

Ordre...../F.S.S.A/UAMOB/2020

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE D'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. ASKEUR Mohamed Arezki

Mr. HADJI Mourad

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

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en Génie Civil

Thème :

**Impact de de la distribution des fibres sur les propriétés physicomécaniques
des mortiers fibrés.**

Devant le jury composé de :

HAMI Brahim
KENNOUCHE Salim
ARIBI Chouaib

MCB
MCB
MCB

UAMOB
UAMOB
UAMOB

Président
Encadreur
Examineur

Année Universitaire 2019/2020

Remerciements

Nous tenons à remercier tout d'abord mon 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 à remercier l'ensemble du staff administratif de la faculté des sciences appliquées et en particulier les enseignants du département du génie civil. Nos vifs remerciements à tous nos enseignant(e)s, en signe d'un grand respect et d'un profond amour !!! Merci à vous tous.

Dédicace

À mes parents.

**À mes frères et mes sœurs et ma famille À tous mes amis et collègues
À tous les étudiants de la promotion 2019/2020, spécialité : Matériaux en
Génie Civil**

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

À la Mémoire de notre enseignant Mr BELAID AMRAN

QUE DIEU LE BENISSE ET L'ACCEUIL DANS SON VASTE PARADIS.

ASKEUR MOHAMED AREZKI

Dédicace

À mes parents.

**À mes frères et ma sœur et sa fille et son marie ma famille. À tous mes amis
et collègues**

**À tous les étudiants de la promotion 2019/2020, spécialité : Matériaux en
Génie Civil**

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

À la Mémoire de notre enseignant Mr BELAID AMRAN

QUE DIEU LE BENISSE ET L'ACCEUIL DANS SON VASTE PARADIS.

HADJI MOURAD

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 traction. Ce travail présenté dans ce mémoire a pour principale objectif d'étudier plusieurs mortiers fibrés avec des fibres de différente de nature avec des taux variables dans les différents articles cités dans ce manuscrit, afin de noter l'effet de l'orientation et de la disposition des fibres sur les propriétés physicomécaniques des mortiers. L'ensemble des travaux confirme l'effet bénéfique en améliorant les propriétés physicomécaniques, notamment les résistances mécaniques en flexion et compression et ainsi l'importance de l'orientation et la disposition des fibres quel que soit leurs natures.

Mots clés : mortier fibré, orientation de la fibre, disposition de la fibre, fibre métallique, fibre de carbone, fibre polypropylène, fibre de cuivre, fibre hybride.

Abstract

Reinforcement of building materials, especially mortars with fibers is a technique increasingly used, with the aim is improving their mechanical characteristics, in particular their resistance to bending and traction. The main objective of this bibliographic work presented is to study the effect of introducing different fibers in mortars with varying rates, in the different articles cited in this manuscript, that note the effect of orientation and arrangement fibers on the physicommechanical properties of mortars. All of the work confirmed to the beneficial effect by improving the physicommechanical properties, in particular the mechanical strengths in bending and compression and thus the importance of the orientation and arrangement of the fibers regardless of their nature.

Keywords: fiber mortar, fiber orientation, fiber arrangement, metallic fiber, carbon fiber, polypropylene fiber, copper fiber, hybrid fiber.

ملخص

تقوية مواد البناء، وخاصة الملاط بالألياف، هي تقنية تستخدم بشكل متزايد، لتحسين خصائصه الميكانيكية، ولاسيما مقاومتها للانحناء والشد. الهدف الرئيسي لهذا البحث هو دراسة عدة ملاط ليفية بألياف ذات طبيعة مختلفة بنسب مختلفة في المنشورات العلمية المذكورة في هذا العمل، هناك تناسب إيجابي للتوجيه والترتيب الألياف على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للملاط يتوافق كل العمل مع التأثير المفيد من خلال تحسين الخواص الفيزيائية الميكانيكية، ولاسيما قوة الشد الميكانيكية للانحناء والضغط، وبالتالي أهمية توجيه وترتيب الألياف بغض النظر عن طبيعتها.

الكلمات المفتاحية: الملاط الليفي، توجيهها لألياف، ترتيب الألياف، الألياف المعدنية، ألياف الكربون، ألياف البولي بروبيلين، الألياف النحاسية، الألياف الهجينة.

Table des matières

Introduction générale et problématiques	3
Chapitre I : étude bibliographique sur les mortiers fibrés.....	5
Partie 1 : LES MORTIERS	5
I.1. Les mortiers.....	5
I.2. Compositions.....	5
I.2.1. Les liants.....	5
I.2.2. Les sables.....	8
I.2.3. Les adjuvants	9
I.2.4. Les ajouts.....	9
I.2.5. L'eau de gâchage	9
I.3. Classification des mortiers	9
I.3.1. Selon leur domaine d'utilisation.....	9
I.3.2. Selon la nature du liant	10
I.4. Classes des adjuvants	11
I.5. Les caractéristiques principales des mortiers [1]	12
I.5.1. Ouvrabilité	12
I.5.2. Prise	13
I.5.3. Résistances mécaniques.....	14
I.5.4. Retraits et gonflements	14
I.6. Conclusion.....	15
PARTIE 2 : les fibres dans les matériaux	15
I.2.1. Introduction	15
I.2.2. Définition des fibres	15
I.2.3. Différentes natures de fibres.....	15
I.2.4. Propriétés des fibres.....	20
II.3. Rôle des fibres.....	23
I.4. Conclusion	24
CHAPITRE II : Renforcement des mortiers par les fibres.....	25
II.1. ARTICLE N° 01	26
II.1.2. Introduction	26
II.1.3. Matériaux et procédure expérimentale	27
II.1.4. Résultats et discussions	34

II.1.5. Critique du travail.....	35
II.2. ARTICLE N°02	35
II.2.1. Introduction	36
II.2.2. Matériaux et procédure expérimentale	36
II.2.4. Discussion des résultats.....	41
II.2.5. Critique du travail.....	42
II.3. ARTICLE N°03	42
II.3.1. Introduction	43
II.3.2. Matériaux et méthodes	43
Conclusion générale	52
Recommandations et perspectives	54
Référence Bibliographiques	56

Liste des figures

Figure I. 1 : Le ciment.....	6
Figure I. 2 : Tables à secousses	12
Figure I. 3 : Principe de fonctionnement du maniabilimètre	13
Figure I. 4 : L'appareille Vicat.....	13
Figure I. 5 : Moule pour moulage des éprouvettes de mortier.	14
Figure I. 6 : Vue microscopique de fibres d'amiante	16
Figure I. 7 : Fibre de verre	17
Figure I. 8 : Fibres de carbone	18
Figure I. 9 : Les fibres de polypropylènes.....	19
Figure I. 10 : Différentes forme de fibres métallique	20
Figure I. 11 : Essaie de l'ASTM C 1018	22
Figure I. 12 : Illustration de l'apport du renfort par des fibres.....	23
Figure II. 1 : Géométrie des fibres utilisées.....	29
Figure II. 2 : Influence de la nature et du dosage en fibres sur la masse volumique.	31
Figure II. 3 :Influence de la nature et du dosage en fibres sur l'affaissement.	31
Figure II. 4 :Résistance à la compression des BSFP sur une section de (10×10) cm ²	31
Figure II. 5 :Résistances à la compression des BSFP sur une section de (25) cm ²	32
Figure II. 6 :Résistance à la traction par flexion à 28 jours des BSFP.....	32
Figure II. 7 :Résistance à la compression à 28 jours.....	32
Figure II. 8 :Résistance à la traction par flexion 4 point.....	33
Figure II. 9 :Résistance à la compression à 28 jours (Mpa) des BSFPM.....	33
Figure II. 10 :Résistance à la traction par flexion des BSFPM.....	33
Figure II. 11 :Comparaison entre les résistances traction par flexion des BSFM et BSFPM.	34
Figure II. 12 :Graphe de la résistance à la compression à 7 et 28 jours.....	38
Figure II. 13 :Graphe de la résistance à la traction fractionnée à 7 et à 28 jours.....	39
Figure II. 14 :graphe de la flexion à 28 jours.....	39

Figure II. 15 :Absorption de l'eau à 28 jours.....	40
Figure II. 16 :Graphe de la vitesse d'impulsion Ultrasonique à 28 jours.	41
Figure II. 17 :Types de fibresa : GB, b : CE.....	43
Figure II. 18 :Préparation des mélanges et essai de fluidité	45
Figure II. 19 :Préparation des éprouvettes	45
Figure II. 20 :Essai de compression	46
Figure II. 21 :Résultats des essais de compression	47
Figure II. 22 :Essai de flexion trois point	48
Figure II. 23 :Résultats des essais de flexion trois point	48

Liste des tableaux

Tableau I. 1 : Composition chimique et minéralogique du clinker.....	7
Tableau I. 2 : Les différents types de ciment courants	8
Tableau I. 3 : Caractéristiques mécaniques des fibres d'amiante	16
Tableau I. 4 : Caractéristiques mécaniques des fibres de verre	17
Tableau I. 5 : Propriétés mécaniques des fibres de carbone	18
Tableau I. 6 : Propriétés mécaniques des fibres de polymère	19
Tableau I. 7 : Facteur d'élanement	21
Tableau II. 1 :Les caractéristiques physiques des sables d'étude.....	28
Tableau II. 2 :Caractéristiques des fibres de polypropylène.....	28
Tableau II. 3 :Caractéristiques des fibres métalliques.....	29
Tableau II. 4 :L'ensemble des variantes étudiées.....	30
Tableau II. 5 :la teneur en fibre des différents éléments du mélange.....	37
Tableau II. 6 :Résultats de l'essai à la compression à 7 et 28 jours sur les mélanges.	38
Tableau II. 7 :Résultats de l'essai à la traction fractionnée à 7 et 28 jours sur les mélanges.	38
Tableau II. 8 :Résultats des essais à la flexion à 28 jours.....	39
Tableau II. 9 :Résultat de l'essai de l'absorption à 28 jours.....	40
Tableau II. 10 :Résultats de la vitesse d'impulsion Ultrasonique à 28 jours.....	40
Tableau II. 11 :Les propriétés physicomécaniques des fibres	43
Tableau II. 12 :Composition des variantes étudiées].....	44
Tableau II. 13 :Propriétés des variantes à l'état frais et durcis	46

Introduction générale et problématiques

Introduction générale et problématiques

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 lors, 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, métallique, 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 sur l'impact de la distribution des fibres sur les propriétés physicomécaniques des mortiers fibrés.

La structure de notre travail est organisée comme suit :

-Chapitre I en deux parties :

Partie 1 : Définition des mortiers.

Partie 2 : Les fibres dans les matériaux.

-Chapitre II :

Article 1 : Influence de la nature et du dosage en fibres sur le comportement physicomécanique des bétons de sable à base des fillers de laitier granule.

Article 2 : Etude expérimentale sur la résistance et les propriétés de la nature de ciment renforcée de fibres naturelles

Article 3 : comportement en traction du mortier de ciment renforcée de fibres en utilisant des déchets de fils de connexions électrique et de fils de reliure galvanisés.

- Conclusion .

Chapitre I : étude bibliographique sur les mortiers fibrés.

Partie 1 : 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.
- Combler 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 poste 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 (SiO₂) et de l'alumine (Al₂O₃).

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, SiO₂, Al₂O₃ et Fe₂O₃) se combinent pour donner les constituants minéraux suivants (Figure (I.2)).

- Silicate tricalcique (C3S) : 3CaO.SiO₂ (Alite).
- Silicate bicalcique (C2S) : 2CaO.SiO₂ (Belite).
- Aluminate tricalcique (C3A) : 3CaO.Al₂O₃.
- Ferroaluminate calcique (C4AF): 4CaO .Al₂O₃ .Fe₂O₃ (Célite).

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

Composants Minéralogiques	Teneurs limites (%)	Teneurs moyenne (%)
C₃S	40-70	60
C₂S	00-30	15
C₃A	02-15	08
C₄AF	00-15	08
Oxydes	/	/
CaO	60-69	65
SiO₂	18-24	21
Al₂O₃	04-08	06
Fe₂O₃	01-08	03
MgO	<05	02
K₂O ,Na₂O₃	<02	01
SO₃	<03	01

I.2.1.1.1.2. Le gypse (CaSO₄)

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 EN197 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 suivants : laitier pouzzolanes- cendres-calcaires schistes- fumées de silice	Teneur en constituants secondaires (filler)
C P A- CEM I	Ciment portland	95 à 100%		0 à 5%
C PJ-CEM II/A CPJ-CEMII/B	Ciment portland Composé	80 à 94% 65 à 79%	-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% -de 21 à 35 % avec les mêmes restrictions que ci-dessus	0 à 5%
CHF-CEM III/A CHF-CEM III/B CLK-CEMIII/C	Ciment de haut fourneau	35 à 64% 20 à 34% 5 à 19%	35 à 65 % de laitier de haut fourneau -66 à 80 % de laitier de haut fourneau -81 à 95% de laitier de haut fourneau	0 à 5% 0 à 5% 0 à 5%
CPZ-CEMIV/A CPZ-CEMIV/B	Ciment pouzzolanique	65 à 90% 45 à 64%	-10 à 35 %de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces dernières étant limitées à10%. -36 à 55 %comme ci-dessus	0 à 5% 0 à 5%
CLC-CEM V/A CLC-CEM V/B	Ciment au laitier et aux cendres	40 à 64% 20 à 39%	18 à 30 % de laitier de haut fourneau et 18 à 30% de cendres siliceuses ou de pouzzolanes. - 31 à 50 % de chacun des 2 constituants comme ci-dessus	0 à 5% 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 silicocalcaire;

- 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 NA442. 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 adjuvants

- **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 (figure I.2), 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_r = diamètre final et D_i = diamètre initial.

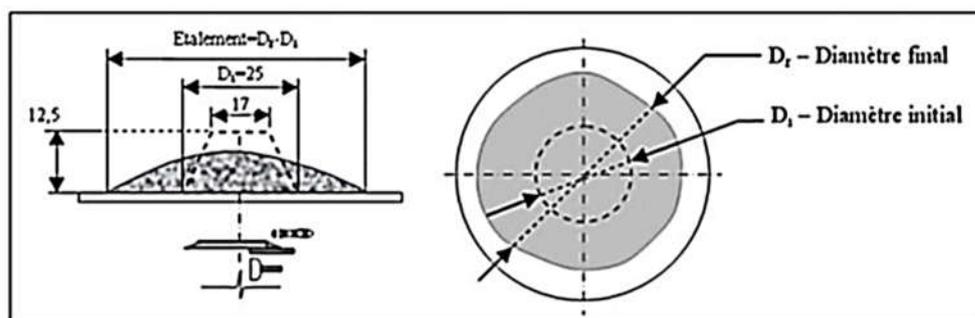


Figure I. 2 : Tables à secousses [1].

I.5.1.2. Le maniabilimètre du LCPC

Il est constitué d'un moule parallélépipédique (figure I.3), 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.

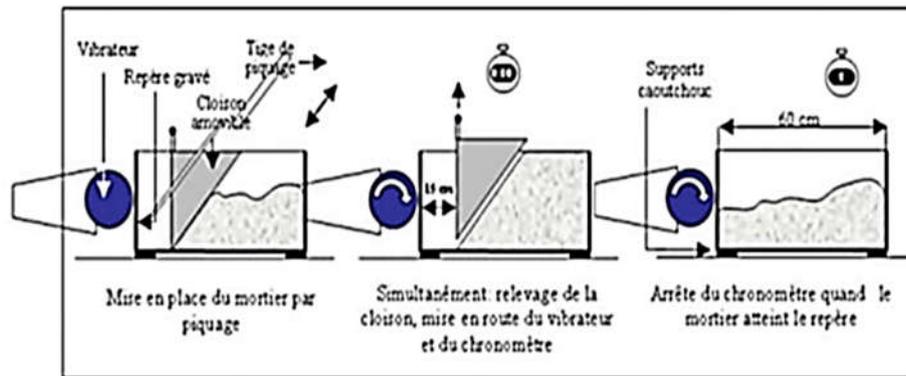


Figure I. 3 : Principe de fonctionnement du maniabilimètre [1].

I.5.1.3. Essai d'écoulement au 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, figure I.4). 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 ± 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'appareille Vicat.

I.5.3. Résistances mécaniques

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques (figure I.5) de $(4 \times 4 \times 16)$ cm³ conservées dans l'eau à 20 °C.

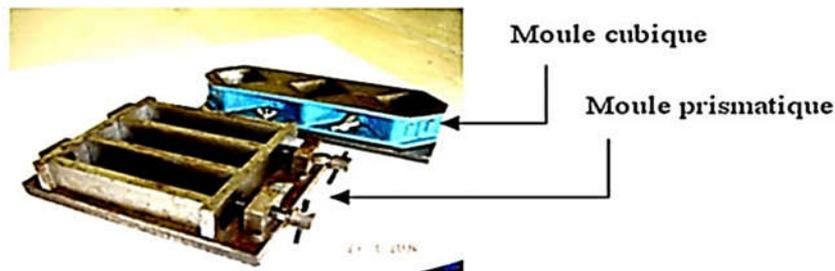


Figure I. 5 : Moule pour moulage des éprouvettes de mortier.

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 $(4 \times 4 \times 16)$ cm³ 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 $4 \times 4 \times 16$ cm³ 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.

PARTIE 2 : les fibres dans les matériaux

I.2.1. 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.

I.2.2. 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- 60 mm) 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].

I.2.3. Différentes natures de fibres

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

I.2.3.1. Fibres naturelles

I.2.3.1.1. 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].

I.2.3.1.2. Fibres animales

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.

I.2.3.2. Fibres minérales

I.2.3.2.1. Fibres d'amiante

Ces fibres (figure I.6) 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 I. 6 : Vue microscopique de fibres d'amiante [14].

Tableau I. 3 : Caractéristiques mécaniques des fibres d'amiante [14].

Type de fibre	Amiante
Diamètre (mm)	0.0002-0.002
Longueur (mm)	5
Masse Volumique (g/cm ³)	2.6-3
Résistance à la rupture S_{fu} (MPa)	100 – 300
Module de Young E (GPa)	80 – 150

I.2.3.2.2. 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 100 μ m. Elles sont disponibles dans le commerce sous forme de bobines (découpage à la demande) ou sous forme de morceaux prédécoupés de 3, 6, 12, et 50 mm de long. Ils sont regroupés en trois types : La fibre de verre classique (silice, soude, chaux), la fibre de verre au zirconium et la fibre de verre au borosilicate. Ces fibres sont généralement caractérisées par les propriétés suivantes :

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



Figure I. 7 : Fibre de verre [14].

Tableau I. 4 : 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

I.2.3.2.3. 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).

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 I. 8 : Fibres de carbone [15].

Tableau I. 5 : Propriétés mécaniques des fibres de carbone [15].

Type de carbone	H.R	H.M
Diamètre (mm)	8	8
Masse Volumique (g/cm ³)	1.75	1.81
Résistance à la rupture S _{fu} (MPa)	3000 – 5000	2800
Module de Young E (GPa)	220	400

I.2.3.3. Fibres organiques

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 I. 9 : 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, de récentes 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 I. 6 : 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

I.2.3.4. Fibres Métallique

Ce type de fibres, qui regroupe les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, a été et reste encore l'objet de recherches très importantes dans le monde, 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 I. 10 : Différentes formes de fibres métalliques [17].

I.2.3.4.1. 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].

I.2.4. Propriétés des fibres

I.2.4.1. 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].

I.2.4.2. 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'élançement. Par contre, les fibres avec un facteur d'élançement supérieur à 60 et dotées d'une géométrie particulière sont potentiellement susceptibles de former des « oursins » [19].

Tableau I. 7 : Facteur d'élançement [19].

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

I.2.4.3. 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].

I.2.4.4. 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].

I.2.4.5. 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 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 I. 11 : Essai de l'ASTM C 1018 [19].

I.2.4.6. 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].

I.2.4.7. 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.3. 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 :

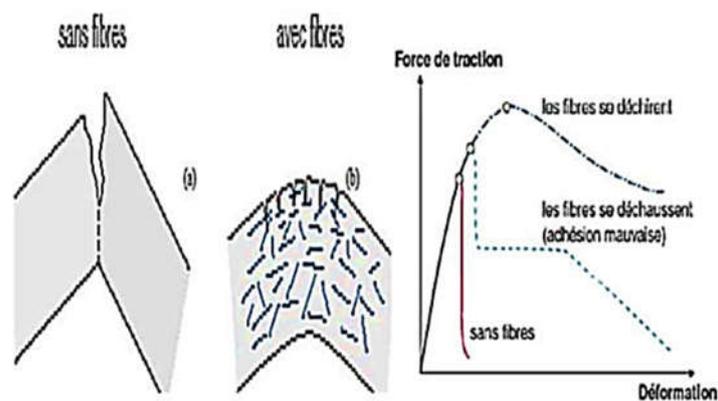


Figure I. 12 : Illustration de l'apport du renfort par des fibres.[19]

- 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].

I.4. 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 II : Renforcement des mortiers par les fibres

Cette partie présentera les études réalisées en relation avec la thématique, dont nous exposerons les matériaux utilisés, les méthodes expérimentales, et les résultats obtenus, avec les conclusions tirées, puis des critiques seront arborer.

II.1. ARTICLE N° 01

Influence de la nature et du dosage en fibres sur le comportement physicomécanique des bétons de sable à base des fillers de laitier granule.

Saloua Melais *, Fatma Zohra Melais et Djamel Achoura.

Laboratoire Matériaux, Géo-matériaux et Environnement, Département de Génie Civil, Université Badji-Mokhtar Annaba, BP 12, 23000 Annaba, Algérie. (Rev. Sci. Technol., Synthèse 30: 91-102 (2015).

II.1.2. Introduction

Aujourd'hui, le renforcement du mortier ou du béton par des fibres constitue une voie nouvelle dans le domaine des matériaux composites, dont les applications sont très variées [21]. Le béton de fibres, présente de bonnes performances à la flexion, aux sollicitations dynamiques, réduit le retrait et s'oppose bien à l'apparition des fissures en les limitant au maximum [22]. Son utilisation permet surtout de contrôler la fissuration, d'empêcher la coalescence des fissures et changer le comportement du matériau ainsi renforcé de fibres en cousant les fissures [23]. Des conclusions appréciables sur la relation qui lie deux caractères (% fibres-résistance et nature de fibres-résistance), ont l'objet de nombreuses recherches, tant une échelle nationale, qu'internationale. Le béton renforcé de fibres trouve de plus en plus d'emploi en pratique, notamment dans réalisation des chaussées bétonnées des routes et des pistes d'atterrissage des aérodromes, dans les éléments préfabriqués et dans le renforcement des ouvrages dégradés [24.25]. Cependant des problèmes élaboration subsistent encore et exigeant des études poussées. L'emploi d'un tel béton nécessite une recherche rigoureuse de l'influence des paramètres tels que, la nature et le dosage en fibres. Les fibres de polypropylène améliorent la cohésion du béton frais et limitent la propagation de fissures due au retrait plastique. Dardare [26] a trouvé que l'incorporation de fibres de polypropylène dans le béton apporte une amélioration légère lorsque le pourcentage de fibres est faible et une diminution pour des pourcentages plus élevés. A température ambiante, les résistances en compression variant peu pour des dosages inférieurs à 3 kg /m³ de fibres [27]. D'autres résultats [28] ont rencontré au contraire une baisse de résistance de 17 % et 25 % pour des bétons contenant respectivement 1,75 kg /m³ et 0,9 kg /m³ de fibres de polypropylène malgré l'augmentation de 10% de la pâte de ciment dans la composition des bétons fibrés. Ces études

se présentent aussi que l'influence des fibres de polypropylène sur la résistance n'est pas significative. Par contre les fibres métalliques apportent un caractère ductile, améliorent le comportement post fissuration et la capacité portante résiduelle post fissuration [29,30]. En plus de réaliser des performances du béton, elles peuvent aussi être utilisées pour la réparation des structures [31,25]. Les bétons renforcés de fibres métalliques présentent un comportement écrouissant et adoucissant remarquables en traction [32]. En gardant le même dosage en ciment et en adjuvant, l'optimisation du dosage en fibres est guidée par leurs caractéristiques [33,24]. L'addition de ces renforts modifie les caractéristiques de la matrice et le comportement du béton [34]. Il s'agit d'un matériau nouveau et il ne peut être abordé comme un béton armé habituel : les fibres n'étant pas traitées comme des armatures classiques. Hannant [22] a montré que le comportement en flexion après la première fissure peut être résumé de la façon suivante :

- Les déformations en traction augmentent plus que les déformations en compression, - son neutre est déplacé vers la partie comprimée,

- Les contraintes ne sont plus proportionnelles aux déformations dans la zone de traction, - le diagramme de traction peut être assimilé à un rectangle tandis que le diagramme de compression reste triangulaire. Si les améliorations apportées par les fibres d'acier dans les bétons sont souvent montrées, leur utilisation dans les bétons de sable reste à tester [35.36]. L'objectif principal de ce travail est d'intégrer les bétons de sable dans la nouvelle technologie des bétons fibrés et en même temps de valoriser les sables et les sous-produits industriels locaux disponibles en grandes quantités.

Le but de cette étude à caractère essentiellement expérimental est de quantifier l'apport de ces fibres dans du béton de sable conçu avec des matériaux locaux. L'effet de différents paramètres de formulation sur les propriétés des bétons frais et le comportement physicomécanique des bétons durcis sont établis.

II.1.3. Matériaux et procédure expérimentale

II.1.3.1. Matériaux et formulation des bétons d'études

Matériaux: Pour formuler un béton de sable fibré les constituants retenus sont les suivants en respectant la norme NFP 18-101 pour la taille des plus gros grains du sable fixé à 5 mm.

Granulats: Deux types de sable sont utilisés: un sable de dune (SD) d'une étendue granulaire 0 / 1.25 et un sable de carrière (SC) d'une étendue granulaire 1.25 / 5.

Tableau II. 1 : Les caractéristiques physiques des sables d'étude.

Caractéristiques	Sable de dune	Sable de carrière
Module de finesse	1.45	3.90
Masse volumique apparente (g/cm ³)	1.416	1.453
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2.65	2.24
Porosité (%)	46.57	35.13
Propreté (ES) (%)	96	95

Le mélange des deux types de sable a donné un module de finesse de 2.65. Les valeurs moyennes des équivalents de sable ils sont très propres (ES> 95).

Les caractéristiques physiques des sables d'étude sont représentées dans ce tableau suivants :

Ciment :

Le ciment utilisé est un ciment portland composé CEMII / A- 42.5 (NF EN197-1), avec un ajout de laitier granulé de haut fourneau de l'ordre de 20% en moyenne et 5% de gypse conforme à la norme algérienne NA 442 produits par la société algérienne de Hdjar-Soud. La composition chimique et les caractéristiques physiques du ciment sont représentées dans les tableaux 2 et 3.

Les fibres :

Deux types de fibres sont utilisés (fibres polypropylène et fibres métalliques), fournis par la société algérienne «Granitex». Les fibres métalliques se présentent sous forme de bâtonnets ondulés, géométrie qui favorise l'ancrage dans la matrice du béton. C'est une fibre normalisée et commercialisée sous l'appellation Medafac. Les caractéristiques physico-mécaniques des fibres utilisées sont présentées dans les tableaux 7 et 8 et la forme est illustrée par la figure1.

Tableau II. 2 : Caractéristiques des fibres de polypropylène.

Masse volumique (g / cm ³)	Longueur (mm)	Point de fusion (° C)	Allongement a la rupture (%)	Section de la fibre (µm)	Module d'élasticité (Gpa)
0.9	12	150	50	30	3

Tableau II. 3 : Caractéristiques des fibres métalliques.

Fusion (°c)	Longueur (mm)	Epaisseur (mm)	Elancement (L/D)	Résistance à la traction (MPa)	Module d'élasticité (GPa)	Masse volumique (g/cm ³)
>1000	50	0.6±0.09	83.33	>1000	200	7.8



Fibres métalliques



Fibres polypropylène

Figure II. 1 : Géométrie des fibres utilisées.

Formulation des bétons :

La méthode de formulation du béton de sable retenue est une approche théorique de formulation de béton de sable ajustée expérimentalement.

Les différentes formulations de bétons de sable d'étude sont ajustées en fonction de la nature et du dosage en fibres. Deux dosages en fibres de polypropylène sont utilisés : BSFP1 (600 g /m³) et BSFP2 (1 200 g /m³). Trois dosages en fibres métalliques sont testés : béton BSFM1 avec 20 kg /m³, BSFM2 avec 30 kg /m³ et BSFM 3 avec 40 kg /m³ comparés avec un béton de sable de référence (sans fibres) BST. Très peu d'études sur l'influence du mélange de fibres dans le comportement des bétons ont été envisagés jusqu'à présent [37]. Afin de connaître le comportement des bétons de sable renforcés par un mélange de fibres de polypropylène et métallique, trois formulations sont réalisées avec un taux de fibre de polypropylène fixe (600g / m³) et un dosage en fibres métalliques qui varie de 20 à 40 kg /m³ de béton avec un pas de 10. Ils sont nommés respectivement BSFk1, BSFk2 et BSFk3.

Les variantes étudiées :

L'auteur a étudié 8 variantes dont il a fixé le dosage en ciment et le rapport E/C ainsi que le dosage en super plastifiant, avec une variation de la nature des fibres et la teneur de ces derniers, la composition de l'ensemble des variantes étudiées sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau II. 4 : L'ensemble des variantes étudiées.

Référence des bétons	Composition du béton de sable (Kg/m ³)						Dosage en fibres (Kg/m ³)		Propriétés du béton frais	
									Masse volumique	Affaissement au cône d'Abrams
	SD	SC	Ciment	Eau	Filler	SP	FP	FM	(Kg/m ³)	(cm)
BST	745	655	399	206	162	11	0	/	2203.72	8
BSFP1	744	654	399	206	162	11	0.6	/	2224.34	6
BSFP2	743	653	399	206	162	11	1.2	/	2226.67	5
BSFM1	742	652	399	206	162	11	/	20	2443.31	7.5
BSFM2	740	650	399	206	162	11	/	30	2494.37	5
BSFM3	738	648	399	206	162	11	/	40	2511.87	5
BSFk1	741	651	399	206	162	11	0.6	20	2460.18	7
BSFk2	739	649	399	206	162	11	0.6	30	2510.31	5
BSFk3	737	647	399	206	162	11	0.6	40	2536.42	5

Remarque : L'ensemble de ces variantes ont été testées avec la compression et la flexion par traction.

Les résultats obtenus

La figure suivante présente l'influence de la nature et le dosage en fibre sur la masse volumique.

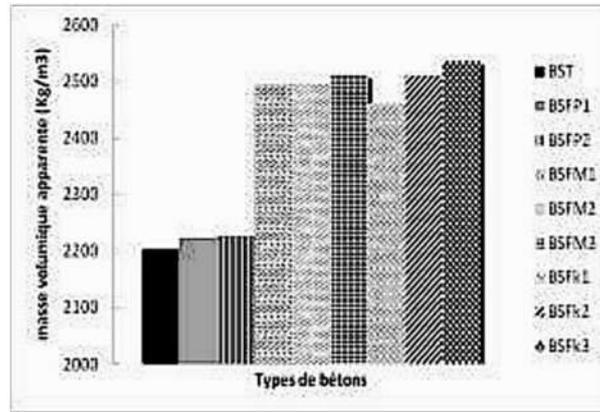


Figure II. 2 : Influence de la nature et du dosage en fibres sur la masse volumique.

La figure suivante présente l'influence et du dosage en fibres sur l'Affaissement.

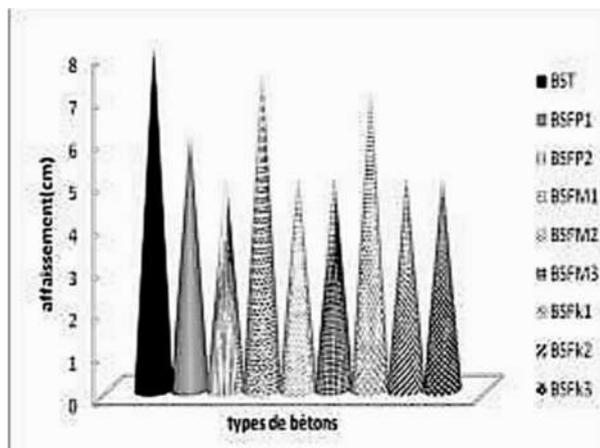


Figure II. 3 : Influence de la nature et du dosage en fibres sur l'affaissement.

La figure suivante présente la résistance à la compression des BSFP sur une section de (10×10) cm².

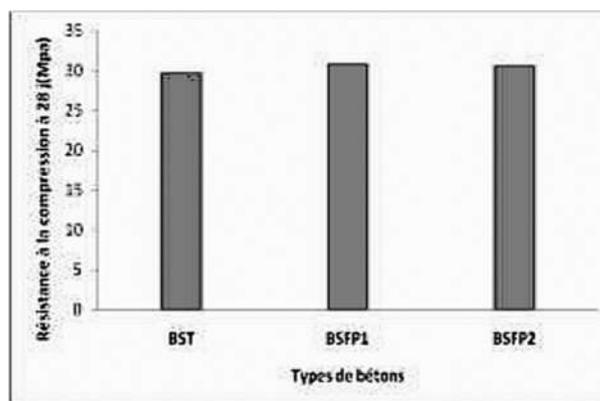


Figure II. 4 : Résistance à la compression des BSFP sur une section de (10×10) cm².

La figure suivante présente les résistances à la compression des BSFP sur une section de (25) cm².

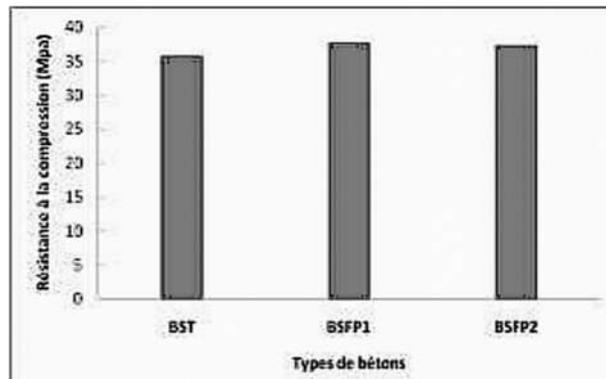


Figure II. 5 : Résistances à la compression des BSFP sur une section de (25) cm².

La figure suivante présente la résistance à la traction par flexion à 28 jours des BSFP.

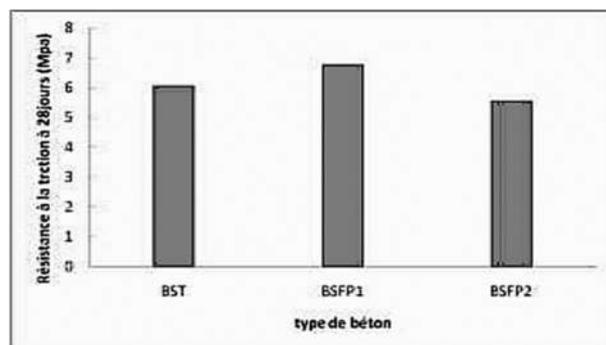


Figure II. 6 : Résistance à la traction par flexion à 28 jours des BSFP.

La figure suivante présente la résistance à la compression à 28 jours.



Figure II. 7 : Résistance à la compression à 28 jours.

La figure suivante présente la résistance à la traction par flexion 4 point.

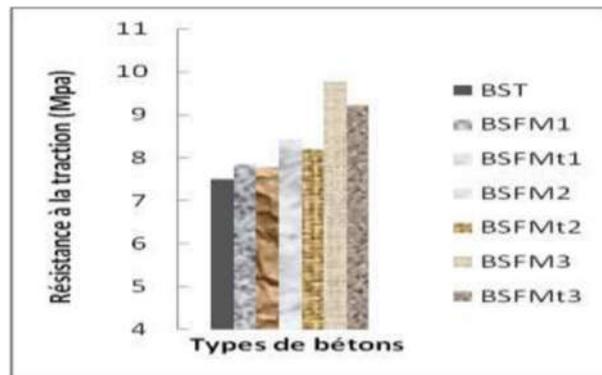


Figure II. 8 : Résistance à la traction par flexion 4 point.

La figure suivante présente la résistance à la compression à 28 jours (MPa) des BSFPM

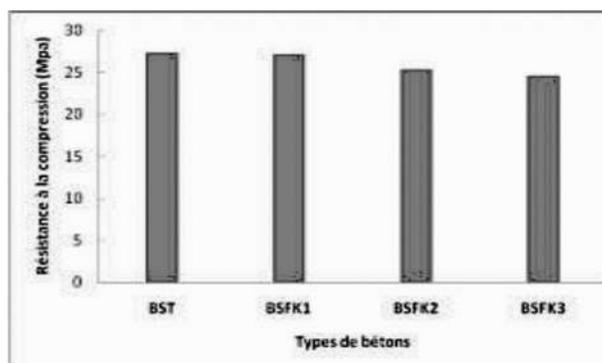


Figure II. 9 : Résistance à la compression à 28 jours (MPa) des BSFPM.

La figure suivante présente la résistance à la traction par flexion des BSFPM.

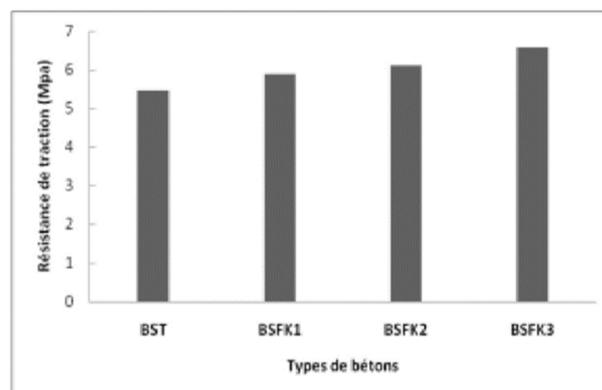


Figure II. 10 : Résistance à la traction par flexion des BSFPM.

La figure suivante présente la comparaison entre les résistances traction par flexion des BSFM et BSFPM

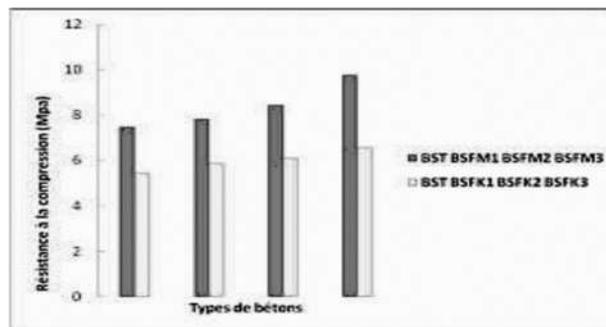


Figure II. 11 : Comparaison entre les résistances traction par flexion des BSFM et BSFPM.

II.1.4. Résultats et discussions

- L'incorporation de fibres métalliques dans un béton de sable améliore la cohésion et la densité même si la maniabilité des bétons frais est légèrement affectée en fonction du dosage en fibres.

- L'utilisation de renforts de fibres métalliques présente une amélioration de la résistance mécanique illustrée par une augmentation considérable en traction par flexion de l'ordre de 30.4 % et une légère augmentation en compression avec un gain de l'ordre de 10%.

- Les essais de traction par flexion 4 points réalisés sur les bétons de sable contenant des fibres métalliques dans la totalité de la section BSFM ou dans la partie tendue BSFMt ont montré qu'il n'y a pas de différences significatives pour ces deux compositions. Le taux d'augmentation pour les BSFM1, BSFM2 et BSFM3 par rapport au BSFMt1 BSFMt2 et BSFMt3 est respectivement de 0.77%, 2.68% et 6.19%. Cela confirme que le rôle primordial des fibres est atteint au niveau de la traction et lorsque l'éprouvette est soumise à la flexion.

- Ce résultat est très important pour les BSFM, car il donne au nouveau béton de sable non seulement une résistance de traction élevée et une amélioration de la ductilité des éprouvettes mais aussi un cout réduit moitié de fibres métalliques et cela pour les pièces fléchies.

-La résistance en compression du béton de sable renforcé par un mélange de fibres baisse globalement avec l'élévation du taux de fibres. La diminution maximale est de l'ordre de 10.35% pour le BSFK3 comparé à un béton de sable témoin BST.

- La résistance en traction par flexion des bétons de mélange de fibres BSFK semblent meilleures que celles des BST. L'augmentation maximale a été de l'ordre de 20.51% pour les BSFM. Cependant cette augmentation reste inférieure à celle obtenue par les BSFM composés seulement de fibres métalliques (30.4%).

- Les performances mécaniques de ces nouveaux bétons BSFK dépendent des proportions relatives des deux natures de fibres. On peut conclure que l'introduction des fibres métalliques augmente la résistance de traction par flexion mais l'utilisation de ces fibres seules donne des résultats meilleurs que leur utilisation avec des fibres de polypropylène.
- Le mode de rupture en compression d'un béton de sable se fait par cisaillement et celui d'un béton de sable fibré se fait par un éclatement très limité de la matrice. Le processus de rupture par traction se développe lors du déchaussement des fibres.
- Le comportement mécanique des poutres en flexion est nettement modifié par l'incorporation de fibres. Les résultats font apparaître que le dosage optimum en fibres métalliques est de 40 kg/m³. Cela est justifié par l'amélioration des différents paramètres mécaniques : un gain de l'ordre de 30.4% de la contrainte de flexion,
- Les bétons de sable renforcés par des fibres peuvent présenter un avantage, ou une solution pour les éléments de structures fléchies.
- Le béton de sable fibré proposé dans cette étude constitue une bonne alternative pour plusieurs applications telles que les éléments de canalisations, les coques minces faiblement sollicitées, le dallage, les chaussées en béton, les dallages manufacturés, la stabilisation des parois rocheuses, les talus, tunnels et les galeries souterraines.

II.1.5. Critique du travail

Dans ce travail réaliser, l'auteur a démontré le rôle des dosages en fibre et la nature des fibres ainsi l'effet des fibres polypropylène et métallique dans les efforts de compression et de flexion par traction dans le béton de sable, cela nous a permis d'avoir des résultats très importants pour la compréhension du rôle des fibres dans le béton, néanmoins l'auteur n'a pas étudié la disposition et l'orientation des fibres ce qui est très important pour savoir comment les disposer, afin de répondre aux différentes sollicitations que le béton subit.

Cela va nous permettre d'avoir un gain économique (réduire la quantité de fibres à utiliser) et ainsi améliorer la résistance des bétons fibrés et des mortiers fibrés.

II.2. ARTICLE N°02

Etude expérimentale sur la résistance et les propriétés du mortier de ciment renforcé de fibres naturelles.

M. Mathavan†, N. Sakthieswaran, O. Ganesh Babu Département de génie civil, Anna University Regional Campus-Tirunelveli, Tirunelveli 627007, Tamil Nadu, Inde

Historique de l'article : Reçu le 17 mai 2020 Reçu sous forme révisée le 11 juin 2020 Accepté le 13 juin 2020.

Mots clés : Mortier, Fibres naturelles, Coton, La laine, Soie, Lin, Nylon, Polyester.

II.2.1. Introduction

Le mortier est le liant utilisé pour lier la maçonnerie d'une structure. Le mortier est une pâte composée de sable, de ciment, de chaux et d'eau. Les scientifiques sont impliqués dans la recherche de nouvelles alternatives pour réduire les fissures qui peuvent être utilisées efficacement dans le mortier et utilisent également des matériaux recyclés dans la construction pour atteindre la durabilité de manière sûre. Dans cette étude, il a été tenté de mener des expériences en utilisant les fibres naturelles comme matériaux de construction afin d'évaluer l'utilisation des fibres naturelles dans le secteur de la construction. Six types de fibres naturelles telles que le coton, la laine, la soie, le lin, le nylon, le polyester, ont été utilisés comme additif à 1%, 2%, 3% en volume de mortier et coulés et durcis pendant 7 et 28 jours. Leur rôle dans le mortier de ciment est analysé en évaluant les propriétés mécaniques, physiques et de durabilité.

II.2.2. Matériaux et procédure expérimentale

II.2.2.1. Proportion de mélange

Le mélange de mortier de ciment est préparé avec la proportion de mélange dans laquelle le rapport ciment / granulat fin est de 1 : 3 et le rapport eau-ciment est basé sur la consistance standard du ciment qui est de 0,45. Les fibres naturelles sont ajoutées à 1,0%, 2,0%, 3,0% au volume de mélange sec.

II.2.2.2. Test des matériaux

Le ciment liant est testé pour la finesse, la consistance, la densité spécifique, le temps de prise initiale et le temps de prise final. L'agrégat fin est testé pour la finesse, l'analyse au tamis, la gravité spécifique, la teneur en humidité et l'absorption d'eau. Les propriétés des fibres naturelles sont mises en valeur.

II.2.2.3. Moulage du spécimen

Conformément à la norme IS 10080-1982, les cubes de mortier de ciment sont pris avec les dimensions de 50 mm 50 mm 50 mm et les cylindres avec les dimensions de 100 mm 200 mm et les prismes avec les dimensions de 50 mm 50 mm 300 mm et les différentes proportions dans le mortier renforcé par des fibres naturelles est préparé et coulé.

II.2.2.4. Compactage de l'échantillon

Le mélange à la main est utilisé pour mélanger le mélange. Le mélange est ensuite versé dans le moule et mis en vibration en utilisant une table vibrante pour éviter les vides. La surface

supérieure de ces spécimens est rendue uniforme et lisse en mettant du mortier de ciment et en l'étendant en douceur sur toute la surface de l'échantillon. Après 28 h, ces moules ont été retirés et les éprouvettes ont été conservées à température ambiante pour durcissement.

II.2.2.5. Durcissement de l'échantillon

Le durcissement est le processus qui consiste à maintenir une teneur en humidité et une température satisfaisante dans le béton ou le mortier fraîchement préparé pendant une période de temps définie immédiatement après la mise en place. Le mûrissement empêche ou reconstruit la perte d'humidité du béton ou du mortier. Il maintient également une température favorable pour que l'hydratation se produise pendant une période définie

Les valeurs du mélange sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau II. 5 : la teneur en fibre des différents éléments du mélange.

Mélange	Fibre A (%)	Fibre B (%)
M0	-	-
PLANTE	Coton	Lin
M1	0.5	0.5
M2	1.0	1.0
M3	1.5	1.5
Biologique	La laine	Soie
M4	0.5	0.5
M5	1	1.0
M6	1.5	1.5
Inorganique	Polyester	Nylon
M7	0.5	0.5
M8	1	1.0
M9	1.5	1.5

Remarque : L'ensemble de ces variantes on était testé avec la compression et la flexion par traction.

La présentation des résultats

Les résultats de l'étude sont présentés dans les tableaux et figures suivantes :

II.2.3-1. L'essai de compression

Tableau II. 6 : Résultats de l'essai à la compression à 7 et 28 jours sur les mélanges.

Spécimen	Résistance à la compression à 7 jours (N/mm ²)	Résistance à la compression à 28 jours (N/mm ²)
M0	7.04	8.60
M1	5.08	6.84
M2	5.80	9.00
M3	6.52	9.72
M4	6.08	7.88
M5	6.72	8.44
M6	7.24	9.48
M7	7.36	9.12
M8	8.36	7.76
M9	7.88	7.08

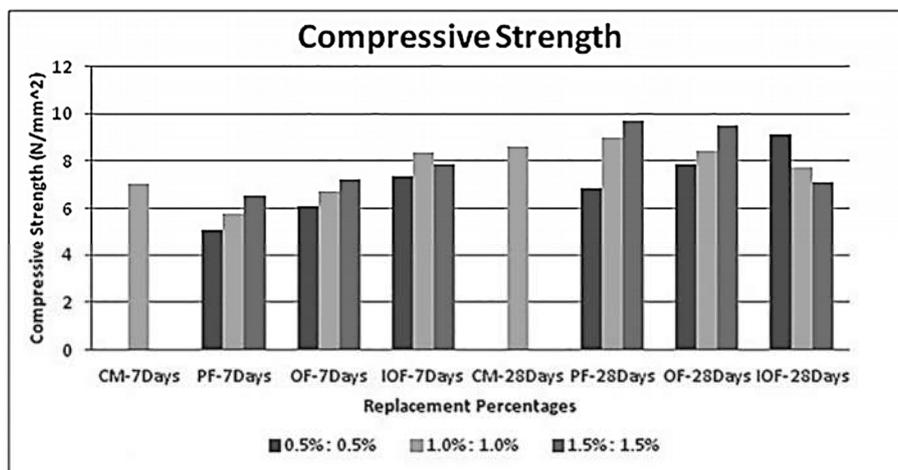


Figure II. 12 : Graphe de la résistance à la compression à 7 et 28 jours.

II.2.3-2. L'essai de traction

Tableau II. 7 : Résultats de l'essai à la traction fractionnée à 7 et 28 jours sur les mélanges.

Spécimen	Résistance à la traction fractionnée à 7 jours (N/mm ²)	Résistance à la traction fractionnée à 28 jours (N/mm ²)
M0	2.26	2.81
M1	2.42	3.22
M2	2.32	3.14
M3	2.22	2.99
M4	2.13	2.57
M5	2.20	2.77
M6	2.35	2.86
M7	2.37	2.97
M8	2.21	2.87
M9	2.15	2.78

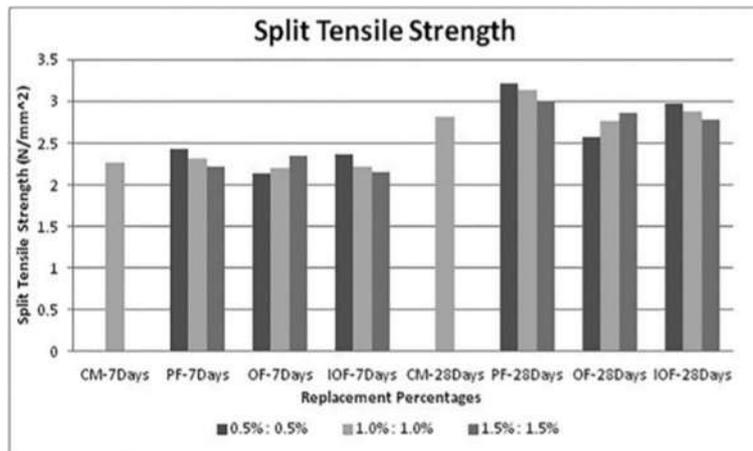


Figure II. 13 : Graphe de la résistance à la traction fractionnée à 7 et à 28 jours.

II.2.3-3. L'essai de la flexion

Tableau II. 8 : Résultats des essais à la flexion à 28 jours.

Spécimen	Résistance à la flexion à 28 jours
M0	5.76
M1	4.92
M2	5.28
M3	6.84
M4	7.20
M5	6.52
M6	5.48
M7	6.20
M8	7.84
M9	8.04

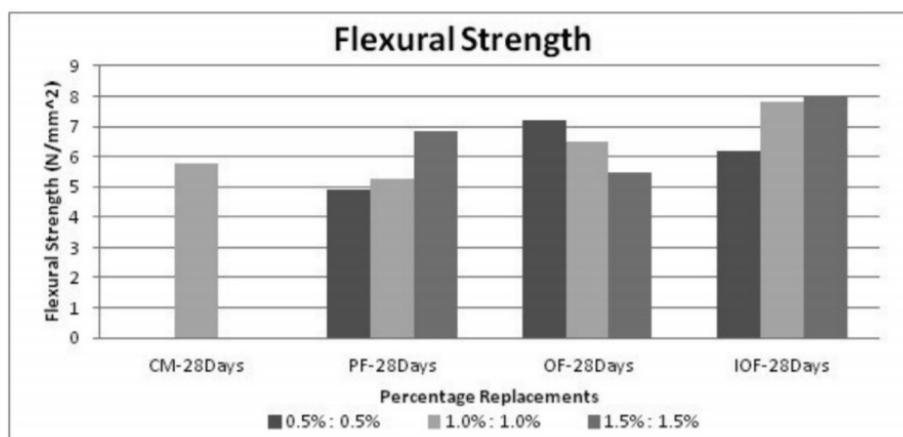


Figure II. 14 : Graphe de la flexion à 28 jours.

II.2.3.4. L'essai de l'absorption

Tableau II. 9 : Résultat de l'essai de l'absorption à 28 jours.

Spécimen	Absorption de l'eau (%)
M0	7.78
M1	10.74
M2	16.74
M3	19.21
M4	9.09
M5	11.73
M6	14.47
M7	16.03
M8	20.10
M9	20.68

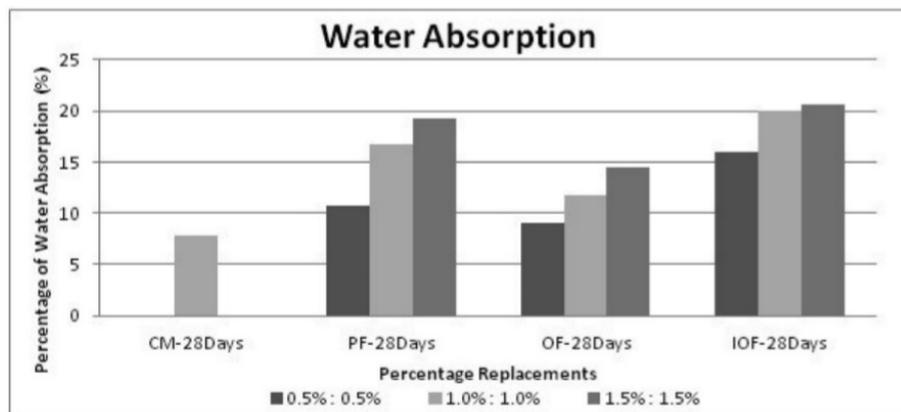


Figure II. 15 : Absorption de l'eau à 28 jours.

II.2.3.5 Vitesse d'impulsion Ultrasonique

Tableau II. 10 : Résultats de la vitesse d'impulsion Ultrasonique à 28 jours.

Spécimen	Vitesse d'impulsion (m/s)
M0	3.96
M1	3.42
M2	3.75
M3	4.13
M4	4.09
M5	3.65
M6	3.49
M7	3.90
M8	4.00
M9	4.20

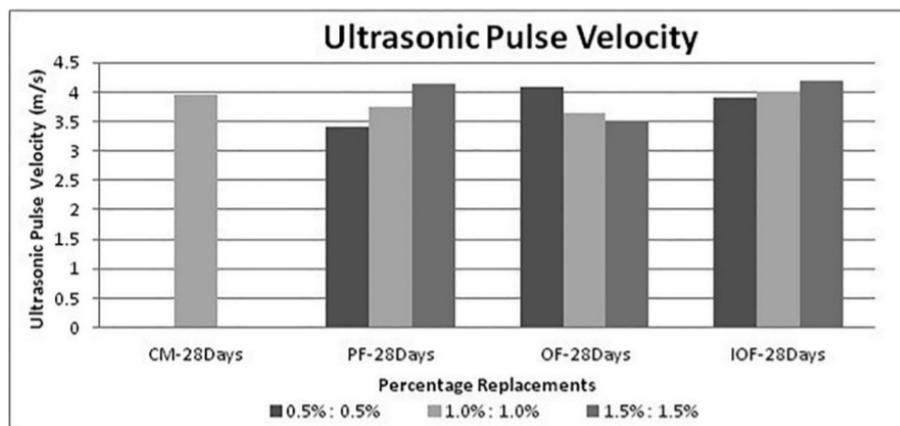


Figure II. 16 : Graphe de la vitesse d'impulsion Ultrasonique à 28 jours.

II.2.4. Discussion des résultats

Les conclusions suivantes sont arrivées sur la base des résultats expérimentaux de la résistance à la compression, de la résistance à la traction fractionnée, de la résistance à la flexion, du test d'absorption d'eau et également effectué une analyse micro structurale. Les études réalisées indiquent la viabilité de l'utilisation de fibres naturelles dans différents pourcentages tels que 1%, 2%, 3% et le ratio eau-ciment était de 0,45.

1. Le comportement mécanique du mortier montre une augmentation de la résistance à la compression dans les fibres végétales et organiques et une diminution de la résistance à la compression dans les fibres inorganiques par rapport au témoin.
2. Le comportement mécanique du mortier montre une augmentation de la résistance à la traction fendue dans les fibres organiques et une diminution de la résistance à la traction fendue dans les fibres végétales et les fibres inorganiques par rapport au témoin.
3. Le comportement mécanique du mortier montre une augmentation de la résistance à la flexion des fibres végétales et des fibres inorganiques et une diminution de la résistance à la flexion des fibres organiques par rapport au mélange témoin.
4. Le comportement de durabilité du mortier montre une augmentation de l'absorption d'eau dans les fibres végétales, les fibres organiques et les fibres inorganiques par rapport au mélange témoin.
5. Le test non destructif du mortier montre une augmentation de la vitesse d'impulsion ultrasonique dans les fibres végétales et inorganiques et une diminution de la vitesse d'impulsion ultrasonique dans les fibres organiques par rapport au mélange témoin. Ainsi, il est conclu que la possibilité de renforcer le mortier de ciment avec des fibres naturelles telles

que la fibre de coton, la fibre de lin, la fibre de laine, la fibre de soie, la fibre de polyester, la fibre de nylon offre des avantages techniques, économiques et environnementaux qui sont d'une grande importance dans le domaine d'ingénierie structurelle.

II.2.5. Critique du travail

Dans cet article scientifique les auteurs ont montré la différence entre les différents types de fibre naturelle tel que (végétal, organique et inorganique) sous les essais mécaniques : compression, traction et flexion et l'ultrason et l'essai physique qui est l'absorption.

Ainsi, les fibres naturelles peuvent être utilisé comme renfort pour améliorer la résistance mécanique à condition de connaître la fiche technique de chaque fibre, la chose que l'auteur n'a pas mentionné dans cet article.

On a remarqué que les fibres ajoutées ont amélioré la résistance mécanique mais au même temps une augmentation de l'absorption de l'eau par rapport au mélange témoins, augmentation de l'absorption à une relation directe avec la porosité ce qui est engendre une diminution de la résistance. Cela prouve l'importance de la disposition des fibres dans le mélange, qui n'est pas pris en considération dans cette étude.

En fin, ce travail est très important et primordial dans l'utilisation des fibres naturel avec les avantages techniques, économique et environnementaux et élémentaire dans l'ingénierie structurel, mais ça reste limité pour la quantité des fibres a utilisé et le rôle que peuvent jouer dans la résistance ce qui donne une grande importance à l'orientation et la disposition.

II.3. ARTICLE N°03

Comportement en traction du mortier de ciment renforcé de fibres en utilisant des déchets de fils de connexions électriques et de fils de reliure galvanizes.

Maryam H. Naser a, Fatimah H. Naser b, Mohammed K. Dhahir c

Civil Engineering Department, Al-Mustaqbal University College, Babylon, Iraq

b College of Water Resources Engineering, Al-Qasim Green University, Babylon, Iraq

c Civil Engineering Department, College of Engineering, University of Al-Qadisiyah, Al-Qadisiyah, Iraq

Historique de l'article: Reçu le 29Avril 2020 Reçu sous forme révisée le 25 juin 2020 Accepté le 08 Juillet 2020.

Mots clés: Test de tension directe, force de flexion, fibre hybride de mortier de ciment renforcé defibres, déchets de fils électriques, déchets de fils de reliure galvanisés.

II.3.1. Introduction

Cette étude vise à améliorer la résistance à la traction du mortier de ciment en utilisant des fibres de cuivre courtes recyclées (CE) issues de déchets de fils de connexion électrique et des fibres d'acier longues de fils de liaison galvanisés (GB). Par conséquent, une série d'essais de traction directe a été réalisée pour étudier le comportement à la traction du mortier de ciment renforcé de fibres mono et hybrides en plus des propriétés de résistance à la compression et à la flexion. Différents rapports d'hybrides (CE: GB = 0: 100, 100: 0, 50: 50, 30: 70 et 70: 30)% et les teneurs en volume des fibres (0,5, 0,75, 1, 1,5 et 2)% ont été formulés pour étudier leurs effets sur le comportement en traction[38].

II.3.2. Matériaux et méthodes

Les matières premières utilisées pour la préparation des mortiers à base de ciment étaient : le ciment Portland ordinaire connu localement sous le nom de Kar, qui possède des propriétés physiques conformes à la norme, les fibres issues du recyclage sont présentées dans la figure suivante [38] :



Figure II. 17 : Types de fibres : GB, b : CE.[38]

Les propriétés physicomécaniques des fibres sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau II. 11 : Les propriétés physicomécaniques des fibres [38].

Type de fibre	Langueur (mm)	Diamètre (mm)	Ratio d'aspect	Résistance à la traction (MPa)	Masse volumique (Kg/m ³)
GB	20	0.8	25	510	7500
CE	10	0.17	58.8	387	8760

II.3.2.1. Préparation des mélanges

La proportion de mélange du mortier utilisé dans cette étude était un rapport ciment: sable égal à 1: 2. Le rapport eau / ciment était de (0,39), et 2% en poids de ciment de superplastifiant ont été utilisés pour obtenir un mortier ordinaire avec une bonne ouvrabilité. Les taux de fibres utilisés dans cette étude étaient de 0%, 0,5%, 0,75%, 1,0%, 1,5%, 2,0% pour les fibres CE et GB et pour la combinaison des deux types de fibres. Les combinaisons des deux types de fibres utilisées sont (CE:GB) (50%: 50%), (30%: 70%) et (70%: 30%). Vingt-six mélanges pour fibres mono et hybrides ont été utilisés, tous les symboles de mélange sont identifiés dans le tableau suivant [38]:

Tableau II. 12 : Composition des variantes étudiées [38].

Nos.	Symbole de mélange	Ciment Kg / m ³	Sable Kg / m ³	Rapport W/C	SP WL de ciment	CE (micro)% Vol.	GB (macro)% Vol.
1	M0	350	700	0,39	2%	0	0
2	MI, 0,50	350	700	0,39	2%	0,50%	0
3	MI, 0,75	350	700	0,39	2%	0,75%	0
4	MI, 1,00	350	700	0,39	2%	1,00%	0
5	MI, 1,50	350	700	0,39	2%	1,50%	0
6	MI, 2,00	350	700	0,39	2%	2,00%	0
7	MA, 0,50	350	700	0,39	2%	0	0,50%
8	MA, 0,75	350	700	0,39	2%	0	0,75%
9	MA, 1,00	350	700	0,39	2%	0	1,00%
10	MA, 1,50	350	700	0,39	2%	0	1,50%
11	MA, 2,00	350	700	0,39	2%	0	2,00%
12	MHS0: 50A, 0,50	350	700	0,39	2%	0,25%	0,25%
13	MHS0: 50 A, 0,75	350	700	0,39	2%	0,325%	0,325%
14	MHS0: 50A, 1,00	350	700	0,39	2%	0,50%	0,50%
15	MHS0: 50A, 1,50	350	700	0,39	2%	0,75%	0,75%
16	MHS0: 50A, 2,00	350	700	0,39	2%	1,00%	1,00%
17	MHS0: 70A, 0,50	350	700	0,39	2%	0,150%	0,350%
18	MHS0: 70A, 0,75	350	700	0,39	2%	0,225%	0,525%
19	MHS0: 70A, 1,00	350	700	0,39	2%	0,300%	0,700%
20	MHS0: 70A, 1,50	350	700	0,39	2%	0,450%	1,050%
21	MHS0: 70A, 2,00	350	700	0,39	2%	0,600%	1,400%
22	MHT0: 30 A, 0,50	350	700	0,39	2%	0,350%	0,150%
23	MHT0: 30 A, 0,75	350	700	0,39	2%	0,525%	0,225%
24	MHT0: 30 A, 1,00	350	700	0,39	2%	0,700%	0,300%
25	MHT0: 30 A, 1,50	350	700	0,39	2%	1,050%	0,450%
26	MHT0: 30 A, 2,00	350	700	0,39	2%	1,400%	0,600%

II.3.2.2. Préparation des échantillons

Les surfaces internes de tous les moules d'échantillons ont été nettoyées et huilées pour éviter l'adhérence avec un mortier de fibrociment renforcé après le durcissement. Dans le processus de mélange, le ciment sec et le sable ont d'abord été mélangés ensemble. Ensuite, le super plastifiant a été mélangé avec de l'eau et ajouté progressivement au ciment et au sable pour obtenir un mélange homogène avec une bonne maniabilité. Finalement, des fibres ont été ajoutées dans le mélange de mortier de ciment et quatre minutes de temps de mélange supplémentaire ont été effectuées pour obtenir une consistance uniforme. La fluidité a été testée par le test de la table de débit conformément à la norme ASTM C1437-15. La figure II.18 montré le processus de mélange et le test de la table de débit [38].



Figure II. 18 : Préparation des mélanges et essai de fluidité [38].

Le mélange homogène a ensuite été coulé dans des moules en acier, et cela a été fait en une seule couche. Les spécimens coulés ont été conservés dans les moules pendant 24 heures, après quoi, ils ont été ouverts et stockés dans de l'eau de séchage pour être testés à l'âge de 28 jours. Tous les processus de coulée et de durcissement sont indiqués dans la figure II.19 [38].



Figure II. 19 : Préparation des éprouvettes [38].

II.3.2.3. Résultats des essais

II.3.2.3.1. Fluidité

La fluidité a été testée par le test de la table d'écoulement pour évaluer l'ouvrabilité du mortier de ciment afin d'étudier l'effet du pourcentage et le type de fibres sur l'ouvrabilité du mortier de ciment. Le tableau II... illustre les résultats des essais d'ouvrabilité pour tous les mélanges de mortier de ciment, qui ont été obtenus par la table d'écoulement. Le mortier de ciment ordinaire a été formulé pour maintenir un écoulement de 110 mm. Alors que, pour (100% CE à 0% GB), (0% -CE à 100% GB), (50% CE à 50% GB), (30% CE à 70%GB) et (70% CE à 30 % GB) et pour la fraction volumique de fibres comprise entre 0,5% et 2,0%, les résultats du tableau de débit varient entre (94-108)%, (90-98)%, (93-104)%, (91 -100)% et (92-102)%; respectivement. Bien que de nombreuses études expérimentales aient montré qu'à mesure que le rapport hauteur / largeur augmente, la maniabilité du mélange diminue et vice versa [38].

Tableau II. 13 : Propriétés des variantes à l'état frais et durci [38].

Nom	Symbole de mélange	Tableau de Sa%	F ₀ MPa	F ₁ MPa	F ₂ MPa	F ₃ Rapport%
1	M0	110	58,0	4,9	2,24	3,86
2	MI, 0,50	108	64,4	5,18	2,72	4,22
3	MI, 0,75	105	66,6	7,65	4,39	6,59
4	MI, 1,00	98	69,3	8,6	5,26	7,59
5	MI, 1,50	95	71,8	9,26	5,57	7,76
6	MI, 2,00	94	68,8	8,9	5,48	7,97
7	MA, 0,50	96	59,2	6,7	3,01	5,08
8	MA, 0,75	97	61,8	8,2	4,32	6,99
9	MA, 1,00	95	63,1	10,33	5,60	8,87
10	MA, 1,50	93	60,9	9,83	6,11	10,03
11	MA, 2,00	90	58,9	9,01	5,90	10,02
12	MHS0: 50A, 0,50	104	62,1	6,42	2,80	4,51
13	MHS0: 50 A, 0,75	98	66,5	7,7	3,77	5,67
14	MHS0: 50A, 1,00	96	68,0	9,7	4,82	7,09
15	MHS0: 50A, 1,50	92	69,4	9,9	5,86	8,44
16	MHS0: 50A, 2,00	93	65,1	9	5,92	9,09
17	MHS0: 70A, 0,50	100	60,8	6,5	2,93	4,82
18	MHS0: 70A, 0,75	98	64,7	8,4	4,56	7,05
19	MHS0: 70A, 1,00	96	67,2	10,1	5,90	7,89
20	MHS0: 70A, 1,50	95	67,5	10,7	5,94	8,80
21	MHS0: 70A, 2,00	91	63,2	9,8	6,03	9,54
22	MH70: 30 A, 0,50	102	63,8	6,3	2,83	4,44
23	MH70: 30 A, 0,75	100	64,9	7,82	4,26	6,56
24	MH70: 30 A, 1,00	97	66,8	8,75	5,15	7,71
25	MH70: 30 A, 1,50	93	69,2	9,41	5,61	8,11
26	MH70: 30 A, 2,00	92	65,9	9,2	5,69	8,63

II.3.2.3.2. Résistance à la compression

Les résultats des tests de résistance à la compression (figure II.20), pour tous les mélanges étudiés dans cette recherche sont résumés dans Tableau II... et la figure II....



Figure II. 20 : Essai de compression [38].

Il ressort clairement des résultats qu'il y a une amélioration évidente de la valeur de résistance à la compression due à l'addition de fibres dans tous les rapports de pourcentage pour tous les mélanges [38].

Aussi, et comme indiqué dans figure II.21, On peut observer que le pourcentage d'augmentation de la résistance à la compression est compris entre (11 - 24) % par rapport au mortier de ciment ordinaire [38].

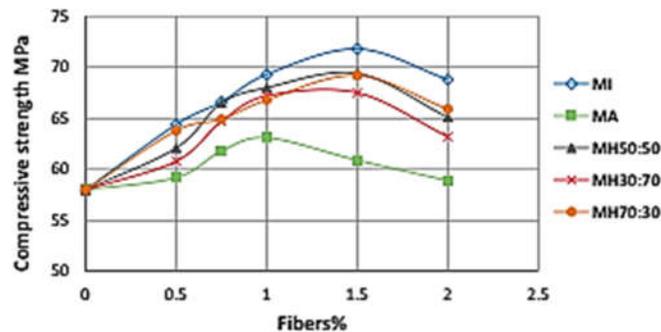


Figure II. 21 : Résultats des essais de compression [38].

Le rapport optimal d'addition de CE est de 1,5%, ce qui a donné la valeur de résistance à la compression la plus élevée d'environ 71,8 MPa. Ceci peut s'expliquer par le fait que les microfibrilles (CE) arrêtent le développement des microfissures, et conduisent ainsi à une résistance à la compression plus élevée. D'autre part, le mélange GB présente une légère amélioration de la valeur de résistance à la compression qui varie entre (2-9) %, où le pourcentage optimal de microfibrilles d'acier est de 1%. Comme pour le mélange avec des fibres hybrides, l'amélioration de la valeur de résistance à la compression est comprise entre (5-20) %. Le pourcentage d'augmentation le plus élevé apparaît au mélange (50% CE à 50%GB) avec un ratio de 1,5% de fibres. La figure II.21 montre également que pour un pourcentage de fibres supérieur à 1,5%, on observe une diminution de la résistance à la compression. Ce comportement a également été observé par de nombreux chercheurs, et il était lié à l'augmentation des vides d'air résultant de la réduction de l'ouvrabilité lors de l'utilisation d'un volume élevé de fibres [38].

II.3.2.3.3. Résultats de résistance à la traction indirecte

La force de flexion ou le module de rupture est généralement déterminé à l'aide de prismes de dimensions $(40 \times 40 \times 160) \text{ mm}^3$, qui sont testés en flexion trois points comme indiqué dans la figure II.22.

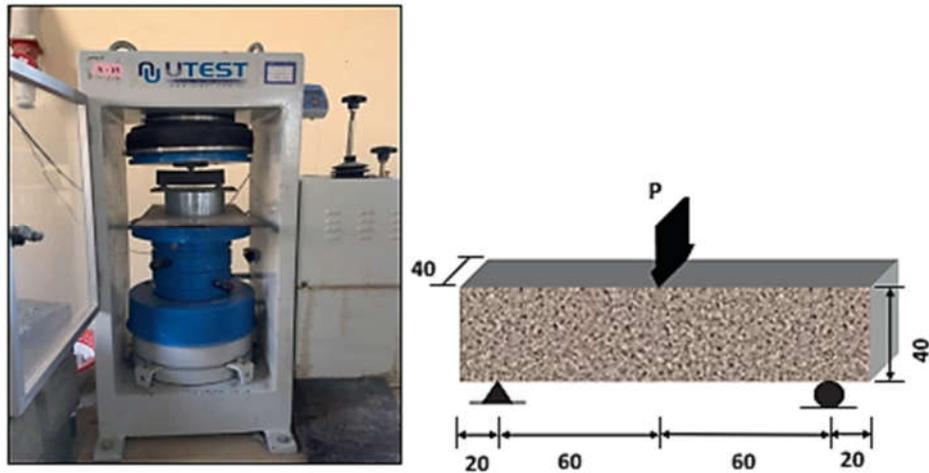


Figure II. 22 : Essai de flexion trois point [38].

Les valeurs de la résistance à la flexion de tous les mélanges étudiés sont résumées dans tableau II.13. La figure II.22 montre que le pourcentage d'augmentation de la résistance à la flexion varie entre (26-89) % pour les fibres CE par rapport au ciment ordinaire mortier. Alors que, pour les fibres GB, l'augmentation de la résistance à la flexion se situe entre (37-111) %, où la valeur la plus élevée (111%) est à un rapport de 1%, qui peut être considéré comme le rapport optimal d'addition pour ces fibres, voir figure II.23. D'après les résultats, il est évident que les fibres GB donnent une meilleure résistance à la flexion que les fibres CE. En effet, les fibres GB utilisées dans cette étude sont plus longues que la CE fibres. Cela augmente la liaison entre les fibres et la matrice de mortier, et augmente ainsi la résistance à la flexion [38].

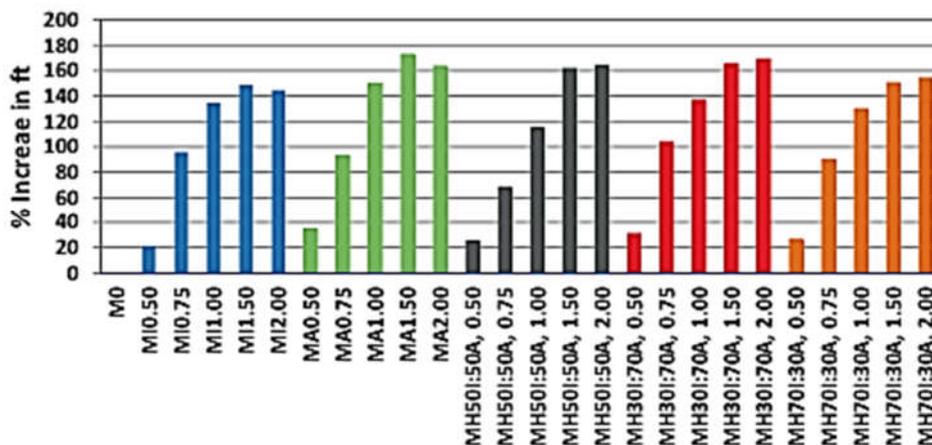


Figure II. 23 : Résultats des essais de flexion trois point [38].

Comme pour les fibres hybrides, l'augmentation de la résistance à la traction par flexion est comprise entre (31 et 118) %. Les fibres hybrides (30 % CE à 70 % GB) donnent

l'augmentation en pourcentage la plus élevée d'environ 118% à un rapport de 1,5%. Un comportement similaire a également été observé par **Yusof et al. [39]**, qui a remarqué que la combinaison de fibres courtes avec des fibres longues à un pourcentage de 30% de fibres courtes : 70% de fibres longues et à un taux de remplacement de 1,5% doublait la résistance à la flexion du mélange. En effet, la rupture du mortier de ciment en tension est régie par la microfissuration associée notamment à la zone interfaciale entre les particules de sable et la pâte de ciment ; suivies de microfissures qui provoquent la division du corps en sections. La présence des micro fibres CE arrête les microfissures et empêche l'expansion de la structure. Cependant, lorsque les fibres plus courtes (CE) échouent, les fibres plus longues (GB) continueront à combler les fissures jusqu'à ce qu'une défaillance totale se produise. [39]. En outre, Tableau II.12 montre également que généralement et pour tous les mélanges, la résistance à la flexion diminue lorsque l'on augmente le pourcentage de fibres à 2%. Cela peut être attribué aux difficultés à fournir une distribution homogène des fibres dans le mélange à des ratios de fibres élevés entre (21– 173) % par rapport au mortier de ciment non fibreux comme indiqué dans la figure II.23. Pour les fibres CE, l'augmentation la plus élevée de la résistance à la traction est observée à un taux d'addition de 1,5% et elle est d'environ 144%. Alors que le mélange GB présente une amélioration significative des valeurs de résistance à la traction directe qui se situe entre (34 - 173) %. Où, la plus forte augmentation se produit également à un ratio de 1,5%. Par conséquent, les macrofibres (GB) sont plus efficaces que les microfibres (CE) et les fibres hybrides pour augmenter la résistance à la traction directe du mortier. La figure II.21 montre également que lorsque la quantité de fibres d'acier augmente, la résistance à la traction directe augmente. Cependant, et à l'exception des mélanges avec des fibres hybrides, une légère réduction peut être notée lors de l'utilisation de fibres (CE) ou (GB) de rapports supérieurs à 1,5 [38].

II.3.2.3.4. Résultats et discussions

Les résultats de cette étude [38] ont révélé ce qui suit :

(i) Les fibres (GB) améliorent la résistance à la flexion dans tous les rapports de fraction volumique par rapport aux fibres (CE) et le rapport optimal est de 1%. Alors que pour les mélanges avec des fibres hybrides, la combinaison (30% CE à 70% GB) donne le pourcentage d'augmentation le plus élevé de la résistance à la flexion à une teneur en volume de 1,5% par rapport à tous les autres mélanges ;

(ii) Pour les deux types de fibres (GB) et (CE), la résistance à la traction directe augmente avec l'augmentation du rapport de fraction volumique jusqu'à 1,5%. Alors que, pour les fibres

hybrides, la résistance à la traction directe augmente avec l'augmentation du rapport des fibres pour toutes les teneurs en volume et pour toutes les combinaisons ;

(iii) L'augmentation la plus importante de la résistance à la traction directe est observée à une teneur en volume de 1,5% de fibres (GB) et donne les valeurs les plus élevées par rapport aux fibres (CE) et aux fibres hybrides dans tous les mélanges ;

(iv) Le rapport de fragilité est compris entre (4% -8%), (5% -10%) et (4,5% -9,5%) pour les mortiers de ciment (CE), (GB)et hybrides, respectivement.

II.3.2.3.5. Critique du travail

Le travail présenté est très intéressant, car il prend en charge une valorisation des fibres issus des déchets, ce qui donne une valeur ajoutée par apport à la valorisation des déchets, ainsi que l'amélioration des propriétés des mortiers étudiés, notamment les résistance en flexion, néanmoins, ce travail ne présente aucune indication sur la disposition des fibres dans les éprouvettes étudiée, car ce paramètre est très important, qui peut apporter des éclaircissements sur l'effet de la disposition des fibres sur les propriétés physicomécaniques des mortiers, d'où la prise en charge de notre thématique.

Conclusion générale

Conclusion générale

-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, par 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.

L'introduction des fibres dans les mortiers a permis de noter ce qui suit :

- L'utilisation de renforts de fibres métalliques présente une amélioration de la résistance mécanique illustrée par une augmentation considérable en traction par flexion de l'ordre de 30.4 % et une légère augmentation en compression avec un gain de l'ordre de 10%.

- Les essais de traction par flexion 4 points réalisés sur les bétons de sable contenant des fibres métalliques, ont montré qu'il n'y a pas de différences significatives pour ces deux compositions. Le taux d'augmentation est estimé à 0.77%, 2.68% et 6.19%. Cela confirme que le rôle primordial des fibres est atteint au niveau de la traction et lorsque l'éprouvette est soumise à la flexion.

- Les performances physicomécaniques de ces nouveaux bétons dépendent des proportions relatives à la nature des fibres introduites dans les mélanges.

-Les travaux de recherches récents indiquent l'importance de l'orientation des fibres dans les mortiers, car cette propriété permet de favoriser un effet significatif, notamment sur la résistance en flexion, cette voie va permettre de souligner l'effet de la disposition des fibres sur l'épaisseur du matériau renforcé.

Recommandations et perspectives

Recommandations et perspectives

A la lumière de ce travail 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 rhéologiques 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 sur la zone la plus sollicitée.

Référence Bibliographiques

Référence 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. N°......,.....pp.

Conclusion générale

[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.

[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] Melais S., Achoura D., Jauberthie R., 2011. Comportement mécanique des plaques en béton de sable renforcé de fibres métalliques. Annales de bâtiments et travaux publics, issue n°2/2011, pp. 17-22.

[22] Hannant D.J., 1978. «Fiber cements and fiber concretes. »3 New York. J. Wiley and sons, 219 p.

[23] Aydin A.C., 2007. Self compactability of high volume hybrid fiber reinforced concrete, Construction and Building Materials 21, pp.1149–1154.

[24] Evangelista F. Jr., Roesler J.R., Paulino G.H., 2009. Numerical simulations of the fracture resistance of functionally graded concrete materials , Transportation Research Record 2113, Pp:122–131.

Conclusion générale

- [25] Barakat S., Altoubat S., 2010. Concrete welding using steel fibers, Civil and Environmental Engineering, University of Sharjah, Sharjah, United Arab Emirates 32, pp. 2065–2073
- [26] Dardar J., 1975. Contribution à l'étude du comportement mécanique des bétons renforcés de fibres de polypropylène. In fibrierenforced cement and concrete, RILEM , Symposium, Edited by A. NEVILLE, Lancaster, Construction Press, , pp 227-235, Communication 5.2
- [27] Suhaendi, S.L., Horiguchi T., 2006. Effet of short fibers on residual permeability and mechanical properties of hybrid fiber reinforced high strength after heat exposition , cement and concrete research , Vol.36, , pp.1672-1678.
- [28] Hager, I., 2004. Comportement à haute température des bétons à haute performance – évolution des principales propriétés mécaniques, Thèse de doctorat, école nationale des ponts et chaussées et école polytechnique de Croatie, novembre, 183p.
- [29] Rossi P., 1998. Les bétons de fibres métalliques, Presse de l'ENPC, Paris, France, 306p.
- [30] Andra., 2005. Les matériaux cimentaires Référentiel matériaux, tome 3, Rapport de recherche de l'Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs. France 40 p
- [31] Djebali S., 2013. Caractérisation des éléments de structures en béton de fibres métalliques, Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou 182p. .
- [32] Braïke S., Massicotte B., Charron J-P, 2002. Conception des ponts en bétons fibrés à haute et ultra haute performance, Collection de la Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées LCPC, France, 198p.
- [33] De Larrard F., 2002. Construire en béton Collection de la Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées LCPC, 197p.
- [34] Parant E., 2003. Mécanismes d'endommagement et comportements mécaniques d'un composite cimentaire fibré multi-échelles sous sollicitations sévères : fatigue, choc, corrosion, Thèse de Doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées ENPC, Paris, 3/12/. 248 p.
- [35] Mai Y.W., 2002. Cohesive zone and crack resistance - curve of cementitious materials and their fibre – reinforced composites, Engineering Fracture Mechanics; V 69, issue2, pp 219-234.

Conclusion générale

[36] Houari H., 1993. Contribution à l'étude du comportement du béton renforcé de fibres métalliques soumis à l'action des charges maintenues et cycliques, Thèse de doctorat, INSA de Lyon, 243p.

[37] Bidossessi A., nov2010 Contribution des fibres de polypropylène et métalliques à l'amélioration du comportement du béton soumis à température élevée , Thèse de doctorat de l'université de Cergy – Pontoise , France, 260 p. [

[38] Maryam H. Naser et all, Tensile behavior of fiber reinforced cement mortar using wastes of electrical connections wires and galvanized binding wires, Construction and Building Materials 264 (2020) 120244

[39] M.A. Yusof, N.M. Nor, M.F.M. Zain, N.C. Peng, A. Ismail, R.M. Sohaimi, A.M.A.Zaidi, Mechanical properties of hybrid steel fibre reinforced concrete with different aspect ratio, Aust. J. Basic Appl. Sci. 5 (2011) 159–166.