



**Ministère de l'enseignement supérieur
.et de la recherche scientifique**

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de technologie

Département de GENIE CIVIL



MEMOIRE Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER

FILIERE : Génie Civil SPECIALITE : Matériaux

Par :

**BENZIA Ahmed Seyf Eddine
ET BOUZIDI Youcef**

THEME

Effet combiné des fibres polyéthylène et de la poudre de marbre sur
les caractéristiques rhéologiques et mécaniques du mortier équivalent

Sous la supervision de :

Pr. MAZA Mekki

Univ de M'sila

Encadreur

Pr. RAHMOUNI Zine El Abidine

Univ de M'sila

Co-Encadreur

Pr. TEBBAL Nadia

Univ de M'sila

Co-Encadreur

Promotion : 2023/2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Au nom de Dieu, Tout d'abord, nous tenons à remercier ALLAH, le Clément et le Miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail. Nous voudrions exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur Professeur MAZA Mekki, Professeur RAHMOUNI Zine El Abidine et Professeur TEBBAL Nadia pour les orientations et les conseils qu'ils ont su nous prodiguer durant l'évolution de notre projet. Nous voudrions remercier tous nos professeurs qui ont contribué à notre formation. Nous voudrions exprimer nos sincères remerciements à nos parents pour leur contribution à chaque travail effectué. Mes vifs remerciements iront aussi aux membres du jury qui nous feront l'honneur de traiter notre travail.

RESUME

Ces dernières années, l'intégration des fibres de polyéthylène et de la poudre de marbre dans le mortier a suscité un intérêt croissant pour leurs effets potentiels sur les propriétés rhéologiques et mécaniques. Cette étude vise à explorer l'efficacité de ces matériaux en les ajoutant à des proportions de 6%, 8% et 10% de poudre de marbre et un pourcentage de fibres de (0,1%, 0,15%, 0,2%) avec des longueurs des fibres (5 cm, 7 cm) afin d'évaluer leur impact sur les performances du mortier équivalent.

Les résultats expérimentaux ont été comparés aux performances des mortiers traditionnels, composés principalement de sable. Les avantages observés incluent une augmentation significative de la résistance mécanique en compression et en traction et en flexion du mortier à différents âges de durcissement (7, 14 et 28 jours). Ces améliorations suggèrent une réduction du gaspillage des matériaux et une meilleure efficacité dans l'utilisation des ressources.

Cette recherche met en évidence l'importance de l'innovation dans les matériaux de construction et propose que l'intégration des fibres de polyéthylène et de la poudre de marbre pourrait offrir une méthode prometteuse pour améliorer les performances du mortier tout en contribuant à la durabilité environnementale.

ملخص

في السنوات الأخيرة، أثارت إضافة ألياف البولي إيثيلين ومسحوق الرخام إلى الملاط اهتمامًا متزايدًا بسبب تأثيراتها المحتملة على الخصائص الريولوجية والميكانيكية. تهدف هذه الدراسة إلى استكشاف فعالية هذه المواد عند إضافتها بنسب 6% و8% و10%، وتقييم تأثيرها على متانة وأداء الملاط.

تمت مقارنة النتائج التجريبية بأداء الملاط التقليدي، الذي يتكون بشكل رئيسي من الرمل. تشمل الفوائد الملحوظة زيادة كبيرة في مقاومة وقدرة تحمل الملاط في أعمار تصلب مختلفة (7، 14، و28 يومًا). تشير هذه التحسينات إلى تقليل هدر المواد وكفاءة أفضل في استخدام الموارد.

تسلط هذه الدراسة الضوء على أهمية الابتكار في مواد البناء وتقتصر على دمج ألياف البولي إيثيلين ومسحوق الرخام يمكن أن يوفر طريقة واعدة لتحسين أداء الملاط مع المساهمة في الاستدامة البيئية.

ABSTRACT

In recent years, the integration of polyethylene fibers and marble powder into mortar has garnered increasing interest due to their potential effects on rheological and mechanical properties. This study aims to explore the effectiveness of these materials when added at proportions of 6%, 8%, and 10%, and to assess their impact on the durability and performance of the mortar.

Experimental results were compared with the performance of traditional mortars, primarily composed of sand. Observed benefits include a significant increase in the strength and load-bearing capacity of the mortar at various curing stages (7, 14, and 28 days). These improvements suggest a reduction in material wastage and enhanced efficiency in resource utilization.

This research highlights the importance of innovation in building materials and suggests that integrating polyethylene fibers and marble powder could offer a promising method to enhance mortar performance while contributing to environmental sustainability.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

RÉSUMÉ

ملخص

ABSTRACT

Liste des tableaux

Liste des figures

INTRODUCTION GÉNÉRALE1

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

PARTIE A: LE BETON

I.1 INTRODUCTION :3

I.2 HISTORIQUE :4

I.3 GENERALITE :5

I.4 DEFINITION DU BETON :5

I.5 CONSTITUANTS DU BETON.....6

 I.5.1 CIMENT :6

 I.5.2 LES GRANULATS :7

 I.5.2.1 Les différents types des granulats :7

 I.5.2.2 Classifications des granulats :8

 I.5.3 GRAVIER :9

I.6 PRINCIPAUX AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU BETON :10

 I.6.1 AVANTAGE DUS BETON :10

 I.6.2 INCONVENIENTS DU BETON :10

I.7 DOMAINE D'UTILISATION DU BETON :11

 I.7.1. LE BATIMENT :11

 I.7.2. LES TRAVAUX PUBLICS :11

PARTIE B: LE MORTIER

I.1 DEFINITION :12

I.2 CONSTITUANTS DES MORTIERS :	12
I.2.1 LE LIANT	12
I.2.2 SABLE :	13
I.2.3 L'EAU DE GACHAGE :	13
I.2.4 LES ADJUVANTS	13
I.2.5 LES AJOUTS	14
I.3 FABRICATION DES MORTIERS :	15
I.3.1 FABRICATION A LA MAIN :	15
I.3.2 FABRICATION MECANIQUE	15
I.4 DIFFERENTS TYPES DES MORTIERS :	16
I.5 LES CARACTERISTIQUES DE MORTIER :	19
I.6 UTILISATION DU MORTIER :	20

PARTIE C: LE MARBRE

I.1 HISTORIQUE DU MARBRE	23
I.2 DEFINITION :	23
I.3 LES DIFFERENTS TYPES DE MARBRES	24
I.4 QUELQUES TYPES DE MARBRE DANS LE MONDE :	25
I.5 LA POUDRE DE MARBRE :	26
I.6 EFFET DE LA POUDRE DE MARBRE	27

PARTIE D: FIBRES DE POLYETHYLENE

I.1 DEFINITION :	28
I.2 PROPRIETES DES FIBRES DE POLYETHYLENE :	28
I.3 UTILISATION DES FIBRES DE POLYETHYLENE DANS LE BETON :	29
I.4 AVANTAGES DE L'UTILISATION DES FIBRES DE POLYETHYLENE DANS LE BETON :	30

I.5 ETUDES ANTERIEURES SUR L'INCORPORATION DES FIBRES DE POLYETHYLENE DANS LE BETON :	30
--	-----------

CHAPITRE II : MATERIAUX MATERIELS ET ESSAIS

II.1. INTRODUCTION :	32
-----------------------------	-----------

II.2 CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISE :	33
---	-----------

II.2.1 LE CIMENT :	33
---------------------------	-----------

II.2.1.1 Masse Volumique Apparente : [Na En 1097-6] :	33
--	-----------

II.2.1.2 La Masse Volumique Absolue :	34
--	-----------

II.2.2 LE SABLE :	36
--------------------------	-----------

II.2.2.1 La Masse Volumique Apparente de Sable et (Marbre+Sable):	36
--	-----------

II.2.2.2 La Masse Volumique Absolue de Sable et (Marbre+Sable) :	36
---	-----------

II.2.2.3 Porosité :	38
----------------------------	-----------

II.2.2.3 Analyse Granulometrique de sable utilise:	40
---	-----------

II.2.2.5 Module de finesse (%) :	44
---	-----------

II.2.2.6 Les Caracteristiques Physiques de Sable (Sable de Djamaa):	44
--	-----------

II.2.2.6.1 Equivalant du Sable :	44
---	-----------

II.2.3 ADJUVANT (MEDAFLOW 30/30) :	47
---	-----------

II.2.5 LA POUDRE DE MARBRE :	50
-------------------------------------	-----------

II.2.5.1 Caracteristiques Physiques de la poudre de marbre:	50
--	-----------

II.3 CONCLUSION	50
------------------------	-----------

CHAPITRE III : ANALYSE DES RÉULTATS ET DISCUSSION

III.1 INTRODUCTION	51
---------------------------	-----------

III.2 FORMULATION DE MORTIER NORMAL (NF –P 15-403)	51
---	-----------

III.3 INFORMATIONS SUR LE TRAVAIL	51
--	-----------

III .4 FORMULATION DES MELANGES	51
--	-----------

III .4.1 PRESENTATION DE LA METHODE	51
--	-----------

III .5 : CALCULES	53
--------------------------	-----------

III.6 DENOMINATION DES DIFFERENTS MELANGES	54
---	-----------

III.7 PRESENTATION DES RESULTATS :	56
III.7.1 RESULTATS D'ESSAI DE MASSE VOLUMIQUE	57
III.7.2 RESULTATS D'ESSAI DE RESISTANCE EN COMPRESSION	58
III.7.3 RESULTATS D'ESSAI DE RESISTANCE A LA TRACTION ET A LA FLEXION	60
III.7.4 RESULTATS D'ESSAI DE L'ABSORPTION :	61
III.8 DISCUSSION DES RESULTATS :	63
CONCLUSION GENERALE	73
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	74

Liste Des Tableaux

Tableau	Intitulé	Numéro de page
Tableau	I.1 : classification des granulats	9
Tableau	I.2 : refus cumulés sur tamis.	9
Tableau	I.3 : Composition chimique de la poudre de marbre	27
Tableau	II.1: la masse volumique de ciment	35
Tableau	II.2 : Analyse chimique du ciment CEM.II/B	35
Tableau	II.3 : Analyse minéralogiques du ciment CEM.II/B	36
Tableau	II.4 la masse volumique des mixtures de sable	37
Tableau	II.5 la masse volumique du (sable+Marbre)	37
Tableau	II.6 Porosité de sable	38
Tableau	II.7 Porosité de (sable + Marbre)	39
Tableau	II.8: Tamis utilisés pour le tamisage de sable.	41
Tableau	II.9 : L'analyse granulométrique des sables.	42
Tableau	II.10 : Résultats obtenus pour l'équivalent de sable de djamaa.	46
Tableau	II.11 : Résultats obtenus pour l'équivalent de sable de bousaàda	46
Tableau	II.12 : La classification de la nature sable en fonction d'équivalent de sable (E.S).	46
Tableau	II.13 : Caractéristiques physico-chimiques du super plastifiant MEDAFLOW 30/30	47
Tableau	II.14 : Essais du Taux de saturation.	48
Tableau	II.15 : Analyse chimique de l'eau de gâchage	49
Tableau	II.16 caractéristiques physiques de marbre	50
Tableau	III.1 : les valeurs des coefficients A, A'	52
Tableau	III.2 : Composition pour 1m ³ de béton	54
Tableau	III.3 : Composants pour 1m ³ de mortier	54
Tableau	III.4 : Composition de mortier équivalent	56
Tableau	III.5 : Masse volumique en fonction du pourcentage de poudre de marbre au cours du temps	57
Tableau	III.6 : Masse volumique en fonction du pourcentage et de la longueur de fibre polyéthylène au cours du temps	57
Tableau	III.7 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage de marbre à 28j	58
Tableau	III.8 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage et longueur de fibre polyéthylène à 28j	58
Tableau	III.9 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage de marbre et longueur de fibre polyéthylène(p=0,1%) à 28j	59
Tableau	III.10 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage de marbre et longueur de fibre polyéthylène(p=0,15%) à 28j	59
Tableau	III.11 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage de marbre et longueur de fibre polyéthylène (p=0,2%) à 28j	59
Tableau	III.12 : Résistance à la traction et à la flexion en fonction du pourcentage de marbre à 28j	60
Tableau	III.13 Résistance à la traction et à la flexion en fonction du pourcentage et de la longueur de fibre polyéthylène à 28j	60
Tableau	III.14 : Résistance à la compression et à la flexion en fonction du pourcentage de marbre et longueur de fibre polyéthylène (p=0,1%) à 28j	60

Tableau	III.15 : Résistance à la compression et à la flexion en fonction du pourcentage de marbre et longueur de fibre polyéthylène (p=0,15%) à 28j	61
Tableau	III.16 : Résistance à la compression et à la flexion en fonction du pourcentage de marbre et longueur de fibre polyéthylène (p=0,2%) à 28j	61
Tableau	III.17 : Degrés d'absorption en fonction du pourcentage et longueur de fibre polyéthylène à 28j	62
Tableau	III.18 : Degré d'absorption en fonction du pourcentage de marbre à 28j	62
Tableau	III.19 : Degré d'absorption en fonction du pourcentage de marbre et fibre	63

Liste des figures

Figure	Intitulé	Numéro de page
Figure	I.1 : coulage du béton	5
Figure	I.2 : Le ciment	6
Figure	I.3 Différents types de granulats	8
Figure	I.4 : Composition d'un mortier.	12
Figure	I.5 : Exemple d'une fabrication des mortiers à la main.	15
Figure	I.6 : Exemple d'une fabrication des mortiers mécanique.	16
Figure	I.7 : Les types de mortiers.	18
Figure	I.8 : Mortier utilisé dans le hourdage de maçonnerie	20
Figure	I.9 : Mortier utilisé dans les enduits	21
Figure	I.10 : Application d'une chape de sol	21
Figure	I.11 : Mortier utilisé dans les scellements et les calages	22
Figure	I.12 : les types du marbre	25
Figure	I.13 : la poudre de marbre	26
Figure	I.14 : fibres de polyéthylène	28
Figure	I.15 : échantillon de béton avec des fibres de polyéthylène	29
Figure	II.1 : Les matériaux utilisés pour ce travail.	32
Figure	II.2 : le ciment utilisé CEM II/A 42,5	33
Figure	II.3 : détermination de la masse volumique absolue d'un matériau	36
Figure	II.4 : Essai de la masse volumique apparente de sable au laboratoire.	37
Figure	II.5 : Courbe de porosité des sables.	39
Figure	II.6 : Courbe de Porosité de (sable + Marbre)	40
Figure	II.7 : Analyse Granulométrique	41
Figure	II.8 : série du tamis utilisée	41
Figure	II.9 : Courbe d'analyse granulométrique des sables.	43
Figure	II.10 : Principe de l'équivalent de sable	45
Figure	II.11 : MEDAFLOW 30/30.	47
Figure	II.12 : Taux de saturation par Super plastifiant. (Conne de March).	48
Figure	II.13 : Taux de saturation en Medaflow30/30.	49
Figure	III.1 : Masse volumique en fonction du pourcentage de poudre de marbre	63
Figure	III.2 : Masse volumique en fonction du pourcentage de et longueur de fibre polyéthylène.	64
Figure	III.3 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage de marbre à 28j	65
Figure	III.4 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage et longueur de fibre polyéthylène à 28j	66
Figure	III.5 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage de marbre et longueur de fibre polyéthylène (p=0,1%) à 28j	66
Figure	III.6 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage de marbre et longueur de fibre polyéthylène (p=0,15%) à 28j	67
Figure	III.7 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage de marbre et longueur de fibre polyéthylène (p=0,2%) à 28j	67
Figure	III.8 : Résistance à la traction et à la flexion en fonction du pourcentage de marbre à 28 j	68
Figure	III.9 : Résistance à la traction et à la flexion en fonction du pourcentage et longueur de fibre polyéthylène à 28j	69

Figure	III.10 : Résistance à la traction et à la flexion en fonction du pourcentage de marbre et longueur de fibre polyéthylène (p=0,1%) à 28j	69
Figure	III.11 : Résistance à la traction et à la flexion en fonction du pourcentage de marbre et longueur de fibre polyéthylène (p=0,15%) à 28j	70
Figure	III.12 : Résistance à la traction et à la flexion en fonction du pourcentage de marbre et longueur de fibre polyéthylène (p=0,2%) à 28j	70
Figure	III.13 : Absorption en fonction du pourcentage et longueur de fibre polyéthylène à 28j	71
Figure	III.14 : Degré d'absorption d'eau en fonction du pourcentage de marbre à 28j	71
Figure	III.15 : Absorption d'eau en fonction du pourcentage de marbre et fibre à 28j	71



Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Le mortier, un matériau de construction essentiel, est un mélange de matériaux principalement minéraux. Il se compose de matières inertes, telles que le sable, et d'un liant, généralement du ciment. Lorsque ces éléments sont mélangés avec de l'eau, ils forment une pâte dont l'homogénéité peut varier. Cette pâte peut être appliquée en différents endroits pour lier des briques, des pierres ou d'autres matériaux de construction. Après application, le mortier subit un processus de "prise", se solidifiant pour devenir un matériau durable et résistant.

Le mortier n'est pas seulement un matériau de liaison; il joue également un rôle crucial dans l'amélioration de la stabilité et de la durabilité des structures. Les innovations dans le domaine du mortier se concentrent sur la recherche de nouveaux procédés de construction et de nouveaux produits à faible impact environnemental. Ces efforts visent à améliorer les propriétés d'usage des mortiers actuels, telles que leur résistance, leur durabilité et leur performance globale.

En somme, le mortier est un matériau de construction indispensable qui contribue de manière significative à la robustesse et à la longévité des ouvrages. Grâce à des avancées continues dans sa composition et son application, le mortier continue de jouer un rôle clé dans le domaine de la construction, répondant aux exigences contemporaines de performance et de durabilité..

Introduction générale

Objectif du travail :

Cette étude vise principalement à explorer la possibilité technique d'incorporer des fines de marbre et de polyéthylène comme additions dans la formulation du lisier. L'objectif est d'analyser en profondeur les propriétés physiques et mécaniques de ces matériaux cimentaires contenant ces ajouts, à l'état frais et durci, et de comparer leurs performances à celles d'un lisier de référence utilisant des fillers calcaires comme addition. Ce travail contribue à la valorisation de ces ajouts en les intégrant à différentes proportions dans la production de lisier. Le mémoire est structuré en quatre chapitres, couvrant les aspects essentiels de cette recherche, de la méthodologie à l'interprétation des résultats, afin de fournir une évaluation complète du potentiel de ces ajouts dans l'industrie de la construction.

Ce mémoire est présenté en trois chapitres avec une conclusion générale :

- Chapitre I : Recherche bibliographique
- Chapitre II : Matériaux, matériels et essais
- Chapitre III : Analyse des résultats et discussion
- Conclusion générale



Chapitre I:
Recherche bibliographique

PARTIE A : LE BETON**I.1 Introduction :**

Les bétons, matériaux de construction incontournables, ont révolutionné le secteur du génie civil et de l'architecture depuis leur apparition. Composés principalement de granulats, de ciment et d'eau, ils présentent des caractéristiques mécaniques et physiques remarquables qui en font un choix privilégié pour de nombreuses applications. Cette note de fin d'études vise à présenter une analyse approfondie de ce matériau, en mettant en lumière ses propriétés, ses méthodes de conception et ses domaines d'application.

Au fil des décennies, les bétons ont connu des évolutions significatives, tant dans leur composition que dans leurs performances. Les progrès réalisés dans le domaine des matériaux et des techniques de construction ont permis d'améliorer considérablement la qualité et la durabilité des bétons. Aujourd'hui, ils sont utilisés dans la construction de divers ouvrages, tels que les bâtiments, les ponts, les barrages et les routes, pour ne citer que quelques exemples.

L'étude des bétons implique la compréhension de leurs constituants et de leurs interactions. Le ciment, élément liant, joue un rôle clé dans la résistance et la durabilité du béton. Les granulats, quant à eux, assurent la stabilité dimensionnelle et participent à la résistance mécanique. L'eau, enfin, est indispensable à l'hydratation du ciment et influence directement la consistance et la maniabilité du béton frais.

Il convient également de souligner l'importance des adjuvants dans la formulation des bétons modernes. Ces additifs, utilisés en faible quantité, permettent d'améliorer certaines propriétés du béton, telles que sa fluidité, sa résistance ou sa durabilité. Parmi les adjuvants les plus couramment utilisés, on peut citer les plastifiants, les entraîneurs d'air et les accélérateurs de prise.

Cette introduction pose les bases de notre étude sur les bétons. Dans les sections suivantes, nous approfondirons nos connaissances sur ce matériau, en nous appuyant sur une analyse détaillée de ses composants, de ses propriétés et de ses applications [1]

I.2 Historique :

Le béton avait pris ses pas après le mortier. Il est à noter que le mortier serait très ancien, citant les colonnes d'Égypte, en pierre artificielle qui date de 3600 ans avant notre ère. Les plus anciens mortiers reconnus sont ceux des maçonneries de remplissage, des pyramides et ceux des citernes et de tombeaux étrusques. Ce sont les Romains qui développèrent l'art des mortiers de chaux grasses, en y associant la pouzzolane (cendre du Vésuve à Pouzzoles) pour la prise hydraulique et qui en fixèrent la technique.

Dans cette période, du règne de la chaux grasse, à durcissement trop lent pour permettre la tenue du béton en élévation, il ne fut employé que pour les aires (routes, dallages, planchers...) et les fondations.

Vicat obtient systématiquement les chaux hydrauliques en 1818 en partant de calcaires argileux. Le ciment ne fut utilisé qu'à partir du milieu du XIX^{ème} siècle pour les bétons en élévation. En 1847 Coignet exécuta, le premier immeuble en béton coffré, puis des pièces moulées, et en 1852 un plancher avec poutrelles en fer et en béton coulé (terrasse à Saint-Denis). Le béton armé de fers ronds apparut en 1848, avec le bateau Lambot, Le béton armé s'est, étendu ensuite à toutes les constructions portantes chargées. Entre 1930 et 1950, on construit les premières réalisations en béton précontraint. Ce nouvel essor est apporté par Eugène FREYSSINET.

Les premières études systématiques sur les bétons eurent lieu en France et sont dues aux Ingénieurs des Ponts et Chaussées. Les travaux de R.Féret sont considérables. En 55ans, il donne près de 200 publications sur les liants, les mortiers, les bétons, mais son étude de 1892. Complétée par celle de 1896 et qui n'a pas de correspondance nulle part, était déjà déterminante pour la découverte des lois du béton.

En 1925 Bolomey propose une loi continue qui reprend celle de Fuller sur la granulométrie et composition. Le Clerc du Sablon en 1927 a fait une étude de résistance liée à la compacité du béton. En 1937, A.Caquot met en évidence l'effet de paroi des moules. En 1940, R.Valette a fait une étude de la résistance des bétons en fonction du rapport gravier / sable. En 1942, Faury donna une étude générale du béton et proposa une nouvelle granulation type, variante assouplie des granulations continues antérieures. Actuellement, les recherches et les études sur les bétons ne cessent d'évoluer, dans le but d'améliorer leurs performances et aussi pour les rendre plus économique [2]

I.3 Généralité :

Le béton est un matériau composite aggloméré constitué de granulats durs de diverses dimensions collées entre eux par un liant. Dans les bétons courants, les granulats sont des grains de pierre, sable, gravier, cailloux et le liant est un ciment, généralement, un ciment portland.

Les composants sont très différents : leur masse volumique vont, dans les bétons courants de 1 (eau) à 3 (ciment) t/m³. Si le type de liant utilisé n'est pas un ciment, on parle alors, selon le liant utilisé, de béton de résine, de béton d'hydrocarboné, de béton d'argile, etc.

Dans le béton où une très grande compacité est recherchée (béton HP par exemple), la dimension des éléments les plus fins peut descendre en dessous de 0,1 mm (fillers, fumée de silice). De même les granulats très légers ont des masses volumiques inférieures à 100 kg/m³. [3]

I.4 Définition du béton :

Le béton est un matériau de construction formé par un mélange de granulats, de sable et d'eau aggloméré par un liant hydraulique (ciment), éventuellement complété par des adjuvants et des additions.

Ce mélange, qui est mis en place sur le chantier ou en usine à l'état plastique, peut adopter des formes très diverses parce qu'il est moulable ; il durcit progressivement pour former finalement un moolithe.

Selon le choix du ciment et son dosage par rapport aux granulats, selon la forme des granulats, selon l'utilisation d'adjuvants, les bétons obtenus peuvent avoir des caractéristiques très diverses.

Leur mise en œuvre et leur traitement de surface peuvent également faire varier leurs performances et leur aspect.

Le béton est une pierre reconstituée, également appelée « pierre liquide ». [4].



Figure I.1: coulage du béton [5].

I.5 Constituants du béton

I.5.1 Ciment :

Les ciments sont des poudres fines obtenues par la cuisson à haute température (vers 1450 °C) et le broyage d'un mélange minéral (calcaire + argile en général). Ces poudres constituées de sels minéraux anhydres instables (en particulier silicates et aluminates de chaux) forment avec l'eau une pâte capable par hydratation de faire prise et durcir progressivement (plus ou moins rapidement d'ailleurs) d'où le nom de liants hydrauliques par opposition avec liants aériens (à base de chaux grasse et maigre) qui ne peuvent durcir qu'au contact de l'air. [6]

Le ciment est composé de :

- Autres composants : schistes calcisés (T) ; calcaires (L) ; fumée de silice (D) ; sulfate de calcium (Gypse).
- Clinker (K).
- Laitier granulé de haut fourneau (S).
- Cendres volantes (V ou W).
- Pouzzolanes (Z).
- Fillers (F).



Figure I.2: Le ciment [7]

Il existe cinq types de ciments :

- Le CEM I (ciment Portland) est un ciment adapté pour la conception de béton armé ou précontraint car il offre un niveau de résistance élevé ;
- Les CEM II A ou B (ciment Portland composé) ont pour particularité d'être très maniables ils sont donc utilisés dans les travaux d'usage courant tels que pour les chapes traditionnelles ou bien pour les enduits simples ;
- Les CEM III A, B ou C (ciment de haut-fourneau) sont adaptés à des environnements difficiles, ils sont réputés pour être durables ;
- Les CEM IV A ou B (ciment de type pouzzolanique) sont également adaptés à un milieu agressif, idéals pour des structures hydrauliques. Absents en France ;
- Les CEM V A ou B (ciment composé) ont les mêmes propriétés physiques que les CEM III mais pas les mêmes constituants. [6].

I.5.2 Les granulats :

On appelle « granulats » les matériaux inertes qui entrent dans la composition des bétons. C'est l'ensemble des grains compris entre 0 et 125 mm dont l'origine peut être naturelle ou artificielle. Ces matériaux sont quelquefois encore appelés « agrégats », cependant cette appellation est abandonnée depuis fort temps. En effet, un agrégat est un assemblage hétérogène de substances ou éléments qui adhèrent solidement entre eux (le mortier ou le béton par exemple) [8].

I.5.2.1 Les différents types des granulats :

a) Granulats naturels :

Les granulats sont dits naturels lorsqu'ils sont extraits de leurs sites géologiques d'origine en ayant subi que des traitements mécaniques. Ils sont provenus de différentes roches qui varient selon la région d'origine [9].

b) Granulats artificiels :

Les granulats artificiels sont obtenus de la transformation à la fois thermique et mécanique de roches ou de minerais. Il existe différentes sortes de granulats artificiels. Les sous-produits industriels, parmi lesquels les plus employés sont le laitier cristallisé concassé et le laitier granulé de haut-fourneau, sont obtenus par refroidissement à l'eau. D'autres sous-produits qui sont utilisés pour un usage précis [9].

c) Granulats légers et lourds :**✓ Granulats légers :**

Les granulats légers sont utilisés pour la confection de bétons légers. Leurs masses volumiques sont inférieures à 2 t/m³. Ils présentent une forte absorption d'eau et cette dernière a toujours été considérée par les constructeurs comme une grosse difficulté sur les chantiers car elle entraîne d'importantes variations de plasticité et d'ouvrabilité des bétons. Parmi les granulats légers, on trouve l'argile expansée, schistes expansés, laitier expansé, pierre ponce, pouzzolane, vermiculite, perlite, etc [9].

✓ Granulats lourds :

Les granulats lourds ont des masses volumiques supérieures à 3 t/m³. Ils sont essentiellement employés pour la confection des bétons lourds utilisés pour la construction d'ouvrages nécessitant une protection biologique contre les rayonnements produits, par exemple, dans les accélérateurs et piles atomiques ; la protection est d'autant plus efficace que l'épaisseur est plus grande et la densité du béton plus élevée [9].



Figure I.3 Différents types de granulats [10]

I.5.2.2 Classifications des granulats :

Les granulats sont caractérisés d'un point de vue granulaire par leurs catégories d/D, d et D, respectivement les plus petites et les plus grandes dimensions des grains. Norme XP française P18-540 définit les noms des différentes classes granulaires ainsi que leurs propriétés, comme le montre le tableau suivant [9] :

Tableau I.1 : classification des granulats [9]

Familles	Dimensions	Caractéristique
Filler	0/D	$D < 2$ mm avec au moins 70 % de passant à 0.063 mm
Sablons	0/D	$D \leq 1$ mm avec moins de 70 % de passant à 0.063 mm
Sables	0/D	$1 < D \leq 6.3$ mm
Gravies	0/D	$D > 6.3$ mm
Gravillons	d/D	$D \geq 1$ et $D \leq 125$ mm
Blasts	d/D	$d \geq 25$ mm et $D \leq 50$ mm

I.5.3 Gravier :

a. Définition:

On appelle gravier l'accumulation des grains de 5 à 70 mm provenant de la distraction naturelle des roches. Tandis que la pierre concassée par broyage des roches massives, de gravier pierre artificielle, en morceaux dont les dimensions varient de : 5 à 70 mm [45].

b. Granularité de gravier :

La granularité conditionne la porosité de mélange, si tous les grains ont une même grosseur, on aurait une porosité maximale. Donc, pour avoir un mélange de volume des vides minimum, il faut une composition granulométrique des grains de différentes dimensions qui doit se situer dans les limites appelées (fuseaux de spécifications) :

Tableau I.2 : refus cumulés sur tamis. [45]

Tamis	Limite de refus cumulé (%)
Dmin	90-100
Dmax	0-10
$1/2(D_{min} + D_{max})$	40-70
$5/4 D_{max}$	0

c. Nature de gravier :

Le gravier provient de roches naturelles ou artificielles, constituées de minéraux chaque roche a sa propre composition chimique minéralogique. Sa résistance, son adhérence avec les ciments. L'adhérence entre le gravier et la pâte de ciment influe sur la résistance du béton, l'état de la surface lisse. Les grains de gravier concassé (naturel et artificiel) ont des surfaces rugueuses, donc ces

derniers s'adhèrent mieux que le gravier naturel au ciment durci dans le béton, en revanche, le mélange du béton à base de gravier concassé naturel et artificiel est moins fluide en raison de l'angularité de ces derniers [11].

d. Forme de gravier :

Les grains d'un gravier se distinguent par leurs formes : sphériques, cubiques, allongées. Le coefficient volumique CV permet de donner une idée précise sur la forme de l'élément considéré. C'est pour un grain, le rapport entre le volume absolu ou volume de la sphère circonscrite à la plus grande dimension de grains. Le coefficient volumique est donné par la relation : $C_{gv} = V / [(5/6) R^3]$, où V est le volume absolu de grain de gravier et d est la plus grande dimension du grain de gravier. Un coefficient faible correspond à un granulat présentant un certain nombre de «plats» et «d'aiguilles», à l'opposé un coefficient élevé correspond à un granulat dit «cubique» ou «arrondi». La norme AFNOR P18-301 préconise : $C_v \geq 0.15$ pour les graviers de 12.5 à 25 mm et $C_v \geq 0.11$ pour les cailloux de 25 à 50 mm. La présence d'impuretés dans le gravier influe beaucoup sur la qualité du béton, car les impuretés perturbent l'hydratation du ciment et entraînent des défauts d'adhérence entre le gravier et la pâte de ciment. [11]

I.6 Principaux avantage et inconvénient du béton :**I.6.1 Avantage du béton :**

- Il est peu coûteux, facile à fabriquer et nécessite peu d'entretien ;
- Il exige peu d'énergie pour sa fabrication.
- Il épouse toutes les formes qui lui sont données. Des modifications et adaptations du projet sur le chantier sont faciles à effectuer ;
- Il devient solide comme la pierre. Correctement utilisé, il dure des millénaires. Il résiste bien au feu et aux actions mécaniques usuelles ;
- Associé à des armatures en acier, il acquiert des propriétés nouvelles qui en font un matériau de construction aux possibilités immenses (béton armé, béton précontraint) ;
- Il convient aux constructions similaires. Les assemblages sont faciles à réaliser dans le cas du béton coulé sur place. Dans la plupart des cas, les dimensions des ouvrages et éléments d'ouvrage en béton sont suffisants pour ne pas poser de problème délicat de stabilité ;
- Les ressources nécessaires pour sa fabrication existent dans de nombreux pays en quantités presque illimitées. [12]

I.6.2 Inconvénients du béton :

Les principaux inconvénients du béton ont pu être éliminés grâce à son association à des armatures en acier ou à l'utilisation de la précontrainte.

De toute façon, il reste les inconvénients suivants :

- Son poids propre élevé (densité de 2,4 environ qui peut être réduite à 1,8 dans le cas de bétons légers de structure et à moins de 1,0 dans le cas de bétons légers d'isolation) ;
- Sa faible isolation thermique (elle peut être facilement améliorée en ajoutant une couche de produit isolant ou en utilisant des bétons légers spéciaux) ;
- Le coût élevé entraîné par la destruction du béton en cas de modification d'un ouvrage. [12]

I.7 Domaine d'utilisation du béton :

I.7.1. Le bâtiment :

Le béton tient une place essentielle dans l'urbanisme moderne. Cela semble normale lorsqu'on considère son utilisation dans la construction de logements : pour les murs, 80% des techniques en individuelle, plus de 90% en collectif pour les structures ; pour les planchers, le béton est pratiquement le matériau idéal. Le béton est largement imposé dans les autres secteurs de la construction : bureaux, hôpitaux, locaux, ainsi que dans grands édifices publics et les bâtiments industriels. [13]

I.7.2. Les travaux publics :

- **Les ponts** : Les progrès techniques, en particulier, l'évolution des caractéristiques du béton, permettent de réaliser des portées atteignant plusieurs centaines de mètres.
- **Les tunnels** : Pour les grands tunnels dont les exemples se multiplient dans le monde, le béton est soit coulé sur place, soit utilisé dans des voussoirs préfabriqués. Ceux-ci sont posés à l'avancement de la machine à forer- le tunnelier.
- **Les barrages** : Les grands barrages sont le plus souvent en béton permettant des implantations dans les sites les plus difficiles.
- **Les routes** : La chaussée béton prend une part de plus en plus importante dans les grandes voiries routières et autoroutières, grâce au développement de techniques modernes : béton armé continu, dalle épaisse traitement de surface les voiries à faible trafic et aménagements urbains montrent un regain d'intérêt pour les solutions béton, qui leur assurent durabilité et faible coût d'entretien.
- **Autres ouvrages** : Il faut également citer les ouvrages hors du commun : structures offshore ou

centrales nucléaires, dont les exigences requièrent des bétons aux caractéristiques mécaniques et à la durabilité élevées. [13]

PARTIE B : LE MORTIER

I.1 Définition :

Les mortiers sont largement utilisés dans tous types de travaux, ces derniers étant disponibles en différents produits, que ce soit en ciment, chaux ou résine, et pas utilisés de la même manière. Le mortier est l'un des matériaux de construction utilisés pour sécuriser les éléments ensemble, assurer que le travail est stable et combler les lacunes entre les blocs de construction. En général, le mortier est le résultat d'un mélange de sable, de liants (ciment ou chaux) et d'eau dans certaines proportions, qui varient en fonction des réalisations et de l'utilisation de matériaux auxiliaires. [14]

Dans ce chapitre, nous présenterons les différents types de mortiers ainsi que leurs principales fonctionnalités telles que l'ouverture, la configuration, la suppression, etc.

I.2 Constituants des mortiers :

Les mortiers sont en fait des micros - bétons et leurs principes de compositions sont les mêmes. Ils sont composés de ciment, de sable, d'eau et éventuellement d'adjuvants. [15]

On peut l'illustrer par la figure ci-contre :



Figure I.4 : Composition d'un mortier. [16]

I.2.1 Le liant

On utilise généralement des liants hydrauliques qui peuvent être le ciment, cette dernière est une matière pulvérulente à base de silicate et d'aluminate, et de la chaux obtenue par la cuisson, généralement, on peut utiliser :

- Les ciments (normalisés et spéciaux)
- Les liants à maçonner
- Les chaux (hydrauliques naturelles et éteintes). [17]

I.2.2 Sable :

On définit les sables comme étant la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre 5 μ m et 80 μ m ; il s'agit d'une définition globale dont les bornes varient d'une classification à une autre, c'est un matériau dont le diamètre maximal est inférieur à 6.3mm et dont le passant à 80 μ m n'excède pas 30%.

Dans le sens le plus courant, on entend par « sable » les éléments de dimension 0 à 5mm les fines.

Les sables rencontrés sont le résultat d'une décomposition chimique ou d'une désintégration mécanique des rochers, suivie par un processus de transport qui est à l'origine de leurs caractéristiques physico-chimiques ; les sables ainsi disponibles sont le résultat d'un processus souvent complexe d'érosion et de sédimentation. Ils comportent, à des degrés divers, une décomposition sur place, des différentes roches, suivies d'un transport fluvial et parfois éolien. [18]

I.2.3 L'eau de gâchage :

L'eau de gâchage joue un rôle important, elle sert à hydrater le ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier, ainsi elle contribue à son ouvrabilité. L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis). L'eau potable convient toujours le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé.

Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers et des bétons sont précisées dans la norme NA-442. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale. [19]

I.2.4 Les adjuvants

On définit les adjuvants de la façon suivante :

Produits qui, ajoutés à moins de 5% du poids du liant, au moment des malaxages des mortiers et bétons ou à leur surface lorsqu'ils sont encore frais, améliorent certaines de leurs propriétés. Cette définition ne considère pas comme adjuvants des produits ajoutés au moment du broyage du clinker. Les adjuvants ne sont pas des panacées permettant de transformer un béton médiocre en bon béton. Mais, dans de nombreux cas, ces produits permettent l'exécution des travaux que les moyens classiques ne permettent pas de réaliser. [20]

Le critère essentiel permettant de classer les adjuvants est le résultat de leur action, ainsi on distingue. [21]

- Adjuvants modifiant la rhéologie et la teneur en air : plastifiants, plastifiants-réducteurs d'eau, rétenteurs d'eau et entraîneurs d'air ;
- Adjuvants modifiant la prise et le durcissement : accélérateurs et retardateurs ;
- Adjuvants modifiant la résistance aux actions physiques et chimiques : antigel et antigelifs, hydrofuges et produits de cure ;
- Adjuvants pour coulis d'injection.

Les hydrofuges de masse ont pour principale fonction de réduire la porosité du béton. Ils agissent sur les pores du béton en les colmatant. On les utilise en milieux agressifs ou pour la réalisation d'ouvrages tels que les fondations, les radiers, les piscines, etc. Les hydrofuges de masse se trouvent sous forme de poudre ou de solution aqueuse.

Les accélérateurs de prise sont utilisés principalement en cas de températures basses empêchant ou entravant la prise du béton. Ils permettent de travailler la matière jusqu'à -10°C. Les accélérateurs sont préconisés pour éviter que les températures basses ne bloquent la prise du béton, ne l'interrompent pas en le transformant en glace en cours de prise, ou pour accélérer sa montée en résistance. Ils sont employés pour les ouvrages épais ou volumineux particulièrement sensibles au gel en raison d'une prise plus longue. Remarque : les accélérateurs de prise doivent répondre aux exigences de la norme NF EN 934-2 d'avril 1998.

À l'inverse des accélérateurs de prise, les retardateurs ont pour but de retarder la prise. Retarder la prise peut être utile en cas de fortes chaleurs, ou lorsque le béton est en attente pendant un certain temps avant d'être coulé (transport etc.). Les retardateurs de prise se présentent dans la majorité des cas sous forme liquide. [22]

I.2.5 Les ajouts

Les cendres volantes, le laitier de haut fourneau granulé broyé, la fumée de silice et les pouzzolanes naturelles, telles que le schiste calciné, l'argile calcinée ou le méta kaolin sont des matériaux qui, combinés au ciment portland, contribuent aux propriétés du béton et mortiers durci par action hydraulique ou pouzzolanique ou les deux à la fois [23].

Les pouzzolanes sont des matériaux siliceux ou silico-alumineux, qui ne possèdent pas eux-mêmes pas de propriétés liantes mais qui, sous forme finement divisée et en présence d'humidité, réagissent chimiquement avec l'hydroxyde de calcium à température ordinaire pour former des composés possédant des propriétés liantes.

Les différents types d'additions sont :

- Les cendres volantes;
- Le laitier de haut fourneau;
- Les pouzzolanes;
- La fumée de silice;
- Les fillers;
- Le gypse.

I.3 Fabrication des mortiers :

I.3.1 Fabrication à la main :

Il faut tout d'abord, avec la pelle, mélanger à sec le sable et le liant aussi parfaitement que possible et former ensuite au milieu du mélange une cuvette qui recevra l'eau de gâchage. La masse est humectée progressivement puis malaxée à l'aide d'un robot à mortier. Cependant, il faut savoir :

- Que le mélange à sec doit être fait soigneusement pour que le liant soit parfaitement réparti dans toute la masse.
 - Que l'eau doit être versée en plusieurs fois, d'abord pour la commodité et la qualité du mélange, ensuite parce qu'il est facile d'ajouter un peu d'eau alors qu'on ne peut pas en enlever.
- [24]



Figure I.5 : Exemple d'une fabrication des mortiers à la main. [25]

I.3.2 Fabrication mécanique

La fabrication des mortiers se fait à l'aide des engins appelés bétonnières. Avec certains modèles, le mélange doit être fait à sec, en partie avant l'introduction dans les tambours mélangeurs où il est mouillé convenablement. D'autres font elles-mêmes le mélange complet : on introduit soit directement dans le tombeur, soit dans une benne, l'ensemble des éléments constitutifs du mortier.

L'opération ne dure que quelques minutes, elle est beaucoup plus rapide et moins pénible qu'à la main.
[26]



Figure I.6 : Exemple d'une fabrication des mortiers mécanique. [26]

I.4 Différents types des mortiers [27] :

❖ Les mortiers de ciments :

Les mortiers de ciments sont très résistants, prennent et durcissent rapidement. Le dosage entre le ciment et le sable est, en général, un rapport volumétrique de 1:3 (1/3 de ciment et 2/3 de sable). Le dosage de l'eau correspond au rapport (en kg) Eau/Ciment (E/C) qui est environ égal à 0,35. Il faut savoir qu'un dosage optimum en ciment rend les mortiers pratiquement imperméables.

❖ Les mortiers de chaux :

Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment (gras et onctueux). La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments.

❖ Les mortiers bâtards :

Ce sont les mortiers dont le liant est un mélange de ciment et de chaux. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales (50/50). Des fois, on prend une quantité plus ou moins grande de l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

❖ Les mortiers gras :

Le mortier gras (dosage en ciment plus élevé : 1/3 de liant pour 2/3 de sable) possède une structure beaucoup plus dense et laisse à peine passer l'eau. Il est quasiment imperméable. Il est utilisé pour la réalisation de joints, d'enduits, etc.

❖ Les mortiers maigres :

Le mortier maigre (dosage en ciment peu élevé : 1/4 de liant pour 3/4 de sable) est plus facile à travailler. Néanmoins il est légèrement perméable. Il est utilisé pour maçonner les agglos, la pierre, etc.

❖ Les mortiers rapides :

Ils sont fabriqués avec du ciment prompt, ils sont rapides et résistants pour les scellements.

❖ Les mortiers industriels :

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortier, les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins :

- Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié.
- Mortiers d'imperméabilisation.
- Mortier d'isolation thermique.
- Mortier de jointement.
- Mortier de ragréage.
- Mortier de scellement, mortier pour chapes.
- Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment.
- Mortier de réparation. [27]



Figure I.7 : Les types de mortiers. [28]

Le mortier équivalent :

Dans la construction de maçonnerie, il est courant d'utiliser différents types de mortiers pour différentes parties de la structure en fonction des exigences de résistance et de durabilité. Cependant, il peut être difficile de prédire le comportement à long terme de ces mortiers différents lorsqu'ils sont utilisés ensemble. Pour résoudre ce problème, le concept de "mortier équivalent" a été développé.

Le mortier équivalent est un mortier hypothétique qui a la même résistance à la compression et la même durabilité que le mortier utilisé dans la construction réelle, mais qui est composé d'un mélange standardisé de ciment, de sable et d'eau. En d'autres termes, le mortier équivalent est un mortier de référence qui peut être utilisé pour évaluer la performance d'un mortier spécifique dans des conditions de test standardisées.

Le concept de mortier équivalent est basé sur l'hypothèse que la résistance à la compression et la durabilité d'un mortier sont des propriétés relatives et peuvent être exprimées en fonction de la résistance du mortier équivalent. Cette hypothèse a été validée par des études expérimentales qui ont montré que la résistance à la compression et la durabilité des mortiers différents peuvent être corrélées à leur mortier équivalent. [29]

Le mortier équivalent est défini en termes de rapport ciment/sable et de rapport eau/ciment. Le rapport ciment/sable est le rapport en poids du ciment au sable dans le mélange, tandis que le rapport

eau/ciment est le rapport en poids de l'eau au ciment. Le mortier équivalent est généralement exprimé en termes de rapport eau/ciment normalisé $(w/c)_n$, qui est obtenu en corrigeant le rapport eau/ciment du mortier testé pour tenir compte de la différence de taille des particules de sable. [30]

En utilisant le mortier équivalent, il est possible de comparer le comportement de différents types de mortiers dans des conditions standardisées. Cela peut être utile pour la conception de structures de maçonnerie, la spécification de matériaux et la surveillance de la qualité.

I.5 Les caractéristiques de mortier :

1. Résistance à la compression

La résistance à la compression est la caractéristique la plus importante du mortier. Elle détermine la capacité du mortier à résister aux charges appliquées. La résistance à la compression dépend de la proportion de ciment dans le mélange, de la qualité du sable et de la compaction du mortier. Selon les normes de l'ASTM C270, la résistance à la compression du mortier doit être d'au moins 1 900 psi à l'âge de 28 jours pour une utilisation générale. [31]

2. Adhérence

L'adhérence est la capacité du mortier à coller aux surfaces des matériaux de maçonnerie. Une bonne adhérence est essentielle pour assurer la stabilité et la durabilité de la structure. L'adhérence du mortier dépend de la rugosité des surfaces de la maçonnerie, de la composition du mortier et de la méthode d'application. [31]

3. Travailabilité

La travailabilité est la facilité avec laquelle le mortier peut être manipulé et mis en place. Un mortier avec une bonne travailabilité est facile à étaler et à compacter, ce qui permet une construction plus rapide et plus efficace. La travailabilité dépend de la teneur en eau, de la taille des granulats et de la proportion de ciment dans le mélange. [31]

4. Durabilité

La durabilité est la capacité du mortier à résister aux intempéries, aux cycles de gel et de dégel et aux attaques chimiques. Une bonne durabilité est essentielle pour assurer la longévité de la structure. La durabilité dépend de la composition du mortier, de la qualité des matériaux et de l'exposition aux intempéries. [31]

5. Shrinkage

Le retrait est la réduction de volume du mortier qui se produit pendant le séchage. Un retrait excessif peut entraîner des fissures et une perte de stabilité de la structure. Le retrait dépend de la teneur en eau, de la proportion de ciment et de la qualité du sable. [31]

I.6 Utilisation du mortier :

La pâte plastique obtenue peut jouer plusieurs rôles essentiels :

➤ Le hourdage de maçonnerie :

La construction réalisée en éléments maçonnés (blocs de béton, pierre de taille, briques), nécessite leur assemblage avec un mortier (Figure I.7) qui doit présenter des caractéristiques mécaniques suffisantes pour assurer la transmission des charges et une compacité suffisante pour être étanche.



Figure I.8 : Mortier utilisé dans le hourdage de maçonnerie [32]

➤ Les enduits :

Ce domaine d'application constitue l'un des plus vastes débouchés des mortiers. À côté des enduits traditionnels en trois couches, se développent aujourd'hui des enduits monocouches épais, ainsi que des enduits isolants. (Figure I.8)



Figure I.9 : Mortier utilisé dans les enduits [33]

➤ **Les chapes :**

Les chapes (Figure I.9) ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface. Les chapes peuvent constituer la finition. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol.



Figure I.10 : Application d'une chape de sol [34]

➤ **Les scellements et les calages :**

La multiplicité des problèmes de scellement et de calage a conduit les producteurs de mortiers industriels à mettre au point des produits spécifiques adaptés aux travaux à réaliser (Figure I.10) : scellements d'éléments de couverture, d'éléments de second œuvre, de mobiliers urbains, de regards de visite.

- ✓ Séparation des éléments et remplissage de toutes les fentes et fissures en formant une surface de contact homogène ;
- ✓ Renforcement des propriétés structurales des éléments et en même temps empêchement de la pénétration de la pluie ;
- ✓ Protection des constructions contre l'humidité due aux remontées des eaux de nappes] .35]



Figure I.11 : Mortier utilisé dans les scellements et les calages [36]

PARTIE C : LE MARBRE

I.1 Historique du marbre

Le marbre est utilisé depuis l'Antiquité comme matériau pour la sculpture et pour l'architecture. La consistance ferme et dense du marbre lui permet de prendre un beau poli, et sa translucidité associée au haut indice de réfraction des cristaux de calcite, principal composant des vrais marbres, permet à la lumière de pénétrer dans la superficie de la pierre avant d'être réfléchi, conférant à ce matériau (et surtout aux marbres blancs) une luminosité spéciale [45]. Le terme « marbre » est dérivé du grec « marmaros », qui signifie « pierre resplendissante ». Dans l'histoire de l'art ce terme peut désigner une très grande variété de roches, de compositions, de duretés et de textures très différentes. Toute pierre de consistance ferme et capable de prendre un beau poli a souvent été appelée « marbre », mais les plus courants restent les vrais marbres au sens géologique [37].

La réalisation des premiers objets en marbre remonte à l'époque néolithique (âge de la pierre polie) : dans les Cyclades, où le marbre (de vrais marbres au sens géologique) est particulièrement abondant (surtout dans les îles de Paros et Naxos). Les exemples les plus connus sont de petites idoles et des sculptures plus grandes, datées à partir de la fin du IV millénaire av. J.-C. et le III millénaire av. J.-C. (3200-2000 av. J.-C.), caractéristiques de la production artistique de la civilisation des Cyclades.

Quelques variétés de marbres originaires du Péloponnèse (comme le « porphyre vert antique ») furent utilisées par la civilisation minoenne.

Dans l'Égypte ancienne, à partir de l'époque prédynastique, différentes variétés de granits, diorites, gneiss, basaltes, schistes, des calcaires divers et notamment l'albâtre égyptien, furent travaillées pour la réalisation de vases rituels. À partir de la IIe dynastie égyptienne commence l'emploi de la syénite, une roche granitique qui fut utilisée pour le revêtement des pyramides de Khephren et de Mykérinos [38].

I.2 Définition :

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire, existant dans une grande diversité de coloris, pouvant présenter des veines, ou marbrures (veines et coloris sont dus à des inclusions d'oxydes métalliques, le plus souvent). Certains types de marbres portent des noms particuliers, par exemple le cipolin ou la griotte.

Le marbre désigne un carbonate de calcium à tissu compact ou cristallin qui se laisse rayer et réagit aux acides plus ou moins siliceux ou argileux, il se présente en épaisseur homogène ou

diversement mélangée à d'autres matières, sa densité est élevée en moyenne de 2,7. La classification des marbres est fondée sur les teintes ou les dessins : outre le blanc ils existent des variétés, beiges, bleues, roses, gris, jaunes, rouges, vertes, violettes ou noires [39].

I.3 Les différents types de marbres

Il existe différentes variétés de marbres classées selon les catégories suivantes [37]

- **Le marbre simple uni** : se compose d'une seule couleur homogène nettement décidée. Son grain serré donne un des marbres les plus durs. Les marbres blancs comme le carrare sont appelés marbres statuaire ;
- **Le marbre veiné** : est soit simple lorsqu'il présente une seule couleur traversée de veines, soit riche lorsqu'il bénéficie de plusieurs couleurs. Les marbres Campan ont par exemple des veines caractéristiques vertes ;
- **Le marbre brèche** : est un marbre formé d'une multitude de débris cassés et anguleux, juxtaposés et de couleurs différentes. Ces cailloux sont joints et agglomérés par un ciment calcaire. La brèche d'Alep est un exemple de marbre bréchique ;
- **Le marbre brocatelle** : est une brèche composée de morceaux entremêlés donnant l'aspect du tissu de même nom ;
- **Le marbre cipolin** : présente des veines de serpentines ou de mica noir formant un dessin végétal et l'apparence de feuilles. IL s'agit d'un marbre assez rare ;
- **Le marbre griotte tient** : son nom de la couleur brun ou rouge de la cerise du même nom ;
- **Le marbre lumachelle** : ou marbre en limaçon, est principalement composé de débris organiques, de coquilles, de mollusques fossilisés et de madrépores, tous cimentés par une pâte plus ou moins uniforme ;
- **L'Onyx** : est une variété d'agate aux bandes colorées régulières. Les marbres Onyx sont des albâtres blancs gris ou jaunâtres. L'albâtre calcaire diffère de l'albâtre ordinaire qui n'est qu'une variété de gypse ;
- **Le granit** : est une roche de grains cristallins réunis sans l'apparence d'un ciment ;
- **Le porphyre** : est une roche analogue au granit contenant des grains et des cristaux de diverses substances minérales aussi empâtées dans un ciment naturel. Le nom de porphyre est donné aux pierres claires veinées ou tâchées d'aspect très cristallin ;
- **Le jaspé** : est un oxyde de silicium du genre quartz ou cristal de roche. Il présente généralement un aspect opaque et de couleur variées ;
- **Le stuc** : est un marbre artificiel créé à partir d'une pâte facilement malléable.

I.4 Quelques types de marbre dans le monde :

a) Marbres Algériens :

- marbre blanc - marbre gris - marbre réséda vert : carrière de marbre de fil-fila ;
- marbre rouge - marbre jaune et rose : gisement de marbre de krystel ;
- marbre mahouna : la carrière de marbre de mahouna ;
- marbre onyx dore : filon d'onyx de ain smara ;
- marbre onyx jaune : carrière de bouhnifia ;
- travertin : carrière de sidi m'barek ;
- marbre blanc et vert : carrière de honaine (Tlemcen).



Figure I.12 : les types du marbre [41].

b) Marbres d'Espagne :

On à citer quelque type de marbre en Espagne comme suite :

- Marbre violet de Tortosa, violet taché et moucheté de jaune éclatant, reçoit un beau Poli ;
- Marbre brèche de Valence, jaune plus ou moins clair, d'une qualité secondaire, employé pour l'ameublement des appartements.

c) Marbres du Portugal :

On à citer quelque type de marbre en Portugal comme suit :

- Marbre de Vila Viçosa, dans l'Alentejo moucheté gris ;
- Marbre de Troncao, jaune pâle veiné gris [42].

I.5 La poudre de marbre :

La poudre de marbre est du calcaire ou carbonate de calcium très dur. Sa couleur est d'un blanc pur avec des brillances. Elle est utilisée comme charge dans les peintures et enduits traditionnels, suivant sa granulométrie, dans les enduits fins et les stucs ainsi que le tadélakt. Granulométrie très très fine 0-25 μm .



Figure I.13 : la poudre de marbre

Tableau I.3 : Composition chimique de la poudre de marbre [A.H. Mohammed et al., 2016] [43]

Element	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅	Na ₂ O	ZnO	SrO	ZrO ₂
%	39.43	1.24	0.382	0.174	2.55	0.18	0.005	0.096	0.021	0.002	0.005

I.6 Effet De La Poudre De Marbre

La poudre de marbre, en tant qu'addition minérale dans les mortiers, a démontré des effets significatifs sur les propriétés du mélange cimentaire. Selon les travaux de Bentur et Mindess (1990), l'incorporation de poudre de marbre améliore la compacité du mélange, ce qui se traduit par une augmentation de la résistance mécanique. De plus, la finesse de la poudre de marbre contribue à une meilleure dispersion des grains de ciment, favorisant ainsi l'hydratation et le développement des propriétés du mortier durci (Cyr et al. 2005).

Ces effets bénéfiques de la poudre de marbre sur les caractéristiques physiques et mécaniques du mortier en font un matériau de choix pour l'amélioration des performances des éléments de construction. Son utilisation permet non seulement de valoriser un sous-produit industriel, mais également de développer des solutions constructives plus durables et respectueuses de l'environnement [44].

PARTIE D : FIBRES DE POLYETHYLENE

I.1 Définition :

Les fibres de polyéthylène sont des matériaux synthétiques issus de la polymérisation de l'éthylène, un hydrocarbure dérivé du pétrole. Elles se caractérisent par leur légèreté, leur résistance à la traction, leur stabilité dimensionnelle et leur bonne résistance chimique.

Ces propriétés en font un matériau de choix pour de nombreuses applications, notamment dans le domaine des textiles techniques, des cordages, des géotextiles et des composites renforcés. Leur faible densité en fait également un matériau intéressant pour les applications où le poids est un critère important, comme dans l'aéronautique ou le transport.

Les fibres de polyéthylène sont produites par extrusion ou filage à partir de résines de polyéthylène de haute densité. Elles peuvent ensuite subir différents traitements, tels que l'étirage ou la texturisation, afin d'optimiser leurs propriétés en fonction des besoins spécifiques [45].



Figure I.14 : fibres de polyéthylène

I.2 Propriétés des fibres de polyéthylène :

Les fibres de polyéthylène présentent un ensemble de propriétés qui en font un matériau très apprécié dans de nombreuses applications industrielles. Parmi leurs principales caractéristiques, on peut notamment citer :

Une résistance à la traction élevée : Grâce à leur structure moléculaire orientée, les fibres de polyéthylène offrent une résistance mécanique exceptionnelle, avec des valeurs pouvant atteindre

jusqu'à 40 g/den (grammes par denier) [46]. Cette propriété en fait un matériau de choix pour la fabrication de cordages, de câbles et de textiles techniques nécessitant une grande solidité.

Une faible densité : Le polyéthylène étant un polymère léger, ses fibres possèdent une densité comprise entre 0,95 et 1,00 g/cm³, soit environ 50 à 70 % de la densité des fibres de verre. Cette légèreté en fait un matériau idéal pour les applications où le poids est un critère important, comme dans l'industrie aéronautique ou le transport.

Une bonne résistance chimique : Les fibres de polyéthylène offrent une excellente résistance aux agents chimiques, aux solvants, aux acides et aux bases. Elles sont également très résistantes à l'abrasion et à l'humidité, ce qui les rend particulièrement adaptées pour des usages en extérieur ou dans des environnements agressifs.

I.3 Utilisation des fibres de polyéthylène dans le béton :

L'incorporation de fibres de polyéthylène dans le béton a suscité un intérêt croissant ces dernières années en raison de leurs propriétés intéressantes pour cette application. En effet, les fibres de polyéthylène permettent d'améliorer de manière significative certaines caractéristiques du béton.



Figure I.15 : échantillon de béton avec des fibres de polyéthylène

Tout d'abord, leur faible densité, comprise entre 0,95 et 1,00 g/cm³, contribue à réduire le poids total du béton renforcé, ce qui est un atout dans de nombreuses applications de construction

[47]. De plus, les fibres de polyéthylène confèrent au béton une meilleure résistance à la traction et à la flexion, limitant ainsi la formation de fissures et améliorant la durabilité de l'ouvrage.

Par ailleurs, les fibres de polyéthylène présentent une excellente résistance aux agents chimiques et à l'humidité, propriétés particulièrement intéressantes pour les bétons exposés à des environnements agressifs. Leur incorporation permet également de réduire les retraits de séchage et de limiter les risques de fissuration du béton [48].

Ainsi, l'ajout de fibres de polyéthylène dans le béton offre de nombreux avantages en termes de performance mécanique, de durabilité et de réduction du poids, ce qui en fait un matériau composite très prometteur pour de nombreuses applications de construction.

I.4 Avantages de l'utilisation des fibres de polyéthylène dans le béton :

L'incorporation de fibres de polyéthylène dans le béton présente de nombreux avantages qui en font une solution intéressante pour de nombreuses applications de construction.

Tout d'abord, les fibres de polyéthylène permettent d'améliorer de manière significative la résistance mécanique du béton, notamment sa résistance à la traction et à la flexion. Cette propriété est particulièrement importante pour prévenir la formation de fissures et assurer une meilleure durabilité des ouvrages [49]. De plus, la faible densité des fibres de polyéthylène contribue à réduire le poids total du béton renforcé, ce qui peut être un atout majeur dans certaines applications.

Par ailleurs, les fibres de polyéthylène offrent une excellente résistance aux agents chimiques, à l'humidité et à l'abrasion. Cela en fait un choix judicieux pour les bétons destinés à être exposés à des environnements agressifs, tels que les milieux marins ou industriels [49]. Cette résistance accrue permet d'augmenter la durée de vie des structures et de réduire les coûts d'entretien.

Enfin, l'ajout de fibres de polyéthylène au béton permet de limiter les retraits de séchage et les risques de fissuration, améliorant ainsi la stabilité dimensionnelle de l'ouvrage et sa tenue dans le temps.

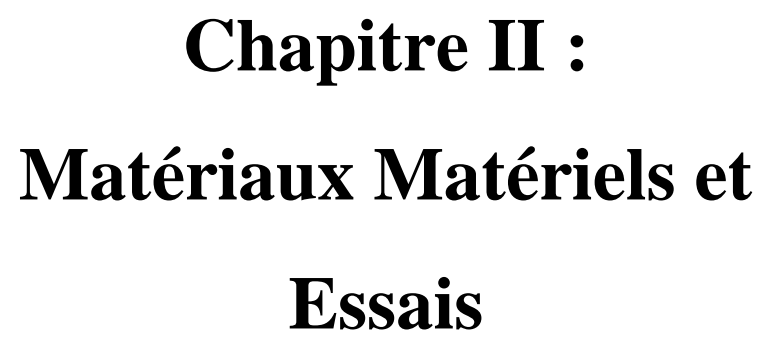
I.5 Etudes antérieures sur l'incorporation des fibres de polyéthylène dans le béton :

De nombreuses études ont été menées ces dernières années afin d'évaluer les effets de l'ajout de fibres de polyéthylène dans le béton. Ces travaux ont permis de mieux comprendre les mécanismes en jeu et d'identifier les principaux avantages de cette technique.

Une étude réalisée par Bentur et Mindess en 2006 a notamment montré que l'incorporation de fibres de polyéthylène permettait d'augmenter significativement la résistance à la traction et à la flexion du béton, réduisant ainsi les risques de fissuration [50]. Les auteurs ont également mis en évidence que ces fibres contribuaient à limiter les retraits de séchage, améliorant ainsi la stabilité dimensionnelle des structures.

Par ailleurs, des travaux menés par le comité ACI 544 en 1996 ont permis de démontrer que les fibres de polyéthylène offraient une excellente résistance aux agents chimiques et à l'humidité [50]. Cette propriété en fait un matériau de choix pour les bétons destinés à être exposés à des environnements agressifs, tels que les milieux marins ou industriels.

Ces différentes études soulignent l'intérêt de l'utilisation des fibres de polyéthylène dans le béton, tant sur le plan des performances mécaniques que de la durabilité des ouvrages. Leurs résultats ont ainsi contribué à promouvoir l'emploi de ce type de renfort dans de nombreuses applications de construction.



Chapitre II :
Matériaux Matériels et
Essais

II.1. Introduction :

Ce chapitre, présente les caractéristiques des matériaux utilisés dans ce projet, ainsi que les différents essais expérimentaux. Ajoutons que ce travail expérimental a été effectué suivant les normes Européennes en vigueur, les essais physiques et mécaniques ont été effectués au sein du laboratoire de département de Génie Civil de l'Universitaire Mohamed Boudiaf de M'sila.

Les matériaux utilisés pour ce travail sont :

- **Sable** : Nous avons utilisé deux types de sables :
 - a) Le sable de (Djamaa) wilaya de Ouad souf
 - b) Le sable de Boussaâda de la wilaya de M'sila
- **Ciment** : Le ciment Mâtine de la cimenterie Lafarge district de Hammam Dhalaa de M'sila (CPJ-CEM II/B 42,5 R NA 442).
- **Les adjuvants** : MEDAFLOW 30/30.
- **Eau de gâchage** : eau potable prise au niveau du laboratoire de génie civil de l'université de M'SILA.
- **Poudre de marbre**
- **Fibres de polyéthylène (PE)**



Figure II.1 : Les matériaux utilisés pour ce travail.

II.2 Caracterisation Des Materiaux Utilise :

Les différents matériaux utilisés ont été identifiés soit à partir d'essais d'identification au sein du laboratoire de génie civil de l'université Mohamed Boudiaf de M'sila , selon un programme d'essais réalisé conformément aux normes européennes, soit à partir de la fiche technique associée pour d'autres. Parmi les essais effectués sur les matériaux, on cite :

II.2.1 Le Ciment :

Le ciment utilisé dans ce travail est un ciment composé de type CEM II/A 42.5N de classe de résistance 42.5, produit par : la cimenterie Lafarge district de Hammam Dhalaa



Figure II.2 : le ciment utilisé CEM II/A 42,5

II.2.1.1 Masse Volumique Apparente : [Na En 1097-6] :

La masse volumique apparente est la masse d'un corps par unité de volume total y compris les vides entre les grains le constituant. L'essai consiste à remplir un récipient vide de volume et de masse connu de matériau sec sans le tasser et à peser ensuite cette quantité de matériau ; elle est donnée par la formule:

$$\gamma_{app} = (M_2 - M_1) / V$$

Avec :

M_1 : la masse du récipient vide

M_2 : la masse du ciment

V : le volume du récipient

Principe de l'essai :

Le principe de cette mesure consiste à remplir un récipient avec un volume connu et de peser la quantité de granulats correspondant.

Matériels utilisés :

- c) Une balance avec une précision de 0,01g
- d) Un récipient avec un volume de 1 litre
- e) Une règle à araser
- f) Un échantillon de ciment

Mode opératoire

- Peser le récipient à vide et noter M1
- Prendre le matériau dans les deux mains en formant un entonnoir
- Placer les deux mains à environ 10 cm au-dessus de la mesure et laisser tomber le matériau ni trop vite, ni trop lentement
- Verser ainsi le matériau au centre de la mesure jusqu'à ce qu'il déborde autour en formant un cône
- Araser à la règle
- Peser le contenu et noter M2

II.2.1.2 La Masse Volumique Absolue :

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seul sans tenir compte des vides et des pores). Elle est exprimée en (g/cm^3 , kg/m^3 , t/m^3).

Principe de l'essai :

Est la masse d'un corps par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains, on a appliqué la méthode de l'éprouvette graduée :

Mode opératoire :

- remplir une éprouvette graduée avec un volume $V_1 = 400$ ml de mazout.
- peser un échantillon sec du ciment $M = 300$ g et on l'introduire dans l'éprouvette graduée en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- le liquide monte dans l'éprouvette de volume V_2 .

La masse volumique absolue est donnée par la formule :

$$\rho_{bs} = M / (V_2 - V_1)$$

La masse volumique absolue du ciment CPJ 42,5 est de 3,1 g/cm³, cette valeur est déduite de la moyenne de trois essais.

Méthode du pycnomètre :

1. Peser le pycnomètre vide soit m₁, le remplir d'eau distillée et le peser, soit m₂.
2. Remplir le pycnomètre de toluène et le peser, soit m₃ ; puis introduire le liant et peser, soit m₄.
3. Remplir de toluène, éliminer les bulles d'air, adapter le bouchon et amener le niveau de toluène jusqu'au trait repère. Peser, soit m₅.

Matériau	Masse volumique apparente	Masse volumique absolue
CPJ-CEM II/42,5	1.215	3.00

Tableau II : 1 la masse volumique de ciment

A/ Debut Et Fin De Prise :

Après une à deux heures pour la plupart des ciments, on observe une augmentation brusque de la viscosité : c'est le début de prise, qui est accompagné d'un dégagement de chaleur. La fin de prise correspond au moment où la pâte cesse d'être déformable et se transforme en un matériau rigide.

B/ Caractéristique Chimiques :

Les analyses chimiques et minéralogiques du ciment sont représentées dans les tableaux suivants

a) Caractéristiques chimiques du ciment :

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	Chlorures	PAF	Insoluble
60.4	20.7	15.45	3.63	2.37	0.23	0.65	2.15	0.007	4.28	/

Tableau II.2 : Analyse chimique du ciment CEM.II/B

b) Caractéristiques minéralogiques du ciment :

Eléments	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaO	gypse	Calcaire	pouzzolane
%	58	18	5	13	01	05	05	07

Tableau II.3 : Analyse minéralogiques du ciment CEM.II/B

II.2.2 Le Sable :

Le sable de base dans notre recherche provient de la région de Ouad souf (Djamaa) lavée et séché.

II.2.2.1 La Masse Volumique Apparente de Sable Et (Marbre+Sable)

Les granulats étudiés ont donné des masses volumiques (Apparente) qui répondent aux spécifications de la norme NF P18-555.

II.2.2.2 La Masse Volumique Absolue de Sable Et (Marbre+Sable)

Est la masse d'un corps par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains, on a appliqué la méthode de l'éprouvette gradués.

Mode opératoire :

- remplir une éprouvette graduée avec un volume $V_1 = 300 \text{ cm}^3$ de l'eau
- peser un échantillon sec du sable $M = 300 \text{ g}$ et on l'introduire dans l'éprouvette graduée en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- le volume d'eau monte dans l'éprouvette de volume $V_2 = ?$

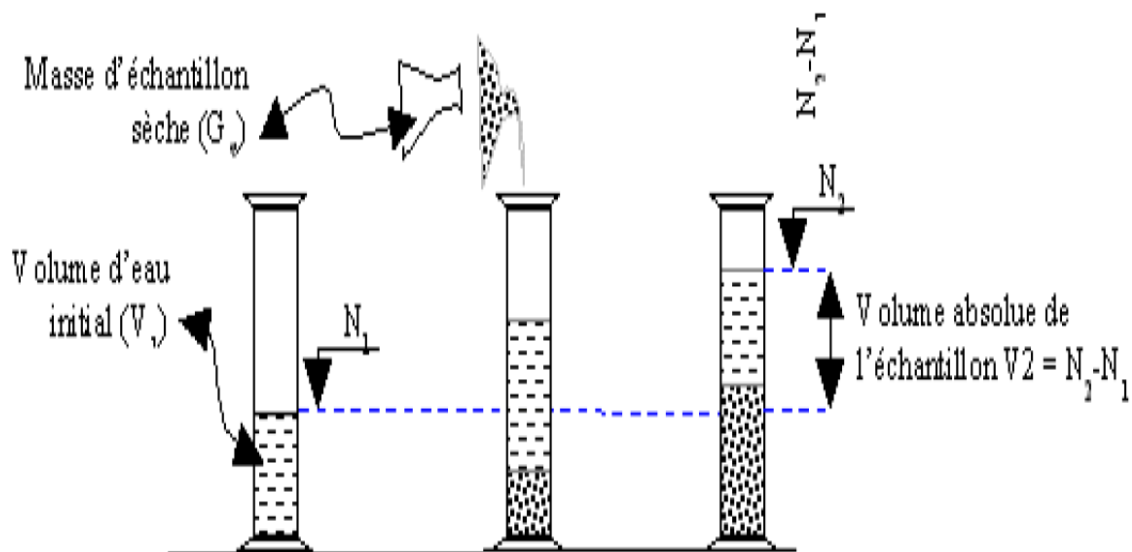


Figure II.3 : détermination de la masse volumique absolue d'un matériau



Figure II.4 : Essai da la masse volumique apparente de sable au laboratoire.

Sable	ρ app	ρ abs
S DJ	1.40	2.52
S B	1.45	2.60
S1(90%SB , 10%DJ)	1.47	2.60
S2(80%SB , 20%DJ)	1.48	2.59
S3(70%SB , 30%DJ)	1.50	2.56
S4(60%SB , 40%DJ)	1.51	2.54
S5(50%SB , 50%DJ)	1.52	2.56
S6(40%SB , 60%DJ)	1.53	2.58
S7(30%SB , 70%DJ)	1.52	2.58
S8 (20%SB , 80%DJ)	1.54	2.60
S9(10%SB , 90%DJ)	1.53	2.59

Tableau II.4 la masses volumique des mixtures de sable

Composition	ρ app	ρ abs
S1'(95%S8 .5%MARBRE)	1.61	2.65
S2'(92%S8 .8%MARBRE)	1.62	2.64
S3'(90%S8 .10%MARBRE)	1.61	2.64
S4'(88%S8 .12%MARBRE)	1.60	2.64
S5'(85%S8 .15%MARBRE)	1.59	2.63
S6'(80%S8 .20%MARBRE)	1.57	2.63

Tableau II.5 la masse volumique du (sable+Marbre)

II.2.2.3 Porosité :

La porosité représente le rapport du volume des vides contenus dans les grains au volume des grains, exprimé en pourcentage. La porosité des granulats courants est en général très faible. Elle est importante dans le cas des granulats légers.

$$p(\%) = \frac{\rho_{\text{absolu}} - \rho_{\text{pp}}}{\rho_{\text{absolu}}} \times 100$$

Sable	Porosité (%)
S DJ	44.66
S B	44.23
S1(90%SB , 10%DJ)	43.46
S2(80%SB , 20%DJ)	42.86
S3(70%SB , 30%DJ)	41.41
S4(60%SB , 40%DJ)	40.55
S5(50%SB , 50%DJ)	40.63
S6(40%SB , 60%DJ)	40.70
S7(30%SB , 70%DJ)	41.09
S8 (20%SB , 80%DJ)	41
S9(10%SB , 90%DJ)	40.93

Tableau II.6 Porosité de sable

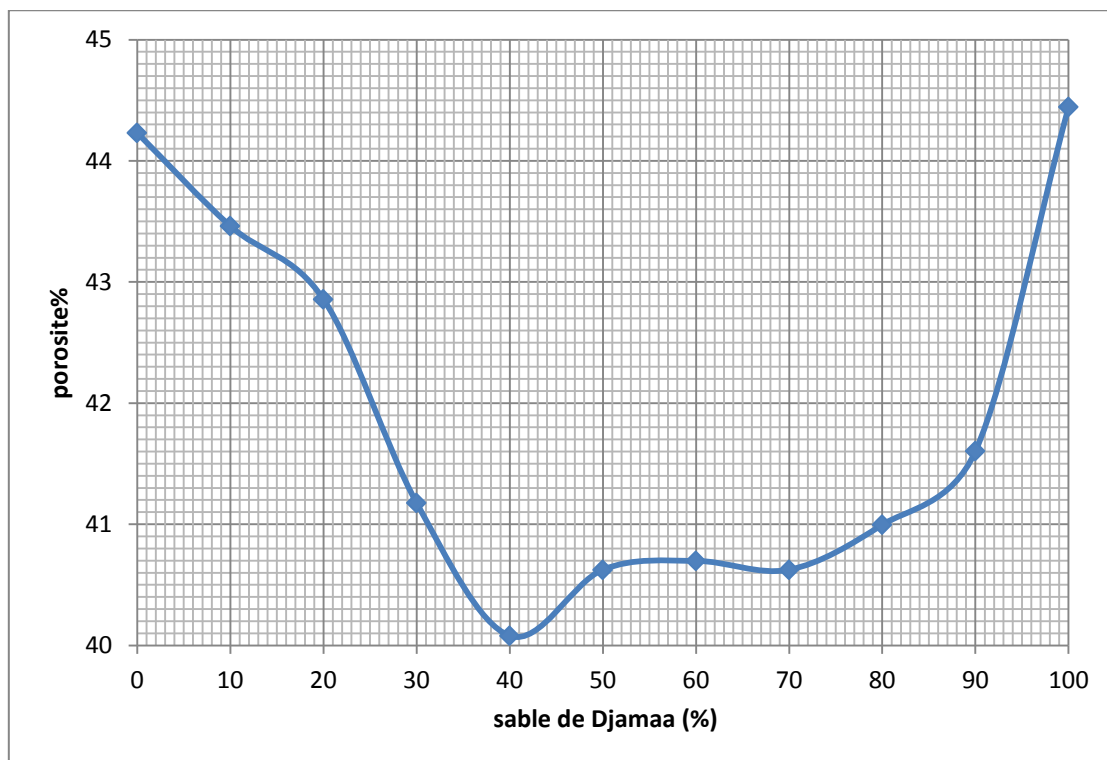


Figure II.5 : Courbe de porosité des sables.

Sable + Marbre	POROSITÉ
S8(20%SB , 80%DJ)	41
S1'(95%S8 .5%MARBRE)	39.25
S2'(92%S8 .8%MARBRE)	38.64
S3'(90%S8 .10%MARBRE)	39.02
S4'(88%S8 .12%MARBRE)	39.39
S5'(85%S8 .15%MARBRE)	39.54
S6'(80%S8 .20%MARBRE)	40.30

Tableau II.7 Porosité de (sable + Marbre)

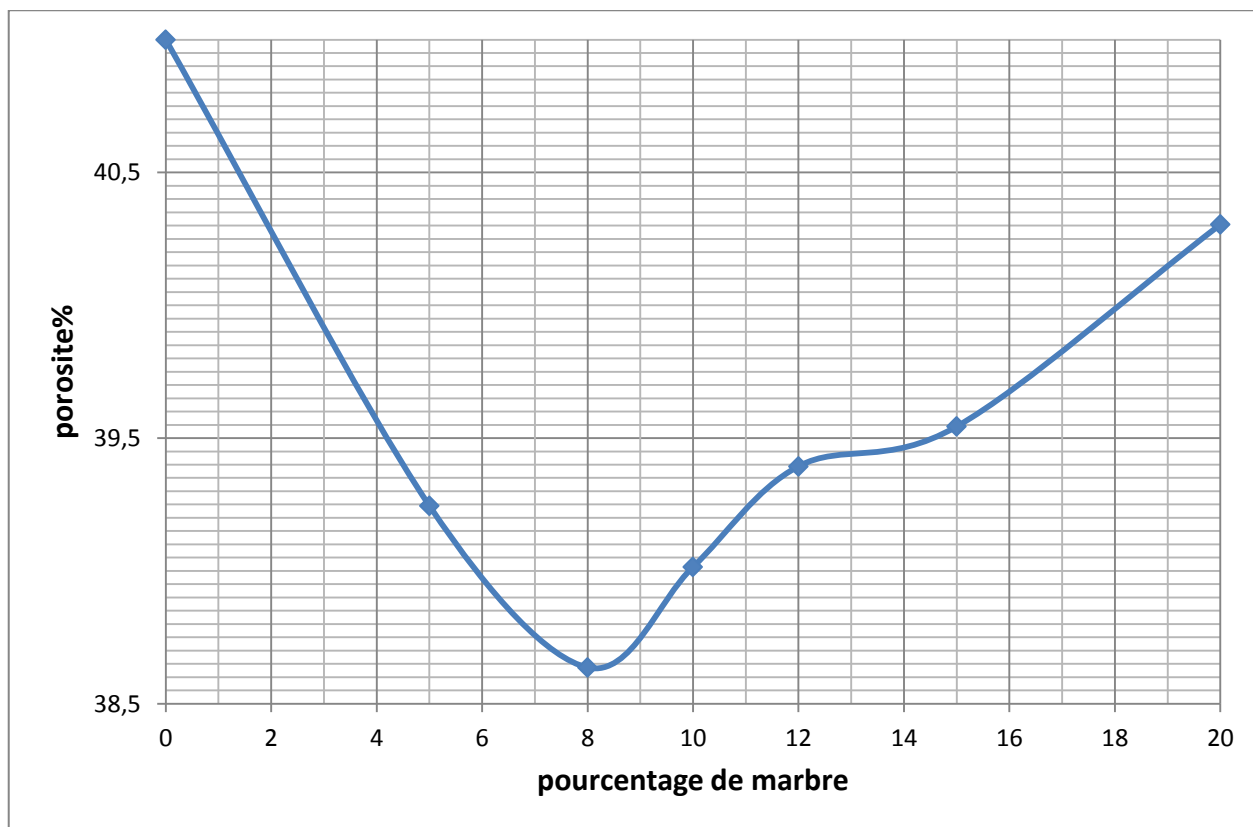


Tableau II.6 Courbe de Porosité de (sable + Marbre)

II.2.2.3 Analyse Granulometrique De Sable Utilise:

Dans notre travail on a utilisé le sable d'ouad (elbaadj). Cette essai a été réalisé conformément à la norme (NF P18-560).

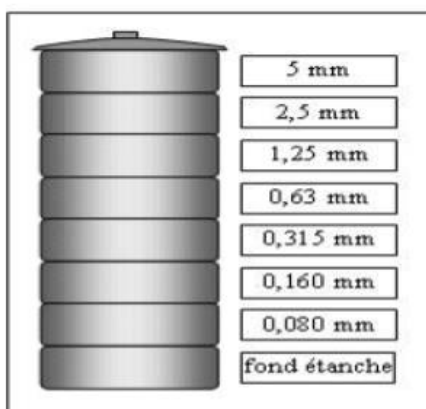
Les résultats obtenus sont présentés au tableau III.6 :

But d'essai :

Permettre la détermination de la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différents grains constituant l'échantillon.

Principe De L'essai :

Faire passer l'échantillon tester à travers une série des tamis décroissante de plus grand à plus petit, et faire peser le refus dans chaque tamis.



Colonne de tamis



Tamiseuse électrique

Dans la pratique, la masse à utiliser sera telle que :
 $M = 0,2 D$ avec M, masse de l'échantillon en Kg et D diamètre du plus gros granulat exprimé en mm

Figure II.7 : Analyse Granulométrique

Matériel utilisé :

Les dimensions de mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.



Figure II.8 : série du tamis utilisée

Action	Tamis utilisés (exprimé en mm)
0/5	(5 – 2.5 – 1.25 – 0.63 – 0.32 – 0.16 – 0.08) et le fond

Tableau II .8: Tamis utilisés pour le tamisage de sable.

Principe De L'essai :

- Prélever (2 kg) de matériau (sable sec).
- Peser chaque tamis à vide à 1 g près, soit mi la masse du tamis.
- Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement

De haut en bas : **5 - 2,5 - 1,25 - 0,63 - 0,315 - 0,125** et éventuellement **0,08** mm La colonne est coiffée par un fond pour recueillir les éléments passant au dernier tamis et un couvercle pour éviter la dispersion des poussières. On commence par peser les tamis ainsi que le fond.

- Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine D'agitation mécanique, agité pendant **5** minutes. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin les différents tamis.

Peser chaque Tamis séparément à **1** g près. Soit Mi la masse du tamis (I) + le sable.

La différence entre Mi et mi (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel R1 du tamis 1.

- Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement inférieur.
- Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à R1, soit R2 la masse du refus cumuler du tamis 2(R2=R1+Refus partiel sur tamis).
- Pour suivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumulés R3, R4,

	SDJ		SB		S8 (20%SB et 80%SD)		S4 (40%SD et 60% SB)	
Tamis [mm]	Refus [%]	Tamisât [%]	Refus [%]	Tamisât [%]	Refus [%]	Tamisât [%]	Refus [%]	Tamisât [%]
5	0	100	0	100	0.05	99.95	0	100
2.5	1.3	98.70	0.3	99.70	1.350	98.65	0.80	99.20
1.25	5.65	94.35	0.8	99.20	5.2	94.80	3.35	96.65
0.63	51.75	48.25	1	99	47.45	52.55	16.05	83.95
0.315	85.75	14.25	3.45	96.55	78.30	21.70	47.15	52.85
0.16	97.25	2.75	95.05	4.95	93.70	6.30	91.00	9.00
0.08	99.70	0.30	99.70	0.30	100	0	100	0
Fond	100	0	100	0	100	0	100	0

Tableau II.9 : L'analyse granulométrique des sables.

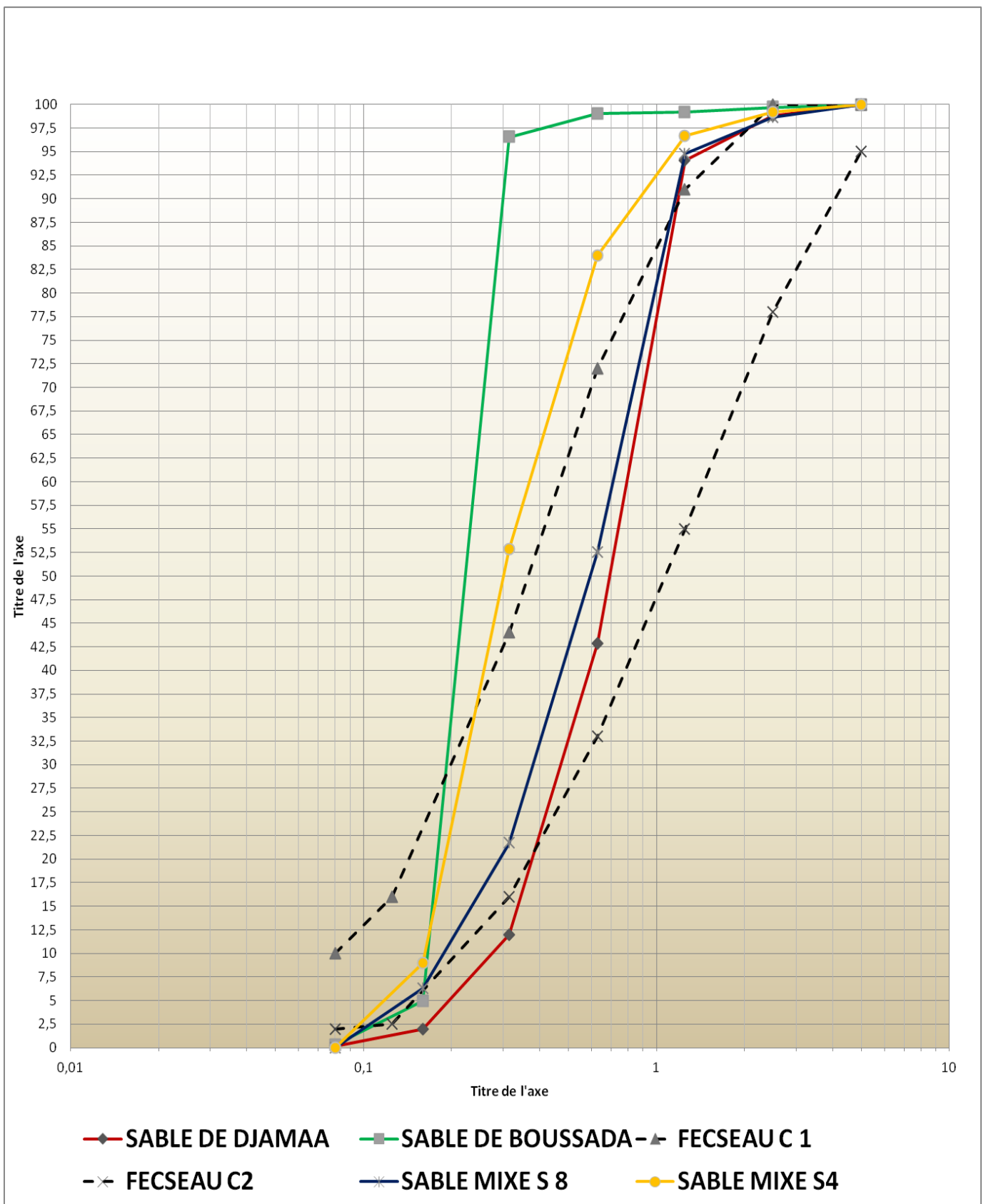


Figure II.9 : Courbe d'analyse granulométrique des sables.

II.2.2.5 Module de finesse (%) :

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat. Il est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur une série de tamis (0,16 0,315 0,63 1,25 2,5 5).il est donné par la relation suivant :

$$Mf = \frac{\sum \%RC(0.16+0.315+0.63+1.25+2.5+5)}{100}$$

Les normes spécifient le Mf des sables comme suit :

- Sables gros $Mf > 2.5$
- Sables moyen $2 < Mf < 2.5$
- Sables fin $1.5 < Mf < 2$
- Sables très fin $1 < Mf < 1.5$

II.2.2.6 Les Caracteristiques Physiques De Sable (Sable De Djamaa):**II.2.2.6.1 Equivalant Du Sable :**

Évaluer la nocivité des fines contenues dans le sable. Le principe de l'essai consiste à faire flocculer les fines contenues dans le sable au moyen d'une solution lavante appropriée.

But de l'essai :

Cet essai consiste à déterminer la quantité d'éléments fins (argile, limons, impuretés) contenus dans le sable par rapport à la quantité d'éléments sableux.

Mode opératoire :

Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à 500 g).

- ✓ Prendre une pesée de 120 g.
- ✓ Remplir l'éprouvette de solution lavant jusqu'au premier repère (10 cm).

À l'aide de l'entonnoir, verser la prise d'essai (120 g) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.

- ✓ Laisser reposer pendant 10 minutes.

Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20 cm de course horizontale en 30 secondes à la main ou à l'aide d'un agitateur mécanique.

- ✓ Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution lavante au-dessus de l'éprouvette
Rincer ensuite les parois de celle-ci.
- ✓ Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution lavante atteigne le 2ème repère. Laisser ensuite reposer pendant 20 minutes.

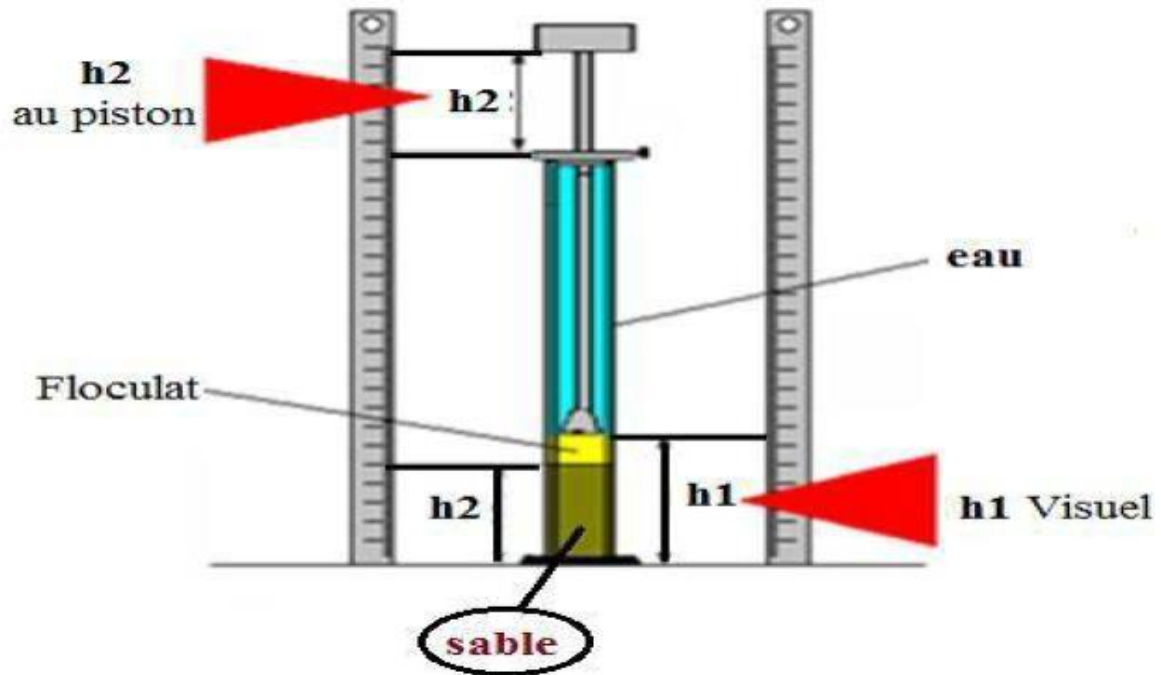


Figure II.10 : Principe de l'équivalent de sable

1. Equivalent de sable visuel (E.S.V):

$$ESV = (h2'/h1)100\%$$

Avec:

h1 : hauteur de sable plus floculat.

h2 : hauteur de sable

2. Equivalent de sable piston (E.S.P):

$$ESP = (h2'/h1)100\%$$

Avec:

h1 : hauteur du sable plus floculat.

h2: hauteur du sable.

Essai	h1 (cm)	h2 (cm)	E.S.V (%)	Moy	h2' (cm)	E.S.P (%)	Moy
1	6.8	5.85	85.29	86	5.5	80.88	81.50
2	6.6	5.7	86.36		5.4	81.81	
3	6.6	5.7	86.36		5.4	81.81	

Tableau II.10 : Résultats obtenus pour l'équivalent de sable de djamaa.

Essai	h1 (cm)	h2 (cm)	E.S.V (%)	Moy	h2' (cm)	E.S.P (%)	Moy
1	11	9.7	88	88	9.5	86	87
2	10.8	9.6	88		9.6	87	
3	11	9.7	88		9.6	88	

Tableau II.11 : Résultats obtenus pour l'équivalent de sable de bousaàda

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 propre 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'entraîner d'un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par augmentation du dosage en Eau

Tableau II.12 : La classification de la nature sable en fonction d'équivalent de sable (E.S).

II.2.3 Adjuvant (Medaflo 30/30) :

MEDAFLOW 30/30 est un accélérateur de prise et de durcissement du béton, fabriqué par la société GRANITEX (W. Alger). Il est conforme à la norme européenne EN 934-2 relative aux adjuvants pour bétons, mortiers et coulis.

MEDAFLOW 30/30 est un accélérateur de prise qui permet de réduire les temps de début et de fin de prise du béton, facilitant ainsi le coulage et le décoffrage. Cela contribue à augmenter la productivité et la vitesse d'exécution des chantiers de construction.

Grâce à ses propriétés, MEDAFLOW 30/30 permet d'accélérer le processus de durcissement du béton tout en conservant ses performances mécaniques. Son utilisation est particulièrement recommandée dans les cas où un délai de mise en service rapide est requis, comme pour les travaux de réparation ou les chantiers soumis à des délais de réalisation courts.



Figure II.11: MEDAFLOW 30/30.

Super-plastifiant	extrait sec	Forme	Couleur	PH	Densité	Teneur en Chlore
MEDAFLOW 30/30	30%	Liquide	Brun clair	6 – 6,5	1,07 ± 0,01	0,1 g/l

Tableau II.13 : Caractéristiques physico-chimiques du super plastifiant MEDAFLOW 30/30

Degré de saturation :

Essais du Taux de saturation :

CIMENT (gr)	% DE L'ADJUVANT	TEMP D'ECOULEMENT(sec)
500	0,5	35,89
	0,7	17,21
	0,9	14,1
	1	13,47
	1,1	11,8
	1,2	11,49
	1,3	10,23
	1,4	10,22
	1,5	10,2

Tableau II.14 : Essais du Taux de saturation.



Figure II.12 : Taux de saturation par Super plastifiant. (Conne de March).

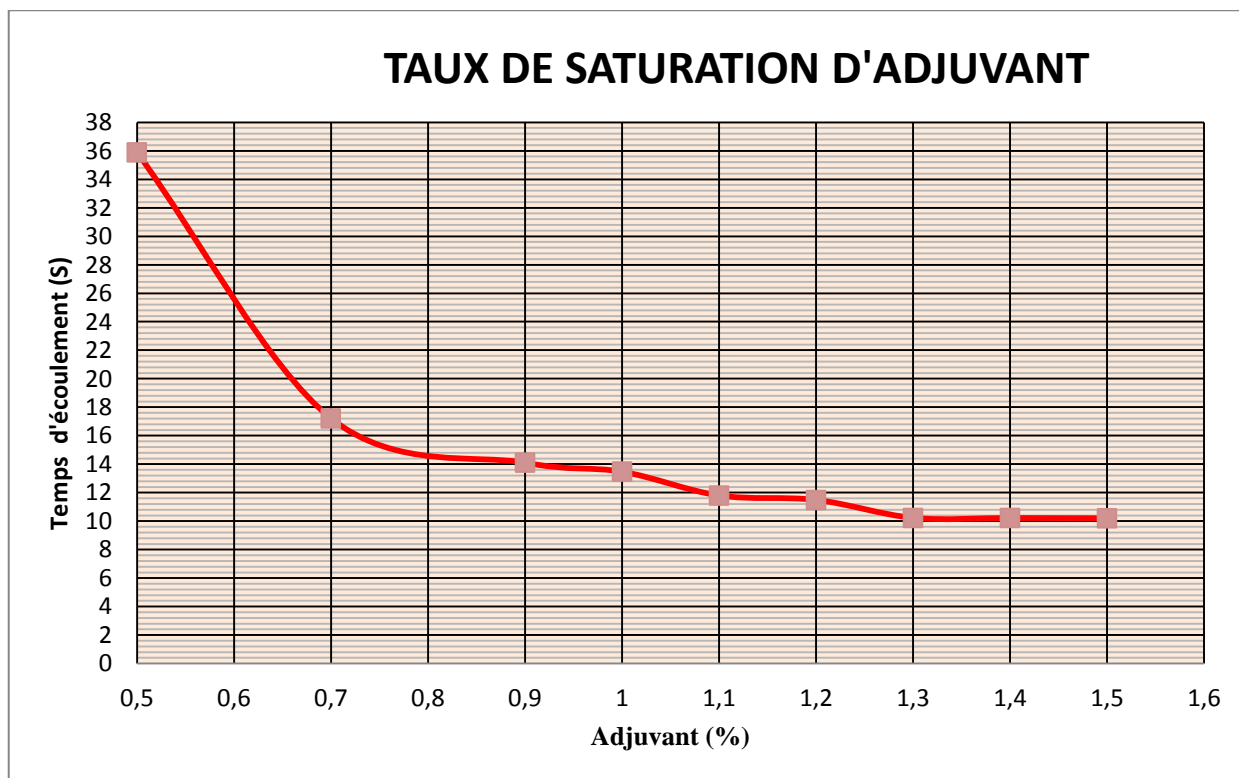


Figure II.13 : Taux de saturation en Medaflow30/30.

Le taux de saturation en super plastifiant est estimé d'après le graphe de la figure à 1,3%

II.2.4 Eau De Gachage :

L'eau de gâchage utilisée dans notre étude est une eau potable (eau de robinet) fourni au laboratoire de génie-civil à l'université de M'sila. L'analyse chimique a été effectuée au laboratoire de la société Epidemia de M'Sila. En référence à la norme NF EN 1008.

Paramètres physicochimique	PH	Potentiel redox EH	Conductivité à 20°C	Turbidité	Oxygène dissous	Salinité	CO2 libre	CO2 total
Unité	-	Mv	S / cm	NTU	Mg / l	%	Mg / l	Mg / l
Résultat	7.94	-60.6	1926	2.05	5.47	09	9.26	223.96

Tableau II.15 : Analyse chimique de l'eau de gâchage

II.2.5 La Poudre de Marbre :

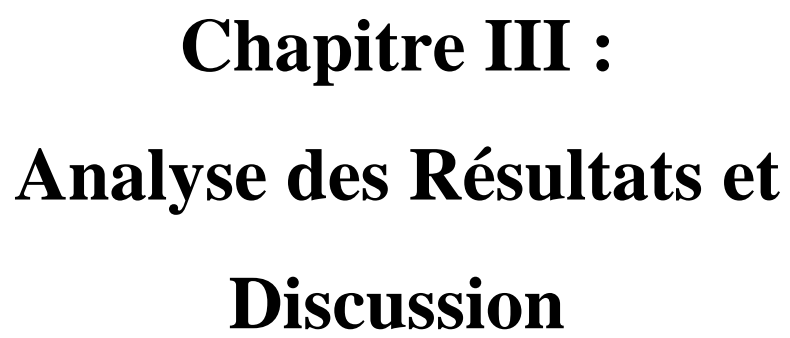
II.2.5.1 Caractéristique Physiques de La Poudre de Marbre

Densité	Perte au feu %	PH	inflamm abilité	surface spécifique de blaine (cm ² /g)	Couleur
2.7	41.81	9 +/- 0.5	Non	5150	Blanche

Tableau II.16 caractéristiques physiques de marbre

II.3 Conclusion

Cette partie théorique nous permet de conclure que les matériaux utilisés dans ce projet, tels que le ciment, le sable, les adjuvants, l'eau de gâchage, la poudre de marbre et les fibres de polyéthylène, sont soigneusement sélectionnés et caractérisés selon des normes européennes strictes. Les essais physiques et mécaniques réalisés au laboratoire de génie civil de l'Université Mohamed Boudiaf de M'sila ont permis de déterminer les propriétés essentielles de ces matériaux, telles que la masse volumique, la porosité, et les caractéristiques granulométriques. Ces propriétés influencent directement les performances mécaniques et la fluidité des mélanges, et sont cruciales pour garantir la qualité et la durabilité des constructions réalisées avec ces matériaux.



Chapitre III :
Analyse des Résultats et
Discussion

III.1 Introduction

Dans ce troisième chapitre intitulé "Analyse et discussions des résultats ", nous abordons l'examen approfondi des données recueillies à partir des divers essais réalisés sur les mortiers. Ces essais ont été conçus pour évaluer l'impact des différents types de sables et des proportions variées de marbre et des fibres de polyéthylène sur les propriétés physiques et mécaniques des mortiers. L'objectif principal est de déterminer comment ces variations influencent la qualité et la performance des mortiers dans des conditions spécifiques d'utilisation. Ce chapitre vise également à discuter des implications pratiques de ces résultats pour optimiser l'utilisation des matériaux dans le secteur de la construction, en mettant un accent particulier sur la durabilité, la résistance mécanique et la viabilité économique des mortiers.

III.2 Formulation de mortier normal (NF –p 15-403)

Le mortier doit être composé en masse, d'une partie de ciment, de trois parties de sable et d'une demi partie d'eau, Le mortier normal est un mortier qui sert à définir certaines caractéristiques d'un ciment et notamment sa résistance. Ce mortier est réalisé conformément à la norme citée ci-dessus le sable utilisé pour les essais ainsi que le malaxeur.

III.3 Informations sur le travail

Ce travail a été réalisé au laboratoire de génie civil de l'Université Mohamed Boudiaf de M'sila. Pour mener à bien les essais nécessaires, des éprouvettes en mortier équivalent de dimensions 4*4*16 cm ont été utilisés. Le nombre total des éprouvettes réalisées et utilisés dans cette étude s'élève à 280.

III .4 Formulation des mélanges

III .4.1 Présentation de la méthode

Le professeur G.B SCRAMTAIEV a établi les relations suivantes, qui donnent la valeur de la résistance du béton (R_b) en fonction du rapport C/E et des quantités du liant et des granulats.

Définition du rapport (C/E) :

Pour béton C/E<2.5 béton plastique et TP on a: $R_b = A \cdot ([C/E - 0.5])$.

Pour béton C/E>2.5 béton ferme et TF on a: $R_b = A \cdot ([C/E + 0.5])$

A, A' : coefficient les admis d'après le tableau selon propriétés et La qualité des matériaux.

Tableau III.1 : les valeurs des coefficients A, A'

Agrégat et liants	A	A'
Qualité supérieure	0.65	0.43
Qualité ordinaire	0.60	0.40
Qualité inférieure	0.55	0.37

Rc: Activité ou classe du ciment.

A, A' : coefficient les admis d'après le tableau selon propriétés et La qualité des matériaux.

C/E : rapport du poids de ciment au poids de l'eau dans l'unité de volume du mélange

Détermination de la dépense en ciment

$$C = [E. (C/E)] \text{ (Kg)}$$

Détermination de la dépense en gravier :

La détermination du dosage en agrégats doit remplir les conditions suivantes : la somme des volumes absolue de tous les composants du béton est égale à 1 m³.

$$(C/\rho_C) + (E/\rho_E) + (S/\rho_S) + (G/\rho_G) = 1000L$$

ρ_C , ρ_S Et ρ_G : masse spécifiques de ciment, eau, sable et gravier en (Kg/m³)

$$E + (S/\rho_S) + (C/\rho_C) = [(Pg \times \alpha \times G/\gamma_g)].$$

Pg: Porosité des Pierre concassées.

: Masse volumique des pierres concassées en (kg/l).

$$G = 1000 / [V_{voi.pc} . (\alpha / \gamma_{vol.pc}) + (1/\rho_{pc})]$$

$$G = 1000 [pg \times (\alpha / \gamma_g) + (1/\rho_G)].$$

Détermination de la dépense de sable :

Après avoir déterminé la dépense en gravier on fait le calcul de la dépense en sable (kg/m^3).

$$S = [1000 - [(C/\rho_C) + E + (G/\rho_G)]] \times \rho_S$$

III .5 : Calculs**Les données de travail :**

Sable mixte (80 SDJ+20 S B):

$$\gamma_S = 1.54 \text{ g/cm}^3, \rho_S = 2.60 \text{ g/cm}^3$$

Pierres concassées (gravier) :**Gravier (8/15)**

$$\gamma_G = 1.39 \text{ g/cm}^3, \rho_G = 2.72 \text{ g/cm}^3$$

Gravier (15/25) :

$$\gamma_G = 1.42 \text{ g/cm}^3, \rho_G = 2.74 \text{ g/cm}^3$$

Ciment :

$$\rho_C = 3.00 \text{ g/cm}^3, \gamma_C = 1.2$$

$$A_{ff} = 4.0 \text{ cm}$$

Composition des mélanges de béton pour $A_{ff} = 4\text{-}5 \text{ cm}$ avec un dosage de ciment : 430 kg/m^3

$A_{ff} = 4 \text{ cm}$, les Pierre concassé de diamètre $\varnothing = 40 \text{ mm}$

$E = 190 \text{ L}$, ciment CPJ (15L), pierre concassé (10 L)

$$ET = 190 + 15 (\rho_{pj}) + 10 (\rho_C) + 10 (\rho_{fin}) = 225 \text{ l/m}^3 =$$

Détermination de rapport E/C :

$$E/C = 225/430 = 0.52$$

La quantité des pierres concassées :

$$P_C = 1000 / [(P_{pc} (\alpha/\gamma_{pc}) + 1/\rho_{pc}] = 1000 / [(0.48 \times 1.46/1.42) + 1/2.74]$$

Avec $\alpha = 1.46$

$$P_C = 1170.96 \text{ kg/m}^3$$

Quantité de sable :

$$S = [100 - (C/\rho_c + E/\rho_e + PC/\rho_{pc})] \times \rho_s$$

$$S = [1000 - [(430/3.00) + (225/1) + (1170.96 / 2.74)]] \times 2.6$$

$$S = 505 \text{ kg/m}^3$$

Pour 1m³ De béton :

Tableau III.2 : Composition pour 1m³ de béton

Quantituants du béton Ordinaire	masse pour 1m ³ de béton (kg)
Ciment	430
Eau	215
Sable	505
Gravier	1174

Tableau III.3 : Composants pour 1m³ de mortier

Quantituants du béton Ordinaire	masse pour 1m ³ de mortier (kg)
Ciment	430
Eau	225
Sable	505

III.6 Dénomination des différents mélanges

Mt : { sable mixte optimum 80 %SD et 20 %SB , E/C=0.27, C/S=0.85 , %m=0 , %f=0}.

Mm1 : { sable mixte optimum 80 %SD et 20 %SB , , E/C=0.27, C/S=0.85, %SP=1.3, %m=6 , %f=0}

Mm2 : { sable mixte optimum 80 %SD et 20 %SB , , E/C=0.27, C/S=0.85, %SP=1.3 , %m=8 , %f=0}

Mm3 : { sable mixte optimum 80 %SD et 20 %SB , , E/C=0.27, C/S=0.85, %SP=1.3 , %m=10 , %f=0}

Mf1 : { sable mixte optimum 80 %SD et 20 %SB , , E/C=0.27, C/S=0.85, %SP=1.3 , %m=0 , %f=0.1, Lf=(5cm ou 7cm)}

Mf2 : { sable mixte optimum 80 %SD et 20 %SB , , E/C=0.27, C/S=0.85, %SP=1.3 , %m=0 , %f=0.15,L_f=(5cm ou 7cm)}

Mf3 : { sable mixte optimum 80 %SD et 20 %SB , , E/C=0.27, C/S=0.85,%SP=1.3 , %m=0 , %f=0.20,L_f=(5cm ou 7cm)}

Mf1m1 : { sable mixte optimum 80 %SD et 20 %SB , , E/C=0.27, C/S=0.85,%SP=1.3 , %m=6 , %f=0.1,L_f=(5cm ou 7cm)}

Mf1m2 : { sable mixte optimum 80 %SD et 20 %SB , , E/C=0.27, C/S=0.85,%SP=1.3 , %m=8 , %f=0.1,L_f=(5cm ou 7cm)}

Mf1m3 : { sable mixte optimum 80 %SD et 20 %SB , , E/C=0.27, C/S=0.85,%SP=1.3 , %m=10 , %f=0.1,L_f=(5cm ou 7cm)}

Mf2m1: { sable mixte optimum 80 %SD et 20 %SB , , E/C=0.27, C/S=0.85,%SP=1.3 , %m=6 , %f=0.15,L_f=(5cm ou 7cm)}

Mf2m2: { sable mixte optimum 80 %SD et 20 %SB , , E/C=0.27, C/S=0.85,%SP=1.3 , %m=8 , %f=0.15,L_f=(5cm ou 7cm)}

Mf2m3 : { sable mixte optimum 80 %SD et 20 %SB , , E/C=0.27, C/S=0.85,%SP=1.3 , %m=10 , %f=0.15,L_f=(5cm ou 7cm)}

Mf3m1 : { sable mixte optimum 80 %SD et 20 %SB , , E/C=0.27, C/S=0.85,%SP=1.3 , %m=6 , %f=0.20,L_f=(5cm ou 7cm)}

Mf3m2 : { sable mixte optimum 80 %SD et 20 %SB , , E/C=0.27, C/S=0.85,%SP=1.3 , %m=8 , %f=0.20,L_f=(5cm ou 7cm)}

Mf3m3 : { sable mixte optimum 80 %SD et 20 %SB , , E/C=0.27, C/S=0.85,%SP=1.3 , %m=10 , %f=0.20,L_f=(5cm ou 7cm)}

Tableau III.5 : Composition de mortier équivalent

Mélanges	Ciment (g)	Sable mixte (g)	Marbre (g)	Eau (g)
Mt	940	1107	0	254
Mm1	940	1040.58	66.42	254
Mm2	940	1018.44	88.56	254
Mm3	940	996.3	110.7	254
Mf1	940	1107	0	254
Mf2	940	1107	0	254
Mf3	940	1107	0	254
Mf1m1	940	1040.58	66.42	254
Mf1m2	940	1018.44	88.56	254
Mf1m3	940	996.3	110.7	254
Mf2m1	940	1040.58	66.42	254
Mf2m2	940	1018.44	88.56	254
Mf2m3	940	996.3	110.7	254
Mf3m1	940	1040.58	66.42	254
Mf3m2	940	1018.44	88.56	254
Mf3m3	940	996.3	110.7	254

III.7 Présentation des résultats :

Les résultats obtenus dans cette étude sont regroupés dans des tableaux et transformés sous forme de graphes représentant les différentes propriétés en fonction de différents pourcentages de fines de déchets de marbre et de polyéthylène, en présence d'un pourcentage fixe de ciment et d'eau.

Les propriétés à étudier ont été classées dans deux catégories :

- les propriétés physiques
- les propriétés mécaniques

Pour faciliter la lecture et la comparaison, les tableaux contenant les résultats obtenus pour chaque groupe des différentes caractéristiques du béton et du mortier de référence, ainsi que du béton et du mortier contenant des fines de déchets de marbre et de polyéthylène, sont présentés ci-dessous.

III.7.1 Résultats d'essai de masse volumique

La masse volumique du béton est l'une des propriétés les plus importantes dans le cadre de cette recherche. Il est devenu possible de modifier la masse volumique en faisant varier les proportions de poudre de marbre et de fibres de polyéthylène.

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

Ou :

- M: masse de l'éprouvette
- V : volume des éprouvettes.

Les résultats sont regroupés dans les tableaux suivants :

Tableau III.4 : Masse volumique en fonction du pourcentage de poudre de marbre au cours du temps

Dénomination	marbre (%)	la masse volumique (m0g)			
		1j	7j	14j	28j
Mt	0%	2,20	2,24	2,24	2,26
Mm1	6%	2,21	2,26	2,27	2,27
Mm2	8%	2,24	2,27	2,28	2,29
Mm3	10%	2,23	2,25	2,27	2,28

Tableau III.6 : Masse volumique en fonction du pourcentage et de la longueur de fibre polyéthylène au cours du temps

Denomination	Marbre %	Fibre %	longueur de fibre	la masse volumique (m0g)			
				1j	7j	14j	28j
Mt	0%	0%	/	2,21	2,24	2,247	2,26
Mf1	0%	0,1%	5cm	2,21	2,237	2,245	2,254
			7cm	2,214	2,241	2,25	2,259
Mf2	0%	0,15%	5cm	2,216	2,242	2,25	2,262
			7cm	2,211	2,239	2,252	2,258
Mf3	0%	0,2%	5 m	2,211	2,235	2,252	2,257
			7cm	2,21	2,243	2,248	2,262

III.7.2 Résultats d'essai de résistance en compression

La résistance mécanique du mortier est essentielle pour assurer la stabilité de la structure. Dans le but de vérifier l'effet des ajouts sur ce paramètre, des essais de compression ont été réalisés sur des échantillons après 28 jours pour toutes les compositions étudiées.

Avant de procéder aux essais, les échantillons seront immergés dans l'eau pendant toute la durée de 28 jours.

La résistance à la compression est donnée par la relation suivante :

$$R_c = \frac{Px10}{S} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Ou :

Rc: Résistance à la compression.

P: Charge de rupture

S : Section de l'éprouvette

Les résultats sont regroupés dans les tableaux suivants :

Tableau III.7 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage de marbre à 28j

Denomination	Marbre (%)	RC (Mpa)
		28j
Mt	0%	49,17
Mm1	6%	58,7
Mm2	8%	62,26
Mm3	10%	57,05

Tableau III.8 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage et longueur de fibre polyéthylène à 28j

Dénomination	marbre (%)	fibre (%)	Louneur de fibre	RC(Mpa)
				28j
Mt	0	0%	/	49,17
Mf1	0	0,1%	5cm	50,03
			7cm	49,36
Mf2	0	0,15%	5cm	49,52
			7cm	48,28
Mf3	0	0,2%	5cm	48,36
			7cm	49,06

Tableau III.9 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage de marbre et longueur de fibre polyéthylène(p=0,1%) à 28j

Dénomination	Marbre (%)	Fibre (%)		RC(Mpa)
			Longueur de fibre	28j
Mt	0%	0%	/	49,17
Mf1m1	6%	0,1%	5 cm	58,54
			7 cm	59,14
Mf1m2	8%	0,1%	5 cm	61,37
			7 cm	61,79
Mf1m3	10%	0,1%	5 cm	56,83
			7 cm	57,32

Tableau III.10 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage de marbre et longueur de fibre polyéthylène(p=0,15%) à 28j

Denomination	Marbre (%)	Fibre (%)		RC(Mpa)
			Longueur de fibre	28j
Mt	0%	0%	/	49,17
Mf2m1	6%	0,15%	5 cm	59,23
			7 cm	58,56
Mf2m2	8%	0,15%	5 cm	59,97
			7 cm	61,42
Mf2m3	10%	0,15%	5 cm	57,36
			7 cm	56,76

Tableau III.11 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage de marbre et longueur de fibre polyéthylène (p=0,2%) à 28j

Denomination	Marbre (%)	Fibre (%)		RC(Mpa)
			Longueur de fibre	28j
Mt	0%	0%	/	49,17
Mf3m1	6%	0,2%	5 cm	57,86
			7 cm	56,54
Mf3m2	8%	0,2%	5 cm	60,78
			7 cm	61,86
Mf3m3	10%	0,2%	5 cm	56,72
			7 cm	57,12

III.7.3 Résultats d'essai de résistance à la traction et à la flexion

Des essais de traction et de flexion ont été réalisés sur des échantillons après 28 jours pour toutes les compositions étudiées. Avant de procéder aux essais, les échantillons seront immergés dans l'eau pendant toute la durée de 28 jours.

Les résultats sont regroupés dans les tableaux suivants :

Tableau III.12 : Résistance à la traction et à la flexion en fonction du pourcentage de marbre à 28j

Denomination	Marbre (%)	RT(Mpa)	R F(Mpa)
		28j	28j
Mt	0%	7,5	8,8
Mm1	6%	7,6	8,85
Mm2	8%	7,6	8,9
Mm3	10%	7,5	8,8

Tableau III.13 Résistance à la traction et à la flexion en fonction du pourcentage et de la longueur de fibre polyéthylène à 28j

Denomination	Marbre (%)	Fibre (%)	Longueur de fibre	RT(Mpa)	R F(Mpa)
				28j	28j
Mt	0%	0%	/	7,5	8,8
Mf1	0%	0,1%	5 cm	8	9,4
			7cm	8,2	9,6
Mf2	0%	0,15%	5 cm	8,25	9,6
			7cm	8,35	9,75
Mf3	0%	0,2%	5 cm	7,75	9,2
			7cm	8	9,4

Tableau III.14 : Résistance à la compression et à la flexion en fonction du pourcentage de marbre et longueur de fibre polyéthylène (p=0,1%) à 28j

Denomination	Marbre (%)	Fibre (%)	Longueur de fibre	RT(Mpa)	R F(Mpa)
				28j	28j
Mt	0%	0%	/	7,5	8,8
Mf1m1	6%	0,1%	5 cm	8,1	9,5
			7 cm	8,25	9,65
Mf1m2	8%	0,1%	5 cm	8,2	9,6
			7 cm	8,35	9,7
Mf1m3	10%	0,1%	5 cm	8	9,35
			7 cm	8,15	9,5

Tableau III.15 : Résistance à la compression et à la flexion en fonction du pourcentage de marbre et longueur de fibre polyéthylène (p=0,15%) à 28j

Denomination	Marbre (%)	Fibre (%)	Loungeur de fibre	RT(Mpa)	R F(Mpa)
				28j	28j
Mt	0%	0%	/	7,5	8,8
Mf2m1	6%	0,15%	5 cm	8,3	9,65
			7 cm	8,45	9,8
Mf2m2	8%	0,15%	5 cm	8,4	9,7
			7 cm	8,45	9,9
Mf2m3	10%	0,15%	5 cm	8,2	9,55
			7 cm	8,3	9,7

Tableau III.16 : Résistance à la compression et à la flexion en fonction du pourcentage de marbre et longueur de fibre polyéthylène (p=0,2%) à 28j

composition	Marbre (%)	Fibre (%)	Loungeur de fibre	R T(Mpa)	R F(Mpa)
				28j	28j
Mt	0%	0%	/	7,5	8,8
Mf3m1	6%	0,2%	5 cm	7,9	9,15
			7 cm	8,2	9,4
Mf3m2	8%	0,2%	5 cm	8	9,25
			7 cm	8,25	9,5
Mf3m3	10%	0,2%	5 cm	8,1	9,1
			7 cm	8	9,35

III.7.4 Résultats d'essai de l'absorption :

De nombreuses recherches montrent que l'eau est l'un des composants les plus sensibles affectant les propriétés du mortier. Cela est confirmé physiquement par plusieurs rôles importants joués par l'eau : l'hydratation des grains de ciment, la plasticité du mortier à l'état frais et la cohésion interne du mortier frais. L'excès d'eau dans le mortier peut s'accompagner d'effets secondaires préjudiciables à la qualité du mortier.

Cet essai mesure le taux d'absorption de l'eau des échantillons de mortier saturés de dimensions 4 x16 x 4 cm, qui seront étuvées à environ 105 degrés Celsius jusqu'à ce qu'ils atteignent une masse constante. Ensuite, nous les immergeons dans un bac contenant de l'eau pendant 24heures.

Après 24 heures, nous prenons les demi-échantillons de l'eau, les laissons pendant 20 minutes, puis nous mesurons leurs masses saturées.

On détermine le degré d'absorption par la relation suivante :

$$A_{bs} (\%) = [(Mh - Ms) / Mh] (\%)$$

Où :

Mh : la masse de l'échantillon contenant l'eau absorbée.

Ms : la masse de l'échantillon sec (après 24 heures d'étuvage à 105 degrés).

Les résultats sont regroupés dans les tableaux suivants :

Tableau III.17 : Degrés d'absorption en fonction du pourcentage et longueur de fibre polyéthylène à 28j

Denomination	Marbre (%)	Fibre (%)	Longueur de fibre	A _{bs} (%)
			28j	
Mt	0%	0%	/	4,87
Mf1	0%	0,1%	5 cm	4,9
			7cm	4,78
Mf2	0%	0,15%	5 cm	4,76
			7cm	4,8
Mf3	0%	0,2%	5 cm	4,82
			7cm	4,91

Tableau III.18 : Degré d'absorption en fonction du pourcentage de marbre à28j

Denomination	Marbre (%)	A _{bs} (%)
		28j
Mt	0%	4,87
Mm1	6%	4,15
Mm2	8%	3,82
Mm3	10%	3,91

Tableau III.19 : Degré d'absorption en fonction du pourcentage de marbre et fibre

Denomination	Mt	Longu-ur de fibre	Mf1m1	Mf1m2	Mf1m3	Mf2m1	Mf2m2	Mf2m3	Mf3m1	Mf3m2	Mf3m3
Absorption	4,87	5c m	3,76	4,51	3,41	3,81	3,4	4,61	3,67	4,47	4,29
		7c m	3,26	3,17	3,56	4,14	3,84	4,12	4,06	3,91	3,54

III.8 Discussion des résultats :

La discussion des résultats obtenus est présentée selon les principaux paramètres suivants :

- a) masse volumique ;
- b) résistance en compression ;
- c) résistance a la traction et à la flexion ;
- d) absorption d'eau.

a) Masse volumique :

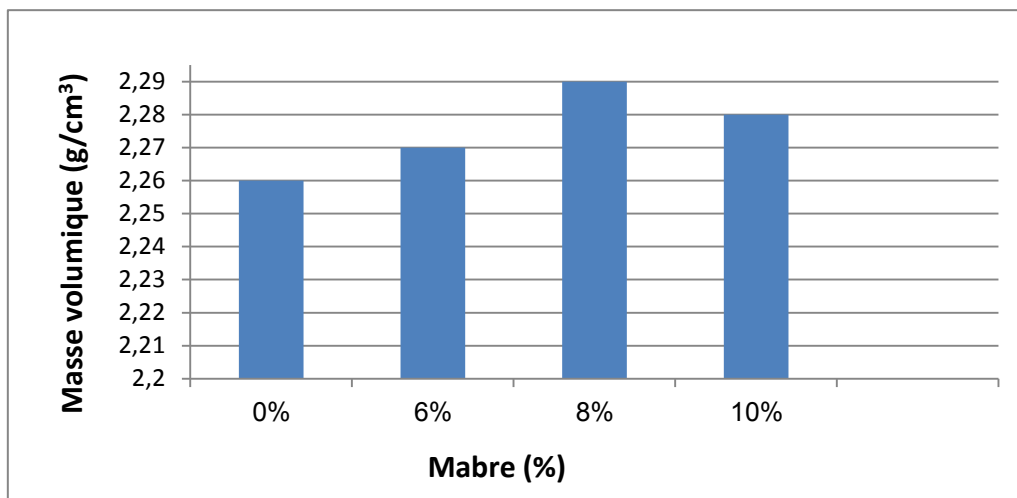


Figure III.1 : Masse volumique en fonction du pourcentage de poudre de marbre

La Figure III.1 illustre la variation de la masse volumique en fonction du pourcentage de poudre de marbre ajouté au matériau. On observe une augmentation progressive de la masse volumique avec l'augmentation du pourcentage de poudre de marbre, débutant à 2,22 g/cm³ sans ajout de marbre (0%) et atteignant 2,29 g/cm³ à un ajout de (10%) de marbre. Notamment, la valeur la plus élevée de la masse volumique est observée à 8% de poudre de marbre, où elle atteint 2,28 g/cm³, Ce pic peut indiquer une saturation optimale du matériau avec la poudre de marbre.

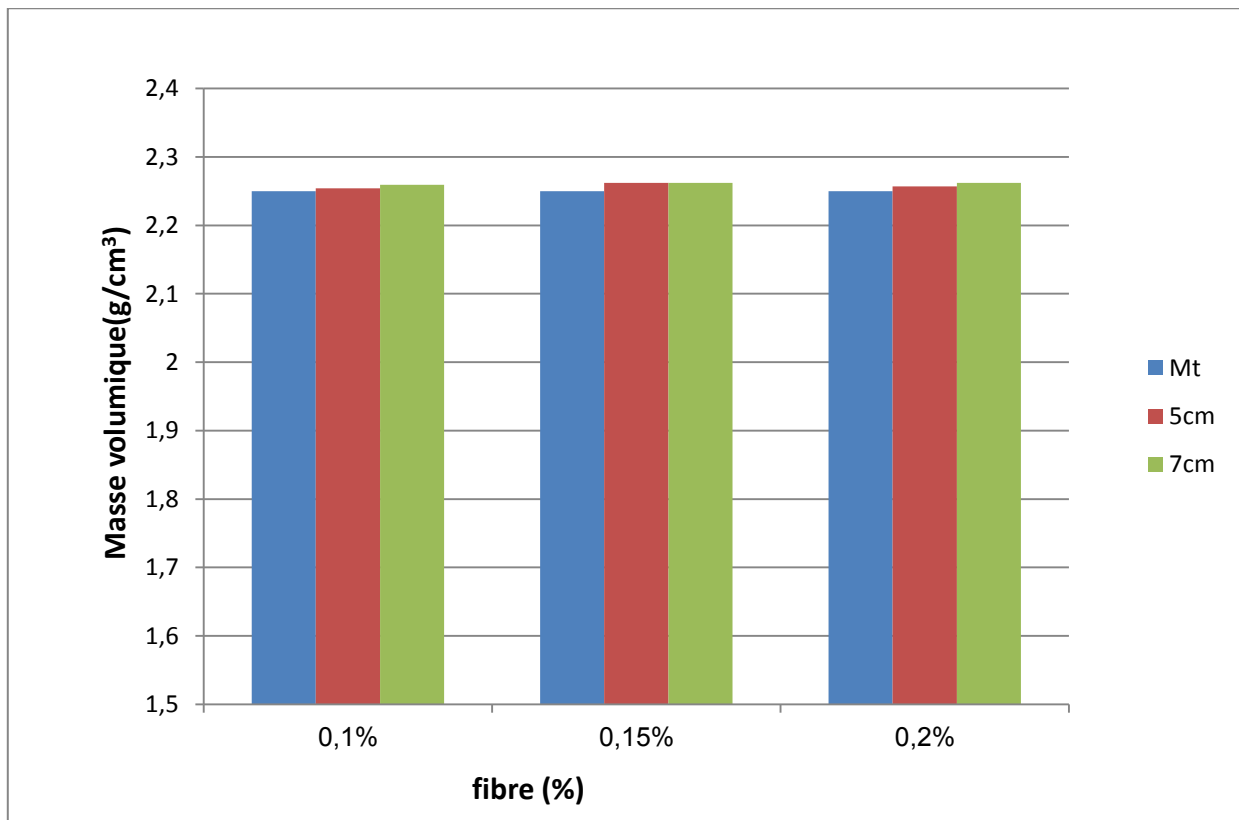


Figure III.2 : Masse volumique en fonction du pourcentage de et longueur de fibre polyéthylène.

La figure III.2 montre la variation de la masse volumique en fonction du pourcentage et des longueurs des fibres de polyéthylène. Nous observons que la masse volumique reste presque constante, quelle que soit le pourcentage de fibres (0,1%, 0,15%, 0,2%) ou la longueur des fibres (5 cm, 7 cm). Cela indique que les pourcentages et les longueurs des fibres de polyéthylène n'affectent pas de manière significative la masse volumique du matériau.

b) Résistance en compression :

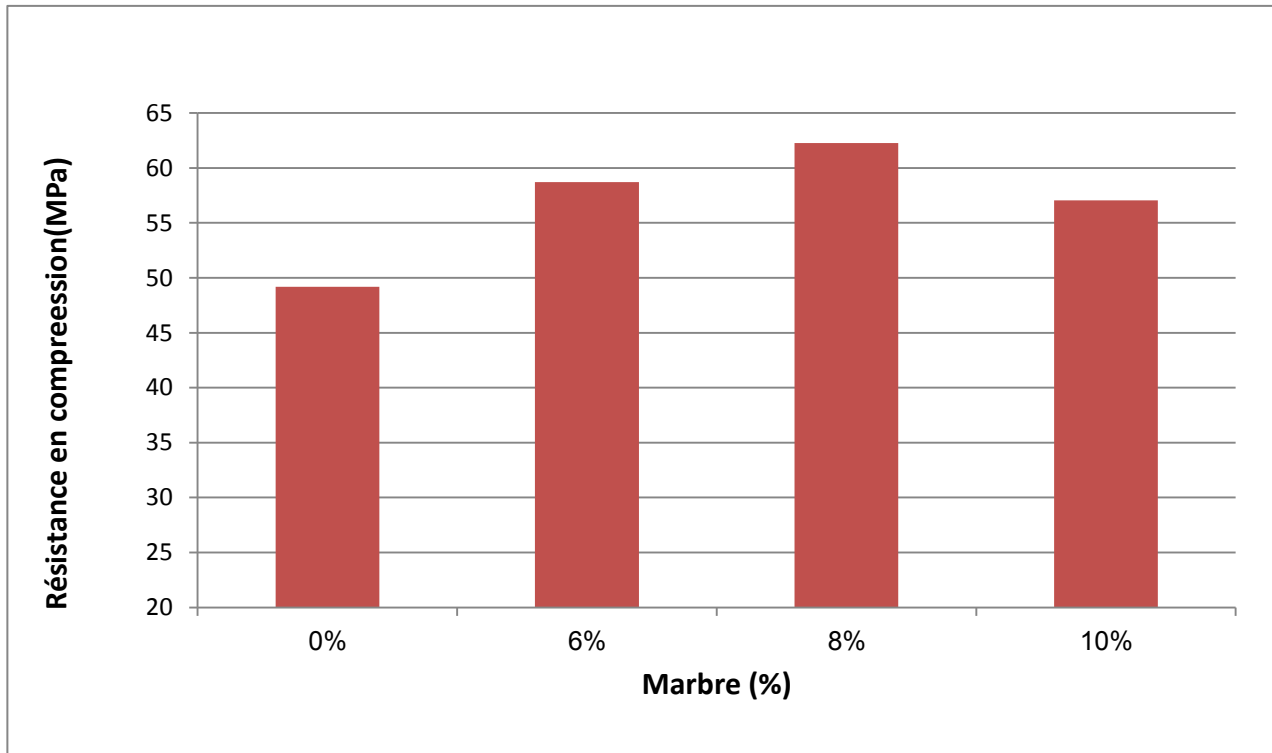


Figure III.3 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage de marbre à 28j

La Figure III.3 illustre la variation de la résistance en compression en fonction du pourcentage de marbre ajouté au matériau à 28 jours. On observe une variation notable de la résistance en compression avec l'augmentation du pourcentage de marbre, débutant à une valeur de 45 MPa à 0% et atteignant 60 MPa à 10%. Notamment, la valeur la plus élevée de la résistance en compression est observée à 8% de marbre, où elle atteint 65 MPa. Ce pic peut indiquer une saturation optimale du matériau avec le marbre cela est confirmé par la valeur optimale de la masse volumique atteinte à 8% d'ajout de marbre (mortier plus compact), suggérant que cet ajout améliore significativement les propriétés mécaniques jusqu'à un certain seuil.

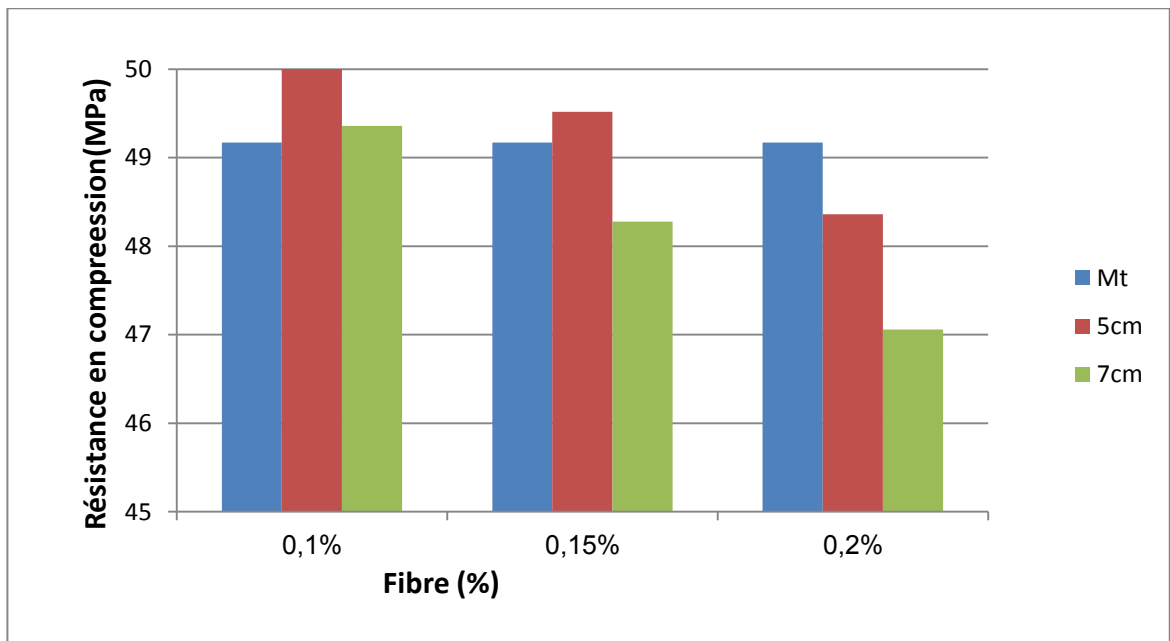


Figure III.4 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage et longueur de fibre polyéthylène à 28j

La figure III.4 illustre la variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage et de la longueur des fibres de polyéthylène après 28 jours. Il est observé que les variations des pourcentages et des longueurs des fibres de polyéthylène ont un impact léger sur la résistance à la compression.

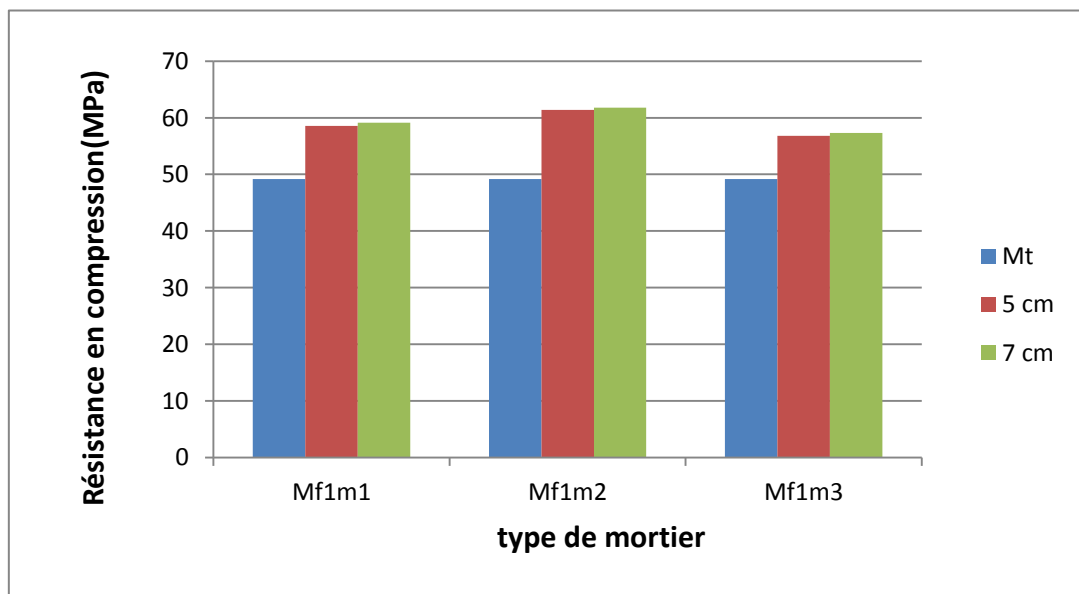


Figure III.5 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage de marbre et longueur de fibre polyéthylène (p=0,1%) à 28j

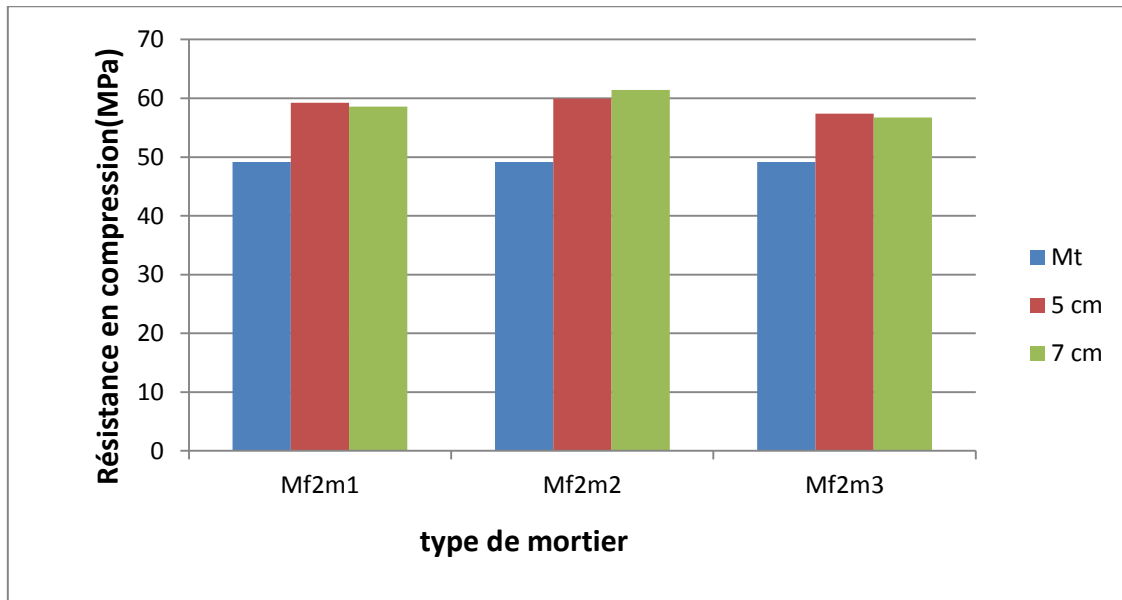


Figure III.6 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage de marbre et longueur de fibre polyéthylène (p=0,15%) à 28j

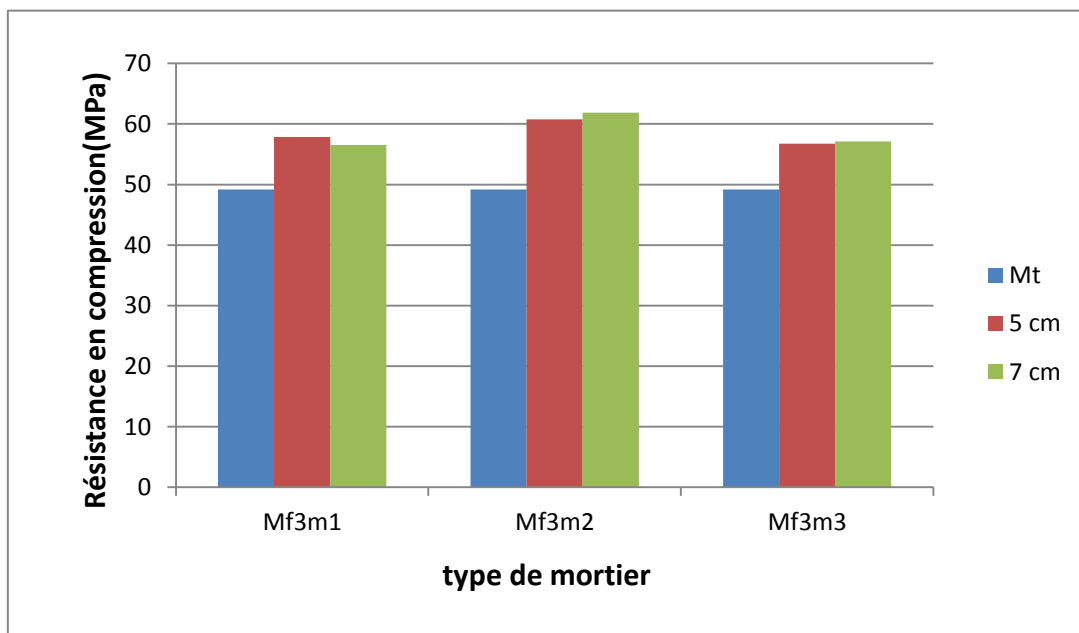


Figure III.7 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage de marbre et longueur de fibre polyéthylène (p=0,2%) à 28j

Les figures III.5, III.6 et III.7 illustrent l'évolution de la résistance à la compression du mortier en fonction de la proportion de poudre de marbre incorporée et de la longueur des fibres de polyéthylène utilisées, pour différentes doses de ces deux ajouts (0,1 %, 0,15 %, 0,2 % de fibres).

Il est à noter que l'augmentation de la dose de poudre de marbre, jusqu'à 10 %, permet d'améliorer significativement la résistance à la compression, indépendamment de la longueur et du pourcentage de fibres de polyéthylène.

D'autre part, la variation de la longueur des fibres de polyéthylène (5 cm ou 7 cm) n'a pas d'impact sur la résistance à la compression des mélanges contenant de la poudre de marbre. La performance reste relativement similaire pour le même contenu de poudre de marbre, que les fibres soient courtes ou longues.

Cela démontre que dans le cas du mélange comprenant à la fois de la poudre de marbre et des fibres de polyéthylène, l'effet bénéfique de la poudre de marbre sur la résistance à la compression prédomine par rapport à l'effet de la proportion et de la longueur des fibres de polyéthylène.

Ainsi, l'amélioration de la résistance à la compression peut être principalement réalisée en ajustant la dose de poudre de marbre, sans nécessité de modifier la longueur ou le pourcentage des fibres de polyéthylène.

c) Résistance à la traction et à la flexion :

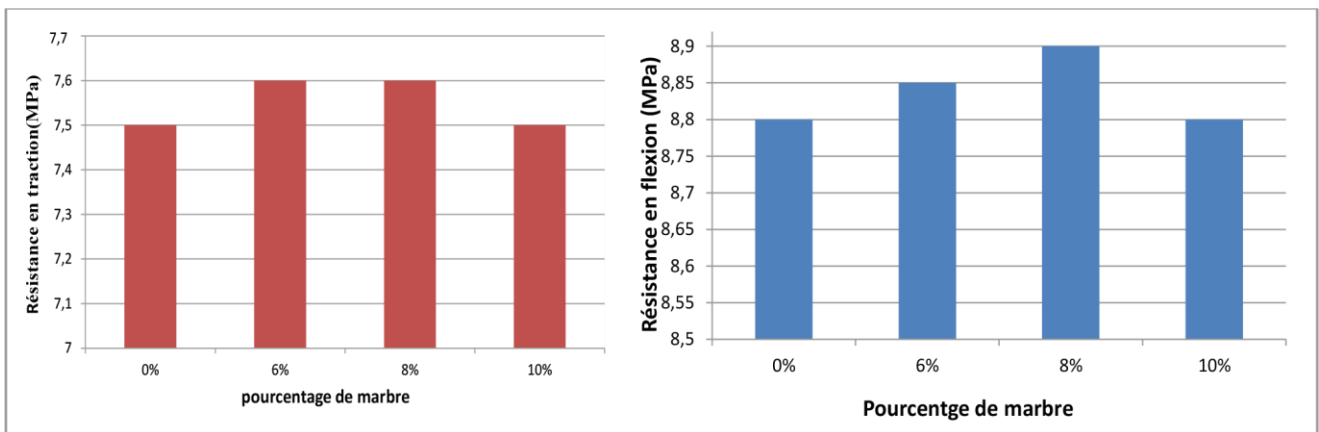


Figure III.8 : Résistance à la traction et à la flexion en fonction du pourcentage de marbre à 28j

La Figure III.8 illustre la variation de la résistance à traction et à la compression en fonction du pourcentage de poudre de marbre après 28 jours. Il a été observé que les variations des pourcentages de poudre de marbre ont un effet mineur sur la résistance à la traction et à la flexion.

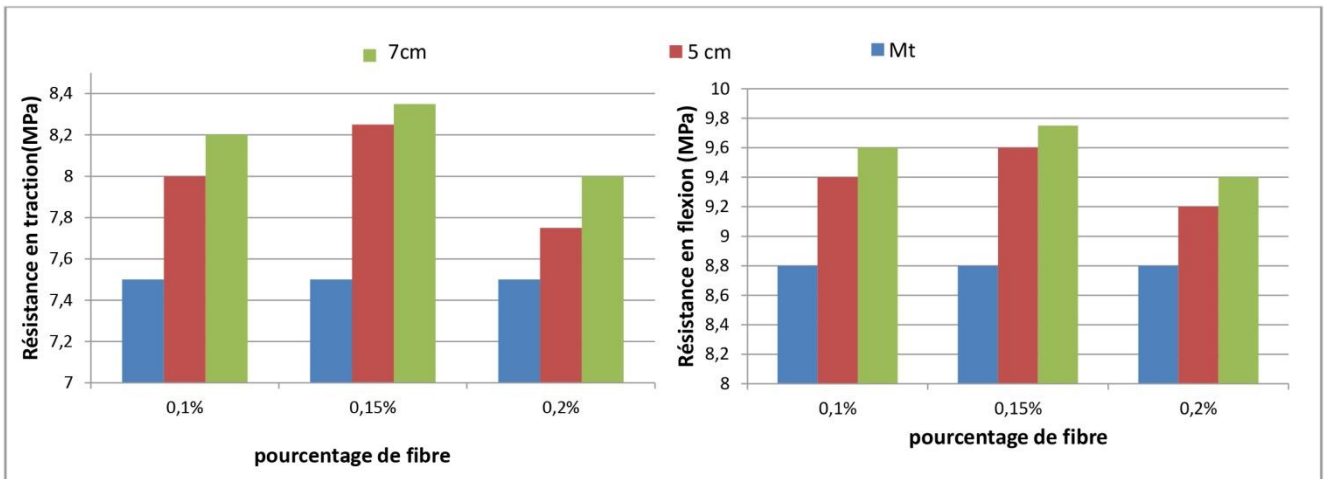


Figure III.9 : Résistance à la traction et à la flexion en fonction du pourcentage et longueur de fibre polyéthylène à 28j

La figure III.9 montre que l'ajout de fibres de polyéthylène, jusqu'à 0,2% du volume, améliore de manière significative la résistance à la traction et à la flexion du mortier par rapport au mortier témoin sans fibres.

De plus, on observe que les fibres de 7 cm de longueur permettent d'obtenir de meilleures performances mécaniques que les fibres de 5 cm, et ce pour un même dosage en fibres. Cela s'explique par une meilleure capacité des fibres longues à renforcer la matrice cimentaire.

Ainsi, l'incorporation optimale semble être 0,15% de fibres de polyéthylène de 7 cm de long, en complément des effets bénéfiques de la poudre de marbre sur la résistance à la compression.

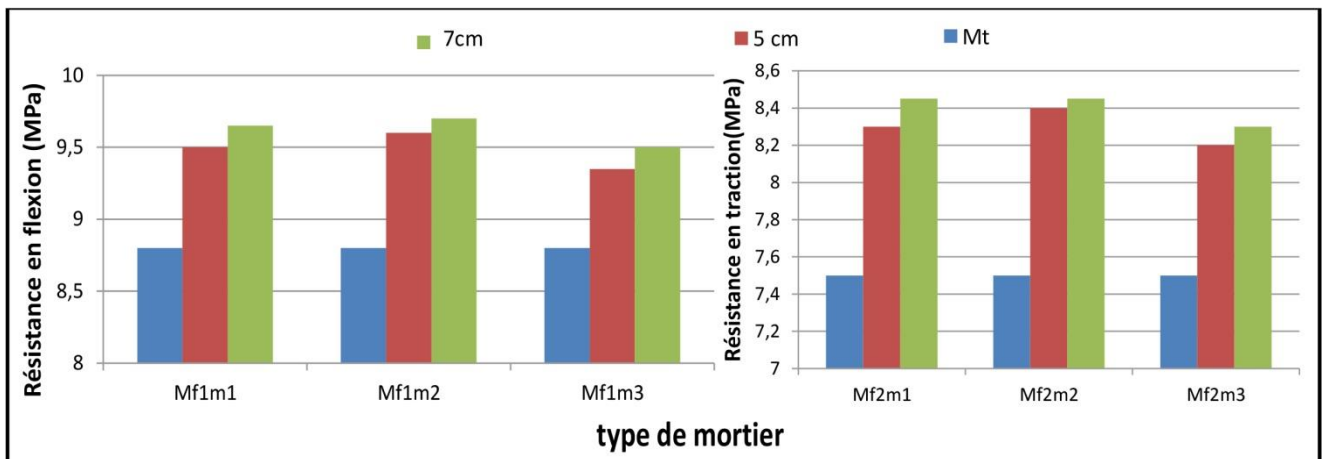


Figure III.10 : Résistance à la traction et à la flexion en fonction du pourcentage de marbre et longueur de fibre polyéthylène (p=0,1%) à 28j

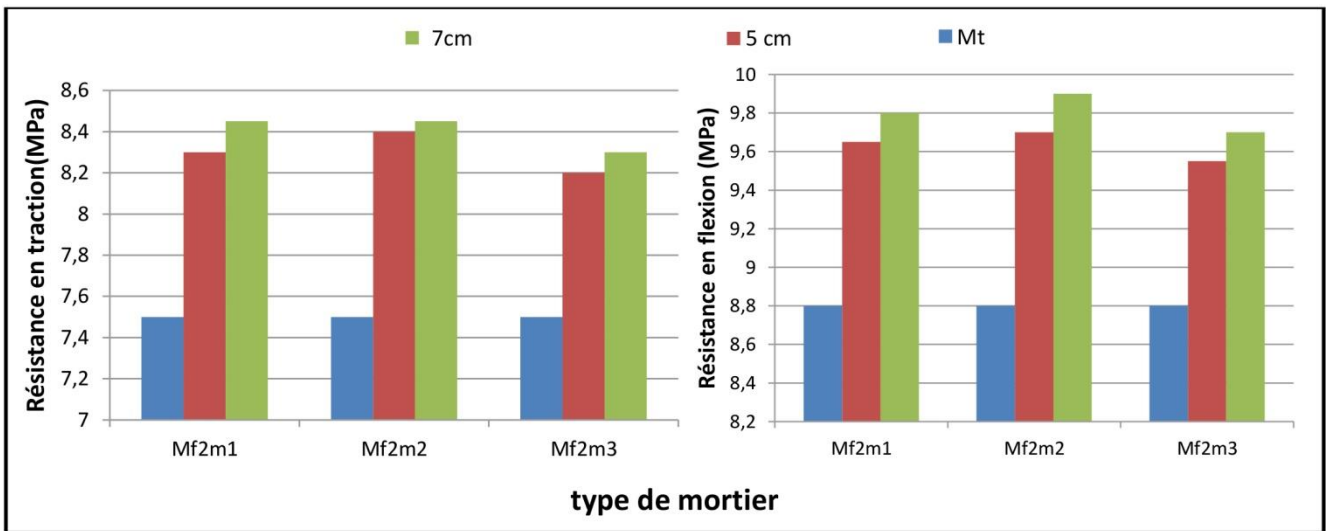


Figure III.11 : Résistance à la traction et à la flexion en fonction du pourcentage de marbre et longueur de fibre polyéthylène (p=0,15%) à 28j

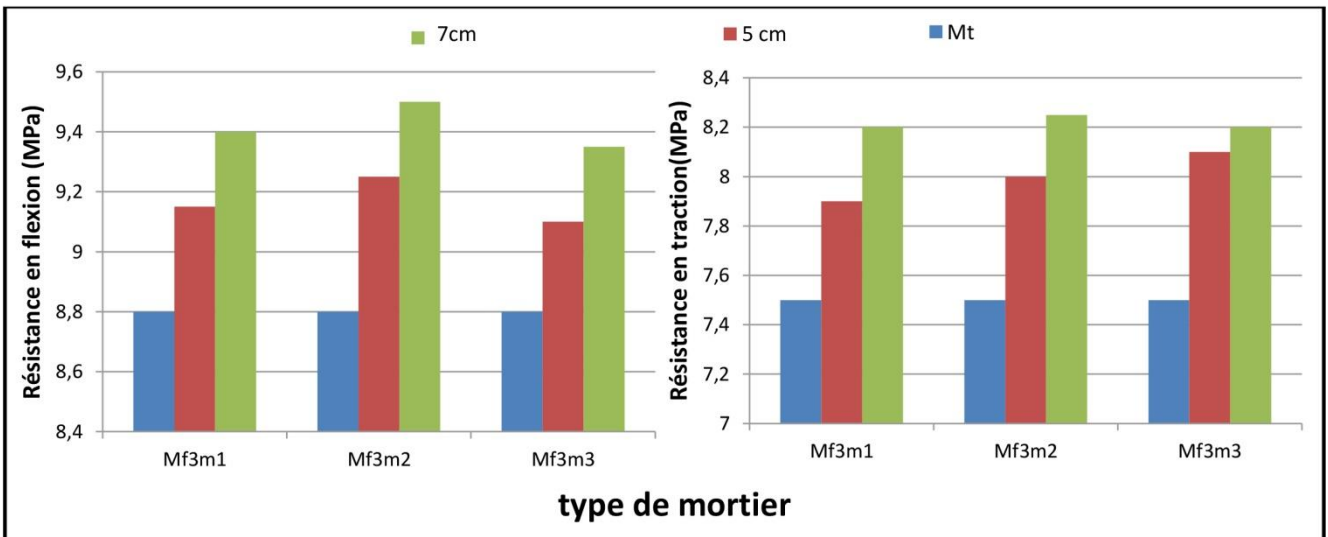


Figure III.12 : Résistance à la traction et à la flexion en fonction du pourcentage de marbre et longueur de fibre polyéthylène (p=0,2%) à 28j

D'après les figures III.10, III.11 et III.12, on observe que l'ajout de fibres de polyéthylène a un effet positif sur la résistance à la traction et à la flexion du mortier contenant du marbre. En général, l'augmentation de la proportion de fibres de 0,1 % à 0,2 % améliore ces résistances.

Il est intéressant de noter que les fibres de polyéthylène de 7 cm semblent offrir de meilleures performances que celles de 5 cm. Ces tendances sont visibles dans toutes les figures, ce qui indique que les fibres plus longues (7 cm) contribuent davantage à renforcer la matrice cimentaire.

Par conséquent, l'ajout de fibres de polyéthylène, en particulier de 7 cm de long, pourrait être une stratégie efficace pour améliorer les propriétés mécaniques du mortier avec des ajouts de marbre, offrant ainsi une résistance accrue à la traction et à la flexion.

d) Absorption d'eau :

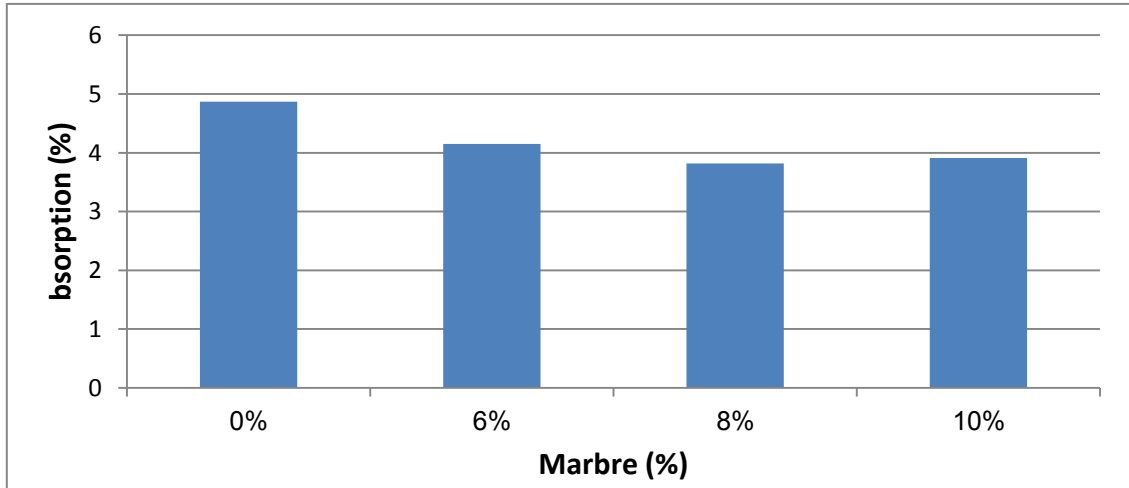


Figure III.13 : Absorption en fonction du pourcentage et longueur de fibre polyéthylène à 28j

La figure III.13 illustre la variation de l'absorption d'eau du mortier en fonction du pourcentage de marbre ajouté au matériau après 28 jours. On observe une variation notable du degré d'absorption avec l'augmentation du pourcentage de marbre, passant de 4,87 % à 0 % à 3,91 % à 10 %. Il est à noter que la valeur minimale du degré d'absorption a été observée pour un pourcentage de marbre de 8 %, atteignant 3,82 %. Ce pic pourrait indiquer une compacité optimale du matériau, suggérant que cet ajout améliore considérablement les propriétés physique du mortier jusqu'à un certain seuil.

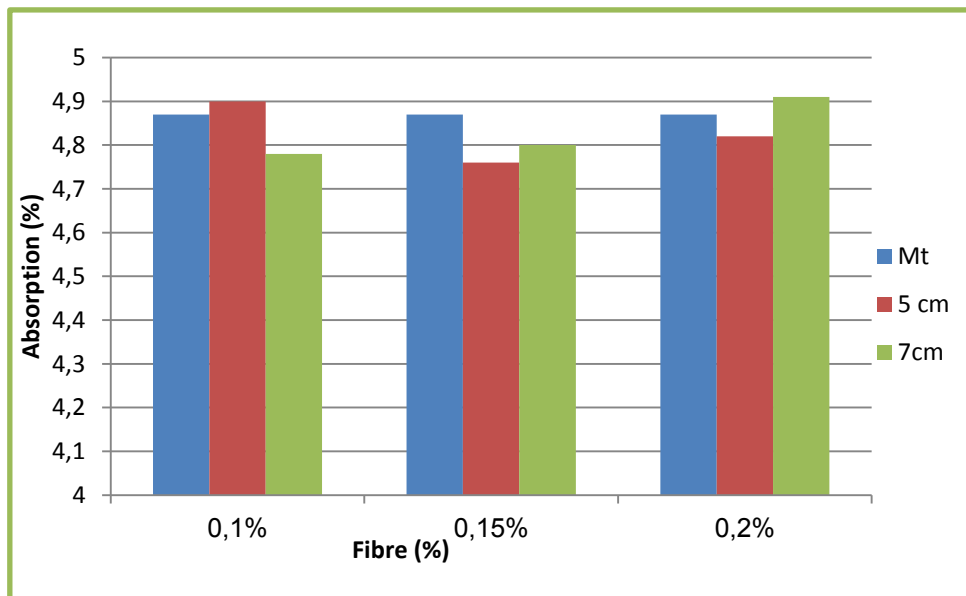


Figure III.14. Degré d'absorption d'eau en fonction du pourcentage de marbre à 28j

La figure III.14 montre l'évolution du degré d'absorption d'eau en fonction du pourcentage et de la longueur des fibres de polyéthylène après 28 jours. On constate que les variations du pourcentage et de la longueur des fibres de polyéthylène ont un effet négligeable sur le mortier.

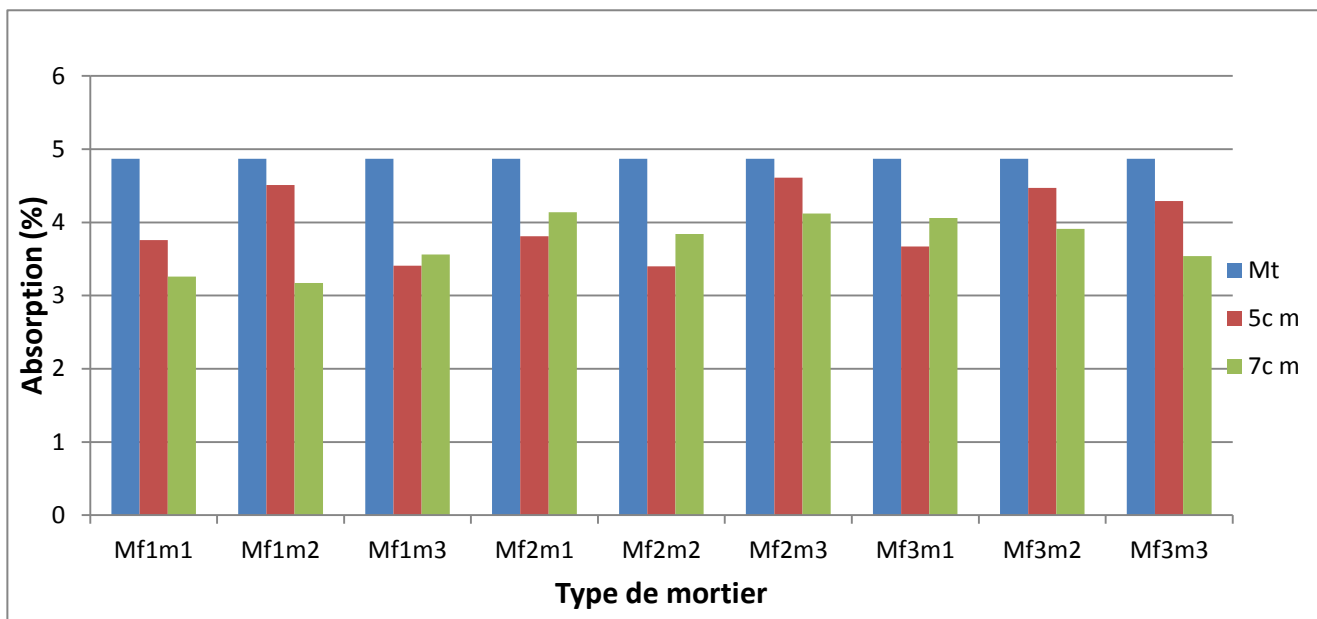


Figure III.15 : Absorption d'eau en fonction du pourcentage de marbre et fibre à 28

La figure III.15 montre l'évolution du degré d'absorption d'eau du mortier en fonction du pourcentage de poudre de marbre incorporée et de la longueur des fibres de polyéthylène utilisées, pour différents pourcentage de ces deux ajouts (0,1 %, 0,15 %, 0,2 % de fibres).

Il est important de noter que l'augmentation du pourcentage de la poudre de marbre, (jusqu'à 10 %), permet d'améliorer considérablement la résistance à la compression, quelle que soit la longueur et le pourcentage des fibres de polyéthylène.

D'autre part, la modification de la longueur des fibres de polyéthylène (5 cm ou 7 cm) n'a aucun impact sur la compacité des mélanges contenant de la poudre de marbre. Les performances restent relativement similaires pour le même contenu en poudre de marbre, que les fibres soient courtes ou longues.

Ceci montre que dans le cas d'un mélange comprenant à la fois de la poudre de marbre et des fibres de polyéthylène, l'effet bénéfique de la poudre de marbre sur la compacité du mortier est prédominant par rapport à l'effet de différents pourcentages et différentes longueur des fibres.

Par conséquent, le degré de saturation d'eau du mortier (compacité du mortier) peut être principalement amélioré en ajustant le pourcentage de la poudre de marbre, sans avoir à modifier la longueur ou le pourcentage des fibres de polyéthylène.



Conclusion générale

Conclusion Générale

Cette étude a examiné la possibilité d'utiliser des déchets de marbre et des fibres de polyéthylène comme additifs dans les formulations de béton et de mortier. Les résultats montrent que l'incorporation de ces déchets peut avoir un impact significatif sur les propriétés physiques et mécaniques des matériaux cimentaires.

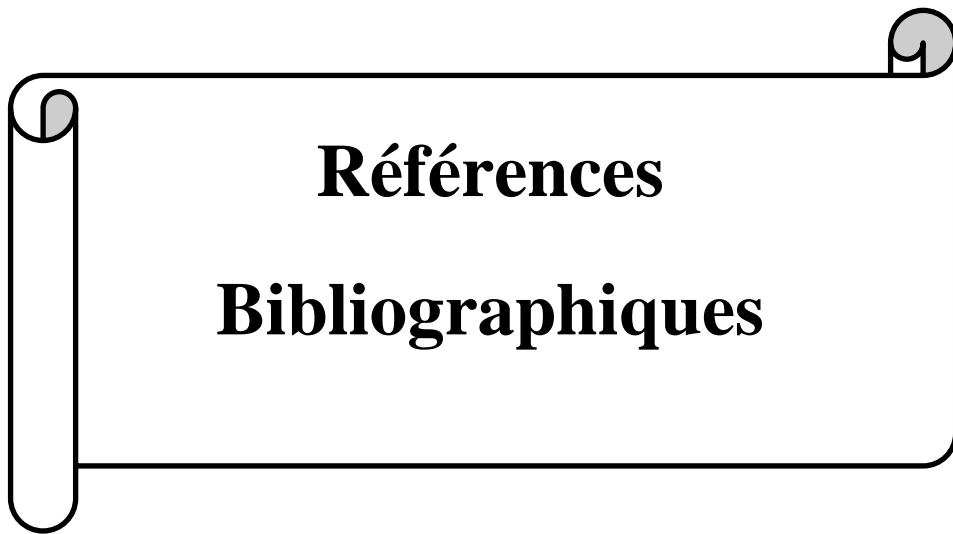
L'ajout de poudre de marbre a montré une amélioration notable de la résistance à la compression et de la densité du mortier, atteignant un pic d'amélioration avec un ajout de 8% de poudre de marbre. En revanche, la longueur et le pourcentage de fibres de polyéthylène n'ont pas eu un effet significatif sur ces propriétés.

En ce qui concerne la résistance à la traction et à la flexion, les fibres de polyéthylène ont montré un effet positif, notamment à un ajout de 0,15% de fibres mesurant 7 cm de longueur, ce qui a contribué à renforcer le matériau cimentaire. L'incorporation de poudre de marbre a également réduit le degré d'absorption d'eau (la porosité) du mortier.

Ces résultats suggèrent que l'utilisation de déchets de marbre et de fibres de polyéthylène pourrait être une solution viable pour améliorer les propriétés du béton et du mortier. L'optimisation des proportions de ces additifs, en particulier la poudre de marbre, permet d'améliorer la résistance mécanique et de réduire la porosité, contribuant ainsi à la durabilité des structures. Nos expériences montrent que le degré d'absorption d'eau (porosité) optimale et les meilleurs résultats sont obtenus avec un mélange de 8% de poudre de marbre et 0,15% de fibres de polyéthylène avec 7 cm de longueur.

Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour approfondir l'impact de ces additifs sur d'autres propriétés du béton et du mortier, telles que la durabilité à long terme, la résistance aux cycles de gel-dégel et le comportement à des températures élevées.

En conclusion, cette étude a mis en lumière le potentiel des déchets de marbre et des fibres de polyéthylène pour améliorer les performances du béton et du mortier, tout en contribuant à une gestion durable des déchets.



Références

Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] D. Roy, "Les bétons : formulation, propriétés et applications", Éditions Eyrolles, 2018.
- [2] : Dreux, George, et Jean Festa. Nouveau guide du béton et de ses constituants. 8e éd. Paris: Eyrolles, 1998.
- [3] : Doubrère, Jean-Claude. Cours pratique de béton armé : règles CBBA 68-règles BAEL 80. 6e éd. Paris: Eyrolles, 1981.
- [4] Charon, Pierre. Calcul des ouvrages en béton armé suivant les règles B.A.E.L 80. Paris: Eyrolles, 1981.
- [5]: <https://www.alamy.com/pouring-and-leveling-a-new-concrete-slab-for-a-residential-house-under-construction-in-melbourne-australia-image360004698.html?imageid=73689958-BD6F4C2A9BF19511157C4F41&p=660529&pn=1&searchId=20556e0062e25225dda291eb111612a7&searchtype=0>
- [6] George Dreux et Jean Festa « Nouveaux guide du béton » Septième Edition (1995).
- [7]:<http://www.batiment-brioude.fr/wp-content/uploads/2015/07/ciment.jpg//////////>
- [8] Technique de l'ingénieur, C2210.
- [9] Arnould, M., et M. Virlogeux. Granulats et bétons légers. Paris: Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées, 1986.
- [10] <https://www.infociments.fr/betons/caracteristiques-et-types-de-granulats>
- [11] Dubois, P., et Scordia, P.-Y. Caractéristiques des granulats pour les travaux publics. Paris: Eyrolles, 2006.
- [12] Dreux, George. Pratique du béton précontraint. 3e éd. Paris: Eyrolles, 1975.
- [13] Neville, A. M. Properties of Concrete. 4th ed. London: Longman, 1995.
- [14] Mehta, P. Kumar, et Paulo J. M. Monteiro. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2006
- [15] Taylor, H. F. W. Cement Chemistry. 2nd ed. London: Thomas Telford, 1997.
- [16] M KHELIL. N ; M OULD OUALI.M. « Etude comparative de l'utilisation du sable de dune en substitution du sable de rivière : cas des mortiers normalisés », Thèse de Master en Génie Civil, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (2019), p 8
- [17] 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
- [18] Hachemi Nadir ; Boussad Adel, mémoire de fin d'étude :« Influence des différentes granulométries du sable sur le comportement mécanique du béton » spécialité : Génie de matériaux. Université de Hamed Bougara-Boumerdes.

Références Bibliographiques

- [19]R.DUPAIN, R.LANCHON, J-C.SAINT-ARROMAN «Granulat, sols, ciment et béton»Edition CASTEILLA-PARIS-2004
- [20] Ghomari Fouad, « cours de Science des Matériaux de Construction » (Université Aboubekr Belkaid).
- [21] Youssef Ouhani, « Les adjuvants du béton » FST de Setta cours de licence professionnelle
- [22] George Dreux et Jean Festa « Nouveaux guide du béton » Septième Edition (1995). (2011/2012).
- [23] B. Kh, "Faculté des Sciences de l ' Ingénieur Mémoire de Magister Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d ' ajouts de déchets de briques réfractaires," BOUGARA-BOUMERDES, 2014.
- [24] <http://forum-btp.blogspot.com/2013/09/les-mortiers.html>
- [25] <https://www.pavebeton.fr/comment-faire-du-mortier/>
- [26] Mindess, Sidney, et J. Francis Young. Concrete. 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002
- [27]MAISON.OOREKA Type.des.mortiers, www.construction.maison.ooreka.fr
- [28]<https://www.toutsurlebeton.fr/le-ba-ba-du-beton/les-mortiers-types-applications-dosages/>
- [29]Johnston, C.D., "Prediction of Masonry Durability: The Role of Equivalent Mortar", Masonry Society Journal, vol. 22, no. 1, pp. 19-27, 2003.
- [30]ASTM C177-19, "Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Portland Cement Concrete by the Pressure Method", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.
- [31]-Mr. GUELLIL Mustapha Khadir : FORMULATION DES BETONS AUTOPLAÇANTS PAR LA METHODE DE LA PATE EN EXCES et soutenu le 2012. ASTM C270-19, Standard Specification for Mortar for Unit Masonry, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.
- [32]Préparer un bon mortier de hourdage
<https://www.futura-sciences.com/maison/dossiers/construction-maison-preparer-bon-mortier-hourdage-1023/>
- [33]<https://travauxbeton.fr/dtu-26-1/>
- [34] <https://chapes-info.fr/bostik-a-elargi-son-offre-chapes-fluides-avec-la-technis-r/>
- [35]Mounir B . Valorisation des déchets plastiques pour l'amélioration des performances mécaniques des mortiers. mémoire de master, université de M'sila, juin (2013).

Références Bibliographiques

- [36] Scellement hydraulique
<https://fra.sika.com/fr/construction/reparation-renforcement-scellement/scellement-et-calage/scellement-hydraulique.html>
- [37] “Marbre.” . <https://fr.wikipedia.org/wiki/Marbre>
- [38] “-historique-marbre.” . <https://fr.wikipedia.org/wiki/Marbre#Histoire>
- [39] M. S. Sabrina, “COMPORTEMENT DES BETONS A BASE DE GRANULATS RECYCLES,” UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE.
- [40] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_marbres_modernes
- [41] : <https://geniecivilar.blogspot.com/2017/04/types-marbre.html>
- [42] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_marbres_modernes
- [43] : [A.H. Mohammed Belhadj1, 2016.] : 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.
- [44] Bentur, A., & Mindess, S. (1990). *Fibre Reinforced Cementitious Composites*. Elsevier Applied Science. Cyr, M., Lawrence, P., & Ringot, E. (2005). Mineral admixtures in mortars: Quantification of the physical effects of inert materials on short-term hydration. *Cement and Concrete Research*, 35(4), 719-730.
- [45] Ragoubi, M. *Étude du vieillissement de composites renforcés par des fibres*. Thèse de doctorat, Université de Lorraine, 2010.
- [46] Oosterom, R., Ahmed, T.J., Poulis, J.A. Adhesion performance of UHMPWE after different surface modification techniques. *Medical Engineering & Physics*, 2006
- [47] Bentur, A., & Mindess, S. (2006). *Fibre Reinforced Cementitious Composites*. CRC Press.
- [48] ACI Committee 544. (1996). *State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete*. American Concrete Institute.
- [49] Gassan, J., Gutowski, V. S. Effects of corona discharge and UV treatment on the properties of jute-fibre epoxy composites. *Composites Science and Technology*, 2000
- [50] Kato, K., Vasilets, V.N., Fursa, M.N., Meguro, M., Ikada, Y., Nakamae, K. Surface oxidation of cellulose fibers by vacuum ultraviolet irradiation. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 1999