

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GENIE CIVIL
N°:



DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE
SFILIERE : GENIE CIVIL
OPTION : MATERIAUX

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par :

Seraiche Intissar

Zellagui Maroua

Intitulé :

**Étude de l'effet du remplacement du sable par la
limaille de fer et de la poudre de verre sur les
propriétés du mortier**

Devant le jury composé de :

Pr : BEDDAR Miloud	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Président
Dr : BELOUADAH Messaouda	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Encadrant
Pr : RAHMOUNI Zine El Abidine	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Co Encadrant
Dr : CHIKOUCHE Mohamed Aziz	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Examineur

Année universitaire : 2024/2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Remerciements

*Je rends tout d'abord grâce à Dieu, le Tout-
Puissant et la Miséricorde dieux, qui m'a accordé la force,
La volonté et la patience nécessaires pour mener à bien ce modeste travail.
J'exprime ma profonde gratitude à ma chère famille,
Pour leur amour inconditionnel, leurs encouragements
Constants et leurs sacrifices tout au long de mon parcours scolaire
Je tiens à remercier sincèrement mes encadreurs :
Pr. RAHMOUNI Zine El Abidine et Dr. BELOUADAH Messaouda
Pour leur accompagnement, leurs conseils avisés
Et leurs remarques constructives qui ont grandement
Contribué à l'aboutissement de ce mémoire.
Je remercie également les membres du jury d'avoir accepté
D'évaluer ce travail. Mes remerciements vont aussi à l'ensemble
Des enseignants et enseignantes du département de Génie Civil,
Ainsi qu'aux responsables et techniciens du laboratoire pour leur disponibilité
et leur soutien.
Enfin, je remercie toutes les personnes, de près ou de loin, qui ont contribué,
par un geste, un mot ou un conseil, à la réalisation de ce mémoire.*

Remerciements spéciaux

Nous adressons nos sincères remerciements à Madame la Docteure Omri Iman, pour ses orientations précieuses, ses remarques constructives et son dévouement à nous accompagner ont été des facteurs essentiels qui nous ont poussés à donner le meilleur de nous-mêmes.

Sa présence à nos côtés a été non seulement scientifique, mais aussi profondément humaine. Elle représente un modèle exemplaire de rigueur et de professionnalisme.

Que son savoir continue de rayonner et que Dieu bénisse ses efforts et ses connaissances.

Dédicace :

Seraïche Intissare

Louange à Dieu en premier et en dernier, car c'est Lui qui m'a soutenue et guidée.

À moi-même,

Pour la patience et la persévérance jusqu'à ce moment.

*À mon cher père **seraïche tahar**, et à ma précieuse mère,*

Ce diplôme est le fruit de vos prières et de votre soutien constant.

Qu'Allah vous récompense pour tout et vous accorde santé et longue vie.

À mes encadrants,

Le Professeur Rahmouni Zine El Abidine et la Docteure Belouadah Messaouda

, toute ma gratitude pour leur soutien et leurs précieux

Conseils qui ont contribué à la réussite de ce travail."

*À mon amie et sœur, **Zellagui Marwa**,*

Merci du fond du cœur pour ta sincérité et ton soutien indéfectible.

À mes frères et à ma famille,

Merci pour votre présence constante à mes côtés.

À ma tante bien-aimée et à mes chères cousines,

Merci pour chaque moment de soutien et de solidarité.

Et merci à tous ceux qui ont laissé une empreinte dans ce parcours, ne serait-ce que par un mot gentil.

Qu'Allah vous récompense tous pour votre bonté.

Dédicace :

Zellagui Marwa

Louange à Dieu, en premier et en dernier, par Sa grâce les bonnes choses s'accomplissent, et c'est par Son aide que ce travail a pu voir le jour.

À mes chers parents, merci pour votre amour, vos prières et votre patience inestimable.

À moi-même, qui ai fait preuve de patience, de persévérance et qui ai donné le meilleur malgré tous les défis... merci à moi.

À mon honorable encadrant, le Professeur Zine El Abidine Rahmouni, et à Madame la Docteure Belouadah Messaouda, pour leurs orientations et leur soutien tout au long de ce parcours.

À ma chère amie Seraiche Intissar, qui a été un véritable pilier et une compagne fidèle sur ce chemin.

À tous ceux qui m'ont soutenue, qui ont cru en moi et m'ont encouragée...
Je vous dédie le fruit de cet humble effort, avec reconnaissance et gratitude.

المخلص

يهدف هذا العمل إلى دراسة وتقييم تأثير الاستبدال الجزئي للرمل في المونة بمواد بديلة، وهي نشارة الحديد، بالإضافة إلى الاستبدال الجزئي للإسمنت بمسحوق الزجاج. تهدف هذه الدراسة إلى تحسين خصائص المونة والبحث عن حلول صديقة للبيئة واقتصادية تعزز من استدامة مواد البناء.

تم إعداد سلسلة من الخلطات بنسب متغيرة من نشارة الحديد (5%، 10%، 15%، 20%، 25%، و30%) لتحل جزئياً محل الرمل الطبيعي، بالإضافة إلى استبدال جزئي للإسمنت بنسبة 10% بمسحوق الزجاج. خضعت هذه الخلطات لعدة اختبارات مخبرية لتقييمها ودراسة خصائصها.

أظهرت النتائج أن استخدام نشارة الحديد ومسحوق الزجاج يمكن أن يحسن بعض خصائص المونة، خاصة مقاومة الضغط والكثافة، وذلك حسب النسب المعتمدة.

الكلمات المفتاحية: الملاط، برادة الحديد، مسحوق الزجاج، مقاومة الضغط

Résumé

L'objectif de ce travail est d'étudier et d'évaluer l'impact du remplacement partiel du sable dans le mortier par des matériaux alternatifs, notamment la limaille de fer, ainsi que le remplacement partiel du ciment par de la poudre de verre. Cette démarche vise à améliorer les propriétés du mortier tout en recherchant des solutions écologiques et économiques favorisant la durabilité des matériaux de construction.

Pour ce faire, une série de mélanges a été préparée avec des proportions variables de limaille de fer (5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 % et 30 %) en substitution partielle du sable naturel, combinée à un remplacement partiel du ciment par 10 % de poudre de verre. Ces mélanges ont ensuite été soumis à divers essais en laboratoire afin d'évaluer leurs performances et d'analyser leurs caractéristiques.

Les résultats obtenus révèlent que l'intégration de la limaille de fer et de la poudre de verre permet d'améliorer certaines propriétés du mortier, notamment sa résistance à la compression et sa densité, selon les proportions utilisées.

Mots clés : mortier, limaille de fer, poudre de verre, résistance à la compression.

Abstract

The objective of this work is to study and evaluate the effect of partially replacing sand in mortar with alternative materials, namely iron filings, as well as partially replacing cement with glass powder. This study aims to improve the properties of mortar and to seek environmentally friendly and economical solutions that enhance the sustainability of construction materials.

A series of mixtures were prepared with varying percentages of iron filings (5%, 10%, 15%, 20%, 25%, and 30%) to partially replace natural sand, along with a partial replacement of cement by 10% glass powder. These mixtures were subjected to various laboratory tests to evaluate and analyze their properties.

The results showed that the use of iron filings and glass powder can improve certain properties of the mortar, particularly compressive strength and density, depending on the proportions used.

Keywords: mortar, iron filings, glass powder, compressive strength

Table des matières

<i>Remerciements</i>	3
<i>Dédicace</i> :	6
المخلص	7
Résumé.....	8
Abstract.....	9
Table des matières.....	10
Liste des Figures	14
Liste des tableau.....	16
Introduction Générale	1
Chapitre I : Générale sur les mortiers	
I. Introduction :	3
I.1. Les mortiers :	3
I.2.1. Définition :.....	3
I.3.Les différents types des mortiers :.....	3
I.3.1. Les mortiers de ciment :.....	3
I.3.2 Les mortiers de chaux :.....	3
I.3.3. Les mortiers bâtards :.....	3
I.3.4. Les mortiers fabriqués sur chantier :	4
I.3.5. Les mortiers industriels :	4
I.4.Les emplois des mortiers :.....	4
I.4.1.les anduis :.....	4
I.4.2. Les chapes :.....	5
I.4.3. Les joints de maçonnerie :	5
I.4.4. Les scellements et les calages :.....	6
I.5 Classification des mortiers :	7
I.5.1 En fonction de leur domaine d’application :	7
I.5.2 En fonction du type de liant :.....	7
I.6 Les caractéristiques principales des mortiers :.....	7
I.7Composition des mortiers :.....	8

I.7.1. Le liant :	8
I.7.2. Les sables :.....	8
I.7.3. Les adjuvants :	8
I.7.4. Les ajouts :	9
I.8.Le rôle de l'utilisation du mortier :	9
I.9. Comportement mécanique du mortier :.....	9
I.9.1 la résistance à la flexion :.....	10
I.9.2 la résistance à la compression :.....	10
I.10.Conclusion :.....	10

Chapitre II : Les fibres dans les matériaux

II.1. Introduction :.....	10
II.2. Historique des bétons de fibres	10
II.3. Définition des fibres :.....	11
II.4. Béton de fibres	11
II.5. Nature des fibres.....	11
II.6. Principales fibres utilisées.....	13
II.6. 1. Fibres de polypropylène	13
II.6. 2. Fibres de verre	13
II.6. 3. Fibres métalliques.....	14
Les Fibres d'acier :.....	15
La limaille de fer :	16
II.7. Utilisation de la limaille de fer dans le béton :	17
II.8. Fibres d'amiante.....	17
II.9. Fibres de cellulose.....	17
II.10. Fibres de carbone	18
II.11. Fibres d'aramide.....	18
II.12. Propriétés des fibres :.....	18
II.13. Rôles des fibres dans le béton :.....	19
II.14. Avantages et inconvénients du béton fibré	21
II.15. Applications du béton de fibres	21

II.16. Conclusion :.....	24
--------------------------	----

Chapitre III : Caractéristiques des matériaux utilisés

III.1. Introduction :.....	25
III.2. Matériaux et matériel utilisé :.....	25
III.2.1. Ciment :.....	25
III.2.2. Sable :.....	26
III.2.2.1. La masse volumique absolue :.....	26
III.2.2.2. La masse volumique apparente :.....	27
III.2.2.3 Equivalent de sable :.....	28
III.2.2.4. Analyse granulométrique :.....	30
III.2.3. Poudre de verre :.....	33
III.2.3.1. La masse volumique apparente :.....	33
III.2.4. La limaille de fer :.....	34
III.2.4.1. La masse volumique apparente :.....	34
III.2.4.2. Analyse granulométrique :.....	35
III.2.5. L'adjuvant :.....	36
III.3. La formulation des différents mortiers :.....	37
III.4. Essais Sur Mortier :.....	40
III. 4.1. Des essais à l'état frais :.....	40
III. 4.2. Essais à l'état durci :.....	41
<input type="checkbox"/> Cure appliquée [NF P 18-404] :.....	41
<input type="checkbox"/> La masse volumique	41
<input type="checkbox"/> Essai la flexion :.....	41
<input type="checkbox"/> Essai de compression :.....	42
<input type="checkbox"/> Control par ultrasons :.....	43
<input type="checkbox"/> La Porosité :.....	44
<input type="checkbox"/> Absorption d'eau :.....	45
Microscope optique. :.....	46
Conclusion :	46

CHAPITRE IV : Resultats et Interpretations

IV.1 Introduction :	46
IV.2 Résultats des essais de caractérisation sur mortier frais :	46
IV.2.1 L'affaissement :	46
IV.2.2 Masse volumique apparente :	47
IV. 3. Résultats des essais de caractérisation sur mortier durci :	49
IV.3.1 Résultats de la masse volumique à l'état durci :	49
IV.4. Analyse par Ultrasons :	50
IV.5 L'absorption d'eau :	51
IV.6. La porosité :	52
IV.7. Résistance à la compression :	53
IV.8. Résistance à la flexion :	54
IV.9. Microscope:	58
Conclusion	46
Conclusion Générale.....	62
Référence.....	64
Annexes	67
Annexes 01:.....	67
Annexes 02:.....	68
Annexes 03 :.....	69

Liste des Figures

Chapitre I : Généralités sur les mortiers

Figure I.1: Les enduits.....	2
Figure I.2: Les chapes.....	3
Figure I.3: Les joints de maçonnerie	3
Figure I.4 : Les scellements et les calages	4

Chapitre II : Les fibres dans les matériaux

Figure II.1: Caractéristiques des fibres	10
Figure II.2 : Les fibres de polypropylènes.....	11
Figure II.3 : Fibre de verre	12
Figure II.4 : Différentes formes géométriques de fibres métalliques.....	13
Figure II.5 : La limaille de fer (a) particules (b) produit secondaire du broyage du fer.....	14
Figure II.6: Rôle des fibres dans la matrice de béton	17
Figure II.7: Illustration de l'apport du renfort par des fibres	18
Figure II.8: Autres utilisations du béton de fibres.....	21

Chapitre III : La Caractéristiques des matériaux utilisés

Figure III.1: Ciment portland.....	23
Figure III.2: Essai de la masse absolue.....	24
Figure III.3: Essai de la masse volumique apparente.....	25
Figure III.4 : Essai l'équivalent de sable	27
Figure III.5: Mesurée de L'équivalent de sable.....	28
Figure III.6: Colonne de tamis.....	29
Figure III.7 : Essai la masse volumique apparent poudre de verre.....	32
Figure III.8 : Essai la masse volumique apparent limaille de fer.....	33
Figure III.9: Essai analyse granulométrique limaille de fer.....	34
Figure III.10: Super plastifiant utilisé.....	35
Figure III.11 : Malaxage (a) et dispositif de vibration (b).....	36
Figure III.12: Les éprouvettes utilise.....	36

Figure III.13: Conservation des éprouvettes dans l'eau.....	37
Figure III.14 : Démoulage du mortier.....	38
Figure III.15: Cône d'Abrams	38
Figure III .16 : Essai de la flexion.....	40
Figure III.17: Dispositif pour l'essai de résistance à la compression.....	41
Figure.III.18: L'appareil de compression.....	41
Figure III.19: Appareil ultrasons.....	42
Figure III.20: essai de chauffage.....	43
Figure III.21 : Balance hydrostatique	43
Figure III.22 : Microscope optique.....	44

Chapitre IV : Résultats et interprétations

Figure IV.1 : Evolution de l'affaissement et rapport E/C des mortiers étudiés.....	47
Figure IV.2 : Effet de la substitution des déchets limaille de fer sur la masse volumique à l'état frais.....	48
Figure IV.3 : Résultats de la masse volumique à l'état durci	49
Figure IV.4 : Résultats d'ultrason de mortier.....	50
Figure IV.5 : L'absorption de mortier.....	51
Figure IV.6 : La porosité de mortier.....	52
Figure IV.7 : Résistance à la compression.....	53
Figure IV.8: Les Résultats de l'essai de flexion sur les mortiers après 7 jours.....	54
Figure IV.9 : Les résultats de l'essai de flexion sur les mortiers après 14 jour.....	55
Figure IV.10 : Les résultats de l'essai de flexion sur les mortiers après 28 jour	56
Figure IV.11 : Le Témoin sous le microscope.....	58
Figure IV.12 : Echantillon 10% sous microscope	58
Figure IV.13 : échantillon 30% sous microscope.....	59

Liste des tableaux

Chapitre II:Les fibres dans les mortiers

Tableau II.1 : Différents types de fibres	10
Tableau II.2 : Principales propriétés physiques et mécaniques des fibres les plus utilisées...	10
Tableau II.3 : Caractéristiques mécaniques des fibres de verre	12
Tableau II.4 : Propriétés physiques la limaille de fer	14
Tableau II.5 : Propriétés chimiques la limaille de fer.....	14
Tableau II.6 : Applications des bétons renforcés de fibres.....	20

Chapitre III : La Caractéristiques des matériaux utilisés

Tableau III.1 : Caractéristiques techniques.....	23
Tableau III.2 : La masse volumique absolue du sable.....	24
Tableau III.3 : La masse volumique apparente à l'état lâche.....	25
Tableau III.4 : La masse volumique apparente à l'état compact.....	25
Tableau III.5 : Porosité, compacité et l'indice des vides.....	26
Tableau III.6 : Les résultats d'équivalent du sable.....	28
Tableau III.7 : Analyse granulométrique du sable.....	30
Tableau III.8 : Caractéristiques physique de la poudre de verre.....	31
Tableau III.9 : La masse volumique apparente à l'état lâche.....	31
Tableau III.10 : La masse volumique apparent à l'état compact.....	31
Tableau III.11 :La masse volumique apparent à l'état lâche limaille de fer.....	32
Tableau III.12 : La masse volumique apparent à l'état compact limaille de fer.....	32
Tableau III.13 : Analyse granulométrique limaille de fer.....	34
Tableau III.14 : Les différentes formulations.....	37

Chapitre IV : Résultats et Interprétations

Tableau IV.1 : Les résultats des essais à l'état frais	46
Tableau IV.2 : Résultats de la masse volumique état frais du mortier étudié.....	47
Tableau IV.3 : Les résultats de résistance à la flexion après 7 jours.....	54
Tableau IV.4 : Les résultats de résistance à la flexion après 14 jour	55
Tableau IV.5 : Les résultats de résistance la flexion après 28 jour.....	57

Introduction Générale

Introduction Générale

Le développement durable est devenu une priorité mondiale, incitant l'industrie à rechercher des solutions innovantes pour la valorisation des déchets industriels et la réduction de leur impact environnemental [1, 2]. Le secteur du bâtiment et des travaux publics, étant l'un des plus grands consommateurs de ressources naturelles et générateurs de déchets, joue un rôle crucial dans cette transition vers une économie circulaire [3]. Dans ce contexte, l'intégration de matériaux de substitution issus de flux de déchets dans la fabrication de matériaux de construction est une approche prometteuse, offrant des avantages économiques, environnementaux et potentiellement techniques [4].

Parmi les déchets industriels, la limaille de fer, issue principalement des opérations d'usinage, de la métallurgie ou des industries manufacturières, est produite en quantités considérables [5]. Sa gestion pose souvent des défis environnementaux liés à son élimination et à son potentiel d'oxydation. La valorisation de cette limaille dans les matériaux cimentaires, tels que les mortiers et les bétons, représente une voie de recherche pertinente et écologiquement responsable [6]. L'utilisation de la limaille de fer, qui possède une densité élevée et une certaine réactivité potentielle, pourrait influencer diverses propriétés du mortier, allant de sa masse volumique à sa résistance mécanique et sa durabilité [7].

Cependant, l'intégration de ce type de déchet dans une matrice cimentaire n'est pas sans défis et nécessite une compréhension approfondie de son impact. La granulométrie, la forme, la composition chimique de la limaille, ainsi que son pourcentage de substitution, peuvent affecter l'homogénéité du mélange, la porosité de la pâte durcie, l'hydratation du ciment, et par conséquent, les performances finales du matériau [8, 9]. Les études précédentes ont montré des résultats variables, soulignant la complexité des interactions entre la limaille de fer et les autres constituants du mortier.

La présente étude s'inscrit dans cette démarche de valorisation en se concentrant sur l'évaluation exhaustive des propriétés des mortiers incorporant des pourcentages variés de limaille de fer. L'objectif principal est d'analyser l'influence de cette substitution sur les caractéristiques physiques (masse volumique, absorption d'eau), les propriétés mécaniques (résistance à la compression, vitesse des ondes ultrasonores), la porosité et la microstructure des mortiers. Cette investigation vise à déterminer les pourcentages optimaux de limaille de fer

permettant d'améliorer ou de maintenir les performances des mortiers, contribuant ainsi à un développement plus durable des matériaux de construction.

Enfin, des analyses microstructurales ont été effectuées pour confirmer et valider les résultats des tests antérieurs

Pour la réalisation de ce projet nous avons proposé le plan de travail suivant :

- Le premier chapitre est consacré à la recherche bibliographique sur les mortiers ;
- Le deuxième chapitre présente des généralités sur les fibres dans les mortiers;
- Le troisième chapitre présente les matériaux utilisés et les différentes méthodes expérimentales réalisées pour déterminer leurs caractéristiques;
- Le quatrième chapitre décrit les résultats acquis durant cette étude et leurs interprétations ;

Finalement, ce mémoire s'achève par une conclusion générale des travaux réalisés et présente les perspectives de l'étude de ce mortier fabriqué avec limaille de fer.

CHAPITRE I

Généralités sur les mortiers

Chapitre I : Généralités sur les mortiers

I. Introduction :

Le mortier, l'un des plus anciens matériaux de construction, est utilisé depuis l'Antiquité pour unir les composants de maçonnerie comme les briques et les pierres. Il reste un composant crucial dans de multiples applications architecturales jusqu'à ce jour. Pour assurer la durabilité des constructions et évaluer leurs performances, il est essentiel de mieux comprendre sa composition et ses propriétés, compte tenu de son rôle crucial à chaque étape de la construction. Ce chapitre traite les concepts fondamentaux concernant le mortier, y compris sa définition, ses différentes variétés, ses ingrédients primordiaux, et les caractéristiques essentielles qui influencent sa qualité et son rendement dans le secteur de la construction.

I.1. Les mortiers :

I.2.1. Définition :

Le mortier est l'un des composants de construction employé pour lier les éléments ensemble, garantir la stabilité de la structure et remplir les espaces vides entre les blocs de construction. Typiquement, le mortier est obtenu à partir d'un mélange de sable, d'un liant (ciment ou chaux) et d'eau dans des proportions spécifiques qui peuvent varier en fonction des réalisations et des adjuvants. Selon la nature et les proportions des ingrédients, le pétrissage, la préparation et le temps de repos, ils peuvent varier considérablement les uns par rapport aux autres. [1]

I.3. Les différents types des mortiers :

I.3.1. Les mortiers de ciment :

Les mortiers de ciment, extrêmement robustes, s'établissent et se solidifient sans délai. En outre, un dosage insuffisant en ciment les rend quasiment imperméables. Les quantités habituelles se situent entre 300 et 400 kg de ciment pour chaque mètre cube de sable. [2]

I.3.2 Les mortiers de chaux :

Les mortiers à base de chaux présentent une consistance grasse et onctueuse. Ils se solidifient plus lentement que les ciments, en particulier quand la chaux est calcique. [2]

I.3.3. Les mortiers bâtards :

L'association de ciment et de chaux permet d'acquérir conjointement les propriétés de ces deux liants. En général, la chaux et le ciment sont utilisés en proportions égales ; cependant, on ajustera la quantité de l'un ou de l'autre en fonction de l'application et de la qualité désirée. [2]

I.3.4. Les mortiers fabriqués sur chantier :

Ils sont confectionnés à partir du ciment et du sable provenant du site de construction. Le ciment utilisé est généralement du CPA ou du CPJ, et occasionnellement, des ciments spéciaux tels que le ciment alumineux fondu. On utilise aussi des chaux hydrauliques et parfois des liants à maçonner. Le sable est généralement roulé, parfois concassé, et le gâchage se fait soit avec une pelle, soit à l'aide d'une petite bétonnière. Ainsi, ces mortiers ne présentent pas une régularité parfaite et les sables peuvent varier d'une livraison à l'autre. Quoi qu'il en soit, ils doivent être propres et avoir une granulométrie appropriée. On a généralement recours au dosage du sable en termes de poids ou de volume. [3]

I.3.5. Les mortiers industriels :

Il s'agit de mortiers élaborés à partir de composants secs, soigneusement choisis, emballés en sacs, vérifiés en usine et parfaitement uniformes. Pour employer ces mortiers, il est suffisant d'ajouter la quantité adéquate d'eau et de malaxer, puis de les appliquer. Les mortiers peuvent intégrer divers liants et sables, ainsi que quelques adjuvants et potentiellement des pigments. Les producteurs de mortiers industriels mettent à disposition une gamme exhaustive de produits qui répondent à toutes les exigences :

- Mortiers pour revêtements de diverses teintes et textures,
- Mortiers d'étanchéité,
- Mortier isolant thermique,
- Mortier pour jointures,
- Mortier de nivellement,
- Mortier pour scellements, utilisé pour les chapes,
- Mortier-colle destiné aux carreaux, appliqué sur des surfaces en plâtre ou en ciment,
- Mortier de réparation. [3]

I.4. Les emplois des mortiers :**I.4.1. Les enduis :**

Les revêtements dans le domaine de la construction, un enduit se réfère à une couche de mortier appliquée sur un mur ou, à l'extérieur, sur la couverture isolante de ce dernier. Le crépi est un revêtement appliqué sur un mur à base de mortier ou de plâtre, et il est laissé rugueux (avec reliefs ou picots) plutôt que lisse. Ils sont généralement constitués de revêtements minéraux : des mortiers à base de ciment, des mortiers à base de chaux et des plâtres. [4]



Figure I. 1 : Les enduits [10]

I.4.2. Les chapes :

Dans le domaine de la construction, une chape est un revêtement de mortier composé de ciment, de résine ou de chaux appliqué au sol. Son but est d'aplanir, de niveler ou de lisser une surface et/ou d'envelopper des éléments pour accueillir ensuite les couches supérieures, comme du carrelage, un revêtement souple ou un parquet flottant. [4]



Figure I. 2 : Les chapes [10]

I.4.3. Les joints de maçonnerie :

Dans un mur ou une structure de maçonnerie, un joint fait généralement référence à l'espace que l'on conserve entre deux pierres naturelles ou artificielles (bloc de béton, brique, etc.) et qui peut éventuellement être comblé avec du mortier et, autrefois, aussi avec du plâtre. En règle générale, nous veillons à éviter le chevauchement des joints dans la direction verticale. [4]



Figure I.3: Les joints de maçonnerie [10]

I.4.4. Les scellements et les calages :

La norme NF EN 1504-6 caractérise les mortiers de scellement. Un mortier conforme à cette norme, doté d'une résistance considérable, autorise le positionnement d'ancrages (fixation de barres métalliques) soumis à de fortes exigences. Ils sont employés pour toute sorte de configuration. La norme NF P 18-821 stipule les caractéristiques des mortiers de calage. Ce genre de mortier offre une base solide pour l'installation de machines : centrifugeuses, turbines, et ainsi de suite. Ce mortier est aussi essentiel pour le soutien des platines d'ancrage. L'utilisation de mortiers à base de liants hydrauliques est requise pour les opérations de scellement et de calage. Suite à un gâchage à l'eau, le mortier qui en résulte présente une consistance très liquide.

- Mortier destiné aux crépis.
- Mortier de sol.
- Mortier pour stucs. Il est adapté à tous les types de scellements et de calages. On distingue plusieurs sortes de scellements de calage :
- Réglage de divers équipements industriels.
- Positionnement des dalles
- Positionnement des rails
- Positionnement de la charpente.
- Étanchéité et calage de tuyauteries.
- Réglage de la pompe.
- Scellement de poutres et poteaux

- Scellement de points d'ancrage. [4]



Figure I.4: Les scellements et les calages [10]

I.5 Classification des mortiers :

Voici comment les mortiers sont classifiés :

I.5.1 En fonction de leur domaine d'application :

En général, les mortiers diffèrent en fonction de leur domaine d'utilisation, qui est très large. Voici quelques-unes des catégories possibles basées sur ces domaines :

- Mortier d'application.
- Mortier pour les joints.
- Mortier d'injection.
- Pierres synthétiques.
- Mortier destiné aux mosaïques.
- Mortier à réparer pour pierres. [5]

I.5.2 En fonction du type de liant :

Les mortiers peuvent être catégorisés en fonction du type de liant utilisé :

- Mortier à base de ciment Portland.
- Mortier à base de chaux.
- Mortiers bâtards.
- Mortier composé de ciment pour maçonnerie. [5]

I.6 Les caractéristiques principales des mortiers :

Il est représenté par : [6]

- L'ouvrabilité
- La prise

- Les résistances mécaniques
- Les retraits et gonflements, etc.

I.7 Composition des mortiers :

Le mortier, l'un des matériaux de construction, est constitué de ciment, d'eau, de sable, d'adjuvants et, éventuellement, d'additions. Selon les constituants, les pourcentages, le malaxage, l'application et le temps de repos, ils peuvent varier considérablement les uns des autres. Les mortiers se composent de mélanges de :

- Le liant (ciment ou chaux)
- Eau
- Sable
- Adjuvants
- Les ajouts [7]

I.7.1. Le liant :

On a habituellement recours à des liants hydrauliques tels que le ciment, qui est une substance fine composée de silicate et d'aluminate, et à la chaux obtenue par calcination. En règle générale, on peut recourir à. [8]

- Les ciments standardisés (gris ou blanc).
- Les ciments particuliers (comme ceux à base d'alumine, à prise rapide,)
- Les liants pour la maçonnerie.
- Les chaux éteintes.
- Les chaux naturelles hydrauliques.

I.7.2. Les sables :

Spécialement on utilise ce que l'on appelle « sable normalisé ». Les sables de granulométrie adéquate doivent comporter des particules fines, moyennes et grossières. Les grains fins sont disposés dans les espaces entre les gros grains afin de remplir les lacunes. Ils ont une importance notable : ils minimisent les fluctuations de volume, la chaleur émise et même le coût. Les mesures seront effectuées en termes de poids plutôt qu'en volume, comme c'est fréquemment pratiqué, afin de prévenir les erreurs de dosage dues à l'expansion du volume du sable humide.

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 . [7]

I.7.3. Les adjuvants :

On utilise des adjuvants, qui sont des produits chimiques, dans la préparation du béton. Ils altèrent les caractéristiques des bétons et des mortiers auxquels ils sont incorporés en petite

quantité (environ 5% du poids du ciment). Différentes sortes d'adjuvants peuvent être intégrés dans les mortiers :

- Les super plastifiants (qui réduisent l'eau),
- Les entraîneurs d'air,
- Les modificateurs de prise (qui retardent ou accélèrent le processus) et les hydrofuges.
- Les différents adjuvants (ceux qui rehaussent la viscosité, l'adhésion, etc.) Dans tous les scénarios, il est nécessaire d'adopter des précautions spécifiques pour obtenir des mortiers sans résurgence d'eau, uniformes d'une batch à l'autre. [7]

I.7.4. Les ajouts :

Les additifs qui peuvent être utilisés dans le mortier sont :

- Poudres pouzzolaniques fines : telles que la poudre de verre que l'on obtient en réduisant le verre recyclé à une certaine finesse par broyage. Quand le verre, réduit en poudre, est intégré au béton en substitution d'une partie du ciment, il se combine avec les composants chauds grâce à ses caractéristiques pouzzolaniques.
- Fibres de nature différente.
- Colorants (naturels ou artificiels).
- Polymère

I.8. Le rôle de l'utilisation du mortier :

Le mortier joue un rôle important et essentiel dans de nombreux domaines, notamment : [7]

- Maintenir la liaison, l'unité des éléments de maçonnerie, c'est-à-dire garantir la robustesse de la construction et lui donner un aspect monolithique.
- Prévenir l'humidité dans les structures provenant des intempéries ou du sol. Sous la forme de revêtements aériens. En tant qu'écrans étanches. Préparation de chapes d'usure, une pour les pavés en béton.
- Être utilisé comme matière première dans la production de blocs manufacturés, de carrelage, de tuyauterie et d'autres composants moulés. Être l'élément fondamental du béton.
- Renforcer certains sols de fondation par le biais d'une injection.

I.9. Comportement mécanique du mortier :

Des éprouvettes prismatiques normalisées de dimensions $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ sont utilisées pour effectuer les tests de résistance mécanique des mortiers. Ces éprouvettes sont maintenues dans l'eau à une température de 20°C jusqu'à l'heure du test. Les éprouvettes sont initialement brisées par flexion, puis chaque segment est soumis à un essai de compression. Les résistances, que ce soit en traction par flexion ou en compression, croissent de manière logarithmique avec le temps, de 1 à 28 jours. Leur résistance mécanique varie en fonction de plusieurs facteurs :

- Composition et quantité de ciment

- Rapport d'eau au ciment (E/C)
- Taille des granulats et type de sable
- Énergie utilisée pour le malaxage et la mise en œuvre
- Conditions de cure pendant les premiers jours. [8]

I.9.1 La résistance à la flexion :

Les tests de flexion à trois points se déroulent sur des échantillons prismatiques de dimensions 4x4x16 cm³, conformément à la norme NF EN 196-1. Cette expérimentation se fonde sur l'installation de prismes dans l'appareil de flexion, avec une face de moulage positionnée sur les rouleaux de support et son axe longitudinal orienté perpendiculairement à ceux-ci. On applique alors une pression verticale sur la face latérale du prisme, laquelle est progressivement accrue jusqu'à ce que l'échantillon se fissure. [9]

I.9.2 La résistance à la compression :

Le test de compression est une procédure d'essai mécanique qui sert à évaluer la résistance et le comportement d'un matériau face à une pression compressive selon un effort axial normal jusqu'à sa fracture. Le test de compression s'effectue sur les demi-éprouvettes récupérées suite à l'essai de flexion.

I.10. Conclusion :

Le mortier, grâce à sa diversité, est un matériau de construction essentiel et largement utilisé dans le secteur de la construction. L'examen de certaines caractéristiques telles que la résistance et la durabilité, ainsi que de diverses pathologies, implique une connaissance approfondie de la qualité de leurs composants, en particulier le ciment et le sable. L'emploi d'additifs dans le mortier vise simplement à rehausser la qualité de ce dernier et à obtenir un matériau robuste et pérenne par rapport à un mortier conventionnel.

Chapitre II

Les fibres dans les matériaux

Chapitre II : Les fibres dans les matériaux**II.1. Introduction :**

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

Le mortier et le béton de fibres est un matériau qui a connu ces derniers temps beaucoup de développements et nombreuses sont les études qui ont été effectuées durant les trois dernières décennies. Des fibres de toutes natures ont été expérimentées. Les plus répandues sont les fibres d'amiantes, de verre, d'acier, de plastique, de carbone et végétales. [11]

II.2. Historique des bétons de fibres

Historiquement, il n'y a pas une confirmation quand est-ce le concept du béton par des fibres a été connu en premier lieu. Une analyse profonde de ce concept nous indique que cette idée est très ancienne et date depuis l'antiquité. C'est ainsi qu'au cours de l'histoire, la technologie des matériaux a été jalonnée par l'apparition de composite de texture de plus en plus complexe.

Les égyptiens ont utilisé la paille pour renforcer les briques de boue. Il y a aussi une certitude que les fibres d'amiante ont été utilisées dans le renforcement des poteries en argile, en Finlande, il y'a de cela 5000 années. D'autres sources ont indiqué que la paille a été utilisée pour renforcer les briques chez les anciens, tandis que les poils d'animaux et les fibres d'amiantes ont été introduits pour renforcer le plâtre et la pâte du ciment portland. On peut noter aussi la réalisation au milieu du XX^e siècle, d'alliages métalliques avec les fibres de carbone [11].

Cette réalité a été confirmée par M. Braun avec d'autres chercheurs qui ont rapporté que la première matière renforcée par des fibres a été fabriquée par l'homme en introduisant la paille et d'autres produits semblables dans des matériaux de construction tel que le mortier, le plâtre etc. Le professeur Alberto Favart de l'université de Planta en Argentine a écrit que l'hornero qui est un petit oiseau vivant en Argentine.

Au Chili et en Bolivie, avait construit avec soin son nid en utilisant bien l'argile renforcée par de la paille depuis des siècles bien avant l'homme [12].

À la fin du 19^{ème} siècle, les matériaux fibreux ont commencé à devenir courants et plusieurs domaines ont commencé à exploiter ce nouveau matériau [12].

II.3. Définition des fibres :

Le terme fibre se rapporte à un corps solide flexible, de forme sensiblement cylindrique, d'un diamètre de quelque millimètre dont la longueur égale à quelques milliers de fois ce diamètre. On distingue la fibre de longueur réduite ou fibre courte, de 20 à 150 mm ; la fibre de grande longueur ou filament continu. En 1982, American Concrete Institute [13] publie que les fibres sont produites à partir d'acier, de plastique, de verre et de matériaux naturels sous différentes formes et dimensions. Chacune de ces catégories de fibres procure au béton des propriétés spécifiques mais, en général, il serait suffisant de vouloir parler de béton renforcé de fibres.

Le paramètre numérique le plus fondamental décrivant la fibre est son élancement qui est défini comme le rapport entre la longueur et le diamètre équivalent de la fibre. Il est considéré comme l'un des paramètres les plus importants dans la technologie des bétons renforcés de fibres. Dès 1974, des études [14,15] mettaient en évidence le rôle prépondérant de l'élancement sur la maniabilité du béton. On peut ajouter ici, d'après ces études, qu'il existe un grand nombre de fibres qui se différencient par leur nature, leur diamètre, leur longueur, leur forme et leur état de surface.

II.4. Béton de fibres

On appelle béton de fibres, le mélange homogène d'une matrice minérale (mortier ou béton) et d'éléments de renfort discontinus présentés ici sous forme de fibres. L'incorporation de ces renforts se fait par l'inclusion directe de fibres isolées au moment du gâchage (béton de fibres) ou par projection (cas de béton de fibres projeté). En 1973, le comité 544 de l'American Concrete Institute [13], définit le béton de fibres comme un béton constitué d'un ciment hydraulique et un granulat fin ou gros et des fibres discontinues. Donc le béton de fibres est un béton conventionnel auquel on a ajouté des longueurs discontinues de fibres durant la préparation du mélange.

II.5. Nature des fibres

Il existe plusieurs types de fibres qui se différencient par leur nature, leur diamètre, leur longueur, leur forme et leur état de surface. Par leurs caractéristiques différentes les unes des autres (Figure 1), les fibres sont définies suivant qu'elles soient naturelles ou artificielles. Le choix des fibres dépend de l'usage recherché (pièces minces ou massives, renforcement de pâte pure, de mortier ou de béton, réparation des structures), de leurs propriétés (résistance et module élevés, bonne adhérence), de leur disponibilité et de leur prix. Le tableau 1 représente les différents types de fibres et le tableau 2 donne leurs principales caractéristiques.

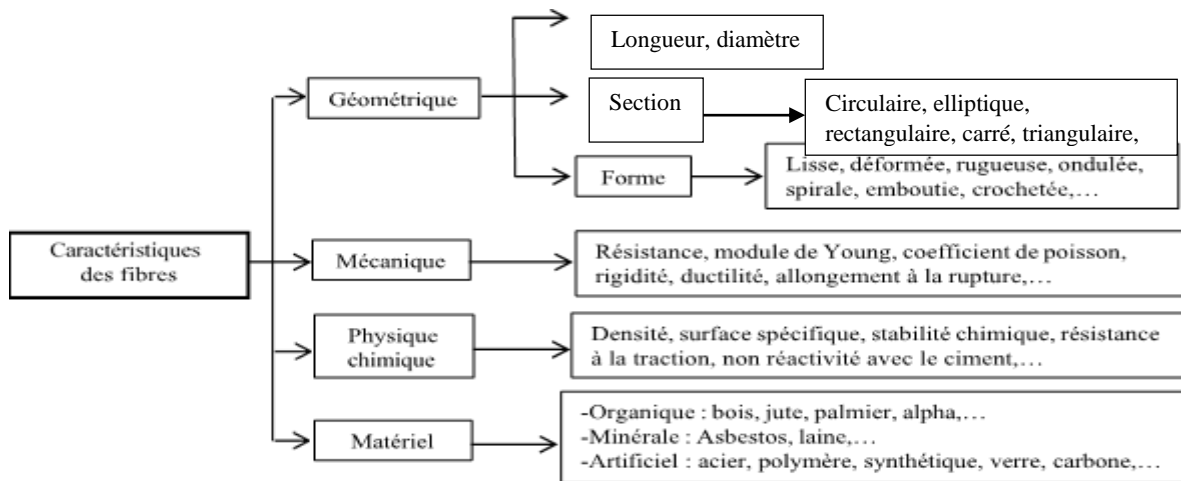


Figure II.1 : Caractéristiques des fibres [15].

Tableau II.1 : Différents types de fibres [16].

Fibers naturels		Fibers artificialness	
Vegetables	Animals	Minerals	Organdies
Lin Chancre Celluloses Sisal Coir	Poil Laine Soie	Laities Carbone Meraux (acer, font) Verres spéciaux Agminate	Polypropylene Polyamides Polyesters

Tableau II.2 : Principales propriétés physiques et mécaniques des fibres les plus utilisées

Fibers	Diameter (µm)	Long (mm)	Densité	Rt(MPa)	E(10 ³) MPa	Allongement à La rupture	Coeff. de Dilatation (µ/m)	R _{feu} Temp. Max°C
Acer	5-500	20-80	7.5	1000-3000	200	3-4	11	1500
Fonte (ruban)	36x2600 de section	50-60	7.8	2500	140	1		1500
Verre	5-20	40-70	2.6	1500-3000	80	2-3.5	9	800
Polypropylene	10-200	25-75	0.9	400-750	5-10	15-25	90	150
Polyester			1.4	700-850	8	11-13		
Amiante	0.02-20	5	2.5-3.4	3000	8-15	2-3	1	1500
Carbone	5-9	Variable	1.7-2	2000-3000	250-400	0.5-1.5		400-1500
Sisal	10-50	1.50	1.5		130	3		

II.6. Principales fibres utilisées

II.6. 1. Fibres de polypropylène

Polypropylène est un polymère cristallisable de la famille des polyoléfines, découvert en 1954. Ils sont obtenus suivant le processus d'extrusion, étirage qui confère une orientation prépondérante aux molécules et qui engendre des propriétés mécaniques élevées [17].

Ces fibres se présentent le plus souvent en faisceaux qui une fois introduits dans le matériau se séparent et se répartissent dans la masse du béton. Les fibres de polypropylène sont en général assez longues (30 à 60mm), légères et ne sont pas attaquées par le ciment, leur masse volumique est d'environ 0.9 kg/dm^3 et une bonne résistance à la traction qui peut atteindre 800 MPA avec une déformabilité élevée [13].

Les fibres de polypropylènes sont surtout utilisées dans les bâtiments pour l'élaboration de panneaux décoratifs, dans l'élaboration de revêtement de façades dans plusieurs constructions, dans la fabrication de pieux de fondation ainsi que dans la réalisation des canalisations [13].



Figure II. 2 : Les fibres de polypropylènes.

II.6. 2. Fibres de verre

Ces fibres sont fabriquées à partir de verre fondu qui passe dans une filière, chauffé par effet Joule, qui comporte 50 à 800 trous d'un diamètre de l'ordre de 10 à 100µm. Elles sont disponibles dans le commerce sous forme de bobines (découpage à la demande) ou sous forme de morceaux prédécoupés de 3, 6, 12, et 50 mm de long. Ils sont regroupés en trois 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 [18].



Figure II. 3 : Fibre de verre [14].

Tableau II. 3 : Caractéristiques mécaniques des fibres de verre [14].

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

II.6. 3. Fibres métalliques

Ce type de fibre, qui regroupe les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, a été et reste encore l'objet de recherches très importantes dans le monde. On se limite aux fibres d'acier qui sont sans doute les plus utilisées dans le domaine du génie civil. En effet, les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion interfaciale entre fibre et matrice.

Les fabricants des fibres d'acier ont essayé par tous les moyens d'améliorer l'adhérence en jouant sur l'irrégularité de la surface de la fibre ce qui les a conduits à de nombreuses variétés de fibres qui se différencient les unes des autres par leurs diamètres, leurs sections (ronde, carrée, rectangulaire), leurs longueurs et leurs modes d'opérations. La figure 4 représente les

différentes formes géométriques des fibres d'acier utilisées comme renfort pour les différents types de béton [19].



Figure II.4 : Différentes formes géométriques de fibres métalliques.

Le diamètre des fibres d'acier varie généralement entre 0.1 et 0.7 mm, avec des longueurs de 10 à 70 mm, et la résistance de ces fibres varie généralement entre 700 et 2000 MPa.

Les Fibres d'acier :

Les fibres d'acier demeurent l'un des types de fibres les plus couramment utilisés pour renforcer les bétons et mortiers. Elles offrent en effet une excellente résistance à la traction ainsi qu'un très haut module d'élasticité. Parmi les fibres les plus populaires, on peut mentionner :

- ✓ Les fibres Euro-Stell (F.E.S.)
- ✓ Les fibres Bekaert (F.B.)
- ✓ Les fibres Harex (F.H.)
- ✓ Les fibres de ruban en Fonte de Pont-à-Mousson (F.R.F.A.)
- ✓ Les fibres à têtes d'ancrage en Acier trillé (F.T.A.). (13)

La limaille de fer :

La limaille de fer obtenue par l'érosion d'un métal. D'un point de vue étymologique, cela fait référence à la poudre obtenue par le limage d'une pièce en métal. Le terme fait généralement référence à de la poudre métallique grossière, ou même aux copeaux produits lors du tournage d'une pièce métal. [20].

La limaille de fer a été collectée dans des ateliers locaux comme le montre la figure 5.

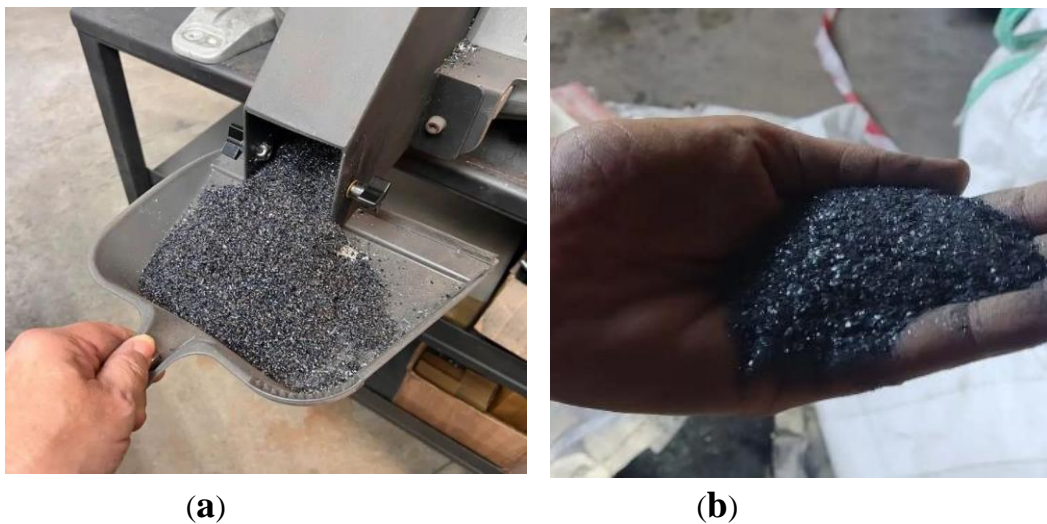


Figure III.5. La limaille de fer (a) particules (b) produit secondaire du broyage du fer.

Tableau II.4 : propriétés physiques la limaille de fer [21].

Propriétés physiques	La limaille de fer
Densité	3,660
Teneur en sulfates %	0,006
Absorption %	0,600

Tableau II.5: propriétés chimiques la limaille de fer

Eléments	Composition (%)
Carbone	3,53
Silicon	2,67
Magesium	0,05
Soufre	0,01
Phosphore	0,03
Manganèse	0,31
Fer	93,40

II.7. Utilisation de la limaille de fer dans le béton :

Une étude expérimentale a été menée pour étudier les propriétés de résistance du béton produit avec de la limaille de fer en remplacement partiel du sable. Des éprouvettes de béton (cubes, cylindres et prismes) ont été coulées et testées pour leurs résistances à la compression, à la traction par fendage et à la flexion à 0 % (mélange témoin), 10 %, 20 % et 30 % de remplacement du sable par de la limaille de fer après une cure en eau de 28 jours. Les résultats obtenus ont montré que la résistance à la compression du béton augmentait de 3,5 % et 13,5 % respectivement pour les taux de remplacement de 10 % et 20 % de sable par de la limaille de fer, tandis qu'elle diminuait de 8 % pour le taux de remplacement de 30 %. La résistance à la traction par fendage du béton pour les taux de remplacement de 10 % et 20 % a augmenté respectivement de 12,7 % et 1 % et a légèrement diminué de 1,7 % pour le taux de remplacement de 30 % par rapport au mélange témoin. La résistance à la flexion du béton a augmenté respectivement de 11,1 % et 4,8 % pour les taux de remplacement de 10 % et 20 %, tandis qu'elle a légèrement diminué de 1,6 % pour le taux de remplacement de 30 % par rapport au mélange témoin. Un taux optimal de remplacement de 10 % et 20 % en poids de sable (granulats fins) avec de la limaille de fer dans le mélange de béton est recommandé pour la production de béton, en fonction des propriétés souhaitées du béton. [22].

II.8. Fibres d'amiante

Ces fibres sont considérées comme les renforcements les plus anciens des matrices cimentaires et aussi pour la confection de tissus résistants aux feux. Elles sont en fait des bûchettes de microfibrilles 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 [23]. Elles sont aussi plus résistantes aux agressions chimiques et aux micro-organismes, ainsi que leur résistance électrique élevée. Les fibres d'amiante sont utilisées dans divers applications telles que les voiles, les tuyaux, les panneaux, les matériaux d'isolation thermique, la protection contre le feu, les tuyaux d'égout, les plaques de toitures plates et ondulées et les revêtements de mur.

II.9. Fibres de cellulose

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

d'évaluation des propriétés physiques et mécaniques pour un composite de ciment renforcé par des fibres cellulosiques [23] a montré que ce type de fibres est sensible aux effets d'humidité.

II.10. Fibres de carbone

Les fibres de carbone ont un haut module d'élasticité de 200 à 800 GPa. L'allongement ultime est de 0,3 à 2,5 %. Les fibres de carbone n'absorbent pas l'eau et elles résistent à plusieurs solutions chimiques. Elles présentent une résistance excellente à la fatigue, et une faible relaxation comparée à celle des aciers extensibles de précontrainte. La fibre de carbone est un conducteur électrique et, par conséquent, peut donner la corrosion galvanique si elle est en contact direct avec l'acier. Il faut signaler également le mauvais comportement au choc et à l'abrasion des stratifiés renforcés par des fibres de carbone. Les fibres de carbone se différencient par le taux de carbone plus ou moins élevé qui modifie les allongements, les contraintes à la rupture et les modules d'élasticité. On trouve des fibres dites « à haute résistance » HR et des fibres « à haut module » HM ou même « à très haut module » THM, et des fibres intermédiaires [24].

II.11. Fibres d'aramide

Appelés aussi polyamide aromatique, les fibres d'aramides à caractéristiques mécaniques élevées sont généralement connues sous le nom Kevlar. Ces fibres possèdent la densité la plus faible et le rapport résistance-poids le plus élevé en comparaison aux autres fibres de renfort. Elles sont 43% plus légères que les fibres de verres et environs 20% que les fibres de carbone [23]. En plus de leur grande résistance à la traction, les fibres d'aramides offrent une bonne résistance à l'abrasion et aux chocs, une bonne résistance à la fatigue et une bonne tenue à la température et aux agressions chimiques. Les inconvénients de ce type de fibres sont la résistance faible à la compression et au cisaillement ce qui justifie pourquoi elles sont peu utilisées dans les PRF destinés aux renforcements des structures de génie-civil. La densité des fibres d'aramides est de l'ordre de 1.4g/cm³. Ces fibres possèdent, dans le sens longitudinal, une résistance à la traction variant de 3400 à 4100 MPA et un module d'élasticité qui varie entre 70 et 125 GPa [25].

II.12. Propriétés des fibres :

Le choix des fibres est influencé par l'utilisation envisagée (qu'il s'agisse de pièces fines ou massives, de renforcement de pâte pure, de mortier ou de béton, ou de réparations structurales), ainsi que par leurs propriétés (telles que la résistance, le module, et l'adhérence), leur disponibilité et leur coût. Pour optimiser leur utilisation, les fibres doivent :

- Être faciles à intégrer dans le béton sans perturber le processus de malaxage, avec une dispersion rapide ;
- Se distribuer uniformément durant le malaxage et le coulage du béton, sans formation d'agglomérats.

Pour améliorer les performances mécaniques des bétons (comme la ductilité, la résistance à la flexion et aux chocs), elles doivent :

- Être déformables tout en restant résistantes ;
- Être relativement longues et fines avec une grande surface spécifique ;
- Avoir une bonne capacité de déformation ;
- Posséder un module d'élasticité supérieur à celui de la matrice cimentaire ;
- Présenter une bonne adhérence avec la pâte de ciment.

Selon leur composition, ces fibres ont des caractéristiques distinctes et réagissent différemment, ce qui peut influencer leur effet sur le béton. [26].

II.13. Rôles des fibres dans le béton :

Le rôle principal des fibres est de mieux contrôler la fissuration du béton en état de service en limitant l'ouverture des fissures et de transformer le comportement fragile du béton en un comportement ductile. Le béton présente toujours des microfissures dues à différentes causes telles que le retrait, les contraintes thermiques, les contraintes appliquées au jeune âge, ...etc. Lorsqu'un béton fissuré est soumis à une traction, les lignes de tension s'infléchissent (Figure II.6) et les tensions aux extrémités de la fissure augmentent [26]. Cette inflexion est due au fait que la charge ne peut pas être transmise par la fissure. Pour un béton sans fibres sollicité en traction, sa faible résistance à la traction est vite atteinte, voire dépassée.

Une fissure apparaît alors et se propage librement conduisant ainsi à une rupture fragile. Dans le cas d'un béton avec fibres, sollicité en traction, une partie de l'effort est reprise par les fibres pontant les fissures (Figure II.7) ; cela empêche la rupture fragile du matériau car la propagation des fissures nécessiterait une plus grande énergie. En effet, comme la longueur maximale d'une microfissure est de l'ordre de la dimension du plus gros granulat [13] et la longueur moyenne d'une fibre est plus grande que la dimension du granulat, chaque microfissure se propageant dans la matrice peut être pontée par une ou plusieurs fibres. Ainsi, les microfissures ne peuvent s'agrandir que par l'allongement élastique ou plastique des fibres, l'effritement de la matrice au voisinage de la fibre, le glissement des fibres ou la rupture des fibres. Ces fibres sollicitées à la traction et au cisaillement absorbent une partie de l'énergie nécessaire à la propagation des fissures et évitent une propagation incontrôlée de la fissuration du béton. Il faudrait alors davantage d'énergie donc d'effort pour propager cette fissuration. L'efficacité des fibres est d'autant plus grande que la quantité de fibre est importante et leur longueur d'ancrage est grande.

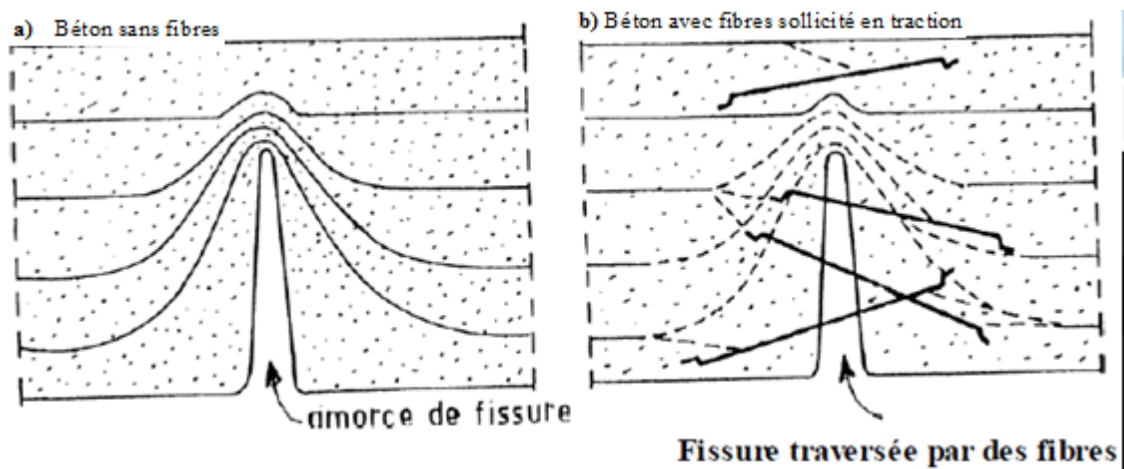


Figure II.6: Rôle des fibres dans la matrice de béton [26].

Donc, l'incorporation des fibres dans le béton permet aussi de passer d'un comportement fragile à un comportement ductile, (Figure 7).

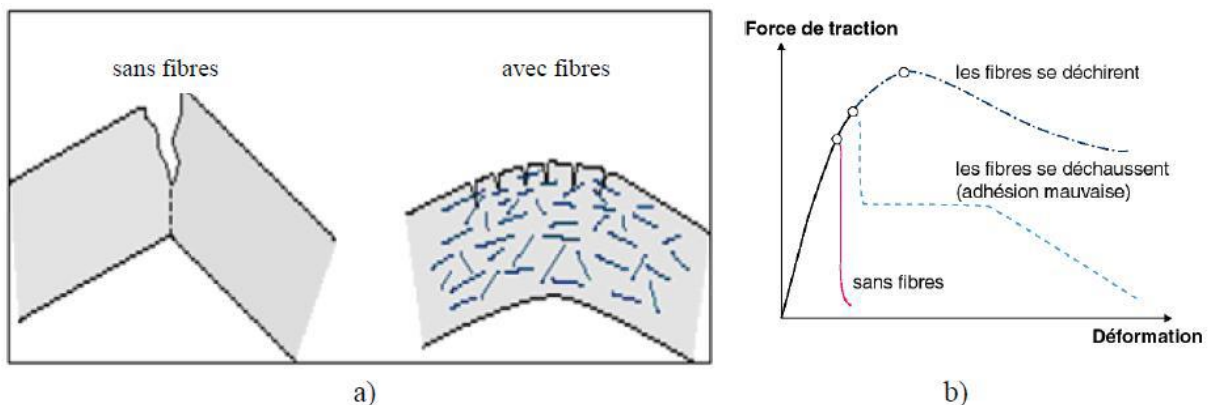


Figure II.7: Illustration de l'apport du renfort par des fibres [26].

Les fibres ont généralement pour rôle de renforcer la structure en s'opposant au développement des fissures et à leur propagation. Selon le type, le dosage et les éléments en béton dans lesquels elles sont insérées, les fibres permettent :

- ✓ L'amélioration de la cohésion du béton frais ; par exemple, les fibres rigides changent la structure du squelette granulaire,
- ✓ 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.

II.14. Avantages et inconvénients du béton fibré

Les principaux avantages obtenus sont une amélioration des résistances à la traction et à la flexion, une augmentation de la ductilité ; donc une bonne tenue aux chocs ainsi qu'à l'usure. De ces avantages découlent les principaux domaines d'utilisation : en particulier les dallages industriels, les dallages de parking, les pistes, les pieux, les déversoirs de barrage et les silos. En préfabrication, les poutrelles, les voussoirs, les canalisations et les tuyaux soumis notamment à une forte abrasion. En béton projeté, où on utilise généralement des fibres courtes, pour la réfection des tunnels, galeries et talus de protection des berges [15].

L'utilisation d'un béton fibré est avantageuse principalement au niveau du contrôle de la fissuration ainsi que du support de charge, tout dépend notamment du type de fibres et du dosage utilisé. Les principaux avantages sont :

- Un renforcement tridimensionnel uniformément distribué à travers le béton ;
- Une augmentation de la ténacité grâce au comportement en post-fissuration (résistance résiduelle) ;
- Une énergie d'absorption élevée ;
- Une résistance aux impacts élevée ;
- Une résistance à la fatigue élevée ;
- Une augmentation de la résistance en cisaillement.

Mais il a été remarqué certains inconvénients dus à l'utilisation de fibres :

- ✓ Réduction de la maniabilité du fait de la présence des fibres quand le pourcentage de celles-ci est élevé.
- ✓ Introduction d'un certain type de fibres dans le béton avec les moyens traditionnels se révèle très difficile.
- ✓ Pendant la livraison, les fibres sont enchevêtrées, d'où la formation d'oursins lors du malaxage ce qui provoque la difficulté de mise en place.
- ✓ Actuellement le prix des fibres est relativement très élevé et de ce fait le prix de revient du mètre cube de béton de fibre peut paraître excessif par rapport à celui du béton traditionnel.

II.15. Applications du béton de fibres

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

L'utilisation de béton de fibres est naturellement orientée vers les éléments structuraux présentant des phénomènes de fissuration avec des bétons conventionnels. Ceci ne veut pas dire que d'autres domaines stratégiques comme les fonderies, les centrales nucléaires ...etc. n'ont pas bénéficié de ce type de matériau. Le béton armé de fibres d'acier inoxydable a été expérimenté avec succès pour les parties exposées aux fortes variations de températures et même aux très hautes températures, en remplacement de revêtements réfractaires. L'utilisation de ce type de matériau est facile car le matériel de chantier nécessaire est le même que celui utilisé pour la fabrication, le transport et la mise en œuvre du béton ordinaire.

La réparation des chaussées est un des exemples où le béton de fibres peut être utilisé pour assurer la durabilité de la structure. La technique consiste à couvrir les chaussées par une couche en béton de fibres. Une expérience effectuée sur une autoroute au Canada montre que la couche de réparation en béton de fibres est restée en bon état de service 8 ans après réfection, tandis qu'il a fallu refaire la réparation sur les couches en béton non fibré 8 mois après. La présence de fibres dans les couches de surfacage permet de lutter contre les forces de traction et les contraintes de cisaillement dans les zones fissurées qui causent le décollement des couches du support [27].

La recherche et le développement ont permis d'appliquer un concept de renforcement structural à différents types d'ouvrages en béton. Déjà leurs propriétés, les fibres trouvent un vaste domaine d'applications où il faut réduire les risques de fissuration, augmenter la résistance aux impacts et tirer parti de l'amélioration de la performance du béton pour optimiser le dimensionnement des ouvrages. Le béton fibré est utilisable dans tous les domaines du génie civil, aussi bien dans les constructions industrielles, commerciales et institutionnelles que résidentielles. Le tableau II.6 illustre quelques applications de bétons renforcés de fibres et leurs intérêts. Les figures ci-dessous illustrent quelques cas pratiques de l'utilisation du béton de fibres dans la construction.

Tableau II.6 : Applications des bétons renforcés de fibres

APPLICATIONS	INTERETS APPORTES PAR L'AJOUT DES FIBRES DANS LE BETON
Canalisations et coques minces faiblement sollicitées	- Amélioration de la tenue des pièces aux jeunes âges - Modification des variations dimensionnelles, lutte contre la fissuration
Dallages, chaussées en béton, dallages manufacturés, et éléments structuraux soumis à la flexion	- Diminution de 40% de l'ouverture de fissures - Augmentation de la rigidité après fissuration - Augmentation de la résistance au cisaillement - Augmentation de la résistance à l'usure
Eléments structuraux soumis à la compression (poteaux, pieux, fondations ...)	- Amélioration de la charge ultime - Pas de rupture fragile
Structures soumises à des sollicitations dynamiques (piste d'aéroport)	- Energies absorbed plus important - Augmentation de la résistance aux chocs - Loi de comportement du matériau fortement améliorée
Réparation des revêtements Routiers, tabliers de ponts	- Amélioration de la résistance aux chocs - Amélioration de la déformabilité et de la durabilité
Parties exposées aux fortes variations de température et même aux très hautes températures	- Remplacement avec succès de revêtement réfractaire - Diminution du coût de réparation des éléments réfractaires
- Stabilisation des parois rocheuse, les talus, les tunnels, les galeries souterrains	Suppressions du travail de fixation du grillage ordinairement employé Diminution du coût de réparation et/ou de stabilisation des parois rocheuses et des talus
Fabrication de pieux, revêtements ignifuges isolants, panneaux de revêtement de façade	- Augmentation de la résistance aux chocs - Augmentation de la résistance à l'usure - Augmentation de la durabilité de revêtement



a) Tunnels routiers et Applications spéciales



b) Galerie à eau et constructions

Figure II.8: Autres utilisations du béton de fibres [13].

II.16. Conclusion :

D'après ce chapitre on peut retirer les conclusions suivantes : L'utilisation de fibres de toutes sortes dans plusieurs domaines de la construction est devenue plus pratique, la nature de la fibre utilisée est liée à ses applications et méthodes de mise en œuvre, le choix de la fibre dépend du rôle que vous souhaitez jouer. Un rôle structurel assez élevé est associé à une durabilité élevée. L'utilisation économique nécessite l'utilisation de fibres à haut module non modifiables disponibles sur le marché local à des prix acceptables. Actuellement, les types de fibres les plus largement utilisés dans le renforcement du béton sont les fibres d'acier.

Chapitre III

Caractéristiques des matériaux utilisés

Chapitre III : Caractéristiques des matériaux utilisés

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre, on présente les différents matériaux utilisés dans cette étude ainsi que leurs caractéristiques et on présente les calculs de formulation de notre mortier et décrire les différents modes opératoires des essais destructives (compression, flexion) et non destructives (l'ultrason), Nous étudions également la porosité et l'absorption d'eau.

III.2. Matériaux et matériels utilisés :

- Le ciment
- L'adjuvant super plastifiant (MEDAFLOW 30/30)
- Eau de gâchage (eau de robinet du laboratoire).
- Le sable de Oued SOUF
- Les ajouts poudre de verre (0/0.08).
- Fibres: la limaille de fer

Les matériaux employés dans notre recherche proviennent de la région de M'sila. Nous avons réalisé des analyses expérimentales sur leurs propriétés au niveau du laboratoire de Génie Civil de l'Université Mohamed Boudiaf - M'SILA

III.2.1. Ciment : SPA BISKRIA CIMENT (CEM I 42.5R CIMENT PORTLAND)

Ciment portland, pour les bétons hautes performances et a une résistance rapide à court terme, destiné aux domaines où les délais de décoffrage sont courts, il est recommandé particulièrement pour le bétonnage par temps froid. (**FICHE TECHNIQUE en Annexe**).

Tableau III.1 : Caractéristiques techniques

Analyses chimiques (%)	Valeur
Perte au feu	2,6 -3,7
Teneur en sulfates (SO ₃)	2,2 -2,8
Teneur en Oxyde de Magnésium (MgO)	1,7 -2,8
Teneur en Chlorures (Cl)	0,03 -0,07
Composition Potentielle du Clinker (Selon Bogue) (%)	Valeur
C3S	56 -66
C3A	5,1 -7,2
Propriétés physiques	Valeur
Consistance normale (%)	25,8 -26,4
Expansion à chaud (mm)	0,25 -1,0
Temps de prise (min)	Valeur
Début de prise	150 -190
Fin de prise	220 -250



Figure III.1 : Ciment portland

III.2.2. Sable :

Le sable de base de notre recherche provient des abords d'Oued SOUF. Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de M 'SILA, suivant les normes françaises AFNOR.

III.2.2.1. La masse volumique absolue :

Il s'agit de la masse d'un volume donné de la matière, c'est-à-dire le rapport entre sa masse et son volume total. Le tableau ci-dessous présente les résultats de la masse volumique absolue :

$$\rho_{abs} = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

Tableau III.2 : La masse volumique absolue du sable

Matériaux	Sable (M= 300g)		
V1(cm ³)	300	300	300
V2(cm ³)	415	416	414
V2-V1(cm ³)	115	113	114
ρ (g/cm ³)	2,6	2,6	2,6
Moyenne(g/cm ³)	2,6		

- ✓ M : masse du sable.
- ✓ V1 : volume d'eau.
- ✓ V2 : volume d'eau + sable.

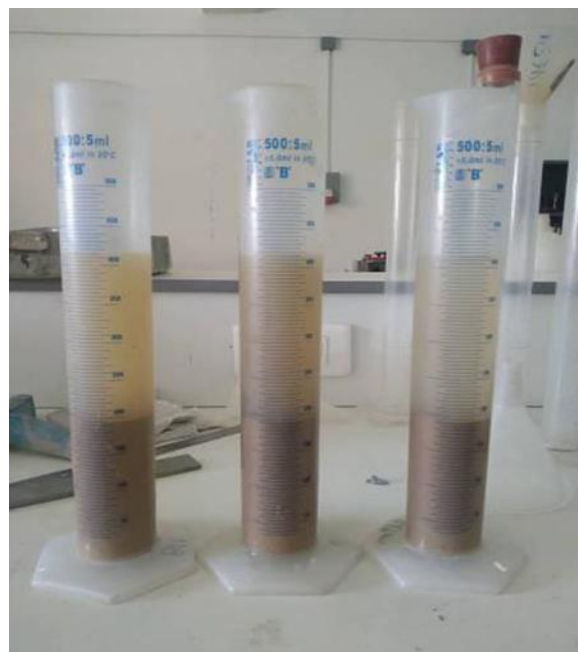


Figure III.2 : Essai de la masse absolue

III.2.2.2. La masse volumique apparente :

C'est la masse de l'unité de volume apparent d'un objet, c'est-à-dire du volume formé par la matière de cet objet et l'espace vide qu'il renferme. Cette relation est exprimée de la manière suivante :

$$\rho_{app} = \frac{M_2 - M_1}{V}$$

Tableau III.3 : La masse volumique apparente à l'état lâche

Matériaux	V=900 (cm ³)		
	M1	115	115
M2	1438	1439	1440
M2-M1	1323	1324	1325
ρ (g/cm ³)	1,47	1,47	1,47
Moyenne	1,47		

Tableau III .4 : La masse volumique apparente à l'état compact

Matériaux	V=900 (cm ³)		
	M1	115	115
M2	1548	1549	1550
M2-M1	1433	1434	1435
ρ (g/cm ³)	1,59	1,59	1,59
Moyenne	1,59		

- ✓ M1: Masse du récipient à vide.
- ✓ M2: Le poids de l'ensemble (sable + récipient)
- ✓ V :900cm³=0,9 L



Figure III .3 : Essai de la masse volumique apparente

Porosité : NF P 18-554 :

C'est le volume des vides entre les grains du sable. La porosité peut être déterminée par la formule suivante :

$$P (\%) = 100 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{masse volumique absolue}) \times 100$$

$$P (\%) = \left[1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] \times 100$$

✚ Compacité :

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est-à-dire le rapport du volume absolu des grains au volume apparent du matériau.

$$C = \left(\frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right) = 100 - P$$

✚ L'indice des vides :

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide avec indice des vides, porosité et compacité en pourcent (%).

Tableau III.5 : Porosité, compacité et l'indice des vides

P (%)		C (%)		e (%)	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
40	30	55	70	0,67	0,43

III.2.2.3 Equivalent de sable :

Ce test a pour objectif de séparer les petites particules dans le sol des éléments sableux plus grossiers. La méthode standard permet de déterminer un coefficient équivalent de Sable Qui évalue sa propreté.

❖ Mode opératoire:

- ✓ Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à 500 g)
- ✓ Prendre une pesée de 120 g
- ✓ Remplir l'éprouvette de solution lavant jusqu'au premier repère (10cm)
- ✓ A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (120g) dans l'éprouvette et taper Fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- ✓ Laisser reposer pendant 10 minutes

- ✓ Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20cm de cours horizontale en 30 secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique
- ✓ Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution la vante au-dessus de l'éprouvette, rincer ensuite les parois de celle-ci
- ✓ Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution le van t'atteigne le 2èmerepère. Laisser ensuite reposer pendant 20 minutes.



Figure III.4 : Essai de l'équivalent de sable

- **Equivalent de sable visuel (ESV) :**

Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h_1 du niveau supérieure du Flocculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une réglette.

Mesurer également avec la règle la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur de La partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette. [27]

$$E. S. V = \frac{h_2}{h_1} * 100 (\%)$$

- ✓ h_1 : Sable propre +éléments fins
- ✓ h_2 : La hauteur du sable

- **Equivalent de sable au piston(ESP) :**

Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.

Introduire le réglett dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit h_2 la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$E.S.P = \frac{h_2'}{h_1} * 100 (\%)$$

h_2 : La hauteur du sable ($h_2 < h_1$)



Figure III.5 : Mesure de l'équivalent de sable.

Les résultats sont regroupés sur le tableau suivant :

Tableau.III.6 : Les résultats d'équivalent du sable

Essais	h_1 (cm)	h_2 (cm)	E.S.V (%)	h_2' (cm)	E.S.P (%)
1	12	9.4	78.33	9,2	76.66
2	11	9.2	83.63	9,0	81,81
3	11.5	9.5	84.82	9,3	80,86

- h_1 : hauteur du sable plus flocculat.
- h_2 : hauteur du sable.
- h_2' : hauteur du sable avec piston

$$E. S. V_{moy} = 84.82 \% \quad Et \quad E. S. P_{moy} = 79,76\%$$

Pour le sable d'Oued SOUF : C'est un **Sable très propreté acceptable**

III.2.2.4. Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant les échantillons. Elle

s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 63 mm, à l'exclusion des fillers.

❖ **Matériel nécessaire :**

- ✓ Une machine à tamiser
- ✓ Une série de tamis normalisé
- ✓ Echelle précise
- ✓ Sable sec (1kg)

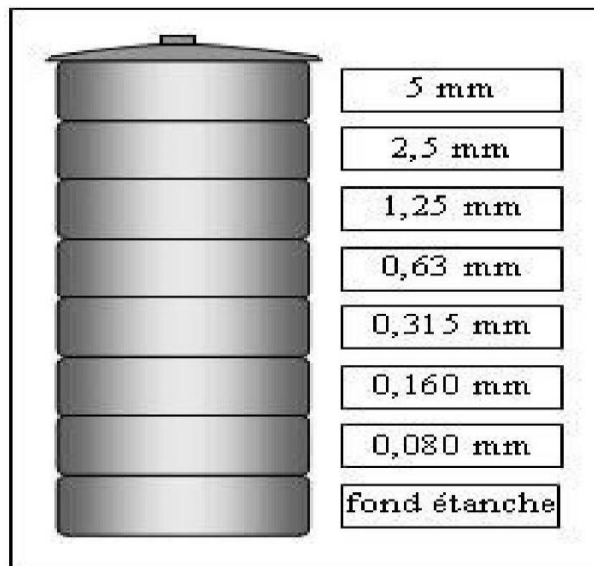


Figure III.6 : Colonne de tamis

❖ **Mode opératoire:**

- ✓ Prélever (1kg) de matériau (sable sec)
- ✓ Peser chaque tamis à vide à 1g près, soit M_i la masse du tamis
- ✓ Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement de haut en bas : 5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,125 et éventuellement 0,08mm. La colonne est coiffée par un fond pour recueillir les éléments passant au dernier tamis et un couvercle pour éviter la dispersion des poussières. On commence par peser les tamis ainsi que le fond.
- ✓ Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine d'agitation mécanique. Agiter pendant 5 minutes. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin les différents tamis.
- ✓ Peser chaque tamis séparément à 1g près. Soit (M_i) la masse du tamis (m_i) le sable. La différence entre M_i et m_i (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel R_1 du tamis 1.
- ✓ Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement inférieur. Ajouter le refus obtenu sur le i ème tamis à R_i , soit R_{i+1} la masse du refus cumulé du tamis $i+1$ ($R_{i+1}=R_i+R_{e\text{ fus partiel sur tamis}}$)

- ✓ Pour suivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des Différents Refus cumulés R3, R4, ...

Le tamisât cumulé est donné par la relation suivante : $T=100-Rc$

- **T** : Tamis %
- **RC** : Refus cumulé%

Tableau III.7: Analyse granulométrique du sable

Tamis (mm)	Refus partiels (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât (%)
5	0	0	0	100
2,5	4	4	0,4	99,6
1,25	52	56	5,6	94,4
0,63	291	347	34,7	65,3
0,315	486	833	83,3	16,7
0,16	145	978	97,8	2,2
0,08	20	998	99,8	0,2
Fond	2	1000	998,2	0,00

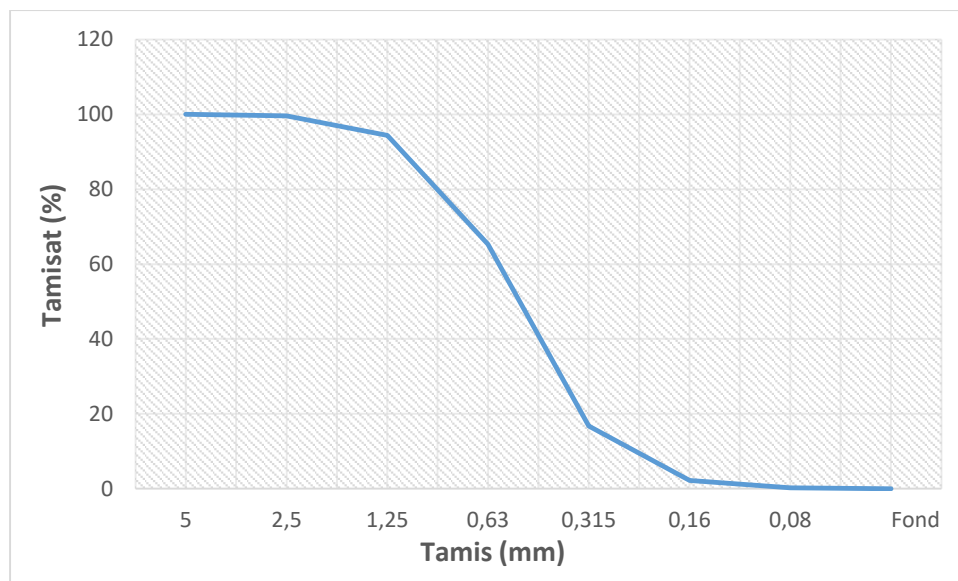


Figure III.7 : La courbe granulométrique du sable

Module de finesse :

Le module de finesse (M_f) est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable (qualité du sable), il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles : [0,16-0,315-0,63-1,25-2,5 et 5 (mm)] sur 100. Il est donné par la relation suivante :

Le module de finesse d'un granulat est donné par la relation suivante :

$$MF = \frac{\sum \text{refus cumulée \%}}{100}$$

Où :

RC : Refus cumulé.

Selon la norme AFNOR :

- Le sable préférentiel (2,20 <MF<2,80)
- Le sable un peu trop fin (1,80 <MF<2,20)
- Le sable un peu trop grossier (2,80 <MF<3,20).

Pour le sable d'Oued SOUF : MF= 998.0

III.2.3. Poudre de verre :

La poudre de verre est obtenue après broyage de débris de verre transparent et après passage au tamis de 80µm pour aboutir à la finesse voulue. Les caractéristiques physico-chimiques de la poudre de verre sont illustrées dans les tableaux (tableau III.8)

Tableau III.8 : Caractéristiques physique de la poudre de verre[14]

Caractéristiques	Poudre de verre
Densité absolu (kg/l)	2,7
Surface spécifique (cm ² /g)	8530
Couleur	Blanc
L'activité pouzzolaniques	28,5 g (Ca(OH) ₂ /g (PV)

III.2.3.1. La masse volumique apparente :

- ✓ V=200cm³
- ✓ M1 :Masse du récipient a vide
- ✓ M2 :Le poids de l'ensemble (sable + récipient)

Tableau III.9 : La masse volumique apparente à l'état lâche

	V=200(cm ³)		
M1	1,9	1,9	1,9
M2	125,9	125,9	126
M2-M1	124	124	124,1
ρ (g/cm³)	0,62	0,62	0,61
Moyenne	0,61		

Tableau III.10 : La masse volumique apparente à l'état compact

	V=200(cm ³)		
M1	1,9	1,9	1,9
M2	164,7	164,6	164,7
M2-M1	162,7	162,6	162,7
ρ (g/cm³)	0,81	0,81	0,80
Moyenne	0,81		



Figure III.8: Mesure de la masse volumique apparente de la poudre de verre

III.2.4. La limaille de fer :

III.2.4.1. La masse volumique apparente :

- ✓ V=200cm³
- ✓ M1 :Masse du récipient a vide
- ✓ M2 :Le poids de l'ensemble (sable + récipient)

Tableau III.11 :La masse volumique apparent à l'état lâche limaille de fer

M1	1,9	1,9	1,9
M2	156,4	156,4	156,5
M2-M1	154,5	154,5	156,6
ρ (g/cm³)	0,77	0,77	0,77
Moyenne	0,77		

Tableau III.12 : La masse volumique apparent à l'état compact limaille de fer

M1	1,9	1,9	1,9
M2	194,2	194,2	194,1
M2-M1	192,3	192,3	192,2
ρ (g/cm³)	0,96	0,96	0,96
Moyenne	0,96		



Figure III.9 : Mesure de la masse volumique apparente de la limaille de fer

III.2.4.2. Analyse granulométrique :

❖ **Matériel nécessaire:**

- ✓ Une machine à tamis
- ✓ Une série de tamis normalisés
- ✓ Balance précise
- ✓ La limaille de fer (1kg)

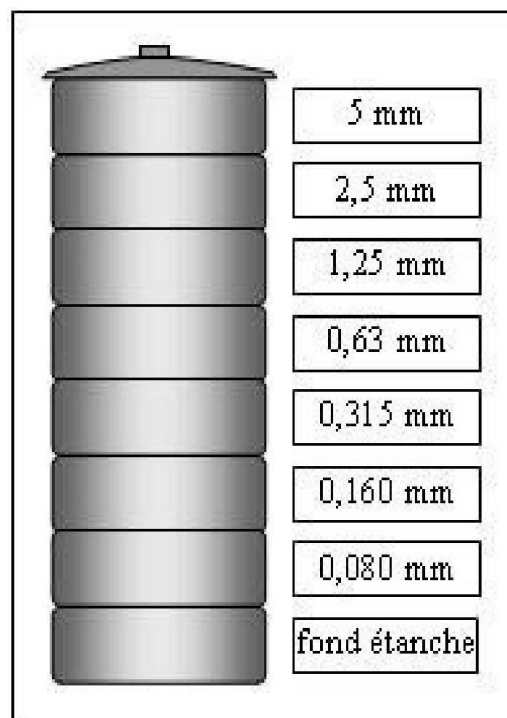


Figure III.10 : Essai analyse granulométrique limaille de fer

Tableau III.13 : Analyse granulométrique limaille de fer

Tamis (mm)	Refus partiels (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât (%)
5	0	0	0	100
2,5	5	5	0,5	99,5
1,25	193	198	19,8	80,2
0,63	500	698	69,8	30,2
0,315	220	918	91,8	8,2
0,16	62	980	98,0	2
0,08	10	990	99,0	1
Fond	10	1000	100	0

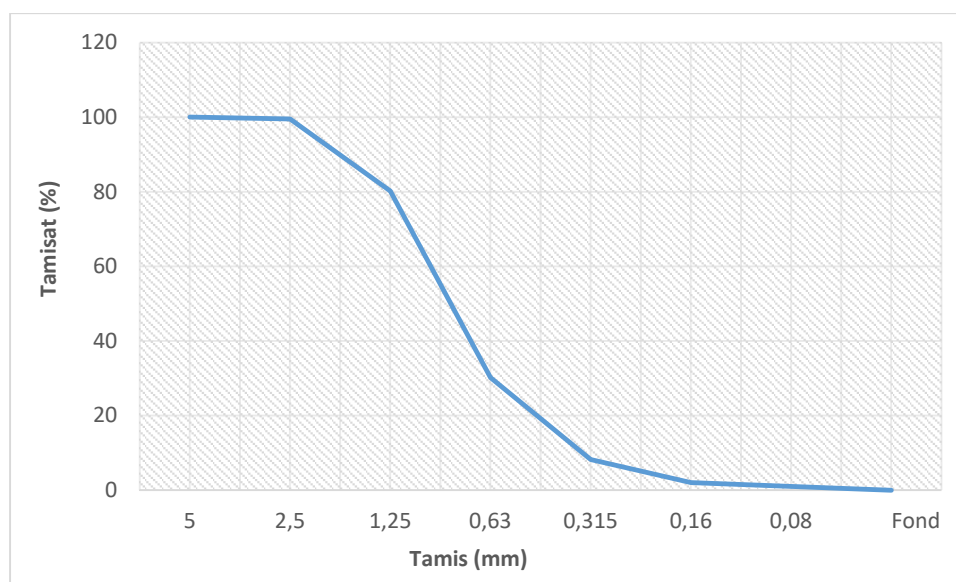


Figure III.11 : La courbe granulométrique de la maille de fer

III.2.5. L'adjuvant :

Le **MEDAFLOW 30** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération (fiche technique en Annexe). Il est conçu à base de poly carboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons. Plage de dosage recommandé : 0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0.46 à 1.85 litre pour 100 kg de ciment. Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés. Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.

Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité. En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable.



Figure III.12: Super plastifiant utilisé

III.3. La formulation des différents mortiers :

❖ Mode opératoire :

Dans ce mélange, nous avons utilisé les composants de formule suivants :

- Pour le mortier (témoin) nous avons utilisé 500g de ciment, 1350g de sable et 165,5gd'eau, et adj 4.5g et E/C=0,3
- Pour les autres mortiers, le sable a été remplacé par (5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%) et le ciment a été remplacé par 10% de poudre de verre.

Avant d'être utilisé pour l'identification de caractéristiques physiques et/ou mécaniques, ce mortier est malaxé pendant 4 minutes conformément aux prescriptions de la norme EN 196- 1

Introduire l'eau en premier dans la cuve du malaxeur ; y verser ensuite le ciment ; après, mettre le malaxeur en marche à vitesse lente. Après 30 s de malaxage introduire régulièrement le sable pendant les 30s suivantes. Mettre alors le malaxeur à sa vitesse rapide et continuer le malaxage pendant 30s supplémentaires. Arrêter le malaxeur pendant 1 min 30 s. Pendant les 15 premières secondes enlever au moyen d'une raclette tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci. Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60s. [27]



Figure III.13: Malaxage (a) et dispositif de vibration (b)

❖ **Dimensions des éprouvettes :**

Les essais mécaniques ont été préparé des éprouvettes prismatiques de section carré de dimensions $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$ et des éprouvettes cubiques de dimensions $(5 \times 5 \times 5) \text{ cm}^3$



Figure III.14 : Les éprouvettes utilise

❖ **Conservation des éprouvettes:**

Après 24 h de la confection des éprouvettes et après le décoffrage on les conserve dans l'eau. Le temps de conservation dans l'eau est 7 jours, 14 jours et 28 jours (Figure III.15)



Figure III.15 : Conservation des éprouvettes dans l'eau

❖ **Proportions des constituants de chaque formulations :**

Nous avons confectionné 7 mélanges différents de mortier. Nous avons utilisés les abréviations suivantes :[28]

MT :(Sans maille de fer, poudre de verre et Sans Superplastifiant),

M1 : Mortier + 5 % limaille de fer + 10 % poudre de verre +1% Superplastifiant

M2 : Mortier + 10 % limaille de fer + 10 % poudre de verre +1% Superplastifiant

M3 : Mortier +15 % limaille de fer + 10 % poudre de verre +1% Superplastifiant

M4 : Mortier + 20 % limaille de fer + 10 % poudre de verre +1% Superplastifiant

M5 : Mortier + 25 % limaille de fer + 10% poudre de verre +1% Superplastifiant,

M6 : Mortier + 30 % limaille de fer + 10% poudre de verre +1% Superplastifiant,

Le tableau suivant mentionne les différentes formulations

Tableau III.14 : Les différentes formulations

Formulation	Ciment (g)	Sable (g)	Limaille de fer(g)	Poudre de verre (g)	Eau (g)	Super plastifiant (g)	E/C
MT	500	1350	0	0	165.5	4,5	0,33
M(5%)	450	1282,5	67,5	50	170	4,5	0,37
M(10%)	450	1215	135	50	173	4,5	0,38
M(15%)	450	1147,5	202,5	50	175	4,5	0,38
M(20%)	450	1080	270	50	177	4,5	0,39
M(25%)	450	1012,5	337,5	50	178	4,5	0,39
M(30%)	450	945	405	50	179	4,5	0,39



Figure III.16: Démoulage des éprouvettes

III.4. Essais sur mortier :

III. 4.1. Des essais à l'état frais :

❖ L'affaissement :

La mesure de la déformation verticale subie par le mortier juste après son mélange. Cette mesure est effectuée en plaçant un cône spécifique rempli de mortier sur une surface plane, puis en retirant délicatement le cône. L'affaissement est ensuite mesuré en observant la différence de hauteur entre le sommet initial du mortier et la hauteur atteinte après le retrait du cône. Cette mesure donne une indication de la consistance et de la fluidité du mortier, ce qui est important pour évaluer son aptitude à être utilisé dans différents types de travaux de construction. En résumé, l'affaissement est une mesure de la capacité du mortier à s'écouler et à se répandre lorsqu'il est fraîchement mélangé.



Figure III.17: Cône d'Abrams

❖ La masse volumique a L'état frais :

Pour mesurer la masse volumique à l'état frais, on utilise un récipient d'un litre dont la masse à vide est connue. Voici les étapes à suivre :

- Tout d'abord, pesez le récipient vide et notez sa masse **M1**
- Remplissez le récipient d'un échantillon de mortier frais.
- Après avoir rempli le récipient, pesez-le à nouveau avec l'échantillon de mortier frais et notez cette masse **M2**

$$\rho = \frac{M_2 - M_1}{V}$$

- ρ : Masse volumique de mortier frais (kg/l)
- M_1 : Masse du récipient (kg)
- M_2 : Masse du moule plus la masse de mortier contenu dans le récipient (kg)
- V : Volume du récipient

III. 4.2. Essais à l'état durci :**❖ Cure appliquée [NF P 18-404] :**

Dans cette expérimentation scientifique, les mêmes procédures de traitement et de stockage ont été utilisées pour tous les échantillons selon la norme NF P 18-404. Après avoir retiré les échantillons des moules, ils ont été conservés pendant 24 h à température ambiante (20 ± 2) °C. Après cela, les échantillons ont été retirés des moules et placés dans de l'eau à une température de (20) °C pendant (07, 14, et 28) jours. Ce type de stockage assure l'hydratation du mortier, évite la fissuration due au séchage, maintient la saturation du béton, et se rapproche ainsi des conditions réalistes que l'on peut rencontrer dans certains ouvrages souterrains. [29]

❖ La masse volumique

Détermination de la masse volumique du mortier durci dans trois états différents : à l'état initial, saturé en eau, et sec. Pour ce faire, on mesure le volume de l'échantillon de mortier durci et sa masse dans chacune de ces conditions. Ensuite, on calcule la masse volumique en utilisant la formule suivante :

$$\rho = \frac{M_e}{V}$$

- ρ : La masse volumique du mortier durci en kilogrammes par mètre cube (kg/l).
- M_e : La masse de l'échantillon lorsqu'il est saturé d'eau.
- V : Volume des éprouvettes en m³.

❖ Essai la flexion :

Les essais par flexion trois points sont réalisés sur des éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm³ selon la norme NF EN 196-1. Cet essai est basé sur le placement des prismes dans le

dispositif de flexion avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculaire à ceux-ci, une charge verticalement est appliquée sur la face latérale du prisme et l'augmenter de 50 N/s ± 10 N/s, jusqu'à la rupture de l'éprouvette.

Les demi-prismes doit être conservée jusqu'à moment des essais en compression, la résistance en flexion R_f (en MPA).

Les mortiers d'étude ont été testés à l'âge de 7, 14 et 28 jours, les résistances de la flexion représentent la moyenne de trois éprouvettes [28]

$$R_f = \frac{3Fl}{2b^3}$$

R_f : la résistance flexion (MPA)

F : Charge de rupture en (N)

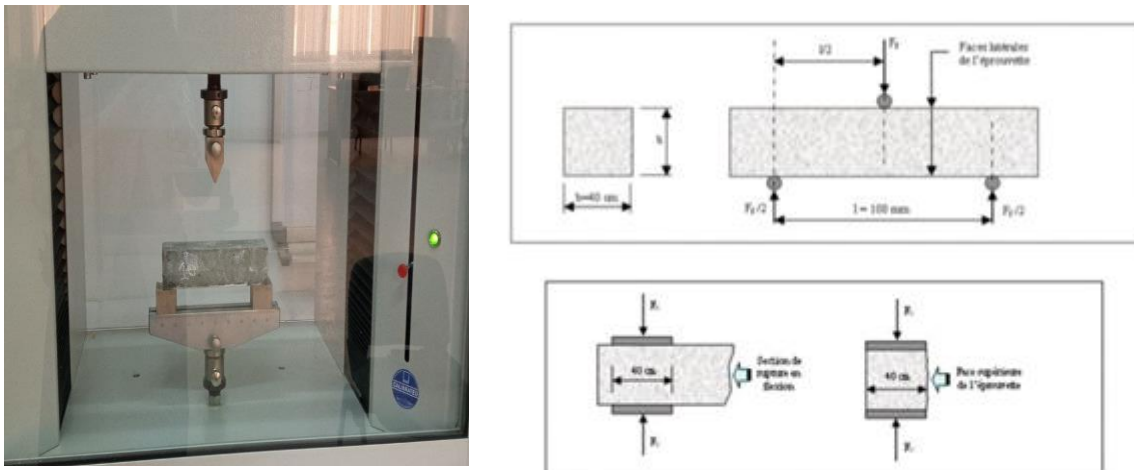


Figure III .18 : Essai de la flexion

❖ **Essai de compression :**

Nous centrons chaque demi-prisme latéralement par rapport aux plateaux de la presse à ±0.5 mm près et longitudinalement de façon que le bout du prisme soit en porte-à-faux par rapport aux plateaux d'environ 10 mm

Ensuite, nous augmentons la charge avec une vitesse providence durant toute l'application de la charge jusqu'à la rupture (compenser la décroissance de vitesse de la charge à l'approche de la rupture). [9]

La résistance en compression R_c (MPA) est calculée au moyen de la formule.

$$R_c = \frac{F_c}{b^2}$$

- ✓ R_c : Résistance à la compression en (MPa)
- ✓ F_c : Charge de rupture en (N)
- ✓ b^2 : cote de l'éprouvette est égale à 40 mm.

Les mortiers d'étude ont été testés à l'âge de 7, 14 et 28 jours, les résistances de La compression représentent la moyenne de six éprouvettes.

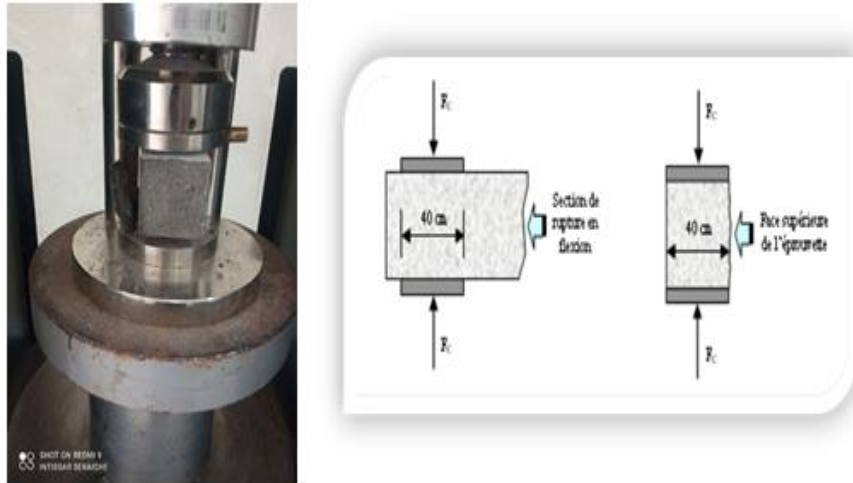


Figure III.19: Dispositif pour l'essai de résistance à la compression



Figure.III.20: L'appareil de compression

❖ Control par ultrasons :

La méthode repose sur la mesure du temps de propagation d'une onde entre deux points. Les circuits de mesure électroniques permettent de déterminer ce temps dans le béton. Les mesures doivent être réalisées sur des surfaces parfaitement lisses, et il est conseillé d'utiliser un matériau intermédiaire entre le béton et les transducteurs. Les matériaux recommandés incluent de la vaseline commerciale, un savon liquide ou une pâte faite de Kaolin et de Glycérol. Si la surface du béton est très rugueuse, il est nécessaire de poncer et aplanir la zone où le

transducteur sera fixé. Pour une éprouvette prismatique de dimensions 5x5x5 cm, il est conseillé de procéder à des mesures en transparence (directes), en plaçant les transducteurs sur les deux faces de l'éprouvette à tester.



Figure III.21: Appareil ultrasons

❖ La Porosité :

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation de la porosité du mortier. Parmi ces méthodes, la norme ASTM désignation C642. Le but de cette méthode est de déterminer le pourcentage en volume des pores contenus dans l'éprouvette, afin de connaître l'influence de la structure interne du béton sur l'interconnexion des pores. Chauffage jusqu'à évaporation pendant 5 heures (Figure III.22), puis pesage de l'échantillon à l'air (soit C ce point) (Figure III.23) puis pesage à l'eau (pesée hydrostatique, soit D ce point). Calculer par la formule.

$$P (\%) = \frac{C - A}{C - D} \times 100$$

- ✓ P : Volume des vides (%)
- ✓ A : Poids l'échantillon après étuvage (g)
- ✓ C : Poids à l'air après immersion et ébullition (g)
- ✓ D : Poids à l'eau après immersion et ébullition (g)



Figure III.22: Essai de chauffage



Figure III.23 : Balance hydrostatique

❖ Absorption d'eau :

Les opérations sont effectuées dans l'ordre suivant :

- Immersion dans un bac à eau à 20 ± 2 °C durant un minimum de 48 h et jusqu'à masse humide constante ; avant la pesée, l'éprouvette est essuyée avec une peau de chamois humide de manière à la débarrasser de son eau superficielle ;
- Dessiccation durant un minimum de 72 h et jusqu'à masse sèche constante dans une étuve ventilée dont la température est maintenue à 105 ± 3 °C. La masse est considérée constante lorsque deux pesées successives à 24 h d'intervalle ne donnent pas une différence supérieure à 0,1 %.

L'absorption d'eau par immersion Abs est exprimée en pour-cent de la masse sèche et est calculée par la relation suivante.

$$\text{Abs} = \frac{M_h}{M_s} \times 100$$

- M_h : la masse humide constante de l'éprouvette après de immersion
- M_s : la masse sèche contant de l'éprouvette après séchage à l' étuve

Microscope optique. :

Un microscope électronique utilise un faisceau d'électrons au lieu de la lumière visible pour agrandir l'image d'un échantillon. Un microscope électronique utilise des lentilles magnétiques pour focaliser et aligner un faisceau d'électrons, permettant ainsi de visualiser des détails plus petits. Bien plus que ce que l'on peut voir au microscope optique.

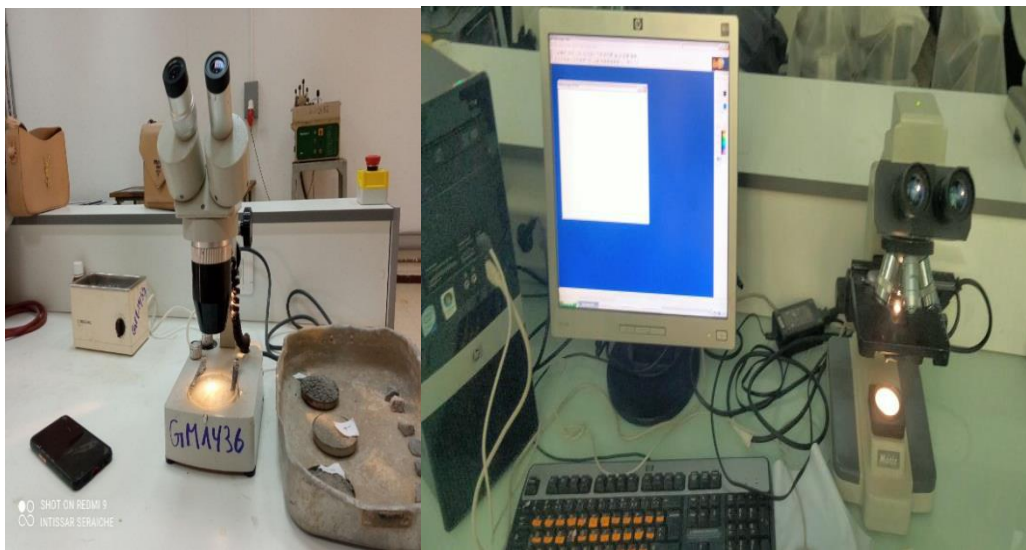


Figure III.24: Microscope optique.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons discuté de la définition des matériaux de construction utilisés et mentionné leurs propriétés physiques, mécaniques, la méthode de préparation du mortier et sa composition, et nous avons mené des recherches expérimentales sur ce mortier.

CHAPITRE IV :

Résultats et Interprétations

Chapitre IV : Résultats et Interprétations

IV.1 Introduction :

Le présent chapitre est consacré à analyser les différents résultats expérimentaux relatifs aux essais effectués sur les mortiers, conformément aux modes opératoires mentionnés au chapitre précédent, une analyse et une discussion des résultats, suivis d'une comparaison entre les résultats obtenus aux différentes échéances.

Les mortiers ont été confectionnés avec des taux de fibres métalliques variant de 5%, 10%, 15%, 20%, 25 et 30%. Sur ces mortiers, des essais à l'état frais (maniabilité, masse volumique) et à l'état durci (Résistances à la traction par flexion, Résistances à la compression et Porosité). Les résultats obtenus seront analysés puis comparés aux résultats des mortiers de référence sans fibres.

IV.2 Résultats des essais de caractérisation sur mortier frais :

IV.2.1 L'affaissement :

Cet essai est le plus couramment utilisé car il est très simple. Il est réalisé sur le mortier à l'état frais pour déterminer sa consistance et sa fluidité. Les résultats des essais à l'état frais (après le gâchage directement) sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.1: Les résultats des essais à l'état frais

Formulation	L'affaissement (cm)	E/C
MT	4	0,33
M1	4,5	0,37
M ₂	4	0,38
M ₃	3,5	0,38
M4	4,5	0,39
M5	4	0,39
M6	5	0,39

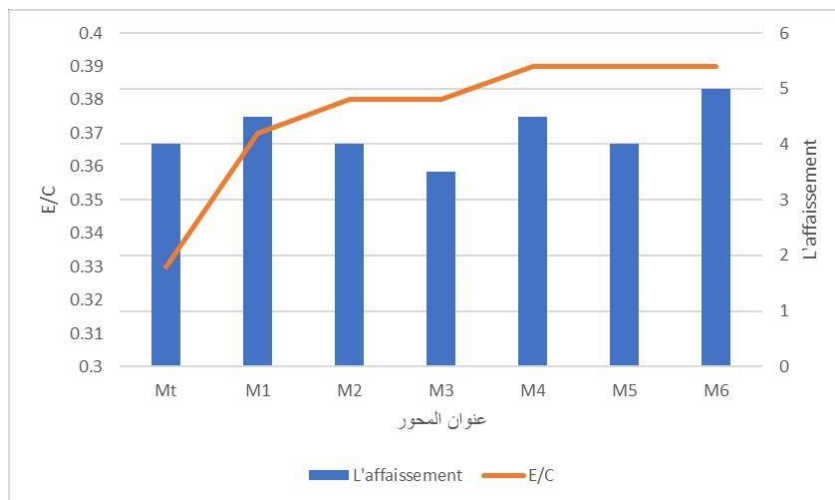


Figure IV.1 : Evolution de l'affaissement et rapport E/C des mortiers étudiés

D'après la figure IV.1, on remarque que le rapport eau/ciment augmente globalement avec le pourcentage de la maille de fer. Cela signifie que plus la quantité de la maille est élevée, plus il faut d'eau pour conserver la maniabilité du mélange. L'affaissement, indicateur de la fluidité, augmente nettement pour le mélange M1 par rapport à MT, ce qui traduit une meilleure maniabilité avec un faible ajout de la maille. Ensuite, l'affaissement diminue progressivement de M2 à M3, remonte à M4, fluctue à M5, et atteint son maximum à M6.

La présence de poudre de verre et de super plastifiant contribue à améliorer la maniabilité. Cependant, pour des teneurs élevées en maille de fer, comme dans M6, il est nécessaire d'augmenter la quantité d'eau pour maintenir cette maniabilité.

Ainsi, l'ajout combiné de maille de fer, poudre de verre et super plastifiant influence fortement à la fois la maniabilité et le rapport eau/ciment. On observe une corrélation positive entre la quantité de la maille de fer et le rapport eau/ciment.

Par ailleurs, la maniabilité ne suit pas une tendance linéaire avec l'augmentation de la maille de fer, car elle dépend de l'interaction complexe entre tous les composants du mélange.

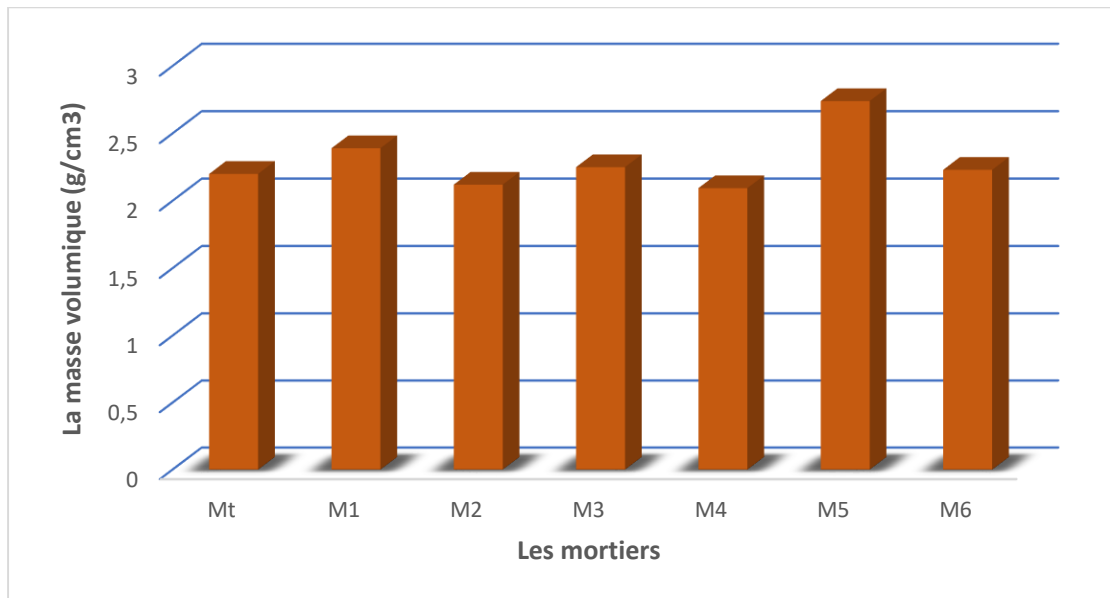
Les meilleures performances en termes de maniabilité et de rapport eau/ciment se situent entre 5 % et 20 % de la maille de fer, correspondant aux mélanges M1 à M4. En revanche, le mélange M6, avec 30 % de maille, nécessite une quantité d'eau plus importante pour conserver une maniabilité satisfaisante.

IV.2.2 Masse volumique apparente :

Nous présentons dans le tableau IV.2 qui suit, les masses volumiques des mortiers d'étude avec les déchets de la maille métallique incorporés et les différents taux de substitution.

Tableau IV.2: Résultats de la masse volumique à l'état frais du mortier étudié

Mortiers	Mt	M1	M2	M3	M4	M5	M6
La masse volumique (g/cm ³)	2.2	2.39	2.12	2.25	2.094	2.74	2.23

**Figure IV.2 :** Effet de la substitution des déchets de limaille de fer sur la masse volumique à l'état frais

La figure IV.2 illustre l'effet de la substitution du sable par des déchets de limaille de fer sur la masse volumique des mortiers étudiés. L'analyse des données montre que l'incorporation de limaille de fer, plus dense que le sable, entraîne une augmentation significative de la masse volumique pour certaines proportions, notamment à 5 % (M1) et 25 % (M5), avec des valeurs respectives de 2,39 g/cm³ et 2,74 g/cm³, contre 2,20 g/cm³ pour le mortier témoin (Mt). Cela traduit une densification du matériau liée à un meilleur remplissage des vides.

Cependant, les valeurs observées pour 20 % (M4, 2,094 g/cm³) et 30 % (M6, 2,23 g/cm³) indiquent que l'augmentation de la masse volumique n'est pas strictement linéaire avec la proportion de limaille. Ce phénomène peut être attribué à des facteurs tels que l'augmentation de la porosité, l'absorption d'eau ou une compacité réduite du

mélange à ces taux plus élevés, ce qui nécessite une analyse plus approfondie des propriétés physiques et mécaniques des mortiers

IV. 3. Résultats des essais de caractérisation sur mortier durci :

IV.3.1 Résultats de la masse volumique à l'état durci :

Les résultats de la masse volumique à l'état durci du mortier avec différentes proportions de limaille de fer sont représentés dans le graphique suivant :

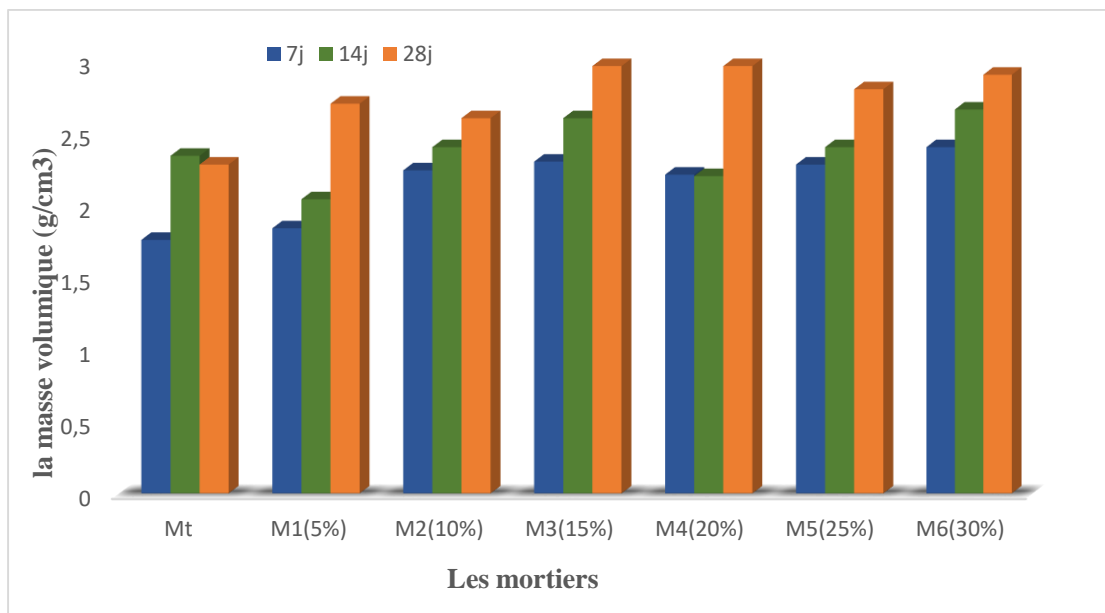


Figure IV.3 : Résultats de la masse volumique à l'état durci

La figure IV.3 présente la variation de la densité des différents types de mortier aux âges de 7, 14 et 28 jours. L'examen de ces données révèle l'impact significatif du taux de substitution de la limaille de fer sur la masse volumique des mortiers, ainsi que son évolution avec l'âge de durcissement. Il est clairement observé que la masse volumique augmente généralement avec le temps de cure (de 7 à 28 jours) pour toutes les compositions, traduisant une densification progressive due à la poursuite des réactions d'hydratation. Concernant l'influence de la limaille de fer, l'ajout de 5% (M1) à 15% (M3) entraîne une augmentation progressive et notable de la masse volumique par rapport au mortier témoin (Mt), atteignant des valeurs maximales à 15% (M3) et 25% (M5). Cependant, une diminution inattendue de la masse volumique est observée pour la composition M4 (20%), suggérant une non-linéarité et potentiellement des problèmes d'homogénéité, de compaction, d'absorption d'eau ou d'interférence avec le processus d'hydratation à cette concentration spécifique. Néanmoins, à 25% (M5), la masse volumique atteint la valeur la plus élevée, indiquant une densification optimale à cette proportion. Ces observations mettent en lumière la complexité de l'interaction entre la limaille de fer, la matrice du mortier et le processus de durcissement.

IV.4. Analyse par Ultrasons :

Les résultats des analyses par ultrasons du mortier avec différentes proportions de limaille de fer après 28 jours sont représentés dans le graphique suivant :

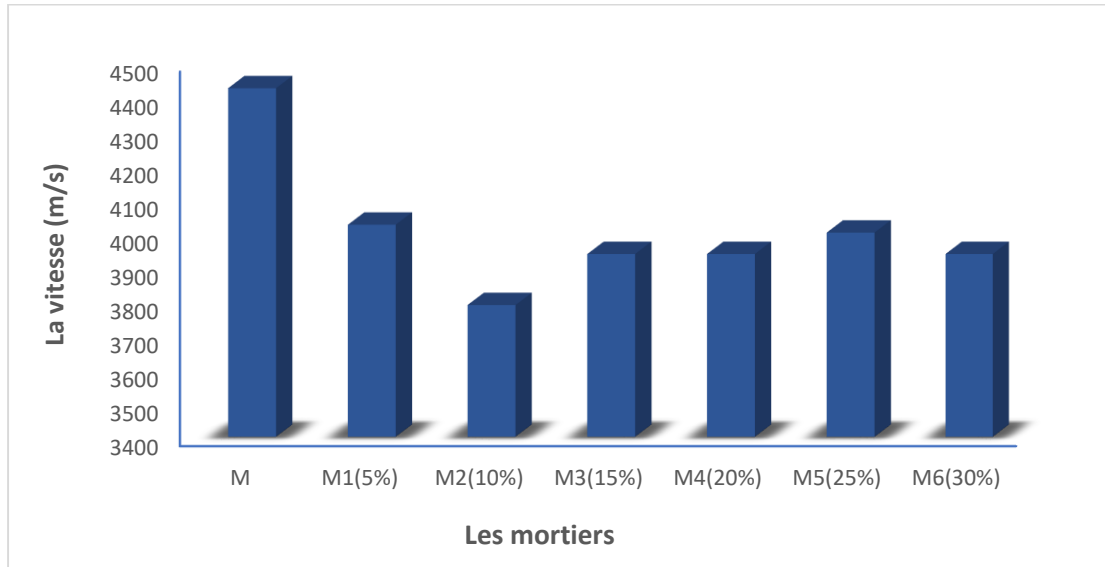


Figure IV.4 : Résultats d'ultrason de mortier

La Figure IV.4 illustre la variation de la vitesse des ondes ultrasonores (en m/s) à travers différents types de mortiers, intégrant des pourcentages variés de limaille de fer. Cette mesure est un indicateur clé de la densité, de l'homogénéité et de la qualité structurelle interne du matériau.

- Le mortier témoin, sans ajout de limaille de fer, a enregistré la vitesse d'onde ultrasonore la plus élevée, avoisinant les 4400 m/s. Cette performance supérieure indique une densité et une compacité optimales, ainsi qu'une structure interne homogène et peu poreuse, favorisant une transmission rapide et efficace des ondes.
- Effet des faibles pourcentages (M1 à 5% et M2 à 10%) : L'incorporation de 5% (M1) et 10% (M2) de limaille de fer entraîne une diminution significative de la vitesse des ondes ultrasonores par rapport au mortier témoin. Pour M1 (5%), la vitesse est d'environ 4050 m/s, et pour M2 (10%), elle chute à environ 3800 m/s, marquant la valeur la plus basse du graphique. Cette réduction notable reflète un effet négatif sur la structure interne du mortier à ces concentrations. Elle suggère une détérioration de la compacité, une augmentation de la porosité, ou une mauvaise dispersion de la limaille, créant des discontinuités qui entravent la propagation des ondes.
- Amélioration avec des pourcentages plus élevés (de M3 à 15% à M6 à 30%) : À partir de 15% (M3) et jusqu'à 30% (M6) de limaille de fer, une amélioration progressive de la vitesse des ondes est observée comparativement au minimum atteint à 10%. Les vitesses augmentent pour atteindre environ 3950 m/s pour M3 (15%) et M4 (20%), et légèrement au-dessus de 4000 m/s pour M5 (25%) et M6

(30%), se rapprochant ainsi des valeurs du mortier témoin pour M5 et M6. Cette tendance suggère qu'à ces concentrations plus élevées, la limaille de fer pourrait commencer à mieux s'intégrer ou à remplir les vides de manière plus efficace, conduisant à une structure de mortier relativement plus acceptable pour la transmission des ondes. Cela pourrait indiquer qu'au-delà d'un certain seuil (ici, 10%), la limaille de fer commence à contribuer positivement à la compacité ou à la rigidité de la matrice, compensant les effets initiaux défavorables.

IV.5 L'absorption d'eau :

Les résultats d'absorption d'eau obtenus sur différents types de mortier contenant différentes proportions de limaille de fer sont représentés dans le graphique suivant :

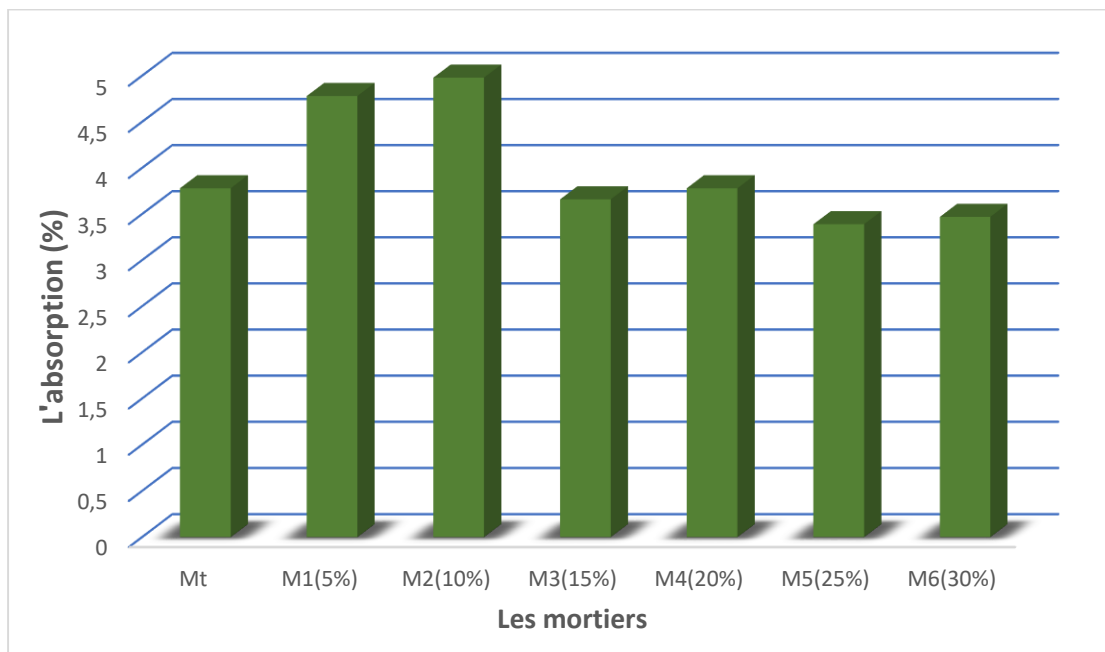


Figure IV.5 : L'absorption des mortiers

La Figure IV.5 illustre la variation de l'absorption d'eau pour des mortiers incorporant divers pourcentages de limaille de fer, cette propriété étant un indicateur essentiel de la porosité, de la cohésion et de la qualité de la compaction du matériau. Le mortier témoin (Mt) présente une absorption modérée d'environ 3,8%, servant de référence. L'analyse révèle un effet non linéaire de la limaille de fer : les faibles pourcentages, notamment 5% (M1 à environ 4,9%) et 10% (M2, culminant à environ 5,1%), entraînent une augmentation très significative de l'absorption d'eau par rapport au témoin. Cette hausse marquée suggère un désordre interne et une détérioration structurelle, potentiellement dus à une porosité accrue, une faible liaison entre les composants ou un manque d'homogénéité du mélange, ce qui est en accord avec la diminution de la vitesse des ondes ultrasonores observée précédemment. Cependant, au-delà de 10%, une inversion de tendance est notée : les pourcentages allant de 15% (M3 à environ 3,7%) à 30% (M6 à environ 3,5%) montrent une diminution progressive et continue de l'absorption. Cette amélioration constitue un indice positif d'une

meilleure cohésion et d'une réduction de la porosité. Ce phénomène peut être attribué à un effet de remplissage des vides par les particules de limaille aux concentrations plus élevées, à une amélioration de la compaction ou à une influence favorable sur le processus d'hydratation. En somme, l'absorption d'eau confirme la complexité de l'intégration de la limaille de fer dans la matrice du mortier, soulignant la nécessité d'optimiser le dosage pour améliorer les propriétés de durabilité et de densité du matériau.

IV.6. La porosité :

Les résultats de porosité réalisés sur des types de mortier contenant différentes proportions de limaille de fer à différentes périodes de temps (7, 14 et 28 jours) sont présentés dans le graphique suivant :

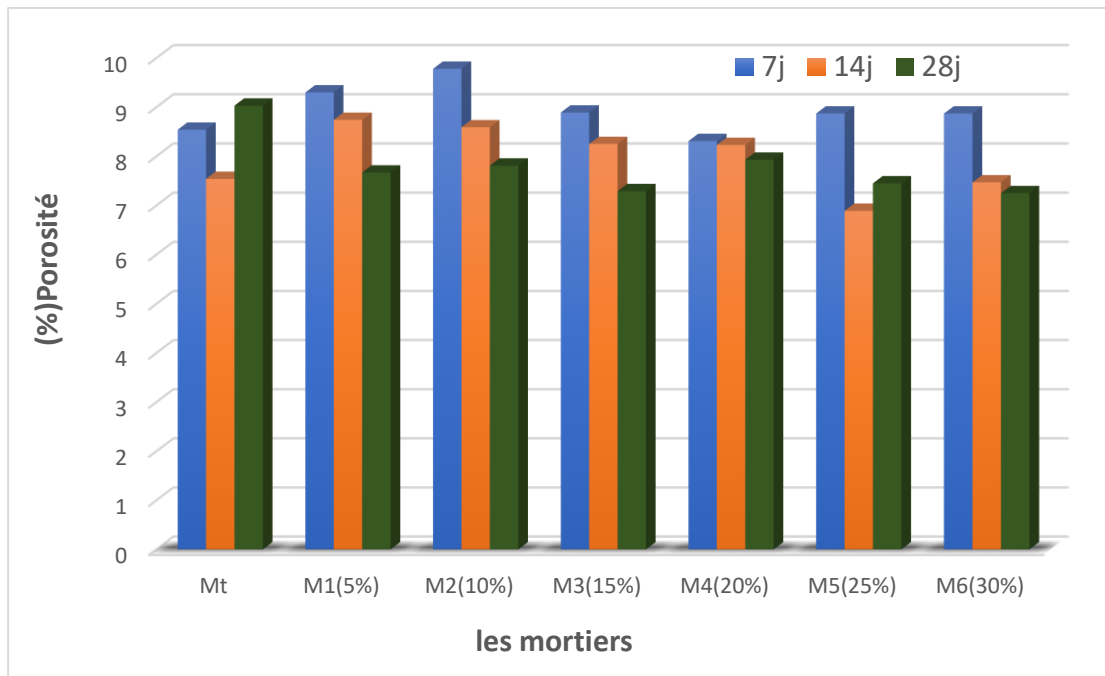


Figure IV.6 : La porosité des mortiers

La Figure IV.6 représente la porosité (en %) de différents types de mortiers, incorporant des pourcentages variés de limaille de fer et observée à différents âges de cure (7, 14 et 28 jours). La porosité est un paramètre fondamental qui influence directement les propriétés mécaniques (résistance) et la durabilité (absorption d'eau, perméabilité) des matériaux cimentaires.

L'analyse de cette figure révèle plusieurs tendances clés. D'une part, et de manière générale pour chaque échantillon, on observe une diminution progressive de la porosité avec l'augmentation du temps de cure (de 7 à 28 jours). Cette évolution est physiologique pour les matériaux cimentaires, les réactions d'hydratation se poursuivant au fil du temps, ce qui entraîne la formation de produits hydratés comblant les espaces vides et contribuant à la densification de la matrice. D'autre part, l'influence

des pourcentages de limaille de fer sur la porosité présente un comportement non linéaire. Pour les faibles pourcentages, spécifiquement 5% (M1) et 10% (M2), une légère augmentation de la porosité est observée par rapport au mortier témoin (Mt), particulièrement aux jeunes âges, comme le montrent les valeurs supérieures de porosité pour M1(5%) et M2(10%) à 7 jours comparées à Mt à 7 jours. Cette observation suggère qu'à ces faibles proportions, la limaille de fer n'a pas réussi à combler efficacement les vides responsables de la porosité. Ce phénomène peut être attribué à une répartition non homogène de la limaille ou à une interférence avec le processus de compaction, ce qui a empêché la formation d'une structure interne cohésive et dense. Ce résultat est en parfaite cohérence avec l'augmentation de l'absorption d'eau et la diminution de la vitesse des ondes ultrasonores précédemment observées pour ces mêmes compositions. Inversement, pour les pourcentages de limaille de fer compris entre 15% (M3) et 30% (M6), une diminution progressive et marquée de la porosité est constatée avec l'augmentation du pourcentage. Le pourcentage de 30% (M6) a d'ailleurs enregistré la plus faible porosité à 28 jours parmi toutes les compositions testées. Cette amélioration significative est directement attribuable à la densité élevée de la limaille de fer et à sa proportion qui, à ces concentrations plus élevées, contribue efficacement à combler les vides internes du mortier et à améliorer le compactage entre ses particules. Ce comportement est également en accord avec les tendances observées pour la masse volumique (augmentation) et l'absorption d'eau (diminution), confirmant ainsi une densification globale et une amélioration de la structure interne du matériau à ces dosages.

IV.7. Résistance à la compression :

Les résultats de l'essai de compression effectué sur différents échantillons de mortier contenant différents pourcentages de limaille de fer à 7, 14 et 28 jours sont consignés dans le graphique suivant :

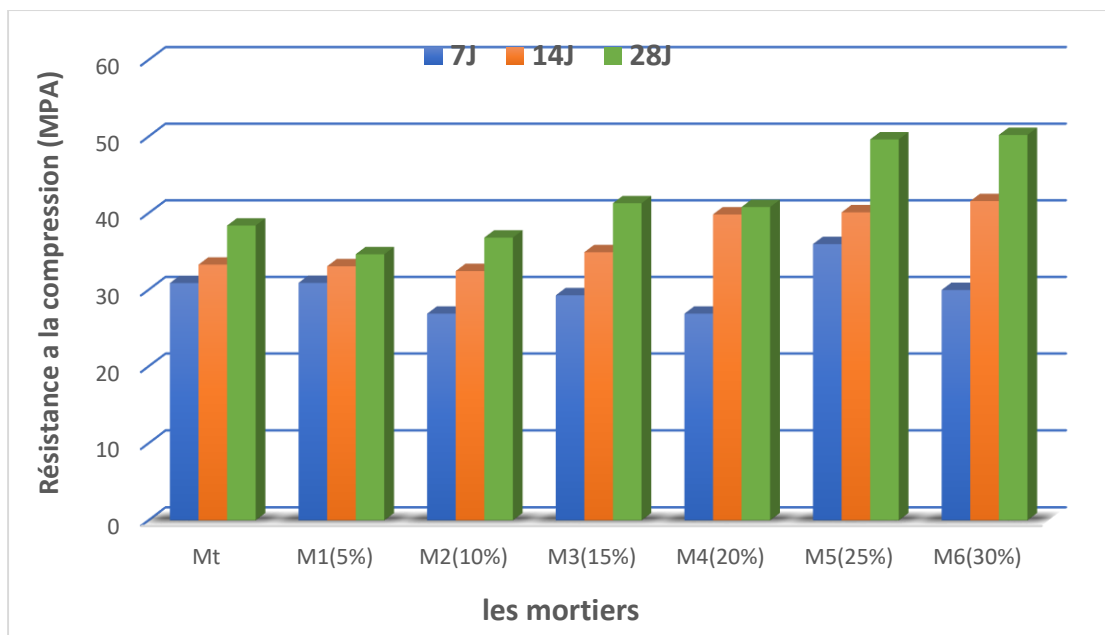


Figure IV.7 : Résistance à la compression

La Figure IV.7 illustre l'évolution de la résistance à la compression (en MPa) de différents types de mortiers, incorporant des pourcentages variés de limaille de fer, mesurée aux âges de 7, 14 et 28 jours. La résistance à la compression est une propriété mécanique fondamentale qui reflète la capacité portante du matériau et sa qualité structurale globale.

- On observe une augmentation progressive de la résistance à la compression avec l'âge de cure (de 7 à 28 jours) pour la majorité des compositions. Cette tendance est typique des matériaux cimentaires, résultant de la poursuite des réactions d'hydratation qui consolident la matrice du mortier.
- Les mortiers contenant 5% (M1) et 10% (M2) de limaille de fer affichent une résistance à la compression significativement plus faible par rapport au mortier témoin (Mt).
- Les compositions M3 (15%) et M4 (20%) de limaille de fer présentent une résistance à la compression globalement améliorée par rapport aux pourcentages précédents (M1 et M2), avec une nette progression de la résistance au fil du temps. M3 (15%) atteint des résistances comparables, voire légèrement supérieures, au mortier témoin à 28 jours, et M4 (20%) montre une amélioration significative par rapport à M1 et M2. Cette amélioration peut être attribuée à l'augmentation de la quantité de limaille de fer qui, à ces proportions, commence à jouer un rôle plus efficace dans le remplissage des vides et l'amélioration de la compacité.
- Les pourcentages de 25% (M5) et 30% (M6) de limaille de fer affichent la résistance à la compression la plus élevée parmi tous les mélanges testés, dépassant significativement celle du mortier témoin, particulièrement à 28 jours (environ 50 MPA et 51 MPA respectivement). Cette performance supérieure est le reflet d'une interaction optimale entre la limaille de fer et la matrice cimentaire. [28]

IV.8. Résistance à la flexion :

Résultats à 7 jours :

La Figure IV.8 présente les résultats de l'essai de flexion réalisé sur des mortiers après 7 jours de cure, comparant un mortier témoin (sans fibres) à des mortiers contenant différentes proportions de limaille de fer (fibres métalliques). L'axe des ordonnées représente la Force (en Newtons) appliquée, tandis que l'axe des abscisses indique le Déplacement (en millimètres) de l'échantillon sous charge.

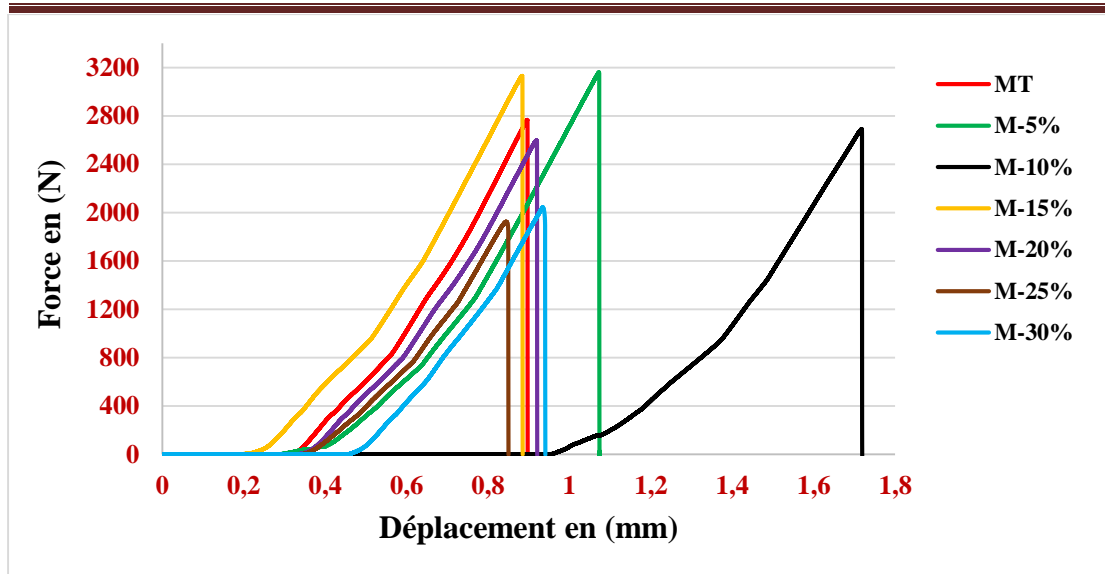


Figure IV.8: Les Résultats de l'essai de flexion sur les mortiers après 7 jours.

A partir des résultats nous avons extrait la résistance à la flexion

$$Rf = \frac{3Fl}{2b^3}$$

Tableau IV .3 : Les résultats de résistance à la flexion après 7 jours

Les mortiers	MT	M5%	M10%	M15%	M20%	M25%	M30%
Rf (MPa)	6,56	7,40	6,21	7,30	6,02	4,47	4,76

Interprétation :

La courbe du mortier témoin illustre un comportement typiquement fragile. La force augmente rapidement jusqu'à un pic (résistance maximale), puis chute brutalement et presque instantanément. Cela signifie que le mortier classique a une faible capacité à se déformer avant la rupture et qu'il perd sa portance de manière soudaine dès l'apparition d'une fissure.

L'ajout de fibres métalliques modifie significativement les performances mécaniques du mortier :

- Ces courbes démontrent une augmentation notable de la résistance maximale en flexion par rapport au mortier témoin. Plus important encore, elles s'étendent sur des déplacements plus importants avant la rupture finale. Cela indique une amélioration significative de la ductilité et de la ténacité du matériau. Les fibres agissent comme un pontage des fissures, limitant leur propagation et permettant au mortier de supporter des déformations plus importantes et d'absorber plus d'énergie avant une défaillance complète. Les proportions entre 10% et 15% semblent optimiser au mieux à la fois la résistance et la ductilité.

- **Dosage Élevé (M-30%) :** À cette proportion élevée (M30%), on observe que la résistance maximale peut légèrement diminuer par rapport aux dosages optimaux, bien que le comportement ductile reste supérieur à celui du mortier témoin. Cette observation est souvent attribuée à des problèmes de mise en œuvre ou de dispersion des fibres dans la matrice. Une concentration trop importante de fibres peut entraîner des agglomérations ou une distribution non homogène, ce qui compromet l'efficacité du renforcement et peut introduire des défauts dans le matériau [28].

Résultats à 14 jours :

La Figure IV.9 illustre les courbes force-déplacement obtenues lors de l'essai de flexion sur les différents mortiers après 14 jours de cure. Ces courbes permettent d'évaluer l'évolution du comportement mécanique en fonction de la proportion de limaille de fer ajoutée, ainsi que de comparer ces performances à celles observées à 7 jours.

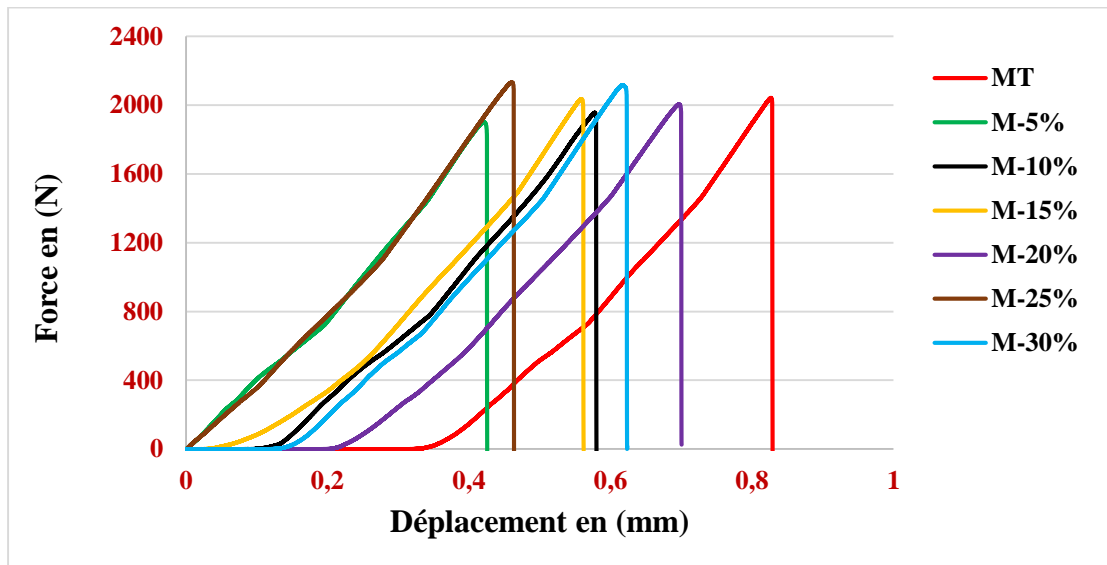


Figure IV.9 : Les résultats de l'essai de flexion sur les mortiers après 14 jour.

A partir des résultats nous avons extrait la résistance à la flexion

$$Rf = \frac{3Fl}{2b^3}$$

Tableau IV.4 : Les résultats de résistance à la flexion après 14 jour

Les mortiers	MT	M5%	M10%	M15%	M20%	M25%	M30%
<i>Rf</i>	4,77	4,48	4,57	4,73	4,68	4,97	4,92

Interprétation :

Toutes les compositions testées ont montré une force maximale comprise entre 1900 et 2200 N, ce qui indique une diminution notable par rapport aux résultats obtenus après 7 jours.

Les valeurs de déplacement varient entre 0,4 et 0,7 mm, ce qui représente une baisse significative par rapport aux résultats précédents. Cette diminution du déplacement maximal avant rupture indique un matériau plus rigide et moins flexible.

Mortiers fortement fibrés (M-25% et M-30%) : Ces compositions se distinguent par les meilleures performances en termes de résistance résiduelle et de capacité post-pic. Bien que les valeurs maximales absolues soient réduites par rapport à 7 jours, ces mortiers maintiennent une portance significative après le pic de force, et une meilleure capacité à absorber l'énergie avant la rupture complète. Leur courbe est plus étalée, reflétant un comportement plus ductile et une meilleure redistribution des contraintes grâce au réseau de fibres qui continue de pontifier les fissures. À l'inverse, les compositions avec 5% et 10% de limaille de fer enregistrent les plus faibles résistances résiduelles et présentent un comportement tendant vers la fragilité. Leur chute de force après le pic est plus prononcée, et leur déplacement maximal est restreint, indiquant une capacité limitée à absorber l'énergie et à contrôler la propagation des fissures. Ce comportement pourrait être attribué à une proportion insuffisante de fibres pour assurer un renforcement efficace sur l'ensemble de la matrice, ou à un manque d'homogénéité du mélange qui rend le pontage des fissures moins fiable.

Résultats à 28 jours :

La Figure IV.10 présente les courbes force-déplacement obtenues lors de l'essai de flexion des différents mortiers après 28 jours de cure. Ces courbes sont essentielles pour comprendre l'impact à long terme de l'ajout de limaille de fer sur les propriétés mécaniques du mortier, et pour comparer ces évolutions avec les comportements observés à 7 et 14 jours.

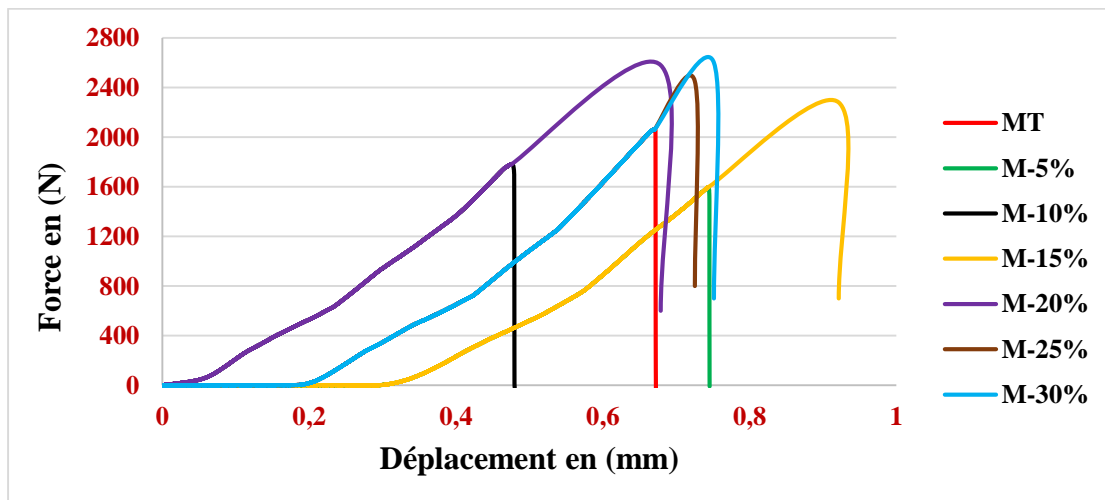


Figure IV.10 : Les résultats de l'essai de flexion sur les mortiers après 28 jour .

A partir des résultats nous avons extrait la résistance à la flexion

$$Rf = \frac{3Fl}{2b^3}$$

Tableau IV.5: Les résultats de résistance à la flexion après 28 jour

Les mortiers	MT	M5%	M10%	M15%	M20%	M25%	M30%
<i>Rf</i>	4,75	3,75	4,21	5,34	6,04	5,85	6,09

Interprétation

La courbe du mortier témoin montre une augmentation rapide de la force jusqu'à atteindre un pic d'environ 2000 N, suivie d'une rupture soudaine à un déplacement estimé à environ 0,6 mm. Ce comportement fragile indique que le mortier traditionnel résiste mal à la propagation des fissures et perd rapidement sa capacité portante après l'apparition de la première fissure.

Certaines formulations montrent une légère amélioration de la force maximale par rapport à l'échantillon de référence, mais la rupture reste relativement fragile, avec un déplacement maximal d'environ 0,7 mm.

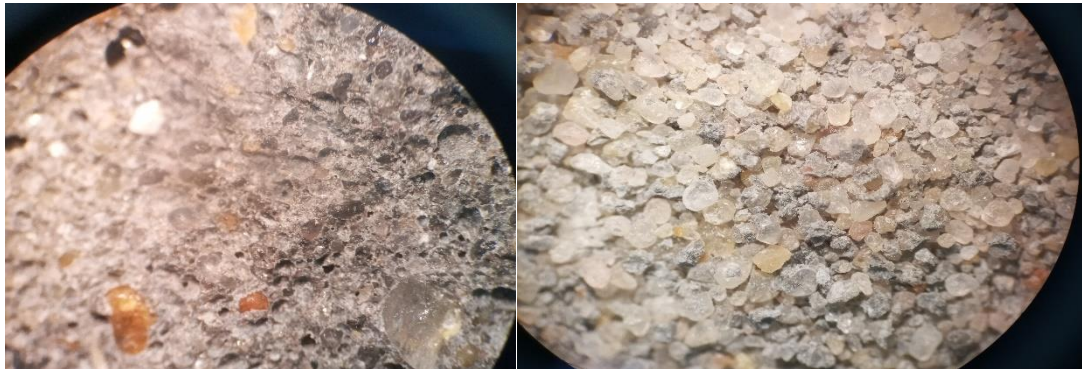
La force maximale continue d'augmenter (atteignant environ 2600 N), et la courbe devient plus progressive, ce qui indique une amélioration de la ductilité.

Les meilleures performances ont été enregistrées pour les formulations contenant 15 %, 20 % et 25 % de limaille de fer, avec une force maximale comprise entre 2300 et 2500 N, et un déplacement maximal atteignant 0,9 mm, ce qui témoigne d'un comportement plus ductile et d'une meilleure capacité d'absorption d'énergie avant la rupture.

À 30 %, la force atteint sa valeur la plus élevée (environ 2600 N), mais le déplacement maximal reste pratiquement similaire à celui de la formulation à 25 %. Cela pourrait indiquer qu'une augmentation du pourcentage de fibres au-delà de 25 % n'apporte pas d'amélioration significative en termes de déplacement. [28]

IV.9. Microscope :

Les Figures présente des vues microstructurales, obtenues par microscope optique, de trois compositions de mortier distinctes : le mortier témoin (sans limaille de fer), l'échantillon avec 10% de limaille de fer (M2), et l'échantillon avec 30% de limaille de fer (M6). L'observation de la microstructure est cruciale pour comprendre les interactions entre les constituants et les impacts sur la densité, la porosité et l'homogénéité du matériau, qui se sont manifestés dans les propriétés macroscopiques étudiées précédemment.

1. Témoin :**Figure IV.11 :** le Témoin sous le microscope

Observations : Les images du mortier témoin montrent une matrice relativement dense avec une bonne distribution des granulats (sable). Les particules de sable apparaissent bien enrobées par la pâte de ciment hydratée. On perçoit une porosité faible à modérée, caractérisée par des pores de petite taille et bien distribués. La texture semble homogène.

Corrélation avec les résultats macroscopiques : Cette microstructure visuellement compacte est en accord parfait avec les performances élevées du mortier témoin en termes de vitesse des ondes ultrasonores, sa faible absorption d'eau, sa porosité contrôlée et sa bonne résistance à la compression. La pâte de ciment a bien lié les granulats.

2. Échantillon à 10% :**Figure IV.12 :** échantillon 10% sous microscope

Observations : Les images de l'échantillon M2 (10% de limaille de fer) révèlent une microstructure nettement différente. On observe une augmentation visible de la porosité, avec la présence de pores plus grands et potentiellement interconnectés. La limaille de fer (qui pourrait apparaître sous forme de petites particules sombres ou

irrégulières) semble moins bien intégrée dans la matrice, avec peut-être des interfaces faibles entre la limaille et la pâte de ciment. La distribution des composants apparaît moins homogène que celle du témoin, et on peut deviner des zones de moindre compacité.

Corrélation avec les résultats macroscopiques : Ces observations microstructurales expliquent directement les performances dégradées de l'échantillon M2. La porosité accrue et l'hétérogénéité sont la cause de la plus faible vitesse des ondes ultrasonores, de l'absorption d'eau la plus élevée, de l'augmentation de la porosité, et d'une résistance à la compression significativement réduite, comparativement au mortier témoin. La limaille à cette concentration semble perturber la formation d'une matrice cohésive.

3. Echantillon à 30% :



Figure IV.13 : échantillon 30% sous microscope

Observations : Les images de l'échantillon M6 (30% de limaille de fer) montrent une microstructure qui tend à être plus dense que celle de M2, et même par certains aspects, comparable au mortier témoin en termes de compacité globale. La limaille de fer est présente en quantité plus importante et semble mieux répartie, agissant comme une charge fine qui remplit les espaces interstitiels. La porosité visible semble réduite par rapport à l'échantillon à 10%, et les granulats semblent mieux intégrés dans la matrice. Corrélation avec les résultats macroscopiques : La densification observée au microscope pour M6 est en parfait accord avec les performances améliorées mesurées macroscopiquement. Cet échantillon a montré une masse volumique élevée (Figure IV.2), une absorption d'eau réduite (Figure IV.5), la plus faible porosité (Figure IV.6), et surtout, la plus haute résistance à la compression (Figure IV.7) parmi tous les mélanges. La quantité plus élevée de limaille de fer semble avoir favorisé un meilleur empilement des particules et une meilleure compacité, compensant les effets négatifs observés à faibles doses.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Cette étude a évalué l'impact de l'incorporation de différents pourcentages de limaille de fer, un déchet industriel, sur les propriétés physiques, mécaniques et microstructurales des mortiers

Les analyses (masse volumique, vitesse des ondes ultrasonores, absorption d'eau, porosité, résistance à la compression, observations microscopiques) ont révélé un comportement non linéaire et complexe de la limaille de fer au sein de la matrice cimentaire.

Effets des faibles dosages (5% et 10%) :

- Diminution notable de la masse volumique et de la vitesse des ondes ultrasonores.
- Augmentation significative de l'absorption d'eau et de la porosité.
- Microstructure désorganisée, hétérogène et poreuse confirmée par analyse microscopique.
- Baisse marquée de la résistance à la compression.
- Ces résultats suggèrent une perturbation de l'homogénéité du mélange et une inefficacité dans le remplissage des vides à ces concentrations.

Effets des dosages moyens à élevés (15% à 30%) :

- Amélioration progressive et substantielle des propriétés physiques et mécaniques.
- Augmentation de la masse volumique et réduction de l'absorption d'eau et de la porosité.
- Vitesse des ondes ultrasonores équivalente ou supérieure à celle du mortier témoin.
- Résistance à la compression en nette augmentation, atteignant son maximum pour 25% et 30%.
- Microstructure plus dense et homogène avec une meilleure répartition des particules de limaille, agissant comme agent de remplissage et densification efficace.
- Le mortier sans fibres présente un comportement fragile avec faible résistance.
- L'ajout de limaille de fer améliore la résistance et la ductilité, particulièrement entre 15% et 25%
- .La résistance en flexion augmente significativement, avec des forces comprises entre 1900 et 2200 N
- .Le déplacement maximal diminue, traduisant une rigidité accrue et une fragilité relative, mais toujours meilleure que le mortier témoin.
- Les meilleures performances sont observées pour des dosages de 20% à 25%, au-delà desquels une légère diminution peut survenir à cause d'une homogénéité réduite.

L'incorporation de limaille de fer dans le mortier améliore nettement sa résistance en flexion et sa ductilité, avec une proportion optimale

Conclusion Générale

située entre 15% et 25%. La maturation du mortier jusqu'à 28 jours renforce ces propriétés, tandis qu'un excès de fibres peut nuire à la qualité du mélange.

Recommandations

Afin de compléter cette étude et de cerner de près les lois qui régissent le comportement du poudre de verre, et la limaille de fer nous recommandons pour un travail futur, d'aborder les points suivants :

1. Influence de la granulométrie (taille des particules) de la poudre de verre sur la porosité, la perméabilité et la microstructure du mortier;
2. Étude de la durabilité du mortier contenant limaille de fer et poudre de verre face aux agressions chimiques et cycles gel-dégel

Références

- [1]: KHALED , BOUALI . Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires. 2015. Thèse de Doctorat. Boumerdes.
- [2]: Polycopié de: MATERIAUX DECONSTRUCTION 01 Licence Génie CIVIL-Mai 2017-Réalisé par Docteur Toufik BOUBEKEUR
- [3]: Mounir Bellem « Valorisation des déchets plastiques pour l'amélioration des performances mécaniques des mortiers » mémoire de master, université de M'sila, juin 2013.
- [4]: hamel Chourouk_bouheka Abdia "ÉTUDE DES MORTIERS à BASE D'UNE POUZZOLANE NATURELLE LOCALE" Spécialité : Génie civil Option :structures UNIVERSITÉ IBN KHALDOUN DE TIARET
- [5]: SYLVER.P, « science des matériaux ». Université pierre et marie curie 2005 2006
- [6]: TAGNIT- HAMOU, A. Microstructure et physico-chimie des ciments et des bétons. Université de Sherbrooke, Québec, 1995.
- [7]: Jean FESTA, Georges DREUX, nouveau guide du béton et ses constituants, 8ème édition, EYROLLES, 2007.
- [8]: WILLA. D, CALLISTER. JR «science et génie des matériaux» modulu Editeur, 2001
- [9]: Megdoud. Y «L'effet combiné du kaolin et des déchets de céramique dans la formulation des mortiers», mémoire de master Académique, Université Mohamed Boudiaf - M'sila Faculté de technologie Département de GENIE CIVIL
- [10]: Badji Mokhtar University - Annaba (BMUA) Université à Annaba, Algérie
- [11]: A. Benyahia, A. Redjem, Z. E. A. Rahmouni, and A. Merrouche, "Study of the mechanical properties of a composite material: Alfa fibers/unsaturated polyester," REVISTA ROMANA DE MATERIALE-ROMANIAN JOURNAL OF MATERIALS, vol. 46, no. 1, pp. 25–33, 2016
- [12]: M.BEDDAR " Fibre-reinforced concrete : Past, Present and future " concrete Journal , U.K, , April 2004 , Volume 38 , Number 4 , pp.47-49.
- [13]: S. DANI and A. MISSAOUI, "Etude physico-chimique de mortier de plâtre à base sable Renforcé de fibres synthétique et végétale," université Akli Mouhend-Oulhadj de Bouira, 2017
- [14]: A. Benyahia, A. Redjem, Z. E. A. Rahmouni, and A. Merrouche, "Study of the

Références

mechanical properties of a composite material: Alfa fibers/unsaturated polyester,” REVISTA ROMANA DE MATERIALE-ROMANIAN JOURNAL OF MATERIALS, vol. 46, no. 1, pp. 25–33, 2016

[15]; Belouadah, Z. E. A. Rahmouni, and N. Tebbal, “Influence of the addition of glass powder and marble powder on the physical and mechanical behavior of composite cement,” *Procedia Computer Science*, vol. 158, pp. 366–375, 2019.

[16]; M. Belouadah, Z. E. Rahmouni, N. Tebbal, and M. E. H. Hicham, “Evaluation of concretes made with marble waste using destructive and non-destructive testing,” in *Annales de Chimie-Science des Matériaux*, 2021, pp. 361–368.

[17]; A. Benyahia, A. Merrouche, Z. E. A. Rahmouni, M. Rokbi, W. Serge, and Z. Kouadri, “Study of the alkali treatment effect on the mechanical behavior of the composite unsaturated polyester-Alfa fibers,” *Mechanics & Industry*, vol. 15, no. 1, pp. 69–73, 2014

[18]; LIQUI, G., & GILOFAN Z., “A study on the mechanism of fibre reinforcement in short steel fibrous concrete ” RILEM Symposium cement and concrete, Edited by R.N.SWAMY, Sheffield,

[19] : A. Mokhtari, “Influence des ajouts de fines minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcés de fibres végétales de palmier dattier,” 2006

[20] : <https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Limaille>

[21] ; <https://doi.org/10.13167/2023.27.6>

[22] : <https://journalcjast.com/index.php/CJAST/article/view/1168>

[23] KOSAKA, Y. et al “Lateral confining stresses due to steel fibers in concrete under Compression ” *The international. Journal for cement composites and lightweight concrete*, Vol.7, N° 2, May 1985, pp. 81-92

[24]: R. Mansour, R. Z. El Abidine, and B. Brahim, “Performance of polymer concrete incorporating waste marble and alfa fibers,” *Advances in concrete construction*, vol. 5, no. 4, p. 331, 2017.

[25] B. Herizi and M. Achour, “Effet combiné des déchets de brique et de céramique sur le comportement du mortier,” *Univ M’sila*, 2020.

[26] S. Nouari and I. Bakouche, “Effet de l’attaque sulfatique externe sur la durabilité des mortiers fibrés,” *university of M’sila*, 2022.

[27] Zitouni, S., Maza, M., Tebbal, N., & El Abidine Rahmouni, Z. (2022, February). Impact of Rolled and Crushed Aggregate with Natural Pozzolan on the Behavior of HPC. In *Annales de Chimie Science des Matériaux* (Vol. 46, No. 1).

Références

[28] Belouadah, M., Rahmouni, Z. E. A., & Tebbal, N. (2019). Influence of the addition of glass powder and marble powder on the physical and mechanical behavior of composite cement. *Procedia Computer Science*, 158, 366-375.

[29] TEBBAL, Nadia et RAHMOUNI, Zine El Abidine . Rheological and Mechanical Behavior of Mortars with Metakaolin Formulation. *Procedia Computer Science*, 2019



















Annexes

Annexes 01:

✓ APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Béton armé à haute résistance.
- Béton autoplaçant.

🪣 FORMULATION CONSEILLÉE

	ciment 	Sable (sec) 0/5 	Gravillons^(sec) 8/15mm 15/25mm 	Eau (litres) 
Dosage pour béton	50k X1 	+ X7 	+ X5  + X4 	+ 25 L
	ciment 	Sable Correcteur 0/1mm 	Sable (sec) 0/4mm 	Eau (litres) 
Mortier de briquetage	50k X1 	+ X6 	+ X9 	+ 35 L
Mortier de finitions	50k X1 	+ X9 	+ X6 	+ 35 L

Remarque: un bidon = 10 litres

🔍 CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Analyses chimiques (%)	valeur
Perte au feu	2.6 – 3.7
Teneur en sulfates (SO ₃)	2.2 – 2.8
Teneur en Oxyde de Magnésium (MgO)	1.7 – 2.8
Teneur en Chlorures (Cl ⁻)	0.03 – 0.07
Composition Potentielle du Clinker (Selon Bogue) (%)	valeur
C ₃ S	56 – 66
C ₃ A	5.1 – 7.2
Propriétés physiques	valeur
Consistance normale (%)	25.8 – 26.4
Expansion à chaud (mm)	0.25 – 1.0
Temps de prise (min)	valeur
Début de prise	150 – 190
Fin de prise	220 – 250
Résistance à la compression	valeur
2 jours (MPa)	20 – 29
28 jours (MPa)	42.5 – 52.5



Annexes 02:

NOTICE TECHNIQUE

2 1 1 9

MEDAFLOW 30Conforme à la norme EN 934-2: TAB 1, TAB 3.1
ET TAB 3.2 HA 774.**Super plastifiant
Haut réducteur d'eau****DESCRIPTION**

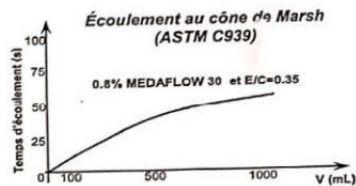
Le **MEDAFLOW 30** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons. Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité. En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable. Le **MEDAFLOW 30** ne présente pas d'effet retardateur.

DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons auto - plaçant
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux.

PROPRIÉTÉSGrâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet :

- Sur béton frais :
- Obtention d'un rapport E/C très faible
- Amélioration considérable de la fluidité
- Une très bonne maniabilité
- Éviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton



Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.

**Granitex**

Zone Industrielle Oued Smar - BP85 Oued Smar - 16270 Alger
Tél: (213) 021 51 66 81 & 82
Fax: (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23
www.granitex-dz.com - E-mail: granitex@granitex-dz.com



58

Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme (voir tableau).
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait et le risque de fissuration

Désignation	Rc (MPa)		
	3J	7J	28J
MEDAFLOW 30 (1.4%)	39.2	54.7	62.2

CARACTÉRISTIQUES

- Aspect Liquide
- Couleur Brun clair
- pH 6 - 6,5
- Densité 1,07 ± 0,01
- Teneur en chlore < 0,1 g/l
- Extrait sec 30%

MODE D'EMPLOILe **MEDAFLOW 30** est introduit dans l'eau de gâchage.

Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :

0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0.46 à 1.85 litre pour 100 Kg de ciment.

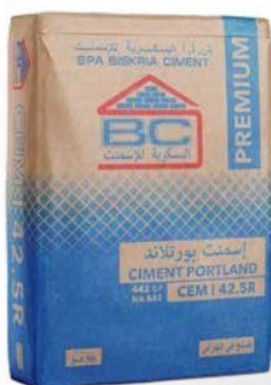
Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Annexes 03 :



SPA BISKRIA CIMENT



FICHE TECHNIQUE

CEM I 42.5R
 CIMENT PORTLAND

CEM I 42.5R Ciment portland, pour les bétons hautes performances et a une résistance rapide à court terme, destiné aux domaines où les délais de décoffrage sont courts, il est recommandé particulièrement pour le bétonnage par temps froid

CEM I 42.5R :

Conforme à la norme Algérienne (NA442-2013)

 **DOMAINES D'APPLICATION**

Un ciment pour tous vos travaux de constructions de haute résistance a jeune âge, il est aussi recommandé pour les utilisations suivantes :

- Produits en bétons qui demandent un durcissement rapide.
- Le bétonnage dans des coffrages coulissant, surtout en période hivernale.
- Béton résistant au gel en présence de sels de déverglaçage.
- Tabliers de ponts.
- Béton pompé.
- Béton projeté

