



Université Mohamed khider –Biskra

Faculté d'Architecture, de l'Urbanisme, de Génie Civil et de l'Hydraulique

Département de Génie civil et d'Hydraulique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies

Filière : Génie civil

Spécialité : Matériaux en génie civil

Réf. :

Présenté et soutenu par :
GUESMIA Bilal

Le: mercredi 4 juin 2025

Etude des propriétés mécaniques et physiques d'un mortier à base de sable de carrière et des fibres de plastique PET

Jury : Pr. Zeghichi Leila
Pr. Hachemi Samia

Encadreur : Dr .CHADLI Mounira

Année universitaire : 2024 - 2025

Remerciements

Louange à Dieu qui m'a donné la force et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à Madame Chadli Mounira, ma directrice de mémoire, pour sa disponibilité, ses conseils avisés et son accompagnement tout au long de ce projet. Son encadrement attentif et ses orientations pertinentes ont été d'un apport précieux dans la réalisation de ce travail.

Je remercie sincèrement les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce mémoire et pour l'intérêt qu'ils ont bien voulu lui accorder.

Mes remerciements s'adressent également à l'ensemble des enseignants du département de génie civil de l'Université de Biskra, pour les connaissances transmises et leur dévouement tout au long de notre formation.

Un grand merci à mes camarades de la promotion 2025, avec qui j'ai partagé de nombreux moments d'effort, de collaboration et de soutien mutuel.

Enfin, je n'oublie pas toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire. Merci pour votre aide, votre confiance et votre encouragement.

Dédicace

À ceux qui ont été la lumière dans mes ténèbres, le soutien dans mes moments de faiblesse, et l'élan dans les instants de doute...

À ma mère et à mon père, battements de mon cœur et source de sérénité dans cette vie. Vos prières ont été ma force, et votre amour, le rempart inébranlable derrière lequel je me suis toujours abrité.

Maman, source intarissable de tendresse. Papa, modèle de courage et de persévérance.

À mes chers frères : *Hichem, Rabah, Elyes et Aymen*,

Vous avez été mes compagnons les plus sincères, un appui constant dans toutes les situations. Grâce à vous, les épreuves ont été plus légères et le chemin plus sûr.

À mes amis fidèles :

Hamza, Rayane, Zouheir, Fayez, Ismail, Yahia, Taki, Nassim, Souheib, Waël, Houssam, Islam, Aymen Lhou, Mohamed, Shamsou, Nizar, Dassi, Achraf, Moudjib, Nassim,
Vous incarnez les souvenirs les plus précieux, les rires partagés, et les épaules solides sur lesquelles j'ai pu compter. Merci pour votre sincérité et votre présence inestimable.

À tous ceux qui ont cru en moi, ne serait-ce qu'à travers un mot ou un regard d'encouragement...

Merci du fond du cœur. Vous avez été cette lumière discrète mais essentielle qui m'a guidé vers cet accomplissement.

Et enfin, à mon cher oncle *Salah*,

Tu as été pour moi un second père, un confident loyal, et un pilier constant.

Merci pour ton soutien indéfectible et ta présence réconfortante tout au long de ce parcours.

À mon amie *Aridj Taguie* :

merci pour ton soutien constant, ton écoute, ta fidélité et ton amitié sincère tout au long de ce parcours.

Résumé

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'effet de l'ajout de fibres plastiques recyclées de type PET sur le comportement physique et mécanique du mortier cimentaire. Deux pourcentages d'ajout ont été considérés : 1,5 % et 2,0 % en masse par rapport au sable.

Pour cela, plusieurs formulations ont été soumises à des essais à l'état frais (ouvrabilité) et à l'état durci à 7 et 28 jours. Les propriétés étudiées incluent la résistance à la compression, la résistance à la traction par flexion, l'absorption capillaire, l'absorption totale, la masse volumique ainsi que la vitesse de propagation des ondes ultrasonores.

Les résultats obtenus montrent que l'incorporation du PET dans le mortier :

- ❖ Réduit la masse volumique jusqu'à 4,5 % à 28 jours, traduisant un allègement du matériau.
- ❖ Diminue l'absorption capillaire avec une réduction maximale de 26,1 %, ce qui améliore la durabilité face aux agressions capillaires.
- ❖ Fait baisser l'absorption totale de 14,7 %, indiquant une structure interne moins poreuse.
- ❖ Réduit la résistance à la compression de manière modérée, avec une baisse maximale de 7,5 %, tout en restant dans des limites acceptables pour des applications non structurelles.
- ❖ Améliore sensiblement la résistance à la traction par flexion, notamment avec 2 % de PET, où une augmentation de +50 % a été enregistrée à 7 jours, et de +12 % à 28 jours.
- ❖ Diminue la vitesse ultrasonore jusqu'à 12,2 %, confirmant une densité et une compacité légèrement réduites.

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تقييم تأثير إضافة ألياف بلاستيكية معاد تدويرها من نوع PET على السلوك الفيزيائي والميكانيكي للملاط الإسمنتي. تم اعتماد نسبتين للإضافة، هما 1.5% و 2.0% إلى كتلة الرمل. ولتحقيق ذلك، تم إعداد عدة تركيبات خضعت لاختبارات في الحالة الطازجة (سهولة التشغيل) وفي الحالة المتصلدة بعد 7 و 28 يوماً. تشمل الخصائص المدروسة مقاومة الضغط، مقاومة الانحناء بالشد، الامتصاص الشعيري، الامتصاص الكلي، الكتلة الحجمية، بالإضافة إلى سرعة انتشار الأمواج فوق الصوتية.

أظهرت النتائج أن إدخال ألياف PET في الملاط يؤدي إلى:

- انخفاض الكتلة الحجمية بنسبة تصل إلى 4.5% عند عمر 28 يوماً، مما يعكس تخفيف وزن المادة.
- تقليل الامتصاص الشعيري بنسبة قصوى بلغت 26.1%， مما يعزز من متانة المادة تجاه العوامل الشعرية.
- انخفاض الامتصاص الكلي بنسبة 14.7%， مما يدل على بنية داخلية أقل مسامية.
- خفض مقاومة الضغط بشكل معتدل، حيث بلغت أقصى نسبة انخفاض 7.5%， مع بقاء القيم ضمن الحدود المقبولة للتطبيقات غير الإنسانية.
- تحسين ملحوظ في مقاومة الانحناء بالشد، خاصة عند إضافة 2% من ألياف PET ، حيث تم تسجيل زيادة بنسبة 50+% عند 7 أيام، و 12% عند 28 يوماً.
- انخفاض سرعة الأمواج فوق الصوتية بنسبة تصل إلى 12.2%， مما يؤكد انخفاضاً طفيفاً في الكثافة والتماسك.

Table des matières

<i>Remerciements</i>	I
<i>الملخص</i>	VI
LISTES DES FIGURES	IX
Liste des tableaux	XI
LISTE DES ABRÈVIATIONS	XII
Introduction Générale	1
Chapitre I	3
Recherche bibliographique.....	3
I. Introduction :	3
I.1 Généralité sur Les mortiers	3
I.1.2 Historique	3
I.1.3 Définition	3
I.1.4 Constituants des mortiers	4
I.1.5 Le Liant.....	4
I.1.6 Le sable	5
I.1.7 Sable carrière	6
I.1.8 Utilisation des sables de concassage dans le béton.....	7
I.1.9 L'eau de gâchage	7
I.1.10 Le rôle d'utilisation de mortier	8
I.1.11 Différents types des mortiers	8
I.2 Les propriétés physicomécaniques des mortiers	9
I.2.1 La masse volumique.....	9
I.2.2 Porosité et absorption d'eau	10
I.2.3 Résistance mécanique	10
I.3 Préparation des mortiers.....	11
I.4 Emplois des mortiers	12
I.4.1 Le hourdage de maçonnerie.....	12
I.4.2 Les enduits	13
I.4.2 Les chapes	13
I.4.3 Le scellement stèles calages	14
I.5 Les fibres.....	14
I.5.1 Introduction.....	14
I.5.2 Définition des fibres	15

I.5.3 Différents types de fibres	15
❖ Fibres métalliques (en acier).....	15
❖ Fibres de verre	16
❖ Fibres synthétiques (polymères).....	16
❖ Fibres de carbone	17
❖ Fibres naturelles	17
❖ Fibre en plastique	18
I.5.4 Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres	18
I.5.4.1 Caractéristiques physiques	18
I.5.4.2 Caractéristiques mécaniques	19
I.5.5 Critère de choix du type de fibres	19
I.5.6 Le rôle des fibres	20
I.6 Généralités sur les déchets plastiques PET	20
I.6.1 Définition des PET	21
I.6.2 Différents types des PET	22
• PETG (PET modifié au glycol).....	22
• RPET (PET recyclé)	22
• APET (PET amorphe).....	22
• Fibres de PET	23
• PET biodégradable.....	23
I.6.3 Avantages et inconvénients des matières plastiques	23
I.6.3.1 Avantages des matières plastiques	23
I.6.3.2 Inconvénients des plastiques	23
I.7 Conclusion	24
Chapitre II	25
Caractérisation des matériaux et techniques expérimentales	25
II. Introduction	25
II.1 Matériaux utilisés	25
II.2 Caractérisation des matières utilisées	25
II.2.1 Sable	25
II.2.1.1 Origine du sable	26
II.2.1.2 Caractéristiques physiques du sable utilisé	26
II.2.1.3 Masse spécifique (absolue) : NF P 18-554/EN 1097-6	26
II.2.1.4 Masse volumique apparente : NFP 94-054	27
II.2.1.5 Equivalent de sable (NF EN 933-8)	28

II.2.1.5 Analyse granulométrique : NA EN 933-1	33
II.2.1.6 Module de finesse [NF P 18-540]	35
II.3 Cement	36
II.3.1 Caractéristiques de ciment CPA-CEM I	37
II.3.1.1 La consistance normale de ciment EN 196-3	37
II.3.1.2 Caractéristique mécaniques et physiques du ciment utilisé :	39
II.4 Eau de gâchage	40
II.5 PET :.....	40
II.5.1 Définition et origine des déchets plastiques utilisés	40
II.5.2 Méthode de coupe des fibres	40
II.5.3 Détermination de la masse volumique apparentes et la masse volumique absolus	41
II.6 Composition de mortiers	42
II.6.1 Composition du mortier témoin	42
II.6.2 Composition du mortier avec déchet de plastique PET	42
II.6.3 préparations du mortier	42
II.6.4 Pesage des composants du mortier	43
II.6.5 Malaxage des composants du mortier	43
II.6.6 coulage des éprouvettes	44
II.6.7 Etapes de coulage des éprouvettes	44
II.6.8 Essai d'étalement sur table à secousses (conformément à la norme ISO 9812)	46
II.6.9 Principe de l'essai	46
II.6.10 Démoulage et conservation des éprouvettes	47
II.7 Les essais réalisés	47
II.7.1 Essai physique	47
II.7.1.1 Essai la Masse Volumique apparente sèche	47
II.7.1.2 Essai d'absorption d'eau par capillarité	48
II.7.1.3 Essai d'absorption d'eau par immersion (NF EN 1015-18)	50
II.7.1.4 Ultrason	51
II.8 Essais mécaniques	52
II.8.2 Essai de compression selon la norme NF EN 196-1,	53
II.9 Conclusion	54
Chapitre III	56
Discussion et résultats expérimentaux	56
III. introduction	55
III.1 La préparation des mélanges avec ajout de fibres PET	55
III.2 Essais à l'état frais	55

III.2.1 Maniabilité.....	55
III.3 À l'état durci :	56
III.3.1 Masse volumique sèche :	56
III.3.2 Ultrason :	58
III.3.3 Absorption d'eau par capillarité :.....	59
III.3.4 Absorption d'eau par immersion :	60
III.3.5 Essai de la résistance à la traction par flexion :	61
III.3.6 Essai de la résistance à la compression :.....	63
III.4 Conclusion :.....	64
Conclusion générale	65
Listes des Références.....	67

LISTES DES FIGURES

Chapitre I : Recherche bibliographique

Figure I.1 : Constituants des mortiers.....	4
Figure I.2 : Le Liant.....	5
Figure I.3 : Moule pour moulage des éprouvettes de mortier.....	10
Figure I.4 : Dispositif de rupture en compression.....	11
Figure I.5 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.....	11
Figure I.6 : Pose de mortier de hourdage.....	13
Figure I.7 : Enduits isolant et enduits de façade.....	13
Figure I.8 : Les chapes fluides et chape ciment.....	14
Figure I.9 : Les scellements.....	14
Figure I.10 : fibre d'acier.....	16
Figure I.11 : fibre de verre.....	16
Figure I.12 : Fibres synthétiques.....	17
Figure I.13 : Fibres de carbone.....	17
Figure I.14 : Fibres naturelles.....	18
Figure I.15 : les déchets plastiques.....	21
Figure I.16 : les déchets PET.....	21
Figure I.17 : les types PET.....	22
Figure II.1 : Le sable utilisé.....	26

Chapitre II : Caractérisation des matériaux et techniques expérimentales

Figure II.2 : Essai de détermination de la masse volumique absolue.....	27
Figure II.3 : Test pour déterminer la densité apparente en laboratoire.....	28
Figure II.4 : Agitateur mécanique.....	29
Figure II.5 : Repos de 20 min pour les éprouvettes.....	30
Figure II.6 : Essai d'équivalent de sable.....	30
Figure II.7 : Essai d'équivalent de sable carrière.....	32
Figure II.8 : Les tamis.....	34
Figure II.9 La courbe granulométrique du sable utilisé.....	35
Figure II.10 : Biskria ciment.....	36
Figure II.11 : Début de prise et Fin de prise.....	37
Figure II.12 : La masse volumique de ciment absolue et apparente.....	39
Figure II.13 : Découpage des fibres plastiques extraites des poils de balais.....	40
Figure II.14 : PET utilisé.....	40
Figure II.15 : Pesage des composants du mortier.....	42

Figure II.16 : Malaxeur électrique utilisée dans la fabrication du mortier.....	43
Figure II.17 : Moule (4 x 4 x 16) cm.....	43
Figure II.18 : Lubrification des moules.....	44
Figure II.19 : Remplir le moule et le mettre dans l'appareil à chocs.....	45
Figure II.20 : Test de l'étalement.....	46
Figure II.21 : Démoulage des éprouvettes.....	46
Figure II.22 : Étiquetez les tubes à essai qui seront immergés dans le réservoir d'eau 28J.....	46
Figure II.23 : les éprouvettes à l'intérieur du l'étuve.....	48
Figure II.24 : Essai d'absorption d'eau par capillarité.....	49
Figure II.25 : Essai d'absorption d'eau par immersion.....	50
Figure II.26 : Essai par ultrasons.....	51
Figure II.27 : Essai de traction par flexion.....	52
Figure II.28 : Essai de compression réalisé sur les éprouvettes (4 x 4 x 16) cm.....	53

Chapitre III Discussion et résultats expérimentaux

Figure III.1 : Variation d'étalement en (Cm) en fonction du type des mélanges.....	56
Figure III.2 : Masse volumique sèche (g/cm3) selon le type de mélanges.....	57
Figure III.3 : Évaluation de l'effet des fibres plastiques PET sur la vitesse des ultrasons dans le mortier.....	58
Figure III.4 : Effet des différentes proportions de fibres plastiques sur le coefficient d'absorption d'eau par capillarité dans le mortier.....	59
Figure III.5 : Absorption par immersion pendant 24 heures (%) en fonction du type de mortier.....	61
Figure III.6 : La résistance à la traction par flexion à 7j et à 28j (MPA) en fonction de type du mortier.....	62
Figure III.7 : La résistance à la compression à 7j et à 28j (MPA) en fonction de type du mortier.....	63

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Dosages des mortiers.....	11
Tableau II.1 : Masse volumique absolue du sable.....	27
Tableau II.2 : Masse volumique apparente du sable de carrière.....	28
Tableau II.3 : Valeurs souhaitables de l'équivalent des sables.....	31
Tableau II.4 : Les résultats d'équivalent du sable utilisé.....	32
Tableau II.5 : Les résultats d'analyse granulométrique du sable utilisée.....	34
Tableau II.6 : Classification de sable en fonction du module de finesse.....	35
Tableau II.7 : Consistance normal.....	37
Tableau II.8 : Début de prise.....	38
Tableau II.9 : Caractéristiques physiques du ciment.....	38
Tableau II.10 : Caractéristiques mécaniques du ciment.....	38
Tableau II.11 : La masse volumique de ciment absolue et apparente.....	39
Tableau II.12 :	+
Tableau II.13 : Tableau II.10. Masse volumique du PET.....	41
Tableau II.14 : La composition optimal du mortier de témoin.....	41
Tableau II.15 : Compositions des mortiers pour pourcentages de déchet de plastique PET.....	41
Tableau II.16 : Test de l'étalement du mélange de mortier pour chaque mélange.....	45

LISTE DES ABRÈVIATIONS

PET : polyéthylène téréphtalate

BTP : Le secteur du bâtiment et des travaux publics

PE : Polyéthylène

PP : Polypropylène

PETG : PET modifié au glycol

RPET : PET recyclé

APET : PET amorphe

PETB : PET biodégradable

PVC : Plastique chlorure vinyle (Polychlorure de vinyle)

ESV : Equivalent de sable visuel

ESP : Equivalent de sable piston

Introduction Générale

Introduction Générale

Le secteur du bâtiment et des travaux publics (BTP) a connu une expansion considérable au cours des dernières décennies, entraînant une augmentation significative de la demande en matériaux de construction traditionnels tels que le ciment, le sable et les granulats. Bien que cette croissance soit essentielle pour répondre aux besoins du développement urbain, elle s'accompagne d'une surexploitation des ressources naturelles et d'une hausse notable des émissions de gaz à effet de serre, posant ainsi de sérieux défis environnementaux.

Parallèlement, les déchets plastiques, en particulier les bouteilles en PET (polyéthylène téréphtalate), constituent l'une des principales sources de pollution environnementale en raison de leur volume croissant et de leur faible biodégradabilité. Dans une perspective d'économie circulaire, il devient impératif de rechercher des moyens efficaces de recyclage de ces déchets, profitant à la fois à l'environnement et au secteur de la construction.

Parmi les solutions proposées, l'incorporation de fibres plastiques issues du recyclage des déchets de PET dans les formulations cimentaires apparaît comme une alternative prometteuse. Plusieurs études ont montré que ces fibres peuvent améliorer certaines propriétés mécaniques du mortier, notamment la résistance à la traction par flexion, grâce à leur rôle dans la limitation de la propagation des microfissures via un effet de pontage. Elles permettent également de réduire la masse volumique du mortier, le rendant ainsi plus léger. Toutefois, cette incorporation peut entraîner une diminution de la maniabilité, voire une légère réduction de la résistance à la compression, ce qui nécessite une étude expérimentale approfondie pour évaluer ces effets.

Problématique

La croissance continue des déchets plastiques, notamment les bouteilles en PET, représente un problème environnemental et économique majeur. En parallèle, le secteur de la construction est confronté à des défis liés à l'épuisement des ressources naturelles et à l'impératif de durabilité. Dès lors, la problématique que nous soulevons est la suivante :

Est-il possible d'améliorer les propriétés physiques et mécaniques du mortier cimentaire par l'incorporation de fibres plastiques recyclées de type PET ? Et quels sont les effets réels de différents pourcentages de ces fibres sur la résistance à la compression et à la flexion, ainsi que sur d'autres caractéristiques telles que l'absorption, la porosité et la vitesse ultrasonique ?

Objectifs

Ce travail vise à étudier l'impact de l'ajout de fibres plastiques recyclées de type PET, introduites à des taux de 1,5 % et 2 %, sur les propriétés du mortier cimentaire.

Les objectifs spécifiques de cette étude sont les suivants :

- Évaluer la maniabilité du mortier à l'état frais ;
- Analyser la résistance à la compression et à la traction par flexion ;
- Mesurer l'absorption totale et capillaire ;
- Déterminer la masse volumique ;
- Étudier la vitesse de propagation des ondes ultrasonores.

L'objectif final est de juger de la pertinence de l'usage des fibres PET comme solution à la fois technique et environnementale pour l'amélioration des performances du mortier.

Plan du Mémoire

- **Chapitre I :** Présentation du cadre théorique et bibliographique. Ce chapitre propose un aperçu général sur les matériaux cimentaires, les différents types de mortier, ainsi qu'une revue des recherches antérieures sur l'utilisation de fibres plastiques recyclées, en particulier les fibres de PET.
- **Chapitre II :** Description des matériaux utilisés (ciment, sable, eau, fibres PET), formulation des mélanges, méthode de confection des éprouvettes, conditions de conservation, et protocole des essais réalisés.
- **Chapitre III :** Présentation, analyse et discussion des résultats expérimentaux. Ce chapitre met en évidence l'effet de l'incorporation des fibres PET sur les propriétés physiques et mécaniques du mortier, en le comparant aux données de la littérature.

Chapitre I

Recherche bibliographique

I. Introduction :

L'urbanisation croissante et le développement de l'industrie du bâtiment entraînent une demande accrue en matériaux de construction, notamment en mortier et en béton. Parallèlement, la gestion des déchets plastiques, en particulier le polyéthylène téréphtalate (PET), constitue un défi environnemental majeur. Face à ces enjeux, la valorisation des déchets plastiques dans les matériaux cimentaires représente une alternative prometteuse pour réduire l'impact écologique tout en améliorant certaines propriétés des mortiers.

Le sable de carrière, en tant qu'agrégat, est souvent utilisé dans la fabrication des mortiers, mais il présente certaines limitations en termes de comportement mécanique et de durabilité. L'incorporation de déchets de PET recyclé pourrait influencer ces propriétés en modifiant la densité, la résistance mécanique et l'absorption d'eau des mortiers.

Ce chapitre vise à établir un état de l'art sur les propriétés mécaniques et physiques des mortiers à base de sable de carrière et des déchets de plastique PET. Pour cela, nous présenterons les caractéristiques des matériaux utilisés, les recherches antérieures sur l'incorporation du PET dans les matériaux cimentaires et les impacts potentiels sur les performances des mortiers.

I.1 Généralité sur Les mortiers

I.1.2 Historique

L'utilisation du mortier remonte à l'Antiquité, où la chaux était un élément essentiel dans sa composition. Les Romains utilisaient du mortier à base de chaux et de sable, et ont développé le **mortier de tuileau** en y ajoutant des fragments de briques et de tuiles pour améliorer ses propriétés.

Les Égyptiens, quant à eux, excellaient dans l'utilisation du mortier de plâtre, tandis que les Grecs et les Romains ont perfectionné les techniques du mortier de chaux pour renforcer la solidité des constructions.

Au Moyen Âge, le ralentissement économique a freiné l'innovation dans ce domaine. Cependant, le XVIII^e siècle a vu l'émergence des liants hydrauliques modernes, ouvrant la voie, au XIX^e siècle, à l'invention du **ciment Portland**, marquant une révolution dans les matériaux de construction. (Galindo et al. 1995) [1]

I.1.3 Définition

Le mortier est l'un des matériaux fondamentaux dans la construction. Il est utilisé pour lier les éléments de la structure, renforcer leur cohésion et combler les espaces vides entre les unités de construction. Il est généralement composé d'un mélange de sable, d'eau et d'un liant tel que le ciment ou la chaux, avec la possibilité d'ajouter certains additifs en fonction des exigences d'utilisation et de la nature de l'ouvrage. (Palomo et al. 2002) [2]

I.1.4 Constituants des mortiers

Les mortiers sont constitués par des mélanges de :

(Liant + sable) + Eau = mortier

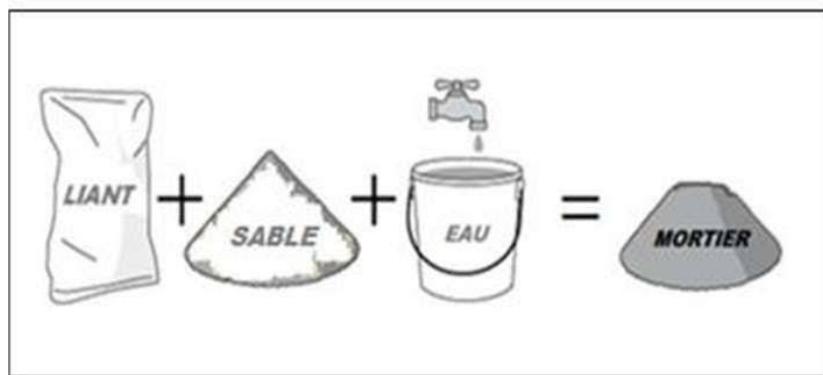


Figure I.1 : Constituants des mortiers [3]

I.1.5 Le Liant

Les liants hydrauliques, tels que le ciment et la chaux, jouent un rôle essentiel dans l'amélioration des propriétés mécaniques et de la durabilité des matériaux de construction. Le ciment, matière pulvérulente composée de silicates et d'aluminates, est obtenu par cuisson et se décline en plusieurs types, notamment les ciments normalisés (gris et blanc) et les ciments spéciaux (alumineux, prompt, etc.). En parallèle, d'autres liants comme les chaux hydrauliques naturelles, les chaux éteintes et les liants de maçonnerie sont également utilisés en fonction des exigences spécifiques des ouvrages. Par ailleurs, l'incorporation d'additifs, tels que la fumée de silice (Behmanesh, 2008) [4].



Figure I.2 : Le Liant [5]

I.1.6 Le sable

Le sable désigne l'ensemble des granulats de fraction 0/D, conformes aux normes NF P 18-101 et NF P 18-301. Il peut être d'origine naturelle, provenant de dépôts alluvionnaires ou de ballastières, ou artificielle, issu du concassage de roches massives ou détritiques.

Matériau essentiel en génie civil, notamment dans la fabrication du béton et du mortier, le sable présente des propriétés granulaires variables en fonction de son origine géologique et de ses conditions de formation. (Amey et al. 2014) [6]

Aucune exigence granulaire spécifique n'est requise pour la fabrication du béton de sable. Ainsi, différentes catégories de sable peuvent être employées, qu'il s'agisse de sables fins homogènes (comme les sables de dune), de sables alluvionnaires de granulométrie moyenne à grossière, ou encore de sables issus du concassage (0/D). Toutefois, la propreté du sable constitue un critère déterminant pour son utilisation.

Bien que des études aient été menées sur l'utilisation des sables contaminés, aucune application concrète n'a été réalisée avec ces matériaux. En effet, les sables riches en fines naturelles nécessitent une quantité accrue d'eau de gâchage, ce qui compromet la résistance mécanique du béton. Il est donc préférable, à ce stade, de privilégier les sables propres, conformément aux pratiques en vigueur pour la fabrication des bétons conventionnels.

❖ Classification des Sables Selon Leur Origine

Les sables peuvent être classés en fonction de leur provenance : (Almeida .2020) [7]

- **Sable de rivière** : Issu du dragage des lits des cours d'eau, ce sable est généralement propre et dur, ce qui le rend adapté à la fabrication du béton.

- **Sable de mer** : Collecté sur les côtes maritimes, ce sable nécessite un lavage préalable afin d'éliminer les sels qu'il contient. De plus, sa granulométrie ne doit pas être excessivement fine pour être utilisé dans le béton.
- **Sable de carrière** : Provenant du concassage de roches, il contient souvent de l'argile, qui enrobe les grains et nuit à leur adhésion avec les liants. Son utilisation dans le béton est donc déconseillée.
- **Sable artificiel** : Obtenu par le concassage de roches dures (calcaires, grès, etc.), ce sable contient une forte proportion de fines, ce qui peut nuire aux performances du béton. Il est ainsi nécessaire de limiter la teneur en fines pour garantir son efficacité.
- **Sable de dune** : Il s'agit d'une variante des sables marins, caractérisée par une granulométrie très fine. Ces sables sont principalement présents dans les régions présahariennes du sud du pays. Seuls les sables issus des dunes continentales sont retenus pour les applications en génie civil, car ils forment des accumulations homogènes de grains fins.

➤ Rôle du Sable dans le Mortier

Le sable joue un rôle fondamental dans la composition du mortier, en contribuant à : (Chanvillard & Basuya, 1996) [8]

- Réduire le coût de revient du mortier, en remplaçant partiellement le liant.
- Optimiser la prise du liant aérien, en facilitant son durcissement.
- Limiter le retrait du mortier, réduisant ainsi le risque de fissuration. Cette propriété est due au caractère incompressible du sable, qui diminue les effets du retrait au cours du séchage.

I.1.7 Sable carrière

Le sable de concassage est un matériau granulaire obtenu par le découpage et le broyage de grandes roches extraites des carrières. Contrairement aux granulats naturels, dont les particules sont généralement plus rondes et présentent des surfaces lisses, les grains issus du concassage sont plus anguleux et possèdent des surfaces rugueuses, ce qui influence leur comportement dans les mélanges de construction.

Les propriétés générales du sable de concassage, notamment sa morphologie, sa dureté, sa densité, sa stabilité physique et chimique, ainsi que sa couleur, varient en fonction de la nature géologique de la roche d'origine et du processus d'extraction.

Dans une perspective de substitution du sable de rivière en construction, la poussière de carrière est considérée comme une alternative viable. Certains types de roches, tels que le charnockite et le gneiss granitique, sont particulièrement adaptés à cet usage en raison de leur faible teneur en mica, qui améliore la qualité du matériau (Lanka, 2006). [9]

Cette alternative constitue une solution prometteuse pour pallier la raréfaction des ressources naturelles tout en garantissant des performances satisfaisantes dans les applications du génie civil.

I.1.8 Utilisation des sables de concassage dans le béton

Cette recherche vise à analyser l'impact du taux de fillers présents dans les sables de concassage sur les propriétés mécaniques des bétons entièrement calcaires. Afin d'assurer la fiabilité des résultats et d'éviter toute source d'erreur, les bétons étudiés ont été fabriqués en utilisant les mêmes gravillons et le même sable, issus d'une même production.

Par ailleurs, il est essentiel que les exploitants de carrières adaptent leurs procédés de production du granulat, afin de fournir des sables de concassage adaptés aux formulations de béton. Cela peut impliquer une révision des pratiques industrielles traditionnelles, voire une adaptation aux spécifications techniques en vigueur, afin d'optimiser l'utilisation de ces matériaux dans le domaine du génie civil. (Imen, & Mongi, 2013) [10]

I.1.9 L'eau de gâchage

L'eau de gâchage joue un rôle essentiel dans la fabrication du béton et du mortier, en contribuant à l'hydratation du ciment et à l'amélioration de l'ouvrabilité. Elle doit être propre et exempte d'impuretés ; l'eau potable est toujours adaptée, tandis que l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé.

Une étude menée à Antsirabe, à Madagascar, a montré que l'utilisation d'eaux minérales peut avoir des effets variables sur la résistance du béton, selon leur composition chimique. La norme NA-442 définit les caractéristiques requises pour l'eau de gâchage, en insistant sur l'importance de doser l'eau de manière à assurer une bonne ouvrabilité sans compromettre la résistance ni la durabilité. [11]

I.1.10 Le rôle d'utilisation de mortier

Le mortier est un matériau de construction essentiel en génie civil. Il est principalement utilisé pour lier les éléments de maçonnerie tels que les briques, les blocs ou les pierres, assurant ainsi la cohésion et la stabilité des structures. Il permet également de compenser les irrégularités des surfaces de pose et d'assurer une répartition uniforme des charges.

En plus de sa fonction de liaison, le mortier est utilisé pour le revêtement des murs (enduits), offrant une protection contre les intempéries et améliorant l'esthétique des ouvrages. Selon sa composition (ciment, chaux, sable, eau, et parfois des adjuvants), il peut être adapté à différents usages : mortiers de pose, de réparation, ou de finition.

Le choix du type de mortier dépend des exigences mécaniques, de la durabilité souhaitée et des conditions environnementales du projet. [12]

I.1.11 Différents types des mortiers

Le mortier est un matériau essentiel dans la construction, et il varie en fonction de ses composants et de ses applications. Voici une présentation des principaux types de mortiers utilisés en génie civil :

- Mortier de ciment**

Le mortier de ciment est constitué d'un mélange de ciment, de sable et d'eau. Ce type de mortier se distingue par sa grande résistance, ce qui le rend adapté à des applications dans les structures porteuses, les fondations et les environnements humides. Il est reconnu pour sa durabilité et sa capacité à supporter des charges lourdes.

- Mortier de chaux**

Le mortier de chaux est fabriqué à partir de chaux, de sable et d'eau. Il est plus flexible que le mortier de ciment et permet une bonne perméabilité à la vapeur d'eau, ce qui le rend idéal pour les bâtiments anciens ou les constructions nécessitant une bonne aération. Il est principalement utilisé pour la maçonnerie traditionnelle et les travaux architecturaux nécessitant une certaine souplesse dans la liaison.

- **Mortier bâtard**

Le mortier bâtard est un mélange de ciment et de chaux, combinant ainsi les avantages du ciment (résistance) et de la chaux (souplesse). Ce mortier est utilisé dans une variété de projets de construction qui nécessitent un équilibre entre force et flexibilité.

- **Mortier-colle**

Ce type de mortier est principalement utilisé pour la pose de carreaux ou d'éléments décoratifs sur des surfaces. Il contient souvent des adjuvants qui améliorent son pouvoir adhésif, garantissant ainsi une fixation solide et durable des matériaux de revêtement.

- **Mortier de scellement**

Le mortier de scellement est utilisé pour fixer de manière permanente des éléments comme des garde-corps, des poteaux ou des structures métalliques. Ce mortier se distingue par sa grande résistance et son durcissement rapide, ce qui le rend adapté aux travaux nécessitant un maintien immédiat.

- **Mortier réfractaire**

Le mortier réfractaire est conçu pour résister à des températures très élevées. Il est utilisé dans des installations telles que les fours, les cheminées et d'autres structures industrielles soumises à de fortes variations de température.

- **Mortier de réparation**

Ce mortier est spécialement formulé pour restaurer les structures endommagées, qu'elles soient en béton ou en maçonnerie. Il contient souvent des fibres ou des additifs chimiques pour améliorer ses propriétés et offrir un soutien renforcé aux bâtiments vieillissants ou abîmés. (HAMEL, D. E. et al. 2021) [13]

I.2 Les propriétés physicomécaniques des mortiers

I.2.1 La masse volumique

La **masse volumique** (ou densité apparente) d'un mortier est une propriété physique fondamentale qui représente la **masse par unité de volume** du matériau, généralement exprimée en **kg/m³**. Elle joue un rôle important dans le dimensionnement des structures, la

performance thermique et acoustique, ainsi que dans l'évaluation des charges permanentes sur les ouvrages. [14]

I.2.2 Porosité et absorption d'eau

La porosité influence directement l'absorption d'eau. Un mortier très poreux absorbe plus d'eau, ce qui peut affecter sa durabilité, sa résistance au gel/dégel, et sa perméabilité.

I.2.3 Résistance mécanique

La résistance à la compression constitue l'une des propriétés mécaniques les plus importantes du mortier. Elle exprime la capacité du matériau à supporter des charges sans se fissurer ni s'effondrer. Cette propriété est généralement mesurée après 7, 14 ou 28 jours de durcissement, et elle sert de référence pour évaluer la performance et la fiabilité du mortier dans les applications structurelles.

Bien que la résistance à la traction soit nettement inférieure à celle à la compression, elle demeure essentielle pour estimer la capacité du mortier à résister à l'apparition de fissures sous l'effet des efforts de traction, en particulier dans les éléments soumis à des contraintes de flexion ou de traction indirecte.

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de (4 x 4 x 16) cm³ conservés dans l'eau à 20 °C. [15]



Figure I.3 : Moule pour moulage des éprouvettes de mortier [16]

Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours).

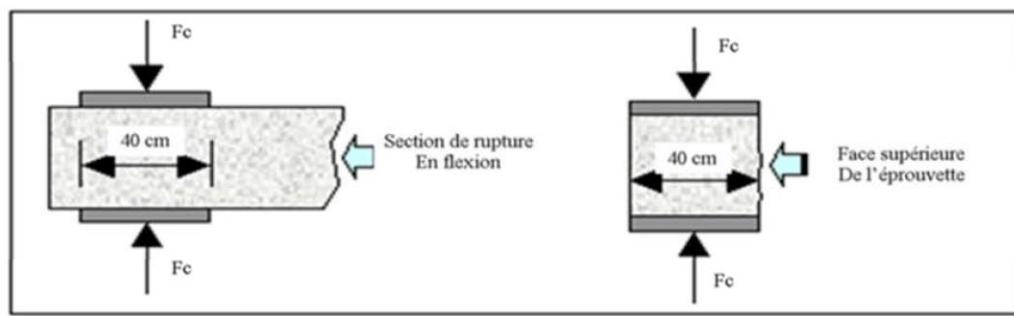


Figure I.4 : Dispositif de rupture en compression. [17]

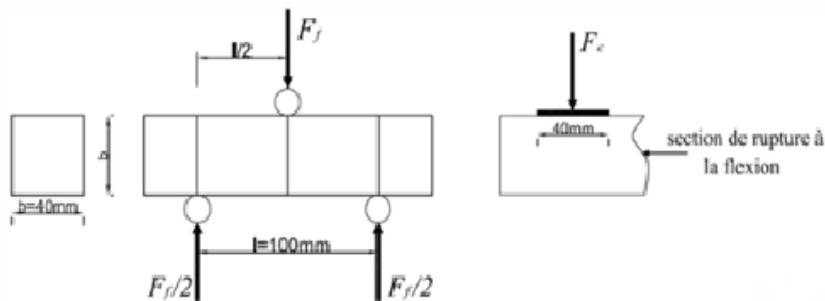


Figure I.5 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion. [18]

Les résistances mécaniques des mortiers, à l'instar de celles des bétons, sont influencées par une multitude de facteurs, parmi lesquels :

- la nature du ciment utilisé ainsi que son dosage ;
- le rapport eau/ciment (E/C) ;
- la granulométrie et la nature du sable ;
- l'énergie de malaxage et les conditions de mise en œuvre ;
- les mesures de protection adoptées durant les premiers jours de durcissement.

I.3 Préparation des mortiers

Les quantités nécessaires en fonction des dosages et des travaux à faire comme montrent tableaux ci-dessous : [19]

Sable	Ciment	Eau
Unité(g)	Unité(g)	Unité (ml)
1350	450	225

Tableau I.1 : Dosages des mortiers. [20]

- Préparer une surface de gâchage plane, propre, de dimensions suffisantes, et exempte de tout débris, notamment végétal. Cette zone doit être balayée soigneusement à l'aide d'un balai de chantier.
- Installer la bétonnière (ou l'équipement de malaxage manuel) à proximité immédiate des matériaux à utiliser.
- S'assurer de la disponibilité d'un tuyau d'alimentation en eau muni d'un robinet d'arrêt pour faciliter le contrôle du débit.
- Déposer la quantité de sable nécessaire sur l'aire de gâchage prévue à cet effet.
- Ajouter le liant (ciment ou chaux) en le répartissant uniformément sur le sable.
- Mélanger à la pelle le sable et le liant à sec, en effectuant deux à trois retournements complets afin d'obtenir un mélange homogène, de couleur uniforme.
- Former un cratère au centre du mélange sec et y verser environ les deux tiers de l'eau prévue.
- Ramener progressivement les bords du mélange sec vers le centre afin de commencer l'humidification.
- Mélanger à nouveau en répartissant l'eau, puis effectuer deux à trois retournements complets pour assurer l'homogénéité de la pâte.
- Vérifier la consistance du mortier en tranchant la surface du tas avec une pelle : si la coupe ne génère pas de cordons, ajouter un peu d'eau et homogénéiser de nouveau.
- Le mortier est prêt à l'emploi lorsqu'un lissage à la pelle fait apparaître une surface uniforme et légèrement brillante, avec une remontée d'eau en surface.

I.4 Emplois des mortiers

I.4.1 Le hourdage de maçonnerie

La construction utilisant des éléments maçonnés tels que les blocs de béton, les pierres de taille ou les briques constitue une technique fondamentale dans l'édification des ouvrages. Cette méthode nécessite l'assemblage des éléments au moyen d'un mortier possédant des caractéristiques mécaniques adéquates, lui permettant d'assurer la transmission des charges ainsi qu'une compacité suffisante pour garantir l'étanchéité. Ce procédé est appelé hourdage, où le mortier est appliqué entre les rangées d'éléments afin d'assurer une bonne adhérence, une répartition homogène des charges et un alignement horizontal et vertical des composants, garantissant ainsi la solidité et la stabilité des murs à long terme. [21]



Figure I.6 : Pose de mortier de hourdage. [22]

I.4.2 Les enduits

Les enduits sont des éléments essentiels dans la construction des bâtiments, car ils protègent les murs des intempéries et améliorent l'étanchéité ainsi que l'isolation thermique, tout en offrant un aspect esthétique. Les types d'enduits varient en fonction de leur objectif, qu'il soit de protection, décoratif ou d'adaptation des propriétés physiques du mur. Il est important de choisir les composants du mortier en fonction de la nature de la surface et de l'environnement. En plus des enduits traditionnels en trois couches, de nouveaux enduits monocouches épais et isolants ont émergé, contribuant à améliorer l'isolation thermique et la performance énergétique des bâtiments.



Figure I.7 : Enduits isolant et enduits de façade. [23]

I.4.2 Les chapes

Les chapes jouent un rôle essentiel dans la régularisation de la surface des dallages et dans leur mise à niveau. Selon leur usage, elles peuvent servir soit de couche de finition – auquel cas elles sont souvent enrichies d'additifs spécifiques – soit de support pour un revêtement de sol ultérieur. Leur conception doit garantir une résistance mécanique suffisante pour assurer la transmission des charges vers le support sous-jacent. Dans certains cas, notamment dans les environnements industriels, elles doivent également offrir une bonne résistance à l'usure et au

poinçonnement. Les chapes peuvent être posées de manière adhérente au support ou en solution flottante, et peuvent également intégrer des propriétés d'isolation thermique ou acoustique selon les besoins du projet.



Figure I.8 : Les chapes fluides et chape ciment. [24]

I.4.3 Le scellement stèles calages

La diversité des problématiques liées aux opérations de scellement et de calage a incité les fabricants de mortiers industriels à développer des formulations spécifiques, répondant aux exigences particulières de chaque type d'intervention, telles que le scellement d'éléments de couverture, de composants de second œuvre, de mobiliers urbains ou encore de regards de visite.



Figure I.9 : Les scellements. [25]

I.5 Les fibres

I.5.1 Introduction

Les fibres sont considérées comme des additifs essentiels dans le domaine du génie civil, car elles contribuent à l'amélioration des propriétés mécaniques du béton, notamment en ce qui concerne la résistance à la traction et la limitation des fissures. Toutefois, leur utilisation dans les applications structurelles est soumise à un ensemble de contraintes techniques et réglementaires visant à garantir la sécurité et la qualité des ouvrages. Parmi ces limitations, il convient de souligner que les fibres ne peuvent en aucun cas se substituer totalement aux armatures métalliques traditionnelles, sauf dans des cas particuliers définis par des études d'ingénierie précises. Elles sont plutôt utilisées comme éléments complémentaires, permettant d'améliorer le comportement du béton face aux fissures et aux chocs, sans remplacer les systèmes d'armature de base. (Mesbah, H. 1997) [26].

Amélioration du comportement des mortiers à base de granulats recyclés par adjonction de fibres.

I.5.2 Définition des fibres

Les fibres sont des matériaux filamenteux, d'origine naturelle ou synthétique, incorporés dans le béton ou le mortier afin d'améliorer leurs propriétés mécaniques, telles que la résistance à la traction et à la flexion, tout en réduisant la formation de fissures dues au retrait ou aux charges appliquées, ce qui contribue à renforcer la durabilité et la performance à long terme des matériaux de construction. (Prabhu, G. et all 2016) [27].

I.5.3 Différents types de fibres

En génie civil, les fibres sont ajoutées au béton ou au mortier pour améliorer leurs propriétés mécaniques et leur durabilité. Le choix du type de fibre dépend des exigences structurelles, des conditions d'exposition et de la rentabilité.

❖ Fibres métalliques (en acier)

- Utilisées pour augmenter la résistance à la traction, la ductilité et la résistance aux chocs.
- Courantes dans les dallages industriels, éléments minces, tunnels, et bétons projetés.
- Peuvent remplacer partiellement l'armature traditionnelle dans certaines applications spécifiques.



Figure I.10 : fibre d'acier (<https://hsamaterial.com/wp-content/uploads/2023/03/Galvanized-Steel-Fiber.jpg.webp>)

❖ **Fibres de verre**

- Fournissent une bonne résistance mécanique et une résistance chimique, particulièrement avec la version résistante aux alcalins (AR).
- Employées dans les éléments préfabriqués, bétons décoratifs, et réparations structurelles.
- Nécessitent une protection dans les environnements très agressifs pour éviter la dégradation.



Figure I.11 : fibre de verre [28].

❖ **Fibres synthétiques (polymères)**

- Types : polypropylène (PP), nylon, polyéthylène (PE), PVA.
- Utilisées pour réduire la fissuration plastique et améliorer la durabilité.
- Légères, non corrosives, faciles à distribuer dans la masse.

- Idéales pour les bétons soumis à des cycles thermiques ou dans des environnements humides.



Figure I.12 : Fibres synthétiques [29].

❖ Fibres de carbone

- Très haute résistance et rigidité.
- Parfaites pour le renforcement structurel, notamment dans les projets de réhabilitation ou les zones sismiques.
- Coût élevé, réservées à des applications nécessitant des performances exceptionnelles (résistance aux charges élevées et à la corrosion).



Figure I.13 : Fibres de carbone [30].

❖ Fibres naturelles

- Exemples : chanvre, lin, coco, bambou, paille.
- Utilisées dans des matériaux de construction écologiques ou bio sources.
- Fournissent une bonne isolation thermique et acoustique.

- Recommandées pour des projets de construction durable ou à faible impact environnemental.



Figure I.14 : Fibres naturelles [31]

Revetement-Sols.net. (2019, 25 novembre). *Les fibres végétales*.

❖ Fibre en plastique

On les trouve sous des formes et des dimensions diverses. Parmi les fibres les plus utilisées dans le renforcement des matériaux du Génie Civil et les Travaux Publics on peut citer : Les fibres de polypropylène, d'amiantes, de carbone, de verres, les fibres végétales et métalliques. Ils existent les mono filaments PET qui peuvent être soit signalables, soit non flagellables, droits ou sertis, avec différents profils et diamètres, allant de 0,12 mm à 2,00 mm.

I.5.4 Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres

I.5.4.1 Caractéristiques physiques

❖ Densité (masse volumique)

- Fibres naturelles : généralement comprises entre 1,2 et 1,5 g/cm³.
- Fibres synthétiques : varient selon le type, par exemple, le polypropylène autour de 0,9 g/cm³.
- Fibres de carbone : environ 1,75 g/cm³.

❖ Diamètre

- Varie selon le type de fibre et son traitement, influençant la surface spécifique et l'adhérence à la matrice.

❖ Hydrophile / Absorption d'humidité

- Fibres naturelles : tendance à absorber l'humidité, ce qui peut affecter la durabilité.
- Fibres synthétiques : généralement hydrophobes, offrant une meilleure résistance à l'humidité.

I.5.4.2 Caractéristiques mécaniques

❖ Résistance à la traction

- Fibres de carbone : très élevée, pouvant dépasser celle de l'acier.
- Fibres naturelles : varient selon le type, par exemple, le lin présente une bonne résistance.
- Fibres synthétiques : dépendent du polymère utilisé, le Kevlar étant particulièrement résistant.

❖ Module d'élasticité (rigidité)

- Fibres de carbone : très rigides, avec un module élevé.
- Fibres naturelles : moins rigides, mais suffisantes pour certaines applications.

❖ Allongement à la rupture

- Fibres naturelles : généralement faible, indiquant une rupture rapide après la limite élastique.
- Fibres synthétiques : peuvent présenter un allongement plus important, offrant une certaine ductilité. (Pelisser, F., et al. 2012) [32].

I.5.5 Critère de choix du type de fibres

Dans le domaine du génie civil, le choix du type de fibres à incorporer dans le béton armé repose sur une analyse approfondie des exigences du projet, notamment les performances mécaniques souhaitées, les conditions environnementales, la compatibilité avec le type de béton utilisé, ainsi que les considérations économiques et écologiques. Les fibres métalliques ou synthétiques sont privilégiées pour limiter la fissuration et améliorer la résistance aux chocs et à l'usure, tandis que les fibres polymères sont adaptées aux environnements humides ou soumis au gel/dégel. Il est essentiel d'assurer la compatibilité entre les fibres et la matrice béton pour garantir une mise en œuvre efficace. Le coût des fibres et leur impact environnemental,

notamment l'utilisation de fibres bio sources comme le chanvre ou le lin, doivent également être pris en compte, bien que leur durabilité soit généralement inférieure à celle des fibres traditionnelles.

I.5.6 Le rôle des fibres

Les fibres ont pour rôle principal de s'opposer à la propagation des microfissures.

Selon les fibres utilisées (forme et nature) et les ouvrages auxquels elles sont incorporées, ce rôle se traduit aussi par des améliorations relatives a : [33]

- la cohésion du béton frais ;
- la facilité de moulage ou de mise en place dans le coffrage ;
- La déformabilité avant rupture ;
- la résistance à la traction par flexion ;
- la ductilité et la résistance post-fissuration ;
- la limitation de la fissuration due au retrait ;
- La répartition homogène de la fissuration ;
- La résistance aux chocs ;
- la résistance à la fatigue ;
- La résistance à l'usure ;
- La résistance à l'abrasion ;
- la tenue au feu ;
- La capacité à absorber de l'énergie.

I.6 Généralités sur les déchets plastiques PET

Depuis ces vingt dernières années, les déchets en matières plastiques représentent une part importante des déchets solides municipaux. De plus, ils posent un sérieux problème à cause de leur durée de vie, leur quantité et parce que ce sont des déchets voyants. Leur gestion est donc nécessaire que ce soit d'un point de vue environnemental, économique ou social.

La consommation des matières plastiques ne cessent d'augmenter dans le monde y compris dans l'Algérie, et cela à cause de leur utilisation dans divers domaines : emballage, automobiles, construction...etc. Ces matières génèrent après utilisation un grand volume de déchets dans les décharges. (Jacques, H. 2018) [34]



Figure I.15 : les déchets plastiques [35]

I.6.1 Définition des PET

Le polyéthylène téréphthalate (PET) est un polymère thermoplastique de la famille des polyesters, obtenu par polycondensation de l'acide téréphthalique avec l'éthylène glycol. Apprécié pour sa légèreté, sa transparence et sa résistance à l'humidité, le PET est largement utilisé dans la fabrication de bouteilles de boissons, de récipients alimentaires et de fibres textiles. Sa structure chimique lui confère une résistance élevée aux chocs et une bonne barrière contre les gaz, ce qui le rend particulièrement adapté aux emballages alimentaires. De plus, le PET est reconnu pour sa recyclable, permettant de réduire la dépendance aux ressources fossiles et l'empreinte carbone. Cependant, une gestion inadéquate des déchets en PET peut entraîner une pollution significative des écosystèmes terrestres et marins, soulignant la nécessité d'une gestion rigoureuse de ces déchets. (Márquez-Domínguez, et al 2018) [36]



Figure I.16 : les déchets PET [35]

L'Algérie Aujourd'hui. (2022, 14 octobre). *Collecteurs de bouteilles en plastique, ce nouveau phénomène en vogue.*



Figure I.17 : les types PET [37]

Le polyéthylène téréphtalate (PET) est un polymère thermoplastique de la famille des polyesters, largement utilisé dans les emballages alimentaires, les textiles et les applications industrielles. Il existe plusieurs types de PET, chacun présentant des caractéristiques spécifiques adaptées à divers usages : (Füzessey, S. 1997) [37]

I.6.2 Différents types des PET

- **PETG (PET modifié au glycol)**

Le PETG est une version modifiée du PET, obtenue par l'ajout de glycol lors de la polymérisation. Cette modification améliore la résistance aux chocs et la flexibilité tout en conservant une bonne transparence. Le PETG est couramment utilisé dans la fabrication de bouteilles, de contenants et de pièces techniques nécessitant une robustesse accrue.

- **RPET (PET recyclé)**

Le RPET est produit à partir de déchets post-consommation, tels que les bouteilles en plastique, qui sont collectés, nettoyés et retraités. Ce processus contribue à la réduction de la consommation de matières premières vierges et à la diminution des déchets plastiques, favorisant ainsi une économie circulaire.

- **APET (PET amorphe)**

L'APET est une forme non cristalline du PET, obtenue par un refroidissement rapide qui empêche la formation de structures cristallines. Il en résulte un matériau transparent avec une excellente clarté, idéal pour les applications nécessitant une haute transparence, comme les emballages alimentaires.

- **Fibres de PET**

Les fibres de PET sont extrudées pour être utilisées dans l'industrie textile, notamment dans la fabrication de vêtements, de tapis et de tissus d'ameublement. Elles sont appréciées pour leur durabilité, leur résistance aux plis et leur facilité d'entretien.

- **PET biodégradable**

Le PET biodégradable est une innovation récente visant à accélérer la dégradation du matériau dans des conditions de compostage, offrant une alternative plus écologique au PET traditionnel. Bien qu'il partage de nombreuses propriétés avec le PET standard, sa capacité à se décomposer plus rapidement en fait un choix privilégié pour les industries soucieuses de l'environnement.

I.6.3 Avantages et inconvénients des matières plastiques

I.6.3.1 Avantages des matières plastiques

La croissance de l'utilisation du plastique est due à ses propriétés bénéfiques, qui comprennent sa polyvalence extrême et sa capacité d'adaptation pour répondre aux besoins techniques spécifiques, caractériser par un poids plus léger que les matériaux concurrents réduisant ainsi la consommation de carburant pendant le transport, notamment il assure une bonne sécurité et d'hygiène pour les emballages alimentaires avec une longévité et durabilité élevé, connu aussi par sa résistance aux produits chimiques, à l'eau et à l'impact des chocs, et une excellentes propriété d'isolation thermique et électrique. Sa capacité de combiner avec d'autres matériaux comme l'aluminium, du papier, adhésifs a fait du plastique un matériau de choix pour l'utilisation, notamment avec son faible coût de production.

I.6.3.2 Inconvénients des plastiques

La production du plastique comprend également l'utilisation des produits chimiques potentiellement nocifs, qui sont ajoutés comme stabilisateurs ou colorants. Beaucoup d'entre eux n'ont pas subi une évaluation des risques environnementaux et leur impact sur la santé humaine et l'environnement, sont actuellement incertain, à titre d'exemple les phtalates, qui sont employés dans la fabrication de PVC. L'élimination des produits plastiques contribue également de manière significative sur leur l'impact environnemental, Parce que la plupart des plastiques prennent beaucoup de temps pour se décomposer, probablement pouvant aller jusqu'à

des centaines d'années, bien que personne ne sache avec certitude que les plastiques ne durent pas longtemps quand ils sont mis en décharge.

I.7 Conclusion

Le mortier est un matériau essentiel largement utilisé dans le domaine de la construction. Sa composition varie selon les besoins, ce qui lui permet de se décliner en différents types, chacun étant adapté à des structures et des usages spécifiques.

Les déchets représentent l'un des défis environnementaux majeurs, menaçant l'équilibre biologique et ayant des répercussions négatives sur diverses activités humaines. Dans ce contexte, il devient impératif d'adopter des solutions durables et efficaces pour atténuer leurs impacts. Parmi ces solutions, la valorisation des déchets dans des domaines tels que le génie civil offre une alternative prometteuse, notamment dans les régions confrontées à une pénurie de ressources naturelles comme les granulats.

Aussi L'ajout de fibres dans le mortier permet d'augmenter la densité du matériau. Il bénéficie d'une meilleure résistance à la compression et à la traction, et il est moins sujet aux risques de fissurations lors de la phase de retrait et au service.

Chapitre II

Caractérisation des matériaux et techniques expérimentales

II. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons une étude approfondie des propriétés des matériaux de base utilisés dans la fabrication du mortier, en mettant l'accent sur le sable de carrière et les déchets plastiques recyclés. La caractérisation expérimentale de ces matériaux a été réalisée dans les laboratoires de l'Université Mohamed Khider de Biskra, en suivant des protocoles rigoureux pour évaluer leurs propriétés physiques et mécaniques.

Les analyses ont inclus des tests tels que la granulométrie pour déterminer la distribution des tailles de particules, des essais de résistance à la compression et à la flexion, ainsi que des mesures d'absorption d'eau et de densité. Ces tests ont été effectués conformément aux normes internationales, telles que la NF EN 933-1 pour l'analyse granulométrique et la NF EN 1097-6 pour la mesure de la densité.

Concernant le sable, des paramètres tels que la courbe granulométrique. La densité apparente et la teneur en impuretés ont été évalués. Les déchets plastiques ont été caractérisés en fonction du type de polymère, de la taille et de la forme.

Une méthodologie de formulation du mortier a été développée en utilisant différentes proportions de sable et de déchets plastiques, tout en maintenant un rapport eau/ciment constant. Les échantillons obtenus ont été soumis à des tests pour évaluer leurs propriétés mécaniques et physiques, permettant ainsi d'étudier l'effet de l'incorporation des déchets plastiques sur le comportement du mortier.

Les résultats indiquent que l'intégration des déchets plastiques dans le mortier peut améliorer certaines propriétés, telles que la réduction du poids, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives pour l'utilisation de ces matériaux dans la construction durable.

II.1 Matériaux utilisés

- ❖ Sable de carrière 0/4
- ❖ Ciment
- ❖ L'eau
- ❖ Déchets plastiques (fibre)

II.2 Caractérisation des matières utilisées

II.2.1 Sable

II.2.1.1 Origine du sable

Le sable utilisé dans cette recherche expérimentale est du sable de carrière 0/4 provenant de la carrière Mechta Tifraint située dans la région d'Ain Touta de la province de Batna.



Figure II.1 : Le sable utilisé

II.2.1.2 Caractéristiques physiques du sable utilisé

II.2.1.3 Masse spécifique (absolue) : NF P 18-554/EN 1097-6 [42].

C'est la masse de l'unité de volume de la substance, c'est-à-dire le rapport entre sa masse et son volume absolu

❖ But de l'essai

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons. Ce paramètre permet. En particulier. De déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

❖ Mode opératoire

La densité absolue du sable est déterminée à l'aide d'un récipient de 1000 ml. Nous prenons un échantillon de masse 300 grammes.

L'échantillon est placé dans un bécher de 1000 ml et 400 ml d'eau préalablement préparée sont introduits dans le deuxième bécher, puis le contenu est bien mélangé pour éliminer l'air éventuellement présent. Après ce processus, le volume final occupé par le mélange de sable et d'eau est déterminé. En supposant que ce volume soit (V_2) et sachant que le volume de l'eau préparée est connu (V_1), il sera facile de déterminer le volume occupé par le sable seul. La densité absolue du sable est déterminée par la formule suivante :

$$\rho_{abs} = \frac{M}{V_2 - V_1} \quad (\text{II.1})$$

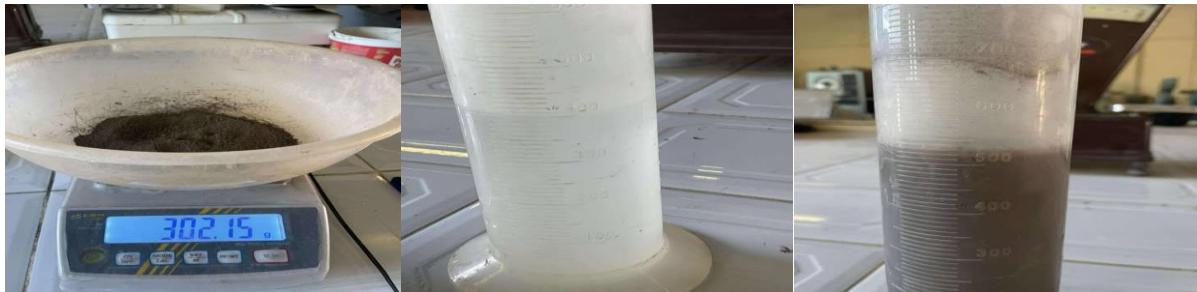


Figure II.2 : Essai de détermination de la masse volumique absolue.

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

Tableau II.1 : Masse volumique absolue du sable

N° d'essai	M(g)	V_1 (ml)	V_2 (ml)	ρ_{abs} (g/cm ³)
01	300	400	530	2,307
02	300	400	518	2,542
03	300	400	523	2,439

- ❖ M : masse du sable
- ❖ V_1 : volume du l'eau
- ❖ V_2 : volume du l'eau + sable
- ❖ ρ_{abs} : la masse volumique

$$\rho_{abs}(\text{moyenne}) = \frac{2,542 + 2,439}{2} = 2,489$$

La masse volumique absolue du sable c'est : $\rho_{abs} = 2,489 \text{ g/cm}^3$

II.2.1.4 Masse volumique apparente : NFP 94-054 [43].

La masse volumique apparente est définie comme la masse par unité de volume d'un matériau, incluant à la fois la matière solide et les vides inters granulaires, sans tenir compte des éventuelles porosités internes aux grains eux-mêmes.

- ❖ **But de l'essai**

L'objectif de cette étape est de déterminer la masse volumique apparente du matériau dans son état naturel, en prenant en compte les vides inters granulaires présents dans sa structure.

❖ Mode opératoire

1. Sécher l'échantillon de sable au four à $110 + 5^\circ\text{C}$ pendant 24 heures, puis le laisser refroidir à température ambiante
2. Peser le récipient vide, noter cette masse comme M_1
3. Remplir doucement le récipient avec le sable sec, sans. tasser ni vibrer, à l'aide d'un entonnoir
4. Aplanir la surface supérieure du sable à l'aide d'une règle, sans compacter
5. Peser le récipient plein de sable, noter cette masse comme M_2
6. Calculer la masse du sable introduit : $m_{sable} = M_2 - M_1$
7. Déterminer la masse volumique apparente à l'aide de la formule :

$$\rho_{apparente} = \frac{M_2 - M_1}{V_{récipient}} \quad (\text{II.2})$$



Figure II.3 : Test pour déterminer la densité apparente en laboratoire

Le tableau ci-après présente les résultats obtenus au terme d'essai :

Tableau II.2 : Masse volumique apparente du sable de carrière

N° d'essai	$M_1(\text{g})$	$M_2(\text{g})$	$\rho_{app} (\text{g/cm}^3)$	$\rho_{appmoy} (\text{g/cm}^3)$
01	299,90	1718,40	1,4185	1,4184
02	299,90	1716,46	1,4165	
03	299,90	1720,33	1,4204	

La masse volumique apparente du sable est : $\rho_{apparente}(\text{g/cm}^3) = 1,4184$

II.2.1.5 Equivalent de sable (NF EN 933-8) [44].

❖ Le but d'essai

Ce test a pour objectif de séparer les fines particules présentes dans le sol des grains de sable plus grossiers. La méthode normalisée permet de déterminer le *coefficient d'équivalent de sable*, utilisé comme indicateur de la propreté du sol en évaluant la proportion de particules fines ou argileuses.

❖ Mode opératoire

- Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à 500 grammes).
- Prenez un poids de 120 grammes.
- Remplissez le tube à essai avec la solution jusqu'au premier repère (10 cm).
- À l'aide de l'entonnoir, versez l'échantillon à tester (120 g) dans le tube à essai et agitez-le vigoureusement plusieurs fois avec la paume de la main pour éliminer toutes les bulles d'air et favoriser l'hydratation de l'échantillon.
- Laissez agir 10 minutes.
- Fermez le tube à essai à l'aide du bouchon en caoutchouc et imprimez 90 cycles de 20 cm de piste horizontale en 30 secondes manuellement à l'aide d'un entraînement mécanique.
- Retirez ensuite le bouchon, rincez-le avec la solution et versez-la sur le tube à essai.
- Ensuite, j'ai rincé ses parois.



Figure II.4 : Agitateur mécanique

Après l'agitation initiale et le repos de l'échantillon, introduisez délicatement le tube laveur jusqu'au fond de l'éprouvette graduée, en veillant à traverser la couche de sable sédimentée.

Maintenez l'éprouvette en position verticale et effectuez une rotation lente du tube entre le pouce et l'index, tout en appliquant un léger mouvement de piquage. Cette opération a pour objectif de laver le sable et de favoriser la remontée des particules fines et argileuses en suspension.

Poursuivez cette manipulation jusqu'à ce que le niveau de la solution atteigne le deuxième repère gravé sur l'éprouvette. Une fois ce niveau atteint, retirez lentement le tube laveur tout en maintenant le niveau de la solution au repère supérieur. Laissez ensuite l'éprouvette au repos pendant 20 minutes, afin de permettre la sédimentation des particules en suspension.

Cette étape est essentielle pour assurer une séparation efficace des particules fines et garantir la fiabilité des résultats de l'essai d'équivalent de sable.



Figure II.5 : Repos de 20 min pour les éprouvettes

➤ **Equivalent de sable visuel (ESV)**

- Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h_1 du niveau supérieur du floculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une réglette.
- Mesurer également avec la règle la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette

$$\text{ESV} = \frac{H_2}{H_1} \times 100 \quad (\text{II.3})$$

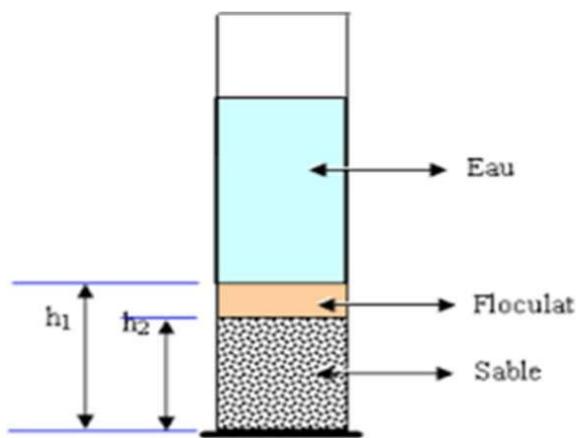


Figure II.6 : Essai d'équivalent de sable

➤ **Equivalent de sable piston (ESP)**

- Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'ire pose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.
- Introduire le réglet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit h_2 la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$\text{ESP} = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \quad (\text{II.4})$$

Tableau II.3 : Valeurs souhaitables de l'équivalent des sables

E.S. à vue	E.S. pitons	Nature et qualité du sable
E.S.<65	E.S.<65	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité
$65 \leq E. S. < 75$	$75 \leq E. S. < 85$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait
$75 \leq E. S. < 85$	$75 \leq E. S. < 85$	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité

		(valeur optimale E.S. piston=75 ; E.S. à vue=80)
E.S. \geq 85	E.S. \geq 85	Le sable très propre : l'absence presque totale de fines Argileuses risque d'entrainer un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau



Figure II.7 : Essai d'équivalent de sable carrière

Les résultats sont regroupés sur le tableau suivant :

Tableau II.4 : Les résultats d'équivalent du sable utilisé

L'éprouvette	H_1 (cm)	H_2 (cm)	ES %	ES_{moy} %
01	11,8	8,7	73,72	74,14
02	11,8	8,8	74,57	

ESP moye= 74,14%

Nous pouvons conclure que le sable de carrière que nous utilisons est du sable pur.

II.2.1.5 Analyse granulométrique : NA EN 933-1 [45].

L'analyse granulométrique est un test utilisé pour séparer les matériaux en différentes catégories granulaires à l'aide d'une série de tamis à mailles de taille décroissante, dont le nombre et les dimensions sont déterminés en fonction du type d'échantillon et de la précision souhaitée. Les masses des matériaux passant ou restant sur chaque tamis sont rapportées à la masse totale de l'échantillon, et les résultats sont présentés sous forme de tableaux ou de graphiques. Ce test est principalement utilisé en génie civil pour analyser la distribution granulométrique des granulats naturels ou artificiels utilisés dans la construction.

L'analyse granulométrique permet de déterminer les dimensions des grains et les proportions de grains de même dimension (% pondéral).

Elle comprend deux opérations :

- Tamisage
- Sédimentation

La granularité est exprimée par une courbe granulométrique qui donne la répartition de la dimension moyenne des grains, exprimée sous forme de pourcentage du poids total du matériau.

❖ Mode opératoire

Le mode opératoire décrit dans la norme comprend les étapes suivantes :

1. **Préparation de l'échantillon** : Sécher l'échantillon à une température de 105 ± 5 °C jusqu'à obtention d'une masse constante.
2. Montage de la colonne de tamis : Assembler une série de tamis à mailles carrées de dimensions décroissantes, conformément à la norme NF EN 933-2.
3. Chargement de l'échantillon : Verser l'échantillon sec sur le tamis supérieur de la colonne.
4. Tamisage : Soumettre la colonne de tamis à une agitation mécanique ou manuelle pendant une durée déterminée pour permettre la séparation des particules selon leur taille.
5. Pesée des refus : Après le tamisage, peser la quantité de matériau retenue sur chaque tamis.

6. Calculs et représentation graphique : Calculer les pourcentages en masse des fractions granulométriques et tracer la courbe granulométrique correspondante.

La norme précise également les masses minimales d'échantillons à utiliser en fonction de la taille maximale des granulats

❖ **Le but de l'essai**

Le but de l'analyse granulométrique est de déterminer la répartition des différentes tailles de grains dans un échantillon de granulat. Cette information est essentielle pour caractériser le matériau, adapter sa composition aux exigences d'un projet donné, et garantir ses performances mécaniques. Elle permet également de vérifier la conformité du granulat aux normes techniques en vigueur et d'optimiser son utilisation dans des applications telles que le béton, les enrobés bitumineux ou les couches de fondation routière.



Figure II.8 : Les tamis

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

Tableau II.5 : Les résultats d'analyse granulométrique du sable utilisé

N° Tamis (mm)	Poids de tamis (g)	P + Refus (g)	Refus Partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus (%)	Tamisât (%)
5	635,99	0	0	0	0	100
3,15	615,14	617,94	2,8	2,8	0,14	99,86
2,50	557,88	571,08	13,2	16	0,80	99,2
1,25	500,43	1209,24	708,81	724,81	36,24	63,76

0,63	493,73	913,90	420,17	1144,98	57,24	42,76
0,315	472,77	945,97	473,2	1618,18	80,91	19,09
0,16	326,19	551,20	225,01	1843,19	92,16	7,84
0,08	326,33	394,60	68,27	1911,46	95,57	4,43
fond	452,56	473,53	20,97	1932,43	96,62	3,38

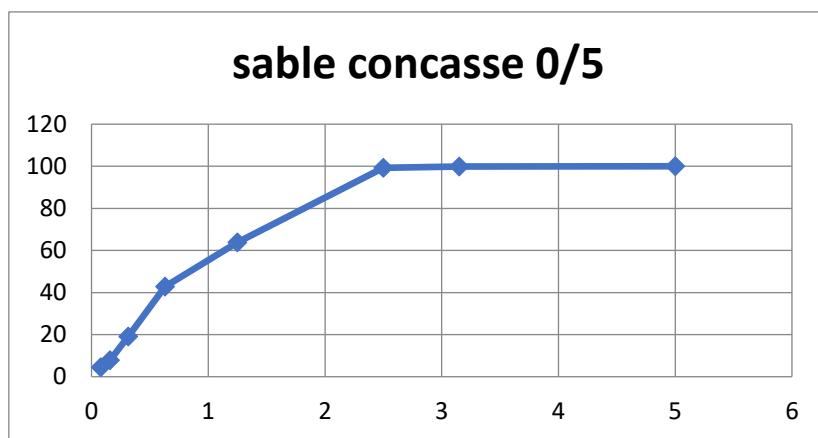


Figure II.9 La courbe granulométrique du sable utilisé

II.2.1.6 Module de finesse [NF P 18-540] [46].

- Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion.
- Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul démodule de finesse (M_f).
- Le module de finesse est d'autant plus petit que le granulat est riche en éléments fins.
- Le module de finesse est égal au 1/100e de la somme des refus cumulés exprimée en Pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5mm.
- Les normes françaises (NF P 18-540) donnent la classification suivante (tableau II.5) :

Tableau II.6 : Classification de sable en fonction du module de finesse

Qualité de sable	Module de finesse
Gros	>2.5
Moyen	2 à 2.5
Fin	1.5 à 2
très fin	1 à 1.5

❖ **Remarque :**

Le module de finesse est calculé par la relation suivante :

$$M_f = \frac{1}{100} \sum (\text{refus cumulés en \% des tamis } \{0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5\}) \quad (\text{II.5})$$

$$M_f = \frac{92,16 + 80,91 + 57,24 + 36,24 + 0,14}{100} = 2,67$$

- Sur ce classement (Tableau II.5), nous trouvons le résultat pour le sable de carrière :

Mf = 2,67 $\implies 2,67 > 2,5$ c'est sable Gros

II.3 Ciment

Un seul type de ciment a été utilisé dans le cadre de cette étude, à savoir un ciment Portland CPA CEM I 42.5.

Ce ciment a été employé pour la réalisation des structures en béton armé et provient de la cimenterie de Biskra.

Il est conforme aux normes algériennes NA 442 (NA 442, 2013) et européenne EN 197-1.

La teneur en C3A dans ce type de ciment est généralement comprise entre 7 % et 12 %, conformément aux caractéristiques du ciment Portland classique.



Figure II.10 : Biskria ciment

II.3.1 Caractéristiques de ciment CPA-CEM I

II.3.1.1 La consistance normale de ciment EN 196-3 [47].

La détermination de la consistance normale du ciment a été réalisée conformément à la norme EN 196-3, en utilisant l'appareil de Vicat. Un échantillon de **500 g de ciment** a été mélangé avec **130 g d'eau**, correspondant à un rapport eau/ciment (E/C) de **0,26**. Le malaxage a été effectué jusqu'à obtention d'une pâte homogène, ensuite introduite dans le moule cylindrique de l'appareil. L'aiguille de Vicat a été abaissée verticalement sur la pâte fraîche afin de mesurer la profondeur de pénétration. La consistance normale est atteinte lorsque l'aiguille s'enfonce à une distance de **6 ± 1 mm** du fond du moule. Dans ce cas précis, le rapport E/C de 0,26 a permis d'obtenir une consistance conforme, ce qui indique une faible demande en eau du ciment testé.



Figure II.11 : Début de prise et Fin de prise

Tableau II.7 : Consistance normal

N° de taste	Hauteur (mm)
1	39
2	37
3	21
4	17
5	14
6	13
7	9
8	5

Le tableau II.7 présente les résultats de l'essai de la consistance normale de la pâte de ciment, en indiquant les hauteurs de pénétration (en mm) pour huit essais successifs. Ces mesures permettent de déterminer la teneur en eau nécessaire pour obtenir une pâte de consistance normale conformément aux normes en vigueur.

Tableau II.8 : Début de prise

N° de taste	Temps (min)	Hauteur (mm)
1	95	0
2	115	0
3	125	0
4	130	0
5	135	0
6	140	1
7	150	2
8	160	3
9	170	4

On sait que la température du laboratoire ce jour-là était de **24 C°** degrés Celsius.

Le tableau II.8 illustre l'évolution de la pénétration de l'aiguille de Vicat dans la pâte de ciment au fil du temps, dans le but de déterminer le début de prise. Ce dernier est atteint lorsque la profondeur de pénétration devient inférieure ou égale à 4 mm, indiquant ainsi la transition de l'état plastique vers l'état rigide.

II.3.1.2 Caractéristique mécaniques et physiques du ciment utilisé :

Fiche technique du ciment CEM II/B-L 42.5N – SPA Biskria Ciment (2025).

Tableau II.9 : Caractéristiques physiques du ciment

Propriétés physiques	Valeur
Consistance normale (%)	26.5 – 26
Expansion à chaud (mm)	0.0 – 1.0
Temps de prise (min)	Valeur
Début de prise (min)	150 – 200
Fin de prise (min)	260 – 290

Tableau II.10 : Caractéristiques mécaniques du ciment

Résistance à la compression	valeur
2 jours (MPA)	15 – 25
28 jours (MPA)	42.5 – 52.5



Figure II.12 : La masse volumique de ciment absolue et apparente

Tableau II.11 : La masse volumique de ciment absolue et apparente

La masse volumique apparent	La masse volumique absolue
$\rho_c = 1,19 \text{ g/cm}^3$	$\rho_c = 3,08 \text{ g/cm}^3$

Le tableau II.11 présente les valeurs expérimentales de la masse volumique du ciment, à la fois apparente ($1,19 \text{ g/cm}^3$) et absolue ($3,08 \text{ g/cm}^3$), constituant des données essentielles pour l'analyse du comportement du matériau dans le mélange.

II.4 Eau de gâchage

Une eau potable provenant du réseau de distribution public de la wilaya de Biskra a été utilisée pour l'ensemble des opérations de gâchage, en raison de sa qualité, de sa pureté et de l'absence de substances nuisibles telles que les sels, les sulfates et les acides, susceptibles d'altérer les propriétés du béton.

II.5 PET :

II.5.1 Définition et origine des fibres plastiques utilisés

Le polymère étudié dans ce travail est celui utilisé dans la fabrication des poils de balais, généralement à base de matières plastiques telles que le polypropylène (PP) ou parfois le poly (téraphthalate d'éthylène) (PET). Ces déchets proviennent de produits usagés collectés localement, puis sont soumis à un processus de **découpage** afin d'obtenir des **fibres plastiques**, utilisées pour **améliorer les propriétés mécaniques et physiques**, dans le cadre de **l'amélioration des caractéristiques du mortier**. Ce matériau, caractérisé par une bonne résistance mécanique et une stabilité chimique, est étudié ici comme un moyen de valorisation et de contribution à l'amélioration des performances du mortier utilisé dans la construction.

II.5.2 Méthode de coupe des fibres

Les fibres plastiques extraites des poils de balais usagés ont été coupées à l'aide d'un ciseau **manuel**, afin de transformer les poils longs en fibres courtes. Dans cette étude, la **longueur**

des fibres a été fixée à 30 mm, en accord avec les exigences de la recherche. Cette méthode permet d'obtenir des fibres régulières, ce qui facilite leur mélange dans le mortier et garantit une répartition homogène, contribuant ainsi à l'amélioration des propriétés mécaniques du matériau.



Figure II.13 : Découpage des fibres plastiques extraites des poils de balais



Figure II.14 : PET utilisé

Avant son utilisation dans la fabrication du béton, le poly (téraphthalate d'éthylène) issu des **poils de balai découpés** a été soumis à des essais en laboratoire, comprenant la détermination de la masse volumique apparente et absolue.

II.5.3 Détermination de la masse volumique apparentes et la masse volumique absolus

Tableau II.13 : Tableau.II.10. Masse volumique du PET

Type de masse volumique	Plage de valeurs
Masse volumique apparente	0,60 –0,85
Masse volumique absolue	1,30 –1,35

Le tableau II.11 présente la masse volumique apparente et absolue des fibres PET utilisées, constituant des paramètres clés pour évaluer leur influence sur les propriétés du mortier. Ces valeurs permettent d'estimer la répartition de la densité dans le mélange cimentaire.

II.6 Composition de mortiers

II.6.1 Composition du mortier témoin

Tableau II.14 : La composition optimal du mortier de témoin

E/C	Sable (g/cm ³)	Ciment (g/cm ³)	Eau (gc/cm ³)
0,5	1350	450	225

II.6.2 Composition du mortier avec fibre de plastique PET

Tableau II.15 : Compositions des mortiers pour pourcentages de fibre de plastique PET.

Fibre PET%	Sable	Ciment	PET2	Eau
T (témoin) 0%	1350	450	0	225
1,5%	1339,23	450	10,77	225
2%	1335,628	450	14,372	225

Ce tableau présente la composition des trois formulations étudiées, avec des pourcentages variables de fibres PET (0 %, 1,5 % et 2 %), tout en maintenant constantes les quantités de ciment et d'eau. Le sable y est partiellement remplacé par les fibres en fonction du taux d'ajout.

II.6.3 préparations du mortier

Dans le cadre de cette étude expérimentale, trois formulations de mortier ont été élaborées afin d'analyser l'effet de l'incorporation de fibres PET recyclées issues de déchets plastiques sur les propriétés du mortier. L'échantillon témoin (T) ne contient aucune fibre et est composé de 1350 g de sable, 450 g de ciment et 225 ml d'eau.

Les deux autres formulations contiennent respectivement 1,5 % et 2 % de fibres PET, en remplaçant partiellement le sable naturel tout en maintenant une masse totale constante des constituants solides. Ainsi, la formulation à 1,5 % comprend 1339,23 g de sable et 10,77 g de PET, tandis que celle à 2 % est constituée de 1335,628 g de sable et 14,372 g de PET. Les quantités de ciment et d'eau ont été conservées identiques dans toutes les compositions afin de permettre une comparaison fiable entre les mélanges.

II.6.4 Pesage des composants du mortier

Dans un premier temps nous avons pesés individuellement tous les composants du mortier pour chaque formulation du tableau



Figure II.15 : Pesage des composants du mortier

II.6.5 Malaxage des composants du mortier

Le mortier a été préparé conformément à la norme NF EN 196-1 à l'aide d'un malaxeur normalisé de 5 litres. Le ciment est d'abord mélangé avec l'eau pendant 30 secondes à vitesse lente, puis le sable est ajouté progressivement sur une durée de 30 secondes tout en poursuivant le malaxage. Ensuite, le malaxage continue pendant 30 secondes à la même vitesse, suivi d'un arrêt de 15 secondes pour racler les parois et le fond de la cuve.

Enfin, le malaxage reprend à vitesse rapide pendant 60 secondes. Le moulage est effectué immédiatement après pour procéder aux essais.



Figure II.16 : Malaxeur électrique utilisée dans la fabrication du mortier

II.6.6 coulage des éprouvettes

Ce travail nous avons confectionnés 108 éprouvettes de dimensions (4 x 4 x 16) cm Dans des moules de dimensions respectives. (Voir figure).



Figure II.17 : Moule (4 x 4 x 16) cm.

II.6.7 Etapes de coulage des éprouvettes

Le moulage des éprouvettes a été réalisé en trois (3) étapes comme suit :

- Première étape :**

Dans un premier temps nous avons mis en place les moules puis les avons lubrifiés avec de l'huile à moteur 40 afin que le mortier ne se colle pas aux parois

des celles-ci. (Voir figure 17)



Figure II.18 : Lubrification des moules

- **Deuxième étape :**

Dans cette étape, nous versons le mortier dans le moule, puis mettons le moule dans l'appareil à chocs (Voir figure II.18 et 19).

La vibration est devenue l'une des méthodes les plus courantes pour atteindre une compacité maximale du béton en éliminant les vides d'air. Après le malaxage du mélange, le béton est versé dans des moules divisés en trois compartiments de **4 × 4 × 16 cm**. Le compactage dans le moule se fait en deux étapes, où le mélange est ajouté en deux couches, chaque couche étant soumise à **25 chocs de tassemement à l'aide de l'appareil à chocs**, afin d'assurer une bonne densité et homogénéité.



Figure II.19 : Remplir le moule et le mettre dans l'appareil à chocs

- **Troisième et dernière étape :**

Après avoir installé le moule, laissez-le vibrer sur la machine pendant environ 60 secondes, 25 fois, puis éteignez la machine.

II.6.8 Essai d'étalement sur table à secousses (conformément à la norme ISO 9812) [48].

Cet essai est destiné à évaluer la consistance des bétons très fluides, en particulier ceux contenant une forte teneur en super plastifiant. Il est à noter que le diamètre maximal des granulats utilisés ne doit pas excéder 40 mm

II.6.9 Principe de l'essai

L'essai consiste à observer l'étalement d'un cône de béton, placé sur une table vibrante, sous l'effet de son propre poids combiné à une série de secousses normalisées. Plus le diamètre d'étalement mesuré est grand, plus le béton est jugé fluide et facile à mettre en œuvre.

Tableau II.16 : Test de l'étalement du mélange de mortier pour chaque mélange

N°	Mélange témoin	Mélange 1,5 % Fibre	Mélange 2 % Fibre
	Diamètre (cm)		
28 J	12	11,25	10,5
7 J	11,75	11	10,5



Figure II.20 : Test de l'étalement

II.6.10 Démoulage et conservation des éprouvettes

Après 24 h les éprouvettes sont démoulées, et immergées dans un bassin d'eau une durée de 28 jours



Figure II.21 : Démoulage des éprouvettes



Figure II.22 : Étiquetez les tubes à essai qui seront immergés dans le réservoir d'eau 28_J

II.7 Les essais réalisés

II.7.1 Essai physique

II.7.1.1 Essai la Masse Volumique apparente sèche

La masse volumique des mortiers légers constitue l'une des caractéristiques physiques les plus déterminantes. Elle permet de classer le matériau et de définir ses domaines d'application, notamment dans les secteurs de l'isolation thermique, de la préfabrication légère ou encore des ouvrages non porteurs.

La masse volumique est définie comme le rapport entre la masse sèche de l'échantillon et son volume apparent à l'état sec. Les échantillons de mortier durci ont été conservés pendant 28 jours, puis séchés dans une étuve à une température d'environ 105 °C jusqu'à l'obtention d'une

masse constante (voir Figure II.21). Cette opération permet d'éliminer toute trace d'humidité afin de garantir une mesure fiable.

La masse volumique est ensuite déterminée juste avant l'essai mécanique, selon la relation suivante : $\rho = \frac{M}{V}$ (II.6)

- **M** : masse de l'éprouvette
- **V** : volume de l'éprouvette
- ❖ **But de l'essai**

L'objectif de l'essai de la masse volumique apparente sèche est de déterminer la densité d'un matériau sec en mesurant la masse de l'échantillon sec et son volume apparent après élimination de toute humidité. Cet essai permet d'évaluer les propriétés physiques des matériaux et de les classer en fonction de leur domaine d'application, notamment dans des secteurs tels que l'isolation thermique, la préfabrication légère et d'autres domaines où la densité joue un rôle essentiel dans la performance du matériau.



Figure II.23 : les éprouvettes à l'intérieur du l'étuve

II.7.1.2 Essai d'absorption d'eau par capillarité

L'essai d'absorption capillaire constitue une méthode simple et pertinente pour évaluer la structure interne du mortier, notamment la continuité et l'importance de son réseau capillaire. Il s'agit également d'un outil complémentaire utile dans la caractérisation de la durabilité du matériau face aux agressions extérieures.

Cet essai a été réalisé conformément à la norme européenne EN 1015-18: [49].

Il consiste à mesurer la capacité d'absorption d'eau par capillarité ascendante sous l'effet de la force de succion. Pour cela, une éprouvette de mortier de dimensions (4×4×16) cm est placée verticalement sur sa base, à l'aide de petits supports, de manière à ce que seuls les 5 premiers millimètres de sa hauteur soient immergés dans l'eau (voir figure II.24).

L'augmentation de la masse de l'éprouvette est ensuite suivie en fonction du temps, pendant une période de 24 heures. À chaque intervalle de mesure, l'éprouvette est retirée du récipient, essuyée en surface, pesée avec précision (masse M), puis replacée dans sa position initiale dans le récipient pour poursuivre l'essai.

L'équation de calculé de cet essai suivant :

$$Cb = \frac{\Delta M}{A \times \sqrt{t}} \times 100 \quad (II.7)$$

Cb : coefficient d'absorption ;

ΔM : Masse d'eau absorbée (différence entre la masse Sèche et la masse de l'éprouvette à l'état absorbé) en gramme ;

A : section de la base de l'éprouvette en mm^2 ;

t : temps d'absorption en minutes.

❖ But de l'essai

L'objectif de l'essai d'absorption d'eau par capillarité est de mesurer la capacité d'un matériau à absorber l'eau par effet capillaire. Cet essai permet d'évaluer la porosité et la perméabilité d'un matériau, ce qui est crucial pour comprendre son comportement face à l'humidité et son aptitude à être utilisé dans des conditions où l'absorption d'eau peut affecter ses performances, comme dans les matériaux de construction. L'absorption capillaire joue un rôle essentiel dans la durabilité et la résistance des matériaux aux agressions extérieures.



Figure II.24 : Essai d'absorption d'eau par capillarité

II.7.1.3 Essai d'absorption d'eau par immersion (NF P 18-554). [50].

L'essai d'absorption d'eau par immersion a été réalisé conformément à la norme **NF EN 1015-18**, afin d'évaluer la porosité ouverte du mortier durci. Cet essai permet de mesurer la capacité du matériau à absorber l'eau lorsqu'il est immergé, ce qui constitue un indicateur important de sa durabilité face à l'humidité et aux agents agressifs. Les éprouvettes, préalablement séchées à $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ jusqu'à stabilisation de la masse, sont ensuite refroidies, pesées, puis totalement immergées dans de l'eau pendant 48 heures. Après cette période, elles sont retirées, essuyées en surface et pesées à nouveau. Le taux d'absorption d'eau est calculé à partir de la différence de masse entre l'état saturé et l'état sec, selon la formule :

$$A = \frac{M_{sat} - M_{sec}}{M_{sec}} \times 100 \quad (\text{II.8})$$

❖ But de l'essai

L'objectif de l'essai d'absorption d'eau par immersion est de déterminer la quantité d'eau qu'un matériau peut absorber lorsqu'il est entièrement plongé dans l'eau pendant une période donnée. Cet essai permet d'évaluer la porosité ouverte du matériau, ainsi que sa susceptibilité à l'humidité. Il est essentiel pour apprécier la durabilité des matériaux exposés à des environnements humides ou à l'eau de manière prolongée, en particulier dans le domaine du bâtiment et des travaux publics.

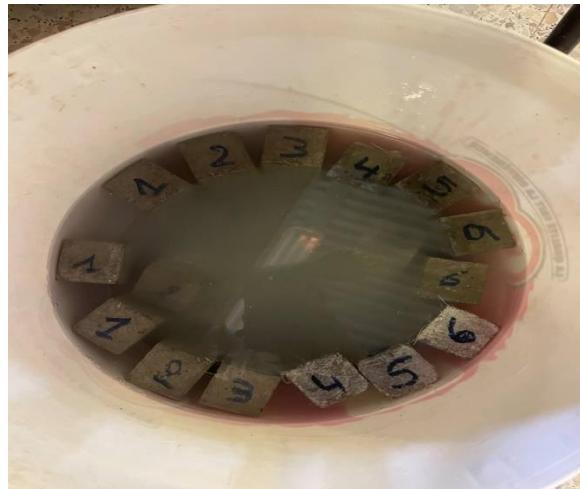


Figure II.25 : Essai d'absorption d'eau par immersion

II.7.1.4 Ultrason

La technique des ultrasons est de plus en plus utilisée dans l'étude des propriétés des matériaux à base de ciment, notamment le mortier, grâce à sa capacité à évaluer la structure interne et le degré d'homogénéité de manière non destructive. En mesurant la vitesse de propagation des ondes à travers l'échantillon, il est possible de déduire plusieurs caractéristiques physiques telles que la densité, la cohésion et la résistance à la compression. Cette méthode s'avère particulièrement efficace pendant les différentes phases de durcissement, car elle permet de suivre l'évolution des propriétés mécaniques au fil du temps.

Ce type d'essai est régi par la norme **NF EN 12504-4, [51]**, garantissant la fiabilité et la reproductibilité des mesures réalisées sur les matériaux cimentaires comme le mortier.

❖ But de l'essai

L'objectif principal de cet essai est de déterminer la vitesse de propagation des ondes ultrasonores à travers le mortier, afin d'évaluer ses propriétés mécaniques et sa structure interne de manière non destructive. Cette vitesse permet notamment d'estimer l'homogénéité, la densité et le niveau de compacité du matériau, ainsi que de suivre l'évolution de sa résistance au cours du durcissement. L'essai permet également de détecter d'éventuelles anomalies internes telles que des fissures ou des zones mal compactées. Ces informations sont essentielles pour caractériser la qualité du mortier et prévoir son comportement à long terme.



Figure II.26 : Essai par ultrasons

II.8 Essais mécaniques

II.8.1 Essai de traction par flexion : (NF EN 196-1) [52].

L'essai de traction par flexion constitue l'une des méthodes les plus courantes pour évaluer les propriétés mécaniques des mortiers, notamment leur résistance à la traction indirecte. Cet essai a été réalisé sur des éprouvettes de dimensions (4 × 4 × 16) cm, conformément aux normes techniques en vigueur.

L'essai a été effectué à l'aide d'une presse répondant aux exigences normatives, équipée d'un dispositif de flexion à trois points, garantissant une répartition homogène de la charge. Ce type d'essai consiste à appliquer une force croissante jusqu'à la rupture de l'éprouvette, permettant ainsi de déterminer la résistance à la traction par flexion.

Les résistances ont été mesurées à 28 jours de durcissement, en utilisant une machine de flexion capable de générer une charge maximale de 20 KN, avec un système de flexion à trois points (voir Figure II.27).

La valeur de la résistance à la traction retenue correspond à la moyenne des contraintes de rupture relevées sur trois éprouvettes identiques testées dans les mêmes conditions expérimentales.

La résistance à la flexion est calculée selon l'équation :

$$R_F = \frac{3 \times F \times L}{2 \times b \times h^2} \quad (\text{II.9})$$

- ❖ R_F : résistance à la flexion (MPa),
- ❖ F : charge maximale appliquée au moment de la rupture (en N),
- ❖ L : distance entre les appuis (en mm),
- ❖ b : distance entre les appuis (en mm),
- ❖ h : hauteur de l'éprouvette (en mm).



Figure II.27 : Essai de traction par flexion

II.8.2 Essai de compression selon la norme NF EN 196-1, [52].

La résistance à la flexion du mortier est évaluée à l'aide d'un essai de flexion en trois points, réalisé sur des éprouvettes de mortier durci jusqu'à leur rupture. Les deux moitiés obtenues après cet essai sont ensuite utilisées pour déterminer la résistance à la compression.

L'essai de compression a pour objectif de mesurer la capacité du mortier à résister à une charge axiale croissante jusqu'à rupture. Chaque demi-éprouvette est soumise à une force augmentant progressivement, et la charge maximale enregistrée au moment de la rupture est appelée charge de rupture.

Les mesures de résistance à la compression sont réalisées à 28 jours, à l'aide d'une presse hydraulique d'une capacité maximale de 150 KN. Cette machine est équipée d'un dispositif spécifique pour l'adaptation des éprouvettes de mortier (voir figure II.28).

La résistance à la compression est déterminée en calculant la contrainte d'écrasement pour chaque éprouvette. La valeur finale retenue est la moyenne des résultats obtenus sur trois échantillons.

La contrainte de compression est exprimée par la formule suivante :

$$R_c = \frac{F}{A} \quad (\text{II.10})$$

- ❖ R_c : résistance à la compression (en MPa),
- ❖ F : charge maximale appliquée à la rupture (en N),
- ❖ A : surface de la section de l'éprouvette soumise à la compression (en mm^2).



Figure II.28 : Essai de compression réalisé sur les éprouvettes (4 x 4 x 16) cm

II.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit les matériaux constitutifs employés dans le cadre de cette étude, en mettant en évidence leurs caractéristiques principales. Nous avons également exposé en détail les différentes formulations élaborées pour la mise en œuvre de notre programme expérimental, lequel vise à analyser les propriétés physiques et mécaniques des mortiers étudiés.

Chapitre III

**Discussion et résultats
expérimentaux**

III. introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats du travail expérimental réalisé dans le laboratoire de l'Université Mohamed Khider. Notre étude vise à examiner les propriétés physiques et mécaniques résultant de l'ajout de déchets plastiques sous forme de fibres issues de poils de balai. Afin d'évaluer l'effet de cet ajout sur les propriétés du mortier, nous comparons les résultats obtenus à ceux du mortier standard (échantillon de référence).

III.1 La préparation des mélanges avec ajout de fibres PET

Dans le cadre de la valorisation des déchets plastiques et de l'amélioration des propriétés physiques du mortier, plusieurs mélanges ont été élaborés en incorporant des fibres PET (issues de déchets plastiques) à différents pourcentages. L'objectif de cette partie du travail est d'étudier l'influence de l'ajout de fibres PET à raison de 1,5 % et 2 % sur les caractéristiques du mortier, en comparaison avec un mortier de référence (T).

Les quantités de ciment et d'eau ont été maintenues constantes pour tous les mélanges (450 g de ciment et 225 g d'eau), tandis que la quantité de sable a été ajustée afin de compenser l'introduction des fibres PET, en gardant la masse totale du mélange inchangée. Les résultats montrent que l'ajout des fibres entraîne une diminution de la quantité de sable utilisée, passant de 1350 g dans le mélange témoin à 1323,43 g et 1314 g pour les taux de 1,5 % et 2 % de PET respectivement. Cela reflète l'impact de ces fibres sur la composition globale et la densité du mortier.

Les essais effectués sur les différents mélanges sont divisés en deux parties :

- ❖ **Essais à l'état frais :** maniabilité
- ❖ **Essais à l'état durci :** masse volumique sèche _ ultrason _ résistance en traction par flexion _ résistance à la compression _ absorption d'eau par immersion _ absorption d'eau par capillarité.

III.2 Essais à l'état frais

III.2.1 Maniabilité

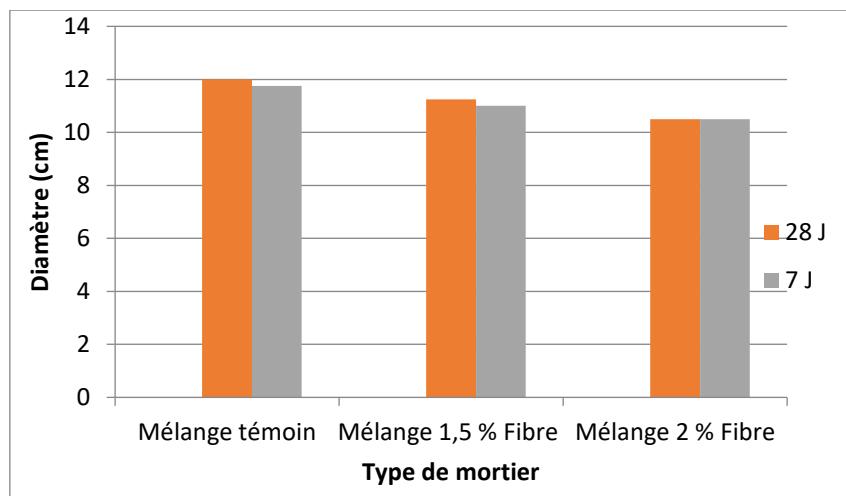


Figure III.1 : Variation d'étalement en (Cm) en fonction du type des mélanges.

Commentaire :

Le graphique montre qu'une augmentation du taux de fibres dans le mortier, passant de 1,5 % à 2 %, entraîne une diminution progressive du diamètre de l'étalement par rapport au mélange témoin ("Mélange témoin"), indiquant ainsi une baisse notable de la maniabilité. Cette réduction peut être expliquée par plusieurs facteurs principaux :

- La rétention d'eau entre les fibres, ce qui réduit la quantité d'eau libre disponible pour l'écoulement du mortier.
- L'augmentation de la cohésion interne et des frottements dus à la formation d'un réseau fibreux dans le mélange.
- Une distribution potentiellement hétérogène des fibres, pouvant perturber l'étalement uniforme du mortier sur la surface.

Ces résultats soulignent la nécessité de trouver un compromis entre l'amélioration des performances mécaniques par l'ajout de fibres et le maintien d'une maniabilité satisfaisante.

III.3 À l'état durci :

III.3.1 Masse volumique sèche :

La masse volumique sèche des éprouvettes a été estimée après un séchage complet, dans le but d'évaluer la densité réelle du mortier sans l'influence de l'humidité. Les mesures ont été

effectuées à différentes périodes de durcissement (7 jours et 28 jours), en utilisant la méthode de pesée à sec, où les éprouvettes ont été séchées dans un four à température constante 105 °C jusqu'à l'obtention d'une masse stable. Les résultats obtenus sont présentés dans les figures suivantes, ce qui permet de comparer l'effet des différentes additions représentées par le PET sur la masse volumique sèche du mortier au cours du temps.

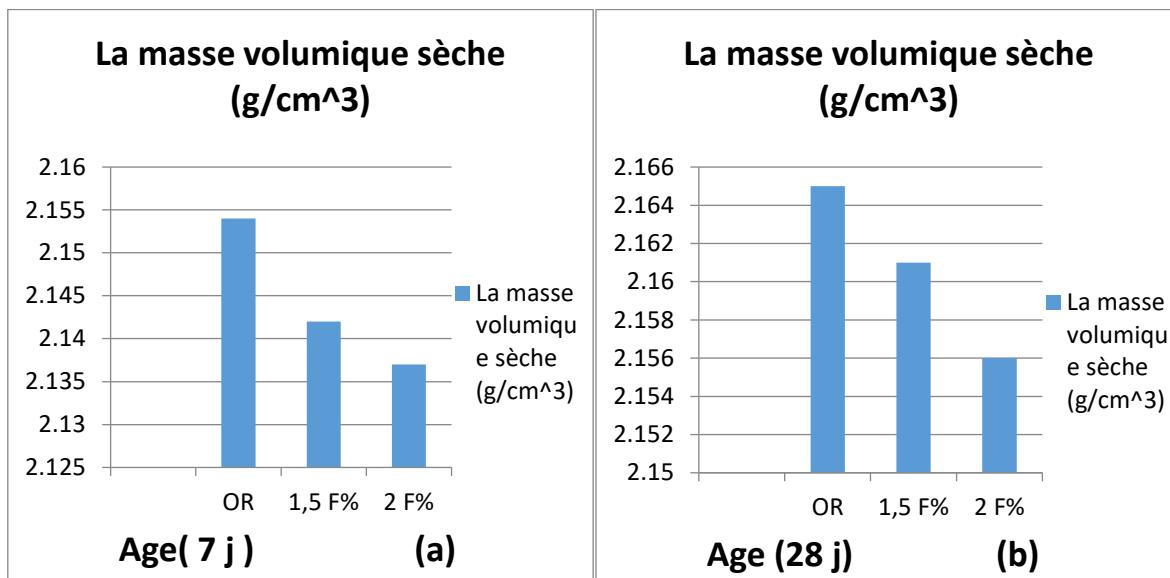


Figure III.2 : Masse volumique sèche (g/cm^3) selon le type de mélanges.

Commentaire :

À partir des deux courbes (a) et (b) précédentes, on observe une diminution progressive de la masse volumique sèche avec l'augmentation du pourcentage de déchets plastiques (PET) dans le mortier. Aux âges de 7 et 28 jours, la masse volumique du mortier de référence est plus élevée que celle des mélanges contenant 1,5 % et 2 % de PET.

Cette baisse est due à la faible densité du plastique par rapport aux granulats naturels, ce qui réduit la masse totale sans modifier significativement le volume. Ce changement traduit également une microstructure plus poreuse du mortier modifié.

Bien que cette porosité puisse influencer d'autres propriétés, la réduction de poids peut être avantageuse dans certaines applications. Ces résultats sont en accord avec les études précédentes concernant l'effet des déchets plastiques sur les propriétés physiques du mortier.

III.3.2 Ultrason :

La technique des ultrasons (Ultrason) a été adoptée comme méthode non destructive pour l'étude de la structure interne du mortier cimentaire, ainsi que pour évaluer son homogénéité et sa cohésion. Cette méthode repose sur l'émission d'ondes longitudinales à travers l'échantillon, et la mesure de leur vitesse de propagation à l'aide d'un dispositif spécifique, permettant ainsi d'obtenir des indicateurs liés à la densité, la porosité et la qualité du compactage interne du matériau.

L'essai a été réalisé conformément à la norme NF EN 12504-4, qui définit les procédures de mesure et les conditions d'exécution, afin d'assurer la précision et la fiabilité des résultats. Ce test a été appliqué à des échantillons de mortier contenant différents pourcentages de déchets plastiques (PET) allant jusqu'à 2 %, dans le but d'analyser l'effet de ces ajouts sur les propriétés structurales du mortier durant les différentes phases de durcissement.

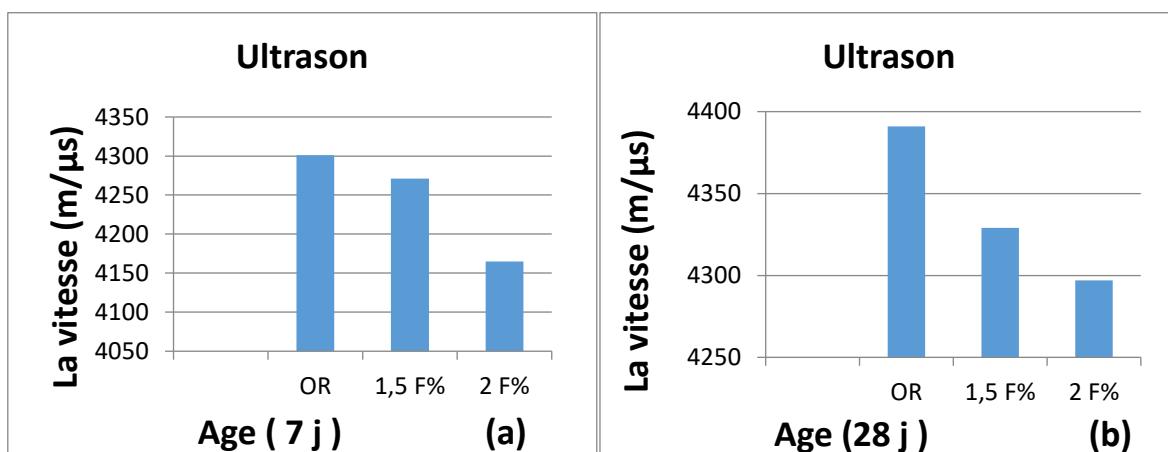


Figure III.3 : Évaluation de l'effet des fibres plastiques PET sur la vitesse des ultrasons dans le mortier.

Commentaire :

À partir des deux courbes (a) et (b) précédentes, on observe une diminution progressive de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores avec l'augmentation du pourcentage de déchets plastiques (PET) dans le mortier. À 7 jours, le mélange de référence (OR) affiche une vitesse de 4301 m/μs, tandis que les mélanges contenant 1,5 % et 2 % de PET montrent respectivement 4271 m/μs et 4165 m/μs. Cette tendance se confirme également à 28 jours, où la vitesse passe

de 4391 m/μs pour le mélange témoin à 4329 m/μs pour 1,5 % de PET, et à 4297 m/μs pour 2 %.

Cette baisse de la vitesse s'explique par l'introduction du PET, un matériau de faible densité et non rigide, qui modifie la microstructure du mortier en y introduisant plus de porosité et de discontinuités internes. Ces irrégularités réduisent la capacité du matériau à transmettre les ondes ultrasonores rapidement, ce qui est un indicateur d'une baisse relative de la compacité et de la cohésion interne.

Ainsi, plus la quantité de PET augmente, plus la structure devient poreuse et moins dense, ce qui se traduit par une diminution mesurable de la vitesse ultrasonore.

III.3.3 Absorption d'eau par capillarité :

Des éprouvettes prismatiques de dimensions 4×4×16 cm ont été utilisées pour mesurer l'absorption des différents mélanges de mortier, après 7 jours et 28 jours de durcissement en milieu humide. Les résultats sont illustrés dans les figures suivantes :

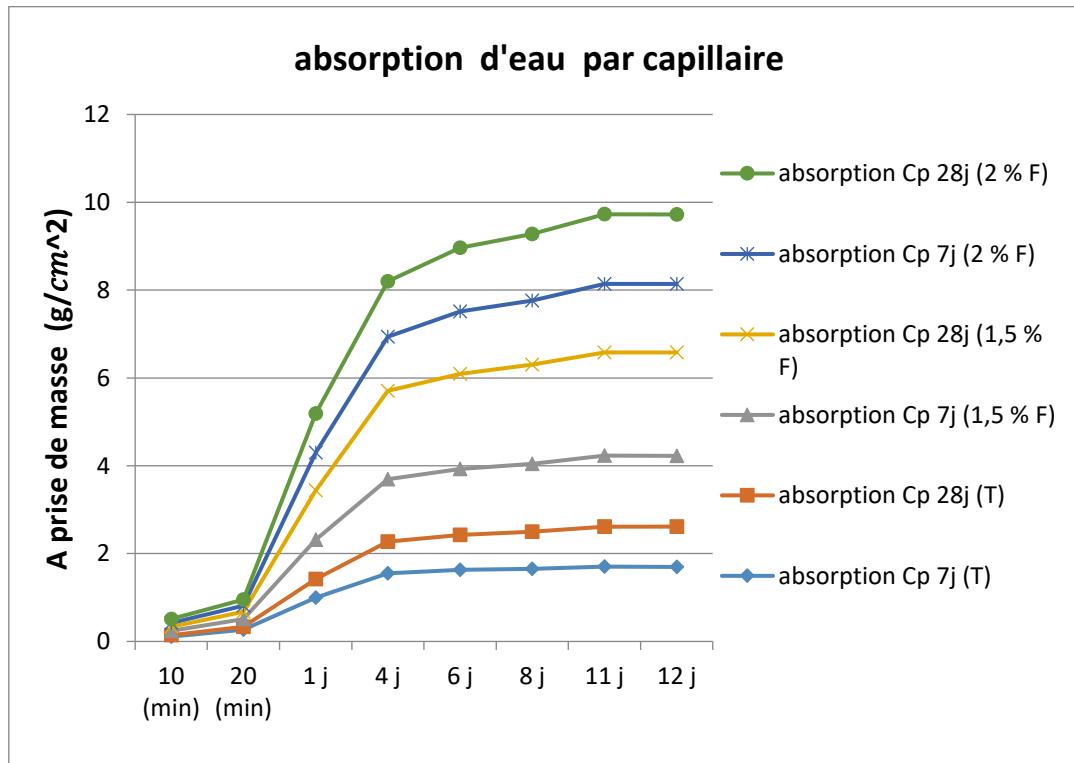


Figure III.4 : Effet des différentes proportions de fibres plastiques sur le coefficient d'absorption d'eau par capillarité dans le mortier.

Commentaire :

Les résultats de l'essai d'absorption capillaire montrent que les mortiers contenant des ajouts (1,5 % et 2 %) présentent des valeurs d'absorption plus élevées que le mortier témoin, aussi bien à 7 qu'à 28 jours. Ces valeurs augmentent avec le pourcentage d'ajout, ce qui indique que les fibres plastiques modifient la structure du mortier et augmentent sa capacité à absorber l'eau par capillarité, comme l'ont souligné plusieurs études récentes telles que celles de (Hannawi, Aattaché, et Rezegha) [38] [39] [40].

À 28 jours, on observe que le mortier témoin présente le plus faible taux d'absorption, tandis que le mortier contenant 2 % de fibres affiche le plus élevé. Ce comportement est attribué à la faible adhésion entre la pâte cimentaire et les fibres plastiques en raison de leur forme capillaire, ainsi qu'à la présence de vides microscopiques au sein de la matrice. Ces vides résultent d'une répartition non homogène des fibres et de leur manque d'interaction chimique avec la pâte.

L'ensemble de ces facteurs facilite la pénétration de l'eau dans la microstructure poreuse, ce qui se traduit par une augmentation du taux d'absorption capillaire. Ainsi, la présence de fibres plastiques affecte négativement la cohésion et l'intégrité de la structure interne du mortier.

III.3.4 Absorption d'eau par immersion :

Des éprouvettes prismatiques de dimensions 4×4×16 cm ont été utilisées pour mesurer l'absorption totale d'eau par immersion des différentes formulations de mortier. Les essais ont été réalisés sur des échantillons âgés de 7 jours et de 28 jours, dans le but d'étudier l'effet des fibres plastiques ajoutées à des pourcentages variés (1,5 % et 2 %) sur les propriétés hydriques du mortier. Cette méthode permet d'évaluer la capacité globale du matériau à absorber l'eau lorsqu'il est complètement immergé, ce qui reflète directement la porosité ouverte de la matrice cimentaire. Les résultats obtenus sont présentés dans le graphique suivant, illustrant l'influence de la présence et du taux des fibres plastiques sur le comportement hydrique du mortier.

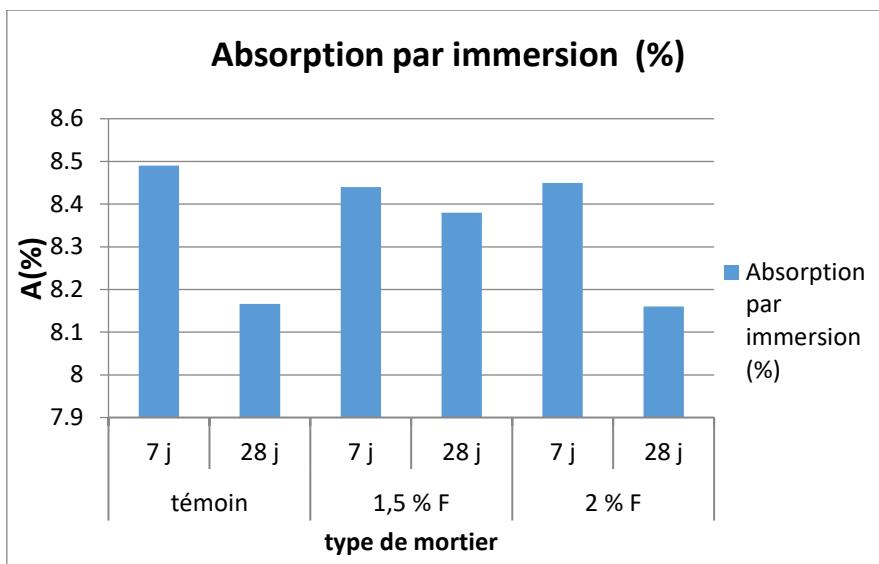


Figure III.5 : Absorption par immersion pendant 24 heures (%) en fonction du type de mortier.

Commentaire :

D'après le graphique présenté, on observe que le taux d'absorption par immersion varie entre 8,16 % et 8,49 % à 7 jours, et entre 8,16 % et 8,38 % à 28 jours. Cette légère diminution ou stabilité dans le temps reflète l'évolution progressive de la matrice cimentaire, qui devient plus dense avec le durcissement, réduisant ainsi la porosité ouverte accessible à l'eau.

Les différences entre les formulations contenant des fibres plastiques à 1,5 % et 2 % restent relativement faibles, ce qui suggère un impact modéré de ces ajouts sur l'absorption globale. Toutefois, leur nature hydrophobe peut contribuer à limiter légèrement l'absorption. Il est également possible que la répartition non homogène des fibres et leur interaction physique avec la pâte cimentaire influencent les résultats obtenus. Cela met en évidence l'importance de la microstructure dans la régulation des transferts d'eau dans les mortiers modifiés. Comme l'ont souligné plusieurs études récentes telles que celles de Bendjillali et Chemrouk. [41].

III.3.5 Essai de la résistance à la traction par flexion :

Les résistances à la traction par flexion ont été mesurées après 7 et 28 jours de durcissement en milieu humide. Les résultats obtenus sont présentés dans les courbes suivantes.

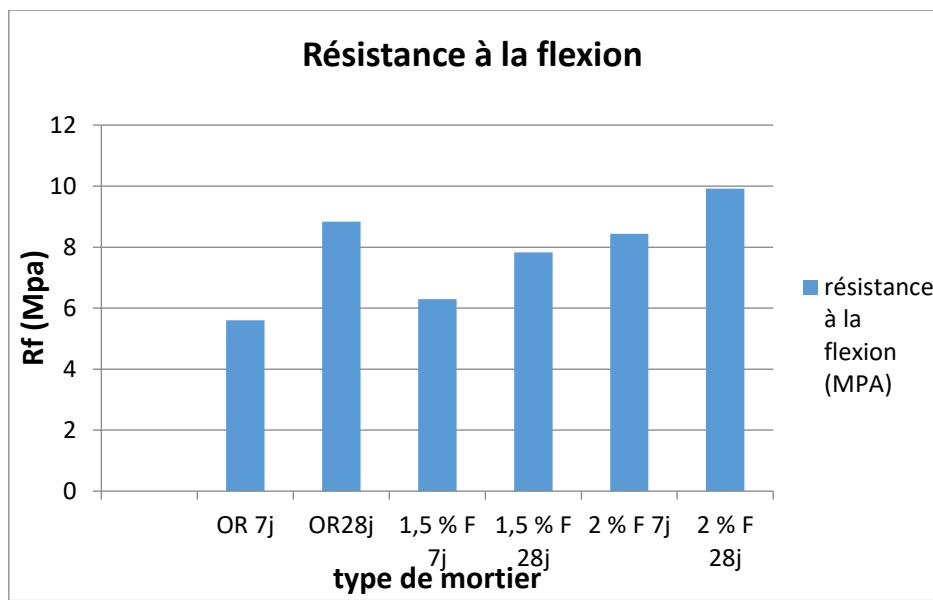


Figure III.6 : La résistance à la traction par flexion à 7j et à 28j (MPA) en fonction de type du mortier.

Commentaire :

Les résultats obtenus montrent une amélioration notable de la résistance à la traction par flexion du mortier avec l'ajout de fibres plastiques, comparée au mortier témoin. L'échantillon contenant 2 % de fibres présente la résistance la plus élevée aussi bien à 7 jours qu'à 28 jours, ce qui met en évidence l'efficacité de ces fibres dans l'amélioration du comportement du mortier sous contraintes de flexion.

Cette augmentation est attribuée à la capacité des fibres plastiques à renforcer la cohésion de la microstructure du mortier, en jouant le rôle d'éléments de renforcement dispersés, limitant ainsi la propagation des microfissures et répartissant les contraintes de manière plus homogène dans la matrice cimentaire.

Par ailleurs, l'évolution des résistances entre 7 et 28 jours confirme le rôle des fibres dans le maintien de l'intégrité de la structure au fil du durcissement, traduite par une croissance progressive des performances mécaniques.

Ainsi, l'incorporation de fibres plastiques à des taux bien définis (1,5 % et 2 %) permet d'améliorer efficacement la résistance à la traction par flexion du mortier, avec des performances optimales observées pour une teneur de 2 %.

III.3.6 Essai de la résistance à la compression :

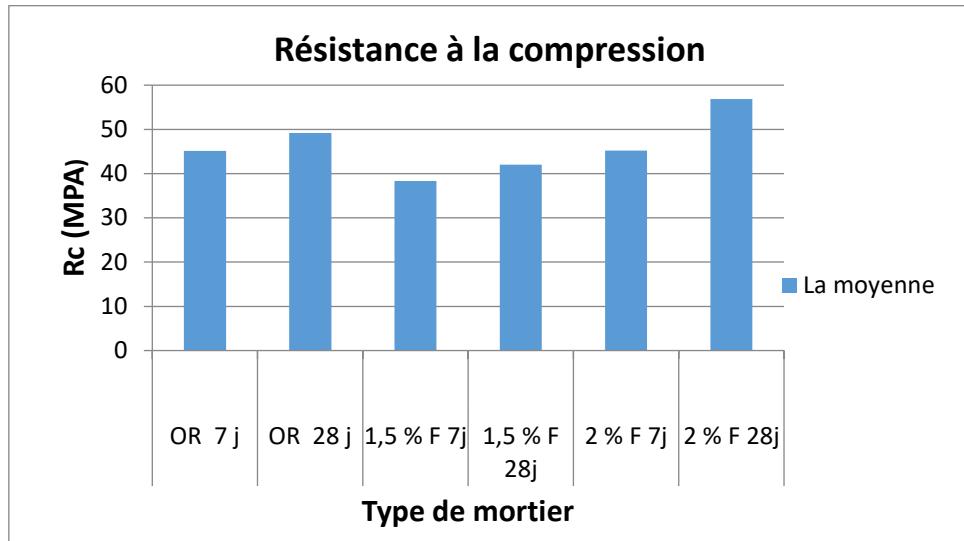


Figure III.7 : La résistance à la compression à 7j et à 28j (MPA) en fonction de type du mortier.

Commentaire :

Les résultats indiquent que l'ajout de fibres influence fortement les propriétés mécaniques du mortier, en particulier la résistance à la compression, avec un effet dépendant du dosage. Une faible quantité peut réduire la performance, tandis qu'un dosage optimal (2 %) améliore la résistance et la cohésion interne.

De plus, les fibres contribuent efficacement à limiter la propagation des microfissures, renforçant ainsi la durabilité et la stabilité structurelle du matériau.

Ainsi, un dosage précis des fibres constitue une approche prometteuse pour améliorer les performances des mortiers, notamment dans le domaine de la construction où durabilité et résistance sont essentielles.

III.4 Conclusion :

À partir des résultats expérimentaux obtenus, il apparaît que l'ajout de fibres plastiques (PET) dans le mortier cimentaire a un effet notable sur les propriétés physiques, notamment l'absorption d'eau par immersion et par capillarité. Ces fibres induisent des modifications dans la microstructure du mortier, influençant ainsi sa porosité et sa capacité à transporter l'eau.

Les résultats ont également montré une amélioration significative de la résistance à la traction par flexion, grâce au rôle des fibres dans la limitation de l'apparition et de la propagation des fissures dans la matrice. Cela renforce la cohésion du mortier et sa capacité à résister aux sollicitations mécaniques répétées. Cette amélioration met en évidence l'efficacité des fibres plastiques comme matériau de renforcement pour optimiser certaines performances mécaniques des formulations cimentaires.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le secteur du bâtiment est aujourd’hui confronté à de nombreux défis environnementaux, notamment la gestion des déchets plastiques et la recherche de matériaux durables et performants. Dans ce contexte, l’utilisation de fibres plastiques recyclées (PET) dans les matériaux cimentaires apparaît comme une solution prometteuse à la fois écologique et économique.

Pour atteindre notre objectif, cette étude a été structurée en trois chapitres principaux :

Le chapitre 1 : a été consacré à une revue bibliographique portant sur les matériaux composites à base de ciment, en mettant l’accent sur l’utilisation des déchets plastiques, en particulier le PET, ainsi que sur leurs effets potentiels sur les propriétés physiques et mécaniques des matériaux.

Le chapitre 2 : a présenté les caractéristiques des matériaux utilisés (ciment, sable, eau et fibres PET), les formulations des mélanges, la méthode de confection des éprouvettes, les conditions de conservation, ainsi que les différents essais expérimentaux menés (absorption, résistances mécaniques, masse volumique, vitesse ultrasonique...).

Le chapitre 3 : a été dédié à l’analyse et la discussion des résultats obtenus. Ces derniers ont permis de mettre en évidence l’impact de l’incorporation des fibres PET sur les différentes propriétés du mortier.

À l’issue de cette étude expérimentale, les résultats ont montré que l’ajout de fibres PET dans le mortier cimentaire, notamment à un dosage de 2 %, a conduit à une amélioration notable des propriétés mécaniques (résistance à la compression et à la flexion), à une réduction de l’absorption capillaire, tout en maintenant une absorption totale d’eau quasi stable et des propriétés physiques globalement équilibrées.

Cette amélioration peut être attribuée à l’effet de pontage des fibres qui renforcent la matrice cimentaire, limitent la propagation des fissures, et optimisent la microstructure interne. Toutefois, une teneur excessive en fibres pourrait, au-delà d’un certain seuil, affecter la compacité du matériau et réduire son homogénéité.

En conclusion, l’intégration de fibres plastiques PET recyclées dans le mortier cimentaire constitue une stratégie durable pour la valorisation des déchets tout en améliorant certaines propriétés du matériau. Elle ouvre des perspectives intéressantes pour la production de

matériaux de construction plus respectueux de l'environnement, sans compromettre leur performance.

Listes des Références

- [1]. J. Galindo, A. M. Pérez, P. G. Casado, .1995, Historia de los morteros
- [2]. A. Palomo, M. Blanco-Varela, S. Martínez-Ramírez, F. Puertas, C. Fortes, 2002, Historic Mortars : Characterization and Durability . New Tendencies for Research
- [3]. GHERBI, H., & OUHIBA, S. (2022). *Étude du comportement mécanique des bétons autoplaçants à base de laitier de haut fourneau* [Mémoire de master, Université de Ghardaïa].
- [4]. Behmanesh, J. (2008). Étude de la durabilité d'un sédiment, traité au ciment et additifs.
- [5]. Futura Sciences. (2019, 19 mai). *Liant*.
- [6]. Kossi Bollagni Amey, K. Neglo, S. Tamba, A. Johnson, Yaovi E. Kouto, Ezoba Nayo. 2014 ; Caractérisation physique de sables silteux au Togo
- [7]. Hellen Karine Santos Almeida .2020 ; Analyse technologique des matériaux d'Areal Morro Branco, Porto Grande, Amapá, par fractionnement
- [8]. G. Chanvillard, O. Basuyaux, 1996, UNE METHODE DE FORMULATION DES BETONS DE SABLE A MANIABILITE ET RESISTANCE FIXEES
- [9]. S. Lanka. 2006, Use of quarry dust instead of river sand for future constructions in Sri Lanka
- [10]. Imen, J., André, L., & Mongi, B. O. (2013) Utilisation des sables de concassage dans les bétons. *Le Laboratoire de Génie Civil de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis : LGC-ENIT*, 67.
- [11]. WILLIAM.D, CALLISTER.JR « Science et génie des matériaux » modulo Editeur, 2001
- [12]. Jean FESTA, Georges DREUX, nouveau guide du béton et ses constituants, 8ème édition, EYROLLES, 2007.
- [13]. HAMEL, D. E., & BEN HAMMADI, I. L. Y. E. S. (2021). *Étude physico-mécanique d'un mortier à base de sable de dune et déchets industrielles (déchet de brique et déchet de plastique PET)* (Doctoral dissertation, جامعة غرداية).
- [14]. HAMEL DJAMEL, EDDINE BEN HAMMADI ILYES « Étude physico-mécanique d'un mortier à base de sable de dune et déchets industrielles (déchet de brique et déchet de plastique PET) » Mémoire de Master, Année universitaire 2020/2021
- [15]. Khaled, B. O. U. A. L. I. (2015). *Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires* (Doctoral dissertation, Boumerdès).

- [16]. Controlab. (n.d.). *Moule en polystyrène*.
- [17]. ACCESMAD. (s.d.). *Résistance des matériaux – Béton : Essais mécaniques*.
Mediatheque Accesmad.
- [18]. ACCESMAD. (s.d.). *Résistance des matériaux – Béton : Essais mécaniques*.
Mediatheque Accesmad.
- [19]. GUERBAS, N. (2025). *Effet des additions minérales sur le comportement rhéologique et mécanique du mortier à base du sable de concassage* (Doctoral dissertation, Adjoudj M'hamed).
- [20]. GHERBI, H., & OUHIBA, S. (2022). *Étude du comportement mécanique des bétons autoplaçants à base de laitier de haut fourneau* [Mémoire de master, Université de Ghardaïa].
- [21]. **Melle. ZANE Messaouda** ; **Melle. DJEMAA Nabila** « Elaboration et caractérisation d'un mortier léger par introduction de billes de polystyrène». UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ de Bouira, Année 2018/2019
- [22]. SMABTP. (2022, 14 octobre). *Murs en schiste apparent*.
- [23]. Expert Ravalement. (2023, 1er juin). *Enduit de façade : Les enduits extérieurs et leurs caractéristiques*
- [24]. Maury, C. (2018, 30 octobre). *Un panel de solutions pour mettre les sols à niveau*. Cahiers Techniques du Bâtiment.
- [25]. Weber UK. (n.d.). *Cementitious vs epoxy vs polyester resin anchoring and grouting*.
Saint-Gobain Weber. Retrieved May 27, 2025, from
- [26]. Mesbah H. 1997. Amélioration du comportement des mortiers à base de granulats recyclés par adjonction de fibres.
- [27]. Prabhu, G., Kumar, C., Pandiyaraj, R., Rajesh, P., & Kumar, L. (2016). Utilization of Waste PET Bottle Fibers in Concrete as an Innovation in Building Materials-[A Review Paper].
- [28]. Blog-Travaux.org. (2022, 4 mai). *Tout savoir sur la fibre de verre*.
- [29]. Gneuss Kunststofftechnik GmbH. (s.d.). *Fabrication de fibres*. Consulté le 27 mai 2025
- [30]. Challenges. (2023, avril 3). *Recycler les composites en fibres de carbone, le défi qui attise l'appétit des start-up*. Challenges
- [31]. Revetement-Sols.net. (2019, 25 novembre). *Les fibres végétales*.

- [32]. Pelisser, F., Montedo, O.R., Gleize, P.J., & Roman, H.R. (2012). Mechanical properties of recycled PET fibers in concrete. *Materials Research-ibero-american Journal of Materials*, 15, 679-686.
- [33]. https://betonabq.org/wp-content/uploads/2017/09/aDocument_Fibres.pdf?utm_source=
- [34]. Jacques, H. (2018). "La généralisation de l'emploi des matières plastiques aboutit à une accumulation désastreuse des déchets dans les milieux marins" par Jacques Hallard.
- [35]. L'Algérie Aujourd'hui. (2022, 14 octobre). *Collecteurs de bouteilles en plastique, ce nouveau phénomène en vogue*
- [36]. Márquez-Domínguez, S., Mejía-Sánchez, E., Arenzano-Altaif, J.A., Martínez-Guevara, G.O., & Tolentino, D. (2018). Soft Pre-stressed PET Profiles as reinforcing fibers in structural elements made of concrete. *DYNA*.
- [37]. Füzesséry, S. (1997). Polyéthylène téréphthalates (PET) pour films et feuilles. *Plastiques et composites*.
- [38]. Hannawi, K., & Prince-Agbodjan, W. (2015). Transfer behaviour and durability of cementitious mortars containing polycarbonate plastic wastes. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 19(4), 467-481.
- [39]. Aattaché, A. (2023). Effect of high-temperature on polymer-modified mortars using the plastic waste of polyethylene as reinforcement. *Journal of Building Engineering*, 77, 107498.
- [40]. Rezegha, H., Hsseinah, H., Lahoul, M., & Lina, L. (s.d.). Contribution à l'étude des propriétés physiques et mécaniques du mortier renforcé par des fibres plastiques (fibres de natte) (Thèse de doctorat, Université Kasdi Merbah Ouargla).
- [41]. Bendjillali, K., & Chemrouk, M. (2024). Using recycled plastic waste as fiber reinforcement on limestone residue mortar. *Revista de la construcción*, 23(1), 59-70.
- [42]. **NF P 18-554/EN 1097-6, Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats – Partie 6: Détermination de la masse volumique et de l'absorption d'eau.** Association Française de Normalisation.
- [43]. **NFP 94-054, Reconnaissance et essais – Détermination de la masse volumique des sols.** Association Française de Normalisation.
- [44]. **NF EN 933-8, Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 8: Évaluation de la teneur en fines – Essai au bleu de méthylène.** Association Française de Normalisation.
- [45]. **NA EN 933-1, Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 1: Détermination de la granularité – Analyse granulométrique par tamisage.** Association Française de Normalisation.

- [46]. **NF P 18-540**, *Essais – Détermination de la résistance en compression des éprouvettes*. Association Française de Normalisation.
- [47]. **EN 196-3**, *Methods of testing cement – Part 3: Determination of setting time and soundness*. European Committee for Standardization.
- [48]. **ISO 9812** *Corrosion of metals and alloys — Corrosion test method for disinfectant — Spray test method*. ISO
- [49]. **EN 1015-18**, *Methods of test for mortar for masonry – Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action*
- [50]. **NF P 18-554**, *Granulats – Détermination des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau*. Association Française de Normalisation.
- [51]. **NF EN 12504-4**, *Essais pour béton dans les structures – Partie 4 : Détermination de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores*. Association Française de Normalisation.
- [52]. **NF EN 196-1**, *Méthodes d'essai des ciments – Partie 1 : Détermination des résistances mécaniques*. Association Française de Normalisation.