer l'impact des contraintes appliquées et établir un contact complet entre échantillon et lames, le mélange a été préalablement cisailé à  $0,1 \text{ s}^{-1}$  pendant 15 s, puis mis au repos pendant 15 s. Les protocoles de test des propriétés rhéologiques sont illustrés à la figure. III.2. La procédure des tests rhéologiques consiste à cisailier le mortier en diminuant le cisaillement taux de  $100 \text{ s}^{-1}$  à  $20 \text{ s}^{-1}$  par 5 étapes. Chaque vitesse de rotation a été maintenue pendant 20 s pour assurer la décomposition de la structure, et seuls les 10 derniers ont été utilisés enregistrer les données. Ensuite, les cinq points de contrainte de cisaillement par rapport au taux de cisaillement ont été ajustés utilisant l'équation de Herschel-Bulkley (voir l'équation (1)) pour calculer les paramètres rhéologiques. La viscosité plastique (Tableau III.2), l'équivalente peut être calculée à l'aide méthode du plus petit carré dans une certaine plage de gradient, qui peut être exprimée en tant que Eq (1).

$$\tau = \tau_0 + a\gamma^b \quad (1)$$

**Tableau III. 2:** ensembles des proportions de mortiers utilisés dans cette étude

Notation	Ciment	Cendres volantes	Fumé de silice	Eau	Sable	HRWRA (Wt %)	Fibres de verre (vol %)
<b>R-F0</b>	01	/	/	00,35	01,20	00,20	00
<b>R-F0,5</b>	01	/	/	00,35	01,20	00,20	00,50
<b>SF-F0</b>	00,95	/	00,05	00,35	01,20	00,20	00
<b>SF-F0,5</b>	00,95	/	00,05	00,35	01,20	00,20	00,50
<b>FA-F0</b>	00,80	00,20	/	00,35	01,20	00,20	00
<b>FA-F0,25</b>	00,80	00,20	/	00,35	01,20	00,20	00,25
<b>FA-F0,5</b>	00,80	00,20	/	00,35	01,20	00,20	00,50
<b>FA-F0,75</b>	00,80	00,20	/	00,35	01,20	00,20	00,75
<b>FA-F1,0</b>	00,80	00,20	/	00,35	01,20	00,20	01,00



**Figure III. 2:** procédure de test des propriétés rhéologique

$$\mu = \frac{3a}{b+2} \dot{\gamma}_{\max}^{b-1}$$

$\tau_0$  est la limite d'élasticité,  $\mu$  est la viscosité plastique équivalente,  $a$  est l'indice de consistance,  $b$  est non-newtonien (rhéologique), et  $\dot{\gamma}_{\max}$  est le taux de cisaillement maximal (100 s<sup>-1</sup> dans cette étude). Le matériau présente un comportement d'amincissement par cisaillement lorsque  $b < 1$  et un épaissement par cisaillement comportement quand  $b > 1$ .

Au cours des tests rhéologiques, la température de tous les échantillons a été contrôlée à  $25 \pm 1$  °C au bain-marie. Des tests en double ont été effectués pour tous les lots. Il convient de noter que tous les processus de mesure ont été achevés dans les délais. 20 min après le premier contact de l'eau et des matériaux à base de ciment.

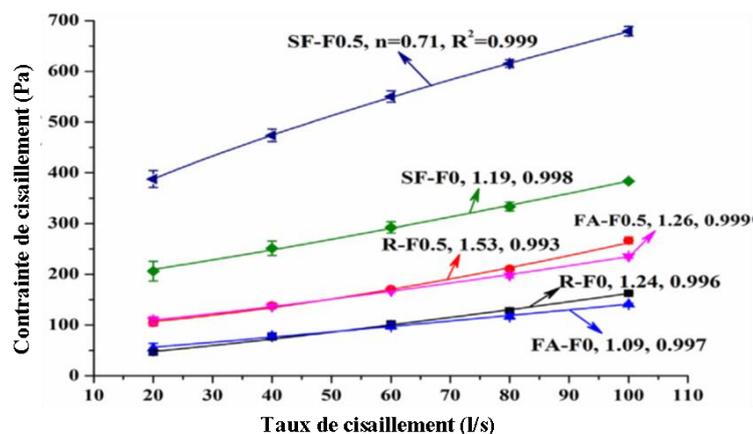
En d'autres mots, l'hydratation chimique des matériaux à base de ciment au cours de la rhéologie les tests pourraient être ignorés.

### III.1.2. Résultats et discussion

#### III.1.2.1. Propriétés rhéologiques du mortier frais

##### III.1.2.1.1. Courbes rhéologiques

Lors du test rhéologique initial, les courbes rhéologiques des mortiers avec adjuvants minéraux et fibres de verre courtes sont montrées Figure III.3. Comme prévu, les adjuvants minéraux et les inclusions de fibres de verre eu de grandes influences sur les courbes rhéologiques des mortiers frais. On peut constater que le remplacement du ciment par les fumées de silice ont considérablement augmenté la contrainte de cisaillement mesurée du mortier, indépendamment des volumes de fibre de verre.

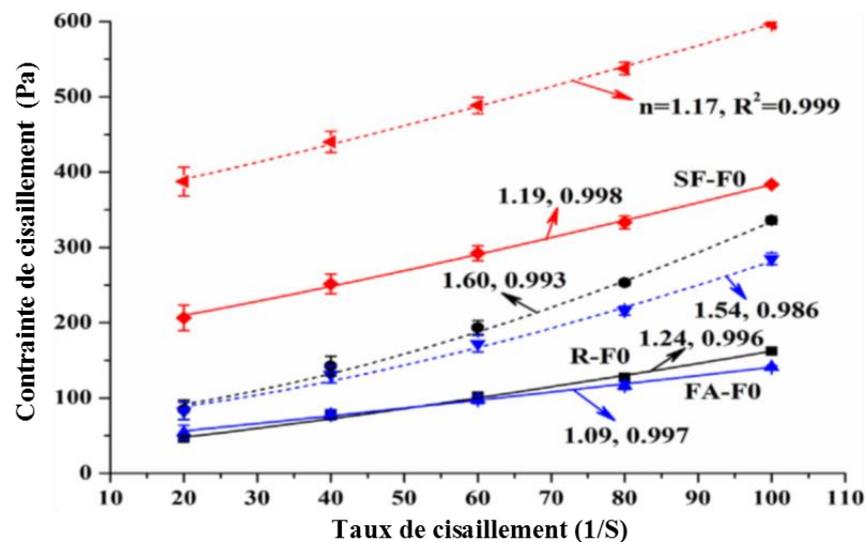


**Figure III. 3:** effets des adjuvants minéraux sur les courbes d'écoulement du mortier frais lors de l'essai initial.

Les influences du mélange de cisaillement en rotation à une vitesse de cisaillement de 50 s<sup>-1</sup> pendant 60 s sur les courbes rhéologiques de mortiers frais sans fibre de verre

### Chapitre III : L'étude bibliographique

Les ajouts sont présentés à la Figure III.4. Les résultats montrent que les effets de cisaillement en rotation sur les propriétés rhéologiques dépendent de la composition de matériaux de mortier de ciment. Ça peut être observé que la contrainte de cisaillement mesurée présentait une augmentation réponse après mélange sous cisaillement pendant 60 s, en particulier pour le ciment fumé de silice de mortier binaire. Le comportement induit par le cisaillement a également été en corrélation avec la composition de la matrice de mortier. Pour les mélanges de mortier avec une composition binaire de ciment pur et de ciment cendres volantes ciment, l'indice rhéologique a augmenté progressivement après avoir connu un cisaillement par rotation mélange par cisaillement. Par exemple, l'indice rhéologique du mortier binaire de cendres volantes de ciment était de 1,09 et 1,54 à l'essai initial et le test après mélange sous cisaillement pendant 60 s, respectivement. Par contre, le mortier binaire à base de fumée de ciment et de silice présentait un léger épaissement par cisaillement réponse, indépendamment du mélange de cisaillement en rotation.



**Figure III. 4:** Courbe rhéologiques de mortier frais sans ajout de fibres après cisaillement taille.

À partir de la FigIII.4, on peut également observer que l'écart moyen de la contrainte de cisaillement a augmenté progressivement après un mélange de cisaillement pendant 60 s, en particulier mesuré à des taux de cisaillement relativement faibles. Cela signifie que le mélange de cisaillement en rotation avait le potentiel de réduire la dynamique stabilité des mortiers frais.

#### III.1.2.1.2. Limite d'élasticité et viscosité plastique

Comme mentionné précédemment, la fraction volumique de la fibre de verre et le mélange un cisaillement par rotation de mélange a de grands effets sur le cisaillement mesuré stress et index rhéologique. Basé sur le modèle Herschel-Bulkley, la limite d'élasticité et la viscosité plastique peuvent être calculées, comme indiqué dans Figure III. 5. D'après la Figure III.5 (a), on peut observer que la limite d'élasticité était augmentée en remplaçant le ciment par des

### ***Chapitre III : L'étude bibliographique***

---

cendres volantes. L'augmentation de rendement la contrainte de pourrait être attribuée à l'effet d'adsorption des charbons imbrûlés dans les particules de cendres volantes. L'ajout de 5% de fumée de silice a considérablement augmenté la limite d'élasticité de 30 Pa à 180 Pa. La limite d'élasticité du mortier frais a progressivement augmenté avec l'ajout de fibre de verre ou l'expérience d'un mélange de cisaillement en rotation, spécialement pour le mortier binaire de ciment de fumée-silice fraîche.

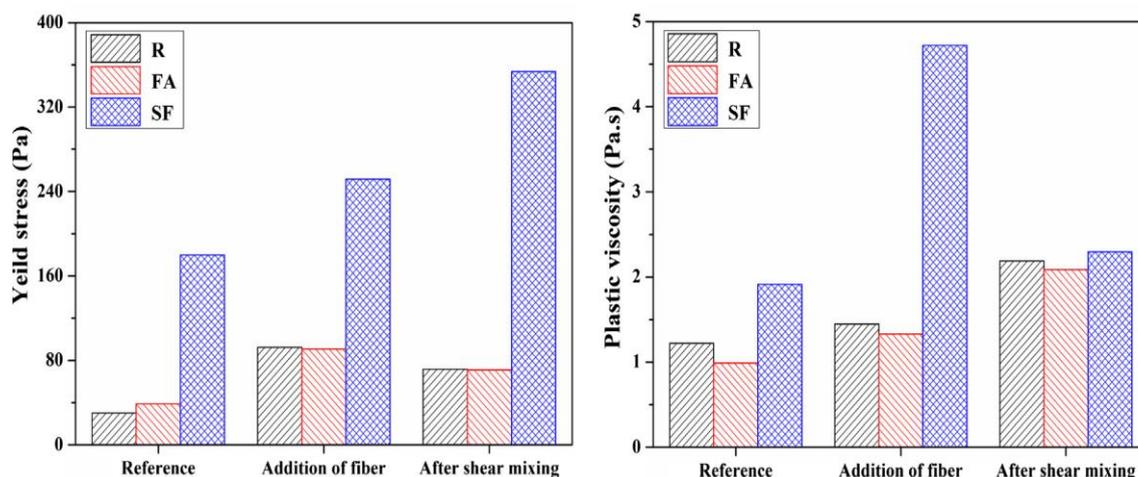
Les fibres de verre flexibles comblent les vides entre les particules de ciment et de sable, et adsorbent l'eau libre agissant comme lubrifiant dans le mortier. En outre, la formation de la structure d'agglomération entre les grains et les fibres augmentent la résistance à l'écoulement. Ainsi, l'ajout des fibres de verre augmentent la limite d'élasticité. Cependant, la limite d'élasticité mortier binaire de cendres volantes de ciment après une rotation le cisaillement était moindre qu'après l'ajout de fibres de verre courtes, pourrait être dû à l'amélioration de la dispersion des particules.

La viscosité plastique équivalente du mortier frais additionné des fibres de verre et de l'expérience de mélange de cisaillement en rotation sont présentés à la Figure III. 5 (b). On peut constater que l'incorporation de cendres volantes réduit la viscosité plastique du mortier. Ce résultat est cohérent avec réf, qui ont montré que la viscosité plastique de béton frais progressivement diminué avec le remplacement de la mouche cendre jusqu'à 30%. La viscosité plastique du mortier a augmenté progressivement après avoir remplacé le ciment par de la fumée de silice. Les deux actions de l'ajout le mélange de fibres de verre et de cisaillement en rotation pendant 60 s a entraîné une augmentation de la viscosité plastique du mortier, quel que soit le ciment utilisé composition de la matrice de mortier. Plus précisément, les séquences de viscosité plastique des mortiers après l'ajout de verre les fibres étaient similaires à celles des mortiers de référence. L'augmentation de la viscosité plastique peut être expliquée par les forces de friction améliorées parmi les particules et les fibres. Après avoir eu un cisaillement en rotation en mélangeant pendant 60 s, la viscosité plastique de tous les mortiers a augmenté.

Pour le mortier binaire ciment de fumée-silice, toutefois, l'augmentation était beaucoup moins que cela après l'ajout de fibre de verre. Par conséquent, la viscosité plastique des mortiers avec ou sans adjuvants minéraux après avoir connu un mélange de cisaillement en rotation pendant 60 secondes était dans le même état niveau.

Les résultats ci-dessus permettent de conclure que le verre fraction volumique de fibres et mélange par cisaillement en rotation de manière significative affecté le comportement rhéologique du mortier frais. Enquêter les effets couplés des fibres de verre courtes et du mélange de cisaillement en rotation plus spécifiquement, les propriétés rhéologiques de binaires cendres volantes ciment mortier dans les conditions de différentes fractions

volumiques de fibres de verre (c.-à-d. 0%, 0,25%, 0,5%, 0,75% et 1%) et divers niveaux de vitesses de mélange par cisaillement en rotation contenant 50 s<sup>-1</sup>, 100 s<sup>-1</sup> et 150 s<sup>-1</sup> ont été mesurés. Les propriétés rhéologiques détaillées telles que courbes rhéologiques, limite d'élasticité, viscosité plastique et rhéologie index sont discutés ci-après.



**Figure III. 5 :** L'effet du mélange des fibres et du cisaillement en rotation sur les propriétés rhéologiques du mortier frais.

#### III.1.2.2. Effets couplés du mélange de fibres de verre et de cisaillement en rotation

##### III.1.2.2.1 Courbes rhéologiques

Les effets des fractions volumiques de fibres de verre sur la contrainte de cisaillement Les courbes de taux de cisaillement des mortiers frais lors de l'essai initial sont présentées.

Figure III.6. Comme prévu, la contrainte de cisaillement subie par le nouveau mortier a augmenté progressivement avec l'augmentation de la fraction volumique de fibres de verre, en particulier à des taux de cisaillement relativement élevés. Il semble aussi que l'ajout de fibres de verre augmentait l'incrément de cisaillement stress. Similaire aux résultats obtenus après un cisaillement en rotation le mélange, l'écart moyen de la contrainte de cisaillement mesurée progressivement augmenté avec l'ajout de fibres de verre. Cela signifie que le l'ajout de fibres de verre courtes augmente légèrement la ségrégation des agrégats et réduction de la stabilité dynamique des mortiers frais. Comme pour le indice rhéologique, il a également augmenté avec l'augmentation de la fibre de verre fraction volumique. Par exemple, l'indice rhéologique du mortier frais sans fibre de verre était de 1,09. Après avoir ajouté 1 % de fibre de verre, le indice rhéologique augmenté à 1,89. De la figure III.6, on peut également observer que bien que les contraintes de cisaillement mesurées du mortier frais avec 1 % la fibre de verre étaient beaucoup plus élevée que celle du mortier avec 0,75 % de verre fibres, l'intensité du cisaillement a montré une tendance inverse, comme les indices non newtoniens étaient de 1,97 et 1,89 lorsque le volume les fractions de fibre de verre étaient respectivement de 0,75 % et 1 %.

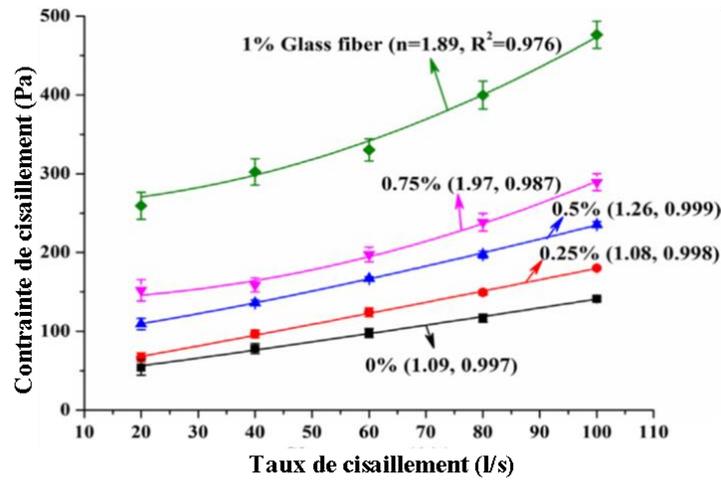


Figure III. 6: Contrainte de cisaillement en fonction du taux de cisaillement à l'essai initiale pour mortier binaire ciment-cendres volante.

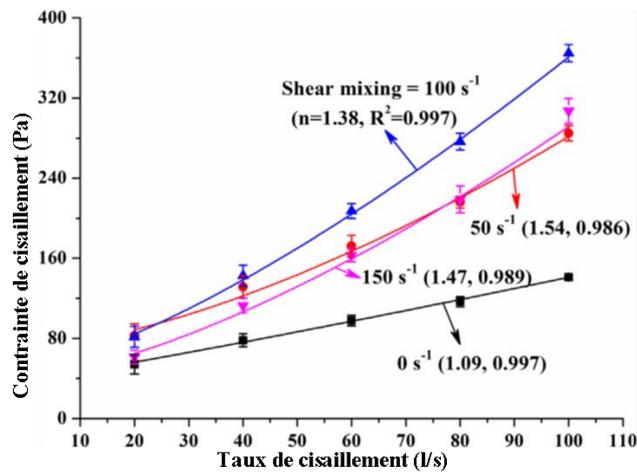


Figure III. 7: Courbes rhéologiques du mortier binaire cendres volantes-ciment après un cisaillement en rotation.

Les effets des taux de mélange de cisaillement en rotation sur la contrainte de cisaillement  
 Courbes en fonction du taux de cisaillement des mortiers frais sans fibres avec mouche de ciment

La composition binaire des cendres est illustrée à la Figure. III.7, généralement, l'augmentation des vitesses de mélange par cisaillement améliorent l'efficacité de la dispersion de suspensions et entraîne ainsi un cisaillement mesuré plus faible stress. Cependant, dans cette étude, la contrainte de cisaillement subie par le mortier frais a augmenté progressivement avec le mélange de cisaillement en rotation les taux. Plus précisément, la contrainte de cisaillement correspondant à les taux de cisaillement mesurés montraient une augmentation évidente lorsqu'ils étaient appliqués mélange par cisaillement en rotation avec des vitesses de mélange par cisaillement plus élevées. Avec les vitesses de mélange en cisaillement en rotation ont augmenté de  $100 s^{-1}$  à  $150 s^{-1}$ , la contrainte de cisaillement mesurée a encore diminué. Cependant, au plus bas les taux de cisaillement mesurés, la contrainte de cisaillement mesurée des mortiers frais était indépendante sur les taux de

### ***Chapitre III : L'étude bibliographique***

---

mélange de cisaillement en rotation. En outre, les contraintes de cisaillement à l'essai initial étaient beaucoup moins importantes que celles obtenues après avoir expérimenté le mélange de cisaillement en rotation pendant une période de temps. L'augmentation de la contrainte de cisaillement avec le cisaillement en rotation les taux peuvent être trouvés dans la littérature existante. Mostafa et al ont constaté que la contrainte de cisaillement normalisée augmentait au taux de cisaillement en rotation supérieur au taux de cisaillement de transition en raison de l'effet d'épaississement par cisaillement et la structure de floculation. Similaire avec les résultats obtenus auparavant, l'écart moyen des valeurs mesurées la contrainte de cisaillement augmente progressivement avec le mélange de cisaillement en rotation les taux. Quant à l'indice rhéologique, il a augmenté après avoir connu mélange par cisaillement en rotation. On peut également observer sur la figure III.7 que l'intensité de cisaillement-épaississement avec l'augmentation de la rotation les taux de mélange de cisaillement ont montré une tendance opposée à celle des contraintes de cisaillement.

#### **III.1.2.2.2. Limite d'élasticité et viscosité plastique :**

Les effets couplés de la fraction volumique de fibres de verre et de la rotation mélange par cisaillement sur la limite d'élasticité et la viscosité plastique de la mouche de ciment

Les mortiers binaires cendrés sont illustrés aux figure III.8 (a) et (b). Ça peut être observé que lors de l'essai initial, l'addition de 0,25 % de fibres de verre eu moins d'influence sur la limite d'élasticité. Cependant, la limite d'élasticité a augmenté de manière significative avec la fraction volumique du verre court fibres supérieures à 0,5 % en raison des enchevêtrements mécaniques des fibres. Les résultats sont en accord avec référence et Comparer avec la limite d'élasticité, un phénomène plus complexe a été observé pour la viscosité plastique. Plus précisément, l'ajout de 0,5 % de fibres de verre augmentation de la viscosité plastique des mortiers frais. Quand le volume fraction de fibre de verre augmentée de 0,5 % à 0,75 %, la viscosité plastique a montré une légère diminution. Au volume de fibres de 1 %, cependant, la viscosité plastique a encore augmenté. Mais dans l'ensemble, le la viscosité plastique des mortiers frais à fibres de verre courtes était plus élevée que celle des mortiers sans fibres.

Après avoir connu un mélange de cisaillement en rotation, les changements de rendement le stress et la viscosité plastique dépendaient de la fraction volumique de fibres de verre et taux de cisaillement en rotation. Pour le mortier sans fibres de verre, la limite d'élasticité a d'abord augmenté puis progressivement diminué avec l'augmentation des taux de mélange de cisaillement en rotation. Ce pourrait être dû à la formation d'une structure floculée et à l'effet diminuant du super plastifiant lors du mélange en rotation avec cisaillement.

Quant aux mortiers frais contenant des fibres de verre, le rendement le stress était évidemment accru avec le mélange de cisaillement en rotation taux, et après avoir connu un cisaillement en rotation mélangeant avec haute taux de cisaillement, la limite d'élasticité a

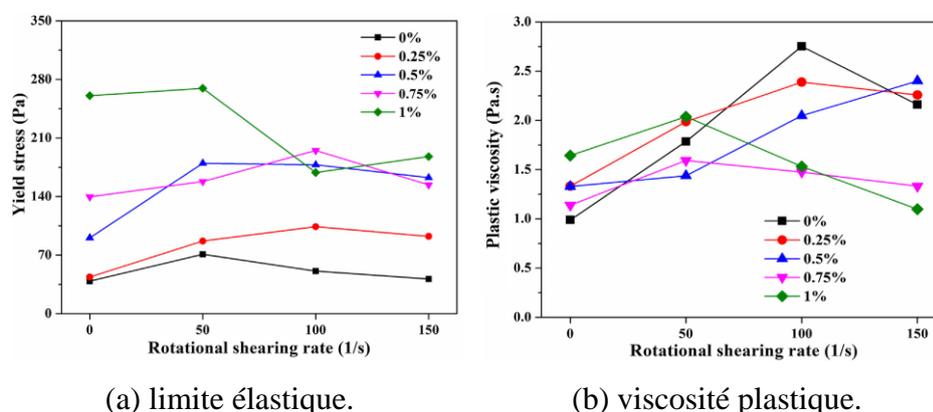
### Chapitre III : L'étude bibliographique

montré une légère diminution. Les changements d'homogénéité et de distribution des fibres de verre après rotation le mélange par cisaillement devrait être responsable de ce phénomène. Cependant, la limite d'élasticité des mortiers frais après une rotation le mélange de cisaillement était même plus élevé que celui obtenu lors de l'essai initial.

Par exemple, la limite d'élasticité du mélange de mortier contenant 0,5 % fibres de verre était de 91 Pa et 163 Pa pour le test initial et le test après un mélange de cisaillement en rotation à une vitesse de  $150 \text{ s}^{-1}$ , respectivement dans le cas de la viscosité plastique, il a été considérablement augmenté après avoir expérimenté un mélange de cisaillement en rotation pour les mortiers frais avec des fractions de faible volume de fibres de verre. Quant aux mortiers avec volumes de fibres élevés, cependant, la viscosité plastique a presque été conservée inchangé après cisaillement en rotation à faible taux de cisaillement et diminué significativement après cisaillement continu mélangé à plus taux de cisaillement. En outre, il semblait que l'action des rotations à haut débit le malaxage par cisaillement réduit la viscosité plastique des mortiers frais quelle que soit la fraction volumique des fibres de verre. La viscosité plastique des suspensions était principalement liée aux frictions dynamiques entre les particules en mouvement. L'incorporation de fibres de verre courtes considérablement augmenté les inter-frictions mécaniques entre particules de grain, entraînant une augmentation de la viscosité du plastique. Après expérience de mélange de cisaillement en rotation, les positions et les orientations de fibres de verre dans le mortier peut être changé.

En conséquence, une distribution et une mise en grappes moins homogènes du verre des fibres peuvent se produire, entraînant une augmentation de la viscosité du plastique.

La réduction de la viscosité plastique ainsi que la limite élastique après connu un mélange de cisaillement plus élevé a probablement été attribué à la rupture des amas de fibres et une meilleure dispersion de la suspension systèmes.



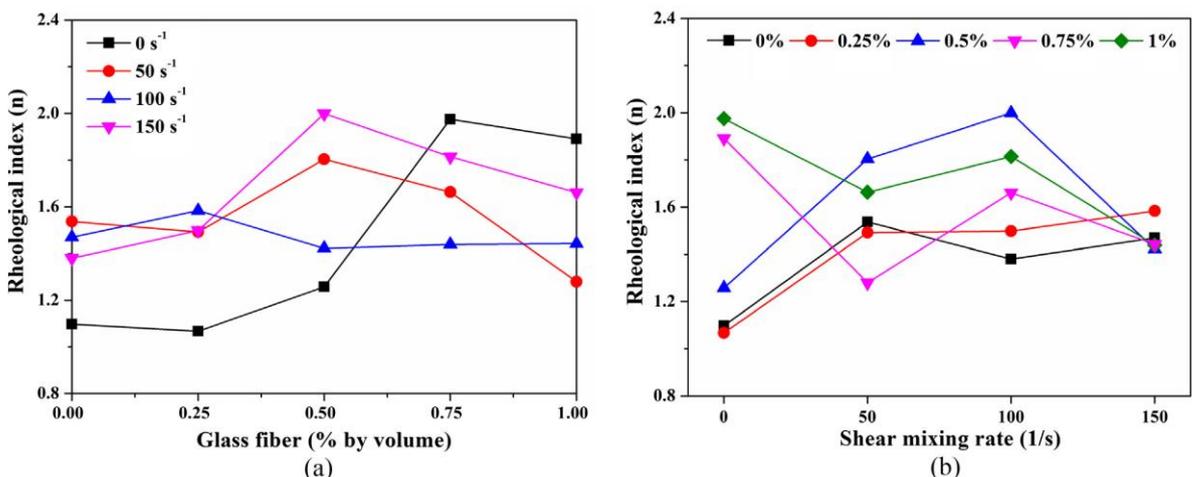
**Figure III. 8:** limite élastique et viscosité plastique du mortier binaire frais à base de ciment-cendres volante.

#### III.1.2.2.3. Indice rhéologique :

Les effets couplés des fractions volumiques en fibres de verre et de la rotation taux de mélange de cisaillement sur l'indice rhéologique de la mouche de ciment les mortiers binaires

centrés sont illustrés aux figures III.9 (a) et (b). De la Figure III. 9 On peut voir que l'indice rhéologique montre un augmente le comportement avec l'augmentation de la fraction volumique des fibres de verre, et il a été diminué à la fraction volumique supérieure à 0,5%. dans En d'autres termes, l'intensité de l'épaississement par cisaillement a augmenté d'abord et ensuite diminué avec la fraction volumique de la fibre de verre, peu importe des taux de mélange de cisaillement en rotation. Les forces hydrodynamiques sont augmentées avec l'ajout de fibres de verre. Pendant la tests rhéologie , les forces hydrodynamiques dominant la répulsion des particules forces, entraînant ainsi une augmentation de la viscosité apparente, c'est-à-dire comportement d'épaississement par cisaillement. Sur la figure III.9 (b), on peut observer que les influences des taux de mélange de cisaillement en rotation sur le rhéologique L'indice de mortier frais dépendait de la fraction volumique de fibres de verre.

Pour les mortiers sans ou avec de faibles volumes de fibres de verre, le indice rhéologique a augmenté progressivement après avoir connu une rotation mélange par cisaillement. Cela signifie que l'intensité d'épaississement par cisaillement renforcé après avoir connu un mélange de cisaillement en rotation. Cela peut être expliqué par l'amélioration de l'anti-tassement des particules avec l'ajout de fibres de verre. En conséquence, l'hydrodynamique les effets sont renforcés grâce à la meilleure répartition des grains et les fibres. Dans le cas de mortiers avec des volumes plus élevés de fibre de verre, l'action de cisaillement de mélange en rotation semblait réduire l'intensité d'épaississement par cisaillement. Cela pourrait être dû à la grande rigidité de mortier de ciment avec des fractions volumineuses de fibres de verre. Cependant, semblable à la limite d'élasticité et à la viscosité plastique, l'épaississement par cisaillement l'intensité a diminué après l'expérience de rotation.



**Figure III. 9:** Indice rhéologique de mortier binaire ciment-cendres volantes sous différents volume de fibres de verre et mélange par cisaillement en rotation.

### III.1.3. Conclusions

Ce travail a permis de tirer les conclusions suivantes :

La teneur en fibres de verre avait une grande influence sur le cisaillement contrainte induite par les mortiers, en fonction des types de adjuvants minéraux. L'intensité d'épaississement

### ***Chapitre III : L'étude bibliographique***

---

par cisaillement du mortier de ciment augmenté avec l'ajout de fibre de verre, tandis que l'addition 0,5 % de fibre de verre a entraîné le comportement rhéologique de mortier binaire de fumée de ciment-silice changé de l'épaississement par cisaillement à éclaircir le cisaillement.

Dans le cas des mortiers sans fibres, la limite d'élasticité a augmenté avec le remplacement du ciment par des cendres volantes ou de la fumée de silice. La viscosité plastique a été respectivement diminuée et augmentée lors du remplacement du ciment par des cendres volantes et de la silice fumée.

La limite d'élasticité a augmenté progressivement avec l'ajout de fibres de verre ou éprouvant un mélange de cisaillement en rotation. Dans le cas de viscosité plastique, les influences de l'ajout de fibres de verre étaient beaucoup plus élevées que celui éprouvant un cisaillement en rotation mélange.

Après avoir soumis le mélange au cisaillement par rotation, la contrainte de cisaillement a augmentée de manière significative et les mortiers frais a montré facilement un comportement d'épaississement par cisaillement. Les variations de la viscosité plastique et l'indice rhéologique dépendent les fractions volumiques de fibres de verre.

#### **III.2. L'étude de M.BENTALHA et H.HOUARI [22] 2007**

La caractérisation d'un béton renforcé de fibres métalliques (BRFM) est toujours délicate et nécessite la réalisation de différents essais portant sur les deux états des bétons, c'est-à-dire à l'état frais et à l'état durci. Les essais effectués et les grandeurs mesurées permettent de déterminer le comportement monotone de poutrelles sous sollicitations de flexion quatre points. L'originalité de notre approche réside dans l'introduction de sous-produits industriels comme renforts dans une matrice cimentaire pour améliorer ses caractéristiques mécaniques.

Le travail que nous présentons consiste à établir une fiche d'identification de ces nouveaux bétons et à comparer les résultats obtenus avec un béton témoin sans fibres et avec un béton renforcé de fibres commercialisées. Nous nous inscrivons dans une logique de développement durable.

##### **III.2.1. Introduction**

Le travail que nous présentons est une analyse du comportement de poutrelles en mortier renforcé de fibres d'acier et une étude expérimentale menée sur plusieurs échantillons. Ceci pour :

- étudier l'effet de l'incorporation des fibres métalliques dans une matrice cimentaire.
- étudier la valorisation de sous-produits (copeaux d'usinage) en tant que renforts.
- déterminer l'accroissement de la résistance à la flexion sous chargement monotone croissant.
- observer un changement du mode de fissuration.

- établir des taux de chargement.

La première série de corps d'épreuve normalisés sera soumise à des essais d'écrasement afin de déterminer la résistance à la compression et la résistance à la traction par flexion à différentes échéances.

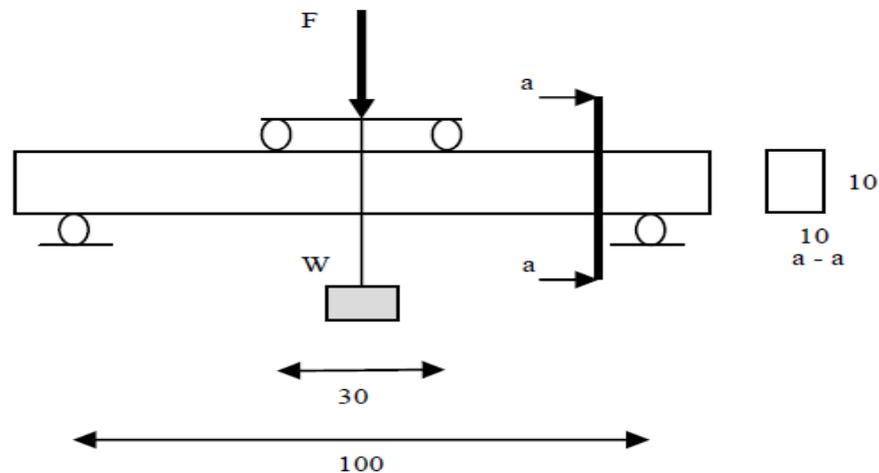
La deuxième série concerne les poutrelles (10x10x120) cm<sup>3</sup> qui seront soumises à un chargement statique (monotone croissant) jusqu'à la rupture afin de déterminer les caractéristiques statiques : charge, flèche de première fissuration et de rupture, de chaque élément ainsi renforcé.

### **III.2.2. PRESENTATION DES MATERIAUX TESTE :**

#### **III.2.2.1. Définition des corps d'épreuve :**

Les essais sont effectués sur trois types d'éprouvettes (figure III.10) :

- Cylindriques d'élanement 2 (16x32) cm<sup>2</sup>, destinées aux essais d'écrasement pour la détermination de la résistance à la compression.
- Prismatiques d'élanement 4 (7x7x28) cm<sup>3</sup>, destinées aux essais de traction par flexion
- Poutrelles de section carrée de 10 cm de côté et de 120 cm de longueur. Ce modèle expérimental est, représentatif du comportement d'un élément de structure.



**Figure III. 10:** Caractéristiques géométriques de la poutrelle

#### **III.2.2.2. Choix de la composition du mortier**

L'étude de l'influence des proportions relatives des différents composants : granulats, ciment, fibres, fluidifiant, eau, conduirait à un nombre d'essais considérables. A la suite de tests préliminaires et afin de réduire le programme expérimental, on s'est fixé un rapport constant en poids ciment / sable ( $C/S = 0,5$ ), un rapport eau / ciment égal à 0,42, et les renforts et le fluidifiant ont été ajoutés à cette composition.

#### **III.2.2.3. Matériaux de base**

##### **III.2.2.3.1 Ciment**

### Chapitre III : L'étude bibliographique

Le ciment utilisé pour l'étude est un ciment CPJ 45, il était préférable d'utiliser un ciment avec constituant secondaire pour ce type de recherche étant donné que sa classe de résistance le destine aussi bien aux travaux de bâtiment qu'à ceux de génie civil.

Les résultats des essais normalisés effectués sur ce ciment sont indiqués sur les tableaux III.3, III.4

**Tableau III. 2 :** Composition chimique et minéralogique du clinker.

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Chlorures	CaO libre	Résidus insolubles	PAF
27	6,13	3,12	55,86	0,94	2,02	/	/	0,00	0,88	2,17	2,41
<b>Eléments</b>				<b>C3S</b>		<b>C2S</b>		<b>C3A</b>		<b>C4AF</b>	
<b>Teneur en %</b>				56,6		22,98		9,87		8,25	

**Tableau III. 3:** Propriétés physiques du ciment.

Temps de prise		Expansion le Chatelier		SSB (mm <sup>2</sup> /g)	Consistance normale
Début	Fin	à chaud	à froid		
2h50 min	4h06 min	2,90	1,56	3891	26,91

**Tableau III. 4:** Résistances mécaniques du ciment (bars).

Essais	Ages		
	2 jours	7 jours	28 jours
<b>Compression</b>	143,2	266,4	433,1
<b>Flexion</b>	35,7	58,3	77,9

Ces résultats montrent que les ciments utilisés peuvent être considérés conformes aux normes en vigueur : NA 442.

#### III.2.2.3.2. Eau de gâchage

L'eau utilisée dans notre cas est l'eau du robinet provenant de la source Fesguia qui alimente notre laboratoire. Le tableau III.5 représente les résultats de l'analyse chimique effectuée sur cette eau qui répondent aux prescriptions de la norme NF P18 404.

**Tableau III. 5:** Composition chimique de l'eau.

Echantillon	Matières en suspension	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	T (c)	PH
<b>Concentration</b>	<b>Traces</b>	116	36	80	03	140	170	305	05	19	7,9

#### III.2.2.3.3. Fluidifiant

On a choisi, dans des essais d'efficacité préliminaire un seul adjuvant fluidifiant pour les deux types de renforts utilisés (tableau III.6).

Fluidifiant : MEDAPLAST SP 40

Tableau III. 6: Caractéristiques du fluidifiant.

Fiche technique	
Caractéristiques	Super plastifiant, haut réducteur d'eau
Forme	Liquide
Couleur	Marron
PH	8,2
Densité	1,22
Teneur en chlore	<1g par litre
Dosage	0.6 à 2.5 % du poids du ciment

#### III.2.2.3.4. Granulats

Les résultats des analyses granulométriques sont représentés sur le tableau III.7.

Tableau III. 7: Caractéristiques géométriques.

Tamis	0,08	0,16	0,25	0,315	0,5	0,63	0,8	1,25	2,5	4	5	6,3	8
Module	20	23	25	26	28	29	30	32	35	37	38	39	40
Sable 0/3	10	15,5	20	22	28	32	35,5	45	75	92	100	/	/
Gravillon 3/8	/	/	/	/	/	/	/	0	5	38	54	85	100

Les propriétés physiques des sables et gravillons utilisés sont représentées dans le tableau III.8.

Tableau III. 8: Caractéristiques physiques

Propriétés mesurées	Mv absolue	Mv apparente	Equivalent de sable	Valeur au bleu de méthylène	Coefficient d'absorption
Sable 0/3	2,76	1,44	78,67	0,39	1,1
Gravillon 3/8	2,62	1,36	/	/	1,22

#### III.2.2.3.5 Renforts

Dans le cadre de cette étude, on a sélectionné deux types de fibres métalliques se différenciant, par leur provenance.

Tableau III. 9: Description des renforts.

Types de fibres métallique	notation	Longueur mm	Largueur mm	Epaisseur mm	Elancement l/d	forme
Fibres industrielles	FI50	50	10	0,6 ± 0,09	83,33	Ondulée
Sous-produits	SP50	50	12,5	0,6	83,33	Spirales spirales
	SP25	25	12,5	0,6	41,66	

Comme indiqué précédemment, le mortier est composé d'un sable calcaire conforme à la norme P15- 403. Le malaxage a été effectué selon la norme P18 – 452. Le fluidifiant a été ajouté à l'eau de gâchage et les renforts mélangés aux granulats avant malaxage.

### **Chapitre III : L'étude bibliographique**

Le tableau III.10 donne la composition des différents mélanges.

- BSF : matrice témoin sans fibres
- BFI50 : matrice renforcée avec des fibres commercialisées (FI50)
- BSP50 : matrice renforcée avec des copeaux (SP50)
- BSP25 : matrice renforcée avec des copeaux (SP25)

**Tableau III. 10:** Composition du mortier (pour 1 m<sup>3</sup>).

	<b>BSF</b>	<b>BFI50</b>	<b>BSP50</b>	<b>BSP25</b>
<b>Fluidifiant (g)</b>	00	52,96	13,24	45
<b>Ciment (kg)</b>	662			
<b>Sable (kg)</b>	1327			
<b>Eau (kg)</b>	278			
<b>E/C</b>	0,42			
<b>Fibre : 1 % (kg)</b>	6,62			

#### **III.2.2.4. Caractérisation**

##### **III.2.2.4.1. Etude à l'état frais**

Les évolutions des temps d'écoulement au maniabilimètre LCL et la teneur en air occlus sont tout à fait comparables à celles du béton témoin, comme le montre le tableau III.11. Les résultats sont la moyenne des essais sur trois gâchées et la maniabilité est de l'ordre de  $11 \pm 2$  s.

**Tableau III. 11 :** Maniabilité, air occlus, densité.

<b>Mélanges</b>	<b>BSF</b>	<b>BFI50</b>	<b>BSP50</b>	<b>BSP25</b>
<b>Caractéristiques</b>				
<b>Maniabilité</b>	13 s	9 s	12 s	10 s
<b>Air occlus</b>	4,4 %	4,2 %	4,2 %	5,1 %
<b>Densité</b>	2,26	2,33	2,29	2,29

##### **III.2.2.4.2. Etude à l'état durci**

Le tableau III.13 présente les résultats des résistances obtenues avec les mélanges élaborés sur une moyenne de trois essais par éprouvettes.

**Tableau III. 12:** Résistances à la compression à 7 et 28 jours.

### Chapitre III : L'étude bibliographique

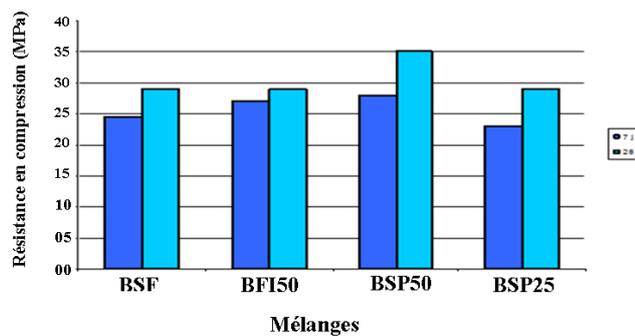
Mélanges	BSF	BFI50	BSP50	BSP25
7 jours	24,43	27	28	23
28 jours	29	29	35	29

Les résultats des essais à la compression et à la traction par flexion, varient en fonction de l'âge de l'éprouvette, du type et de l'élanement de la fibre (figure III. 11 et figure III.12).

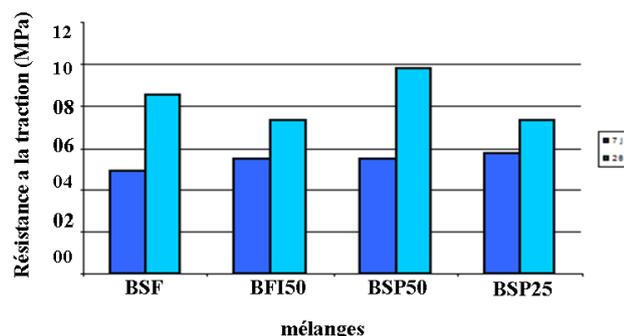
**Tableau III. 13:** Résistances à la traction à 7 et 28 jours.

Mélanges	BSF	BFI50	BSP50	BSP25
7 jours	4,9	5,5	5,5	5,81
28 jours	8,57	7,35	9,8	7,35

Les résultats des essais à la compression et à la traction par flexion, varient en fonction de l'âge de l'éprouvette, du type et de l'élanement de la fibre.



**Figure III. 11:** Résistances à la compression.



**Figure III. 12:** Résistances à la traction.

En résumé il apparaît donc que :

- La présence éventuelle de renforts ne conduit pas à des baisses importantes des performances des mortiers.
- Le niveau de performance des mortiers renforcés de fibres est avantageusement comparable à celui des mortiers sans fibres.

### **Chapitre III : L'étude bibliographique**

Nous pouvons décrire ce que l'on a observé au niveau des essais mécaniques classiques d'écrasement sur éprouvettes de mortier renforcés de fibres d'acier :

- La résistance à la compression du mortier avec fibres est sensiblement la même que celle du mortier témoin sans fibres, toutefois on observe qu'un éclatement très limité de la matrice.
- Nos résultats sont en accord avec ceux des différents chercheurs pour dire que les fibres n'apportent pas d'amélioration en compression. Dans certains cas, on a une légère augmentation et dans d'autres une légère diminution. Cette diminution pouvant être causée par une mauvaise compacité due à un excès de fibres.
- L'augmentation, de la résistance en flexion des mortiers avec fibres est plus importante, elle atteint 1,34 % pour FI50, 1,16 % pour SP50. Elle est due à la déformabilité du matériau. Il y a un déplacement de l'axe neutre durant la flexion.
- Les résultats varient avec la géométrie de la fibre, son orientation, et son adhérence à la matrice.

#### **III.2.3. COMPORTEMENT SOUS CHARGEMENT MONOTONE CROISSANT (ESSAIS STATIQUES EN FLEXION)**

Une série de vingt poutrelles de mortiers renforcés avec différentes fibres a été soumise à l'essai de flexion quatre points sous chargement monotone croissant jusqu'à la rupture. Toutes les poutrelles sont conservées à l'air libre. La durée de conservation avant l'essai est de sept jours.

##### **III.2.3.1. Description des essais et des dispositifs de mesure**

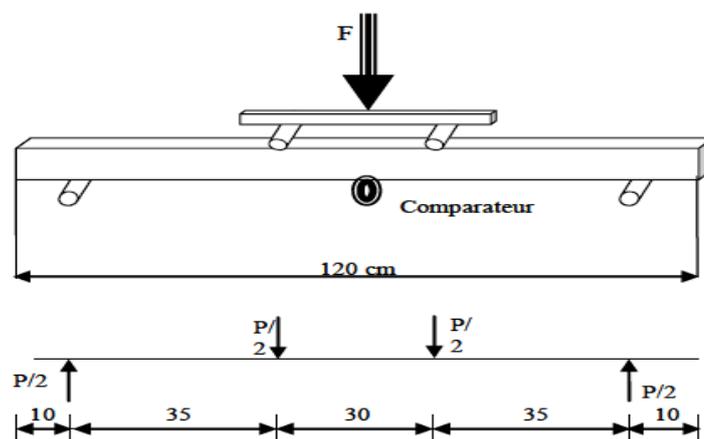


Figure III. 13: Dispositif d'essai flexion 4 points.

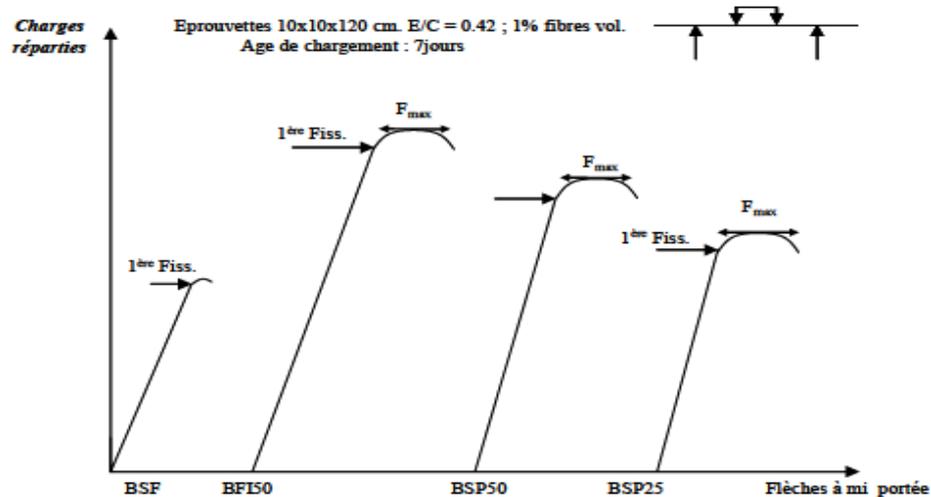
##### **III.2.4.2. Résultats des essais statiques**

###### **III.2.3.2.1. Diagramme charge – flèche**

La première caractéristique des matériaux fragiles renforcés de fibres qui frappe, c'est le diagramme charge – flèche qui est radicalement allongé. On constate que la première partie du diagramme est une zone sans dégradation dans laquelle le comportement est élastique. La

### Chapitre III : L'étude bibliographique

microfissuration reste très discrète dans cette partie. Puis une zone présentant un léger infléchissement correspondant au début de la fissuration, c'est la limite au-delà de laquelle les fissures se développent de manière instable. Cette limite est facilement définie car elle coïncide avec l'apparition de la première fissure (figure III.14).



**Figure III. 14:** Courbes charges – flèches

Le diagramme charge – flèche n'est pas réductible de façon simple au diagramme contrainte – déformation. La contrainte calculée avec une hypothèse de matériau homogène ne correspond à une contrainte effective dans le matériau fibré à la rupture. Tous les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau III.14.

**Tableau III. 14:** Résultats des essais mécaniques en flexion (Âge de chargement 7 jours ; poutrelles (10x10x120) cm<sup>3</sup> E/C = 0,42 ; 1% de fibres.

Types de mortiers	BSF	BFI50	BSP50	BSP25
<b>Ff (N)</b>	4450	5250	4950	4630
<b>δf (mm)</b>	0,40	0,59	0,44	0,42
<b>Fmax (N)</b>	4700	6300	6450	4950
<b>δmax (mm)</b>	0,45	0,76	0,57	0,45
<b>δr (mm)</b>	0,45	1,10	0,92	0,52
<b>Fmax/ Ff</b>	1,03	1,20	1,10	1,07

**Avec :**

Ff : charge de première fissuration

δf : flèche sous charge de première fissuration

Fmax : charge maximale

δmax : flèche sous charge maximale

δr : flèche de rupture

On peut dire que :

- la charge de rupture à la flexion des poutrelles en béton renforcé est de 1,16 % à 1,34 % fois celle des poutrelles en mortier sans renforts.
- Cet accroissement est maximal pour les fibres d'acier industrielles ayant un coefficient de forme  $l/d = 83,33$ .
- Le mode de rupture change : rupture par cisaillement pour les BSF et rupture en flexion – cisaillement pour les BFM.
- La déformation à la rupture des poutrelles en BRFM est de 2 à 1,26 fois plus grande que celle des poutrelles sans renforts.



**Figure III. 15:** Fissuration et rupture d'une poutrelle

#### **III.2.4. CONCLUSION**

Le BRF présente des améliorations notables de comportement vis-à-vis de la fissuration et que l'ajout de tels renforts a pour conséquence la modification du comportement du béton, alors qu'un mortier sans fibres casse de manière fragile (dès qu'une fissure apparaît, la rupture est complète).

Les courbes efforts – déformations (flèches) obtenues lors des essais de flexion 4 points sur des corps d'épreuve prismatiques de dimensions  $(10 \times 10 \times 120) \text{ cm}^3$  font apparaître :

- des résistances à la flexion à 7 jours améliorées.
- une énergie à la rupture supérieure à celle du mortier témoin (sans fibres).
- un comportement très différent à la fissuration entraînant un retard notable à la ruine.

La courbe moyenne charge – flèche obtenue par l'essai monotone donne des informations sur l'endommagement du matériau sous sollicitations mécaniques. Cette dernière est utilisée comme référence pour définir des seuils d'endommagement. Une partie linéaire sur la courbe est observée, puis des phénomènes non linéaires apparaissent.

Ils correspondent à une localisation de l'endommagement sur une (ou plusieurs) fissure.

Une étude plus approfondie devrait permettre à l'aboutissement des explications des phénomènes observés et des mécanismes d'action des renforts sur le comportement global de l'élément de structure.

### **III.3. Conclusion**

L'ensemble des travaux de recherches réalisés, s'accordent sur l'effet bénéfique du renforcement des matériaux par les fibres, et que les caractéristiques géométriques (forme-langueur et rapport aspect), ainsi leur taux d'introduction ont été largement étudié, et qui s'accordent sur un taux de 1 à 3 %, au-delà de ses valeurs des difficultés de mise en œuvre seront rencontrés, mais l'effet d'ajout combiné des deux natures de fibres n'est pas bien compris vu le manque de travaux dans ce sens, et qui peut être intéressant, notamment lorsque on envisage l'introduction de fibre issues des déchets, afin d'avoir des répercussions positives sur le coût du matériaux.

# **Chapitre IV : Partie Expérimentale**

## Partie expérimentale

---

### IV.1. Matériaux utilisés

Cette partie pratique a été réalisée au niveau du laboratoire Central des Travaux Publics, « division laboratoire béton » de la région de BOUIRA, qui assure le contrôle des travaux liés au génie civil (contrôle de la qualité des bétons et ses constituants, ainsi que les essais géotechniques, et les produits utilisés dans les travaux publics).

#### IV.1.2. Eau de gâchage

L'eau utilisée dans ce présent travail est l'eau potable donc elle ne nécessite aucun essai. Elle est conforme aux exigences de la norme (NF EN 1008).

#### IV.1.3. Le ciment

Le ciment utilisé de type Portland composé CEM II/A de classe 42.5 provenant de la cimenterie de Sour El -Ghozlane, CEM II/A 42.5 conformément à la norme NA 442 édition 2000.

##### IV.1.3.1. Caractérisation du ciment

Les tableaux suivants présentent la composition chimique, les caractéristiques physiques et minéralogiques du ciment utilisé dans notre travail :

**Tableau IV. 1:** Composition chimique ciment CEM II/A 42.5.

Elément	Pourcentage %
CaO	61,57
SiO <sub>2</sub>	20,06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	03,99
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	03,04
Mg O	01,62
SO <sub>3</sub>	02,06
K <sub>2</sub> O	00,54
Na <sub>2</sub> O	00,26
P.A.F à 1000 °C	7,16
CaO LIBRE	1,56

**Tableau IV. 2 :** Caractéristiques minéralogiques de ciment

Elément	%
Silicate tricalcique C <sub>3</sub> S	68,08
Silicate bi calcique C <sub>2</sub> S	12,75
Aluminates tricalciques C <sub>3</sub> A	05,75
Alumino- ferrite titra -calcique C <sub>4</sub> AF	11,66

## Partie expérimentale

**Tableau IV. 3:** Caractéristiques physiques du ciment CEM II/A 42.5

Désignations	Garantie NA442	Moyenne	Unités
Surface spécifique (SSB) (NA231)		4000	cm <sup>2</sup> /g
Poids spécifique		03,09	g/cm <sup>3</sup>
Consistance normale (NA229)		26,11	% H <sub>2</sub> O
Temps (NA230)	Début de prise	≥ 60	Mn
	Fin de prise		Mn
Chaleur d'hydratation à 41 h	270	238,8	j/g
Expansion à chaud	≤ 10	2,79	Mm
Refus sur tamis 45 µm		15,58	%

### IV.1.4. Sable

#### IV.1.4.1. Définition

Élément inerte entrant dans la composition des bétons. Il peut être naturel, artificiel. Les caractéristiques principales requises pour un bon sable pour la fabrication d'un béton, sont la propreté définie par l'essai d'équivalent de sable et la granularité déterminée par l'analyse granulométrique.

#### IV.1.4.2. Analyses granulométriques (NF EN 933-1)

L'analyse granulométrique traduit la distribution pondérale des grains par classe granulaire. L'essai consiste à séparer par tamisage, au moyen d'une série de tamis, un matériau en plusieurs classes granulaires de dimensions décroissantes. On appelle passant (ou tamisât), la partie de matériaux qui passe à travers les tamis, et refus celle qui est retenue. Le refus et le passant sont exprimés en pourcentage de la masse totale sèche **Ms** de l'échantillon analysé.



**Figure IV. 1 :** La série des tamis

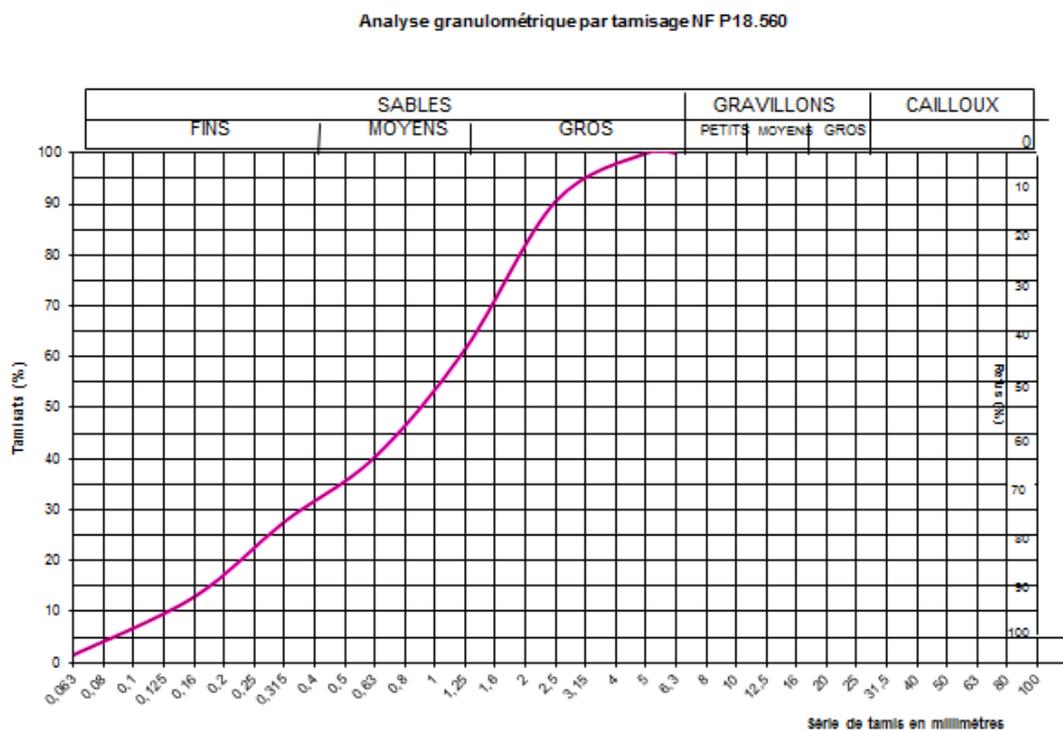
Les résultats d'analyse granulométrique du sable 0/3 utilisé dans ce travail sont résumés dans le tableau IV.1 suivant.

## Partie expérimentale

**Tableau IV. 4:** Les résultats d'analyse granulométrique de sable 0/3

Tamis (mm)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât cumulé (%)
06,30	00,00	00,00	100,00
05,00	00,30	00,03	99,97
02,50	95,10	09,51	90,49
01,25	384,90	38,49	61,51
00,63	596,70	59,67	40,33
00,32	723,20	72,32	27,68
00,16	870,90	87,09	12,91
00,06	984,40	98,44	01,56
Fond tamis	1000,00	100,00	00,00

La figure ci-dessous présente la distribution granulométrique du sable 0/3 utilisé dans ce travail.



**Figure IV. 2:** Courbes granulométriques de sable 0/3.

### IV.1.4.3. Module de finesse (MF)

Le module de finesse MF est défini comme étant la somme des pourcentages ramenés à l'unité, des refus cumulés sur la série de tamis d'ouvertures suivantes :

(0,16 – 0,315 – 0,63 - 1,25 – 2,5 - 5).

L'essai a été réalisé selon les modalités de la norme (NF P18-540)

$$Mf = 1/100 \sum \text{refus cumulé en \% (0,16 – 0,325 – 0,63 – 1,25 – 2,5 – 5)}$$

$$Mf = 1/100(0,3+95,1+384,9+596,7+723,2+870,9)$$

$$Mf = 2,67$$

Module de finesse : (Valeur série française)

## Partie expérimentale

- Sable Grossier :  $2,8 < MF < 3,2$
- Sable Moyen :  $2,2 < MF < 2,8$
- Sable fin :  $1,8 < MF < 2,2$

Le calcul de la valeur du module de finesse, nous a permis de noter que le sable utilisé est un sable moyen ( $Mf = 2,67$ )

### IV.1.4.4. Equivalent de sable (ES) [NF EN 933-8+A1]

Il est défini par la norme NF EN 933-8+A1; cet essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 2mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fin, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

L'essai est effectué sur la fraction 0/2 mm du matériau à étudier. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- Hauteur  $h_1$  : sable propre + éléments fins,
- Hauteur  $h_2$  : sable propre seulement.

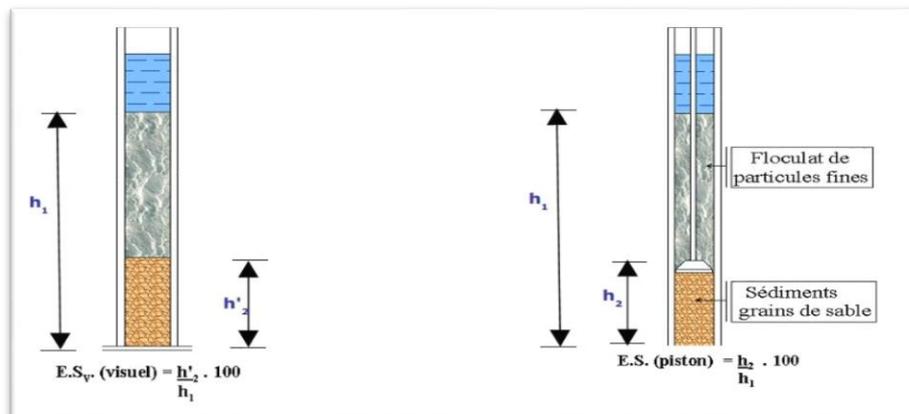


Figure IV. 3: Principe de l'essai d'équivalente de sable.

- On déduit la valeur de l'équivalent de sable par l'équation suivante :

$$ES = \frac{h_1}{h_2} \times 100$$

- Selon que la hauteur  $h_2$  est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine Esv (équivalent de sable visuel) ou Esp (équivalent de sable au piston).

#### IV.1.4.4.1. Equipements nécessaires

Equipement nécessaire pour faire l'essai équivalent de sable :

1. Deux cylindres en plastique transparent de hauteur 43 cm et de diamètre 3,2 cm munis d'un bouchon en caoutchouc avec 2 traits repère ;
2. Piston d'essai de longueur 43cm, dont le poids total est de 1 kg ;

## Partie expérimentale

3. Un tube laveur est également utiliser ;
4. Tamis de 2 mm d'ouverture de mailles ;
5. Une balance électronique ;
6. Une règle de 500 mm un entonnoir un chronomètre ;
7. Une solution lavante.

### IV.1.4.4.2. Préparation des échantillons de sable

On réalise sur un échantillon une teneur en eau, la norme **FD P18-663** précisant que l'échantillon n'a pas besoin d'être sèche à moins 2 % d'humidité comme le prévoit la norme **NF EN 933-8+A1**. Une fois la teneur en eau effectuée, on calcule la masse d'essai nécessaire à l'essai selon le calcule.

$$M_{\text{nécessaire}} = 120(100+W)/100$$



**Figure IV. 4:** Essai d'équivalent de sable.

### IV.1.4.4.3. Les valeurs courantes d'Esp et Esv

Le tableau IV.5 représente les valeurs d'équivalent de sable qui indiquent la nature et qualité du sable.

**Tableau IV. 5 :** Les valeurs d'équivalent de sable indiquant la nature et qualité du sable.

ES visuel	ES au piston	Nature et qualité du sable
ESV < 65 %	ESP < 60 %	Sable argileux : risque de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité.
65% < ESV < 75 %	60 ≤ ESP < 70 %	Sable légèrement argileux de propreté admissible n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.
75% ≤ ESV < 85 %	70% ≤ ES < 80 %	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
ESV ≥ 85 %	ESP ≥ 80 %	Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

- D'après l'essai réalisé on a obtient les résultats suivante :

	Visuel (cm)	Piston (cm)
Echantillon 1	h <sub>1</sub> =14,1 h <sub>2</sub> =9,2	h <sub>p</sub> =9,5
Echantillon 2	h <sub>1</sub> =12,80 h <sub>2</sub> =8,3	h <sub>p</sub> =8,9
ES %	65	68,45

## Partie expérimentale

Donc :  $65 < ES < 68,45$

Sable légèrement argileux de propreté admissible n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.

### IV.1.5. L'adjuvant

Les adjuvants sont des produits chimiques incorporés au mortier frais en faible quantité (inférieur à 5%) ils améliorent les propriétés physico-mécaniques des mortiers auxquels ils sont ajoutés.

Au cours de la préparation de notre mortier ; on a incorporé un super plastifiant **SIKA VISCOCRET 665** est un super plastifiant/Haut réducteur d'eau formulé à partir d'un mélange de poly carboxylates confère au béton/mortier des long maintiens de rhéologie conforme à la norme [NF EN 934-2].

La fourchette de dosage recommandée est de 0.2 à 3% du poids de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé en fonction du type de ciment et des effets recherchés.

**Tableau IV. 6:** Caractéristiques physico-chimiques du super plastifiant SIKA VISCOCRET 665

Aspect	Liquide
Couleur	Marron
Conservation	12 mois dans son emballage
Densité	1,08±0,015
PH	5±1
Extrait sec	33 ± 1,1% (méthode halogène selon NF 085)

### Caractéristique et propriétés des fibres

Dans notre travail on n'a utilisé deux types de fibres à savoir les fibres métalliques et fibre de verre (figure IV.5), leurs propriétés physicomécaniques sont présentées dans le tableau IV.7.



**Figure IV. 5:** Fibres métalliques et de verre.

**Tableau IV. 7:** caractéristique et propriétés des fibres.

Caractéristique et propriétés	Fibre métallique	Fibre de verre
Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )	7,85	2,6
Φ moyen (µm)	50-1000	5-15
Résistance à la traction (MPa)	1000-2500	2000-3000
Module d'élasticité (GPa)	150-200	80
Langueur (mm)	30	----
Diamètre (mm)	0,55	----
Elancement	55	----

## **Partie expérimentale**

*\*\*A titre d'information les fibres utilisés sont livrées par l'entreprise SIKA-Algérie, notamment leurs fiches techniques d'utilisation.*

### **Équipement nécessaire utilisé**

- Un malaxeur normalisé ;
- Des moules normalisés de dimensions (4x4x16) cm<sup>3</sup> ;
- Un appareil à choc ;
- Une machine d'essais de résistance à la flexion ;
- Une machine d'essais de résistance à la compression ;
- Balance électrique ;
- Agitateur ;
- Série de tamis.

### **Deuxième partie**

Cette partie est consacrée à la formulation de plusieurs variantes (neufs mélanges) de mortiers fibrés avec différents pourcentages (0,5 %, 1% et 2 %) et deux natures de fibres introduites séparément et mélangées, l'ensemble des variantes seront soumises aux essais physicomécanique, à savoir les masses volumiques et les résistances mécaniques en flexion et en compression à différents âges (7, 14 et 28 jours), les résultats ainsi obtenus seront confrontés et comparés aux résultats obtenus lors des essais de la variante témoins (sans fibre).

## **IV.2. Préparation des mortiers**

### **IV.2.1. Mortier normal (Témoin)**

Pour préparer un mortier normal, la norme **NF P15-403** exige les quantités massiques suivantes :

- Sable 0/3: 1350 ± 5g ;
- Ciment : 450 ± 2g ;
- Eau de gâchage : 225 g (le rapport E/C est égale 0,5).

### **IV.2.2. Préparation des éprouvettes**

- On utilise des moules prismatiques de dimension (4 × 4 × 16) cm<sup>3</sup>.
- Un nettoyage des éprouvettes est préconisé, à l'aide d'une brosse métallique puis on les étale avec l'huile afin de faciliter le démoulage.

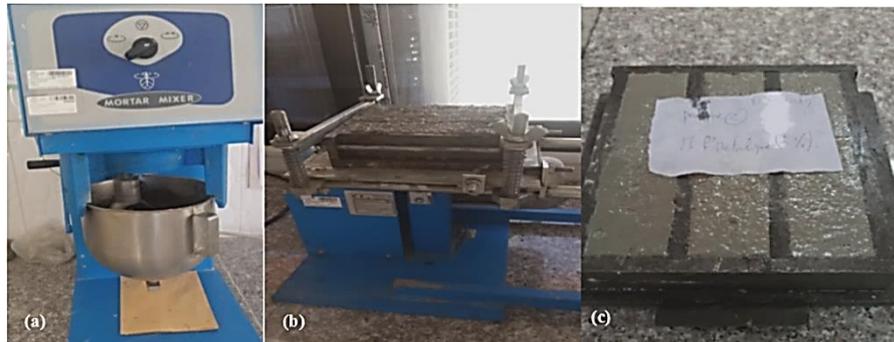
### **IV.2.3. Le malaxage**

Le malaxage est effectué au moyen d'un malaxeur (figure IV.6 (a)) spécifié par la norme [NF P15-403]. Le malaxeur étant en position de fonctionnement :

- Mettre 225 ml d'eau ;

## Partie expérimentale

- Mettre 450 g de ciment ;
- Malaxer pendant 30 s à vitesse lente, introduire l'adjuvant, les fibres et le sable d'une manière aléatoire, puis malaxer pendant 2 mn à vitesse rapide ;
- Arrêter le malaxeur, démonter le batteur, puis racler les parois et le fond du récipient de façon qu'aucune partie de mortier n'échappe au malaxage ;
- Après remontage du batteur reprendre le malaxage pendant 2 mn à vitesse rapide ;
- Après le malaxage couler le mortier dans des moules normalisés (4x4x16) cm<sup>3</sup>, qui doivent être graissés au préalable, remplir la moitié du moule qui doit être placé sur la table à choc, avec un nombre de coups égal à 60 coup/mn ;
- Retirer le moule après la vibration et le remplir de nouveau jusqu'au débordement, et raser l'excès puis remettre sur la table à choc (figure IV.6 (b)) pour compléter l'homogénéisation ;
- Remplir les moules prismatiques (4x4x16) cm<sup>3</sup> (figure IV.6 (c))



**Figure IV. 6:** (a) : Malaxeur, (b) : La table vibrante, (c) : Moules prismatiques

### IV.2.4. Démoulage et conservation des éprouvettes

Après 24(h) heure on fait un démoulage, puis une conservation des éprouvettes dans la chambre de conditionnement, afin de favoriser la réaction d'hydratation du ciment (figure IV.7) avec les paramètres suivants : une température de  $20 \pm 1$  °C et une humidité de  $97 \pm 1$  % pendant 7, 14 et 28 jours, en fonction de l'âge prévu pour les essais mécanique (flexion et compression).



**Figure IV. 7:** La chambre humide.

## Partie expérimentale

### IV.3. Mortiers fibrés

Dans notre partie expérimentale, on n'a élaboré plusieurs variantes (10 variantes) avec un rapport (E/C = 0,5), le tableau IV.8, illustre les variantes à étudier, ainsi que leurs compositions en fonction de l'addition de deux types de fibres (fibre métallique, fibre de verre et mélange de deux fibres) à des différents pourcentages (0,5 %, 1 % et 2%), dans notre partie expérimentale et dans chaque variante élaborée, on a pris trois (03) éprouvettes afin d'avoir une moyenne des résultats après trois essais pour chaque caractérisation.

**Tableau IV. 8 :** Composition massique des variantes étudiées.

N°	Variantes	Composition				
		Ciment (g)	Eau (g)	Sable (g)	Fibre (g)	Adjuvant (g)
01	Témoin	450	225	1350	00,00	03,15
02	FM 0,5 %	450	225	1350	30,14	03,15
03	FM 1 %	450	225	1350	60,28	03,15
04	FM 2 %	450	225	1350	120,56	03,15
05	FV 0,5 %	450	225	1350	09,98	03,15
06	FV 1 %	450	225	1350	19,96	03,15
07	FV 2 %	450	225	1350	39,32	03,15
08	(FM et FV) 0,5 %	450	225	1350	20,06	03,15
09	(FM et FV) 1%	450	225	1350	40,12	03,15
10	(FM +FV) 2%	450	225	1350	80,24	03,15

### IV.4. Les essais sur les mortiers fibrés

Les différents éprouvettes des variantes élaborées, ont subi une caractérisation physicomécanique à travers des tests de masses volumiques, et des essais mécaniques à savoir ceux de flexion de compression à différents âges (7, 14 et 28 jours).

#### IV.4.1. Les essais physiques

Avant chaque essai mécanique, de l'ensemble des éprouvettes de chaque variante étudiée, on a déterminé les masses volumiques de ces dernières à l'aide des essais de mesure de masse volumique, cet essai consiste à peser chaque éprouvette en utilisant une balance (figure IV.8).



**Figure IV. 8:** Mesure des masses volumiques des éprouvettes.

## Partie expérimentale

### IV.4.2. Les essais mécaniques

Les tests mécaniques sont effectués au niveau du laboratoire béton de l'organisme L.C.T.P, en utilisant une machine d'essais de flexion et de compression pilotée par ordinateur (figure IV.9), selon la norme **NF P18-405** et **NF P18-406** respectivement, l'ensemble des éprouvettes des différentes variantes ont subi la caractérisation mécanique, aux âges (7, 14 et 28 jours).



**Figure IV. 9:** Machine d'essais de flexion et de compression pilotée par ordinateur (L.C.T.P).

Les éprouvettes sont retirées de la chambre climatique, puis laissées pendant 3 heures, afin d'avoir une stabilité d'humidité de ces dernières. Les essais de flexion sont réalisés au préalable sur les éprouvettes, après rupture par flexion, les deux morceaux d'éprouvette sont utilisés pour les essais de compression (figure IV.10).



**Figure IV. 10:** Essais de flexion et compression (L.C.T.P).

### IV.5. Remarques sur la préparation des éprouvettes

Durant la préparation des éprouvettes, on a noté que :

1- Une difficulté lors du malaxage de la variante élaborée avec fibre de verre longue, notamment celle avec 2 %, un blocage du malaxeur a été observé, qu'est due à la création de force empêchant le malaxage du mélange, provoquée par le phénomène d'enchevêtrement de la fibre de verre ; aussi une difficulté de mise en œuvre du mélange dans les moules (figure IV.11).



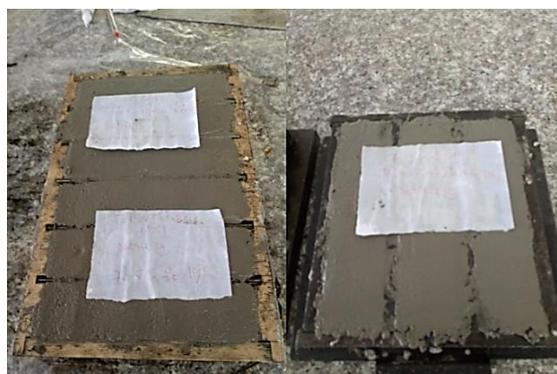
**Figure IV. 11:** Phénomène d'enchevêtrement du mélange avec 2 % de fibre de verre.

Afin de remédier à cette difficulté, on a procédé à la découpe de la fibre de verre dans ce cas signalé en utilisant un ciseau, la longueur des fibres ainsi découpées varie entre 3 et 4 cm (figure IV.12), après introduction de ses fibres découpées, on a remarqué une amélioration et une facilité du malaxage et de mis en œuvre des éprouvettes.



**Figure IV. 12:** Découpe de la fibre de verre langue.

2- Dans notre travail expérimental on a utilisé deux types de moules  $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$ , métallique et en bois (figure IV.13), vue le manque de moule de nature métallique, durant la phase de moulage en utilisant les moules en bois, on a noté une difficulté d'effectués des vibrations sur ses moules après remplissage par les mortiers, cela est due à la nature isolante du matériau bois, aussi la structure fragile de ses moules, que nous avons-nous même réalisés, afin de réaliser la partie pratique dans les délais.



**Figure IV. 13:** Moules utilisés.

## Partie expérimentale

### IV.6. Résultats des essais

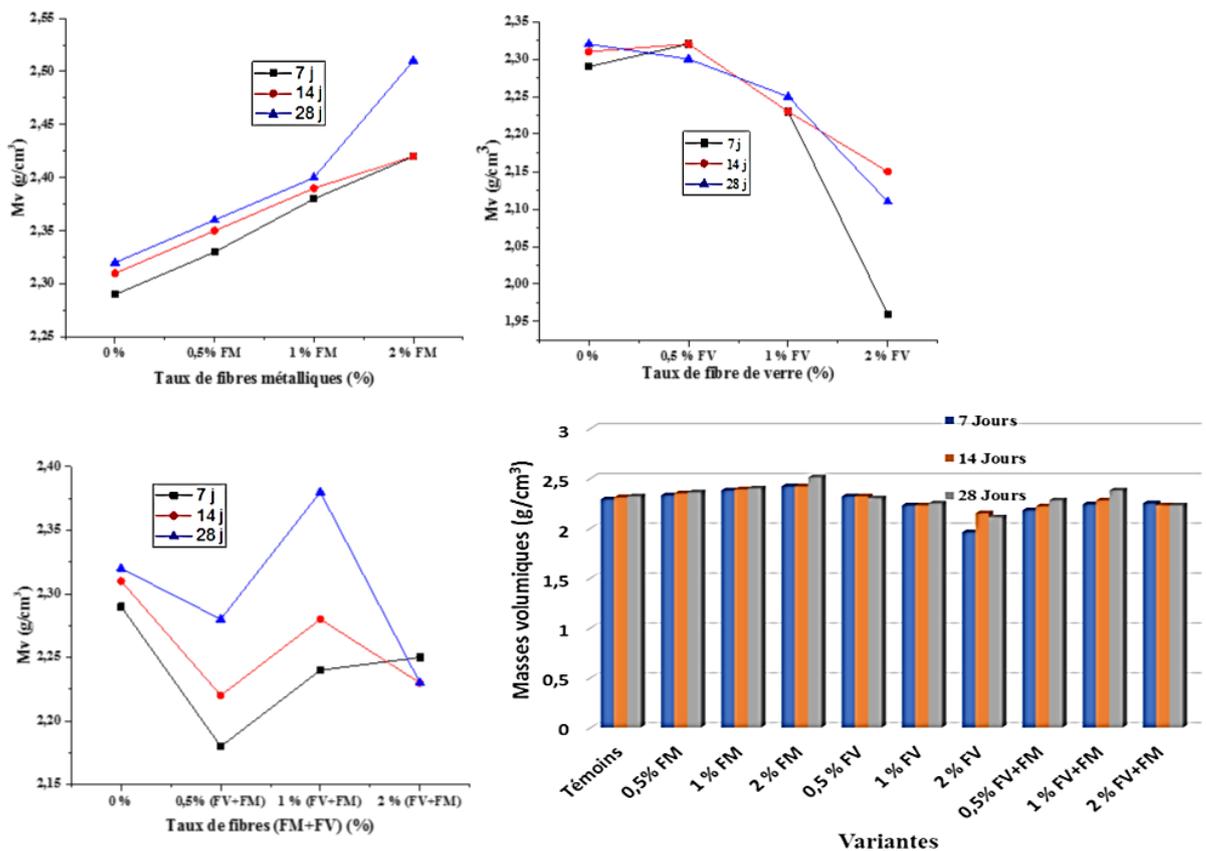
#### IV.6.1. Résultats essais physiques

Le tableau IV.9 suivant, résume les résultats des essais physiques, à savoir les masses volumiques à l'état durci de chaque variante élaborée aux âges (7, 14 et 28 jours), il y'a lieu de signaler que les résultats représentent la moyenne de trois mesures dans chaque cas.

**Tableau IV. 9:** Les masses volumiques des différentes variantes en fonction des âges.

Réf Age	Masses Volumiques (g/cm <sup>3</sup> )		
	7 Jours	14 Jours	28 Jours
Témoins	2,29	2,31	2,33
0,5% FM	2,32	2,36	2,40
1 % FM	2,35	2,38	2,42
2 % FM	2,39	2,42	2,51
0,5 % FV	2,32	2,32	2,30
1 % FV	2,23	2,23	2,25
2 % FV	1,96	2,15	2,11
0,5%( FV+FM)	2,18	2,22	2,28
1 %( FV+FM)	2,24	2,28	2,38
2 %( FV+FM)	2,25	2,23	2,23

L'histogramme de la figure IV.14 représente les variations des masses volumiques des variantes étudiées, en fonction du temps à savoir 7, 14 et 28 jours.



**Figure IV. 14:** Variation des masses volumiques des différentes variantes en fonction du temps.

## Partie expérimentale

### IV.6.1.1 Remarques sur les résultats d'essais physiques

- La masse volumique des variantes étudiées est affectée par : la nature de la fibre, l'âge et le pourcentage d'introduction des fibres.
- La masse volumique augmente de manière proportionnelle en fonction de l'âge (7, 14 et 28 jours) respectivement.
- La masse volumique augmente en fonction des taux d'introduction des pourcentages des fibres métalliques, on a noté des valeurs : (2,36 - 2,4 et 2,51) g/cm<sup>3</sup>, aux pourcentages d'introduction (0,5 %, 1 % et 2 %) respectivement.
- La masse volumique diminue en fonction de l'augmentation des pourcentages des fibres de verre et le mélange FM+FV (0,5 %, 1 % et 2 %).

### IV.6.2. Résultats des essais mécaniques

#### IV.6.2.1. Essais de flexion trois points

Le tableau IV.10 suivant, résume les résultats des essais mécaniques en flexion trois points, à savoir les contraintes de ruptures en flexion des éprouvettes des différentes variante élaborées aux âges (7, 14 et 28 jours), les résultats représenter la moyenne de trois essais dans chaque variantes étudiées.

**Tableau IV. 10:** Les résistances en flexion trois points des variantes étudiées en fonction du temps.

Réf	Résistance en Flexion (MPa)		
	7 Jours	14 Jours	28 Jours
<b>Témoins</b>	7,15	8,60	7,74
<b>0,5% FM</b>	7,83	9,63	13,13
<b>1 % FM</b>	11,65	17,04	15,07
<b>2 % FM</b>	15,10	14,24	18,90
<b>0,5 % FV</b>	7,32	8,39	7,40
<b>1 % FV</b>	7,79	7,66	6,30
<b>2 % FV</b>	8,68	8,55	7,77
<b>0,5% FV+FM</b>	7,14	7,16	7,62
<b>1 % FV+FM</b>	7,13	8,44	10,01
<b>2 % FV+FM</b>	7,59	7,54	13,36

La figure IV.15 représente les résistances en flexion des variantes étudiées en fonction des âges 7, 14 et 28 jours.

## Partie expérimentale

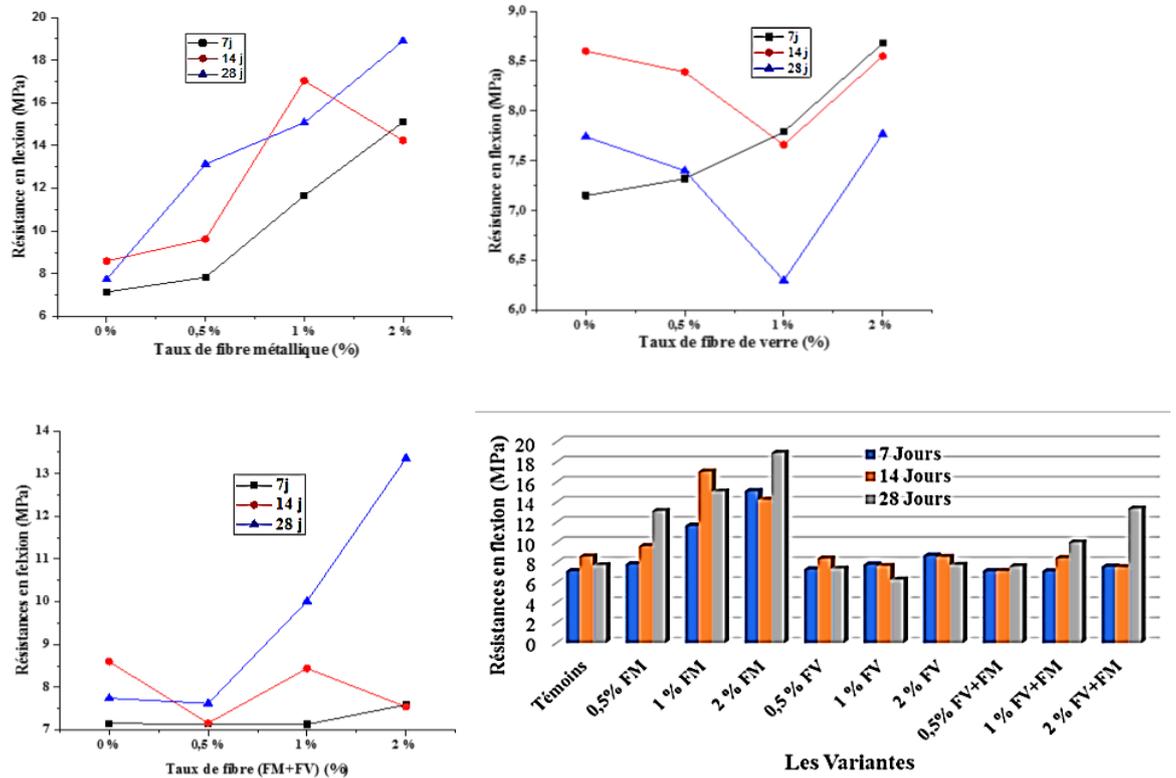


Figure IV. 15: Résistances en flexion des différentes variantes étudiées en fonction du temps

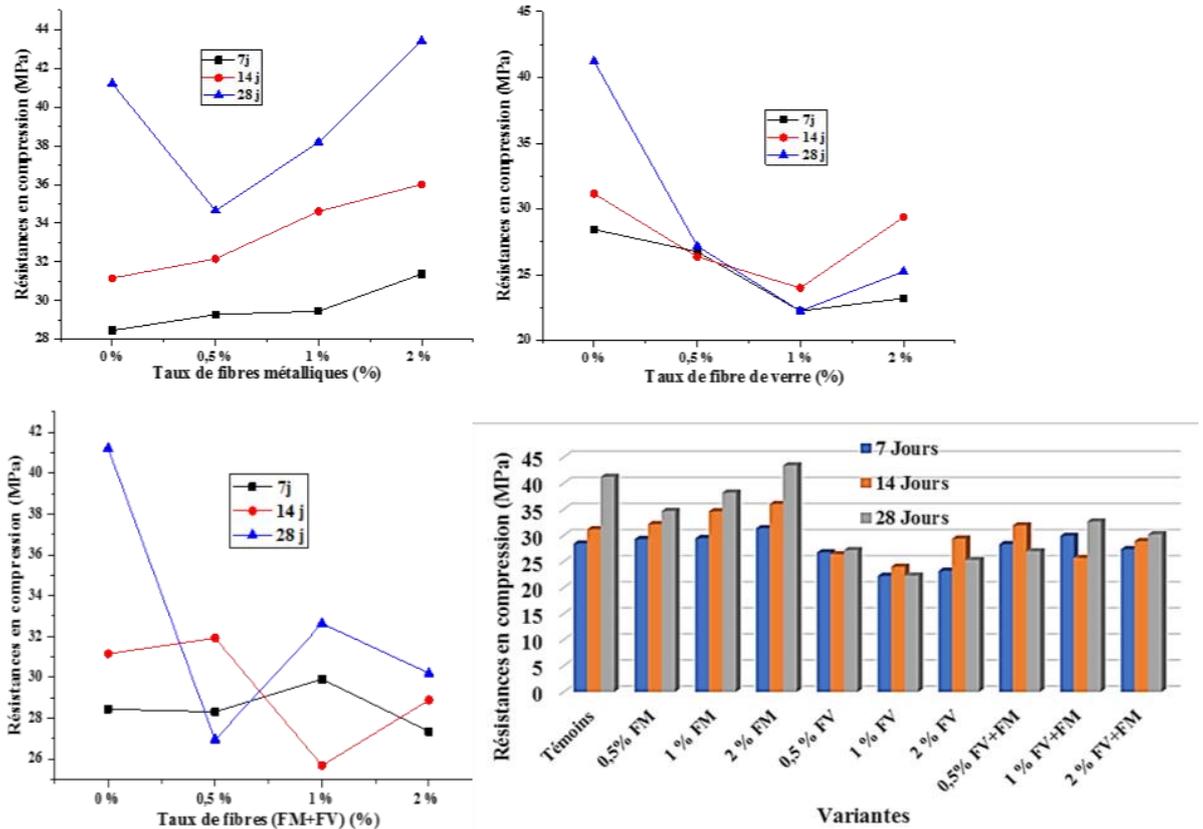
### IV.6.2.2. Essais de compression

Tableau IV. 11: Les résistances en compression des variantes étudiées en fonction du temps.

Réf	résistance en compression (MPa)		
Agés	7 jours	14 jours	28 jours
Témoins	28,45	31,16	41,22
0,5% FM	29,28	32,16	34,65
1 % FM	29,45	34,61	38,18
2 % FM	31,37	36,01	43,42
0,5 % FV	26,75	26,37	27,18
1 % FV	22,24	24	22,25
2 % FV	23,21	29,38	25,24
0,5% FV+FM	28,31	31,92	26,95
1 % FV+FM	29,91	25,68	32,64
2 % FV+FM	27,35	28,89	30,2

La figure IV.16 représente les résistances en compression des variantes étudiées en fonction des âges 7, 14 et 28 jour

## Partie expérimentale



**Figure IV. 16:** Résistances en compression des différentes variantes étudiées en fonction du temps.

D'après les résultats des essais mécaniques illustrés dans les figures IV.15 et IV.16 de résistance en flexion et en compression de différentes variantes étudiées on remarque que :

- La résistance en flexion et en compression des variantes étudiées est affectée par : la nature des fibres, ainsi leur pourcentages et l'âge (7, 14 et 28 jours).
- Les résistances mécaniques en flexion augmentent, les valeurs obtenues de ses essais ((7,13 à 15,1) MPa, (7,16 à 17,04) MPa, et (6,3 à 18,9) MPa), aux âges (7, 14 et 28 jours).
- Les résistances mécaniques en compression augmentent, les résultats obtenus sont : ((22,24 à 31,37) MPa, (24 à 36,01) MPa, et (22,5 à 43,42) MPa), aux âges (7, 14 et 28 jours).
- La résistance en flexion et en compression évolue d'une manière proportionnelle avec l'augmentation des pourcentages des fibres métalliques et le mélange (FM+FV) à des taux d'introduction (0,5 %, 1 % et 2 %).
- Les résistances en flexion sont influencées d'une manière non significative (légère diminution) de 7,83 à 7,14 MPa à (7 jours), de 9,63 MPa à 7,16 MPa (14 jours) et 13,13 MPa à 7,62 MPa à 28 jours, dans les variantes élaborées avec un pourcentage de 0,5 %, notamment de 11,65 à 7,13 MPa à (7 jours), de 17,04 MPa à 8,44 MPa (14 jours) et 15,07 MPa à 10,01 MPa à 28 jours dans les variantes élaborées avec le taux

## Partie expérimentale

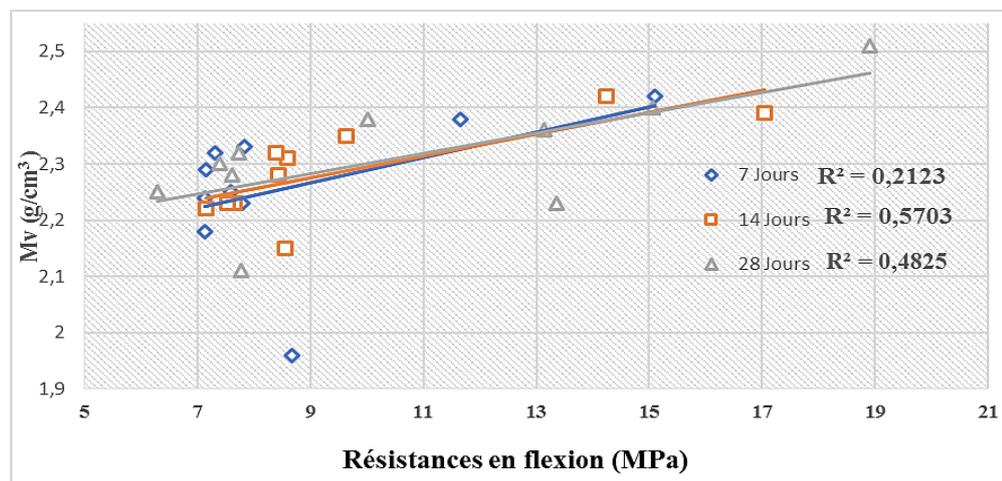
de 1 % , et aussi de de 15,1 à 7,59 MPa à (7 jours), de 14,24 MPa à 7,54 MPa (14 jours) et 18,9 MPa à 13,36 MPa à 28 jours dans les variantes élaborées avec le pourcentage de 2 %.

- en fonction des pourcentages d'introduction des différentes fibres, les résultats les plus importants sont obtenus dans le cas des fibres métalliques par rapport aux deux types de fibres utilisés.
- Les résistances en compression sont influencées d'une manière significative par l'augmentation du taux de fibre de verre en fonction de l'âge, notamment : de 29,28 à 26,75 MPa à (7 jours), de 32,16 MPa à 26,37 MPa (14 jours) et 34,65 MPa à 18 MPa à 28 jours, dans les variantes élaborées avec un pourcentage de 0,5 % , notamment de 29,45 MPa à 22,24 MPa à (7 jours), de 34,61 MPa à 24 MPa (14 jours) et 38,18 MPa à 22,25 MPa à 28 jours dans les variantes élaborées avec le taux de 1 % , et aussi de de 31,37 MPa à 23,21 MPa à (7 jours), de 36,01 MPa à 29,38 MPa (14 jours) et 43,42 MPa 25,24 MPa à 28 jours dans les variantes élaborées avec le pourcentage de 2 %.

### IV.6.3. Analyses statistiques des résultats

Afin de mettre en exergue la relation entre les différents résultats, obtenus après les caractérisations physicomécaniques de l'ensemble des variantes étudiées, les écarts types entre l'ensemble des valeurs obtenues, ainsi que les coefficients de corrélation ( $R^2$ ) sont estimés.

La figure suivante IV.17 représente les résultats de corrélation entre les masses volumiques et la résistances en flexion.



**Figure IV. 17:** Corrélation entre la masse volumique et la résistance en flexion.

La figure suivante IV.18 représente les résultats de corrélation entre les masses volumiques et la résistances en flexion.

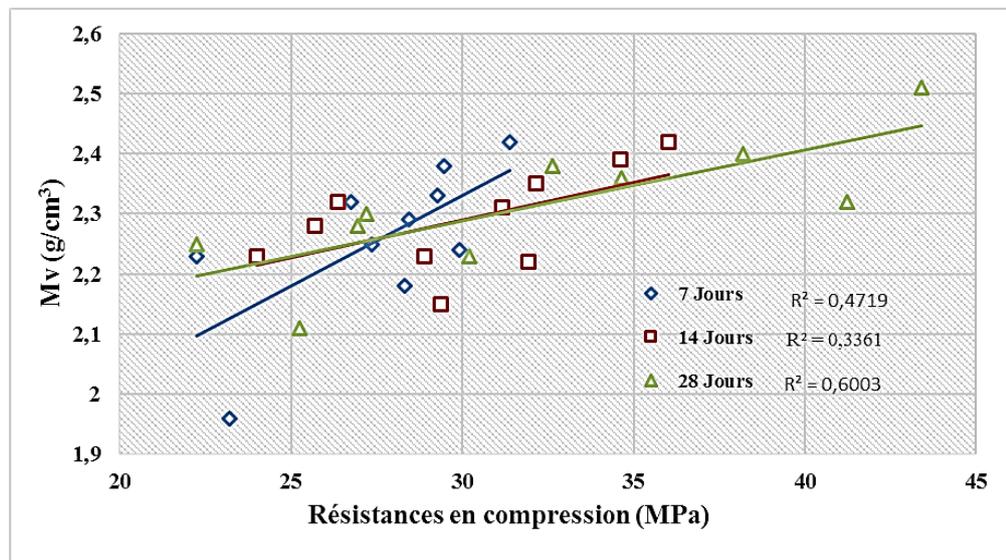
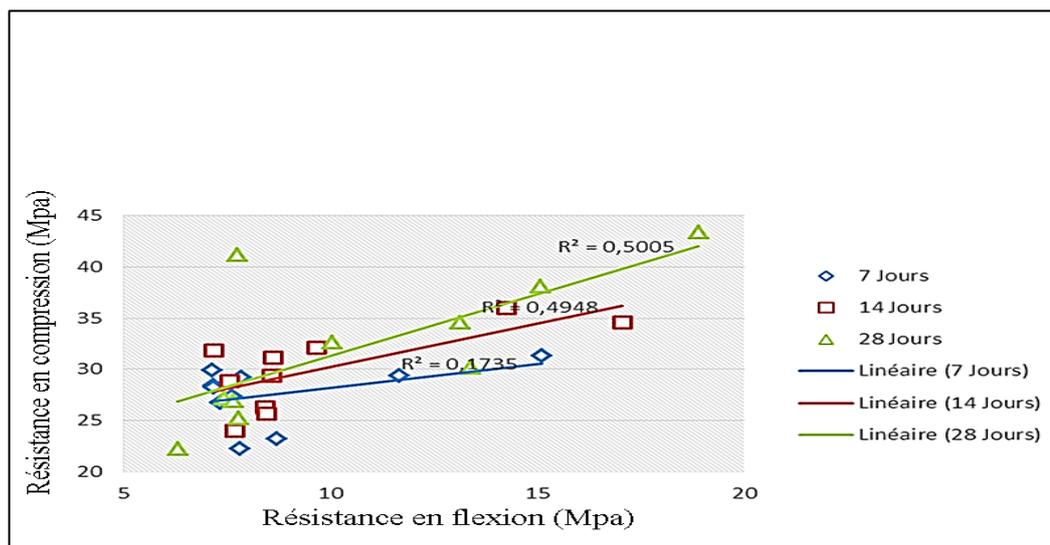


Figure IV. 18: Corrélation entre la masse volumique et la résistance en compression.

La figure suivante IV.19 représente les résultats de corrélation entre les résistances en flexion et celles en compression.



## **Partie expérimentale**

---

### **IV.6.4. Discussion et interprétation des résultats**

#### **IV.6.4.1. Les Propriétés physique**

Les résultats obtenus sont confrontés à ceux de la variante témoin.

-La masse volumique des variantes témoins est presque stables en fonction de l'âge (7, 14 et 28 jours), la légère variation peut être expliquée par l'évolution de l'hydratation en fonction du temps.

-La masse volumique de variantes élaborées par l'introduction des fibres métalliques a augmentée par rapport aux variantes témoins, cela est expliqué par la masse volumique des fibres métalliques ( $7,85 \text{ g/cm}^3$ ), cette augmentation évolue en fonction de l'augmentation du pourcentage d'introduction des fibres métalliques de 0,5 % à 2 %.

-La masse volumique des variantes élaborées avec le fibre de verre diminue par rapport aux variantes témoins, en fonction de l'augmentation des taux de fibres de verre (0,5 % à 2 %), cela est expliquée par la nature des fibres ( $2,6 \text{ g/cm}^3$ ) et leurs forme (langue), ce qu'a été remarqué durant l'élaboration des mélanges par la difficulté d'assurer un mélange homogène, qui s'explique par la longueur des fibre de verre, qui est responsable de l'enchevêtrement durant le malaxage favorisant ainsi une certaine hétérogénéité et la création de porosité.

- La masse volumique des variantes élaborées avec un mélange de fibres métallique et verre, les valeurs se situent entre celles obtenus dans la cas de fibre métallique et de verre, cela est expliqué par la nature des fibres et leurs propriétés physique ( $M_{VFM} = 7,85 \text{ g/cm}^3$ ) ( $M_{VfV} = 2,6 \text{ g/cm}^3$ ), les résultats se situent entre (2,18 à 2,25) à 7 jours, (2,22 à 2,28) à 14 jours et (2,23 à 2,38) à 28 jours.

Les résultats obtenus dans le cas des fibres métalliques sont conformes aux résultats trouvés par [22].

#### **IV.6.4.2. Les propriétés mécaniques**

##### **IV.6.4.2.1. Flexion**

Les résultats obtenus sont confrontés à ceux de la variante témoin.

-La résistance en flexion est améliorée dans le cas des variantes renforcées avec les fibres métalliques, notamment avec l'augmentation de taux de fibres (0,5 % à 2 %), une amélioration de 111,18 % dans le cas d'introduction de 2 %, 62,93 % pour 1 % et 9,51 % pour 0,5 % à 7 jours, et aussi une évolution de 65,58 % lors de l'introduction de 2 %, 98,13 % pour 1% et 11,97 % pour 0,5 % à 14 jours, et à 28 jours on remarque une amélioration de 144,18 % dans le cas de 2 %, 94,70 % pour 1 % et 69,63 % pour 0,5 %.

Cette amélioration de la résistance en flexion est expliquée par l'effet de renforcement des mortiers avec les fibres, qui reprennent les efforts de flexion, aussi par l'orientation horizontale des fibres dans les éprouvettes élaborées, aussi l'effet de l'ajout des fibres est

## Partie expérimentale

important pour limiter la propagation des fissures, lorsque on atteint les limites de rupture, cela est observé après rupture des éprouvettes testées (figure IV.20).



**Figure IV. 20:** éprouvette après test de flexion.

Les résultats des essais mécaniques en flexion sur les variantes élaborées par l'introduction des fibres de verre, ont révélé des résultats aléatoires, les valeurs obtenues à 7 jours montrent une légère augmentation en fonction de l'augmentation du pourcentage de fibre de verre, par contre à 14 et 28 jours, les résultats montrent une diminution des résistances en flexion en fonction des taux de fibre de verre, notamment en fonction du temps, par comparaison aux éprouvettes témoins, cela est expliquée par la longueur des fibre, et l'enchevêtrement des fibres dans les éprouvettes, qui a favorisé la création d'une porosité notamment un mauvaise adhérence avec la matrice cimentaire, cela est observé lors de la préparation de cette variante, qui s'est manifesté par une difficulté lors du malaxage.

### IV.6.4.2.2. Compression

Les résultats obtenus sont confrontés à ceux de la variante témoin.

-La résistance en compression est améliorée dans le cas des variantes renforcées avec les fibres métalliques, notamment avec l'augmentation de taux de (0,5 %, 1 % et 2 %), on remarque une amélioration de 2,91 % et 3,51 % puis 10,26 % respectivement à 7 jours, et aussi une évolution de 3,20 %, 11,07 % et 15,65 % à 14 jours, cette légère augmentation est expliquée par la disposition des fibres dans les éprouvettes testées, ainsi leurs orientations, par contre à 28 jours on remarque une diminution des résistances mécaniques en compression, on n'a noté une diminution de de 15,93 % et 7,37 % aux taux de 0,5 % et 1 % respectivement, d'autre part on n'a remarqué une légère augmentation estimé à 5,33 % pour le taux d'introduction de 2 %, ses résultats s'avère contradictoires, et qui peuvent être expliqué par l'effet de la disposition et la distribution des fibres métalliques dans les éprouvettes (cet aspect n'est pas pris en charge dans cette étude), ce qu'est mentionné dans plusieurs travaux de recherches [22].

-La résistance en compression est réduite dans le cas des variantes renforcées avec les fibres de verres, et cela dans l'ensemble des taux d'addition de (0,5%, 1 % et 2 %), on remarque une diminution de 5,97 % , 21,82 % et 18,41 % respectivement à 7 jours, et aussi une chute de

## **Partie expérimentale**

15,37 %, 22,97 % et 5,71 % à 14 jours, à 28 jours la diminution est estimée à 34,06 %, 46,02 % et 38,76 dans les taux d'addition à (0,5 %, 1 % et 2 %) respectivement.

Cette diminution est expliquée par la nature de la fibre et sa géométrie (longue (0,5 % et 1 %) et courte (2 %)), et la mauvaise adhérence avec la pâte de ciment, notamment l'augmentation de la porosité notée par la diminution de la masse volumique des variantes testées.



**Figure IV. 21:** Eprouvette après test de compression.

-La résistance en compression est réduite dans le cas des variantes renforcées avec le mélange des deux types de fibres (métalliques et verres), et cela dans l'ensemble des taux d'addition de (0,5% et 2 %), on remarque une diminution de 0,49 % et 3,86 % respectivement à 7 jours, qui peut être expliqué par l'effet de la fibre de verre cité précédemment, néanmoins dans cette variante on n'a constaté une amélioration de 5,13 pour le taux de 1 %. Aux taux d'addition de (1 % et 2 %), on fait la même remarque, la diminution est estimée à (17,58 % et 7,28 %) à 14 jours, avec une légère amélioration de 2,43 % pour le taux de 0,5 %, dans cette même variante à l'âge de 28 jours, on n'a noté une chute de (34,61 %, 20,81 % et 26,73 %) aux taux (0,5 %, 1 % et 2 %), cela est due à l'effet de la fibre de verre (mauvaise adhérence avec la pâte de ciment).

# *Conclusion générale*

**Conclusion générale**

Les objectifs principaux de notre travail étaient, d'évaluer l'influence d'utilisation des fibres métalliques et verre sur le comportement physicomécanique des mortiers.

Dans ce travail nous avons formulé trois compositions du mortier fibrés, dont l'addition est faite séparément avec la fibre métallique pour la première variante et celle de verre pour la seconde variante, puis la troisième variante est élaborée par addition simultanée des deux types de fibre, et cela à différents taux d'addition (0,5 %, 1 % et 2 %), l'ensemble des résultats physicomécaniques obtenus sont comparés au mortier témoins (sans fibre).

Les résultats de cette étude expérimentale sur les mortiers fibrés, nous a permis de faire les conclusions suivantes :

- L'introduction des fibres de métallique a permet d'améliorer d'une manière très significative la résistance en flexion, l'augmentation notée lors de l'introduction de 2 % est estimée à 111,18 % et 144,18 % aux âges de 7 et 28 jours respectivement.
- L'introduction des fibres de métallique a permet d'améliorer les résistances en compression, on n'a noté une amélioration de 15,56 % à 14 jours au taux de 2 %.
- Les propriétés physiques des variantes à base de fibre métalliques, à savoir la masse volumique a été augmentée de 7,72 %.
- L'introduction de la fibre de verre nous permis de noter, un effet négatif sur les propriétés des mortiers à l'état frais et durcis, notamment avec la difficulté de mise en œuvre, et la chute des résistances en flexion aux différents âges, néanmoins un effet d'allègement a été observé dans cette variante étudiée.
- L'ajout simultané des fibres métalliques et celle de verre, dans le cas de la troisième variante élaborée, nous permis de remarquer une amélioration des propriétés rhéologiques à l'état frais et durcis, par la diminution du taux de fibre de verre.

### Recommandations et perspectives

A la lumière des résultats obtenus dans cette étude, des recommandations et des perspectives peuvent être énumérées à savoir :

- Une étude sur l'effet de la géométrie, et la disposition (orientation des fibres dans la matrice) sur les propriétés physicomécaniques des mortiers.
- Une étude sur l'amélioration des propriétés rhéologique des mortiers fibrés.
- Effet de l'introduction des fibres sur la porosité des mortiers.
- Une étude de l'adhérence des fibres avec les matrices cimentaires.
- Une étude complémentaire des microstructures des mortiers élaborés (MEB-D-RX).

### Références bibliographiques

- [1] Vimane PHOUMMAVONG «Cours en ligne Matériaux de Construction». Université National LAOS 2006.
- [2]: WILLIAM.D, CALLISTER.JR « Science et génie des matériaux » modolu Editeur, 2001.
- [3] Govin A. « Aspects physico-chimiques de l'interaction bois-ciment, modification de l'hydratation du ciment par le bois ». Thèse de doctorat, Ecole National Supérieur des Mines de Saint Etienne, 2004, 216 p.
- [4] De Larrard F. « Construire en béton l'essentiel sur les matériaux ». Thèse de doctorat, Presses de l'Ecole National Des Ponts et Chaussées ,2002, 199p.
- [5]. M. Venuat– La pratique des ciments, mortiers et bétons – Tome 1 : « Caractéristiques des liants et des bétons, mise en œuvre des coulis et mortiers » - édition2 – Collection Moniteur. 1989- 277 p.
- [6]. J. Baron, J.P. ollivier et J.C. Weiss, « Les bétons, bases et données pour leur formulation», Edition Eyrolles,Troisième tirage, 1999, pp 3-12.
- [7]. G. Dreux "Nouveau guide du béton " Edition, Eyrolles- Paris- 1998, pp 29-41.
- [8]: R.DUPAIN, R.LANCHON, J-C.SAINT-ARROMAN «Granulat, sols, ciment et béton» Edition CASTEILLA-PARIS-2004.
- [9]: SYLVER.P «science des matériaux», université pierre et marie curie 2005 ,2006.
- [10]: GCI712 « Durabilité ET réparation du béton », département Génie civil, Université de Sherbrooke-Canada, Avril 2009.
- [11]: Mr. BERRAIH MIMOUN « Etude des mortiers contenant de la pouzzolane naturelle et des déchets de verre » mémoire pour l'obtention du diplôme de magister en Génie Civil, option géomatériaux (ENSET Oran 2009/2010).
- [12] BOULEKBACHE B. HAMRAT M. CHEMROUK M. and AMZIANE S, 2009, «Influence of the Rheology of steel fibers' Reinforced Concretes on their Mechanical Properties». European Journal of Environmental and Civil Engineering.
- [13] SACI. R ; Prise en compte de l'orientation des fibres dans une poutre continue à matrice de béton, mémoire de magistère, Université Mohamed Boudiaf M'sila, 2004.
- [14] LAFARGE ; Le béton et la démarche HQE.

## **Références bibliographiques**

---

- [15] AIT AMEUR, Contribution à l'étude expérimentale des bétons renforcés de fibres d'acier locales. Mémoire de magister, U Tiaret, 1998.
- [16] DEBICKI.G, Contribution à l'étude du rôle de fibres dispersées anisotropiquement dans le mortier de ciment sur les lois de comportement, les critères de résistance et la fissuration des matériaux. Thèse de doctorat, INSA de Lyon, France, 1988.
- [17] BOUZEROURA .M. Etude du comportement du béton de fibres ondulées. Proposition d'une relation simplifiée contrainte-déformation, Magistère en génie civil, Université de Tizi-Ouzou, 2003.
- [18] BLEDZKI, A. K and GASSAN. J., Composites reinforced with cellulose based fibers, ELSEVIER, Progress in polymer science, volume 24, pp.221-274, 1999.
- [19] ASB. Association du béton Québec. Guide de bonnes pratiques pour l'utilisation des fibres dans le béton, Bibliothèque nationale du Québec, Québec, 2005.
- [20] CHANVILLARD G, (1993), «analyse expérimentale et modélisation micromécanique du comportement des fibres d'acier tréfilées ancrées dans une matrice cimentaire», études et recherche des LPC, série ouvrages d'art.
- [21] Dengwu Jiao et al, Effects of rotational shearing on rheological behavior of fresh mortar with short glass fiber, Construction and Building Materials 203 (2019) 314–321 pages.
- [22] M. BENTALHA, H. HOUAR, Etude du comportement des matrices cimentaires renforcées de fibres métalliques sous chargement monotone croissant, Sciences & technologie. B, Sciences de l'ingénieur Juin 2007, Volume 0, Numéro 25, Pages 51-58.

# Annexes

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS ET DES TRANSPORTS**  
**GRUPE D'ÉTUDES D'INFRASTRUCTURES, DE CONTRÔLE ET D'ASSISTANCE (GEICA/SPA)**  
**LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS**

**UNITÉ RÉGIONALE DU LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS A BOUIRA**

---

**ACTIVITÉS DU LABORATOIRE**

**1- ÉTUDES :**

- ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DES TRACÉS ROUTIERS, FERROVIAIRES ET AÉROPORTUAIRES.
- ÉTUDE DE SOL DE FONDATIONS D'OUVRAGES D'ART, OUVRAGES HYDRAULIQUES, BÂTIMENTS ET CENTRALES ÉLECTRIQUES.
- ÉTUDE DE STABILITÉ DES TALUS (MOUVEMENTS DES TERRES) ET DES PENTES NATURELLES.
- RECHERCHE DE ZONES D'EMPRUNTS ET DE GRANULATS RÉPONDANT AUX NORMES REQUISES POUR LA FABRICATION DES BÉTONS ET DES ENROBÉS.
- ÉTUDES DE FORMULATION DE MÉLANGES HYDRAULIQUES ET HYDROCARBONÉS.
- ÉTUDES DE RENFORCEMENTS ET EXPERTISES DES ROUTES ET DES OUVRAGES D'ARTS.

**2- CONTRÔLE DES TRAVAUX :**

- TERRASSEMENTS, BÉTONS, ENROBÉS ET SIGNALISATION ROUTIÈRE.

**3- INVESTIGATIONS ET ESSAIS IN-SITU :**

- SONDAGES CAROTÉS OU DESTRUCTIFS, PUIITS DE RECONNAISSANCE À LA TARIÈRE ET/OU À LA PELLE MÉCANIQUE.
- ESSAIS IN-SITU : PIÉZOMÈTRE, INCLINOMÈTRE, SPT, PRESSIOMÈTRE, PÉNÉTROMÈTRE DYNAMIQUE, PÉNÉTROMÈTRE STATIQUE, ESSAIS DE PLAQUES, ESSAIS DE DÉFLEXION ET GAMMA-DENSIMÈTRE.

**4- AUSCULTATION DES STRUCTURES :**

- SCLÉROMÈTRE, ULTRASON, CAROTTAGE.

**5- ESSAIS EN LABORATOIRE :**

- GÉOTECHNIQUE : ESSAIS D'IDENTIFICATION ET ESSAIS MÉCANIQUES SUR SOLS.
- BÉTON ET MATÉRIAUX: ESSAIS D'IDENTIFICATION ET ESSAIS MÉCANIQUES SUR GRANULATS, ESSAIS D'IDENTIFICATION DES LIANTS HYDRAULIQUES, ESSAIS MÉCANIQUES SUR BÉTONS, MORTIERS ET COULIS DE CIMENT DURCIS.
- PRODUITS NOIRS : ESSAIS D'IDENTIFICATION ET ESSAIS MÉCANIQUES SUR GRANULATS, ESSAIS D'IDENTIFICATION DES LIANTS HYDROCARBONÉS, ESSAIS D'EXTRACTION DE BITUME PAR SOLVANT ET PAR CALCINATION, ESSAIS MÉCANIQUES SUR MÉLANGES HYDROCARBONÉS.

---

**FICHE DE PRÉSENTATION DU SIÈGE**

1- SURFACE DU TERRAIN : 1961.00 M<sup>2</sup>

2- SURFACE BÂTIE DU PROJET : 853.89 M<sup>2</sup>

3- GABARIT : R+2 / R+3

4- COEF. DE L'EMPRISE AU SOL : 0.43

5- COEF. DE L'OCCUPATION DU SOL : 1.27

6- SURFACE DÉVELOPPÉE : 2653.49 M<sup>2</sup>



NOUVEAU SIÈGE



## المجمع الصناعي لإسمنت الجزائر

GRUPE INDUSTRIEL DES CIMENTS D'ALGERIE  
SOCIETE DES CIMENTS DE SOUR EL GHOZLANE  
« S.C.S.E.G. »

S.P.A. au capital social de : 1.900.000.000 D.A. : ش.ذ.أ. - رأسمالية الإحصائي



N° Identification Fiscale : 099 810 028 210 584 - N° Article d'Imposition : 10 38 52 58 011 - N° Registre de Commerce : 10/00- 0282105898

Produit Commercialisé :  
Ciment CEM II /A-M (P-L) 42.5 N

### Fiche technique

Période D'expédition :  
Avril -Mai 2019 -

Conformément à la norme NA 442 édition 2013

Caractéristique physico-mécaniques				Composition chimique		
Désignations	Unités	Exigence	Moyenne	Composé	Exigence	Moyenne (%)
Poids spécifique	Gr/cm <sup>3</sup>		3.09	SiO <sub>2</sub>		20.06
Surface spécifique Blaine	Cm <sup>2</sup> /gr		4000	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		3.99
Consistance normale	% H <sub>2</sub> O		26.11	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		3.04
Temps de prise	Début	Min. ≥ 60	151	CaO		61.57
	Fin	Min.	322			
Expansion à chaud	mm	≤ 10	2.79	MgO		1.62
Chaleur d'hydratation à (41h)	(j/g)	270	238.8	K <sub>2</sub> O		0.54
Refus sur tamis 45 µm	%		15.58	Na <sub>2</sub> O		0.26
Résistance à la flexion	02 jours	Mpa	4.56	SO <sub>3</sub>	≤ 3.50	2.06
	07 jours	Mpa	6.12	Cl <sup>-</sup>	≤ 0.10	< 0.01
	28 jours	Mpa	6.92	P.A.F à 1000 ° C		7.16
Résistance à la compression	02 jours	Mpa	≥ 10.00	CaO <sub>libre</sub>		1.56
	07 jours	Mpa				
	28 jours	Mpa	Li ≥ 42.5 Ls ≤ 62.5			

Observation : c'est un ciment portland composé, dont les caractéristiques physico-mécaniques et chimiques satisfont aux exigences du ciment CEM II / A-M (P-L) 42.5N Selon la norme NA 442/2013.

Société des Ciments Sour El Ghoulane  
Siège : Col de Becouche BP 61, Sour El Ghoulane  
(W) de Bouira, 10004 Algérie  
E-Mail : bodg-scseg@scseg.dz

Le chef de Département

**Notice produit**  
Edition Août 2016  
Numéro 1.23  
Version n° 108.2016  
SIKA® VISCOCRETE® 665

## SIKA® VISCOCRETE® 665

Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi.

Conforme à la norme NF EN 934-2 Tab 3.1 et 3.2.

<b>Présentation</b>	Le Sika Viscocrete 665 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique. Le Sika Viscocrete 665 est compatible avec tous les ciments même avec un taux C3A faible.
<b>Domaines d'application</b>	Le Sika Viscocrete 665 permet la fabrication : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ de bétons plastiques à autoplacants transportés sur de longues distances et pompés.</li> <li>■ de bétons à longs maintiens de rhéologie (&gt;2h30), sans reprise de fluidité dans le temps.</li> </ul>
<b>Caractères généraux</b>	Le Sika Viscocrete 665 est un superplastifiant qui confère aux bétons les propriétés suivantes : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Longue rhéologie (&gt;2h30)</li> <li>■ Evolution rapide des résistances à court et à long terme</li> <li>■ Réduction de la viscosité</li> <li>■ Amélioration de la stabilité du béton frais et limitation de la ségrégation avec des granulats concassés</li> <li>■ Pas de reprise de fluidité dans le temps</li> <li>■ Qualité de parement</li> </ul>
<b>Agréments, essais de laboratoire</b>	PV CNERIB : DTEM : 396/2016.
<b>Caractéristiques</b>	
<b>Aspect</b>	Liquide marron
<b>Conditionnement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fût de 200 Kg</li> <li>■ Conteneur perdu de 1000 Kg</li> <li>■ Vrac</li> </ul>
<b>Stockage</b>	A l'abri du gel. En cas de gel accidentel, le produit retrouve ses qualités d'origine une fois dégelé lentement et réhomogénéisé.
<b>Conservation</b>	12 mois dans son emballage d'origine intact



<b>Données techniques</b>	
densité	1,085 ± 0,015
pH	5 ± 1,0
Teneur en Na <sub>2</sub> O Eq.	≤ 1,0%
Extrait sec	33,0 ± 1,1% (méthode halogène selon NF 085)
Teneur en ions Cl <sup>-</sup>	≤ 0,1%
<b>Conditions d'application</b>	
Dosage	Plage de dosage : 0,4 à 2% du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.
<b>Mise en œuvre</b>	
	Le Sika Viscocrete 665 est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.
<b>Précautions d'emploi</b>	
	En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau. Consulter la fiche de données de sécurité accessible sur Internet.
<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 notice correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»



Sika El Djazair  
08 route de l'Arbaa, 16111 Eucalyptus  
Alger/ ALGERIE  
Web : dza.sika.com

Tel.: 213 (0) 21 50 21 84  
213 (0) 21 50 16 92 à 95  
Fax: 213 (0) 21 50 22 08



## Composition massique des variantes étudiées

N°	Variantes	Composition				
		Ciment (g)	Eau (g)	Sable (g)	Fibre (g)	Adjuvant (g)
01	Témoin	450	225	1350	00,00	03,15
02	FM 0,5 %	450	225	1350	30,14	03,15
03	FM 1 %	450	225	1350	60,28	03,15
04	FM 2 %	450	225	1350	120,56	03,15
05	FV 0,5 %	450	225	1350	09,98	03,15
06	FV 1 %	450	225	1350	19,96	03,15
07	FV 2 %	450	225	1350	39,32	03,15
08	(FM et FV) 0,5 %	450	225	1350	20,06	03,15
09	(FM et FV) 1%	450	225	1350	40,12	03,15
10	(FM et FV) 2%	450	225	1350	80,24	03,15

## Les différents résultats de partie expérimentale :

Réf	MV (g/cm <sup>3</sup> )	Flexion	Compression	MV (g/cm <sup>3</sup> )	Flexion	Compression	MV (g/cm <sup>3</sup> )	Flexion	Compression
	7 Jours			14 Jours			28 Jours		
Témoins	2,33	7,15	28,45	2,31	8,60	31,16	2,29	7,74	41,22
0,5% FM	2,32	7,83	29,28	2,36	9,63	32,16	2,40	13,13	34,65
1 % FM	2,42	11,65	29,45	2,51	17,04	34,61	2,42	15,07	38,18
2 % FM	2,39	15,10	31,37	2,38	14,24	36,01	2,35	18,90	43,42
0,5 % FV	2,32	7,32	26,75	2,32	8,39	26,37	2,30	7,40	27,18
1 % FV	2,23	7,79	22,24	2,23	7,66	24,00	2,25	6,30	22,25
2 % FV	1,96	8,68	23,21	2,15	8,55	29,38	2,11	7,77	25,24
0,5% FV+FM	2,18	7,14	28,31	2,22	7,16	31,92	2,28	7,62	26,95
1 % FV+FM	2,24	7,13	29,91	2,28	8,44	25,68	2,38	10,01	32,64
2 % FV+FM	2,25	7,59	27,35	2,23	7,54	28,89	2,23	13,36	30,20