

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE  
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE.

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTÉ : Technologie

DÉPARTEMENT : Génie Civil

SPECIALITE : Matériaux



**MEMOIRE**

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

**MASTER**

**THEME**

**Valorisation combiné des fibres polyéthylène et  
des déchets de marbre dans la confection d'un  
mortier auto- plaçant à base de ciment blanc**

**Dirigé par :**

**Pr. MAZA Mekki**

**Pr. TEBBAL Nadia**

**présenté par :**

**- BOUDRAA Fatima Zohra**

**2024/2025**

# Remerciement

*Avant toute chose, je tiens à remercier « Allah » et je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.*

*Je remercie tout particulièrement mes encadreurs de mémoire, **Pr. MAZA Mekki et Pr. TEBBAL Nadia**, pour son encadrement, sa disponibilité, ses conseils précieux et son soutien tout au long de cette recherche. Son expertise et sa rigueur scientifique ont grandement enrichi ce travail.*

*Je tiens également à remercier les membres du jury pour l'intérêt qu'ils portent à ce mémoire et pour l'honneur qu'ils me font en acceptant de l'évaluer.*

*Mes remerciements vont également à l'ensemble des enseignants de département de génie civil, université de M'Sila et spécialement **Pr. RAHMOUNI Zine El Abidine, Pr. TITOU MESSAOUD** et **BELAGRAA Larbi** pour la qualité de l'enseignement dispensé et leur accompagnement durant tout mon parcours.*

*Je n'oublie pas de remercier mes collègues **Wahiba, Ouraida et Sami** les ingénieurs de laboratoire pédagogique de génie civil à l'université de Mohamed BOUDIAF spécialité matériaux et mes amis, **Dr. OMRI Imen** pour leurs encouragements, leurs échanges enrichissants et leur soutien moral durant cette période.*

# Dédicace

*Je dédie ce travail à ma  
famille, en particulier à **mes**  
**parents, mes frères et mes**  
**sœurs**, pour leur patience, leur  
amour inconditionnel et leur  
soutien indéfectible tout au  
long de mon parcours  
universitaire.*

## *Résumé*

Ce thème a pour objectif d'explorer la possibilité d'intégrer des déchets de marbre (à des pourcentages de **6 %**, **8 %** et **10 %**) ainsi que des fibres de polyéthylène (**PE**) en tant qu'additifs dans la formulation d'un mortier auto-nivelant à base de ciment blanc. Cette initiative s'inscrit dans une approche de développement durable, visant à valoriser les déchets industriels tout en améliorant les performances des matériaux de construction.

Dans le cadre de cette étude, les déchets de marbre ont été employés comme substitut partiel du sable afin d'optimiser la consistance, tandis que les fibres de PE ont été ajoutées pour réduire le retrait et les fissures. Le sable local utilisé provient de la région de Djamaa (Oued Souf), et le ciment blanc est de type **52,5 MPa**, issu de l'usine de Biskra.

L'étude a consisté en des essais physiques et mécaniques sur des échantillons de mortier, incluant la fluidité, la masse volumique, ainsi que la résistance à la compression et à la flexion, accompagnés d'une évaluation visuelle de la surface et de sa stabilité après séchage.

Les essais ont été effectués à des âges de **7**, **14** et **28** jours pour analyser l'évolution des propriétés au fil du temps. Les résultats ont révélé que l'ajout de déchets de marbre, dans les proportions examinées, améliore la fluidité sans compromettre la résistance, tandis que les fibres de PE ont aidé à diminuer les fissures superficielles et à renforcer la résistance à la flexion.

**Mots-clés** : Mortier autoplaçant, déchets de marbre, fibres de polyéthylène, ciment blanc, valorisation des déchets, propriétés mécaniques.

## *Abstract*

The objective of this subject is to explore the possibility of incorporating waste marble (at percentages of **6%, 8% and 10%**) as well as polyethylene (**PE**) fibres as additives in the formulation of a white cement-based self-compacting mortar. This initiative is part of a sustainable development approach, aimed at recovering industrial waste while improving the performance of construction materials.

In this study, waste marble was used as a partial substitute for sand to optimize consistency, while PE fibers were added to reduce shrinkage and cracks. The local sand used comes from the Djamaa (Oued Souf) region, and the white cement is **52,5 MPa** from the Biskra factory.

The study consisted of physical and mechanical tests on mortar samples, including fluidity, density, as well as compressive and flexural strength, accompanied by a visual evaluation of the surface and its stability after drying.

The tests were conducted at ages of **7, 14, and 28** days to analyze the evolution of properties over time. The results revealed that the addition of marble waste, in the proportions examined, improved fluidity without compromising strength, while the PE fibers helped reduce surface cracks and strengthen flexural strength.

**Keywords :** Self-compacting mortar, marble waste, polyethylene fibers, white cement, valorization of waste, mechanical properties.

## الملخص

يهدف هذا البحث إلى استكشاف إمكانية دمج نفايات الرخام (بنسب 6% و8% و10%) بالإضافة إلى ألياف البولي إيثيلين (PE) كمضافات في صياغة ملاط ذاتي التسوية قائم على الأسمنت الأبيض. وتشكل هذه المبادرة جزءًا من نهج التنمية المستدامة، الذي يهدف إلى استعادة النفايات الصناعية مع تحسين أداء مواد البناء.

في هذه الدراسة، تم استخدام نفايات الرخام كبديل جزئي للرمال لتحسين الاتساق، في حين تمت إضافة ألياف البولي إيثيلين لتقليل الانكماش والشقوق. الرمال المحلية المستخدمة تأتي من منطقة جامعة بولاية واد سوف والأسمنت الأبيض 52.5 ميجا باسكال من مصنع بسكرة. وتألفت الدراسة من اختبارات فيزيائية وميكانيكية على عينات الملاط، بما في ذلك السيولة والكثافة وقوة الضغط وقوة الانثناء، مصحوبة بتقييم بصري للسطح وثباته بعد التحفيف.

وأجريت الاختبارات في أعمار 7 و14 و28 يومًا لتحليل التغيرات في الخصائص بمرور الوقت. وأظهرت النتائج أن إضافة نفايات الرخام بالنسب المدروسة تعمل على تحسين السيولة دون المساس بالقوة، في حين ساعدت ألياف البولي إيثيلين على تقليل الشقوق السطحية وتعزيز قوة الانحناء.

**الكلمات المفتاحية:** ملاط ذاتي الضغط، نفايات الرخام، اليف البولي إيثيلين، الاسمنت الأبيض، استغلال النفايات، الخصائص الميكانيكية.

# Liste des figures

## Chapitre I : Etude bibliographie

<b>Figure I.1</b> : Les différents types de ciment portland [3].....	7
<b>Figure I.2</b> : Les composants principaux utilisés pour fabriquer un mortier [7].....	9
<b>Figure I.3</b> : Les différents types des mortiers utilisés dans les chantiers [13].....	12
<b>Figure I.4</b> : Essai de Mini cône sur le mortier autoplaçant [23].....	14
<b>Figure I.5</b> : Essai au cône de Marsh [24].....	15
<b>Figure I.6</b> : Essai d'écoulement au mini-entonnoir en V sur MAP [25].....	16
<b>Figure I.7</b> : Les additions les plus utilisés dans les matériaux cimentaires [27].....	17
<b>Figure I.8</b> : Les fibres synthétiques [27].....	18
<b>Figure I.9</b> : Carrière de marbre et déchets de marbre à l'état poudreux [33].....	20
<b>Figure I.10</b> : Types de marbre les plus utilisés [36].....	21
<b>Figure I.11</b> : Types des fibres les plus utilisées [27].....	24

## Chapitre II : Matériaux et essais expérimentaux

<b>Figure II.1</b> : Courbe analyse granulométrique de sable djamaa et marbre.....	29
<b>Figure II.2</b> : Courbe d'analyse granulométrique des mélanges entre le sable djamaa et le marbre.....	31
<b>Figure II.3</b> : Essai de l'équivalent de sable.....	32
<b>Figure II.4</b> : La masse volumique apparente et absolue de sable Djamaa et de marbre.....	33
<b>Figure II.5</b> : La masse volumique apparente et absolue des différents pourcentages de sable Djamaa et de marbre (les mélanges).....	34
<b>Figure II.6</b> : La porosité de sable Djamaa et le marbre plus les mélanges entre eux.....	35
<b>Figure II.7</b> : Essai de saturation au niveau de laboratoire pédagogique.....	36
<b>Figure II.8</b> : Sac de ciment blanc qui est disponible au niveau de SPA Biskra ciment.....	38

**Figure II.9 :** Les matériaux utilisés pour la formulation des mortiers autoplaçant.....39

### **Chapitre III : Résultats et discussions**

**Figure III.1 :** Masse volumique en fonction du pourcentage de poudre de marbre à 7j, 14j et 28j.....43

**Figure III.2 :** Masse volumique en fonction du pourcentage et de la longueur de fibre polyéthylène à 7j,14j et 28j.....44

**Figure III.3 :** Masse volumique des mortiers autoplaçant de différents taux de la poudre de marbre avec 0,1% des fibres polyéthylène de 5 cm à 7j, 14j et 28j.....45

**Figure III.4 :** Masse volumique des mortiers autoplaçant de différents taux de la poudre de marbre avec 0,1% des fibres polyéthylène de 7 cm à 7j, 14j et 28j.....46

**Figure III.5 :** Résistance à la compression des mortiers autoplaçant en fonction du pourcentage de marbre sans fibres à 7j, 14j et 28j.....47

**Figure III.6 :** Résistance à la compression des mortiers autoplaçant en fonction de la longueur des fibres polyéthylènes sans poudre de marbre à 7j, 14j et 28j.....48

**Figure III.7:** Résistance à la compression des mortiers de différents taux de la poudre de marbre avec 0,1% des fibres polyéthylène de 5 cm à 7j, 14j et 28j.....50

**Figure III.8:** Résistance à la compression des mortiers de différents taux de la poudre de marbre avec 0,1% des fibres polyéthylène de 7 cm à 7j, 14j et 28j.....51

**Figure III.9 :** Résistance à la traction des mortiers autoplaçant en fonction du pourcentage de marbre à 7j, 14j et 28j.....52

**Figure III.10 :** Résistance à la flexion des mortiers autoplaçant en fonction du pourcentage de marbre à 7j, 14j et 28j.....53

**Figure III.11:** Résistance à la traction des mortiers autoplaçant en fonction de la longueur des fibres en (cm) sans marbre à 7j, 14j et 28j.....54

**Figure III.12 :** Résistance à la flexion des mortiers autoplaçant en fonction de la longueur des fibres en (cm) sans marbre à 7j, 14j et 28j.....55

**Figure III.13 :** Résistance à la traction des mortiers autoplaçant de différents taux de la poudre de marbre avec 0,1% des fibres polyéthylène de 5 cm à 7j, 14j et 28j.....56

<b>Figure III.14</b> : Résistance à la traction des mortiers autoplaçant de différents taux de la poudre de marbre avec 0,1% des fibres polyéthylène de 7 cm à 7j, 14j et 28j.....	<b>57</b>
<b>Figure III.15</b> : Résistance à la flexion des mortiers autoplaçant de différents taux de la poudre de marbre avec 0,1% des fibres polyéthylène de 5 cm à 7j, 14j et 28j.....	<b>58</b>
<b>Figure III.16</b> : Résistance à la flexion des mortiers autoplaçant de différents taux de la poudre de marbre avec 0,1% des fibres polyéthylène de 7 cm à 7j, 14j et 28j.....	<b>59</b>
<b>Figure III.17</b> : Taux d'absorption des mortiers autoplaçant en fonction du pourcentage de marbre à 7j, 14j et 28j.....	<b>60</b>
<b>Figure III.18</b> : Taux d'absorption en fonction du pourcentage et de la longueur de fibre polyéthylène à 7j,14j et 28j.....	<b>61</b>
<b>Figure III.19</b> : Taux d'absorption des mortiers autoplaçant de différents taux de la poudre de marbre avec 0,1% des fibres polyéthylène de 5 cm à 7j, 14j et 28j.....	<b>62</b>
<b>Figure III.20</b> : Taux d'absorption des mortiers autoplaçant de différents taux de la poudre de marbre avec 0,1% des fibres polyéthylène de 7 cm à 7j, 14j et 28j.....	<b>63</b>
<b>Figure III.21</b> : Les essais mécaniques utilisés sur les éprouvettes des mortiers autoplaçant pour voir la distribution des fibres polyéthylène.....	<b>64</b>

# *Listes des tableaux*

## **Chapitre II : Matériaux et essais expérimentaux**

<b>Tableau II. 1</b> : Analyse granulométrique de sable djamaa et de marbre.....	<b>29</b>
<b>Tableau II.2</b> : Résultats de l'équivalent de sable.....	<b>32</b>
<b>Tableau II.3</b> : La classification de la nature sable en fonction d'équivalent de sable (E.S)...	<b>32</b>
<b>Tableau II.4</b> : La masse volumique apparent et absolue (sable et marbre).....	<b>33</b>
<b>Tableau II.5</b> : Les résultats des masses volumiques sur les mélanges.....	<b>33</b>
<b>Tableau II.6</b> : La porosité de sable et marbre.....	<b>34</b>
<b>Tableau II.7</b> : La porosité (sable + marbre).....	<b>34</b>
<b>Tableau II.8</b> : La quantité de ciment obtenu.....	<b>36</b>
<b>Tableau II.9</b> : Détermination taux de saturation.....	<b>36</b>
<b>Tableau II.10</b> : La composition chimique de marbre [34].....	<b>37</b>
<b>Tableau II.11</b> : La fiche technique de ciment blanc (cimenterie de Biskra).....	<b>38</b>

## **Chapitre III : Résultats et discussions**

<b>Tableau III.1</b> : composition des différents types des mortiers autoplaçant en (%).....	<b>41</b>
<b>Tableau III.2</b> : composition des différents types des mortiers autoplaçant en (g).....	<b>42</b>

## *Symboles et abréviations*

**BAP** : béton autoplaçant.

**MAP** : mortier autoplaçant.

**Rc** : résistance à la compression.

**F** : charge de rupture à la compression.

**S** : surface transversale de l'éprouvette.

**Tv** : temps de viscosité (essai mini-entonnoir en V)

**Mf** : module de finesse.

**Rf** : résistance à la flexion.

**PH** : PH mètre

**MPa** : unité de la résistance à la compression et flexion

**M** : poudre de marbre.

**S** : sable Djamaa.

**Mt** : mortier autoplaçant témoin

**Adj** : adjuvant

**M6%M** : mortier autoplaçant contient 6% marbre.

**M8%M** : mortier autoplaçant contient 8% marbre.

**M10%M** : mortier autoplaçant contient 10% marbre.

**MF5** : mortier autoplaçant contient des fibres polyéthylènes de 5 cm.

**MF7** : mortier autoplaçant contient des fibres polyéthylènes de 7 cm.

**M6%MF5** : mortier autoplaçant contient 6% de marbre et des fibres polyéthylènes de 5 cm.

**M8%MF5** : mortier autoplaçant contient 8% de marbre et des fibres polyéthylènes de 5 cm.

**M10%MF5** : mortier autoplaçant contient 10% de marbre et des fibres polyéthylènes de 5 cm.

**M6%MF7** : mortier autoplaçant contient 6% de marbre et des fibres polyéthylènes de 7 cm.

**M8%MF7** : mortier autoplaçant contient 8% de marbre et des fibres polyéthylènes de 7 cm.

**M10%MF7** : mortier autoplaçant contient 10% de marbre et des fibres polyéthylènes de 7 cm.

# Table des matières

Remerciement.....	I
Dédicace.....	II
Résumé.....	III
Abstract.....	IV
Résumé en arabe.....	V
Listes des figures.....	VI
Listes des tableaux.....	VII
Symboles et abréviations.....	VIII
Introduction.....	1

## Chapitre I : Etude bibliographie

I.1. Introduction.....	5
I.2. Béton Bas du formulaire .....	5
Haut du formulaire .....	5
I.2.1. Définition :.....	6
I.2.2. Types de béton.....	6
I.2.3. Les constituants des bétons.....	6
I.2.4. Les utilisations du béton .....	8
I.3. Mortier.....	9
I.3.1. Définition du mortier .....	9
I.3.2. Constituants du mortier.....	9
I.3.3. Types des mortiers .....	11
I.4. Béton auto plaçant .....	12
I.5. Mortier auto plaçant .....	12
I.5.1. Constituants du MAP.....	12
I.5.2. Caractérisation des MAP à l'état frais .....	14
I.5.3. Caractéristiques des MAP à l'état durci .....	16
I.6. Les additifs.....	17
I.7. Les adjuvants .....	18
I.8. Le marbre .....	19
I.8.1. Définition.....	19

I.8.2. Historique du marbre .....	20
I.8.3. Type de marbre.....	20
I.8.4. Types de marbre par couleur .....	21
I.8.5. Utilisations du marbre .....	22
I.9. Fibres de polyéthylènes.....	22
I.9.1. Définition des fibres .....	22
I.9.2. Types des fibres.....	23
I.9.3. Domaines d'application les fibres de polypropylène .....	24
I.9.4. Caractéristiques et avantages du matériau polyéthylène .....	24
I.10. Conclusion.....	25

## **Chapitre II : Matériaux et essais expérimentaux**

II.1. Introduction .....	27
II.2. Matériaux utilisés.....	27
II.3. Caractéristiques des matériaux.....	27
II.3.1. Sable .....	27
II.3.2. Les caractéristiques physiques de sable .....	31
II.3.3. Adjuvant (MEDA FLOW30/30).....	35
II.3.4. L'eau de gâchage.....	37
II.2.5. La poudre de marbre.....	37
II.2.6. Le Ciment .....	37
II.4. Conclusion.....	39

## **Chapitre III : Résultats et discussions**

III.1. Introduction .....	41
III.2. Formulation des mélanges de mortiers.....	41
III.3. Résultats des essais de la masse volumique .....	42
III.3. Résultats d'essai de résistance mécanique .....	47
III.3.1. Résultats d'essai de résistance à la compression.....	47
III.3.2 : Résultats des essais de résistance à la traction et à la flexion.....	51
<b>Conclusion et perspectives.....</b>	<b>66</b>

**Référence et annexe**



# **Introduction Générale**

Les matériaux de construction constituent des éléments essentiels qui influencent la qualité et la longévité des infrastructures urbaines, avec l'accélération du développement industriel et technologique, il est devenu impératif de concevoir des matériaux de construction à haute performance, capables d'optimiser la durabilité et la résistance, tout en minimisant les impacts environnementaux néfastes. Une des tendances contemporaines dans ce secteur est l'intégration des déchets industriels, tels que les résidus de marbre, ainsi que des fibres synthétiques comme le polyéthylène, dans les formulations de mortiers et de bétons. Cette méthode vise non seulement à renforcer les caractéristiques mécaniques et physiques des matériaux, mais également à favoriser la durabilité écologique en réduisant les déchets industriels et en les transformant en ressources exploitables.

Les matériaux ajoutés contribuent également à améliorer les propriétés fonctionnelles du mortier, telles que la résistance aux fissures, la résistance à la traction et la maniabilité. Dans ce cadre, le développement d'un mortier autoplaçant à base de ciment blanc, de déchets de marbre et de fibres de polyéthylène représente une avancée significative pour concilier performance technique et préoccupations environnementales, faisant de ce sujet un enjeu crucial et pertinent dans le domaine de la construction moderne.

### **L'objectif de travail :**

L'objectif de ce projet est de développer un mortier auto-nivelant de haute performance, en utilisant du ciment blanc comme liant principal. Deux matériaux supplémentaires sont intégrés : des déchets de marbre pour remplacer partiellement les fillers traditionnels, et des fibres de polyéthylène pour renforcer la résistance et minimiser la fissuration. L'étude vise à analyser l'impact de ces ajouts sur les propriétés du mortier, tant à l'état frais (comme l'écoulement) qu'à l'état durci (comme la résistance mécanique). Ce projet s'inscrit également dans une approche de développement durable, en valorisant des déchets industriels et en contribuant à réduire l'empreinte environnementale des matériaux de construction. Enfin, des tests en laboratoire permettront de déterminer les formulations les plus efficaces pour des applications contemporaines dans le secteur du bâtiment.

### **Contenus de la mémoire :**

- ✚ **Introduction** ; contient des définitions, le problématique et l'objectif de thème proposé ;
- ✚ **Chapitre I** ; contient une étude bibliographique c'est-à-dire une généralité sur les matériaux cimentaires, les additions et les fibres selon la partie expérimentale proposée ;

- ✚ **Chapitre II** ; indique les matériaux utilisés pour la formulation d'un mortier autoplaçant et les essais expérimentaux réalisés pour caractériser les mélanges ;
- ✚ **Chapitre III** ; contient les résultats obtenus et les discussions dans chaque comportement (mécanique, physique).

**Conclusion** ; contient les bons résultats obtenus et les perspectives.



**Chapitre I**  
**Etude bibliographie**

## I.1. Introduction

Les performances des matériaux cimentaires (bétons ou mortier) modernes ne cessent d'évoluer grâce à l'intégration de renforts innovants et **des déchets ou des résidus industriels**, destinés à améliorer leurs propriétés mécaniques et leur durabilité. Parmi ces solutions, l'incorporation des différents types des **fibres** dans les mortiers par exemple représente une avancée notable, notamment pour lutter contre la fissuration, améliorer la ténacité et des additifs minéraux à effet pouzzolanique ou inertes prolonger la durée de vie des structures.

Ce chapitre contient des généralités sur les types d'additifs minéraux et de fibres, expliquant leurs propriétés qui aident à améliorer la qualité des matériaux de cimentaires.

## I.2. Béton

### I.2.1. Définition :

Le béton est le matériau le plus utilisé dans la construction d'ouvrages de génie civil. En raison de son impact environnemental, c'est aussi l'un des matériaux les plus chers. L'industrie mondiale de la construction utilise environ 1,6 milliard de tonnes de ciment et 10 milliards de tonnes de sable, de gravier et de gravier chaque année [1].

### I.2.2. Types de béton :

Les catégories de béton ont connu une évolution significative ces dernières années, en raison de la diversité de leurs composants. Par exemple [2] :

#### a) *Mortier bétonné*

Il s'agit d'un mélange de gravier fin (comme le gravier roulé) associé à un mortier de sable et de ciment.

#### b) *Béton (ou béton ordinaire)*

Ce mélange comprend du gravier (naturel ou pierre concassée), du sable pur, des particules fines et du ciment, respectant des proportions techniques standards.

#### c) *Béton simple (ou béton de propreté)*

Ce type de béton n'est pas destiné à supporter des charges. Il est généralement utilisé pour combler des vides ou stabiliser le sol autour d'ouvrages armés.

**d) Béton armé**

Ce béton est renforcé par des barres d'acier de formes spécifiques, conçues par des ingénieurs pour renforcer la structure et lui permettre de supporter des charges importantes (comme des ponts, des toits, ou des immeubles de grande hauteur)

**e) Béton blanc**

Ce type est constitué d'un mélange de ciment blanc, de sable et de gravier. Béton de briques concassées : Ce mélange inclut des fragments de briques, du sable et du ciment.

Il existe également d'autres types de béton armé avec des caractéristiques et des applications spécifiques, tels que :

- + Béton armé coulé sous l'eau ;
- + Béton armé résistant au feu ;
- + Béton armé résistant aux radiations nucléaires ;
- + Béton armé pour barrages ;
- + Béton armé anti-bombes ;
- + Béton armé résistant aux séismes ;
- + Béton armé coloré.

En fonction des méthodes de fabrication, les produits en béton armé peuvent également être désignés par d'autres termes, tels que [2] :

**a) Béton coulé en place**

Le béton est coulé directement sur le site et n'est pas déplacé après le coulage.

**b) Béton préfabriqué**

Les éléments sont coulés dans des usines spécialisées, puis transportés sur le site pour être assemblés.

**c) Béton précontraint**

Le béton est coulé autour de câbles fortement tendus, qui sont ensuite relâchés pour créer une compression dans le béton.

**I.2.3. Les constituants des bétons :****a) Ciment**

Est un liant hydraulique dans la formulation du béton. En le combinant avec de l'eau, une réaction chimique nommée hydratation se produit, générant des composés solides (hydrates) qui confèrent au béton sa résistance mécanique.

Le ciment Portland (**CEM I**) est le plus couramment utilisé, étant principalement constitué de clinker. Il peut être modifié par l'incorporation de matériaux tels que les laitiers de haut fourneau, les cendres volantes ou les fumées de silice, ce qui donne lieu à d'autres types de ciment (**CEM II, CEM III, etc.**) (voir Figure (I.1)).

Le ciment blanc, qui est l'objet de cette étude, est prisé pour sa finesse, sa pureté chimique et sa teinte claire, le rendant idéal pour des applications esthétiques ou en laboratoire [3].



**Figure I.1** : Les différents types de ciment portland [3].

### *b) Les granulats*

Les granulats constituent jusqu'à 80 % du volume du béton, jouent un rôle crucial dans la résistance mécanique, la stabilité et l'efficacité du mélange.

Ils se classifient en deux catégories : Granulats fins (sable) : d'une taille inférieure à **4 mm**, ils comblent les espaces entre les gros grains et améliorent la maniabilité. Granulats grossiers (gravier) : d'une taille supérieure à **4 mm**, ils garantissent la résistance à la compression et minimisent le retrait. Il est essentiel que les granulats soient propres, durs, durables et dépourvus de matières organiques nuisibles [4].

En ce qui concerne le gravier, il est classé selon sa granularité en trois catégories : **4/10 mm**, **10/20 mm**, et **20/32 mm**, sélectionnées en fonction des besoins structurels. Le choix du type de granulats est déterminé par les exigences de performance et les conditions d'application [5].

### *c) L'eau de gâchage*

L'eau joue un rôle crucial en activant la réaction d'hydratation du ciment et en facilitant le mélange. Il est impératif que l'eau utilisée soit de bonne qualité, c'est-à-dire dépourvue d'impuretés chimiques, organiques ou salines. Le rapport eau/ciment (E/C) constitue un facteur

déterminant : Un excès d'eau entraîne une diminution de la résistance, tandis qu'un manque d'eau compromet la maniabilité [5].

#### I.2.4. Les utilisations du béton :

Le béton est l'un des matériaux les plus utilisés dans le monde de la construction, grâce à ses qualités mécaniques, sa durabilité, sa disponibilité et sa capacité à s'adapter à de nombreuses situations [5].

##### a) *Construction de bâtiments*

Le béton est utilisé dans les fondations, les murs porteurs, les planchers, les escaliers, les poteaux et les poutres des maisons, immeubles de bureaux et bâtiments industriels.

##### b) *Infrastructures de génie civil*

Le béton est essentiel pour la construction des grandes infrastructures publiques, notamment [3] :

- **Les ponts** ; le béton est employé pour édifier la structure principale du pont (tablier, piles, culées). Il doit supporter des charges considérables (véhicules, vent, dilatation thermique) et résister aux agressions extérieures telles que le gel, l'eau ou les sels de déneigement.
- **Les tunnels** ; ils sont fréquemment réalisés en béton projeté ou en segments préfabriqués en béton armé. Le béton offre une résistance mécanique remarquable et garantit la stabilité du sol environnant, tout en protégeant contre l'eau et les pressions géotechniques. Ces infrastructures nécessitent un béton de haute performance, résistant et facile à appliquer même dans des conditions difficiles [6].
- **Les ouvrages hydrauliques et maritimes** ; tels que les barrages, les stations de traitement des eaux, les digues et les quais, utilisent ce matériau, souvent conçu pour supporter l'eau salée, les cycles de gel et de dégel, ainsi que l'abrasion
- **Composants préfabriqués** ; des éléments tels que les poutres, les dalles et les blocs sont fabriqués en usine, puis transportés sur le site de construction. Cela permet d'économiser du temps et d'améliorer la qualité de l'exécution [6].
- **Usages spécifiques grâce aux avancées technologiques** ; le béton peut être autoplaçant, décoratif, renforcé par des fibres ou à ultra-haute performance. Chaque type est conçu pour répondre à des besoins spécifiques, en fonction des exigences mécaniques, esthétiques ou environnementales [6].

### I.3. Mortier

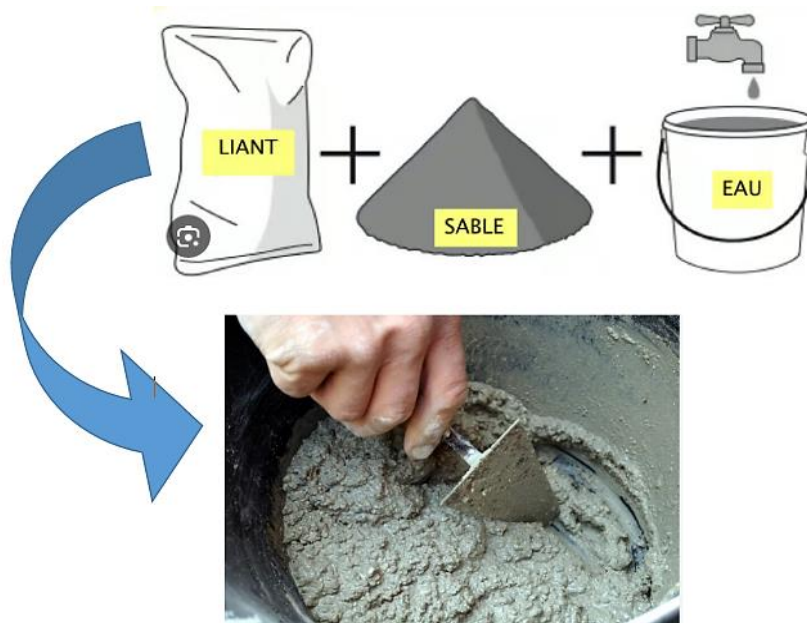
#### I.3.1. Définition du mortier :

Le mortier est un matériau de construction constitué d'un mélange de liant, de sable et d'eau, avec éventuellement des adjuvants, préparé selon des proportions précises afin d'obtenir une pâte ayant une plasticité adéquate pour son application.

Il est utilisé pour unir divers éléments de construction tels que des briques, des pierres, des blocs de béton (parpaings), ou pour réaliser des revêtements et des enduits de façade [7].

#### I.3.2. Constituants du mortier :

Les éléments essentiels des mortiers comprennent : le sable, un liant et de l'eau (Figure I.2). Le liant le plus répandu depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle est le ciment Portland, bien que l'ancien mortier à base de chaux soit encore employé dans certaines constructions récentes [7].



**Figure I.2 :** Les composants principaux utilisés pour fabriquer un mortier [7].

#### a) *Le liant*

On emploie couramment des liants hydrauliques, parmi lesquels se trouve le ciment, une substance en poudre composée de silicate et d'aluminate, ainsi que de la chaux produite par cuisson [8].

En général, les matériaux suivants peuvent être utilisés :

- ❖ Les ciments (normaux et spéciaux) ;

- ❖ Les liants pour maçonnerie ;
- ❖ Les chaux (naturelles hydrauliques et éteintes.

### b) *Le sable*

En général, les sables employés sont ceux désignés comme "*sable normalisé*". Les sables de qualité doivent présenter une granulométrie variée, incluant des grains fins, moyens et gros. Les grains fins s'insèrent dans les espaces entre les gros grains, permettant ainsi de combler les vides. Leur rôle est crucial : ils atténuent les variations de volume, réduisent la chaleur dégagée et contribuent à la diminution des coûts. Les dosages doivent être effectués en poids plutôt qu'en volume, comme c'est souvent la pratique, afin d'éviter les erreurs de dosage dues à l'augmentation de volume du sable humide [9] [10].

Ils peuvent être classés comme suit :

Naturels et roulés « *provenant de rivières ou de sablières* », de nature siliceuse ou silico-calcaire ; naturels concassés c'est-à-dire extraits de carrières, tels que les basaltes, porphyres et quartzites, qui sont anguleux et durs ; et spéciaux « *lourds, réfractaires, légers* » : sable de laitier, sable d'oxydes de fer, de chromite, corindon, sable de briques concassées, liège torréfié, polystyrène expansé, vermiculite et perlite.

Certains types de sable doivent être évités, notamment les "sables à lapin", qui sont généralement très fins, les sables crus manquant de fines, ainsi que les sables de dunes ou de mer contenant des sels nuisibles aux composants des ciments, bien qu'ils doivent être propres [9] [10].

Le diamètre maximal des grains de sable utilisés pour les mortiers est le suivant [10] :

- ❖ **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.

### c) *Eau de gâchage*

L'eau remplit une double fonction : elle hydrate le ciment et améliore sa capacité d'ouverture. Il est essentiel de noter que les exigences relatives à l'eau de gâchage diffèrent. Cela est particulièrement crucial pour les mortiers et le béton. Il est conseillé que les mortiers contiennent la quantité maximale d'eau afin d'assurer une ouvrabilité optimale.

La maniabilité, défini par la norme **NF P 18-452 [11]**, est utilisé pour mesurer la maniabilité des mortiers (sans adjuvants). Son but est d'évaluer l'impact d'un adjuvant ou d'un super plastifiant sur la fluidité d'un mortier ou la réduction d'eau qu'il permet d'atteindre tout en maintenant une consistance équivalente [11].

### c) *Les adjuvants*

Sont utilisés dans les mortiers de maçonnerie et, dans certains cas, leur utilisation peut être bénéfique. Toutefois, leur emploi n'est généralement pas conseillé. Ils apportent la plasticité et la capacité de rétention d'eau que la chaux confère aux mortiers à base de ciment et de chaux. Certains ciments de maçonnerie sont des combinaisons de ciment Portland et de chaux hydratée, auxquels s'ajoutent des adjuvants [12].

### **I.3.3. Types des mortiers :**

Le mortier est obtenu en mélangeant un matériau liant (ciment ou chaux) avec un agrégat fin (sable, etc.) et de l'eau. Pour des fins de construction, différents types de mortier sont utilisés. Selon les matériaux employés pour la préparation du mélange de mortier, celui-ci peut être classé comme suit [13] (voir la (Figure I.3) :

- ❖ Mortier de ciment ;
- ❖ Mortier de chaux ;
- ❖ Le mortier bâtard ;
- ❖ Mortier dosé Mortier de boue.

Le mortier de ciment est un mélange dans lequel le ciment sert de liant et le sable d'agrégat fin. La proportion de ciment à sable peut varier de 1/2 à 1/6 en fonction de la résistance requise.

Le mortier de chaux, quant à lui, utilise de la chaux (grasse ou hydraulique) comme liant, avec une proportion généralement de 1/2. Les pyramides de Gizeh ont été construites avec du mortier de chaux.

Le mortier bâtard combine ciment et chaux comme liants, avec une proportion de 1/6 à 1/9, offrant une résistance supérieure à celle du mortier de chaux tout en étant plus économique que le mortier de ciment.

Enfin, le mortier de boue, composé de boue comme liant et de matériaux tels que la sciure ou la bouse de vache comme agrégat, est particulièrement utile dans les régions où le ciment ou la chaux ne sont pas disponibles.

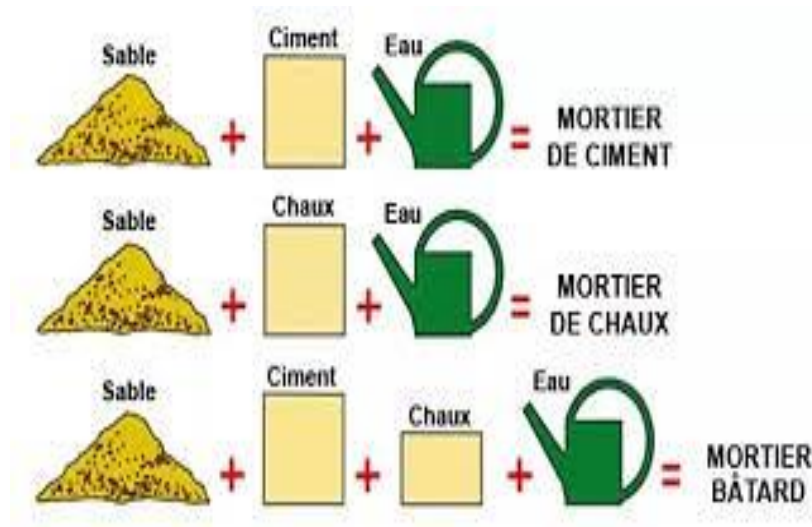


Figure I.3 : Les différents types des mortiers utilisés dans les chantiers [13].

#### I.4. Béton auto plaçant

Un béton auto plaçant est un béton extrêmement fluide, homogène et stable, qui est mis en œuvre sans vibration « *la compaction des BAP se fait uniquement par l'effet de la gravité* » et qui confère à la structure une qualité au moins équivalente à celle des bétons classiques qui sont mis en œuvre par vibration [14].

#### I.5. Mortier auto plaçant

Les mortiers auto plaçant « **MAP** » se distinguent par leur fluidité élevée et leur capacité de remplissage importante, tout en restant stables et en assurant de bonnes performances mécaniques ainsi qu'une durabilité satisfaisante [15].

##### I.5.1. Constituants du MAP :

La distinction entre le mortier auto plaçant et le mortier traditionnel ou le mortier vibrant se trouve dans ses performances à l'état frais ainsi que dans sa composition en poudre fine minérale (additifs minéraux) et une proportion de super plastifiant. Les éléments du **MAP** ont une importance capitale dans la détermination des caractéristiques du **MAP** tant à l'état frais qu'à l'état durci. Il est donc essentiel de comprendre quel rôle chaque composant joue et comment il influence les performances du **MAP** [16].

**a) Sable**

Le choix du sable pour les matériaux à base de polymères (**MAP**) revêt une grande importance, car sa granulométrie nous aide à réduire le volume d'air afin d'améliorer les caractéristiques des **MAP**. En effet, la résistance de ces matériaux est fortement influencée par la structure des particules. Plus cette structure est dense, plus la résistance du béton est accrue. La qualité du sable influence tous les aspects de la qualité du béton. Elle a un impact direct sur la maniabilité et la résistance [17].

**b) Ciment**

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire un matériau minéral finement broyé qui, mélangé avec de l'eau, crée une pâte qui prend et durcit en raison de réactions et de processus d'hydratation et qui, une fois durci, maintient sa résistance et sa stabilité même en immersion dans l'eau [18].

L'hydratation débute dès que le ciment entre en contact avec l'eau. Cette réaction chimique génère des hydrates de ciment « *produit de l'hydratation* », qui se forment à la surface de chaque grain de ciment. Ces hydrates se développent et se propagent, jusqu'à ce qu'ils se lient à d'autres hydrates fixés sur des particules de ciment voisines ou adhèrent à d'autres matériaux environnants [19].

En raison de ce processus d'hydratation continu, le mélange se solidifie, durcit et acquiert sa résistance mécanique. L'hydratation se poursuit tant que les conditions d'humidité et de température sont adéquates (cure) et que les produits de l'hydratation disposent de l'espace requis [19].

**c) L'eau**

Certaines eaux sont employées pour l'hydratation du ciment, étant intégrées dans la composition chimique de l'hydrate ou conservées dans les pores de celui-ci. Cette eau ne contribue pas à la fluidification de la pâte, car elle est physiquement et chimiquement liée à l'hydrate. L'eau ne joue pas de rôle dans l'hydratation du ciment [20].

**d) Les adjuvants**

Les adjuvants sont des substances chimiques ajoutées en petites quantités au mortier ou au béton lors du malaxage afin de modifier certaines propriétés, qu'elles soient fraîches ou

dures. En règle générale, l'adjuvant le plus couramment utilisé dans la production de béton (béton fluide) c'est le super-plastifiant.

Les super-plastifiants sont des polymères possédant des chaînes moléculaires très longues.

La norme **ASTM C494** définit l'adjuvant de super-plastifiant comme un « *réducteur d'eau élevée* » [21]. Ces additifs permettent de diminuer le taux d'humidité de **30% à 40%** dans la nouvelle génération de super-plastifiants.

### I.5.2. Caractérisation des MAP à l'état frais :

La déformabilité du mortier se définit comme la capacité de ce dernier à modifier sa forme sous l'effet de son propre poids, ce qui impose des exigences élevées en matière de déformabilité. Pour obtenir une déformabilité adéquate, il est crucial de minimiser les frottements entre les sables du mélange. Il est nécessaire de diminuer la proportion de sable grossier et d'augmenter le volume de pâte afin d'atteindre la déformabilité requise des **MAP** [22].

Une autre méthode pour réduire le frottement entre les sables consiste à incorporer des additifs minéraux tels que des charges [22].

#### a) Essai d'étalement au Mini-Cône

L'essai d'étalement implique le remplissage d'un moule tronconique positionné sur une surface horizontale lisse (Figure I.4). Après avoir soulevé le moule, le diamètre d'étalement du mortier est mesuré dans deux directions perpendiculaires, et la moyenne est calculée. Illustre le dispositif utilisé pour l'essai d'étalement des mortiers [23].



**Figure I.4 :** Essai de Mini cône sur le mortier autoplaçant [23].

**b) Essai au cône de Marsh**

L'essai du cône de Marsh (Figure I.5) sert à évaluer la mobilité relative des **MAP**. C'est un moyen simple et efficace d'obtenir une mesure de la fluidité de la pâte, qui est inversement proportionnelle au temps d'écoulement. En mesurant le temps requis pour qu'un litre de pâte s'écoule du cône à travers une petite ouverture de 11 mm [24].



**Figure I.5** : Essai au cône de Marsh [24].

**c) Essai d'écoulement au mini-entonnoir en V**

L'essai d'écoulement à l'entonnoir en V est employé pour mesurer la fluidité et la viscosité des **MAP**. Un entonnoir de dimensions spécifiques est rempli de mortier jusqu'aux bords (Figure I.6).

Le clapet de fermeture situé à sa base est ensuite ouvert, et l'on mesure le temps ( $T_v$ ) que met le mortier à s'écouler de l'entonnoir jusqu'à ce qu'il soit complètement vide. Ce temps d'écoulement, qui doit se situer entre 8 et 14 secondes, caractérise la viscosité du mortier. Si le mortier s'écoule plus rapidement, cela indique que sa viscosité est trop faible.

Bien que l'essai soit destiné à évaluer la fluidité, le résultat est influencé par d'autres propriétés du **MAP** en plus de celle de l'écoulement. La forme en cône inversé peut entraver l'écoulement du mortier si, par exemple, le granulat est trop gros. En revanche, un temps d'écoulement élevé peut être lié à une faible déformabilité, résultant d'une viscosité élevée de la pâte ou d'un frottement inter granulaire important [25].



**Figure I.6 :** Essai d'écoulement au mini-entonnoir en V sur MAP [25].

### I.5.3. Caractéristiques des MAP à l'état durci :

#### a) *Résistance à la compression (NF EN 196-1)*

L'essai de la compression est réalisé après l'essai de traction par flexion, ce dernier divisant l'éprouvette en deux parties [26].

$$R_c = \frac{F}{S}$$

- + **R<sub>c</sub>** : résistance à la compression.
- + **F** : charge de rupture à la compression.
- + **S** : surface transversale de l'éprouvette.

#### b) *Résistance à la flexion (NF P 15-471)*

La résistance à la traction par flexion des mortiers a été déterminée par des essais de flexion à trois points réalisés sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (4x4x16) cm<sup>3</sup> [26].

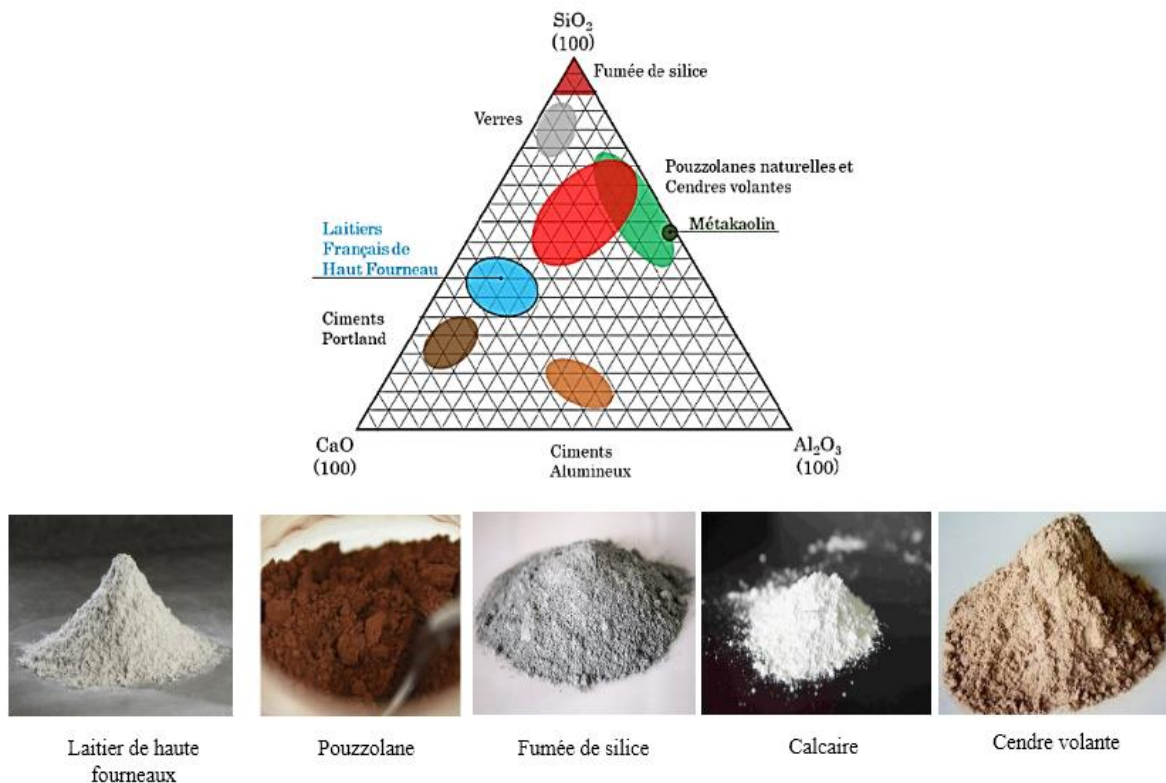
$$R_f = \frac{3 F_f l}{2 b^3}$$

- + **R<sub>f</sub>** : représente la résistance en flexion en (MPa) ;
- + **b** : correspond à la longueur du côté de la section carrée du prisme en millimètres (mm) ;
- + **F** : désigne la charge appliquée au centre du prisme au moment de la rupture en (N) ;
- + **L** : indique la distance entre les supports en millimètres (mm).

### I.6. Les additifs

Dans le but d'améliorer les propriétés physico-mécaniques des mortiers ou de leur conférer des caractéristiques spécifiques, il est possible d'incorporer divers additifs dans la formulation.

Ces additifs peuvent être d'origine minérale, organique ou synthétique, et leur sélection dépend de l'effet souhaité. Parmi les additifs les plus fréquemment employés, on trouve : des poudres minérales fines, telles que les cendres volantes ou la fumée de silice, qui contribuent à la densification de la matrice et à l'amélioration de la résistance mécanique (Figure I.7) ; des fibres (naturelles ou synthétiques) (Figure I.8), comme les fibres de polyéthylène, qui aident à réduire la fissuration, à renforcer la cohésion interne et à augmenter la résistance à la traction ; des colorants, qu'ils soient naturels ou industriels, utilisés pour modifier l'apparence esthétique du mortier ; et des polymères, ajoutés pour optimiser l'adhérence, la flexibilité et l'étanchéité du mélange [27].



**Figure I.7** : Les additions les plus utilisés dans les matériaux cimentaires [27].



Figure I.8 : Les fibres synthétiques [27].

### I.7. Les adjuvants

Les adjuvants sont utilisés dans les mortiers de maçonnerie et, dans certains cas, leur utilisation peut être bénéfique. Toutefois, leur emploi n'est généralement pas conseillé. Ils apportent la plasticité et la capacité de rétention d'eau que la chaux confère aux mortiers à base de ciment et de chaux. Certains ciments de maçonnerie sont des combinaisons de ciment Portland et de chaux hydratée, auxquels s'ajoutent des adjuvants [28].

#### a) *MEDAFLOW 30*

Il s'agit d'un super-plastifiant de troisième génération, hautement réducteur d'eau, à base de poly-carboxylates d'éther, produit par la société nationale **GRANITEX**.

Ce produit permet une réduction significative de la teneur en eau, garantissant ainsi des bétons et mortiers de qualité supérieure. Le **MEDAFLOW 30** n'a pas d'effet retardateur. Grâce à ses caractéristiques, il permet de [29] :

- ✚ Réduire le rapport E/C ;
- ✚ Améliorer la fluidité ;
- ✚ Obtenir une excellente rhéologie ;
- ✚ Prévenir la ségrégation ; -
- ✚ Accroître la résistance mécanique du béton à court et à long terme ;
- ✚ Réduire la porosité ;
- ✚ Minimiser le retrait et les risques de fissuration ;
- ✚ Améliorer la durabilité. La plage de dosage recommandée pour le **MEDAFLOW 30** est de 0,5 à 2,0 % du poids du liant.

**b) SikaPlast - 40 Pro**

Il s'agit d'un super-plastifiant à haut pouvoir réducteur d'eau, élaboré à partir de polycarboxylates modifiés par **Sika**. Ce produit améliore la stabilité, réduit les risques de ségrégation et renforce la formule face aux variations de dosage en eau et aux caractéristiques des matériaux. Cela confère aux bétons les propriétés suivantes [30] :

- + Maintien prolongé de la rhéologie ;
- + Réduction significative de l'eau ;
- + Résistance accrue à la ségrégation ;
- + Excellentes résistances initiales et finales ;
- + Esthétique soignée au décoffrage. La plage de dosage du **SikaPlast - 40 Pro** se situe entre 0,5 et 2,0 % du poids du liant.

**I.8. Le marbre****I.8.1. Définition :**

Est une roche métamorphique calcaire composée de calcite très pure (une forme cristalline du carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$ ) (voir le tableau I.1).

Il est utilisé dans la sculpture, ainsi que comme matériau de construction, et pour de nombreuses autres applications telles que le revêtement des sols, des murs et des parois de salles de bains. Il peut se former sous des conditions rares de pression et de chaleur extrêmes dans les profondeurs du terrain du marbre [31].

Le marbre est l'une des pierres les plus anciennes et les plus belles disponibles sur le marché pour les plans de travail. Il s'agit d'une pierre métamorphique résultant de la soumission du calcaire à d'énormes pressions pendant de longues périodes. La popularité du marbre a commencé dans la Rome et la Grèce antiques, où le marbre blanc et crème était utilisé pour construire une variété de structures, allant des sculptures à la main aux colonnes massives [32].

Le marbre est une roche métamorphique dense (Figure I.9), issue de la transformation de roches calcaires exposées à des températures et des pressions élevées, ce qui provoque un haut degré de cristallisation et engendre ainsi divers types de marbre [33].



**Figure I.9 :** Carrière de marbre et déchets de marbre à l'état poudreux [33].

### **I.8.2. Historique du marbre :**

De nombreux enregistrements attestent de l'utilisation du marbre par les civilisations anciennes. Les premières sculptures et gravures en marbre datent de la Mésopotamie ancienne, entre 2600 et 1900 avant notre ère, représentant des modèles animaliers, ce qui illustre une longue tradition du marbre.

D'autres artistes en Égypte ont perfectionné l'art de la taille du marbre, mais les Grecs sont souvent crédités de la popularisation de ce matériau dans leur art. La Vénus de Milo et la Victoire ailée de Samothrace ne sont que deux exemples emblématiques de sculptures grecques réalisées en marbre [35].

### **I.8.3. Type de marbre :**

Il existe divers types ou catégories de marbre dans lesquelles de nombreuses teintes peuvent être classées.

#### **a) *Le marbre de Carrare***

Se caractérise généralement par ses nuances blanches douces ou gris-bleu, ainsi que par ses veines légères et duveteuses. Ce marbre provient de la région de Carrare en Toscane, en Italie. Grâce à son apparence plus uniforme et polyvalente, le marbre de Carrare est considéré comme plus courant que les teintes de marbre Calacatta. Néanmoins, cela n'enlève rien à sa splendeur naturelle [36].

#### **b) *Le marbre Calacatta***

Ce marbre se distingue par un fond blanc éclatant et des veines plus prononcées et épaisses, souvent accentuées par des nuances jaunes ou brunes

Le marbre Statuario, tout comme le marbre de Carrara et de Calacatta (Figure I.10), est également extrait à Carrara, en Italie. En termes d'apparence, le marbre Statuario ressemble beaucoup à celui de Calacatta, grâce à ses veines audacieuses et saisissantes ainsi qu'à son fond blanc éclatant. Toutefois, le Statuario se distingue par un fond encore plus lumineux que celui de Calacatta. Bien qu'il présente des veines plus marquées que celles du Carrara, celles-ci sont moins nombreuses mais plus épaisses et plus prononcées que celles de Calacatta [36].



Figure I.10 : Types de marbre les plus utilisés [36].

#### I.8.4. Types de marbre par couleur :

- ✚ **Le marbre blanc** est le type de marbre le plus répandu et le plus prisé. Parmi nos dalles les plus appréciées, on trouve l'Oyster, le White Rhino et le Calacatta Viola. Le marbre Oyster offre un spectacle fascinant de taches crème et de formes grises angulaires qui tourbillonnent et dansent de manière variée ;
- ✚ **Le marbre noir** est l'un des types les plus captivants et diversifiés. Parmi nos dalles de marbre noir les plus remarquables, on trouve le Rosso Levanto et le Kenya Black. Le Rosso Levanto se démarque par son enchevêtrement et sa complexité sans pareilles, embellies par un riche réseau de veines rouges et blanches. C'est un véritable émerveillement de la beauté et de la créativité de la nature ;
- ✚ **Le marbre doré** est l'un des types de pierres les plus raffinés et luxueux. Parmi les exemples, nous nous concentrerons sur le Calacatta Borghini et le Paonazzo, bien que le Calacatta Viola soit également remarquable. Le Calacatta Borghini se distingue par ses veines dorées et grises audacieuses, apportant une touche de caractère à votre cuisine ou salle de bain [36].

### I.8.5. Utilisations du marbre :

#### a) *Architecture et œuvres d'art*

Le marbre est largement reconnu dans le domaine de l'art, ayant été utilisé depuis les civilisations grecque et romaine pour sculpter des statues classiques. Aujourd'hui, il est également employé dans la fabrication de colonnes et d'éléments décoratifs tels que des lampes et des façades de grands bâtiments, afin d'apporter une atmosphère de luxe et d'élégance. Par ailleurs, le marbre trouve également des applications dans la création d'ustensiles de cuisine et d'objets en céramique.

#### c) *Plans de travail de cuisine*

Le marbre est un choix idéal pour les cuisines en raison de sa durabilité, de sa résistance à la chaleur et aux taches, ainsi que de sa facilité d'entretien. Il est disponible dans une variété de designs qui s'adaptent à tous les goûts, allant du marbre blanc classique de Carrare avec des veines grises, au marbre Ambrador et au marbre Calacatta, jusqu'au marbre noir Nero Marquina avec des veines blanches ou dorées, offrant ainsi un arrière-plan magnifique et attrayant lors de la préparation des repas.

#### d) *Sols et murs*

Les revêtements de sol et les murs sont parmi les utilisations les plus populaires et les plus courantes du marbre, en raison de son apparence luxueuse qui peut transformer n'importe quel espace ordinaire en un lieu visuellement captivant.

De plus, il est disponible dans une variété de couleurs et de motifs de design, ce qui en fait un matériau adapté tant aux espaces classiques qu'aux espaces modernes [37].

## I.9. Fibres de polyéthylènes

### I.9.1. Définition des fibres :

Les fibres sont caractérisées comme des éléments discontinus, présentant une nature variée, avec des formes généralement cylindriques et des dimensions de diamètre et de longueur variables. Elles sont disposées dans la matrice de manière aléatoire ou selon une orientation préférentielle. En règle générale, les fibres servent également à définir le constituant fondamental des structures textiles.

De plus, on distingue les fibres courtes, mesurant entre 20 et 150 mm, des fibres longues, également appelées filaments continus. Il existe une multitude de fibres qui se différencient par leur origine (naturelles, artificielles et synthétiques) (Figure I.11), leur forme (droite, ondulée, en aiguille, etc.), leurs dimensions (macro ou microfibrilles) ainsi que par leurs propriétés mécaniques. Toutefois, pour sélectionner les fibres appropriées pour des applications spécifiques, il est essentiel de considérer la compatibilité de la fibre avec la matrice et le mode de performance du composite.

### **I.9.2. Types des fibres :**

#### **a) *Fibres de verre de type « E » et « AR »***

Les fibres « E » sont des fibres de verre traditionnelles contenant une forte proportion de bore, offrant de bonnes propriétés mécaniques, mais elles sont vulnérables aux alcalis libérés par l'hydratation du ciment. Leur utilisation dans le béton requiert donc l'ajout de polymères ou d'autres adjuvants lors du mélange, afin d'enrober la fibre et de la protéger contre l'attaque alcaline (Figure I.11).

Les fibres AR (résistantes aux alcalis) sont fabriquées à partir d'un verre enrichi en zirconium, ce qui les rend moins sensibles aux alcalis. Un traitement d'ensimage, consistant en l'application d'un produit de protection, renforce encore leur résistance.

#### **c) *Fibres d'acier***

Largement employées dans le secteur du génie civil, ont été l'objet de nombreuses études. En effet, les caractéristiques mécaniques du béton renforcé par ces fibres dépendent de la résistance d'adhésion inter-faciale entre la fibre et la matrice (Figure I.11).

#### **d) *Fibres de carbone***

Des fibres bien que coûteuses et moins accessibles sur le marché que d'autres matériaux, sont néanmoins considérées comme les plus performantes.

#### **e) *Fibres de polypropylène***

Sont généralement longues (entre 30 et 60 mm) (Figure I.11), légères et résistent à l'attaque du ciment. Leur module d'élasticité est inférieur à celui de la pâte durcie. Il est recommandé de les utiliser principalement pour des éléments minces nécessitant une résistance à la corrosion dans des environnements où l'acier pourrait se détériorer rapidement, ainsi qu'aux chocs mécaniques [38].



Fibres de verre



Fibres de carbone



Fibres de l'acier



Fibres de polypropylène

**Figure I.11** : Types des fibres les plus utilisées [27].

### **I.9.3. Domaines d'application les fibres de polypropylène :**

Les fibres de polypropylène sont spécifiquement conçues pour être employées dans des situations où des fissures peuvent apparaître en raison du retrait ou des déformations plastiques, comme dans le cas de grandes dalles de béton, d'éléments préfabriqués en béton, ou de planchers chauffants. Elles sont essentielles là où la cohésion des chapes ou du béton est requise lors de l'application, notamment pour des dalles inclinées.

De plus, les fibres de polypropylène sont également utilisées dans des applications de béton projeté (gunite) pour améliorer le compactage et la densité du béton projeté [39].

### **I.9.4. Caractéristiques et avantages du matériau polyéthylène :**

Les propriétés et bénéfices du polyéthylène peuvent être classés de la manière suivante [40] :

Ce matériau présente une résistance au vieillissement, avec une durée de vie estimée à au moins cinquante (50) ans, bien que sa performance réelle dépasse largement cette estimation. Il se distingue par sa capacité à résister à la fissuration sous tension, évitant ainsi l'apparition de fissures.

Le polyéthylène est reconnu pour sa flexibilité, ce qui lui confère légèreté et durabilité, même dans des conditions de travail difficiles.

De plus, il est plus léger et plus facile à manipuler que l'acier, le bois ou l'aluminium, facilitant ainsi la construction de diverses structures. Grâce à sa résistance à la corrosion, le polyéthylène conserve ses propriétés et performances dans toutes les conditions de travail. Il possède une grande résistance aux chocs et ne se casse pas même à des températures basses.

En outre, il est peu susceptible de se salir, ne contient pas de substances toxiques et se nettoie aisément. Il offre également une excellente résistance au gel et n'est pas affecté par le gel des liquides qu'il contient. Enfin, en ce qui concerne les matières premières, il est plus économique que l'acier, l'aluminium ou le bois [40].

### **I.10. Conclusion**

Ce chapitre est considéré comme un aspect théorique du sujet de recherche. Il explique les types d'additifs minéraux et les types de fibres qui peuvent être utilisés dans la formation et le renforcement des matériaux de ciment, que ce soit du béton ou du mortier, dans une formule moderne qui peut être adoptée dans le cadre de l'exploitation et du recyclage des déchets industriels.



**Chapitre II**  
**Matériaux et essais expérimentaux**

### II.1. Introduction :

Ce chapitre traite de la présentation des matériaux employés dans la fabrication du mortier autoplçant. Il aborde également les équipements utilisés ainsi que les diverses méthodes d'essai mises en œuvre pour caractériser les propriétés physiques et mécaniques du mortier.

### II.2. Matériaux utilisés :

Nous avons utilisé dans notre travail les matériaux suivants pour formuler un mortier autoplçant :

- ✚ Le sable de (**Djamaa**) wilaya de **Ouad souf** ;
- ✚ Ciment mâtime de la cimenterie Lafarge district (**CPJ-CEM II/B 42,5 R NA 442**) ;
- ✚ Adjuvant de type **MEDAFLOW 30/30** ;
- ✚ Eau de gâchage c'est eau potable prise au niveau du laboratoire de génie civil de l'**université de M'SILA** ;
- ✚ Poudre **de marbre** ;
- ✚ Fibres **de polyéthylène (PE)**.

### II.3. Caractéristiques des matériaux :

#### II.3.1. Sable :

Le sable de **Djamaa** provenant de la wilaya de **Ouad Souf** a été utilisé. Ce sable est un matériau naturel qui présente une granulométrie adaptée aux mélanges de ciment.

##### a) *Analyse granulométrique* :(NA EN 933-5)

L'analyse granulométrique est une technique utilisée pour évaluer la dimension des particules d'un matériau ainsi que leur distribution.

##### ❖ **But d'essai**

L'objectif de l'essai granulométrique est d'analyser la distribution des dimensions des particules d'un matériau dans le but d'évaluer sa qualité et son adéquation pour une utilisation particulière.

##### ❖ **Matériels utilisés**

##### *Tamis* :

Utilisés pour séparer les grains selon leur taille, généralement en métal avec des mailles de différentes tailles.

***Balance de précision :***

Pour mesurer le poids des matériaux après leur passage à travers les tamis.

***Panier :***

Utilisé pour collecter les matériaux séparés après chaque passage à travers les tamis.

***Minuteur :***

Pour régler le temps nécessaire pour passer les matériaux à travers les tamis.

***b) Méthodologie de l'essai granulométrique***

- ✚ Une quantité de 1500 g de sable a été pesée comme échantillon d'essai ;
- ✚ Chaque tamis a été pesé à vide, du plus grand au plus petit, pour déterminer sa masse propre ;
- ✚ L'échantillon a été versé dans la colonne de tamis disposés par ordre décroissant d'ouverture ;
- ✚ L'ensemble des tamis a été placé dans la Tamiseuse et soumis à un tamisage pendant 5 minutes ;
- ✚ Après le tamisage, chaque tamis a été pesé avec le sable retenu. La masse de sable retenue dans chaque tamis a été obtenue par différence entre la masse pleine et la masse vide.

Les résultats obtenus ont permis de calculer les pourcentages et de tracer la courbe granulométrique (Tableau II.1) pour le sable et le marbre, (Tableau II.2) pour les mélanges entre le marbre et sable.

Tableau II. 1 : Analyse granulométrique de sable djamaa et de marbre.

Matériaux	Sable		Marbre	
	Refus (%)	Tamisat (%)	Refus (%)	Tamisat (%)
5	0	100	0	100
2,5	0,33	99,67	5,8	94,27
1,25	6,09	93,67	88,13	11,87
0,63	49,22	50,78	94,6	5,4
0,315	84,84	15,16	98,71	1,29
0,16	98,36	1,64	99,78	0,22
0,08	99,89	0,11	99,86	0,14
Fond	100	0	99,96	0,04

c) *Module de finesse*

Le module de finesse correspond à 1/100 de la somme des refus cumulés, exprimée en pourcentages, sur les tamis de la série suivante : **0,08 - 0,16 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm**.

$$M_f = \sum \frac{\% RC (0,16+0,315+0,63+1,25+2,5+5)}{100} \quad (1)$$

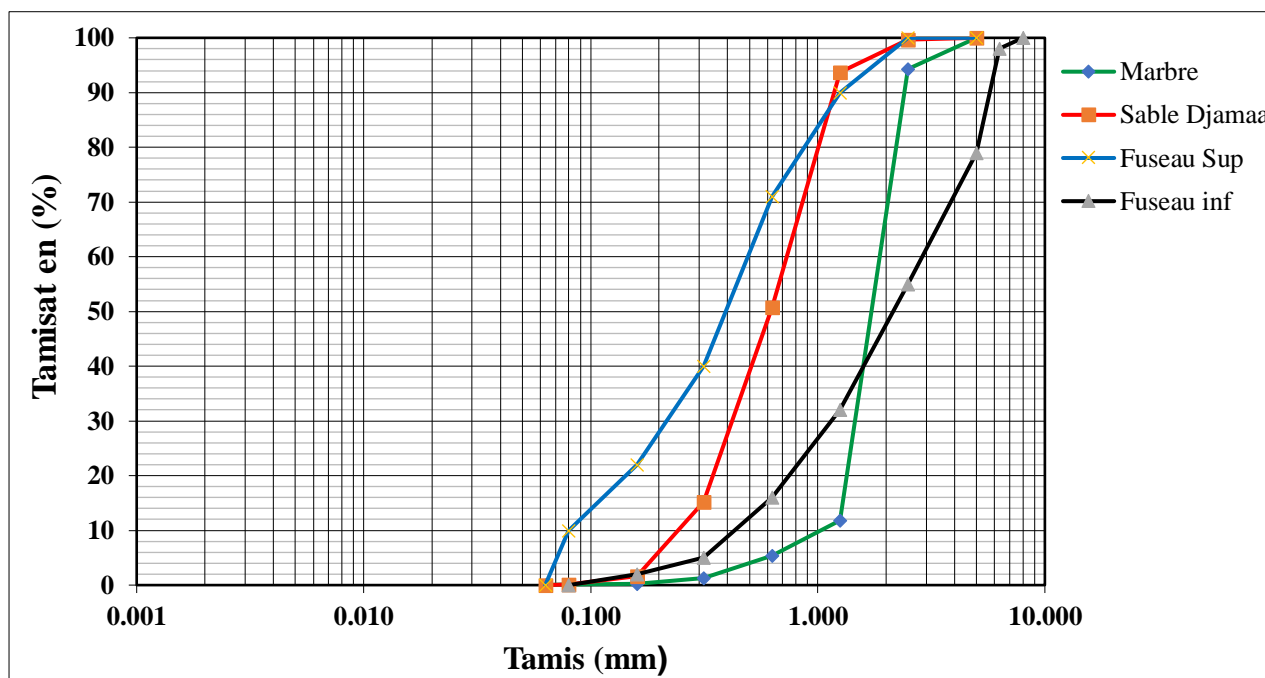


Figure II.1 : Courbe d'analyse granulométrique de sable djamaa et de marbre.

D'après le calcul de module de finesse par la relation (1), nous avons obtenus les valeurs suivantes : **Mf** de sable Djamaa 2,4 et **Mf** de marbre 3,2.

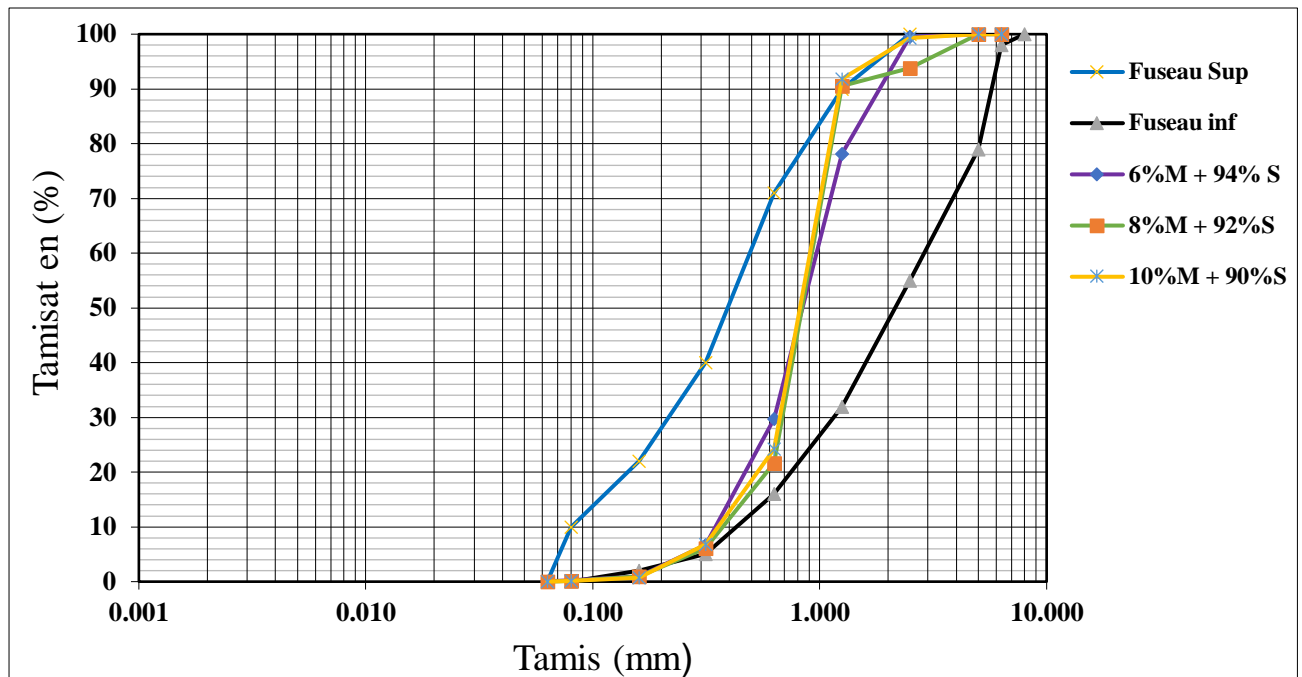
<u>LES FUSEAUX DE SABLE ADMISSIBLE</u>	
Sable préférentiel	$2,2 < Mf < 2,8$
Sable un peu trop Fin	$1,8 < Mf < 2,2$
Sable un peu trop Grossier	$2,8 < Mf < 3,2$

Donc :

- ✚ Sable Djamaa classé dans le premier intervalle de sable préférentiel.
- ✚ Le marbre classé dans le troisième intervalle sable un peu trop grossier.

**Tableau II. 2** : Analyse granulométrique des mélanges entre le sable djamaa et le marbre.

Matériaux	6%M + 94%S		8%M + 92S%		10%M + 90S%	
	Refus (%)	Tamisat (%)	Refus (%)	Tamisat (%)	Refus (%)	Tamisat (%)
5	0	100	0	100	0	100
2,5	0,64	99,54	0,5	93,78	0,67	99,33
1,25	21,8	78,2	6,22	90,5	8,13	91,87
0,63	70,33	29,67	78,37	21,63	75,73	24,27
0,315	93,53	6,67	93,87	6,13	93,23	6,77
0,16	98,99	1,005	99,07	0,93	99,23	0,77
0,08	99,8	0,2	99,86	0,14	99,89	0,105
Fond	99,93	0,07	100	0	100	0



**Figure II.2 :** Courbe d'analyse granulométrique des mélanges entre le sable djamaa et le marbre.

### II.3.2. Les caractéristiques physiques de sable :

#### a) *Equivalent de sable*

L'essai de l'équivalent de sable (Figure II.3) permet d'évaluer la proportion d'argile présente dans le sable. Une valeur plus élevée indique un sable de meilleure qualité, plus pur et plus adapté à l'utilisation (Tableau II.2).

#### ❖ Procédure opératoire :

- Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à 500 g) ;
- Prendre une pesée de 120 g. Remplir l'éprouvette de solution lavante jusqu'au premier repère (10 cm). À l'aide d'un entonnoir, verser l'échantillon (120 g) dans l'éprouvette et taper vigoureusement avec la paume de la main pour éliminer toutes les bulles d'air et favoriser l'humidification de l'échantillon. Laisser reposer pendant 10 minutes ;
- Fermer l'éprouvette avec le bouchon en caoutchouc et effectuer 90 cycles de 20 cm de course horizontale en 30 secondes, l'aide d'un agitateur mécanique ;

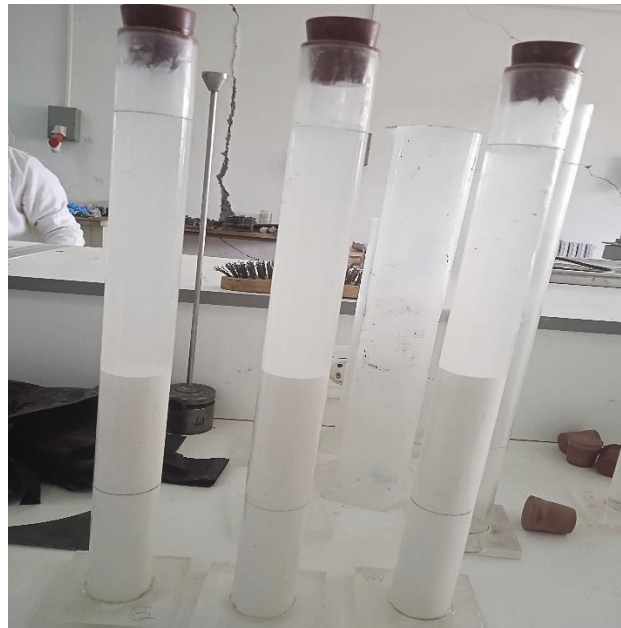


Figure II.3 : Essai de l'équivalent de sable au niveau de laboratoire pédagogique (M'Sila).

Tableau II.2 : Résultats de l'équivalent de sable.

Essai	$h_1$ (cm)	$h_2$ (cm)	ESV (%)	Moy	$h'_2$ (cm)	ESP (%)	Moy
1	10,5	8,6	82,85	82,1	8,5	80,95	80,82
2	10,4	8,7	83,65		8,4	80,76	
3	10,4	8,7	83,65		8,4	80,76	

Tableau II.3 : La classification de la nature sable en fonction d'équivalent de sable (E.S).

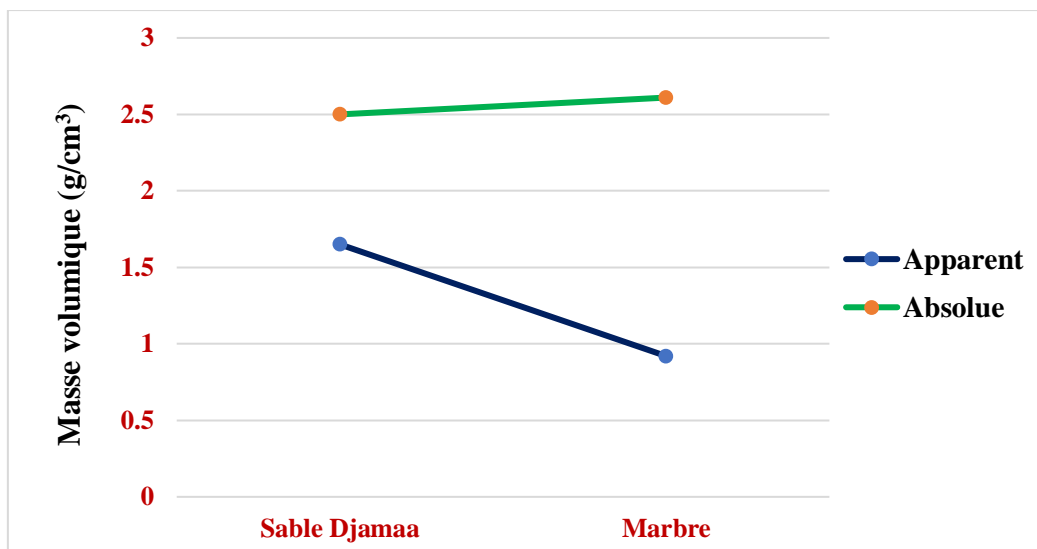
E. S. V	E. S. P	Nature et qualité du sable
$E. S < 65$	$E. S < 60$	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité
$65 < E. S < 75$	$65 < E. S < 70$	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait
$75 < E. S < 85$	$70 < E. S < 80$	Sables propres à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité
$E.S > 85$	$E.S > 80$	Sable très propre : l'absence totale de fine argileuses risque d'entraîne d'un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par augmentation du dosage en Eau

D'après les résultats obtenus nous avons remarqué que le pourcentage de l'équivalent de sable supérieure à **80%**, donc c'est un sable très propre avec une absence totale de fine argileuses dans les deux essais visuel et piston.

*b) La masse volumique de sable et de marbre*

**Tableau II.4** : La masse volumique apparente et absolue (sable et marbre).

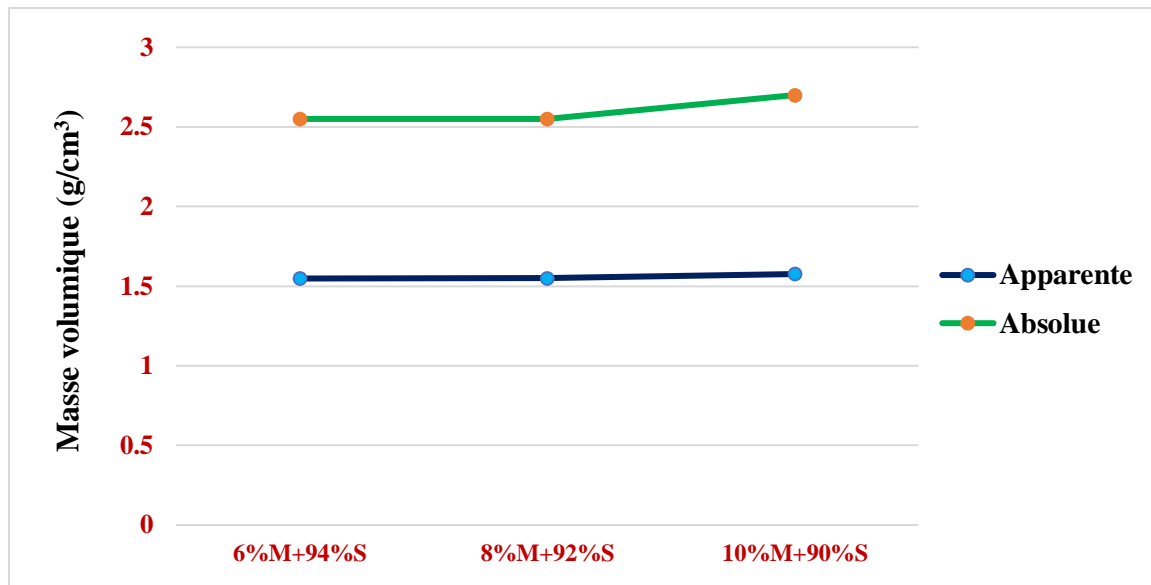
Matériau	$\rho(\text{app})$	$\rho(\text{abs})$
Sable Djamaa	1,65	2,5
Marbre	0,92	2,61



**Figure II.4** : La masse volumique apparente et absolue de sable Djamaa et de marbre.

**Tableau II.5** : Les résultats des masses volumiques sur les mélanges.

Composition	$\rho(\text{app})$	$\rho(\text{abs})$
6%M+94%S	1,548	2,55
8%M+92%S	1,549	2,55
10%M+90%S	1,576	2,7



**Figure II.5 :** La masse volumique apparente et absolue des différents pourcentages de sable Djamaa et de marbre (les mélanges).

**c) La porosité**

La porosité est une grandeur physique qui se définit comme le rapport entre le volume des vides et le volume total d'un milieu poreux, sa valeur variante entre 0 et 1 (ou, exprimée en pourcentage, entre 0 et 100 %).

Les deux tableaux (II.6 et II.7) présentent les résultats obtenus de la porosité sur les matières premières (sable et marbre), aussi sur les différents mélanges des mortiers autoplaçant contient de marbre (6%, 8% et 10%) et de sable (94%, 92% et 90%) après le durcissement, respectivement.

**Tableau II.6 :** La porosité de sable et marbre.

Matériaux	Porosité
Sable Djamaa	34,2
Marbre	67,83

**Tableau II.7 :** La porosité (sable + marbre)

Composition	Porosité
6% M + 94% S	39,49
8% M + 92% S	39,25
10% M + 90% S	41,56

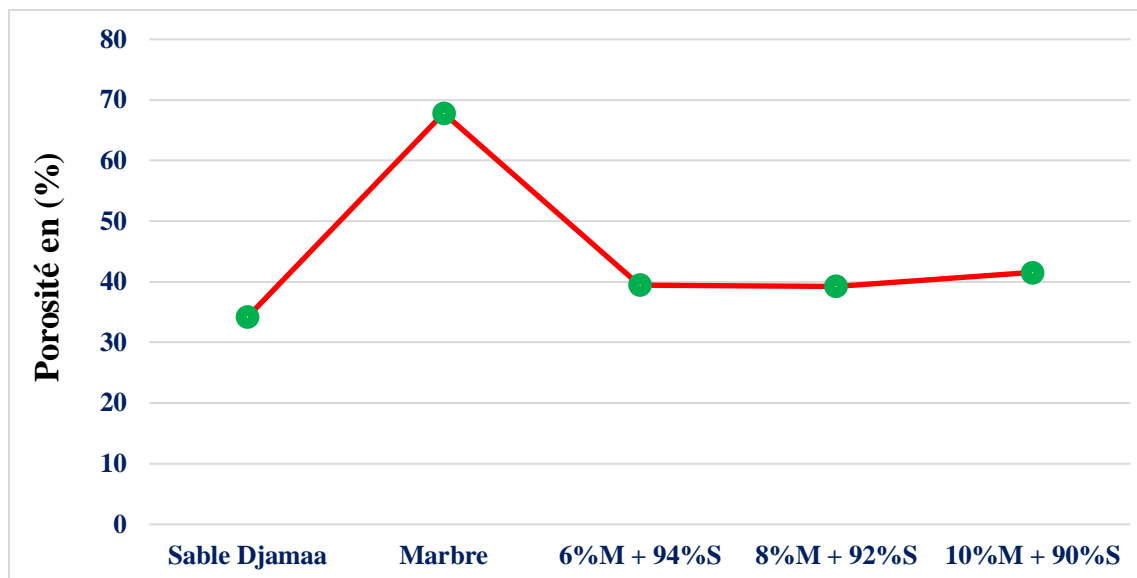


Figure II.6 : La porosité de sable Djamaa et le marbre plus les mélanges entre eux.

### II.3.3. Adjuvant (MEDA FLOW30/30) :

**MEDAFLOW 30/30** est un agent accélérateur qui diminue les délais de début et de fin de prise du béton, simplifiant ainsi le processus de coulage et de décoffrage. Cela permet d'améliorer la productivité et d'accélérer l'exécution des projets de construction.

En raison de ses caractéristiques, **MEDAFLOW 30/30** favorise l'accélération du durcissement du béton tout en préservant ses performances mécaniques. Son emploi est particulièrement conseillé dans les situations nécessitant un délai de mise en service rapide, telles que les travaux de réparation ou les chantiers avec des délais de réalisation serrés.

#### a) Domaines d'application

- ✚ Bétons à hautes performances ;
- ✚ Bétons autoplçant ;
- ✚ Bétons pompés ;
- ✚ Bétons précontraints.

#### b) Caractéristiques de l'adjuvant

- Aspect : liquide ;
- Couleur : Brun clair ;
- PH : 6- 6,5 ;
- Densité :  $1,07 \pm 0,01$  ;
- Teneur en chlore :  $<0.1 \text{ g/l}$  ;

- Extrait sec :30%.

### d) Taux de saturation

Le (Tableau II.8) indique la quantité de ciment nécessaire pour la formulation d'un mortier autoplaçant et le rapport E/C, selon la relation suivante :

$$E = C \times 0,6 = 300g$$

**Tableau II.8** : La quantité de ciment obtenu.

Ciment (g)	Rapport (E/C)	Eau (g)
500	0,6	300

Le (Tableau II.9) indique le pourcentage de l'adjuvant selon la quantité obtenue de ciment pour déterminer le taux de saturation.

**Tableau II.9** : Détermination taux de saturation.

Ciment (g)	Adjuvant (%)	Taux
	0,80%	14,98
	1%	14,4
500	1,10%	11,06
	1,20%	6,66
	1,30%	6,56



**Figure II.7** : Essai de saturation au niveau de laboratoire pédagogique.

### II.3.4. L'eau de gâchage :

L'eau remplit une double fonction en hydratant le ciment et, plus important encore, en facilitant son activation. Il est essentiel de noter que les critères relatifs à l'eau de gâchage diffèrent largement entre les mortiers et le béton, un faible rapport (E/C) c'est-à-dire la quantité de l'eau sur la quantité de ciment est recommandé pour le béton. Il est crucial que l'eau soit pure et exempte de substances nuisibles telles que des acides, des alcalis ou des matières organiques. Lorsqu'elle est potable, elle peut être utilisée.

L'eau de gâchage employée dans notre étude provient de l'eau potable fournie par le **laboratoire de génie civil de l'université de M'sila.**

### II.2.5. La poudre de marbre

**Tableau II.10 :** La composition chimique de marbre [34].

Elements	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	ZnO	SrO	ZrO <sub>2</sub>
%	39,43	1,24	0,38	0,17	2,55	0,18	0,01	0,09	0,02	0,01	0,01

### II.2.6. Le Ciment :

Le ciment utilisé dans ce travail est un ciment blanc composé de type **CEM II/A 52,5N** de classe de résistance **52,5**. Produit par : la cimenterie Lafarge district de **SPA BISKRA CIMENT.**

Se caractérisent par leur composition, qui repose sur des matières premières d'une grande pureté, telles que le calcaire et le kaolin, dépourvues d'oxyde de fer. Ils appartiennent aux types **CEM I** ou **CEM II** et respectent la norme **NF EN 197-1.**

Le ciment blanc, par sa blancheur, met en valeur les couleurs des granulats dans les bétons visibles. Il est également possible de teinter la pâte avec des pigments, ce qui permet d'obtenir une large gamme de nuances pour les bétons structurels, architecturaux et les revêtements décoratifs. Il est essentiel d'analyser soigneusement la composition du béton en tenant compte des granulats, des effets souhaités et du traitement de surface.



**Figure II.8 :** Sac de ciment blanc qui est disponible au niveau de SPA Biskria ciment.

Le (Tableau II.11) présente les caractéristiques principales chimiques, physique et mécaniques de ce ciment, les autres informations sur le domaine d'application sont indiquées dans la fiche technique (annexe).

**Tableau II.11 :** La fiche technique de ciment blanc (cimenterie de Biskra).

Analyses chimiques (%)	Valeur
Perte au feu (%) (NA 5042)	<3,5
Teneur en sulfates SO <sub>3</sub> (%)	2,5 ± 0,5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	2 ± 0,5
Teneur en chlorures (NA 5042) (%)	0,02 – 0,05
Composition potentielle du clinker (selon bogue) (%)	Valeur
C <sub>3</sub> S	65 ± 5
C <sub>3</sub> A	10 ± 1
Propriétés physiques et optique	Valeur
Consistance normale (%)	27 ± 2
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm <sup>2</sup> /g) (NA 231)	3600 – 4000
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1000
Expansion (mm)	< 3,0

Blancheur (Luminance) (%)	>92
<b>Temps de prise (min)</b>	<b>Valeur</b>
Début de prise	170 ± 40
Fin de prise	260 ± 40
<b>Résistance à la compression</b>	<b>Valeur</b>
2 jours (MPa)	> 30
28 jours (MPa)	>58,5



Figure II.9 : Les matériaux utilisés pour la formulation des mortiers autoplaçants.

#### II.4. Conclusion

Ce chapitre présente les essais utilisés pour caractériser les matériaux choisis (sable, marbre) dans la formulation d'un mortier autoplaçant et les résultats obtenus dans le coté physique tels que, la masse volumique, l'analyse granulométrique pour voir le module de finesse et la porosité.



**Chapitre III**  
**Résultats et discussions**

### III.1. Introduction

Dans ce troisième chapitre, intitulé "*résultats et discussions*", nous allons examiner en détail les données recueillies à partir des multiples expériences menées sur les échantillons de mortier.

Ces expériences ont été conçues pour évaluer l'impact de l'utilisation de proportions variables de poudre de marbre et de différentes longueurs de fibres de polyéthylène sur les propriétés rhéologiques, physiques et mécaniques des mortiers obtenus. Cette analyse vise principalement à déterminer comment ces changements dans la composition affectent la qualité et la performance du mortier dans des conditions d'utilisation spécifiques.

De plus, ce chapitre abordera les implications pratiques de ces résultats afin d'améliorer les méthodes d'utilisation des matériaux dans le secteur de la construction, en se concentrant particulièrement sur la rhéologie du mortier, sa résistance et la réalisation d'une efficacité économique.

### III.2. Formulation des mélanges de mortiers.

**Tableau III.1:** composition des différents types des mortiers autoplaçant en (%).

Mortiers	Ciment	Sable	E /C	Adjuvant	Marbre	Fibres 5cm	Fibres 7 cm
Mt	100	100	0,6	0	0	0	0
MF5	100	100	0,6	1,3	0	0,1	0
MF7	100	100	0,6	1,3	0	0	0,1
M6%M	100	94	0,6	1,3	6	0	0
M6%MF5	100	94	0,6	1,3	6	0,1	0
M6%MF7	100	94	0,6	1,3	6	0	0,1
M8%M	100	92	0,6	1,3	8	0	0
M8%MF5	100	92	0,6	1,3	8	0,1	0
M8%MF7	100	92	0,6	1,3	8	0	0,1
M10%M	100	90	0,6	1,3	10	0	0

<b>M10%MF5</b>	100	90	0,6	1,3	10	0,1	0
<b>M10%MF7</b>	100	90	0,6	1,3	10	0	0,1

**Tableau III.2:** composition des différents types des mortiers autoplaçant en (g).

<b>Mortiers</b>	<b>Ciment</b>	<b>Sable</b>	<b>E /C</b>	<b>Adjuvant</b>	<b>Marbre</b>	<b>Fibres 5 cm</b>	<b>Fibres 7 cm</b>
<b>Mt</b>	1500	4500	0,6	0	0	0	0
<b>MF5</b>	1500	4500	0,6	6,5	0	5,4	0
<b>MF7</b>	1500	4500	0,6	6,5	0	0	5,4
<b>M6%M</b>	1500	4230	0,6	6,5	720	0	0
<b>M6%MF5</b>	1500	4230	0,6	6,5	720	5,4	0
<b>M6%MF7</b>	1500	4230	0,6	6,5	720	0	5,4
<b>M8%M</b>	1500	4140	0,6	6,5	360	0	0
<b>M8%MF5</b>	1500	4140	0,6	6,5	360	5,4	0
<b>M8%MF7</b>	1500	4140	0,6	6,5	360	0	5,4
<b>M10%M</b>	1500	4050	0,6	6,5	450	0	0
<b>M10%MF5</b>	1500	4050	0,6	6,5	450	5,4	0
<b>M10%MF7</b>	1500	4050	0,6	6,5	450	0	5,4

### III.3. Résultats des essais de la masse volumique

Les résultats ont montré différentes valeurs en fonction des proportions de poudre de marbre et de fibres de polyéthylène utilisées dans les mélanges.

La Figure (III.1) illustre la corrélation entre la masse volumique du mortier et le pourcentage de poudre de marbre incorporé, ainsi que l'impact de la durée de durcissement (7, 14 et 28 jours).

Dans le mortier témoin, il est constaté que la masse volumique augmente au fil du temps (de 7 jours à 28 jours), ce qui indique une élévation de la densité du mortier au cours des jours de durcissement.

L'impact de l'ajout de poudre de marbre (M6%M, M8%M, M10%M), en règle générale, l'incorporation de poudre de marbre (6% à 10%) semble provoquer une hausse de la masse volumique par rapport au mortier de référence (Mt) après 14 et 28 jours de durcissement. Pour toutes les proportions de marbre ajoutées, la masse volumétrique continue d'augmenter à mesure que le temps de durcissement s'allonge (de 7 jours à 28 jours). On observe une légère augmentation de la masse volumique lorsque la proportion de poudre de marbre passe de 6 % à 10 %, surtout à 14 et 28 jours de durcissement.

Le graphique démontre que la masse volumique du mortier s'accroît avec le temps de durcissement et que l'ajout de poudre de marbre contribue à une augmentation après des périodes de durcissement prolongées (14 et 28 jours).

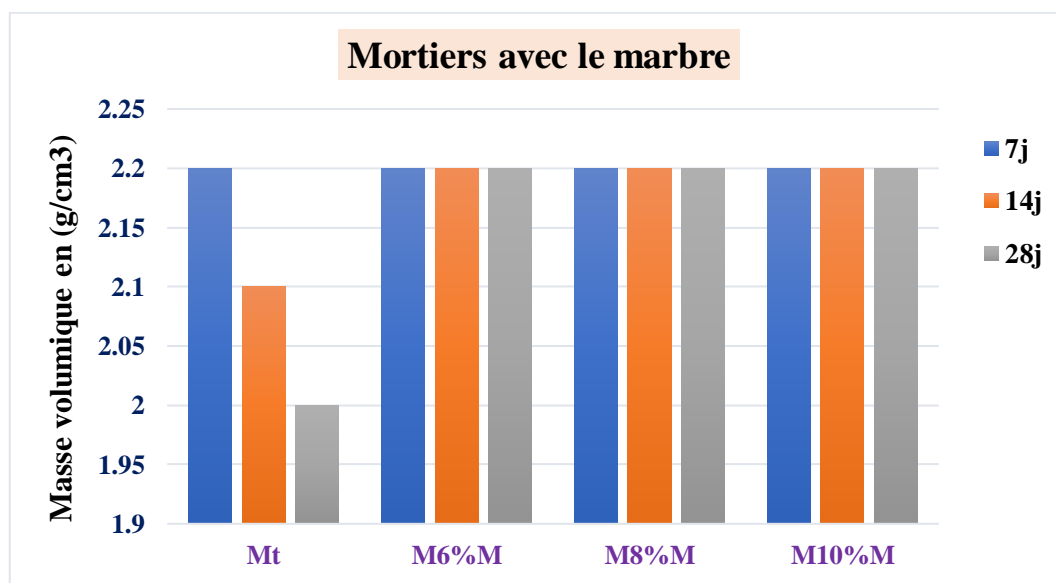


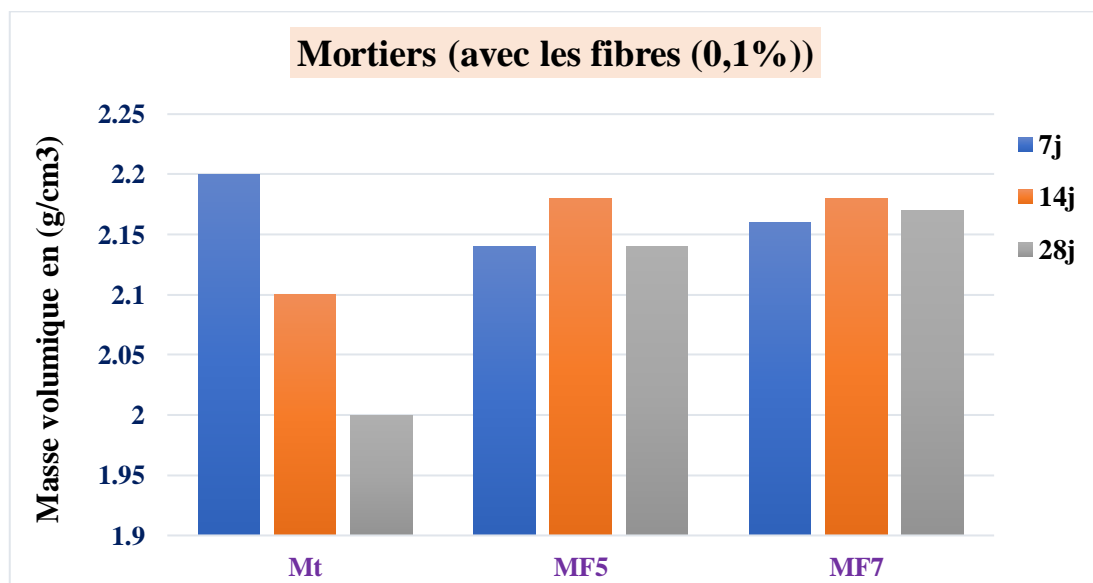
Figure III.1 : Masse volumique en fonction du pourcentage de poudre de marbre à 7j, 14j et 28j.

La figure (III.2) présente (Mortiers (avec fibres (0,1%))) illustre l'impact de l'incorporation de 0,1% de fibres de polyéthylène de différentes longueurs (5 mm et 7 mm) sur la masse volumique du mortier, sur plusieurs périodes de durcissement (7, 14 et 28 jours).

Dans le mortier sans fibres, on constate que la masse volumique diminue de manière significative au fil du temps (de 7 jours à 28 jours) en règle générale. L'ajout de fibres de polyéthylène (0,1 %) d'une longueur de 5 mm (MF5) ou de 7 mm (MF7) semble provoquer une

augmentation de la masse volumique du mortier par rapport au mortier témoin (Mt) après 14 et 28 jours de durcissement. Contrairement au groupe des mortiers témoin, la masse volumique des mortiers contenant des fibres (MF5 et MF7) augmente ou reste stable à mesure que le temps de durcissement progresse de 7 jours à 28 jours, en particulier à 14 et 28 jours où les valeurs sont constantes ou supérieures. L'effet de la longueur, il n'existe pas de différence significative dans la masse volumique entre le mortier contenant des fibres de 5 mm (MF5) et celui contenant des fibres de 7 mm (MF7) aux mêmes périodes de durcissement. Les deux présentent un comportement similaire.

La figure (III.2) démontre que l'ajout de 0,1 % de fibre de polyéthylène permet de maintenir ou d'augmenter la masse volumique du mortier au fil du temps, contrairement au mortier conventionnel, qui peut voir sa masse volumique diminuer. Il ne semble pas y avoir d'effet significatif de la longueur des fibres (5 mm contre 7 mm) sur la masse volumique à ce niveau d'additif.



**Figure III.2 :** Masse volumique en fonction du pourcentage et de la longueur de fibre polyéthylène à 7j,14j et 28j.

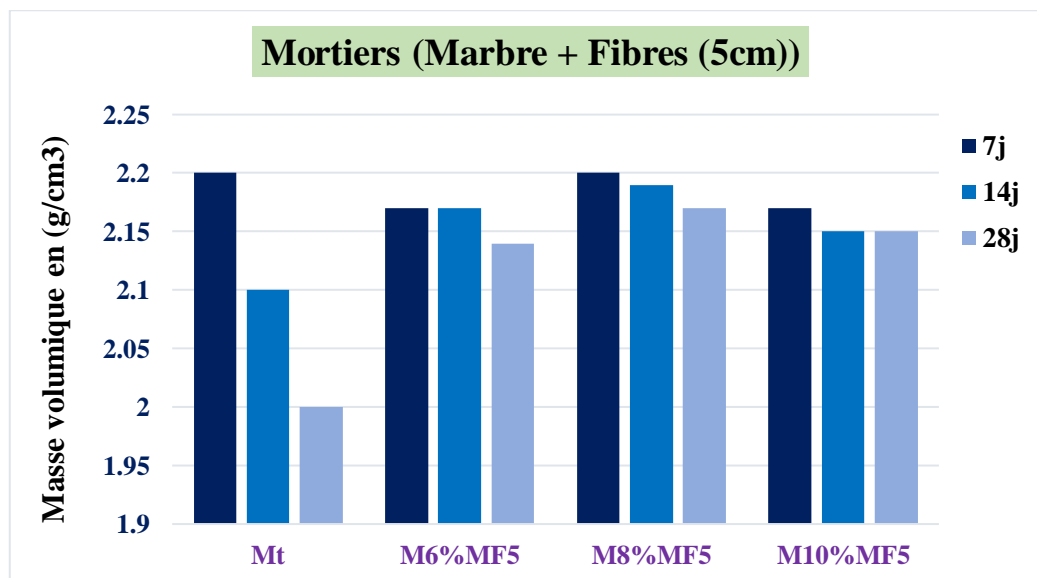
D'après la figure (III.3), Ce graphique illustre le profil masse-volume de mortiers autoplaçant de diverses compositions, mesurés à 7, 14 et 28 jours.

La poudre de marbre a été intégrée en différentes proportions de (6%, 8%, 10%) avec un ajout constant de 0,1% de fibres de polyéthylène de 5 cm de longueur. En règle générale, les mélanges contenant de la poudre de marbre et des fibres de polyéthylène (M6%MF5,

M8%MF5, M10%MF5) affichent une masse volumique apparente plus élevée et plus stable dans le temps par rapport au mortier témoin (Mt).

Le mortier (M8%MF5) semble être le plus dense, enregistrant les valeurs de masse volumétrique les plus élevées à tous les âges (7, 14 et 28 jours). Cela suggère que 8 % de poudre de marbre pourrait être le rapport optimal pour obtenir un remplissage maximal et minimiser les vides dans cette composition.

La figure (III.3) démontre que l'incorporation de poudre de marbre et de fibres de polyéthylène dans le mortier autoplaçant améliore sa densité apparente et sa stabilité, notant que 8 % de poudre de marbre étaient optimaux pour atteindre la densité la plus élevée. Une diminution anormale de la masse volumétrique du mortier témoin au fil du temps nécessite une attention particulière.



**Figure III.3** : Masse volumique des mortiers autoplaçant de différents taux de la poudre de marbre avec 0,1% des fibres polyéthylène de 5 cm à 7j, 14j et 28j.

La figure (III.4) présente une comparaison de la masse volumique de divers types de mortiers autoplaçant. Tous les mortiers contenant des additifs incluent 0,1 % de fibres de polyéthylène de 7 cm, en plus de proportions variables de poudre de marbre. La masse volumique de ces mélanges a été mesurée à trois âges différents à 7, 14 et 28 jours.

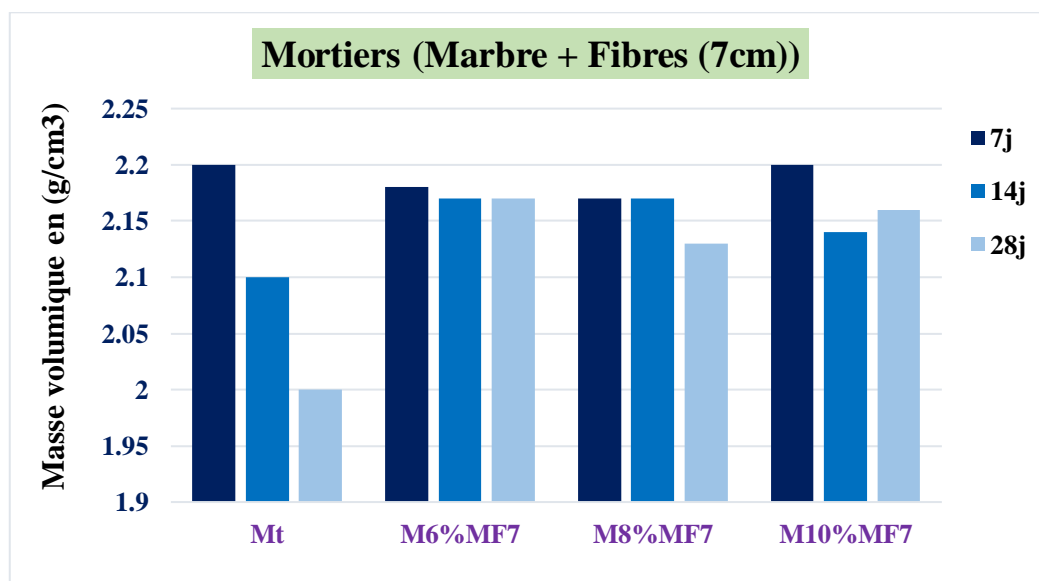
Le mortier témoin, indique une masse volumique initiale très élevée à 7 jours, mais tend à diminuer au fil du temps, soit à 14 jours puis 28 jours.

Mortier avec 6% de poudre de marbre et 0,1% de fibre de polyéthylène (7 cm) ; ce type montre une légère augmentation de densité entre 7 et 14 jours, puis maintient approximativement ce niveau de densité à 28 jours, mais sa valeur finale est inférieure à celle du mortier de référence à 7 jours.

Mortier avec 8% de poudre de marbre et 0,1% de fibres de polyéthylène (7 cm) ; la masse volumique de ce type montre une amélioration significative au fil du temps, augmentant progressivement de 7 jours jusqu'à 28 jours. La masse volumique finale à 28 jours atteint un niveau similaire à celui du mortier de référence à sa création (7 jours).

Mortier avec 10% de poudre de marbre et 0,1% de fibres de polyéthylène (7 cm) : Ce mortier présente les valeurs de densité les plus élevées parmi toutes les formulations à 28 jours. Sa masse volumique augmente continuellement avec l'âge, commençant à 7 jours et atteignant son pic à 28 jours, indiquant une stabilité et une amélioration des propriétés.

En général, les données montrent que l'ajout de 0,1 % de fibres de polyéthylène de 7 cm avec de la poudre de marbre influence positivement le développement de la masse volumique du mortier au fil du temps, en particulier lors de l'utilisation de proportions plus élevées de poudre de marbre (par exemple, 8 % et 10 %). Contrairement aux mortiers de référence, qui présentent une densité réduite, ces formulations additives maintiennent ou augmentent mieux leur masse volumique avec le temps, indiquant une amélioration des propriétés physiques du mortier.



**Figure III.4** : Masse volumique des mortiers autoplaçant de différents taux de la poudre de marbre avec 0,1% des fibres polyéthylène de 7 cm à 7j, 14j et 28j.

### III.3. Résultats d'essai de résistance mécanique :

Les résultats des essais de résistance mécanique sont réalisés sur des échantillons de dimensions (4 cm x 4 cm x 16 cm) conservés dans des bacs d'eau, les essais sont effectués à l'âge de 7, 14 et 28 jours.

#### III.3.1. Résultats d'essai de résistance à la compression :

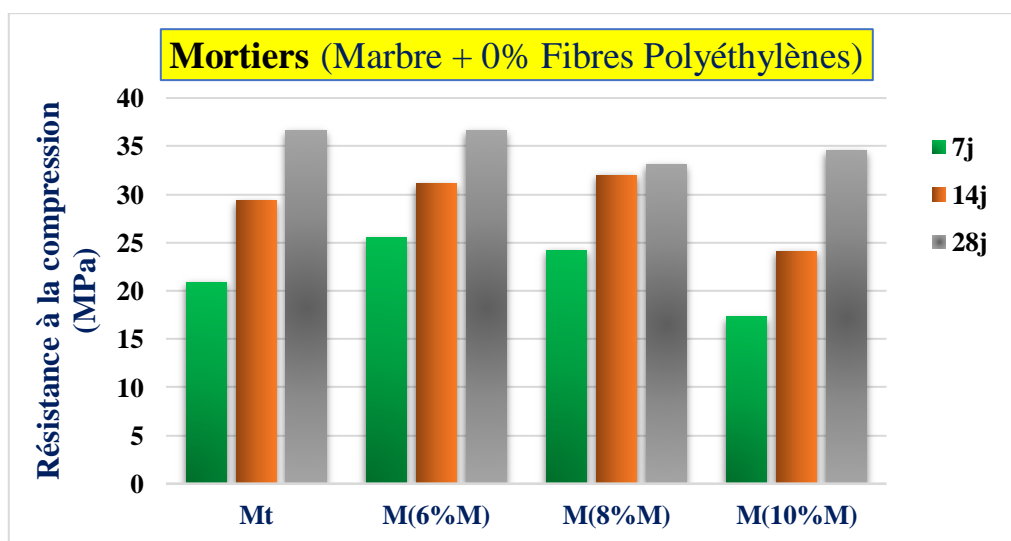
D'après la figure III.5, la résistance à la compression a été évaluée pour toutes les formulations après 7 jours, 14 jours et 28 jours de cure dans l'eau, afin d'assurer la stabilité du mortier.

Le graphique illustre l'évolution de la résistance à la compression du mortier auto plaçant, en fonction d'un pourcentage variable de marbre (0 %, 6 %, 8 %, 10 %), au cours du temps (7, 14, 28 jours). Principaux résultats :

La résistance s'accroît avec le temps pour tous les types de mortier.

- L'incorporation de marbre influence la résistance : \* Le mortier de référence (sans marbre Mt) affiche une bonne résistance.
- Le pourcentage optimal de marbre permettant de maintenir une résistance élevée semble se situer entre 6 % et 8 %.
- L'augmentation du pourcentage de marbre à 10 % peut provoquer une légère baisse de la résistance par rapport à des pourcentages inférieurs.

Donc, le rapport de marbre et la maturité du mortier constituent deux éléments cruciaux pour évaluer la résistance du mortier.



**Figure III.5 :** Résistance à la compression des mortiers auto plaçant en fonction du pourcentage de marbre sans fibres à 7j, 14j et 28j.

L'histogramme de la (Figure III.6) illustre l'évolution de la résistance à la compression (résistance à la charge) de divers types de mortier auto plaçant, en fonction de la longueur des fibres de polyéthylène (**0,1%**), sans ajout de poudre de marbre. La résistance est évaluée à **7, 14 et 28 jours**. Principaux résultats :

La résistance augmente avec le temps pour tous les types de mortier, atteignant son maximum à 28 jours.

✚ Effet de la longueur des fibres :

- Le mortier de référence (**Mt**) (sans fibres ou avec des fibres différentes) affiche la résistance la plus élevée, surtout après 28 jours (environ 36 MPa).
- Le mortier avec une longueur de fibre de 5 cm (**MF(5cm)**) montre une résistance à la compression nettement inférieure à celle du Mt à tous les âges.
- Le mortier avec une longueur de fibre de 7 cm (**MF(7cm)**) présente une résistance comparable à celle du **MF(5cm)**, parfois légèrement supérieure, mais toujours inférieure à celle du **Mt**.

Alors, selon ce graphique, il semble que l'ajout de fibres de polyéthylène (à ce ratio de 0,1% et aux longueurs testées) puisse entraîner une diminution de la résistance à la compression du mortier autonivelant par rapport au mortier témoin.

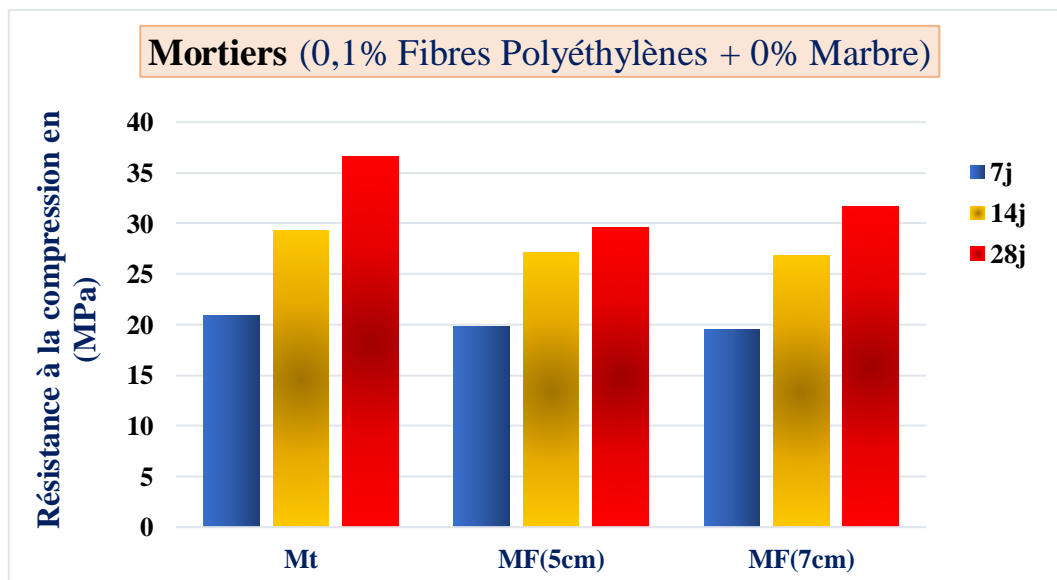


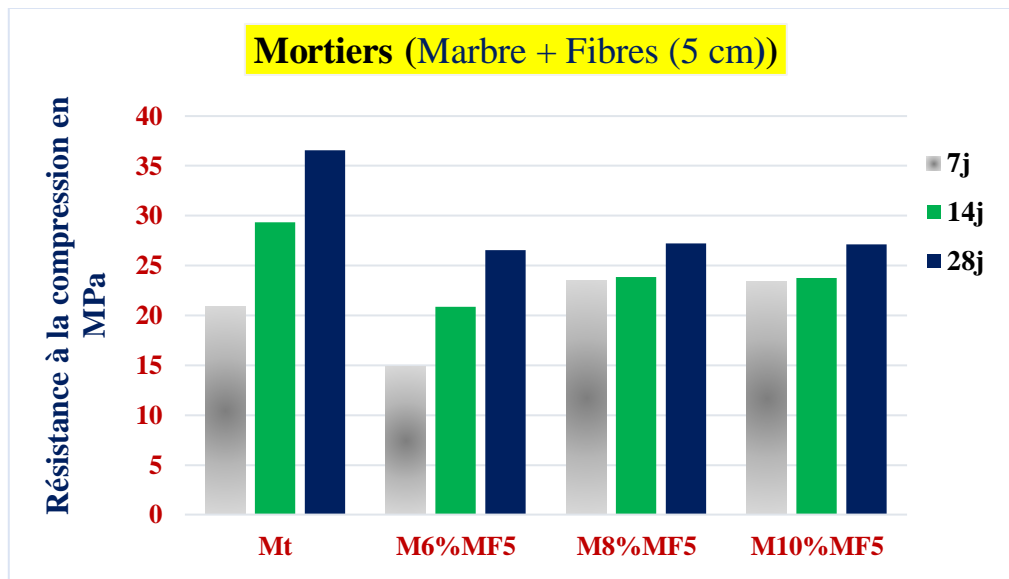
Figure III.6 : Résistance à la compression des mortiers auto plaçant en fonction de la longueur des fibres polyéthylènes sans poudre de marbre à 7j, 14j et 28j.

La (Figure III.7), présente un histogramme illustrant la résistance à la compression du mortier avec différents pourcentages de poudre et 0,1% des fibres polyéthylène de 5 cm à 7j, 14j et 28j. On observe sur l'histogramme :

- Mortier de référence (**Mt**) : Ce mortier ne contient ni poudre de marbre ni additifs fibreux.
- On constate qu'il présente la plus grande résistance en termes de pression.
- Sa résistance atteint environ 36 MPa à 28 jours.
- Sa résistance augmente de manière significative avec l'âge (de 7 jours à 28 jours).
- Mortier avec ajout de poudre de marbre et de fibres de polyéthylène (**M6%MF5**, **M8%MF5**, **M10%MF5**) : Ces mortiers contiennent 0,1% de fibres de polyéthylène de 5 cm, en plus de différentes proportions de poudre de marbre (**6%**, **8%**, **10%**).
- Impact des additifs : L'ajout de poudre de marbre et de fibres semble réduire la résistance à la compression par rapport au mortier de référence.
- Impact du ratio de marbre : Plus la proportion de poudre de marbre ajoutée est élevée (de **M6%MF5** à **M10%MF5**), plus la résistance à la compression est généralement faible, bien que la différence entre **M8%MF5** et **M10%MF5** à 28 jours ne soit pas très significative.
- **Résistance maximale** : Ces mortiers modifiés atteignent une résistance maximale d'environ 26 MPa à 28 jours, ce qui est nettement inférieur aux 36 MPa du mortier de référence.

Amélioration avec l'âge : La résistance à la compression de ces mortiers augmente également avec l'âge (de 7 à 28 jours), mais à des niveaux inférieurs à ceux du mortier de référence.

En résumé, les résultats montrent que l'ajout de poudre de marbre et de fibres de polyéthylène, aux concentrations testées, a un impact négatif sur la résistance à la compression du mortier, et cet impact négatif s'intensifie avec l'augmentation de la proportion de poudre de marbre ajoutée.

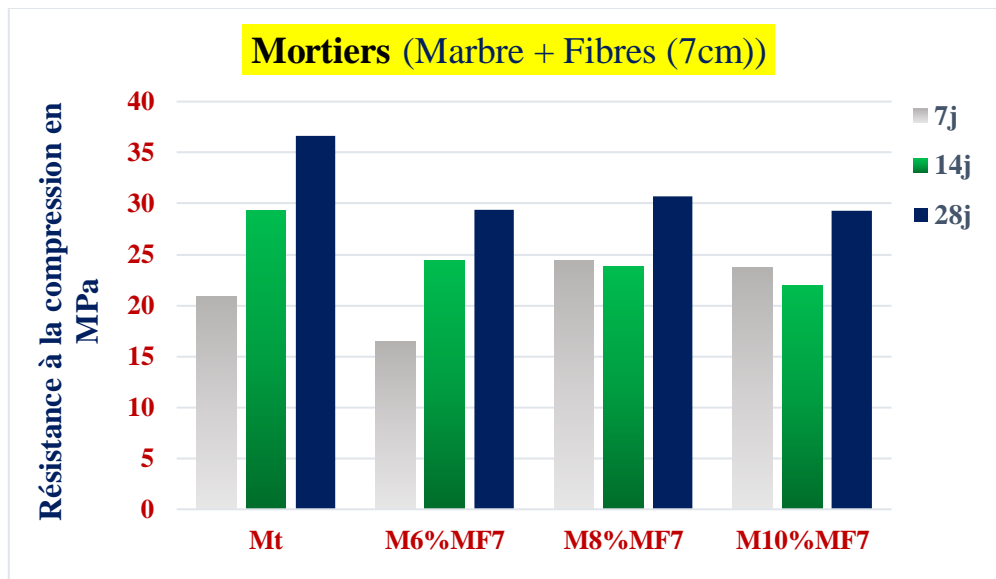


**Figure III.7:** Résistance à la compression des mortiers de différents taux de la poudre de marbre avec 0,1% des fibres polyéthylène de 5 cm à 7j, 14j et 28j.

La (Figure III.8), illustre la résistance à la compression du mortier en fonction de différentes proportions de poudre de marbre et de fibres 7cm, mesurée à des âges de durcissement de 7, 14 et 28 jours.

Le mortier de référence (**Mt**) montre une augmentation de sa résistance au fil du temps. L'incorporation de 6% et 8% de marbre avec fibres (**M6%MF7**, **M8%MF7**) améliore généralement la résistance à la compression à long terme (28 jours) par rapport au mortier de référence.

Aussi, l'ajout de 10 % de marbre avec fibres (**M10%MF7**) révèle une diminution de la résistance, suggérant que des quantités élevées peuvent être préjudiciables. En résumé, la résistance tend à augmenter avec l'âge et la proportion optimale de poudre de marbre dans ce mélange semble se situer autour de 6 à 8 %.



**Figure III.8:** Résistance à la compression des mortiers de différents taux de la poudre de marbre avec 0,1% des fibres polyéthylène de 7 cm à 7j, 14j et 28j.

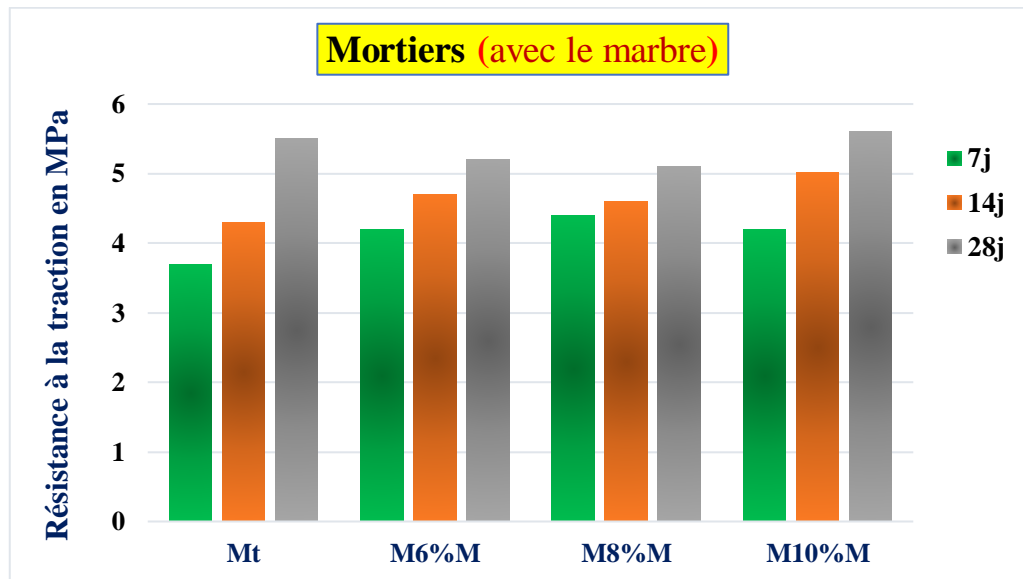
### III.3.2 : Résultats des essais de résistance à la traction et à la flexion

La résistance à la traction et à la flexion a été évaluée pour tous les mélanges après 7, 14 et 28 jours de cure afin d'assurer la stabilité du mortier. Les résultats des essais de résistance à la traction et à la flexion réalisés sur des échantillons de dimensions (4 cm x 4 cm x 16 cm) sont résumés dans le tableau suivant :

La (Figure III.9) illustre l'évolution de la résistance à la traction des mortiers autoplaçant selon les pourcentages de déchets de marbre ajoutés (**6 %**, **8 %** et **10 %**), en comparaison avec le mortier témoin (Mt), et ce, aux âges de 7, 14 et 28 jours. Il est évident que toutes les compositions contenant du marbre ont montré une résistance à la traction supérieure à celle du témoin à tous les âges, ce qui démontre l'effet bénéfique de l'ajout de poudre de marbre sur cette propriété mécanique. À 7 jours, on observe une amélioration progressive de la résistance avec l'augmentation du pourcentage de marbre, passant d'environ 3,8 MPa pour le mortier témoin (Mt) à 4,5 MPa pour **10 %** de marbre ajouté.

Cela reflète le début de l'effet de remplissage des particules fines de marbre dans la matrice. Cet effet devient plus prononcé à 14 jours et surtout à 28 jours, où le mélange à 10 % de marbre atteint la valeur maximale d'environ 5,8 MPa, contre 5,4 MPa à 8 % et 5,3 MPa à 6 %. Cette évolution indique que les particules de marbre contribuent efficacement au remplissage des vides entre les grains de sable, ce qui permet d'améliorer le gradient granulaire et d'obtenir un mortier plus dense et plus homogène. Cela favorise une meilleure répartition des contraintes internes et, par conséquent, une résistance à la traction plus élevée.

La valeur maximale atteinte à 10 % de marbre suggère que ce dosage représente un seuil optimal, au-delà duquel l'effet pourrait se stabiliser ou diminuer



**Figure III.9 :** Résistance à la traction des mortiers autoplaçant en fonction du pourcentage de marbre à 7j, 14j et 28j.

La (Figure III.10) indiquer la résistance à la flexion des mortiers autoplaçant en fonction du pourcentage de marbre à 7, 14 et 28 jours

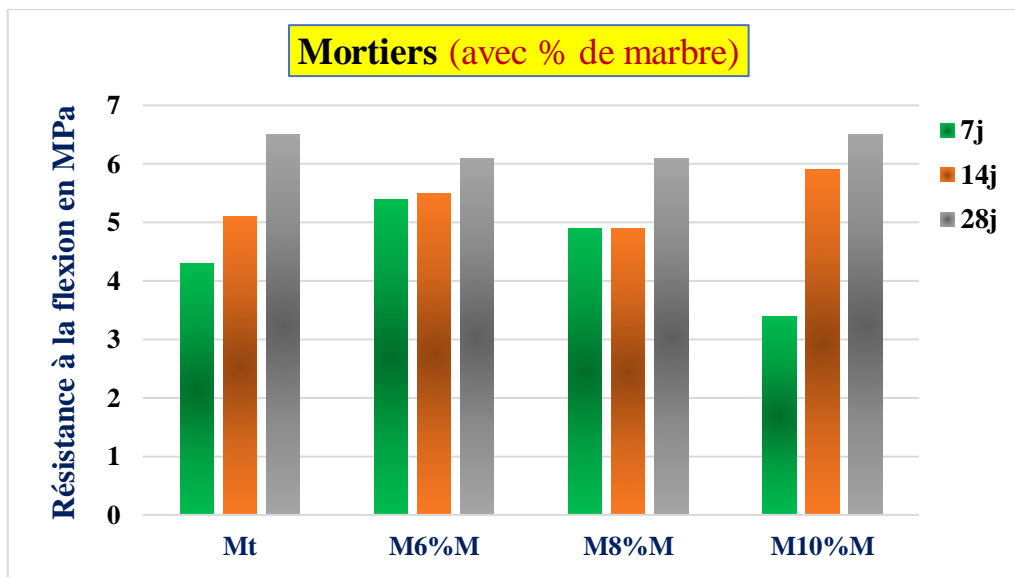
Mortier témoin (Mt) à 7 j la résistance initiale modérée, 14j une augmentation significative de la résistance et 28j c'est la résistance maximale du mortier de référence.

Mortier à 6% de marbre (M6%M) à 7 jours une puissance similaire ou légèrement supérieure à la référence, 14 jours une bonne montée en résistance, proche ou supérieure à la référence et 28 jours une augmentation de la résistance, peut-être le meilleur.

Mortier à 8% de marbre (M8%M) à 7 jours la résistance comparable à 6% de marbre, 14 jours une bonne augmentation d'environ 6% de marbre et 28 jours : Très haute résistance, rivalisant avec 6% de marbre.

Mortier avec 10% de marbre (M10%M) à 7 jours une diminution significative de la résistance par rapport au mortier de référence et ratios plus faibles, 14 jours une amélioration de la résistance mais pas moins de 6% et 8% du marbre et 28 jours nous avons remarqué une bonne amélioration, mais ne peut pas dépasser les meilleures performances pour l'ajout de 6 % et 8 % de marbre.

Donc, les meilleures performances de résistance à la flexion (en particulier à long terme) sont observées lors de l'utilisation de 6 % et 8 % de marbre. En revanche, un ratio de 10 % entraîne une faiblesse initiale et une amélioration à long terme inférieure par rapport aux deux ratios optimaux.



**Figure III.10 :** Résistance à la flexion des mortiers autoplaçant en fonction du pourcentage de marbre à 7j, 14j et 28j

La (Figure.III.11), illustre la résistance à la traction du mortier (contenant 0,1 % de fibres de polyéthylène) exprimée en MPa.

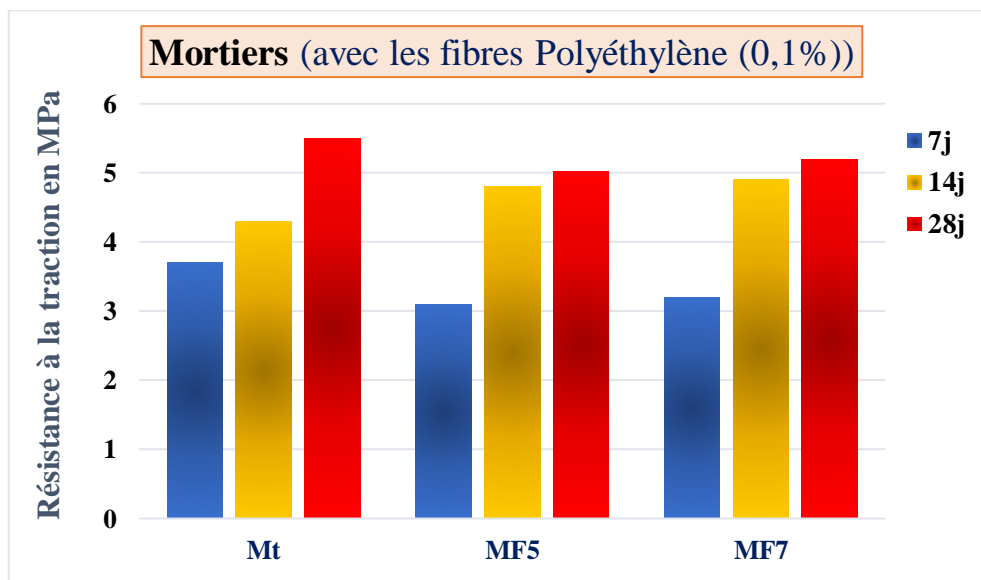
Des comparaisons sont réalisées entre trois variétés de mortier : « Mt », « MF5 » et « MF7 », à trois moments différents : 7 jours, 14 jours et 28 jours.

Évolution dans le temps : \* Pour tous les types de mortier (Mt, MF5, MF7), la résistance à la traction tend à augmenter avec l'âge (de 7 jours à 28 jours). La résistance à la traction à 28 jours est systématiquement plus élevée que celle mesurée à 7 et 14 jours pour le même type de mortier.

Performances des divers types de mortier : \* Au début (7 jours) : le mortier « Mt » affiche la résistance à la traction la plus élevée par rapport aux mortiers « MF5 » et « MF7 ». \* À mi-parcours (14 jours) : la résistance à la traction s'améliore pour tous les types. Le mortier « Mt » maintient une bonne résistance, tandis que celle des mortiers « MF5 » et « MF7 » commence à se rapprocher de celle du mortier « Mt ». \* À la fin du durcissement (28 jours) : Les valeurs de résistance à la traction de tous les types de mortier (« MT », « MF5 », « MF7 ») se rejoignent et atteignent des niveaux élevés, autour de 5 MPa ou légèrement supérieure. Cela

indique que les différences initiales de résistance diminuent ou s'estompent avec un temps de durcissement adéquat.

Donc : Le graphique démontre que l'incorporation de 0,1 % de fibres de polyéthylène provoque une augmentation progressive de la résistance à la traction du mortier au fur et à mesure du durcissement. Bien qu'il existe des disparités de résistance à la traction initiale entre les différents types de mortier, tous parviennent à des valeurs de résistance à la traction élevées et comparables à la fin du durcissement (28 jours).



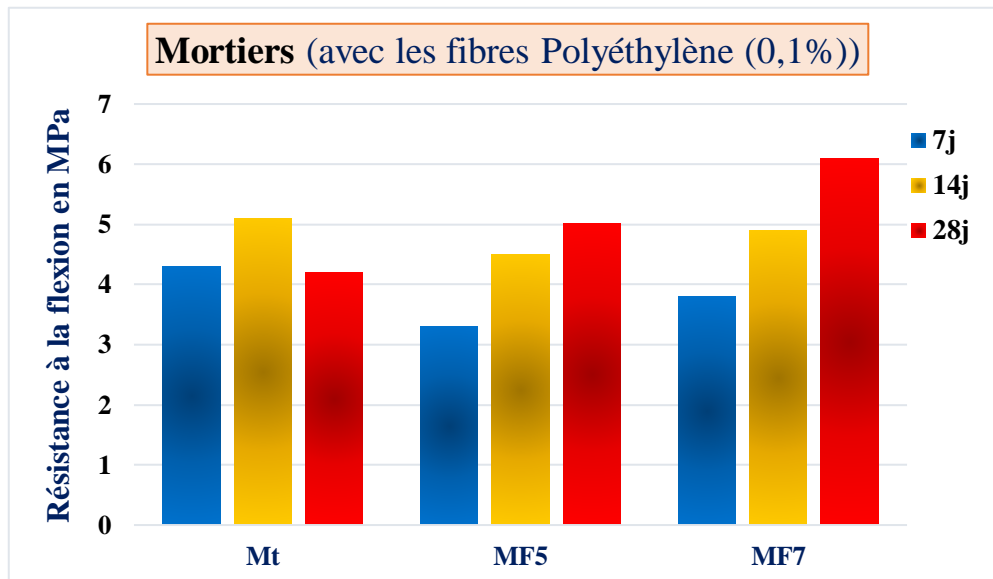
**Figure III.11:** Résistance à la traction des mortiers autoplaçant en fonction de la longueur des fibres en (cm) sans marbre à 7j, 14j et 28j.

La figure (III.12) représentant la résistance à la flexion d'un mortier autoplaçant en fonction de la longueur des fibres en (cm) sans marbre à 7j, 14j et 28j.

MT (sans fibre) : La résistance s'accroît de 7 jours (environ 3,5 MPa) à 14 jours (environ 5 MPa), puis diminue légèrement à 28 jours (environ 4,5 MPa).

Cela peut suggérer un bon développement précoce, suivi d'une légère dégradation du développement ultérieur. MF5 (fibre de 5 cm), il y a une amélioration significative par rapport au MT, en particulier à 28 jours (plus de 5 MPa). Les résultats à 14 et 28 jours montrent une convergence, ce qui indique une stabilité du développement. MF7 (fibre de 7 cm). Les performances sont meilleures, avec une résistance qui augmente progressivement de 7 jours (~3,7 MPa) à 28 jours (plus de 6 MPa). Cela démontre que l'augmentation de la longueur de la fibre améliore considérablement la résistance à la flexion au fil du temps.

Donc, l'augmentation de la longueur des fibres de polyéthylène renforce la résistance à la flexion du mortier, en particulier à 7 cm de longueur.



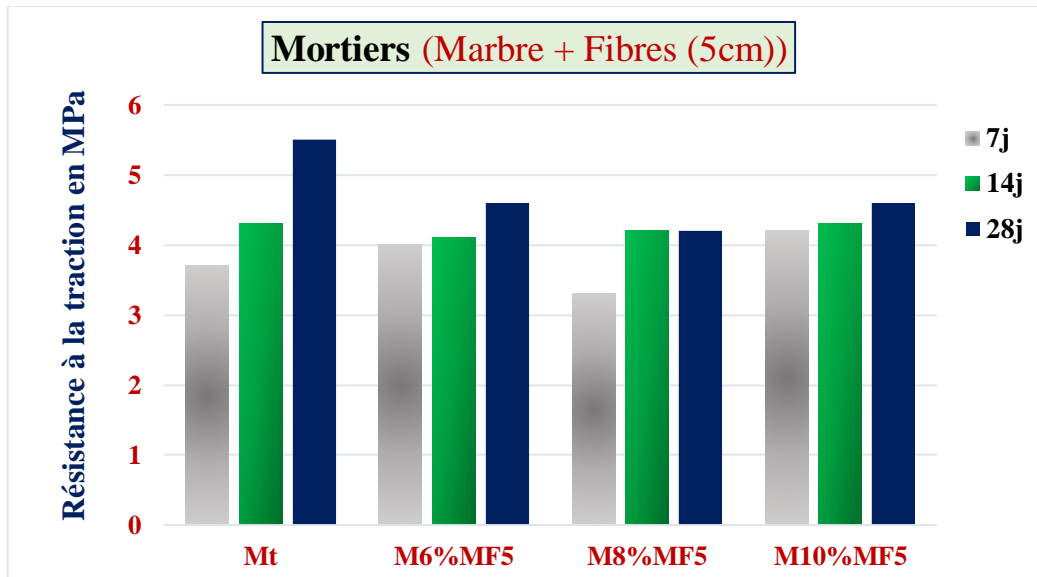
**Figure III.12 :** Résistance à la flexion des mortiers autoplaçant en fonction de la longueur des fibres en (cm) sans marbre à 7j, 14j et 28j.

La Figure (III.13) contient un histogramme qui illustre la résistance à la traction d'un mortier autoplaçant après avoir été mélangé avec de la poudre de marbre et des fibres de polyéthylène de 5cm de longueur. Cette résistance est évaluée à différents âges (7, 14 et 28 jours).

L'évolution de la résistance au fil du temps en générale c'est la résistance à la traction du mortier qui augmente avec le temps. Le mortier devient plus résistant avec l'âge, atteignant sa valeur maximale à 28 jours. Impact de l'ajout de poudre de marbre dans le mélange « Mt » (référence ou contrôle) semble atteindre la résistance à la traction la plus élevée par rapport aux autres mélanges contenant diverses proportions de poudre de marbre (M6%MF5, M8%MF5, M10%MF5).

Nous avons remarqué sur les performances du mélange une incorporation de poudre de marbre (M6%MF5, M8%MF5, M10%MF5) semble avoir eu un impact négatif sur la résistance à la traction par rapport au mélange de référence « Mt », en particulier à 28 jours.

Le mélange « M8%MF5 » semble afficher la résistance à la traction la plus faible comparativement aux autres mélanges contenant du marbre. Dans l'ensemble, le graphique démontre que l'âge influence positivement la résistance du mortier et que le mélange de référence (sans ajout de poudre de marbre dans les proportions indiquées) était manifestement le plus résistant dans cette étude.



**Figure III.13** : Résistance à la traction des mortiers autoplaçant de différents taux de la poudre de marbre avec 0,1% des fibres polyéthylène de 5 cm à 7j, 14j et 28j

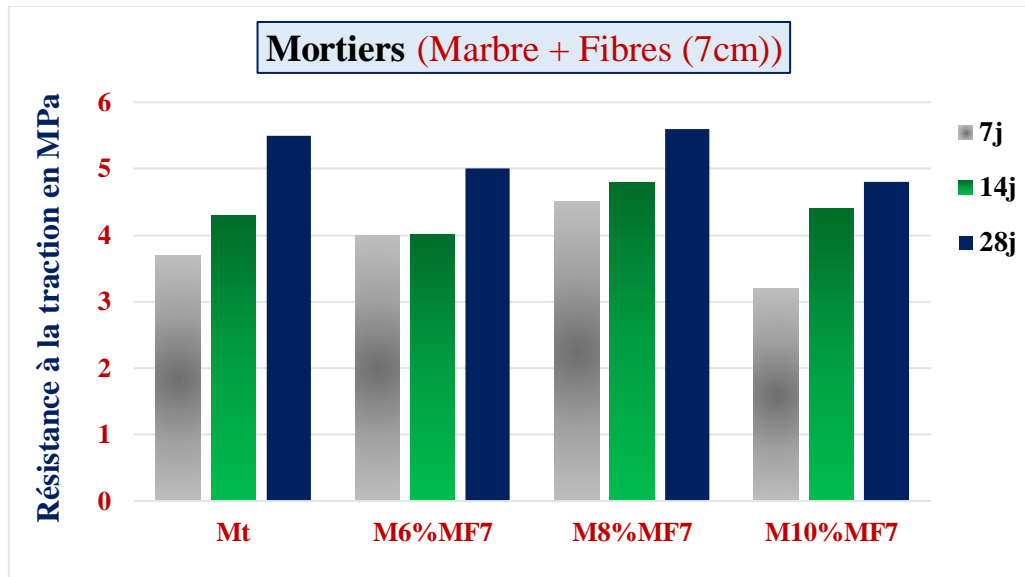
La figure (III.14) représentant la résistance à la traction d'un mortier autoplaçant contenant diverses proportions de poudre de marbre (6 %, 8 %, 10 %) avec 0,1 % de fibres de polyéthylène de 7 cm de longueur, à 7 jours, 14 jours et 28 jours.

Le Mt indiqué la résistance à la traction est faible à 7j (environ 3,8 MPa), elle s'améliore avec le temps et atteint environ 4,9 MPa à 28j.

Les mélanges des mortiers M6%MF7 (6% marbre + fibre) mentionné leurs performances sont presque identiques à celles de l'échantillon Mt à 7 jour. La résistance demeure quasiment stable jusqu'au jour 28 (environ 4,9 MPa). Les mortiers M8%MF7 (8% marbre + fibre) affichent les meilleures performances, surtout à jour 28 (environ 5,5 MPa), Cela démontre que 8 % de poudre de marbre avec 0,1 % de fibres a procuré la meilleure résistance à la traction.

Les mortiers M10%MF7 (10% marbre + fibre) indiquent des performances satisfaisantes, mais inférieures à celles de M8% à tous les âges. Il est possible que l'excès de marbre commence à nuire à la cohésion.

Donc, l'incorporation de poudre de marbre avec des fibres a renforcé la résistance à la traction par rapport à l'échantillon de référence. Le rapport optimal était de 8 % de marbre avec 0,1 % de fibres. Un dépassement de 8 % pourrait entraîner une légère diminution des performances.



**Figure III.14** : Résistance à la traction des mortiers autoplaçant de différents taux de la poudre de marbre avec 0,1% des fibres polyéthylène de 7 cm à 7j, 14j et 28j.

La figure (III.15) présente la résistance à la flexion d'un mortier autoplaçant de différents taux de poudre de marbre (6 %, 8 %, 10 %) avec 0,1 % de fibres de polyéthylène de 5 cm de longueur, mesurée à 7 jours, 14 jours et 28 jours.

Le mortier témoin (Mt) indique une résistance à la flexion débute à environ 4,2 MPa à jour 7 et elle atteint 5,2 MPa à 14jour, puis diminue légèrement pour se stabiliser autour de 4 MPa au jour 28.

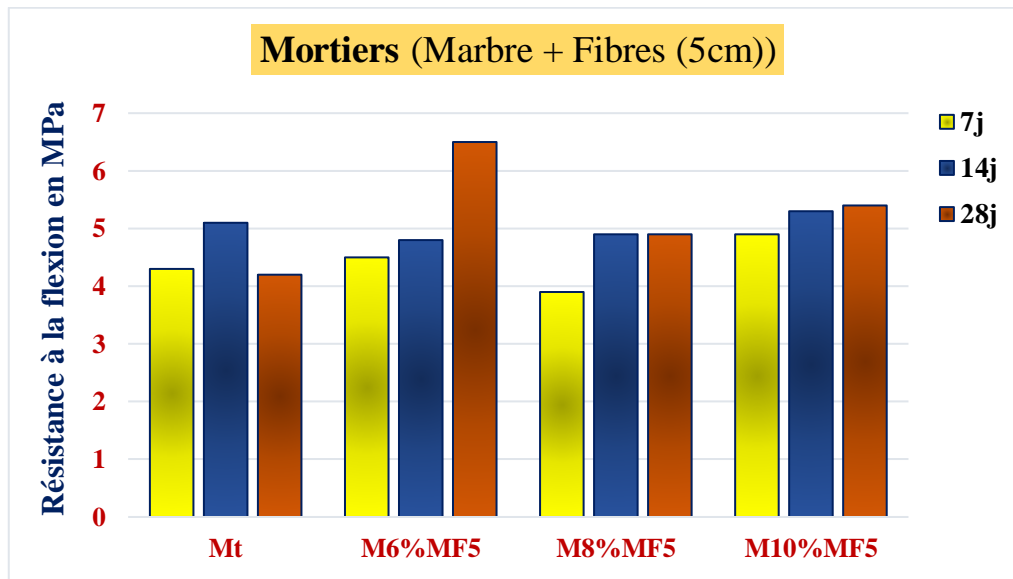
Le mortier (M6%MF5) (6% marbre + 5cm fibre) présent une excellente performance, surtout au jour 28 où la résistance était d'environ 6,8 MPa. C'est la valeur la plus élevée parmi tous les échantillons, ce qui démontre que ce ratio est optimal.

Le mortier (M8%MF5) indique une résistance faible au jour 7 (~3,8 MPa), elle s'améliore avec le temps mais demeure inférieure à l'échantillon M6%MF5 (environ 5 MPa au jour 28).

Le mortier (M10%MF5), il montre une bonne stabilité de performance, avec une résistance d'environ 5,8 MPa à 28 jours, elle est supérieure à celle de M8% mais inférieur à celle de M6%.

L'incorporation de fibres de polyéthylène avec de la poudre de marbre a permis d'améliorer la résistance à la flexion par rapport au mortier témoin. Les meilleures performances ont été observées avec 6 % de poudre de marbre et 0,1 % de fibres de longueur 5 cm. Une augmentation

de la proportion de marbre au-delà de 6 % pourrait entraîner une diminution relative des performances.

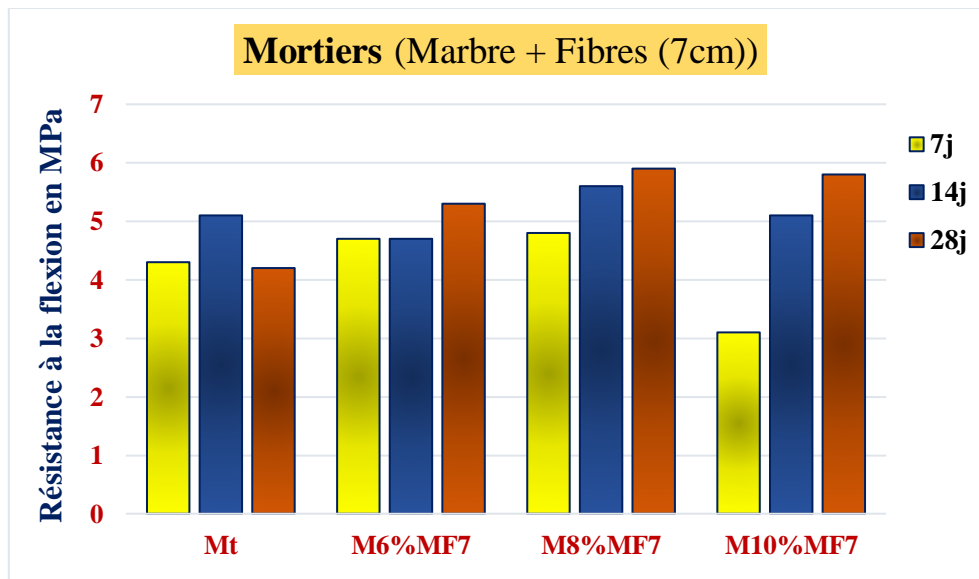


**Figure III.15** : Résistance à la flexion des mortiers autoplaçant de différents taux de la poudre de marbre avec 0,1% des fibres polyéthylène de 5 cm à 7j, 14j et 28j.

La figure (III.16) illustre l'évolution de la résistance à la flexion du mortier au fil du temps (à 7, 14 et 28 jours) pour divers mélanges contenant des proportions variées de poudre de marbre (6 %, 8 % et 10 %) avec 0,1 % de fibres de polyéthylène de 7 cm, ainsi qu'un mortier témoin (Mt).

Les résultats indiquent que la résistance à la flexion augmente généralement avec l'âge du mortier pour la plupart des formulations. En analysant les performances à 28 jours, le mélange contenant 8 % de poudre de marbre avec des fibres de 7 cm de longueur (M8%MF7) a clairement dépassé les attentes, atteignant la valeur de résistance la plus élevée d'environ 5,9 MPa, bien que le mélange contenant 10 % de poudre de marbre (M10%MF7) montre de faibles performances initiales à 7 jours, il s'améliore considérablement et atteint une résistance très élevée à 28 jours (environ 5,7 MPa), se rapprochant des meilleures performances. En revanche, le mortier de référence (Mt) et le mélange M6%MF7 affichent des valeurs de résistance à 28 jours relativement plus faibles par rapport aux mélanges M8%MF7 et M10%MF7.

Donc, l'incorporation de 8 % de poudre de marbre avec 7 cm de fibres de polyéthylène constitue la combinaison la plus efficace pour renforcer la résistance à la flexion du mortier à long terme (à 28 jours d'âge) dans cette étude.



**Figure III.16 :** Résistance à la flexion des mortiers autoplaçant de différents taux de la poudre de marbre avec 0,1% des fibres polyéthylène de 7 cm à 7j, 14j et 28j.

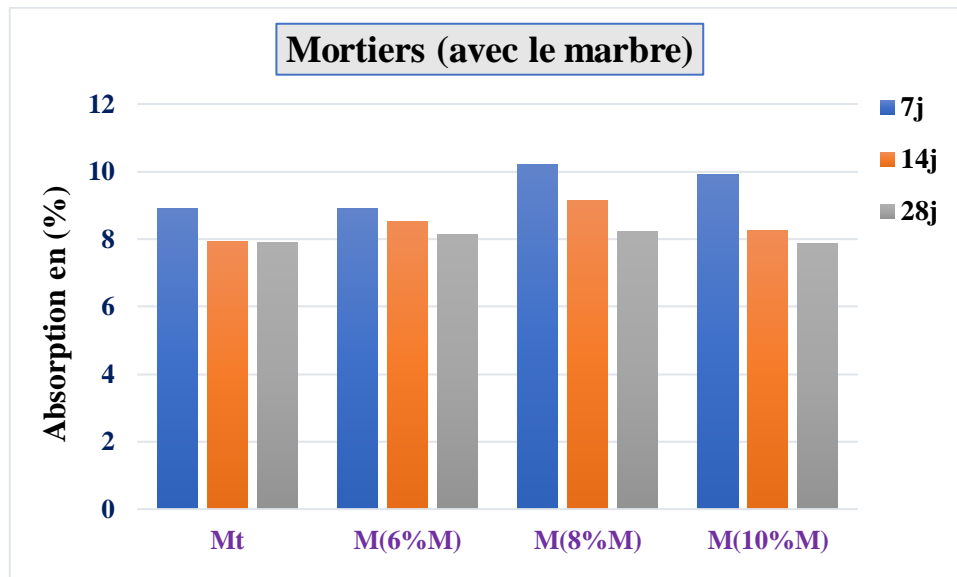
### III.6. Résultats d'essai de l'absorption du mortier.

Nous avons mesuré le taux d'absorption d'eau sur des échantillons de mortier de dimensions 16\*4\*4 cm, où ils ont été placés dans un étuve à une température de 105 °C jusqu'à ce qu'ils atteignent une masse constante. Après quoi, nous les avons immergés dans l'eau pendant 24 heures. C'est ainsi que le taux d'absorption d'eau a été déterminé sur les échantillons de mortier.

La figure (III.17) illustre les données relatives à l'absorption d'eau (en pourcentage) des échantillons des mortiers auto plaçant avec ajout de différents pourcentages (0%, 6%, 8% et 10%) de marbre.

L'absorption est mesurée à trois intervalles spécifiques à 7, 14 et 28 jours. Ce que l'on peut déduire des données, au fil du temps ; pour tous les types de mortier présentés, il est constaté que la valeur d'absorption diminue avec l'âge, passant de 7 à 28 j. \* En ce qui concerne l'ajout de marbre : \*Les valeurs d'absorption pour le mortier contenant du marbre (6%, 8%, 10%) affichent généralement des niveaux plus élevés en comparaison avec le mortier de témoin qui ne contient pas de marbre. \* Parmi les types de mortier contenant du marbre, il est observé que le mortier avec 8% de marbre présente les valeurs d'absorption d'eau les plus élevées à toutes les périodes mentionnées. \* Le mortier avec 6% de marbre affiche des valeurs d'absorption inférieures à celles des mortiers à 8% et 10% de marbre, et se rapproche des valeurs d'absorption du mortier de témoin. Donc l'histogramme démontre que l'absorption d'eau dans le mortier autoplaçant diminue avec l'âge du mortier. L'ajout de marbre accroît généralement l'absorption

d'eau par rapport au mortier ordinaire, avec 8 % de marbre affichant le taux d'absorption le plus élevé parmi les mélanges contenant du marbre.



**Figure III.17 :** Taux d'absorption des mortiers autoplaçant en fonction du pourcentage de marbre à 7j, 14j et 28j.

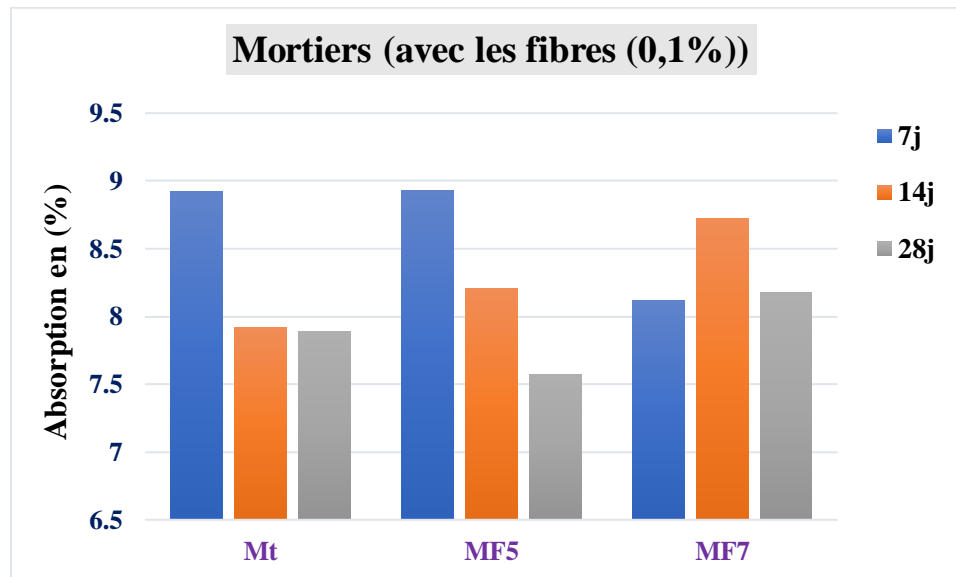
La figure (III.18) représentée illustre le taux d'absorption de trois catégories de mortier (Mt, MF5 et MF7) à divers intervalles de temps à 7, 14 et 28 jours.

Le mortier témoin présente un taux d'absorption élevé dès 7 jours. Ce taux d'absorption diminue au fil du temps, devenant plus faible à 14 jours puis continuant à diminuer à 28 jours. Cela indique que l'absorbance initiale de cet échantillon est significative, mais tend à diminuer ou se stabiliser avec le temps. Comme le mortier MF5 à l'instar de mortier témoin, donc le mortier MF5 affiche le taux d'absorption le plus élevé à 7 jours.

Une baisse notable et significative du taux d'absorption est constatée à 14 jours, et cette tendance se poursuit à 28 jours. Cela démontre que la capacité d'absorption de cet échantillon diminue clairement avec le temps. Comme le mortier MF7 se distingue des autres présent un taux d'absorption maximal semble être atteint après 14 jours. Le taux d'absorption à 7 jours est légèrement inférieur à celui observé à 14 jours, et diminue à nouveau à 28 jours. Cela suggère que l'absorption peut atteindre un pic à mi-parcours pour cet échantillon avant de commencer à décliner.

Le graphique révèle que chaque type de mortier présente un comportement d'absorption distinct au fil du temps. Aussi, certains mortiers (Mt et MF5) absorbent initialement des quantités plus importantes, puis leur capacité d'absorption diminue. En revanche, d'autres

mortiers (comme MF7) peuvent nécessiter plus de temps pour atteindre leur pic d'absorption avant de commencer à décliner.



**Figure III.18** : Taux d'absorption en fonction du pourcentage et de la longueur de fibre polyéthylène à 7j,14j et 28j.

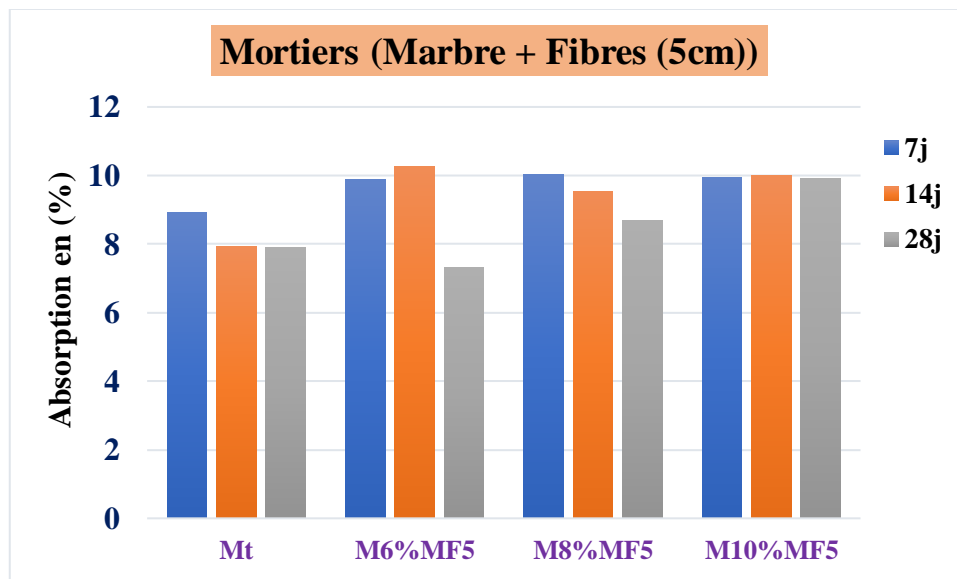
La figure (III.19) contient un histogramme qui illustre le taux d'absorption de plusieurs types de mortiers autoplaçant, qui varient selon le pourcentage de poudre de marbre incorporé, tout en contenant le même pourcentage de fibres de polyéthylène (0,1 % à 5 cm de longueur). L'absorption est évaluée à 7, 14 et 28 jours.

Le mortier témoin indique un taux d'absorption à 7 jours est relativement élevé (environ 8,8 %). Aussi, l'absorption diminue légèrement à 14 jours (environ 7,8 %) puis se stabilise à 28 jours (environ 7,9 %). Cela indique que l'absorbance initiale de cet échantillon est satisfaisante mais tend à se stabiliser ou à diminuer légèrement avec le temps.

Le mortier M6%MF5, commence avec un taux d'absorption très élevé à 7 jours (environ 9,9 %). L'absorption augmente légèrement à 14 jours (environ 10,1 %). L'absorption diminue de manière significative à 28 jours (environ 7,2 %). Ce modèle suggère que ce ratio de poudre de marbre peut accroître l'absorption initialement et à court terme, mais pourrait ne pas maintenir cette performance sur le long terme.

Le mortier M8%MF5 mentionné un taux d'absorption à 7 jours est élevé (environ 9,8 %), l'absorption diminue à 14 jours (environ 9,4 %) et elle continue de diminuer à 28 jours (environ 8,4 %), cette espèce montre une tendance générale à la baisse de l'absorption au fil du temps, mais reste supérieure à mortier témoin à tous les intervalles.

Le mortier M10%MF5 indiqué un taux d'absorption est élevé et très similaire sur toutes les périodes (environ 10 %) aussi, l'absorption semble stable et relativement constante à 7, 14 et 28 jours.



**Figure III.19** : Taux d'absorption des mortiers autoplaçant de différents taux de la poudre de marbre avec 0,1% des fibres polyéthylène de 5 cm à 7j, 14j et 28j.

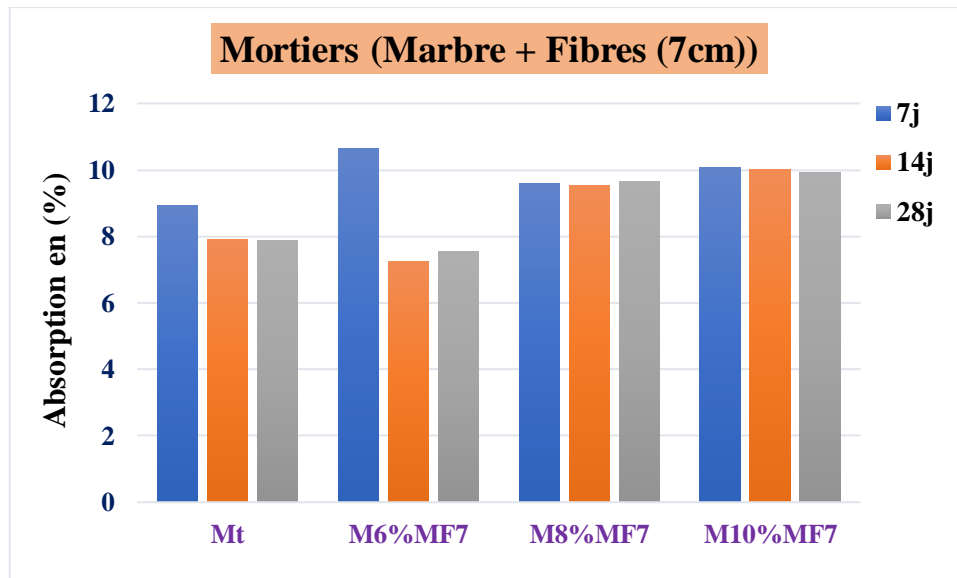
La figure (III.20) contient un graphique illustre le taux d'absorption d'eau (absorption en (%)) d'un mortier constitué de marbre et de fibres 7cm, mesuré à trois intervalles distincts : 7 jours (7j), 14 jours (14j) et 28 jours (28j).

En règle générale, le taux d'absorption tend à diminuer avec le temps (de 7 à 28 jours) pour tous les types de mortier. Cela est attendu car le mortier continue de durcir et de s'hydrater.

Le mortier de référence (Mt) présente le taux d'absorption le plus élevé durant les premiers jours (7j). L'incorporation de poudre de marbre et de fibres de polyéthylène semble diminuer le taux d'absorption par rapport au mortier de référence, surtout aux âges jeunes.

À 28 jours, les variations de taux d'absorption entre les mortiers contenant de la poudre de marbre et des fibres semblent devenir moins marquées, et tous affichent des taux d'absorption relativement faibles. Il n'existe pas de tendance évidente indiquant que l'augmentation du pourcentage de poudre de marbre (de 6 % à 10 %) entraîne systématiquement une diminution continue ou significative du taux d'absorption. Par exemple, des performances similaires peuvent être observées entre un mortier à 8 % et à 10 % à 28 jours.

Donc, ces données indiquent que l'ajout de poudre de marbre et de fibres de polyéthylène au mortier réduit le taux d'absorption d'eau, particulièrement dans les premières phases de durcissement. Cela confirme également que le mortier continue de durcir et devient moins absorbant en eau au fil du temps.



**Figure III.20** : Taux d'absorption des mortiers autoplaçant de différents taux de la poudre de marbre avec 0,1% des fibres polyéthylène de 7 cm à 7j, 14j et 28j.



Eprouvettes mortiers autoplaçant avant l'écrasement



Compression



Flexion et traction



Eprouvettes de mortier autoplaçant après l'écrasement

**Figure III.21** : Les essais mécaniques utilisés sur les éprouvettes des mortiers autoplaçant pour voir la distribution des fibres polyéthylène.



# **Conclusion générale**

Après avoir analysé les résultats expérimentaux liés à l'effet de l'incorporation de **déchets de marbre** et de **fibres de polyéthylène** dans la formulation de mortier autoplaçant, un certain nombre de conclusions importantes ont été tirées qui démontrent l'efficacité de ces additifs sur les propriétés physiques et mécaniques du mortier.

Physiquement, il a été démontré que l'inclusion de **poudre de marbre** par un **taux de 6 à 8 %** augmente la masse volumique apparente du mortier et améliore la granulométrie, ce qui se traduit par une structure plus cohésive et stable. L'utilisation de **fibres de polyéthylène**, notamment celles de 7 cm de longueur, a également contribué à réduire progressivement l'absorption d'eau, notamment au début du durcissement, améliorant ainsi la résistance aux infiltrations et les performances du mortier en milieu humide.

En termes de propriétés mécaniques, les résultats ont montré que des proportions optimales de poudre de marbre (**6 à 8 %**), associées à une teneur en fibres de **0,1 %**, offrent un bon équilibre entre les résistances à la compression, à la traction et à la flexion. Bien que certains additifs, notamment à des proportions plus élevées (**10 %**), puissent entraîner une légère diminution de la résistance à la compression, l'effet global a été positif sur les résistances à la traction et à la flexion, indiquant une amélioration du comportement structurel du mortier.

Sur la base de ces résultats, on peut conclure que l'utilisation de déchets de marbre et de fibres de polyéthylène représente une option efficace pour améliorer les propriétés du mortier autoplaçant, tout en garantissant une dimension environnementale grâce à la valorisation des déchets. Des recherches complémentaires sont recommandées pour élargir la base de données sur les interactions microscopiques de ces composants et leur relation avec les performances à long terme du mortier dans diverses conditions d'application.

Aussi, ce travail vise à développer un mortier autoplaçant innovant, combinant **les déchets du marbre recyclé** et les propriétés mécaniques **des fibres de polyéthylène**, dans le but d'obtenir un matériau à la fois performant puisque **les fibres de polyéthylène** introduites dans la matrice cimentaire jouent un rôle essentiel dans le contrôle de la fissuration et adapté aux exigences des constructions modernes.

#### Perspectives :

- ❖ Utiliser des autres types de déchets locaux et disponibles dans le cadre de développement durable et environnemental.

- ❖ Utiliser des autres types de fibres par exemples des fibres végétales avec un traitement chimique ou sans traitement chimique pour étudier le comportement mécanique et physique dans ce type de mortier.
- ❖ Étudier l'aspect de durabilité de la même formulation de mortier utilisée dans cette recherche ou ce mémoire, par exemple les milieux agressifs pour voir la performance de ce type de mortier à long terme.



**Références et annexe**

[1] D. Roy, "Les bétons : formulation, propriétés et applications", Éditions Eyrolles, 2018.

[2] <https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AE%D8%B1%D8%B3%D8%A7%D9%86%D8%A9>.

[3] Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2006). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. 3rd ed., McGraw-Hill

[4] Neville, A. M. *Properties of Concrete*. 5th ed., Pearson Education, 2011.

[5] George Dreux et Jean Festa, *Nouveau guide du béton*, 7e édition, 1995.

[6] Neville, A. M. *Properties of Concrete*. 4th ed., Longman ,1995.

[7][https://elearningfacst.univannaba.dz/pluginfile.php/3933/mod\\_resource/content/1/Les%20mortiers.pdf](https://elearningfacst.univannaba.dz/pluginfile.php/3933/mod_resource/content/1/Les%20mortiers.pdf)

[8] HEMIL Samir ; NOUGARI Ayoub Zakaria. « Effet combiné des billes du polystyrène et les fibres plastique sur les mortiers au ciment blanc », Thèse de Magister en Génie Civil, Université Mohamed Boudiaf - M'SILA (2018), 99 p

[9]<https://repository.univ-msila.dz/server/api/core/bitstreams/cd30a977-7033-4d35-8a23-50cecafc05b0/conten>

[10] Jean FESTA, Georges DREUX, nouveau guide du béton et ses constituants, 8ème édition, EYROLLES, 2007.

[11] Chaabane, L. A., & Sebaibi, Y. Influence des conditions environnementales et mécaniques sur le mortier de jeune âge. *Journal of Renewable Energies*, 18(3), 429-437, 2015.

[12][https://elearning-facsct.univannaba.dz/pluginfile.php/3933/mod\\_resource/content/1/Les%20mortiers.pdf](https://elearning-facsct.univannaba.dz/pluginfile.php/3933/mod_resource/content/1/Les%20mortiers.pdf)

[13] <https://civiltoday.com/civil-engineering-materials/mortar/65-types-of-mortar>

[14] <http://thesis.univ-biskra.dz/1328/6/partieI%20chapitre%2002.pdf>.

[15] ACI 237 R. Self-consolidating concrete. American Concrete Institute ; 2007.

[16] Quiroga PN. The effect of the aggregates characteristics on the performance of Portland cement concrete. Ph.D. thesis. The University of Texas at Austin; 2003.

[17] Etude de l'influence de la qualité du sable sur les propriétés physico-mécaniques d'un béton courant, master en ingénierie de l'eau et de l'environnement, 2016.

[18] Myttenaere, Olivier et Beeldens, Anne." Code de bonne pratique pour l'exécution des revêtements en béton", 2009.

[19] Boudana E, Ben Fettacha M. " Compacité des bétons Autoplaçants aux différents Types de sables ", Thèse de Doctorat, Faculte des sciences et de la technologie, Universite de Djelfa 2020.

[20] Youssef fritih « doctorat de l'université de Toulouse » ,2009.

[21] Nowak, A.S., Laumet, P., Czarnecki, A.A., Kaszynska, M., Szerszen, M.M., and Podhoreck, P.J, "US Specific Self Compacting Concrete for Bridges", Final Report for Highway IDEA Project 89, University of Michigan, USA, 2005.

[22] Khayat: Khayat, K.H., Assaad, J., Daczko J., (2004). "Comparison of Field oriented Test Methods to Assess Dynamic Stability of Self Consolidated Concrete", ACI Materials Journal, March –April 2004.

[23] MEMOIRE DE MASTER Spécialité: Matériaux DURABILITE DES MORTIERS A BASE DE MARBRE ET FIBRES RECYCLES Par Youcef Riadh LOUNIS Abdennasser BENKHALED, 2018.

[24] Mémoire de master spécialité: matériaux durabilite des mortiers à base de marbre et fibres recycles par Voucef Riadh Lounis, Abdennasser Benkhaled, 2018.

[25] Abdel Hamid R'MILI: Étude de formulation et de comportement des Bétons Auto Plaçants: Incorporation du sable de concassage et du sable du désert, 13 janvier 2010.

[26] <https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/31478/1/SALHI.pdf>.

[27] Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Par: NOUI ABDELMOUMEN SAOUDI ABDELBASSET.

[28][https://elearningfacscet.univannaba.dz/pluginfile.php/3933/mod\\_resource/content/1/Les%20mortiers.pdf](https://elearningfacscet.univannaba.dz/pluginfile.php/3933/mod_resource/content/1/Les%20mortiers.pdf).

[29] MEDAFLOW 30 superplastifiant haut réducteur d'eau, notice technique, Fiches techniques GRANITEX, Février 2017.

[30] SikaPlast – 40 Pro, Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération, Notice produit, Sika

[31] <https://ar.wikipedia.org>.

[32]<https://www.archcitygranite.com/the-history-of-marble-stone-and-why-its-so-popular-for-countertops/>.

[33] <https://www.pulycort.cm/en/marbles/types-of-marbles.html>.

[34] A.H. Mohammed Belhadj1 « Valorisation du déchet de marbre et de la pouzzolane naturelle dans les mortiers, A. Mahi2, M.Z. Kazi Aouel1 , R. Derbal1 ,H. Abdelhadi2, 2016.

[35] <https://www.cochisemarble.com/blog/a-brief-history-of-marble>

[36] <https://mogastone.com/marble-types/>.

[37] <https://emac.sa>.

[38] <http://thesis.univ-biskra.dz/1328/4/partieI%20chapitre%2001.pdf>.

[39] <https://isomat.co.uk/wp-content/uploads/2019/10/fr-POLYPROPYLENE-FIBERS.pdf>

[40] <https://www.el-khattab.com>.



# SPA BISKRIA CIMENT



## FICHE TECHNIQUE

### CEM I 52.5 R (CIMENT BLANC) CIMENT PORTLAND

Ce ciment blanc spécialement conçu et destiné pour les ouvrages d'art esthétiques et éléments décoratifs.

Il est recommandé pour les bétons de haute résistance à la compression.

#### CEM I 52.5 R:

Conforme à la norme algérienne **NA 442-2013** et européenne **EN 197-1**.



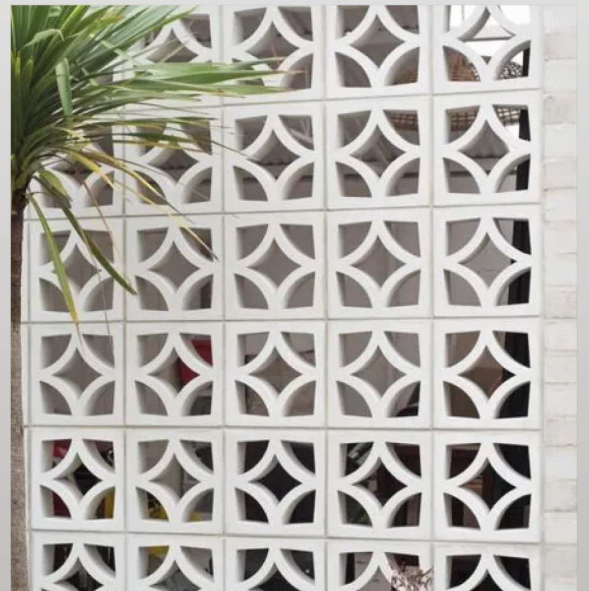
## DOMAINES D'APPLICATION

- ▶ Haute résistance à la compression au jeune âge et à long terme.
- ▶ Le mieux recommandé pour la fabrication et la production des dalles bicouches et mono couches.
- ▶ Le plus conseillé pour les bétons de structure apparents.
- ▶ Très bonne finition et aspect visuel.
- ▶ Il permet d'obtenir une gamme importante de couleur.
- ▶ Idéal pour les mortiers et colles à base de ciment.



## APPLICATIONS RECOMMANDEES

- ▶ Construction des ouvrages d'art esthétiques et éléments décoratifs.
- ▶ Carreaux de dalle (monocouche et bicouche).
- ▶ Fortement recommandé pour les mortiers et les colles à base de ciment.



Produit conçu et fabriqué sous un Système de Management de la Qualité certifié **ISO 9001** par **AFAQ-AFNOR**.





## FORMULATION CONSEILLÉES

Dosage de béton  
C30/C37

Ciment



Sable  
(sec) 0/1



Gravillons (sec)  
8/15mm 15/25mm



Eau  
(litres)



50k X1



+

X7



+ X5



+ X4



+ 25 L

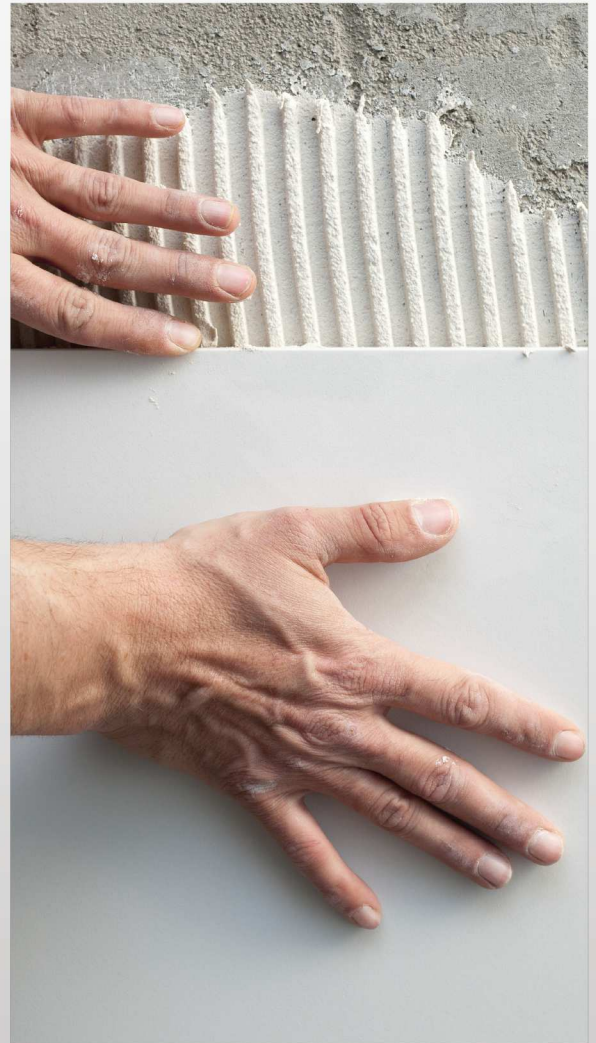
Remarque: un bidon =10 litres



## CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Analyses chimiques (%)	Valeur
Perte au feu (%) (NA 5042)	< 3.5
Teneur en sulfates SO3(%)	2.5 ± 0.5
Teneur en oxyde de magnésium MGO(%)	2,0 ± 0.5
Teneur en chlorures (NA 5042) (%)	0.02-0.05
Composition Potentielle du Clinker (Selon Bogue) (%)	Valeur
C3S	65 ± 5
C3A	10 ± 1
Propriétés physiques et Optique	Valeur
Consistance normale (%)	27 ± 2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (Cm2/g) (NA 231)	3600 – 4000
Retrait a 28 jours (um/m)	< 1000
Expansion (mm)	≤ 3.0
Blancheur (Luminance) L* (%)	>92
Temps de prise (min)	Valeur
Début de prise	170 ± 40
Fin de prise	260 ± 40

Résistance à la compression	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 30.0
28 jours (MPa)	≥ 58.5



## CONSIGNES DE SÉCURITÉ

### PROTÉGEZ VOTRE PEAU:

Portez les équipements adaptés dans vos chantiers:



casques



lunettes



gants



genouillères



chaussures



vêtements de sécurité

Djar Belahrache, Branis, Biskra, Algerie

Tel: (+213) 0560 753 424

Fax: (+213) 033 62 73 92

[www.biskriaciment-dz.com](http://www.biskriaciment-dz.com)

[contact@biskriaciment-dz.com](mailto:contact@biskriaciment-dz.com)

[f](#) [in](#) [v](#) [@](#) Biskria Ciment



01/2023