



**Ministère de l'enseignement supérieure
et de la recherche scientifique**

**Université Mohamed Boudiaf - M'sila
Faculté de technologie**



**Département de GENIE CIVIL
FILIERE : Génie Civil
SPECIALITE : Matériaux**

MEMOIRE

**Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER**

**Présenté par :
Louglathi soulef et Tail imane**

THEME

**Étude du comportement mécaniques
des mortiers légers renforcés par des
fibres métalliques**

Devant le jury :

NOM et Prénoms

BIBI Mekki

ZITOUNI Salim

RAHMOUNI Zine El Abidine

TEBBAL Nadia

Grade

Professeur

MCA

Professeur

Professeur

Qualité

Président

Examineur

Encadrant

Co-Encadrant

Année universitaire 2024/2025

Remerciements

Tout d'abord, je voudrais exprimer ma profonde gratitude à Dieu, le Tout-Puissant, pour m'avoir guidé tout au long de ce voyage, me donnant la force, la patience et la persévérance nécessaires pour accomplir cette œuvre.

*Je voudrais adresser mes sincères remerciements aux enseignants du département de génie civil, au professeur **Rahmouni Zine El Abidine**, qui m'a honoré en acceptant d'encadrer ce mémoire. Je lui suis particulièrement reconnaissant pour la qualité de son encadrement, la pertinence de ses retours, et sa disponibilité constante.*

*Je remercie également la professeure **Nadia Tebbal** pour son accompagnement précieux, ses conseils avisés et son soutien inestimable tout au long de ce travail.*

*Leurs observations constructives ne manqueront pas d'enrichir cette mémoire. J'exprime toute ma gratitude au **laboratoire Génie civil, Université Mohammed Boudiaf** ainsi qu'à l'ensemble de son personnel pour leur accueil chaleureux, leur soutien et les moyens mis à ma disposition durant ce projet.*

Enfin, je tiens à remercier ma famille, et plus particulièrement mes parents, pour leur soutien indéfectible, leur amour inconditionnel et leur inlassable patience. Leur présence constante a été une source essentielle de motivation tout au long de mes études.

Dédicace

Avec une profonde gratitude et un cœur empli de reconnaissance, nous dédions humblement ce travail, fruit de plusieurs années de persévérance, de doutes, de larmes, mais aussi d'espoir et de force.

À nos parents bien-aimés, pour leur soutien indéfectible, leurs innombrables sacrifices et leur confiance inébranlable en nos capacités.

À nos frères et amis, pour leur présence réconfortante, leurs encouragements sincères et leur appui constant dans les instants les plus éprouvants.

Nos remerciements les plus sincères vont également à notre encadrant, dont l'accompagnement a largement dépassé les frontières d'un rôle académique. Par sa précieuse guidance, sa disponibilité généreuse et ses conseils avisés, il a su incarner une présence protectrice tout au long de notre parcours universitaire.

À ma chère grand-mère, dont les prières ont accompagné chaque étape de notre chemin. Que Dieu te couvre de Sa miséricorde et que cet effort soit compté parmi tes bonnes actions.

Enfin, à toutes celles et ceux qui ont cru en nous, qui nous ont soutenues, encouragées ou simplement offert un sourire au moment opportun...

Soulef & Imane

SOMMAIRE

<i>Remerciements</i>	III
Dédicace	III
Sommaire	III
Liste des figures	III
Liste des tableaux.....	III
Liste des abréviations	III
Résumé	III
Abstract.....	III
ملخص	III
Introduction générale	1

Partie étude bibliographique

CHAPITRE I : Etude bibliographique

I.1. Introduction	5
I.2. Les mortiers.....	5
I.2.1. Les composants de mortier.....	5
I.2.1.1. Le liant	5
I.2.1.2. Le sable.....	5
I.2.1.3. L'eau de gâchage.....	6
I.2.2. Classification et types des mortiers.....	6
a) La nature.....	6
b) Suivant leur travail.....	7
c) En fonction de leur masse volumique : [7].....	8
I.2.3. Type de mortier léger	8
1) Utilisation de mortier léger.....	8
2) Avantages du mortier léger	8
I.2.4. Caractéristiques principales des mortiers	9
A.2.4. Ouvrabilité	9
B.2.4. Prise.....	10
C.2.4. Résistances mécaniques	10
D.2.4. Retraits et gonflements	11
I.3. Les adjuvants.....	11
I.4. Fibres métalliques	12
I.4.1. Types de fibres métalliques	12
I.4.2. Avantages des fibres métalliques	13
I.5. Déchets industriels.....	13
I.5.1. Déchets industriels spéciaux (DIS)	13

I.5.2. Déchets inertes.....	13
I.5.3. Déchets industriels banals (DIB).....	13
I.6. Déchets d'aluminium.....	14
I.7. Valorisation des déchets industriels	15
I.8. Conclusion.....	16

Partie étude expérimentale

CHAPITRE II : Méthodologie et choix des matériaux

II.1. Introduction	19
II.2. Objectif du travail.....	19
II.3. Méthodologie du travail pratique	19
II.4. Caractéristiques des matériaux utilisées.....	20
II.4.1. Sable.....	20
II.4.1.1 Les essais sur sable	20
❖ Masses volumiques.....	20
❖ Equivalent de sable : Selon la Norme [NFP 18-598][17].....	22
❖ Analyse Granulométrique: NF EN933-1[18].....	23
II.4.2. Ciment.....	24
II.4.3. L'eau de gâchage	25
II.4.4. L'adjuvant	25
II.4.5. Fibre Métallique	26
II.4.6. Déchets d'aluminium	26
II.4.6.1. Les essais sur déchets d'aluminium	27
❖ Masses volumiques.....	27
❖ Analyse granulométrique.....	27
▪ Mixture de sable (SD+ 2,5% déchet d'aluminium)	28
❖ Masse volumique.....	28
❖ Equivalent de sable.....	29
❖ Analyse granulométrique.....	29
II.4.7. Mortier.....	30
II.4.7.1. Protocole de fabrication des éprouvettes	30
II.4.7.2. Conservation des éprouvettes	31
1) Essai sur mortier frais	32
➤ Mesure du temps de prise sur mortier	32
2) Essai sur mortier durci.....	33
➤ Essai de l'absorption	33
➤ Essai de porosité.....	34
➤ Résistance à la compression	34
➤ Résistance à la flexion.....	35
II.5. Conclusion.....	36

CHAPITRE III : Résultats et discussion

III.1. Introduction	38
III.2. Formulation des mortiers	38
III.3. Les compositions	38
III.4. Les essais mécaniques et physiques sur le mortier	39
III.4.1. Temps de prise du mortier	39
III.4.2. Les masse des éprouvettes avant et après le durcissement	41
III.4.3. Le Gonflement des éprouvettes.....	43
III.4.4. Absorption.....	44
III.4.5. Porosité.....	45
III.4.6. La résistance à la flexion / compression.....	46
III.4.6.1. Cas de conservation à l'eau.....	47
III.4.6.2. Cas de conservation à l'air.....	49
III.4.6.3. Cas de conservation en chambre humide	51
III.4.6.4. Effet des conditions de conservation sur la résistance mécanique des mortiers.....	53
III.4.6.5. Évolution de la résistance mécanique du mortier avec le temps	54
III.5. Conclusion.....	54
Conclusion générale	56
Référence bibliographique	59
Annexe	61

Liste des figures

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

Figure I-1 : Confection d'un mortier	6
Figure I-2 : Les différents types de mortiers.....	7
Figure I-3 : Table à secousses	9
Figure I-4 : Principe de fonctionnement du maniabilimètre	10
Figure I-5 : Différentes formes de fibres métalliques	12
Figure I-6 : Déchets d'aluminium	14
Figure I-7 : Méthodologie d'étude des déchets	15

CHAPITRE II : Méthodologie et choix des matériaux

Figure II.1 : Sable de dune (DJAMAA)	20
Figure II.2 : La masse volumique absolue (éprouvette graduée).....	21
Figure II.3 : Appareil de mesure de la masse volumique apparente	21
Figure II.4 : Essai d'équivalent de sable	22
Figure II.5 : Équipements d'analyse granulométrique.....	23
Figure II.6 : Courbe granulométrique du sable de dune	24
Figure II.7: Ciment CEM I/A 42, 5 NA 442	25
Figure II.8: Eau potable	25
Figure II.9: Superplastifiant MEDAFLOW 30/30.....	26
Figure II.10: Fibre métallique	26
Figure II.11 : Déchets d'aluminium	26
Figure II.12 : Courbe granulométrique de déchets d'aluminium	28
Figure II.13 : Equivalent de Mixture de sable (SD+ 2,5% déchet d'aluminium)	29
Figure II.14: Courbe granulométrique du Mixture de sable (SD+ 2,5% déchet d'aluminium)	30
Figure II.15: Moules remplis en mortier	31
Figure II.16 : Table à choc.....	31
Figure II.17 : Malaxeur pour mortier	31
Figure II.18: Conservation des éprouvettes de mortier en chambre humide et dans l'eau	32
Figure II.19 : Essai de détermination du temps de prise du mortier.....	33
Figure II.20 : Échantillons immergés pour l'essai d'absorption d'eau par masse.....	33
Figure II.21 : Bain-marie de laboratoire	34
Figure II.22 : Balance hydrostatique.....	34
Figure II.23 : Essai de compression simple sur 4x4x4 cm ³	35
Figure II.24 : Essai de flexion sur éprouvette 4x4x16 cm ³	36
Figure II.25 : Essai de compression et flexion sur les éprouvettes	36

CHAPITRE III : Résultats et discussion

Figure III.1 : Le gonflement en présence de déchet d'aluminium	43
Figure III.2 : Le gonflement observé sur les échantillons	44
Figure III.3 : Taux d'absorption en fonction des formulations et du temps	44
Figure III.4 : Taux de porosité pour différentes formulations de mortier	45
Figure III.5 : Essai de flexion.....	46
Figure III.6 : Résistances de compressions des différents types de mortier à 7jours ,14 jours et à 28 jours (MPa) de conservation à l'eau	47
Figure III.7: Résistances de flexion des différents types de mortier à 7jours ,14 jours et à 28 jours (MPa) de conservation à l'eau	48
Figure III.8 : Résistances de compressions des différents types de mortier à 7jours ,14 jours et à 28 jours (MPa) de conservation à l'air	50
Figure III.9 : Résistances de flexion des différents types de mortier à 7jours ,14 jours et à 28 jours (MPa) de conservation à l'air	50
Figure III.10 : Résistances de compressions des différents types de mortier à 7jours ,14 jours et à 28 jours (MPa) de conservation en chambre humide	52
Figure III.11 : Résistances de flexion des différents types de mortier à 7jours ,14 jours et à 28 jours (MPa) de conservation en chambre humide.....	52
Figure III.12 : Influence du milieu de conservation sur l'aspect visuel des échantillons de mortier...	54

Liste des tableaux

CHAPITRE II : Méthodologie et choix des matériaux

Tableau II.1 : Masse volumique absolue du sable.....	20
Tableau II.2 : Masse volumique apparente du sable	22
Tableau II.3 : Equivalent de sable.....	22
Tableau II.4 : La qualité du sable	23
Tableau II.5 : Classement de sable.....	23
Tableau II.6 : Analyse granulométrique de sable de dune	24
Tableau II.7 : Masse volumique absolue du déchet d'aluminium	27
Tableau II.8 : Masse volumique apparente du déchet d'aluminium.....	27
Tableau II.9 : Analyse granulométrique du déchet d'aluminium	27
Tableau II.10 : Masse volumique absolue du Mixture de sable (SD+ 2,5% déchet d'aluminium).....	28
Tableau II.11 : Masse volumique apparente du Mixture de sable (SD+ 2,5% déchet d'aluminium) .	28
Tableau II.12 : Equivalent de sable du Mixture de sable (SD+ 2,5% déchet d'aluminium)	29
Tableau II.13 : Analyse granulométrique du Mixture de sable (SD+ 2,5% déchet d'aluminium).....	29

CHAPITRE III : Résultats et discussion

Tableau III.1 : Tableaux des formulations	39
Tableau III.2 : Temps de prise du mortier.....	40
Tableau III.3 : La masse des éprouvettes de mortier témoin sans superplastifiant	41
Tableau III.4 : La masse des éprouvettes de mortier témoin avec superplastifiant	41
Tableau III.5 : La masse des éprouvettes de mortier 2,5 % Al	41
Tableau III.6 : La masse des éprouvettes de mortier 2,5 % Al et 1,5 % Fibre métallique	42
Tableau III.7 : La masse des éprouvettes de mortier 2,5 % Al et 2,5 % Fibre métallique	42
Tableau III.8 : Résultats des essais de compression et de flexion des mortiers conservés dans l'eau à 7, 14 et 28 jours	47
Tableau III.9 : Résultats des essais de compression et de flexion des mortiers conservés dans l'air à 7, 14 et 28 jours	49
Tableau III.10 : Résultats des essais de compression et de flexion des mortiers conservés dans la chambre humide à 7, 14 et 28 jours.....	51

Liste des abréviations

E/C : le rapport eau - ciment.

ρ_{abs} : Masse volumique absolue.

ρ_{app} : Masse volumique apparente.

SD : sable de dune.

Al : Aluminium

Rc : Résistance à la compression.

Rf : Résistance en flexion.

Résumé :

Le renforcement des matériaux de construction, notamment du mortier, par des fibres est une technique de plus en plus répandue visant à améliorer leurs performances mécaniques, en particulier leur résistance à la compression et à la flexion. Ce travail, présenté dans le cadre de ce mémoire, consiste en une étude comparative entre différents types de mortiers légers renforcés par des fibres métalliques, incorporées à des taux volumiques de 1,5 % et 2,5 %. L'objectif principal est d'évaluer l'impact de ce renforcement sur les propriétés physico-mécaniques des échantillons, telles que la masse volumique, l'absorption d'eau, la résistance à la compression et à la flexion. Un programme expérimental rigoureux a été mis en place, incluant des essais normés permettant une analyse complète du comportement de ces matériaux. Ce travail s'inscrit dans une démarche scientifique visant à améliorer les performances des mortiers à travers des solutions innovantes basées sur l'ajout de fibres métalliques, dans le but de développer des matériaux adaptés aux différentes applications du secteur du bâtiment.

Mots clés : Fibres métalliques, Mortier léger, Résistance mécanique, Propriétés physiques, Matériaux de construction.

Abstract:

The reinforcement of construction materials, particularly mortar, with fibers is an increasingly widespread technique aimed at enhancing their mechanical performance, especially their compressive and flexural strength. This work, presented as part of this thesis, consists of a comparative study between different types of lightweight mortars reinforced with metallic fibers, incorporated at volumetric rates of 1.5% and 2.5%. The main objective is to evaluate the impact of this reinforcement on the physico-mechanical properties of the samples, such as bulk density, water absorption, compressive strength, and flexural strength. A rigorous experimental program was implemented, including standardized tests that allow for a comprehensive analysis of the behavior of these materials. This study is part of a scientific approach aimed at improving mortar performance through innovative solutions based on the addition of metallic fibers, with the goal of developing materials suitable for various applications in the construction sector.

Keywords: Metallic fibers, Lightweight mortar, Mechanical strength, Physical properties, Construction material

ملخص :

يُعدّ تدعيم مواد البناء، وخاصة المونة (الملاط)، بالألياف من التقنيات الحديثة التي تهدف إلى تحسين خصائصها الميكانيكية، خصوصاً مقاومتها للانضغاط والانحناء. يهدف هذا العمل، المُقدّم في إطار مذكرة التخرج، إلى إجراء دراسة مقارنة بين عدة أنواع من المونة الخفيفة المدعّمة بألياف معدنية مضافة بنسب حجمية متفاوتة (1.5% و 2.5%).

تركز الدراسة على تقييم تأثير هذا التدعيم على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للعينات، بما في ذلك الكثافة الحجمية، وامتصاص الماء، ومقاومة الانضغاط والانحناء وقد تم تنفيذ برنامج تجريبي دقيق اعتماداً على اختبارات معيارية تسمح بتحليل سلوك هذه المواد.

يندرج هذا العمل في إطار مقارنة علمية تهدف إلى تحسين أداء مواد البناء باستخدام حلول مبتكرة تعتمد على إدماج الألياف المعدنية، من أجل تطوير ملاط يتمتع بخواص محسنة تجعله مناسباً لتطبيقات مختلفة في قطاع البناء.

الكلمات المفتاحية: ألياف معدنية، مونة خفيفة، مقاومة ميكانيكية، خصائص فيزيائية، مواد البناء

Introduction générale

Introduction générale

Dans un contexte mondial marqué par la recherche de solutions durables et respectueuses de l'environnement, le secteur de la construction s'oriente de plus en plus vers l'utilisation de matériaux alternatifs, innovants et à faible impact écologique.

L'un des défis majeurs de ce secteur est la gestion efficace des déchets industriels, tout en améliorant les performances des matériaux de construction classiques.

C'est dans cette perspective que s'inscrit l'étude du mortier léger à base de déchets d'aluminium, renforcé par des fibres métalliques.

Les déchets d'aluminium, issus principalement des industries métallurgiques et de recyclage, représentent une source abondante et souvent sous-exploitée.

Leur valorisation dans les matériaux de construction, peut permettre de produire des mortiers légers avec des propriétés isolantes intéressantes.

L'ajout de fibres métalliques, quant à lui, vise à améliorer les performances mécaniques du mortier, notamment en termes de résistance à la traction, à la flexion et à la fissuration.


Ce mémoire s'intéresse donc à l'élaboration et à la caractérisation d'un mortier léger innovant, intégrant du déchet d'aluminium et des fibres métalliques, dans l'objectif de concilier légèreté, résistance et durabilité. Cette étude s'inscrit à la croisée des préoccupations environnementales et techniques, et ambitionne de proposer une solution prometteuse pour le développement de matériaux de construction écologiques et performants. Le présent travail est subdivisé en trois (3) chapitres, répartis comme suit :

- Le premier chapitre présente une vue d'ensemble des mortiers, en abordant leurs composants, leur classification et leurs types, avec un accent particulier

sur les mortiers légers, leurs utilisations et leurs avantages. Il traite également des types et des caractéristiques des fibres métalliques, ainsi que des possibilités de valorisation des déchets industriels, notamment les rebuts d'aluminium.

- Dans le 2ème chapitre comprend la présentation des matériaux utilisés dans la formulation des mortiers et leurs caractéristiques Par une étude expérimentale.
- Dans le 3ème chapitre nous avons présenté les résultats discutés ainsi que les conclusions retenues l'interprétation des résultats des essais.
- Enfin, une conclusion générale qui clôture ce mémoire en synthétisant les principaux résultats obtenus dans notre travail.

**Partie étude
bibliographique**



CHAPITRE I : Etude Bibliographique

I.1. Introduction :

Ce chapitre présente une revue sur la formulation et le comportement mécanique des mortiers légers et l'impact de l'introduction des fibres métalliques, ainsi que la présentation des types de fibres utilisés et les conditions d'expérimentation.

I.2. Les mortiers :

Le mortier est l'un des matériaux de construction les plus employés dans la maçonnerie pour lier les éléments entre eux et assurer la stabilité de la construction et combler les vides comme les blocs de bâtiment. Le mortier est constitué d'un mélange de sable ou de ciment (ciment ou chaux) et d'eau pour certaines proportions. Les types de mortiers diffèrent les uns des différents en fonction de la nature des constituants et de leur proportion, de l'utilisation et des conditions de durcissements. [1]

I.2.1. Les composants de mortier :

I.2.1.1. Le liant :

On emploie couramment des liants hydrauliques qui peuvent être le ciment, ce dernier étant une substance pulvérulente à base de silicate et d'aluminate, et de la chaux obtenue par cuisson.

Habituellement, on peut employer :[2]

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

I.2.1.2. Le sable :

Le sable est une matière essentielle pour la fabrication du mortier. Il forme la structure du mortier. Le ciment, et potentiellement la chaux, assure la liaison des grains de sable.

Le sable joue un rôle primordial dans un mortier afin de :

- Faciliter sa prise.
- Diminuer le coût de production du mortier.
- Réduire le retrait et ses effets (les fissures) en raison de l'incompressibilité du sable, ce qui entraîne une diminution du retrait. [3]

I.2.1.3 L'eau de gâchage :

L'eau joue un rôle essentiel, elle sert à humidifier le ciment, elle contribue dans la fabrication du béton ou du mortier, de même elle participe à sa maniabilité. L'eau doit être propre et ne pas comporter d'impuretés néfastes (matières organiques, alcalis). L'eau potable convient toujours et le gâchage à l'eau de mer est à proscrire, surtout pour le béton armé. Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers et des bétons sont détaillées dans la norme NA-442. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une maniabilité optimale. [2]



Figure I-1 : Confection d'un mortier [4]

I.2.2. Classification et types des mortiers :

a) La nature :

❖ Mortier de ciment :

Les mortiers de ciment sont des matériaux de construction très solides, prennent et durcissent rapidement. En outre, un dosage en ciment suffisant les rend presque imperméables. Les dosages usuels sont de l'ordre de 300 à 400 kg de ciment pour un mètre cube de sable. [5]

❖ Mortier de chaux :

Le mortier de chaux est un matériau gras et onctueux. Il sèche plus lentement que les mortiers de ciment, particulièrement quand la chaux est calcique. [5]

❖ Mortier bâtard :

Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir les propriétés des deux liants. En général, la chaux et le ciment sont employés en proportions égales ; néanmoins, nous pouvons accroître ou diminuer la quantité de l'un ou de l'autre selon l'application et la qualité voulue. [5]

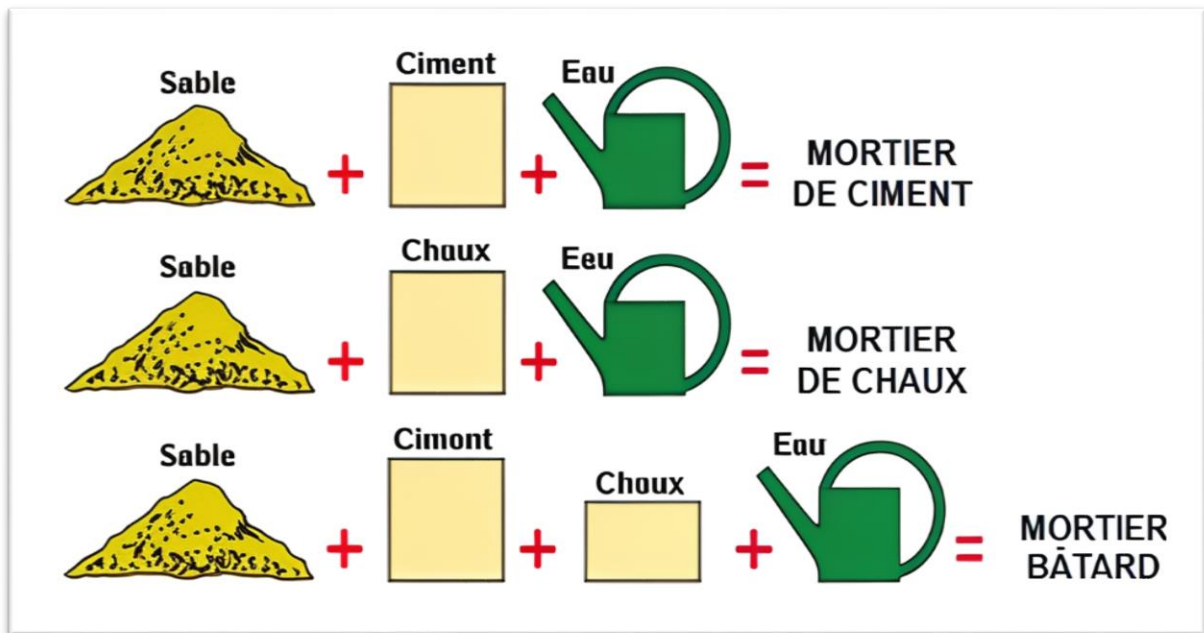


Figure I-2 : Les différents types de mortiers. [6]

❖ Mortier à base de ciment de maçonnerie :

Il s'agit d'un produit homologué contenant du ciment Portland et une charge minérale inerte (calcaire). Agents mouillants, agents imperméabilisants, agents entraîneurs d'air et autres additifs, Les adjuvants confèrent au sol une plasticité et une capacité de rétention d'eau, tout comme la chaux le fait au sol. Mortier de ciment. [1]

❖ Mortiers de plâtre :

Le mortier de plâtre a une consistance douce et fine, facile à étaler et à façonner. Le mortier de plâtre est souvent employé dans de nombreux ouvrages de maçonnerie complexes, surtout dans certains projets de restauration, où il est plus aisé de l'adapter à ce qui est restauré.

b) Suivant leur travail :

Généralement, les mortiers diffèrent selon leur champ d'application qui est très vaste. On peut citer les catégories suivantes :

- Mortier de pose.
- Mortier pour les crépis.
- Mortier pour le sol.
- Mortier pour les stucs.
- Mortier d'injection.
- Mortier pour les mosaïques.

- Mortiers spéciaux.
- Mortier de réparation pour pierres.

c) En fonction de leur masse volumique : [7]

❖ Mortier lourd :

La masse volumique de 1500 kg/m^3 et plus ; pour la préparation de ces mortiers, on utilise des sables lourds quartzeux et autres

❖ Mortier (léger) isolant :

La norme NBN-EN 998-2 définit un mortier de maçonnerie allégé comme étant un mortier de maçonnerie dont le poids volumique sec après durcissement est inférieur à 1300 kg/m^3

❖ Mortier léger :

Le mortier léger se distingue par sa capacité à être plus allégé que les mortiers classiques. En général, il est constitué de ciment, de matériaux légers et d'eau. Le polystyrène expansé, l'argile expansée ou les cendres volantes peuvent composer des granulats légers.

I.2.3. Type de mortier léger :

- **Le mortier léger fibré :** est composé de fibres qui lui donnent une résistance accrue à la traction et à la flexion.
- **Le mortier léger prêt à l'emploi :** sont livrés pré-mélangés et prêts à être utilisés.
- **Le mortier léger autoplaçant :** se distingue par sa fluidité et sa facilité d'installation sans vibration.

1) Utilisation de mortier léger :

Le mortier léger est le plus souvent utilisé pour créer des pentes afin de faciliter le drainage, isolation thermique et phonique des murs.

2) Avantages du mortier léger :

- Le mortier allégé affiche une légèreté d'environ 70 % face au mortier usuel, ce qui peut diminuer le poids supporté par les structures et les fondations.
- Il possède une performance d'isolation thermique supérieure face au mortier classique, ce qui

peut contribuer à minimiser les pertes de chaleur et à optimiser la performance énergétique des bâtiments.

- Peut pareillement contribuer à l'amélioration de l'isolation acoustique des édifices.
- Simple d'emploi, Il est en général aisé de mélanger et d'utiliser.

I.2.4. Caractéristiques principales des mortiers :

Les caractéristiques principales des mortiers sont : [8]

A.2.4. Ouvrabilité :

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

- **Table à secousses**

Après le démoulage du mortier, ce dernier reçoit 15 chocs en 15 secondes. On mesure le diamètre de la galette ainsi obtenue. L'étalement en % est donné par la formule :

$$E\% = 100 \frac{D_r - D_i}{D_r} \quad \text{Avec } D_r = \text{diamètre final et } D_i = \text{diamètre initial}$$

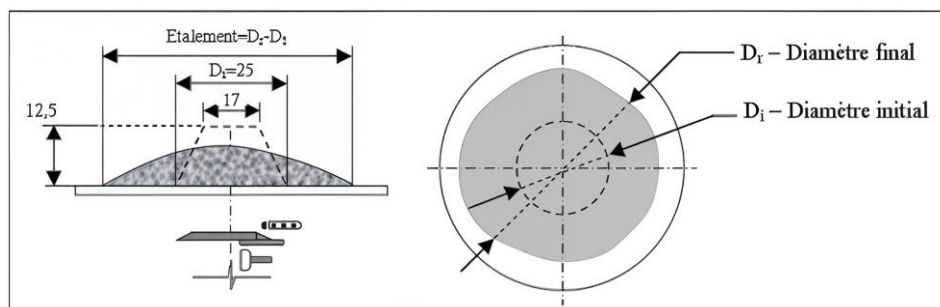


Figure I-3 : Table à secousses [8]

- **Le maniabilimètre du LCPC**

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

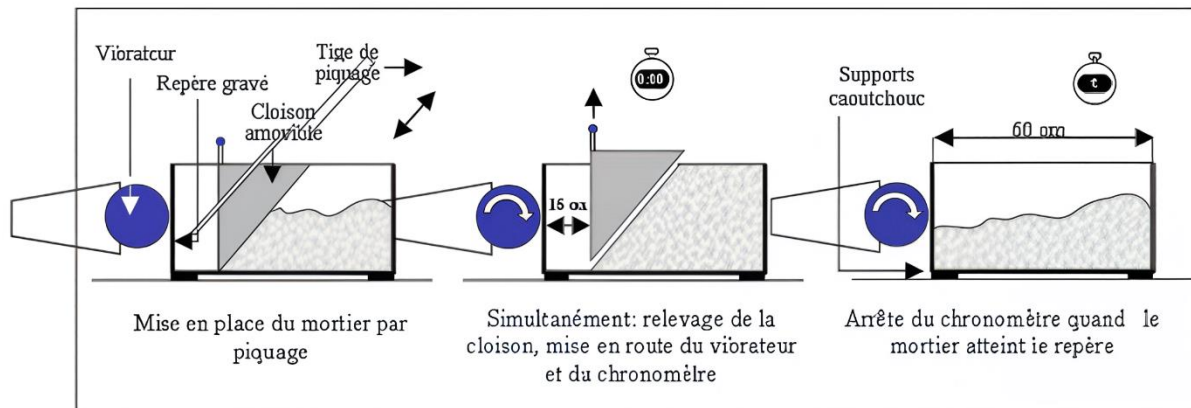


Figure I-4 : Principe de fonctionnement du maniabilimètre [8]

- **Le cône**

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

B.2.4. Prise :

Le temps de prise se mesure habituellement sur une pâte pure de ciment de consistance normale (24 à 30% d'eau) et conformément à la norme concernée (à l'aide de l'appareil de Vicat). Il est possible d'obtenir (hors norme) le temps de prise d'un mortier avec le même appareillage mais en plaçant une surcharge de 700 grammes sur le plateau supérieur. Le poids de l'aiguille pénétrant dans le mortier est de 1000 grammes. Le début de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du fond (taille des plus gros grains de sable) et la fin de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du niveau supérieur.

C.2.4. Résistances mécaniques :

Les tests sont généralement réalisés sur les éprouvettes prismatiques de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ conservés dans l'eau à $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Les éprouvettes sont testés en traction par flexion puis en compression. Les résistances, tant en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours).

Les résistances des mortiers dépendent de très nombreux facteurs :

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

D.2.4. Retraits et gonflements :

- **Retrait**

Le retrait a été mesuré sur des éprouvettes de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ après démoulage. Les éprouvettes sont conservées à 20°C et 50% d'humidité relative. Cette réaction de sevrage se déroule de manière approximativement logarithmique sur une période de 1 à 28 jours. Le mortier rétrécit plus rapidement que la pâte pure.

Le retrait du mortier sur pâte pure augmente avec le temps. Environ 1,5 à 2,5 Les premiers jours, puis il augmente de 2,5 à 3,5 dans un an. En moyenne, la résistance du mortier est 2 à 3 fois inférieure à celle de la pâte pure (utilisant le même ciment).

- **Gonflement**

Les mêmes éprouvettes à essai de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ ont été placés dans de l'eau à 20°C et l'expansion du mortier a été mesurée (le mortier se dilate lorsqu'il est placé dans l'eau). Elles sont généralement très faibles (l'expansion à l'aiguille de Le Chatelier du ciment stabilisé sur pâte pure est inférieure à 10 mm).

I.3. Les adjuvants :

Les adjuvants pour matériaux cimentaires sont des produits, sous forme de liquides ou en poudre, ajoutés aux matériaux cimentaires tels que les coulis, les mortiers et les bétons de ciment pour modifier leurs caractéristiques soit à l'état frais, soit à l'état durci. Les adjuvants sont incorporés lors du mélange dans des proportions définies selon chaque produit, ils sont le plus souvent inférieurs à (5 %) en masse de ciment [9] . Selon l'effet désiré on peut différencier trois grandes catégories d'adjuvants : [4]

- Action sur la plasticité et la compacité :
 - Les plastifiants réducteurs d'eau.
 - Les superplastifiants hauts réducteurs d'eau.
- Action sur les délais de prise et de durcissement :
 - Les accélérateurs de prise.
 - Les accélérateurs de durcissement.
 - Les retardateurs.

- Action sur la résistance aux agents extérieurs :
- Les entraîneurs d'air.
- Les hydrofuges de masse (employés afin de rendre les bétons et mortiers étanches).

I.4. Fibres métalliques :

En valeur, la résistance mécanique du mortier renforcé par ces fibres dépend de l'adhérence pour la fibre et le mortier. Les producteurs de fibres d'acier ont exploré divers moyens pour améliorer cette adhérence, en modifiant la texture de la surface des fibres, ce qui a donné naissance à de nombreuses sortes de fibres, qui se distinguent entre eux par leur diamètre, leur forme (ronde, carrée, rectangulaire), leur longueur et leur fonctionnement. Les diamètres des fibres d'acier se situent communément pendant lequel 0,1 et 0,7 mm, cependant leurs longueurs varient de 10 à 70 mm.



Figure I-5 : Différentes formes de fibres métalliques [10]

I.4.1. Types de fibres métalliques :

- **Fibres d'acier** : obtenues par tréfilage d'un fil laminé, avec formes et extrémités variées pour améliorer l'ancrage dans le béton, diamètre de 0,12 mm à plusieurs mm.
- **Fibres d'acier inoxydable** : plus résistantes à la corrosion, offrent flexibilité et durabilité dans environnements spécifiques.
- **Micro fibres métalliques ultra fines** : diamètre 0,12-0,20 mm, longueur 15-20 mm, pour applications spécifiques.

I.4.2. Avantages des fibres métalliques :

- Amélioration de la résistance mécanique.
- Contrôle et réduction des fissures.
- Renforcement multidirectionnel homogène.
- Résistance à la corrosion.
- Facilité et rapidité de mise en œuvre.
- Adaptabilité aux structures hyperstatiques.
- Diversité des formes et résistances.

I.5. Déchets industriels :

Un déchet industriel est une sorte de rebut produit par l'activité de l'industrie et qui affecte de façon négative le bien-être. Les secteurs les plus touchés sont : les manufacturiers, la construction, les services et l'agriculture. Les déchets industriels qui peuvent être triés, collectés et recyclés sont de plusieurs ordres. [11]

I.5.1. Déchets industriels spéciaux (DIS) :

Les rebus issus d'opérations économiques nocives sont semblables : déchets toxiques, déchets chimiques et aussi déchets nucléaires. Il est indispensable d'employer des méthodes de prévention particulières pour sauvegarder l'environnement et d'intensifier les contrôles administratifs en matière de stockage ou de transport. [11]

I.5.2. Déchets inertes :

Identique aux déchets économiques inertes : aucun changement n'est apporté aux déchets tels que effets physiques, chimiques ou biologiques importants. Ils proviennent essentiellement du domaine de la construction. [11]

I.5.3. Déchets industriels banals (DIB) :

Équivalent aux résidus d'activités économiques non dangereux non inertes : ils sont le plus souvent constitués de papiers, cartons, plastiques, bois, métaux, verres, matières organiques, végétales ou animales, provenant de l'utilisation d'emballages, de rebus ou de chutes de fabrication. Ces déchets sont plus simples à valoriser ou à recycler que les autres déchets.

I.6. Déchets d'aluminium :

L'aluminium ainsi que ses alliages sont largement utilisés non seulement pour la fabrication de fenêtres, de vitrines, de portes, et de façades décoratives, mais aussi de plus en plus pour des applications fonctionnelles telles que le coffrage, les toits, et les chemins de câbles.

- 1) Dans l'industrie, l'aluminium est un métal très courant, utilisé dans la production d'emballages, de véhicules, et d'ustensiles de cuisine, entre autres.
- 2) Les déchets d'aluminium proviennent essentiellement des processus de fabrication et de transformation dans le secteur industriel.
- 3) On trouve parmi ces déchets des résidus de découpe, des déchets, et des pièces qui ne fonctionnent pas correctement, par exemple.
- 4) L'aluminium se recycle aisément, et les déchets d'aluminium sont souvent collectés puis réutilisés dans le processus de production.
- 5) Le recyclage de l'aluminium aide à diminuer de manière significative la consommation énergétique ainsi que les émissions de gaz à effet de serre en comparaison avec la production à partir de minerai.

Les alliages d'aluminium se divisent en catégories selon leurs caractéristiques, comme les traitements thermiques et mécaniques, ainsi que leurs principaux éléments d'alliage. Il existe principalement deux grandes classifications d'alliages d'aluminium :

- **Alliages d'aluminium corroyés** : ces alliages, composés principalement d'aluminium, sont souvent destinés à être modelés par diverses méthodes de transformation (comme le laminage, le filage, le matriçage et la forge, entre autres).
- **Alliages d'aluminium destinés à la fonderie** : ces alliages, dont l'aluminium est l'élément principal, sont conçus pour être façonnés par des méthodes de fonderie. On les appelle fréquemment « alliages légers » en raison de leur densité significativement plus faible comparée à celle d'autres métaux employés dans l'industrie.



Figure I-6 : Déchets d'aluminium [13]

I.7. Valorisation des déchets industriels :

La valorisation implique tout procédé par lequel les déchets sont traités ou utilisés, leur conférant ainsi un marché ayant une valeur économique bénéfique. Ce terme inclut aussi bien le recyclage que la réutilisation. Pour réaliser un inventaire de toutes les options de traitement applicables à un type de déchet spécifique, on peut recourir à la méthode d'étude suivante :

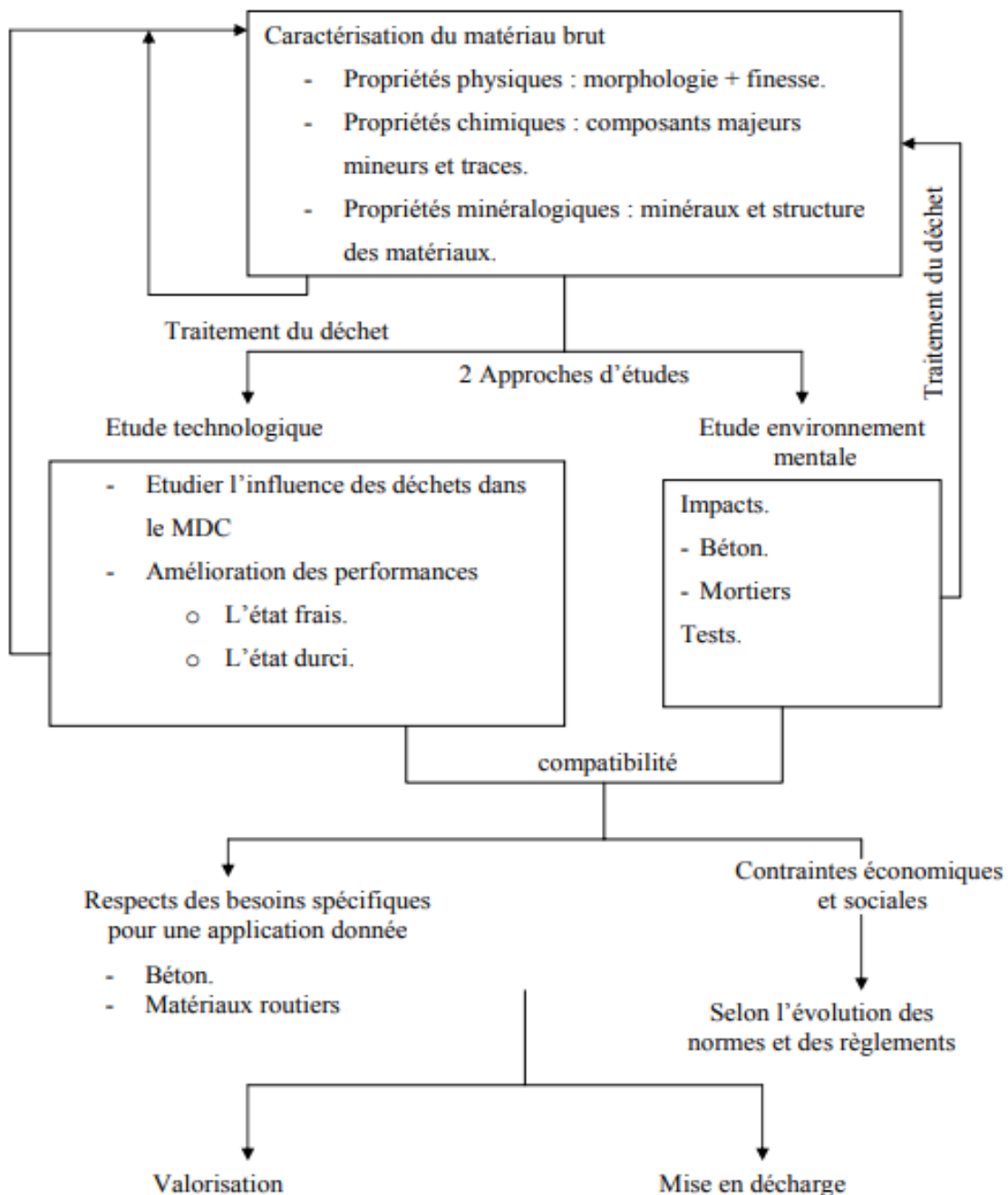


Figure I-7 : Méthodologie d'étude des déchets.[14]

I.8. Conclusion :

Ce premier chapitre nous a permis d'établir les bases théoriques indispensables à la compréhension du mortier, en abordant sa composition, les rôles des divers constituants tels que le ciment, le sable et l'eau de gâchage , ainsi que les types de mortiers, notamment les mortiers légers et fibrés. L'accent a été mis sur les avantages et les applications des mortiers légers, ainsi que sur leurs caractéristiques essentielles. Enfin, l'utilisation de déchets industriels, notamment les déchets d'aluminium.

Partie étude expérimentale



CHAPITRE II : Méthodologie et choix des matériaux

II.1. Introduction :

Les matériaux utilisés dans cette étude jouent un rôle très important dans la détermination des propriétés du mortier à l'état frais et durci. Il est donc essentiel de comprendre les différentes propriétés des composants utilisés dans les formulations de mortier, car chaque composant peut affecter de manière significative le mortier confonctionné. Dans ce chapitre, nous décrivons chaque composant du mortier. Le pourcentage de déchets d'aluminium ajouté était un pourcentage fixe de 2,5 %, et nous avons ajouté des pourcentages variables de fibres métallique (0 %, 1,5 %, 2,5 %).

II.2. Objectif du travail :

L'objectif principal de ce chapitre est d'étudier la méthodologie à adopter pour la sélection et l'analyse des matériaux utilisés dans cette travail. À travers une série d'essais pratiques sur différents matériaux tels que le ciment, le sable, le mortier et l'eau de gâchage, ce chapitre vise à évaluer leurs propriétés physiques et mécaniques afin de garantir leur conformité aux normes de qualité. Il s'agit également d'examiner l'impact de l'utilisation des déchets d'aluminium et les fibres métalliques dans une optique de durabilité et de valorisation des ressources. Ce travail permet ainsi d'acquérir une meilleure compréhension des caractéristiques techniques des matériaux et de leur comportement dans des conditions réelles d'utilisation.

II.3. Méthodologie du travail pratique :

La caractérisation de tous les matériaux utilisés en premier lieu :

- Un ciment produit de la cimenterie Biskria de type CEM 1 42.5 R.
- Le sable de dune de la région de Djamaa.
- Adjuvant (medaflow30).
- Déchets d'aluminium (0/3) mm.
- Fibres métalliques (1.5%) et (2.5%) pour le ciment.

Dans la deuxième étape, nous avons déterminé la formule de la suspension de référence ainsi que toutes les différentes versions de la suspension analysées en fonction de la quantité de fibres métallique. Nous avons testé le mortier pour ses propriétés physiques et mécaniques, et présenté une conclusion résumant tous les aspects discutés dans cette recherche.

II.4. Caractéristiques des matériaux utilisées :

II.4.1. Sable :

Le sable utilisé dans cette recherche et le sable de dune de la région de DJAMAA wilaya d'Oued Souf.



Figure II.1 : Sable de dune (DJAMAA)

II.4.1.1. Les essais sur sable :

❖ Masses volumiques :

Les tableaux suivants présentent les résultats de mesure de la masse volumique absolue et apparente du sable

- **Masse volumique absolue : selon la Norme [NFP 18-301][15]**

$$\rho = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

M : Masse de sable.

V₁ : Volume de l'eau.

V₂ : Volume total (sable + eau).

Tableau II.1 : Masse volumique absolue du sable

N° d'essai	M(g)	V0 (ml)	V1 (ml)	ρ abs (g/cm ³)	ρ abs Moy(g/cm ³)
1	100	300	339	2,56	2,61
2	200	300	375	2,67	
3	300	300	415	2,61	



Figure II.2 : La masse volumique absolue (éprouvette graduée)

- **Masse volumique apparente : Selon la Norme [NFP 18-554][16]**

$$\rho = \frac{M_1 - M_0}{V}$$

V : Volume du récipient

M₀ : Masse du récipient propre et vide

M₁ : Masse du récipient rempli



Figure II.3 : Appareil de mesure de la masse volumique apparente

CHAPITRE II : Méthodologie et choix des matériaux

Tableau II.2 : Masse volumique apparente du sable

N° d'essai	M0 (g)	M1 (g)	V (cm ³)	ρ (g/cm ³)	ρ app Moy(g/cm ³)
1	218	1792,2	100	15,74	1,586
2	218	1802,4	100	15,84	
3	218	1819	100	16,01	

❖ **Equivalent de sable : Selon la Norme [NFP 18-598][17]**

h_1 : La hauteur du sable + éléments fins.

h_2 : La hauteur du sable visuel.

h' : La hauteur du sable propre seulement au piston

ESV : Equivalent de sable visuel.

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

ESP : Equivalent de sable piston.

$$ESP = \frac{h'}{h_1} \times 100$$

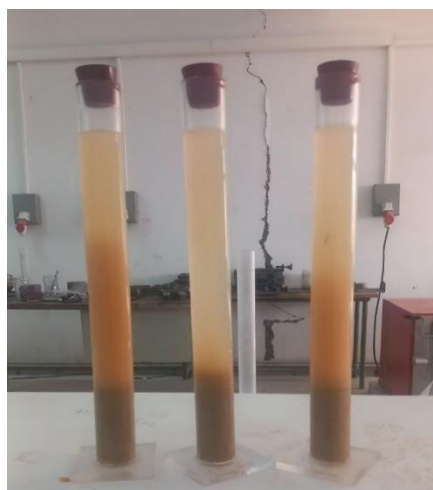


Figure II.4 : Essai d'équivalent de sable

Les tableaux suivants présentent les résultats obtenir de l'essai d'équivalent de sable :

Tableau II.3 : Equivalent de sable

N° d'essai	h_1 (cm)	h_2 (cm)	ESV (%)	h' (cm)	ESP (%)
1	10,6	8,7	82,08	8,5	80,19
2	10,5	8,7	82,85	8,5	80,95
3	10,8	8,9	82,41	8,6	70,63

CHAPITRE II : Méthodologie et choix des matériaux

Tableau II.4 : La qualité du sable

ESV (%)	ESP (%)	Qualité du sable
ESV < 65	ESP < 60	Sable argileux : à ne pas utiliser
$65 \leq \text{ESV} < 75$	$60 \leq \text{ESP} < 70$	Sable légèrement argileux : admissible pour bétons courants avec risque de retrait important
$75 \leq \text{ESV} < 85$	$70 \leq \text{ESP} < 80$	Sable propre : convient bien pour les bétons de haute qualité
ESV \geq 85	ESP \geq 80	Sable très propre : absence presque totale de fines argileuses

❖ Analyse Granulométrique: NF EN933-1[18]

Le module de finesse : Norme Française [NFP 18-540][19]

Le module de finesse est égal au 1/100e de la somme des refus cumulés exprimée en Pourcentages sur les tamis de la série suivante :

0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5mm.

$$MF = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis [0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,50 - 5]}$$

Tableau II.5 : Classement de sable

Quantité de sable	Module de finesse
Gros	>2,5
Moyen	2 à 2,5
Fin	1,5 à 2
Très fin	0,11 à 1,5



Figure II.5 : Équipements d'analyse granulométrique

CHAPITRE II : Méthodologie et choix des matériaux

Tableau II.6 : Analyse granulométrique de sable de dune

Ouverture des Tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus Cumulés Rc (g)	Pourcentage Refus Cumulés (%)	Pourcentage Tamisât Cumulés (%)
5	0	0	0	100
2.5	1	1	0,06	99,94
1.25	81	82	5,46	94,54
0.63	801	883	58,86	41,14
0.315	432	1315	87,66	12,34
0.16	160	1475	98,33	1,67
0.08	23	1498	99,86	0,14
Fond tamis	2	1500	100	0
MF	2,50 alors le sable est moyen			

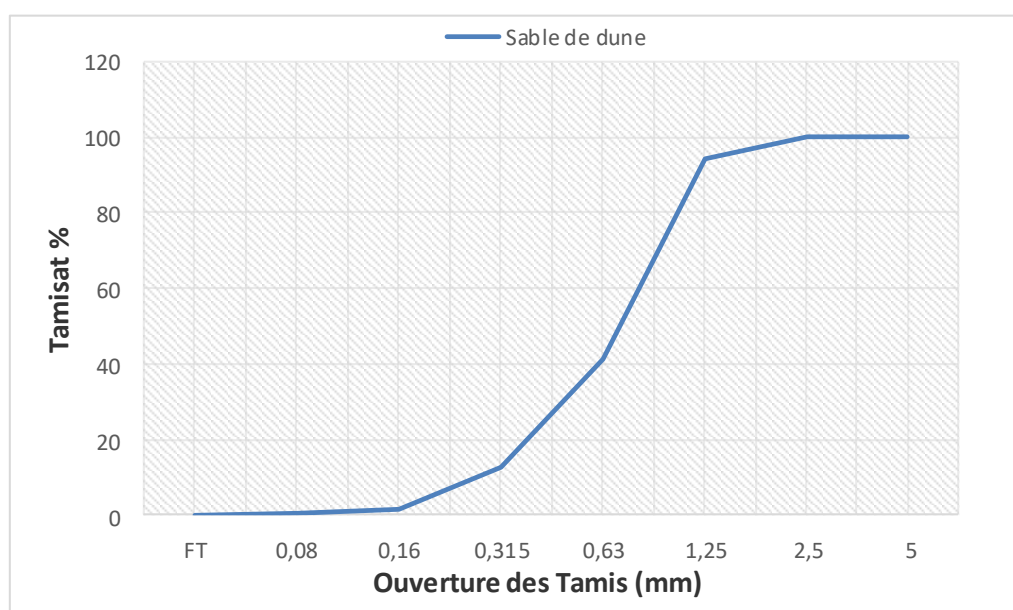


Figure II.6 : Courbe granulométrique du sable de dune

II.4.2. Ciment :

Le ciment utilisé dans le cadre de ce travail est désigné sous le nom de CIMENT PORTLAND. Ce dernier est un ciment portland composé, de classe 42.5 et de sous classe A provenant de la cimenterie BISKRIA de branis-Biskra il se compose de : 80% à 94% de clinker (KK). Complément à 100% composé d'un ou plusieurs constituants, tel que pouzzolane (Z), calcaire (L), etc. Sulfate de calcium sous forme de gypse en tant que régulateur de prise.



Figure II.7: Ciment CEM I/A 42, 5 NA 442 [20]

II.4.3. L'eau de gâchage :

L'eau utilisée pour le gâchage de mortier est une eau potable du réseau publique de la ville de M'sila.



Figure II.8: Eau potable [21]

II.4.4. L'adjuvant :

Dans ce travail, nous avons utilisé l'adjuvant Medaflow 30. Description à base de polycarboxylates d'éther qui améliore considérablement les propriétés du béton. MEDAFLOW 30 vous permet d'obtenir du béton et de mortier de haute qualité. Permet de réduire la quantité d'eau de gâchage. MEDAFLOW 30 n'a aucun effet retardateur.



Figure II.9: Superplastifiant MEDAFLOW 30/30

II.4.5. Fibre Métallique :

Des fibres métalliques fournies par la société Granitex (voir Annexes) ont été utilisées dans cette étude. Celles-ci ont été découpées en deux segments égaux, chacun mesurant environ 2,5 cm de longueur



Figure II.10: Fibre métallique

II.4.6. Déchets d'aluminium :

Nous avons collecté les résidus d'aluminium dans les ateliers de fabrication d'aluminium, puis filtré les restes expérimentaux.



Figure II.11 : Déchets d'aluminium

CHAPITRE II : Méthodologie et choix des matériaux

II.4.6.1. Les essais sur déchets d'aluminium :

❖ Masses volumiques :

Les tableaux suivants présentent les résultats de mesure de la masse volumique absolue et apparente du déchet d'aluminium

• Masse volumique absolue

Tableau II.7 : Masse volumique absolue du déchet d'aluminium

N° d'essai	M(g)	V0 (ml)	V1 (ml)	ρ abs (g/cm ³)	ρ abs Moy(g/cm ³)
1	101,5	150	188	2,67	2,68
2	111,7	150	192	2,66	
3	76,4	200	228	2,73	

• Masse volumique apparente

Tableau II.8 : Masse volumique apparente du déchet d'aluminium

N° d'essai	M0 (g)	M1 (g)	V (cm ³)	ρ (g/cm ³)	ρ app Moy(g/cm ³)
1	218	298,4	100	0,8	0,87
2	218	305,5	100	0,9	
3	218	308	100	0,9	

❖ Analyse granulométrique

Tableau II.9 : Analyse granulométrique du déchet d'aluminium

Ouverture des Tamis (mm)	Masse des refus Ri (g)	Masse des refus Cumulés Rc (g)	Pourcentage Refus Cumulés (%)	Pourcentage Tamisât Cumulés (%)
5	609	609	60,9	39,1
2.5	4	613	61,3	38,7
1.25	184	797	79,7	20,3
0.63	88	885	88,5	11,5
0.315	85	970	97	3
0.16	20	990	99	1
0.08	8	998	99,8	0,2
Fond tamis	2	1000	100	0
MF	4,9			

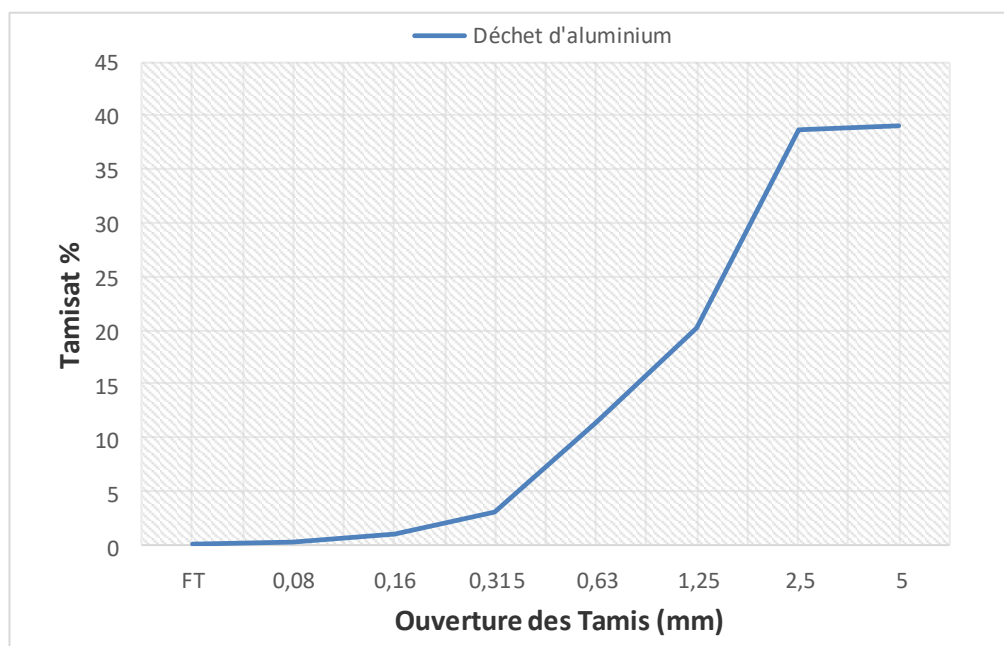


Figure II.12 : Courbe granulométrique de déchets d'aluminium

- **Mixture de sable (SD+ 2,5% déchet d'aluminium)**

- ❖ **Masse volumique**

Les tableaux suivants présentent les résultats de mesure de la masse volumique absolue et apparente du Mixture de sable (SD+ 2,5% déchet d'aluminium)

- **Masse volumique absolue**

Tableau II.10 : Masse volumique absolue du Mixture de sable (SD+ 2,5% déchet d'aluminium)

N° d'essai	M(g)	V0 (ml)	V1 (ml)	ρ abs (g/cm ³)	ρ abs Moy(g/cm ³)
1	50	150	169	2,63	2,63
2	50	150	169	2,63	
3	50	150	169	2,63	

- **Masse volumique apparente**

Tableau II.11 : Masse volumique apparente du Mixture de sable (SD+ 2,5% déchet d'aluminium)

N° d'essai	M0 (g)	M1 (g)	V (cm ³)	ρ (g/cm ³)	ρ app Moy(g/cm ³)
1	3,4	258,1	159,8	1,62	1,61
2	3,4	261,2	159,8	1,63	
3	3,4	252,4	159,8	1,58	

❖ Equivalent de sable

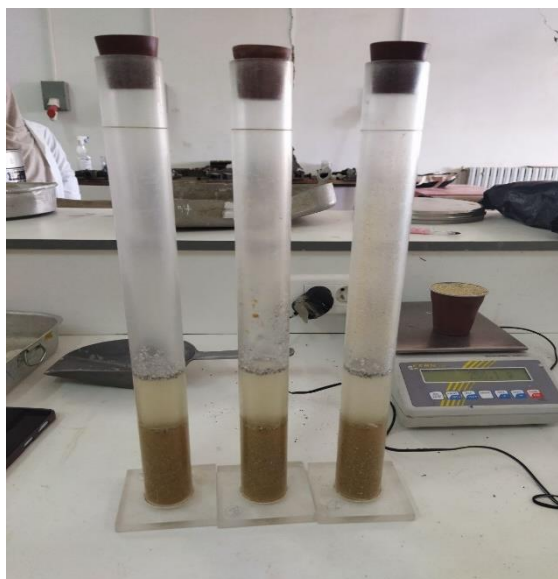


Figure II.13 : Equivalent de Mixture de sable (SD+ 2,5% déchet d'aluminium)

Les tableaux suivants présentent les résultats obtenir de l'essai d'équivalent de Mixture de sable (SD+ 2,5% déchet d'aluminium) :

Tableau II.12 : Equivalent de sable du Mixture de sable (SD+ 2,5% déchet d'aluminium)

N° d'essai	h_1 (cm)	h_2 (cm)	ESV (%)	h_2' (cm)	ESP (%)
1	10,3	9,1	88,34	9	87,38
2	10,6	9,5	89,62	9,1	85,85
3	10,8	9,6	88,88	9,2	85,19

❖ Analyse granulométrique

Tableau II.13 : d'Analyse granulométrique du Mixture de sable (SD+ 2,5% déchet d'aluminium)

Ouverture des Tamis (mm)	Masse des refus R_i (g)	Masse des refus Cumulés R_c (g)	Pourcentage Refus Cumulés (%)	Pourcentage Tamisât Cumulés (%)
5	0	0	0	100
2.5	0	0	0	100
1.25	62	62	4,13	95,87
0.63	840	902	60,13	39,87
0.315	453	1355	90,33	9,67
0.16	123	1478	98,53	1,47
0.08	20	1498	99,86	0,14
Fond tamis	2	1500	100	0
MF	2,53			

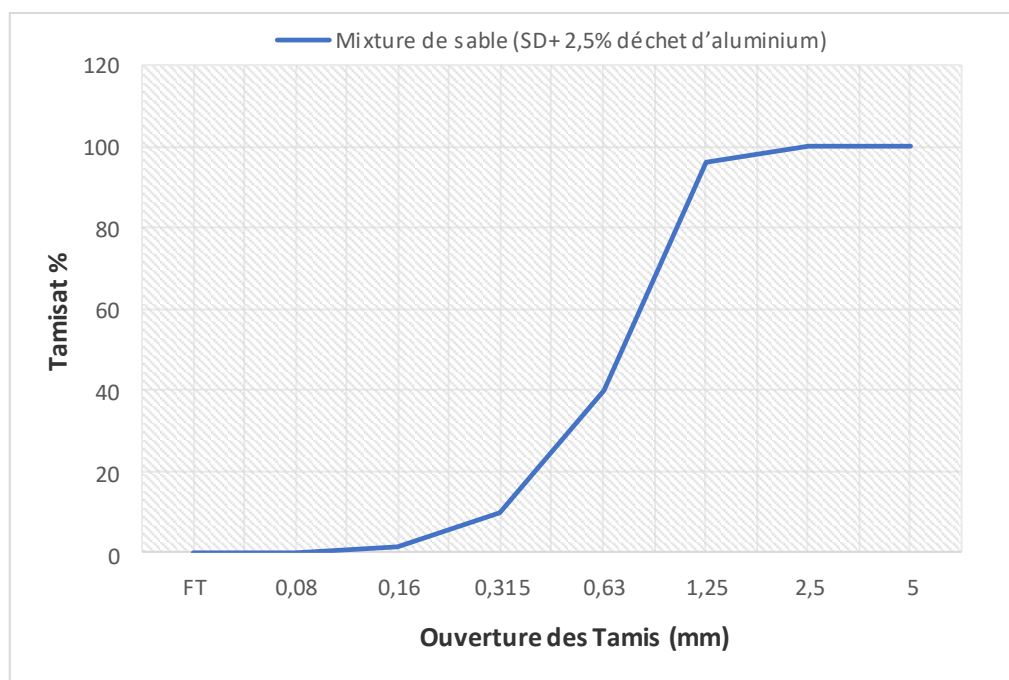


Figure II.14: Courbe granulométrique du Mixture de sable (SD+ 2,5% déchet d'aluminium)

II.4.7. Mortier :

II.4.7.1. Protocole de fabrication des éprouvettes :

Pour confectionné les échantillons, nous avons suivi les étapes suivantes :

- Prépare plusieurs moules de dimensions appropriées 4cm x 4cm x 16cm en fonction de la quantité de mortier.
- Appliquer de l'huile sur les moules et s'assurer qu'ils sont bien serrés.
- Remplir les moules de mortier par couches successives.
- Placer les moules sur une table vibrante et leur faire subir 10 chocs.
- Compacter le mortier à l'aide de la table vibrante, Enfin, aplanir la surface à l'aide d'une règle métallique et la démouler avec précaution.



Figure II.16 : Table à choc



Figure II.15: Moules remplis en mortier



Figure II.17 : Malaxeur pour mortier

II.4.7.2. Conservation des éprouvettes :

Après 24 h de la confection des éprouvettes et après le démoulage, on les garde dans différents milieux de conservation (l'eau potable, l'air libre et chambre humide). Ensuite, les éprouvettes sont gardées jusqu'au jour de l'essai.

L'âge des éprouvettes pour les essais de résistance mécanique est compter à partir du moment du démoulage des éprouvettes, jusqu'au jour de l'essai. Pour les essais de résistance nous avons couru à différents âges dans les limites suivantes : 7,14 et 28 jours.



Figure II.18: Conservation des éprouvettes de mortier en chambre humide et dans l'eau

1) Essai sur mortier frais :

➤ Mesure du temps de prise sur mortier :

Les essais de prise peuvent être réalisés sur mortier. Lorsque l'essai se déroule sur mortier standard, il est régi par la norme NF P15-431. L'appareil employé est toujours l'appareil de Vicat, mais surchargé par une masse additionnelle de 700 g. L'aiguille de 1,13mm de diamètre qui pénètre le mortier est alors soumise à une charge de 1000 g (masse de 700 g + la masse de la partie mobile ou coulissante qui pèse 300 g). La méthode d'essai est la même que celle décrite pour la pâte de ciment. Le début de prise est défini comme l'instant où l'aiguille cesse de s'enfoncer sous l'effet de ce chargement et s'arrête à une distance d du fond du moule de 2,5mm. Note : L'essai de détermination du temps de prise du mortier, avec ou sans adjuvants, est régi par la norme EN 480-2.



Figure II.19 : Essai de détermination du temps de prise du mortier

2) Essai sur mortier durci :

➤ Essai de l'absorption :

L'absorption d'eau définit en pourcentage d'après la formule suivante :

$$A = \left(\frac{M_h - M_s}{M_s} \right) \times 100[\%]$$

M_h : La masse de l'éprouvette saturée d'eau superficiellement sèche en (g).

M_s : La masse de l'éprouvette sèche en (g).

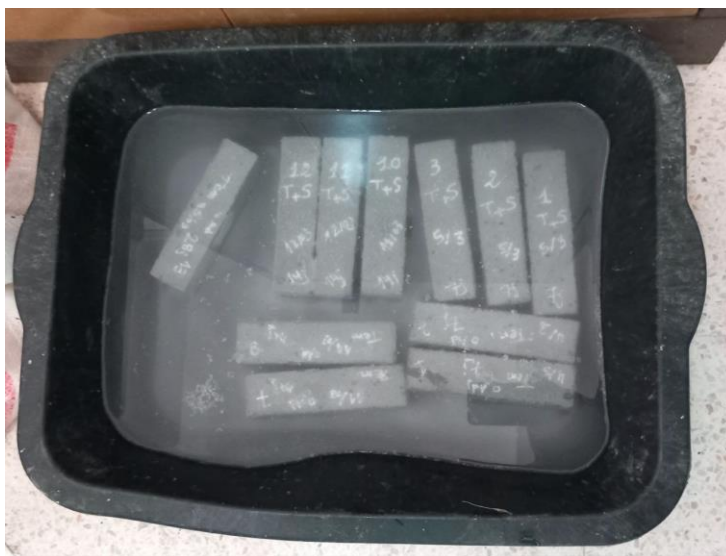


Figure II.20 : Échantillons immergés pour l'essai d'absorption d'eau

➤ Essai de porosité :

La porosité c'est le pourcentage des vides, est calculée par la formule suivante :

Où :

$$P = \left(\frac{M_1 - M_3}{M_1 - M_2} \right) \times 100[\%]$$

P : porosité ou volume des vides (%).

M₁ : c'est la masse saturée par l'eau en (g).

M₂ : c'est la masse immergée dans l'eau en (g).

M₃ : c'est la masse séchée par l'étuve à 105° C en (g).



Figure II.22 : Balance hydrostatique



Figure II.21 : Bain-marie de laboratoire

➤ Résistance à la compression :

Les demi-prismes obtenus à l'examen de flexion doivent être testés en compression sur les faces latérales de moulage sous une section de 40 mm × 40 mm.

Éprouver les demi-prismes en compression sur les faces latérales, centrer chaque demi-prisme latéralement par rapport aux plateaux de la machine à ± 0,5 mm près et longitudinalement de sorte que le bout du prisme soit en porte-à-faux par rapport aux plateaux ou aux plaques auxiliaires d'environ 10 mm. Accroître la charge sans à-coups durant toute la durée d'application de la charge jusqu'à la rupture.

$$R_c = \frac{F_c}{A} \text{ en (Mpa)}$$

Avec : F_c : Charge maximale de rupture (en N).

A : Aire de la section en mm^2 ($40 \times 40 = 1600 \text{ mm}^2$).



Figure II.23 : Essai de compression simple sur $4 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$

➤ **Résistance à la flexion :**

Mettre le prisme dans un appareil de flexion avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculaire à ceux-ci. Appliquer la charge verticalement par le rouleau de chargement sur la face latérale opposée du prisme et l'accroître sans à-coups, jusqu'à rupture.

$$R_f = \frac{1,5F_f l}{b^3}$$

Où : R_f est la résistance à la flexion, en N/mm^2 .

b est le côté de la section carrée du prisme, en mm.

F_f est la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture, en N.

l est la distance entre les appuis, en mm.



Figure II.24 : Essai de flexion sur éprouvette 4x4x16 cm³



Figure II.25 : Essai de compression et flexion sur les éprouvettes

II.5. Conclusion :

Ce chapitre présente la partie la plus importante de notre recherche, qui présente en totalité un travail expérimental. Il nous a permis de revoir une bonne partie des essais que nous avons vus durant notre graduation et de maîtriser encore mieux ces calculs, ajustement de la composition des mortiers, malaxage et fabrication des mortiers. Le bon choix du programme expérimental demeure la clé de réussite de ce travail. Dans le chapitre suivant, nous allons présenter et discuter les résultats mécaniques de ces mortiers ainsi que le choix de la proportion de l'adjuvant et les essais mécaniques.



CHAPITRE III : Résultats et discussion

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats du travail pratique effectué au sein du laboratoire de génie civil de l'université Mohamed Boudiaf M'sila. Notre recherche a pour but d'étudier le comportement mécanique et la résistance des mortiers à base d'aluminium et de fibres métalliques.

Le but est d'examiner l'influence de ces deux derniers éléments sur les caractéristiques mécaniques des mortiers, les résultats ont été comparés avec ceux d'un mortier normal (témoin). L'ensemble des résultats sont présentés dans des tableaux et illustrés sur des figures.

III.2. Formulation des mortiers :

Nous avons étudié les caractéristiques mécaniques de cinq formulations de mortier à savoir :

Formulation 01 : Mortier témoin formulé sans super plastifiant.

Formulation 02 : Mortier témoin formulé avec super plastifiant.

Formulation 03 : Mortier avec 2,5% de déchet d'aluminium.

Formulation 04 : Mortier avec 2,5% de déchet d'aluminium et 1,5% de fibres métalliques.

Formulation 05 : Mortier avec 2,5% de déchet d'aluminium et 2,5% de fibres métalliques.

III.3. Les compositions :

Hors les mortiers témoin nous avons formulé trois mortiers avec déchets et fibres métalliques :

- Un pourcentage constant de déchet d'aluminium (2,5 %).
- Trois pourcentages différents de fibres métallique (0 %, 1 %, 1,5 %).
- Du sable de Djamaa – Oued Souf.

Les mortiers témoin ont été préparés : l'un contenant des adjuvants, et l'autre sans adjuvants, servant de mortier témoin. Ces deux formulations ne contiennent ni fibres métalliques ni déchet d'aluminium.

La confection des mortiers a été réalisée conformément à la norme EN 196-1[22]. Les compositions des différents types de formulations de mortier sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : Tableaux des formulations

Formulation	SD (g)	Eau (ml)	Ciment (g)	Al (g)	Fibre métallique (g)	Super plastifiant (g)
Mortier normal sans super plastifiant (témoin)	1350	225	450	0	0	0
Mortier avec super plastifiant (témoin)	1350	225	450	0	0	5,4
Mortier 2,5 % Al	1316,25	225	450	33,75	0	5,4
Mortier 2,5 % Al ; 1,5 % Fibre métallique	1316,25	221,63	443,25	33,75	6,75	5,32
Mortier 2,5 % Al ; 2,5 % Fibre métallique	1316,25	219,38	438,75	33,75	11,25	5,26

III.4. Les essais mécaniques et physiques sur le mortier :

III.4.1. Temps de prise du mortier :

Le tableau ci-dessous présente les temps de prise initiale et finale des différentes formulations de mortier étudiées

Tableau III.2 : Temps de prise du mortier

Formulation (Mortier)	Sans super plastifiant (témoin)	Avec super plastifiant (témoin)	2,5 % Al	2,5 % Al ; 1,5 % Fibre métallique	2,5 % Al ; 2,5 % Fibre métallique
Début de prise	1h 42 min	1h 56 min	1h 29 min	51 min 48 s	58 min 33 s
Fin de prise	3h 34 min	4h 10 min	2h 24 min	1h 48 min	3h 10 min

1. Mortier sans superplastifiant (témoin) Cette formulation sert de référence pour la comparaison avec les autres mélanges. Elle présente un temps de prise modéré, conforme au comportement d'un mortier traditionnel sans adjuvants.
2. Mortier avec superplastifiant L'ajout du superplastifiant entraîne un retard notable du temps de prise, aussi bien initial que final. Cela est dû à l'effet du superplastifiant qui améliore l'ouvrabilité du mortier tout en réduisant la cohésion entre les particules aux premiers stades, ce qui retarde le début des réactions d'hydratation entre l'eau et le ciment.
3. Mortier avec 2,5 % de déchets d'aluminium L'utilisation de 2,5 % de déchets d'aluminium, sans ajout de fibres, permet une accélération du temps de prise par rapport au mélange témoin. Ce phénomène est attribué à une réaction entre l'aluminium et les constituants du mortier, ce qui stimule les processus d'hydratation.
4. Mortier avec 2,5 % de déchets d'aluminium et 1,5 % de fibres Dans la composition contenant 2,5 % de déchets d'aluminium et 1,5 % de fibres métalliques, on observe le temps de prise initial et final le plus court parmi toutes les formulations étudiées. Cette accélération est attribuée à une réaction entre les déchets d'aluminium et les constituants du mortier, ce qui a favorisé la prise. La présence modérée de fibres métalliques a également contribué à améliorer la cohésion interne et à renforcer la stabilité de la structure dès les premières phases de durcissement.
5. Mortier avec 2,5 % de déchets d'aluminium et 2,5 % de fibres métalliques Bien que le temps de prise initial soit proche de celui de la formulation précédente, le temps de prise final est relativement plus long. Cela pourrait s'expliquer par le fait qu'une teneur plus élevée en fibres métalliques entraîne une dispersion plus importante des constituants, réduisant les contacts directs entre les particules, ce qui ralentit la phase finale du durcissement.

III.4.2. Les masse des éprouvettes avant et après le durcissement :

Les tableaux ci-après illustrent les valeurs du poids avant durcissement, du poids après durcissement ainsi que de la masse volumique des différentes formulations.

- **Formulation 01 :**

Tableau III.3 : La masse des éprouvettes de mortier témoin sans superplastifiant

La masse avant le durcissement (g)	La masse après le durcissement (g)	La perte (%)	La masse volumique (G/cm ³)
576	548	4,86	2,14
584	550	5,82	2,15
579	549	5,18	2,14
566	539	4,77	2,11

- **Formulation 02 :**

Tableau III.4 : La masse des éprouvettes de mortier témoin avec superplastifiant

La masse avant le durcissement (g)	La masse après le durcissement (g)	La perte (%)	La masse volumique (g/cm ³)
581	564	2,93	2,20
551	536	2,72	2,09
563	546	3,02	2,13
584	561	3,94	2,19
565	543	3,89	2,12
564	546	3,19	2,13

- **Formulation 03 :**

Tableau III.5 : La masse des éprouvettes de mortier 2,5 % Al

La masse avant le durcissement (g)	La masse après le durcissement (g)	La perte (%)	La masse volumique (g/cm ³)
540	517	4,26	2,02
533	511	4,13	2
517	501	3,09	1,96
487	470	3,49	1,84
531	508	4,33	1,98
530	508	4,15	1,98
529	509	3,78	1,99

- **Formulation 04 :**

Tableau III.6 : La masse des éprouvettes de mortier 2,5 % Al et 1,5 % Fibre métallique

La masse avant le durcissement (g)	La masse après le durcissement (g)	La perte (%)	La masse volumique (g/cm ³)
522	497	4,79	1,94
522	500	4,21	1,95
482	459	4,77	1,79
510	488	4,31	1,91
531	508	4,33	1,98
524	501	4,39	1,96
508	491	3,35	1,92
487	471	3,29	1,84
498	478	4,02	1,87

- **Formulation 05 :**

Tableau III.7 : La masse des éprouvettes de mortier 2,5 % Al et 2,5 % Fibre métallique

La masse avant le durcissement (g)	La masse après le durcissement (g)	La perte (%)	La masse volumique (g/cm ³)
530	508	4,15	1,98
522	498	4,60	1,95
519	495	4,62	1,93
513	496	3,31	1,94
510	486	4,71	1,90
526	503	4,37	1,96
525	499	4,95	1,95
495	477	3,64	1,86
500	483	3,4	1,89

❖ **L'analyse des masses volumiques des différentes formulations de mortier**

La masse volumique la plus élevée a été enregistrée avec la formulation témoin contenant le superplastifiant (Formulation 02), en raison de l'amélioration de la cohésion et de la réduction des vides. La masse volumique la plus faible a été observée pour les formulations contenant des déchets d'aluminium (Formulations 03, 04, 05), ce qui confirme l'effet allégeant de ce matériau. La présence de fibres métalliques augmente légèrement la masse volumique, mais cet effet ne compense pas totalement la réduction de densité induite par l'aluminium.

III.4.3. Le Gonflement des éprouvettes :

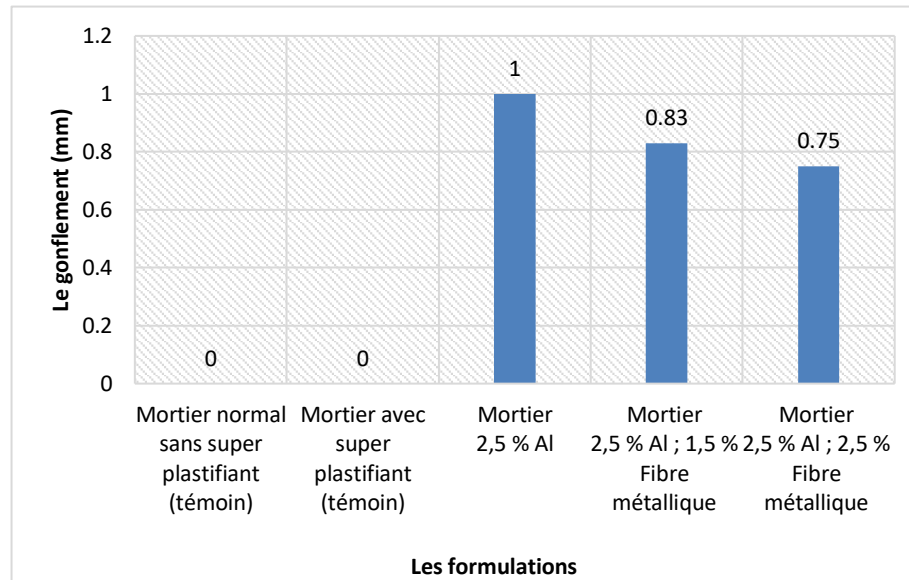


Figure III.1 : Le gonflement en présence de déchet d'aluminium

La figure III.1 illustre l'effet de l'ajout de déchets d'aluminium et de fibres métalliques sur le gonflement des éprouvettes de mortier.

1. Mortier normal sans adjuvant (témoin) : Aucun gonflement significatif n'a été observé, ce qui est attendu en l'absence de composants expansifs ou de renforts mécaniques.
2. Mortier avec superplastifiant (témoin) : Également, aucun gonflement n'a été enregistré, ce qui indique que le superplastifiant seul n'induit pas de gonflement.
3. Mortier avec 2,5 % de déchets d'aluminium : Cette formulation a présenté le gonflement le plus important (1,00), ce qui confirme l'effet expansif des déchets d'aluminium. Ce phénomène s'explique par une réaction chimique entre l'aluminium et certains composants de la matrice cimentaire.
4. Mortier avec 2,5 % Al + 1,5 % fibres métalliques : Le gonflement diminue à 0,83, indiquant que l'introduction de fibres métalliques contribue à limiter l'expansion grâce à un meilleur renforcement interne et une meilleure maîtrise des déformations.
5. Mortier avec 2,5 % de déchets d'aluminium + 2,5 % de fibres métalliques : Le taux de gonflement a encore diminué pour atteindre 0,75, ce qui confirme l'hypothèse selon laquelle une teneur plus élevée en fibres métalliques permet un meilleur contrôle du phénomène de gonflement.



Figure III.2 : Le gonflement observé sur les échantillons

III.4.4. Absorption :

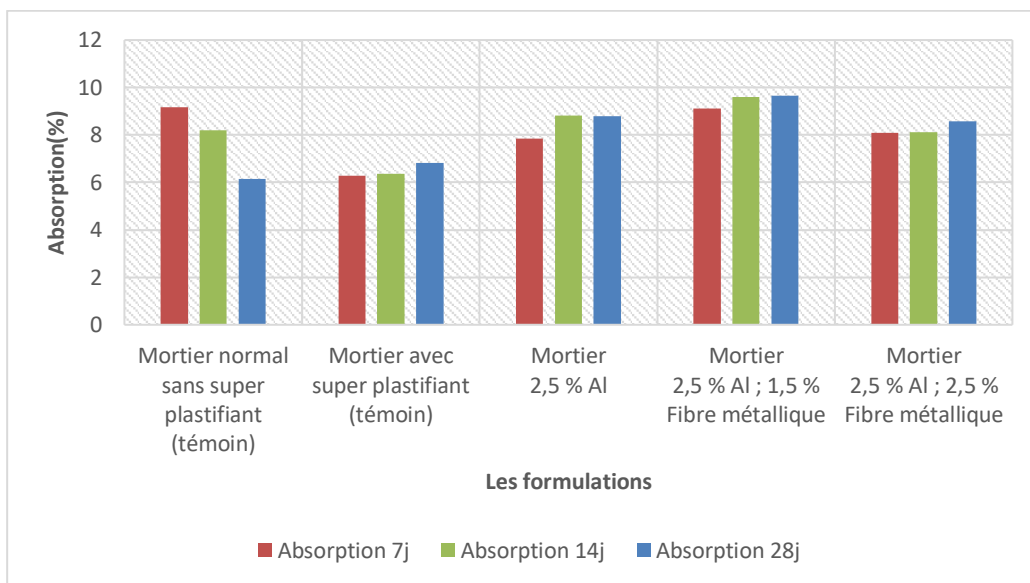


Figure III.3 : Taux d'absorption en fonction des formulations et du temps

L'analyse des résultats de l'essai d'absorption met en évidence l'influence notable de la composition du mortier et du temps de cure sur le comportement hydrique des différentes formulations.

Deux mortiers de référence ont été utilisés comme points de comparaison : le mortier ordinaire sans superplastifiant, qui a affiché les valeurs d'absorption les plus élevées à tous les âges, et le mortier témoin contenant un superplastifiant, dont l'absorption a été nettement réduite. Cette différence souligne l'effet bénéfique du superplastifiant sur la compacité de la matrice et la réduction de la porosité. Comparativement au mortier témoin, l'ajout de 2,5 % de déchet d'aluminium a entraîné

une légère hausse de l'absorption, traduisant une possible augmentation de la porosité induite par la réaction de l'aluminium. L'association de 2,5 % de déchets d'aluminium et de 1,5 % de fibres métalliques a donné lieu à la valeur d'absorption la plus élevée parmi toutes les formulations, ce qui suggère un effet synergique défavorable entre les deux ajouts, favorisant la création de vides supplémentaires. Toutefois, en augmentant la teneur en fibres métalliques à 2,5 %, une légère diminution de l'absorption a été observée, indiquant une probable amélioration de la dispersion des fibres dans la matrice. Globalement, une tendance décroissante de l'absorption a été constatée avec l'augmentation de la durée de cure (de 7 à 28 jours), traduisant une densification progressive de la matrice cimentaire et une réduction continue de la porosité.

III.4.5. Porosité :

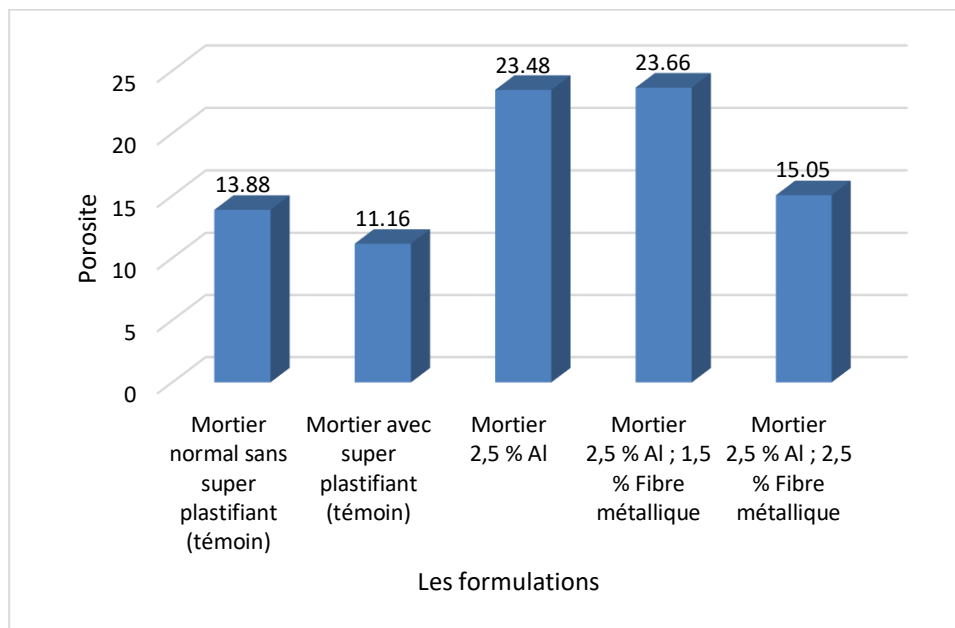


Figure III.4 : Taux de porosité pour différentes formulations de mortier

L'analyse des résultats de la porosité révèle des différences significatives entre les différentes formulations du mortier. Le mortier ordinaire sans superplastifiant a présenté une porosité relativement élevée (13,88 %), ce qui reflète une structure moins compacte et plus perméable aux fluides. En revanche, l'utilisation d'un superplastifiant dans le mortier témoin a entraîné une diminution notable de la porosité (11,16 %), confirmant son rôle dans l'amélioration de la compacité de la matrice et la réduction des vides. L'ajout de 2,5 % de déchets d'aluminium a conduit à une augmentation importante de la porosité (23,48 %), indiquant une structure plus poreuse. Ce phénomène s'accroît nettement lorsqu'on associe l'aluminium à 1,5 % de fibres métalliques, atteignant une porosité maximale de 23,66 %, ce qui suggère un effet défavorable entre les deux ajouts, compromettant la cohésion du mortier. Cependant, une amélioration notable a été observée en augmentant la teneur en fibres métalliques à 2,5 %, réduisant la porosité à 15,05 %. Cela pourrait s'expliquer par une meilleure

dispersion des fibres et leur capacité à limiter le développement de vides, renforçant ainsi la structure interne du mortier.

❖ Analyse comparative des résultats d'absorption et de porosité des différentes formulations de mortier

Il existe une corrélation directe entre la porosité et le taux d'absorption à 28 jours, dans la mesure où une porosité plus élevée implique la présence de davantage de chemins permettant la pénétration de l'eau à l'intérieur du mortier.

Les superplastifiants ont démontré leur efficacité dans la réduction de la porosité, ce qui se traduit par une diminution du taux d'absorption. En revanche, l'ajout de fibres à un effet double : il est bénéfique en termes de renforcement des propriétés mécaniques, mais peut également augmenter la porosité si la répartition des fibres dans le mélange n'est pas bien maîtrisée.

III.4.6. La résistance à la flexion / compression :

La résistance à la flexion / compression dépend de la nature du milieu de conservation



Figure III.5 : Essai de flexion

III.4.6.1. Cas de conservation à l'eau :

Tableau III.8 : Résultats des essais de compression et de flexion des mortiers conservés dans l'eau à 7, 14 et 28 jours

Formulation	7 jours		14 jours		28 jours	
	Rc (MPa)	Rf (MPa)	Rc (MPa)	Rf (MPa)	Rc (MPa)	Rf (MPa)
Mortier normal sans super plastifiant (témoin)	32,51	4,85	34,87	5,16	43,83	6,37
Mortier avec super plastifiant (témoin)	36,75	5,91	43,68	6,77	44,25	7,68
Mortier 2,5 % Al	14,51	3,37	16,76	3,66	18,61	4,04
Mortier 2,5 % Al ; 1,5 % Fibre métallique	9,21	3	10,16	3,10	15,96	3,30
Mortier 2,5 % Al ; 2,5 % Fibre métallique	11,28	3,08	16,61	3,12	19,82	3,47

Chaque résultat de la résistance à la compression représente la moyenne de six valeurs

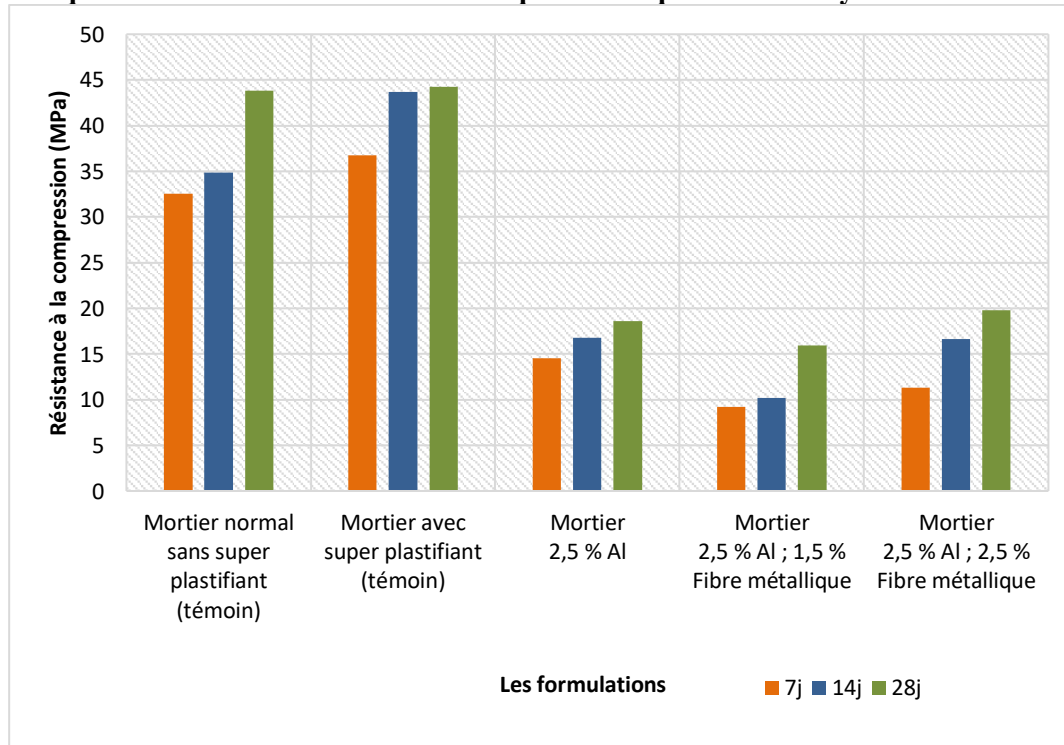


Figure III.6 : Résistances de compressions des différents types de mortier à 7jours ,14 jours et à 28 jours (MPa) de conservation à l'eau

Chaque résultat de la résistance à la flexion représente la moyenne de trois valeurs

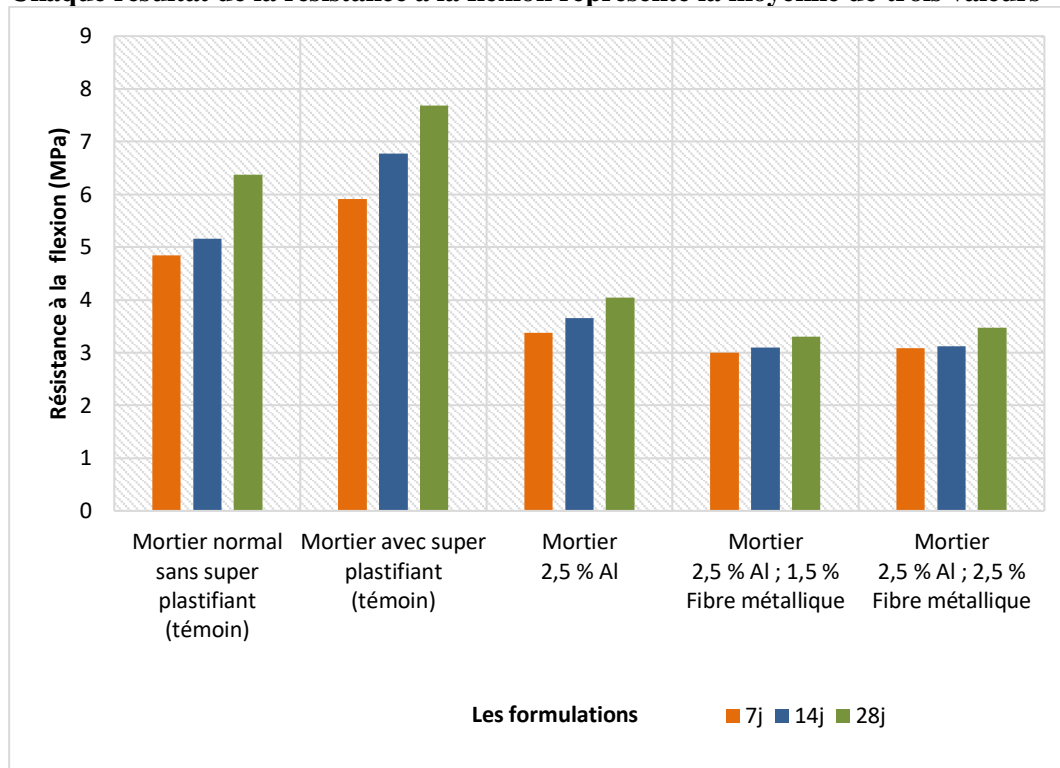


Figure III.7: Résistances de flexion des différents types de mortier à 7jours ,14 jours et à 28 jours (MPa) de conservation à l'eau

❖ Discussion des résultats des essais de flexion et compression de conservation à l'eau :

À partir le tableau III.8 et les figures III.9 et III.10 nous constatons ce qui suite : le mortier avec superplastifiant a présenté les meilleures performances mécaniques. À 28 jours, la résistance à la compression atteint 44,25 MPa contre 43,83 MPa pour le témoin sans adjuvant. La résistance à la flexion passe de 6,37 MPa (sans adjuvant) à 7,68 MPa (avec superplastifiant). Cela confirme l'efficacité du superplastifiant dans l'amélioration de l'homogénéité du mélange, la réduction de la porosité et, par conséquent, le renforcement des propriétés mécaniques. En revanche, les formulations contenant 2,5 % de déchets d'aluminium ont montré une nette diminution des performances. À 28 jours, la résistance à la compression ne dépasse pas 18,61 MPa, et la résistance à la flexion reste limitée à 4,04 MPa. Cela signifie que l'incorporation d'une certaine proportion d'aluminium a eu pour effet d'affaiblir la matrice du mortier. Les formulations associant l'aluminium à des fibres métalliques ont présenté une amélioration modérée des performances mécaniques, particulièrement en compression, et ce, avec l'augmentation du taux de fibres. Par exemple, la composition contenant 2,5 % de déchets d'aluminium et 2,5 % de fibres métalliques atteint une résistance à la compression de 19,82 MPa et une résistance à la flexion de 3,47 MPa. Il convient de noter que l'incorporation des fibres métalliques a exercé un effet plus significatif sur la résistance à la compression que sur la résistance à la flexion. Cette différence peut être attribuée à la capacité des fibres à limiter la

propagation des fissures sous chargement axial, sans toutefois avoir un impact aussi prononcé en flexion.

III.4.6.2. Cas de conservation à l'air :

Tableau III.9 : Résultats des essais de compression et de flexion des mortiers conservés dans l'air à 7, 14 et 28 jours

Formulation	7j		14j		28j	
	Rc (MPa)	Rf (MPa)	Rc (MPa)	Rf (MPa)	Rc (MPa)	Rf (MPa)
Mortier normal sans super plastifiant (témoin)	23,33	4,22	25,74	4,66	26	5,47
Mortier avec super plastifiant (témoin)	25,23	5,36	29,78	6,14	32,74	6,69
Mortier 2,5 % Al	9,29	2,97	9,78	3,03	12,76	3,70
Mortier 2,5 % Al ; 1,5 % Fibre métallique	8,31	2,43	9,04	2,98	10,38	3,45
Mortier 2,5 % Al ; 2,5 % Fibre métallique	9,58	3,11	12,32	3,19	12,91	3,90

Chaque résultat de la résistance à la compression représente la moyenne de six valeurs

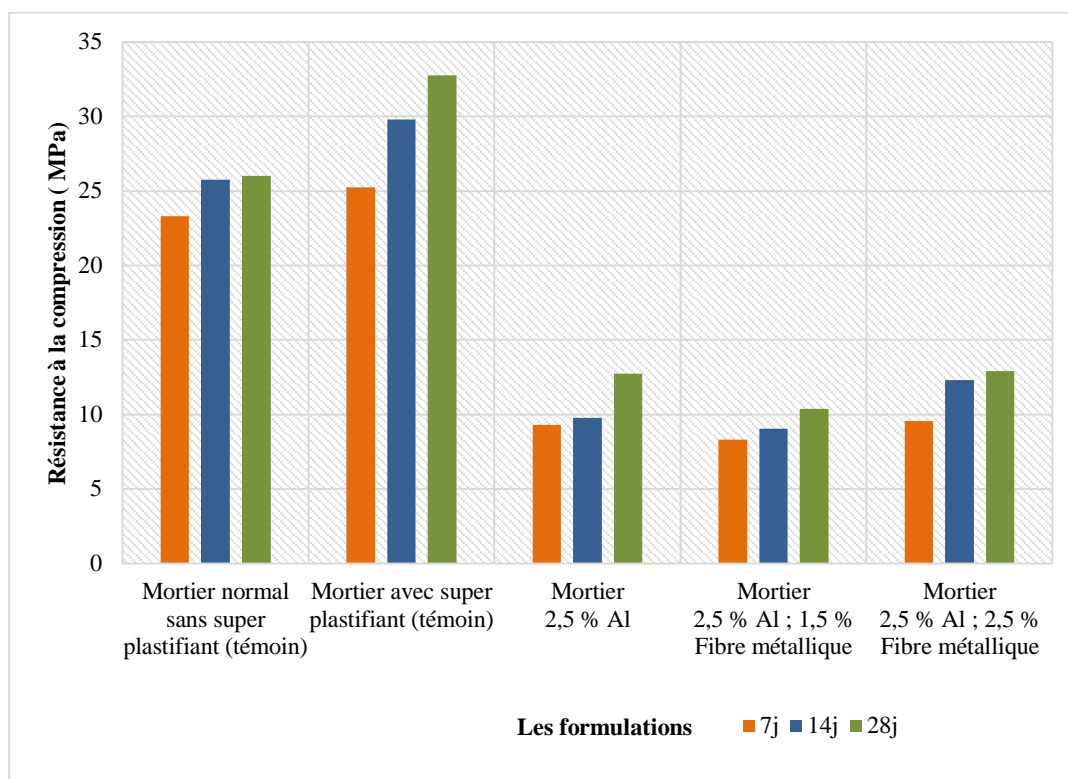


Figure III.8 : Résistances de compressions des différents types de mortier à 7jours ,14 jours et à 28 jours (MPa) de conservation à l'air

Chaque résultat de la résistance à la flexion représente la moyenne de trois valeurs

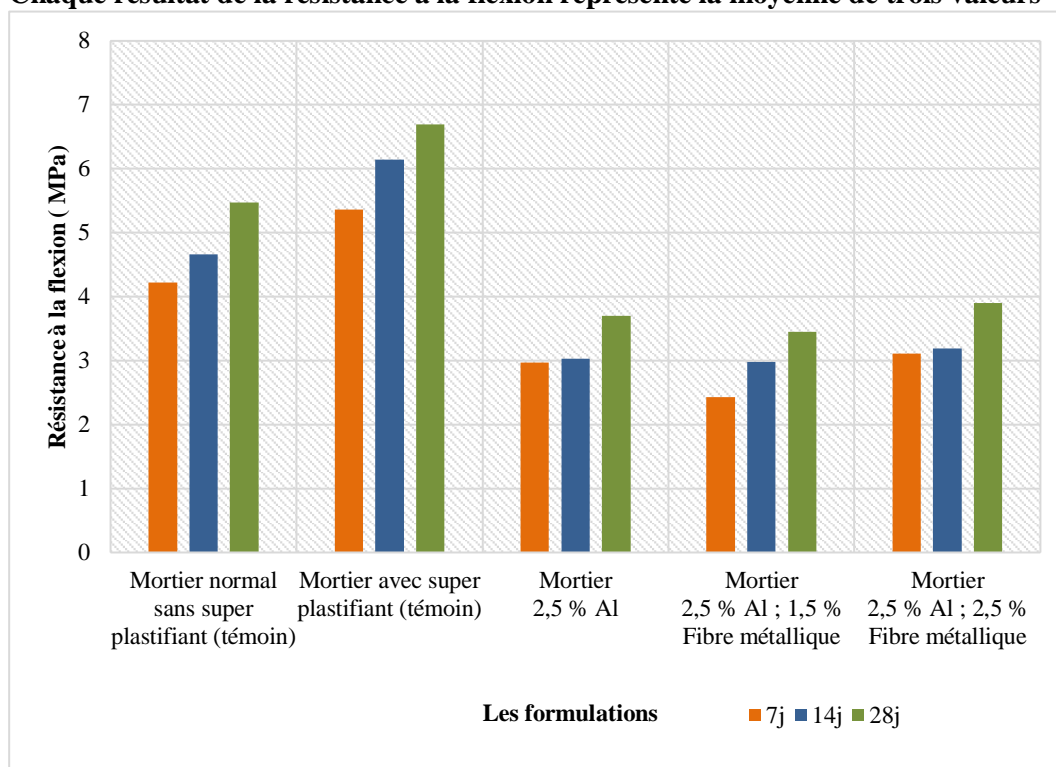


Figure III.9 : Résistances de flexion des différents types de mortier à 7jours ,14 jours et à 28 jours (MPa) de conservation à l'air

❖ Discussion des résultats des essais de flexion et compression de conservation à l'air :

Les résultats montrent à partir le tableau III.9 et les figures III.11 et III.12 que le mortier témoin avec superplastifiant présente les meilleures performances mécaniques, atteignant 32,74 MPa en compression et 6,69 MPa en flexion à 28 jours, grâce à une meilleure compacité du mélange. Attire de comparaison, le mortier témoin sans superplastifiant atteint seulement 26 MPa en compression et 5,47 MPa en flexion. L'introduction de 2,5 % de déchets d'aluminium réduit les résistances, avec des valeurs de 12,76 MPa (Rc) et 3,70 MPa (Rf) à 28 jours. Toutefois, l'ajout de fibres métalliques améliore légèrement ces performances : le mortier contenant 2,5 % d'Al + 2,5 % de fibres atteint 12,91 MPa en compression et 3,90 MPa en flexion, montrant quelles fibres jouent un rôle positif dans le renforcement, surtout en flexion. Cela indique quelles fibres contribuent à limiter la propagation des fissures et à améliorer la cohésion interne du mortier.

III.4.6.3. Cas de conservation en chambre humide :

Tableau III.10 : Résultats des essais de compression et de flexion des mortiers conservés dans la chambre humide à 7, 14 et 28 jours

Formulation	7j		14j		28j	
	Rc (MPa)	Rf (MPa)	Rc (MPa)	Rf (MPa)	Rc (MPa)	Rf (MPa)
Mortier normal sans superplastifiant (témoin)	32,13	4,09	36,54	4,88	42,57	5,71
Mortier avec superplastifiant (témoin)	44	5,53	46,88	5,87	49,52	6,16
Mortier 2,5 % Al	12,11	2,54	15,6	3,73	16,54	3,78
Mortier 2,5 % Al ; 1,5 % Fibre métallique	9,63	2,27	13,05	3,40	13,54	3,42
Mortier 2,5 % Al ; 2,5 % Fibre métallique	14,84	3,11	17,07	3,50	17,89	4,28

Chaque résultat de la résistance à la compression représente la moyenne de six valeurs

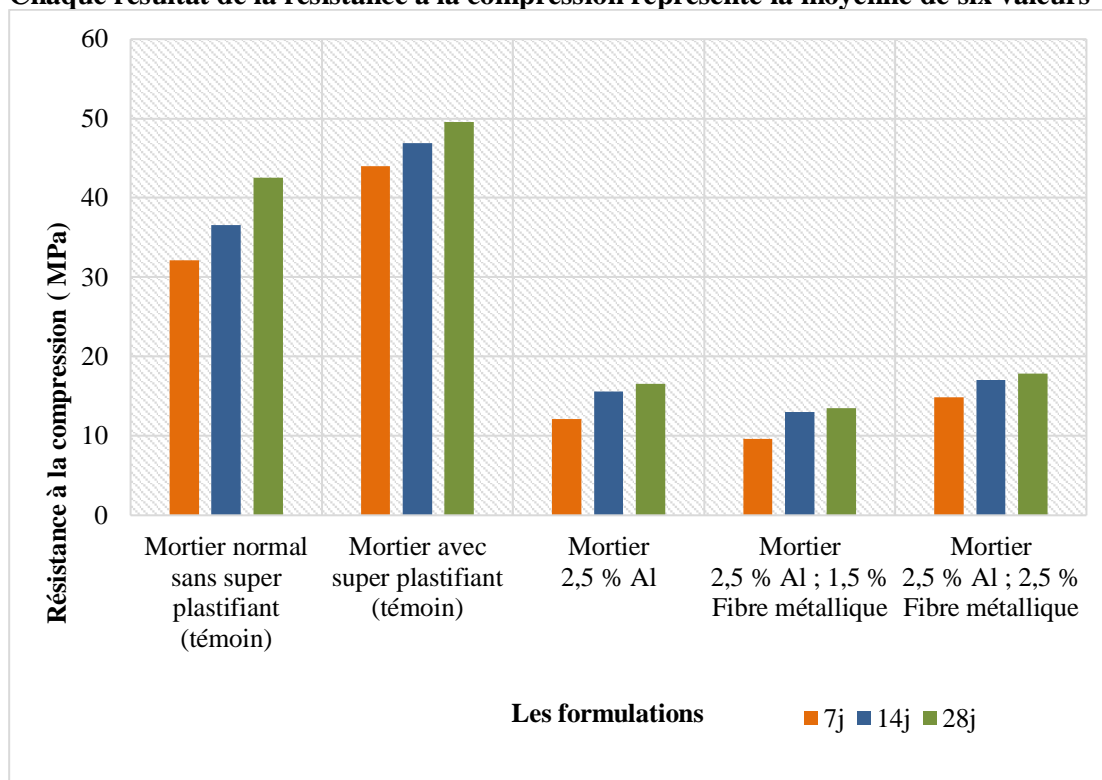


Figure III.10 : Résistances de compressions des différents types de mortier à 7jours ,14 jours et à 28 jours (MPa) de conservation en chambre humide

Chaque résultat de la résistance à la flexion représente la moyenne de trois valeurs

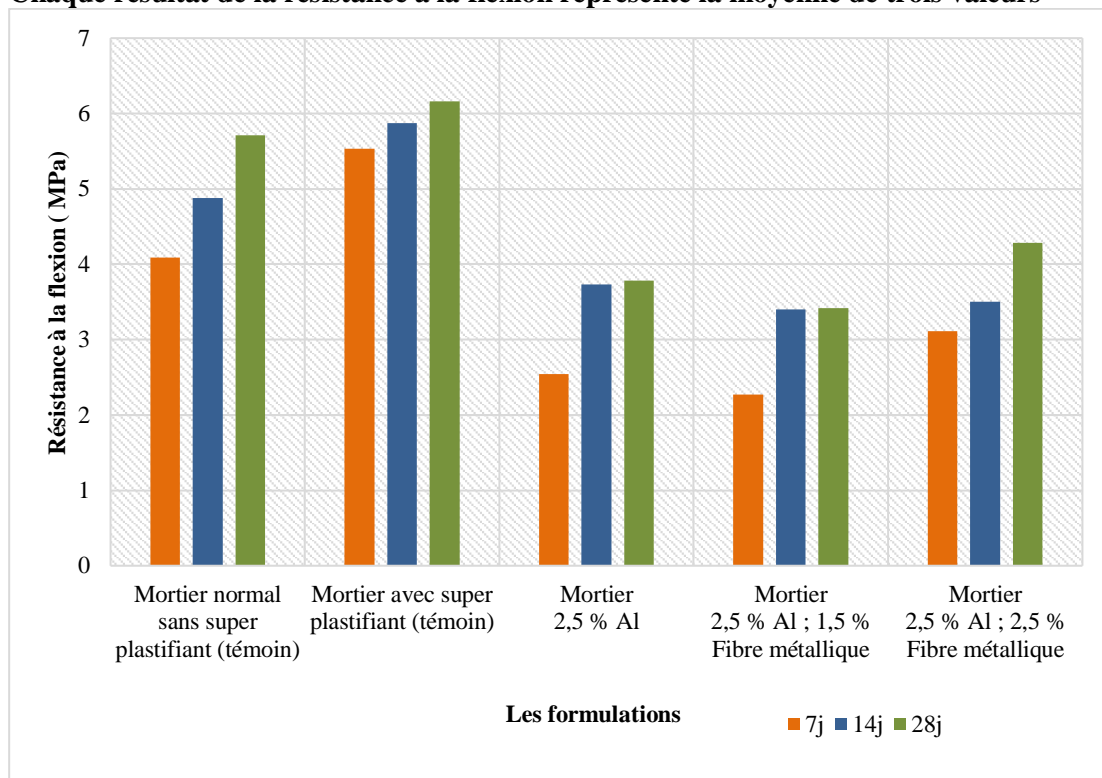


Figure III.11 : Résistances de flexion des différents types de mortier à 7jours ,14 jours et à 28 jours (MPa) de conservation en chambre humide

❖ Discussion des résultats des essais de flexion et compression de conservation en chambre humide :

Les résultats présentés dans le tableau III.10 et les figures III.13 et III.14 montrent clairement que les propriétés mécaniques du mortier, en particulier la résistance à la compression (R_c) et la résistance à la flexion (R_f), sont fortement influencées par le type d'additifs utilisés ainsi que par la durée de cure. Tout d'abord, on observe que l'échantillon témoin, sans superplastifiant, présente une évolution progressive des performances mécaniques dans le temps. En effet, la résistance à la compression passe de 32,13 MPa au 7^e jour à 42,57 MPa au 28^e jour, tandis que la résistance à la flexion augmente de 4,09 à 5,71 MPa. L'ajout d'un superplastifiant permet quant à lui une nette amélioration des résistances mécaniques. Après 28 jours de cure, la résistance à la compression atteint 49,52 MPa, soit une augmentation significative par rapport à l'échantillon témoin. Cela confirme le rôle positif du superplastifiant dans la réduction du rapport eau/ciment, l'amélioration de la compacité du mortier et la diminution de sa porosité. En revanche, l'incorporation de 2,5 % déchets d'aluminium provoque une chute marquée des performances mécaniques. La résistance à la compression n'atteint que 16,54 MPa après 28 jours, probablement en raison de la formation de pores liés aux réactions chimiques de l'aluminium. Lorsque cette déchet d'aluminium est combinée avec 1,5 % de fibres métalliques, la résistance à la compression reste relativement faible, avec une valeur de 13,54 MPa au 28^e jour, soit encore plus basse que celle de l'échantillon contenant uniquement de l'aluminium. Cependant, la résistance à la flexion montre une légère amélioration en atteignant 3,42 MPa. Cela suggère que cette proportion de fibres est insuffisante pour créer un réseau de renforcement efficace, ce qui peut s'expliquer par une mauvaise répartition. En augmentant la teneur en fibres métalliques à 2,5 %, tout en maintenant 2,5 % de déchets d'aluminium, on observe une amélioration plus notable de la résistance à la flexion (4,28 MPa), ainsi qu'un léger gain en résistance à la compression (17,89 MPa). Cela confirme que l'augmentation de la quantité de fibres contribue à renforcer la résistance et améliore globalement le comportement mécanique du mortier, notamment en limitant la propagation des microfissures.

III.4.6.4. Effet des conditions de conservation sur la résistance mécanique des mortiers :

Les résultats expérimentaux ont montré que le milieu de cure joue un rôle déterminant dans le développement des propriétés mécaniques du mortier cimentaire, aussi bien en termes de résistance à la compression (R_c) que de résistance à la flexion (R_f). Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées dans le milieu aqueux, notamment après 28 jours, l'eau favorise la cohésion interne et prévient l'apparition de fissures, ce qui améliore les propriétés mécaniques du mortier. En revanche, le milieu aérien, en particulier en conditions sèches, a donné les valeurs les plus faibles de R_c et R_f , en raison de l'évaporation rapide de l'eau, limitant l'hydratation du ciment et provoquant des fissures de retrait précoces, ce qui affaiblit la matrice du mortier. Le milieu de chambre humide a montré des résultats intermédiaires et plus stables, notamment avec l'utilisation d'un superplastifiant, l'humidité

relative élevée ayant permis une bonne cohésion de la pâte cimentaire sans excès d'eau. Par ailleurs, les résultats ont mis en évidence que l'emploi de superplastifiants a significativement amélioré la résistance à la flexion, tandis que l'ajout de déchets d'aluminium et de fibres métalliques a montré une efficacité mécanique relativement inférieure, nécessitant un environnement humide pour assurer une bonne interconnexion des constituants du mortier. Ainsi, le choix du milieu de conservation représente un facteur crucial dans l'évaluation des performances des formulations cimentaires.



Figure III.12 : Influence du milieu de conservation sur l'aspect visuel des échantillons de mortier

III.4.6.5. Évolution de la résistance mécanique du mortier avec le temps :

La résistance de la mortier à la compression et à la flexion augmente avec le temps grâce à la poursuite des réactions d'hydratation entre le ciment et l'eau. Ces réactions produisent des composés supplémentaires qui remplissent les vides entre les grains de sable, ce qui densifie la structure du mortier et réduit sa porosité. Cette évolution de la microstructure améliore la cohésion interne du matériau, ce qui entraîne une augmentation progressive de sa résistance mécanique.

III.5. Conclusion :

Les résultats de l'étude mettent en évidence l'influence directe de la composition du mortier sur ses propriétés physiques et mécaniques. Les formulations dépourvues de superplastifiant ont montré les taux les plus élevés de porosité et d'absorption, tandis que l'utilisation du superplastifiant a contribué à améliorer la cohésion de la matrice et à réduire les vides. L'ajout de déchets d'aluminium a entraîné une augmentation notable de la porosité, en particulier lorsqu'elle est combinée avec 1,5 % de fibres métalliques. Toutefois, l'augmentation du taux de fibres à 2,5 % a permis d'atténuer cet effet et d'améliorer les performances globales. Sur le plan mécanique, les résistances à la flexion et à la compression se sont révélées plus faibles dans les mélanges à forte porosité, ce qui témoigne de l'effet négatif des pores sur la rigidité. Avec l'avancement du temps de cure, une amélioration significative des résistances à la compression et à la flexion a été observée, traduisant une évolution favorable de la microstructure. De manière générale, les résultats soulignent l'importance de trouver un équilibre optimal dans la composition du mortier afin d'obtenir des propriétés physiques et mécaniques satisfaisantes.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire nous a permis, dans sa partie théorique, d'acquérir de solides connaissances sur les matériaux tels que le ciment, le sable, les déchets d'aluminium et divers types de fibres, ainsi que sur leurs applications dans la fabrication des mortiers. La partie expérimentale, quant à elle, a permis d'évaluer les performances mécaniques d'un mortier formulé avec des pourcentages variables de fibres métalliques, dans le but de développer un nouveau matériau répondant à des exigences spécifiques. Par ailleurs, un taux fixe de déchets d'aluminium a été incorporé au mélange afin d'analyser son impact sur les propriétés physiques et mécaniques du mortier.

Les principales conclusions de ce travail sont les suivantes :

- Une bonne identification des matériaux en laboratoire a permis de mieux comprendre leurs caractéristiques principales et d'interpréter de manière pertinente les résultats expérimentaux.

Concernant les déchets d'aluminium :

- Ce travail a exploré la valorisation des déchets d'aluminium. Le sable a été partiellement remplacé par ces déchets (granulométrie 0/3 mm) à un taux fixe de 2,5 % en poids.
- Une diminution progressive de la densité volumique a été observée, ce qui montre que l'incorporation des déchets d'aluminium contribue à l'allègement du mortier.
- Toutefois, l'augmentation du taux de substitution a entraîné une hausse de la demande en eau pour atteindre une consistance normale, en raison de l'absorption accrue du mélange.

Concernant les fibres métalliques :

- L'ajout de fibres métalliques a significativement amélioré la résistance à la flexion, en limitant la propagation des fissures et en renforçant la cohésion interne du matériau.
- En revanche, leur effet sur la résistance à la compression n'est pas systématiquement positif ; il peut même être négatif si les fibres sont mal réparties ou si elles augmentent la porosité du mélange. Il est donc essentiel d'optimiser leur dosage et leur dispersion.

En conclusion, l'utilisation conjointe des déchets d'aluminium et des fibres métalliques s'est révélée prometteuse pour l'obtention d'un mortier allégé et mécaniquement performant. Ces résultats confirment la faisabilité technique de produire un mortier à la fois léger et performant, tout en intégrant une approche de développement durable par la réutilisation de déchets. Ce travail constitue donc une base solide pour la poursuite de recherches futures, visant à optimiser d'avantage les formulations, évaluer leur comportement à long terme, et étudier leur potentiel d'application à l'échelle industrielle. Il s'inscrit pleinement dans une perspective d'innovation dans le domaine des matériaux de construction durables.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [01] BOUALI Khaled « Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base D'ajouts de déchets de briques réfractaires », mémoire de magister (spécialité : Génie des Matériaux) Option Physique et Mécanique des matériaux Université M'hamed Bougara Boumerdes 2013/2014.
- [02] WILLIAM.D, CALLISTER.JR « Science et génie des matériaux » modolu Editeur, 2001.
- [03] Mokhtar, N. (2021). Comportement Mécanique D'un Mortier De Ciment A Base De Fibre Végétale (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou).
- [04] DAD CELIA, étude comparative de l'utilisation de sable de dune en substitution du sable de rivière : cas des mortiers normalisé, mémoire master, université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2018-2019.
- [05] CIMBÉTON, « Collection technique Ciments et bétons, » Conception et réalisation : Am principe Paris, Édition 2005.
- [06] <https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSEbcwj1zzgI3M9B389yq1D1dGjV15VEQUkCw&s>
- [07] A. KOMAR, " Matériaux et éléments de construction ", Quatrième édition, Editions MIR. MOSCU.
- [08] <http://mediatheque.accesmad.org/cni24/mod/page/view.php?id=56827>
- [09] https://elearning-facsct.univ-annaba.dz/pluginfile.php/3931/mod_resource/content/2/Les%20adjuvants.pdf
- [10] MR. ABDELMADJID BILAL étude du comportement mécanique d'un béton à base de Fibres métallique, mémoire de master, université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou 2021
- [11] S. SAADANI, « comportement des bétons a base de granulats recyclés », Mémoire de magister, université de Mentouri Constantine
- [12] <https://www.institut-numerique.org/11-gestion-de-dechets-menagers-dans-les-pays-en-developpement-521483aa7ad69>
- [13] <https://www.profession-recycleur.fr/images/photos/cours-des-metaux-profiles-ags-paquets.png>
- [14] L. ZEGHICHI « Valorisation des déchets industriels » chapitre 1 page 9 thèse de magister université de Biskra 2006.
- [15] la Norme [NFP 18-301]
- [16] la Norme [NFP 18-554]
- [17] la Norme [NFP 18-598]
- [18] La norme NF EN933-1

[19] Norme Française [NFP 18-540]

[20] OUNIS Fouad « Optimisation des extractions By-pass et injection dans le circuit de broyage ciment » mémoire de master (Génie des procédés) Spécialité Génie chimique Université Mohamed Khider de Biskra 2019-2020

[21] <https://arizonadailyindependent.com/wp-content/uploads/2023/06/water-faucet-678x381.jpg>

[22] la norme EN 196-1

Annexe



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



✓ APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Béton armé à haute résistance.
- Béton autoplaçant.

🪣 FORMULATION CONSEILLÉE

	ciment 	Sable (sec) 0/5 	Gravillons ^(sec) 0/15mm 15/25mm 	Eau (lites) 
Dosage pour béton	50k X1 	+ X7 	+ X5  + X4 	+ 25 L
	ciment 	Sable Correcteur 0/1mm 	Sable (sec) 0/4mm 	Eau (lites) 
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 (SO3)	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
CS	56 – 66
CA	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



Versión : 01/2021

SPA BISKRIA CIMENT
Adresse : Djar Belahrache
Branis , Biskra Algerie

Tel : +213 (0) 560 753 424
Fax : +213 (0) 33558 108
contact@biskriaciment-dz.com
www.biskriaciment-dz.com

MEDAFLOW 30

Conforme à la norme EN 934-2: TAB 1, TAB 3.1
ET TAB 3.2 NA 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.

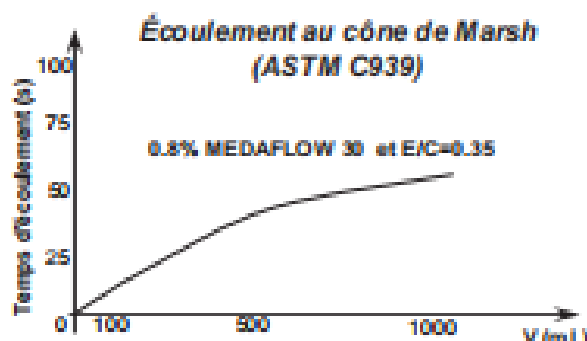
DOMAINES D'APPLICATION

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

PROPRIÉTÉS

Grâce 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



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'EMPLOI

Le **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

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



MEDAFLOW 30

Le MEDAFLOW 30 est conditionné en bidons de 10Kg, fûts de 210 Kg et 240 Kg, cubitenaire 1100kg.

Délai de conservation :

Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur ($5^{\circ}\text{C} < t < 35^{\circ}\text{C}$).

Lors d'une exposition du produit au soleil, sa couleur est sujette à changer de ton.

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : www.granitex-dz.com

PV d'essais conforme aux normes, établi par le CNERIB en Avril 2005.

NB : Les produits à base de polycarboxylates d'Ether (PCE), exposé aux UV, changent dans la couleur mais sans aucun incident sur les propriétés et les effets de l'adjuvant.

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



MEDAFAC

Fibres d'acier pour béton

DESCRIPTION

MEDAFAC est une fibre d'acier ondulée ses caractéristiques techniques lui permettent d'améliorer les résistances mécanique du béton

DOMAINES D'APPLICATION

- Dallage industriel
- Parking
- Atelier mécanique

PROPRIÉTÉS

Grâce à ses propriétés le **MEDAFAC** permet :

- D'augmenter les résistances mécaniques surtout en flexion
- Très bonne résistance à l'abrasion

CARACTÉRISTIQUES

- Longueur 50 mm
- Largeur 2 mm
- Densité(apparente).....1,05

MODE D'EMPLOI

L'introduction des fibres **MEDAFAC** se fait :

- Soit dans la centrale à béton avec les agrégats ou en fin de mélange
 - Soit dans le camion malaxeur sur chantier avec un malaxage supplémentaire de quelques minutes à grande vitesse.
 - Soit dans la bétonnière sur chantier, avec un malaxage supplémentaire de quelques minutes.
- Dans tous les cas, veiller à garantir une parfaite homogénéité du mélange béton - fibres.

Mise en place du béton :

Une bonne homogénéité du matériau est nécessaire

pour lui garantir son efficacité et le mode de vibration dépend essentiellement du type de béton utilisé.

Finition :

Dans le cas où la surface du béton reste brute, une attention particulière sera portée au talochage manuel ou mécanique afin que toutes les fibres soient réintégrées dans la matrice béton.

Les autres finitions traditionnelles (saupoudrage, chape incorporée ou rapportée) ne nécessitent aucune précaution particulière.

Un produit de cure **MEDACURE** doit être appliqué sur la surface finie du dallage afin d'éviter un séchage trop rapide du matériau.

DOSAGE

Le dosage de fibres **MEDAFAC** à utiliser peut varier de 20 à 40 kg/m³.

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

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Les fibres d'acier **MEDAFAC** sont conditionnées en cartons de 20 ou 25 kg et se conservent environ trois années à l'abri de l'humidité.

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : www.granitex-dz.com

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

