

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'Sila

FACULTE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT GENIE CIVIL
N° :/..../2025



DOMAINE : SCIENCES TECHNOLOGIE
FILIERE : GENIE CIVIL
OPTION : Matériaux

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique

Par : BAKOUR Abdelhak
TOUIL Abderrachid

Intitulé

Développement d'un mortier hybride utilisant des fibres naturelles
et des polymères biodégradables : étude de la performance
mécanique et de la durabilité.

Devant le jury composé de :

Pr : BEDDAR Miloud

Dr : BELOUADAH Messaouda

Pr : RAHMOUNI Zine El Abidine

Dr : AMRIOU Rachid

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Président

Encadrant

Co Encadrant

Examineur

Année Universitaire : 2024 /2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

*Tout d'abord, nous remercions Dieu, le Tout Puissant, de nous
Avoir donné la volonté et le courage afin d'arriver à la finalité Ce
modeste travail.*

*Nous tenons également à exprimer nos sincères remerciements à
notre encadreur,*

Pr « Zine EL Abidine RAHMOUNI »

Dr « Messaouda BELOUADAH »

*Pour avoir proposé ce thème, et lui exprime notre
Gratitude, pour la disponibilité et la patience dont il a fait
Preuve et dont les précieux conseils et les remarques
Pertinentes et pour son suivi continuél tout le long de la
Réalisation de ce mémoire dans les meilleures conditions.*

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements au :

Dr, Ibrahim Slimani pour nous avoir reçus dans son bureau,
Wahiba, le responsable du laboratoire et ***Dr, omri imen yamina***,
*Enfin, Nous exprimons notre profonde gratitude à nos Parents,
frères, sœurs et à toute la famille pour leurs
Encouragements et leurs prières, à nos amis et à nos enseignants
Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la fin et au
Développement de ce travail.*



DEDICACE

À ceux qui ont été ma lumière et mon guide tout au long de ce chemin, A mes chers parents, À mon père bien-aimé mon pilier mon modèle,

Et à ma tendre mère, source d'amour, de tendresse et de prières...

Je vous dédie le fruit de mes efforts et de mes années d'étude.

À mes frères et sœur :ala eedine, yousra et asmaa,islam,abdelrazak

Merci pour votre soutien inconditionnel, votre présence précieuse et vos encouragements constants.

À mes amis fidèles : borhan,Ahmed, Baha, et Larbi, achraf

Merci pour votre amitié sincère, vos conseils et vos encouragements tout au long de ce parcours.

À mes camarades de promotion, en particulier Nour elhouda ou Iman ou Soulef ou siham avec qui j'ai partagé les joies, les défis, les veilles d'examen et les réussites... Cette réussite est aussi la vôtre.

À mes enseignants du primaire, du moyen et du secondaire,

Vous avez été les premiers à semer en moi la graine du savoir. Recevez toute ma reconnaissance.

À mes professeurs à l'université, en particulier M. Silini et M. Nasri,

Merci pour votre accompagnement, vos conseils avisés et votre confiance.

À tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à ce chemin...

Je vous dédie cette modeste œuvre, en témoignage de mon profond respect et de ma gratitude sincère.

BAKOUR Abdelhakim

DEDICACE

À ceux qui ont été ma lumière et mon guide tout au long de ce chemin, A mes chers parents, À mon père bien-aimé mon pilier mon modèle,

Et à ma tendre mère, source d'amour, de tendresse et de prières...

Je vous dédie le fruit de mes efforts et de mes années d'étude.

À mes frères et sœur : assia ,abdelmouain, abd elfateh

Merci pour votre soutien inconditionnel, votre présence précieuse et vos encouragements constants.

À mes amis fidèles : fauad, Baha, Abdelmehdi et borhan, achraf

Merci pour votre amitié sincère, vos conseils et vos encouragements tout au long de ce parcours.

À mes camarades de promotion, en particulier Nour elhouda ou Iman ou Soulef ou siham avec qui j'ai partagé les joies, les défis, les veilles d'examen et les réussites... Cette réussite est aussi la vôtre.

À mes enseignants du primaire, du moyen et du secondaire,

Vous avez été les premiers à semer en moi la graine du savoir. Recevez toute ma reconnaissance.

À mes professeurs à l'université, en particulier M. Silini et M. Nasri,

Merci pour votre accompagnement, vos conseils avisés et votre confiance.

À tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à ce chemin...

Je vous dédie cette modeste œuvre, en témoignage de mon profond respect et de ma gratitude sincère.

TOUIL Abdelrachid

Table des matières

Remerciements.....	II
DEDICACE.....	Error! Bookmark not defined.
DEDICACE.....	Error! Bookmark not defined.
Introduction	4

CHAPITRE I :

GÉNÉRALITÉS SUR LES MORTIERS

I.1. Définition	4
I.2. Constituant d'un mortier	5
I.2.1. Ciments	5
I.2.1.1. Les différentes méthodes de fabrication de ciment	6
I.2.1.2. Principe de fabrication du ciment Portland.....	7
I.2.1.3. Les différents types de ciment	8
I.2.2. Le sable	8
I.2.2.1. Rôle de sable dans le mortier	9
I.2.3. L'eau de gâchage	9
I.2.4. Adjuvants	10
I.3. Fonctions d'un mortier.....	12
I.4 Emplois des mortiers	12
I.5. Différents mortiers en fonction du type de liant	14
I.5.1. Les mortiers de ciment	14
I.5.2 Les mortiers de chaux	14
I.5.3 Les mortiers bâtards	15
I.6. Les différents mortiers en fonction de l'usage.....	15
I.6.1 Le mortier-ciment.....	15
I.6.2 Le mortier hydrofuge	15
I.6.3 Le mortier réfractaire	15
I.6.4 Le mortier de chaux	16
I.6.5. Le mortier bâtard	16
I.6.6 Le mortier-colle ou ciment-colle	16
Conclusion.....	16

CHAPITRE II :

GENERALITE SUR LES FIBRES NATURELLES

II .1. Introduction	18
II.2. Les fibres vegetales	18

II.2.1. Définition de la fibre végétale	18
II.2.2. Classification des fibres végétales.....	19
II.2.3. Structure de la fibre végétale.....	20
II.2.3.1. La cellulose.....	21
II.2.3.2. L'hémicellulose	23
II.2.3.3. Pectines	24
II.2.3.4. La lignine.....	24
II.4. Propriétés mécaniques des fibres végétales	27
II.5. Propriétés physiques des fibres végétales	28
II.6. Propriétés chimiques des fibres végétales.....	28
II.7. Utilisation des fibres végétales dans la construction	29
II.7.1. La paille en construction.....	29
II.7.2. Les constructions en béton de chanvre	29
II.7.3. Les mélanges terre et fibre végétale	30
II.7.4. Des briques en mousse végétale et fibre de lin.....	30
II.8. Avantages et inconvénients des fibres végétales.....	31
II.9. L'utilisation des fibres végétales dans le domaine de génie civil.....	32
II.10. Etude des Typhacées	32
II.10.1. Présentation de la plante de Typha	32
II.10.2. Les différentes variétés de Typha.....	33
II.11. Conclusion.....	35

CHAPITRE III :

Matériaux et procédures expérimentales

III.1. INTRODUCTION.....	37
III.2. Matériaux et matériel utilisé	37
III.3. CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX UTILISÉS	37
III.3.1. Ciment	37
III.2.2. 3Compacité.....	41
III.2.2.4 L'indice des vides	41
III.2.2 .1.8Analyse granulométrique (NF P 18-560).....	44
III.2.3 Typha angustifolia.....	46
III.3. Traitement des fibres.....	48
III.3.1. Hydroxyde de sodium.....	48
III.4 Fabrication et conditionnement des éprouvettes.....	49
III.5 Composition de mortier.....	49
III.6 Formulation d'un mortier témoin.....	49
III. 7Malaxage du mortier	49

III.8.	Essais de maniabilité (consistance de mortier)	50
III.9.	Préparation des éprouvettes	50
III.10.	Conservation des éprouvettes.....	52
III.11.	Les compositions utilisées	52
III.12	Séquence de malaxage du mortier	53
III.13.	Démoulage et conservation des éprouvettes	54
III.14.	Essais Sur Mortier	54
III.14.1.	Des essais à l'état frais.....	54
III.14.1.1	L'affaissement	54
III.14.1.2	La masse volumique a L'état frais.....	54
III.14.2.	Des essais à l'état durci	55
III.14.2.1	Cure appliquée [NF P 18-404].....	55
III.14.2.2	La masse volumique a L'état durci.....	55
III.14.2.3	Résistance à la traction par flexion.....	56
III.14.2.4	Résistance à la compression	56
III.14.2.5	Porosité ASTM - C642.....	57

CHAPITRE IV :

Partie Pratique

IV.1	Introduction	62
IV.2	Les résultats des essais à l'état frais	63
IV.2.1	L'affaissement.....	64
IV.2.2	La masse volumique à l'état frais du mortier étudié:.....	66
IV.3.	Les résultats des essais à l'état durci.....	68
IV.3.1.	La masse volumique a L'état durci.....	68
IV.3.2.	Résistance à la flexion	70
IV.3.3.	Résistance à la compression.....	74
IV.3.4.	Porosité.....	76
	Conclusion Générale.....	80

Listes des figures

Figure. I.1 : Mélange de mortier	5
Figure 1 2 : Constituants des mortiers.	5
Figure 1.3. Le ciment	6
Figure. I.4. Fabrication des ciments.	7
Figure 1.5. Les composantes de ciment	8
Figure 1.6. Le sable	9
Figure 1.7. Les adjuvants	11
FigureII. 1. Classification des fibres naturelle	21
FigureII. 2. Représentation schématique d'une fibre de bois	22
FigureII. 3. Structure moléculaire de la cellulose	23
Figure II.4. Organisation des composants cellulosiques dans la paroi cellulaire d'une fibrevégétale typique	23
FigureII. 5. Principaux glucides constituant les hémicelluloses	24
Figure II.6. structure de la pectine	25
FigureII.7. Motifs élémentaires de la lignine	26
Figure II.8. Composition chimique des fibres de Diss en matière sèche (% en poids)	26
FigureII. 9. Exemple de défaut structural sur une fibre de lin	28
FigureII. 10. Photo des plantes de Typha ; Moknine « Oued el Ghecil »	34
Figure II.11. Caractéristiques spécifiques à certaines variétés de la plante de Typha	35
Figure III. 1 : Ciment utilisé	42
Figure III. 2 : Mesure de l'équivalent de sable	46
Figure III.3. Analyse granulométrique par tamisage	49
Figure II.4 : Plante Typha angustifolia	51
Figure III.5 : Plant typha	51
Figure III.6: Processus d'extraction des fibres	53
Figure III. 7 : Des éprouvettes	54
Figure III.8: Malaxeur	55
Figure III.9: Lubrification	56
Figure III.10 : Rasage	56
Figure III.11 : étiqueter les moules	56

Figure III.12 : serrée mortier	56
Figure III.13 : Marquer les éprouvettes	57
Figure III.14 : Cône d'Abrams	59
Figure III.15 : Essai de résistance à la flexion	61
Figure III.16 : Essai de résistance à la compression	62
Figure III.17: essai de chauffage	63
Figure III.18: Essai de mesure dans l'eau	63

Listes des Tableaux

Tableau. I.1 : Composition chimique en oxydes d'un ciment ordinaire et notation cimenterie	6
Tableau I.1. Différentes actions des adjuvants.	11
Tableau II.1. Composition chimiques de quelques fibres naturelles	29
TableauII. 2. Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales	32
Tableau III.1 : Analyse chimique ciment (%)	42
Tableau III.2 : caractéristiques physico-mécaniques	42
Tableau III.3 : Les constituants de ciment en %	43
Tableau III.4. Masse volumique absolue du sable	43
Tableau III.5. Masse volumique apparente à l'état lâche	44
Tableau III.6. Masse volumique apparente à l'état compact	44
Tableau III.7. Porosité, compacité et indice des vides	45
Tableau III.8: Les résultats d'équivalent du sable	47
Tableau III.9. Teneur en eau	48
Tableau III. 15 : Les compositions utilisé pour le mo	58

الملخص:

يشهد قطاع البناء تطورًا مستمرًا لتلبية الطلب المتزايد على المساكن، لكنه يواجه تحديًا حاسمًا يتمثل في جودة وديمومة المباني. غالبًا ما تُعزى تدهورات هذه المباني إلى استخدام مواد غير مناسبة، نقص الصيانة، أو الظروف المناخية القاسية، مما يؤدي إلى فقدان الراحة الحرارية والصوتية وزيادة استهلاك الطاقة. هذه الظروف تحفز البحث العلمي لتطوير حلول

مبتكرة وصديقة للبيئة، ومن بين هذه الحلول تبرز الألياف الطبيعية كبديل واعد. تتميز ألياف نبات التيف (*Typha angustifolia*)، وهي مورد محلي وفير، بخفة وزنها، قابليتها للتحلل البيولوجي، وخصائصها الميكانيكية الجيدة بفضل محتواها العالي من السليلوز.

يهدف هذا العمل إلى دراسة تأثير إضافة ألياف التيف المعالجة كيميائيًا على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للمونة الإسمنتية. تم دمج الألياف بطولين مختلفين: 2 سم و5 سم. تجدر الإشارة إلى أن الألياف بطول 5 سم قُطعت بشكل عشوائي وأضيفت يدويًا إلى المونة لتقييم تأثير التوزيع غير المنتظم. ولتقييم الأداء، تم استخدام أربعة نسب مختلفة من الألياف: 0.2%، 0.5%، 0.8%، و1% من وزن المونة. ركزت الدراسة على تحليل مجموعة من الخصائص الرئيسية، تشمل:

- الخصائص الفيزيائية: قوام المونة، امتصاص الماء، والكثافة الظاهرية، لتقييم تأثير الألياف على المسامية وديمومة المادة.

- الخصائص الميكانيكية: مقاومة الضغط ومقاومة الانحناء، التي تم قياسها بعد 7، 14، و28 يومًا من التصلب، لتقدير تطور الأداء الهيكلي للمونة المدعمة.

تساهم هذه الدراسة في تعزيز استخدام مواد بناء مستدامة وصديقة للبيئة في قطاع البناء، من خلال تقديم فهم شامل لتأثير ألياف التيف على خصائص المونة، مما يفتح آفاقًا جديدة لتطبيقاتها المحتملة في المباني المستدامة.

الكلمات المفتاحية: الملاط - ألياف نبات التيف - الاتساق - الخواص الفيزيائية والميكانيكية

Résumé :

Le secteur de la construction, en constante évolution pour satisfaire la demande croissante de logements, fait face au défi crucial de la qualité et de la durabilité des bâtiments. La dégradation de ces derniers, souvent due à des matériaux inadaptés, un entretien insuffisant ou des conditions climatiques extrêmes, mène à une perte de confort thermique et acoustique et à une surconsommation énergétique. Cette situation incite la recherche à développer des solutions innovantes et écologiques, parmi lesquelles les fibres naturelles émergent comme une alternative prometteuse. Les fibres de *Typha angustifolia*, une ressource locale abondante, se distinguent par leur légèreté, leur biodégradabilité et leurs bonnes propriétés mécaniques, grâce à leur teneur élevée en cellulose.

Ce travail vise à étudier l'impact de l'ajout de fibres de *Typha angustifolia* traitées chimiquement sur les propriétés physiques et mécaniques du mortier cimentaire. Les fibres ont été incorporées selon deux longueurs différentes : 2 cm et 5 cm. Il est à noter que les fibres de 5 cm ont été coupées de manière aléatoire et ajoutées manuellement au mortier, afin d'évaluer l'effet d'une distribution non uniforme. Pour évaluer la performance, quatre pourcentages différents de fibres ont été utilisés : 0,2%, 0,5%, 0,8% et 1% du poids du mortier. L'étude s'est concentrée sur l'analyse d'un ensemble de propriétés clés, incluant :

- Propriétés physiques : la consistance du mortier, l'absorption d'eau et la masse volumique apparente, afin d'évaluer l'effet des fibres sur la porosité et la durabilité du matériau.
- Propriétés mécaniques : la résistance à la compression et la résistance à la flexion, mesurées après 7, 14 et 28 jours de cure, permettant d'apprécier l'évolution des performances structurelles du mortier renforcé.

Cette étude contribue à promouvoir l'utilisation de matériaux durables et respectueux de l'environnement dans le secteur de la construction, en offrant une compréhension complète de l'influence des fibres de *Typha* sur les propriétés du mortier, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives pour leurs applications potentielles dans les bâtiments durables.

Mots clés : mortier, fibre *Typha angustifolia*, propriétés physiques, mécaniques

Abstract

The construction sector, continuously evolving to meet the growing demand for housing, faces the crucial challenge of building quality and durability. The degradation of buildings is often due to unsuitable materials, insufficient maintenance, or harsh climatic conditions, leading to a loss of thermal and acoustic comfort and increased energy consumption. This situation encourages scientific research to develop innovative and eco-friendly solutions, among which natural fibers emerge as a promising alternative. Fibers from *Typha angustifolia*, an abundant local resource, are distinguished by their lightness, biodegradability, and good mechanical properties due to their high cellulose content.

This work aims to study the impact of adding chemically treated *Typha angustifolia* fibers on the physical and mechanical properties of cement mortar. Fibers were incorporated in two different lengths: 2 cm and 5 cm. It is noteworthy that the 5 cm fibers were cut randomly and manually added to the mortar to evaluate the effect of non-uniform distribution. To assess performance, four different fiber percentages were used: 0.2%, 0.5%, 0.8%, and 1% of the mortar weight. The study focused on analyzing a set of key properties, including:

- Physical properties: mortar consistency, water absorption, and apparent density, to evaluate the effect of fibers on porosity and material durability.
- Mechanical properties: compressive strength and flexural strength, measured after 7, 14, and 28 days of curing, allowing assessment of the structural performance evolution of the reinforced mortar.

This study contributes to promoting the use of sustainable and environmentally friendly materials in the construction sector by providing a comprehensive understanding of the influence of *Typha* fibers on mortar properties, thus opening new perspectives for their potential applications in sustainable buildings.

Keywords: mortar, Fibers from *Typha angustifolia*, physical, mechanical properties

INTRODUCTION
GENERALE

Introduction générale

Bien que de nombreuses habitations aient été construites à travers le monde pour répondre aux besoins croissants en logement, la qualité des bâtiments s'est souvent détériorée avec le temps. Cette dégradation est due à divers facteurs, notamment l'utilisation de matériaux inadéquats, le manque d'entretien et l'exposition aux agressions climatiques. Cette situation souligne l'importance cruciale d'améliorer le confort thermique et acoustique des logements afin d'assurer un cadre de vie sain et agréable. Par ailleurs, un bon isolement thermique contribue également à réduire la consommation énergétique des bâtiments, participant ainsi activement aux objectifs de développement durable.

Dans ce contexte, l'utilisation des fibres naturelles pour renforcer les matériaux de construction, notamment le mortier, suscite un intérêt grandissant. Ces fibres offrent des avantages écologiques et économiques par rapport aux fibres synthétiques. Parmi elles, les fibres extraites de **Typha angustifolia** (massette à feuilles étroites) apparaissent comme une ressource naturelle prometteuse. Ces fibres se caractérisent par leur légèreté, leur biodégradabilité et une teneur élevée en cellulose, ce qui leur confère une bonne résistance mécanique.

Les études montrent que le traitement alcalin des fibres de Typha, généralement par immersion dans une solution de NaOH, permet d'éliminer les composants non cellulosiques tels que la lignine, l'hémicellulose et les cires. Ce traitement améliore la teneur en cellulose et la cristallinité des fibres, favorisant ainsi une meilleure adhérence entre les fibres et la matrice cimentaire du mortier [1]. L'incorporation de ces fibres traitées dans le mortier permet de réduire l'absorption d'eau et la densité apparente, ce qui diminue la porosité et améliore la durabilité du matériau [2] [3].

Par ailleurs, les propriétés mécaniques du mortier, telles que la résistance à la compression et à la flexion, sont significativement améliorées après des périodes de cure de 7, 14 et 28 jours, grâce à la capacité des fibres à limiter la propagation des fissures et à renforcer la cohésion interne [4]. La longueur et la distribution homogène des fibres jouent également un rôle clé dans l'amélioration des performances mécaniques du mortier (étude récente sur les matériaux composites). De plus, les fibres de Typha contribuent à l'amélioration de l'isolation thermique des bâtiments, participant ainsi à une meilleure efficacité énergétique [5].

Cette étude s'inscrit pleinement dans la dynamique mondiale de développement de matériaux de construction durables et respectueux de l'environnement. L'objectif principal est d'évaluer l'impact de l'ajout de fibres naturelles de Typha, traitées chimiquement, sur les propriétés physiques et mécaniques du mortier. Nous étudierons notamment la consistance, l'absorption d'eau, la masse volumique, ainsi que les résistances à la compression et à la flexion, afin de déterminer les conditions optimales d'utilisation de ces fibres dans le secteur du bâtiment. Enfin, des analyses microstructurales (par exemple, FTIR, XRD) seront effectuées pour confirmer et valider les résultats des tests macroscopiques et mieux comprendre les interactions fibres-matrice.

Ainsi, pour assurer les objectifs assignés à ce travail de recherche, le présent manuscrit comporte quatre chapitres :

Chapitre 1 : Recherche bibliographique sur les mortiers. Ce chapitre sera consacré à une revue exhaustive des connaissances existantes sur les mortiers, leurs compositions, leurs propriétés et leurs applications.

Chapitre 2 : Généralités sur les fibres naturelles. Nous y présenterons un aperçu détaillé des différentes fibres naturelles utilisées dans la construction, en mettant un accent particulier sur les fibres de Typha angustifolia, leurs caractéristiques et leurs traitements.

Chapitre 3 : Matériaux et méthodes expérimentales. Ce chapitre décrira en détail les matériaux utilisés dans cette étude (ciment, sable, eau, fibres de Typha) ainsi que les différentes méthodes expérimentales mises en œuvre pour déterminer les caractéristiques des matériaux composites élaborés.

Chapitre 4 : Résultats et interprétations. Ce chapitre présentera et discutera les résultats obtenus lors des tests physiques et mécaniques.

Conclusion générale et perspectives. Enfin, ce mémoire s'achèvera par une conclusion générale des travaux réalisés, résumant les principales découvertes et proposant des perspectives pour de futures recherches sur l'utilisation des fibres végétales de Typha dans les matériaux de construction.

CHAPITRE I :
GÉNÉRALITÉS SUR LES MORTIERS

Introduction

Une construction est généralement réalisée par éléments, dont il faut assurer la liaison ou qu'il faut protéger par un revêtement. On doit alors effectuer des scellements ou divers travaux de reprise, de bouchage, etc. Toutes ces opérations se font à l'aide d'un liant toujours mélangé à du sable, de l'eau et éventuellement un adjuvant pour obtenir un mortier qui se distingue du béton par l'absence de gravillons. Le mortier est un mélange de liant chaux ou ciment, de sable, d'eau et éventuellement d'adjuvants et ajouts. Des compositions multiples de mortiers peuvent être obtenues en jouant sur l'un ou l'ensemble de ces constituants : En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables ; leur choix et le dosage sont fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement.

Dans ce chapitre on parle d'une manière générale sur les matériaux utilisés dans le mortier : Le ciment et ses caractéristiques, le mortier et ces différents types, l'eau utilisée.

I.1. Définition :

Une construction est généralement réalisée par éléments, dont il faut assurer la liaison ou qu'il faut protéger par un revêtement. On doit alors effectuer des scellements ou divers travaux de reprise, de bouchage, etc. Toutes ces opérations se font à l'aide d'un liant toujours mélangé à du sable, de l'eau et éventuellement un adjuvant pour obtenir un mortier qui se distingue du béton par l'absence de gravillons [1].

Le mortier est l'un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, d'un liant (ciment ou chaux) et d'eau dans des proportions données, différent selon les réalisations.

Des compositions multiples de mortiers peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau, etc. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables ; leur choix et dosages sont fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement.



Figure. I.1 : Mélange de mortier [1].

I.2. Constituant d'un mortier

En général les mortiers sont constitués par des mélanges de :

- ✓ Liant (ciment ou chaux)
- ✓ Eau
- ✓ Sable
- ✓ Adjuvants [2]

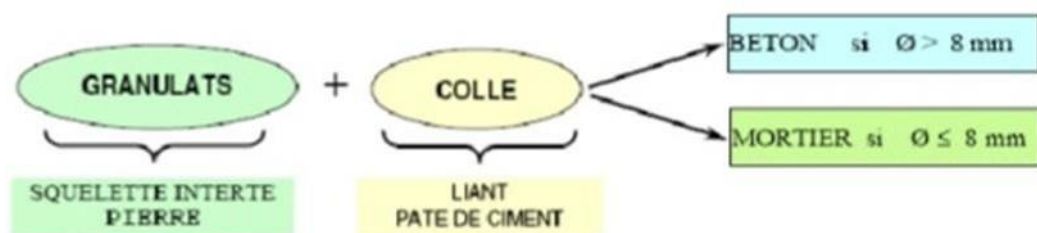


Figure 1 2 : Constituants des mortiers. [2]

I.2.1. Ciments

Le ciment est un produit moulu du refroidissement du clinker qui contient un mélange de silicates et d'aluminates de calcium porté à 1450 – 1550 °C, température de fusion.

Elle est définie selon la norme NFP15301, comme une fine mouture inorganique qui gâchée avec l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit. Le ciment portland est constitué d'un

mélange de clinker, de gypse et d'ajouts minéraux, le ciment est majoritairement composé de quatre phases anhydres [2].

Tableau. I.1 : Composition chimique en oxydes d'un ciment ordinaire et notation cimenterie

Oxydes	CAO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaSO ₄	H ₂ O	SO ₃
Composition en (%)	50-70%	5-10%	15-30%	5-10%	0-5%	0-2%	0-5%
Notation Cimenterie	C	A	S	F	CS	H	S

Le ciment usuel est aussi appelé liant hydraulique, car il a la propriété de s'hydrater et de durcir en présence d'eau car cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium. L'expression de « pâte de ciment durcissant » sera utilisée pour désigner la pâte de ciment dans la transformation d'un état plus ou moins fluide en un état solide.

Le ciment ordinaire anhydre est constitué de clinker Portland, de gypse et éventuellement d'additions comme les fillers et fumée de silice.



Figure 1.3. Le ciment [3]

I.2.1.1. Les différentes méthodes de fabrication de ciment

IL existe quatre méthodes de fabrication du ciment :

- Fabrication du ciment par voie humide (la plus ancienne).
- Fabrication du ciment par voie semi-humide (en partant de la voie humide).

- Fabrication du ciment par voie sèche (la plus utilisée).
- Fabrication du ciment par voie semi- sèche (en partant de la voie sèche).

I.2.1.2. Principe de fabrication du ciment Portland

Le ciment est produit à partir des roches facilement accessibles : calcaire, marbre et argile. De façon générale, un mélange renferme environ 80% de calcaire et 20% d'argile.

Le mélange finement broyé est porté à 1450°C dans un four rotatif pour produire le clinker.

Le ciment résulte d'un broyage très fin du clinker. Lors de la phase de broyage, du gypse (5% en poids) est ajouté pour mieux maîtriser le temps de prise. A ce niveau, éventuellement d'autres constituants minéraux associés, parmi ces substances figurent la pouzzolane naturelle, les cendres volantes, les laitiers de hauts fourneaux, le calcaire etc.

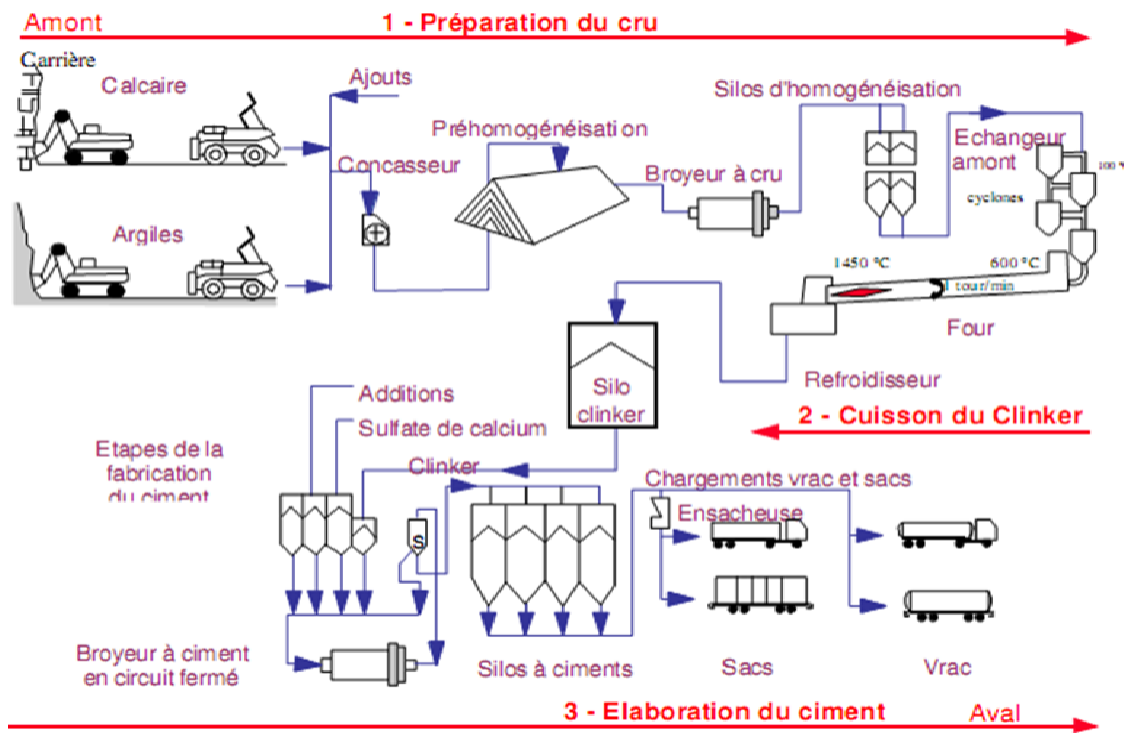


Figure. I.4. Fabrication des ciments.



Figure 1.5. Les composantes de ciment [4]

I.2.1.3. Les différents types de ciment

Les ciments incorporent les composants suivants en diverses proportions : clinker et laitier de haut fourneau, éventuellement cendres volantes siliceuses et calcaire. Suivant la proportion de chacun de ces éléments on peut les classer de manière standardisée. La désignation des ciments est en effet normalisée. Les ciments peuvent être classés en cinq grandes familles et vingt-sept variantes principales (normée EN-197-1-2000).

- Ciment Portland (noté CEM I) – Clinker.
- Ciment Portland composé (noté CEMII) -Clinker principalement, associé à un deux ou trois des autres composants.
- Ciments de hauts fourneaux (noté CEM III) - Mélanges de clinker et de laitier de haut fourneau.
- Ciments pouzzolaniques (noté CEM IV).
- Ciments au laitier et aux cendres ou ciment composé (noté CEM V).
- Ciment blanc (différent des précédents par sa composition chimique et la méthode de fabrication).

I.2.2. Le sable

Le sable est un matériau solide granulaire constitué de petites particules provenant de la désagrégation de matériaux d'origine minérale (essentiellement des roches) ou organique (coquilles, squelettes de coraux, etc.) dont la dimension est comprise entre 0,063 mm (limon) et 2 mm (gravier) selon la définition des matériaux granulaires en géologie. Sa composition peut révéler jusqu'à 180 minéraux différents (quartz, micas, feldspaths, etc.) ainsi que des débris calcaires.

Les sables peuvent être classés, selon leurs provenances comme suit :

- **Sable de rivière** : il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.
- **Sable de mer** : il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.
- **Sable de carrière** : Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire [3].



Figure 1.6. Le sable

1.2.1. Rôle de sable dans le mortier

L'introduction des sables permet de diminuer le retrait du liant (ossature mortier) en augmentant les résistances mécaniques, ajoutant de ça, sa disponibilité et son aspect esthétiques (couleur). Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important [1] : Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide.

1.2.3. L'eau de gâchage

Le choix de l'eau de gâchage a aussi une grande importance car elle remplit un double rôle : elle sert à hydrater le ciment et ce qui est plus important, elle contribue à son ouvrabilité. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale. L'eau devrait être propre et ne pas contenir de produits nocifs tels que des acides, des alcalis ou des matières organiques. Lorsqu'elle est potable, on peut l'utiliser [5]



Figure 1.7. L'eau de gâchage

1.2.4. Adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons et mortiers. Ils modifient les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (environ de 5% du poids de ciment). Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants, les super plastifiants (haut réducteurs d'eau), les entraîneurs d'air, les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs) et les hydrofuges. D'après quelques études de recherches l'ajout des adjuvants peut provoquer quelques problèmes dans le mélange tel que :

- ✚ On ajoute les adjuvants qui servent à aérer en vue d'améliorer la maniabilité et la durabilité du mortier. Toutefois, des recherches ont démontré que des contenus d'air dans le mortier en excès de 12 % augmentent la probabilité que l'humidité y pénètre en plus de diminuer l'adhérence.

- ✚ On utilise quelque fois un antigel ou autre produit semblable pour abaisser le point de congélation du mortier afin de poser de la brique par temps froid. Toutefois, pour que cette méthode soit efficace, il faut ajouter une quantité considérable et cela diminue considérablement l'adhérence, en plus de contribuer à l'efflorescence et à l'effritement des surfaces du briquetage.

- ✚ Les accélérateurs comme le chlorure de calcium servent à accélérer l'hydratation du mortier par temps froid en vue d'éviter de chauffer les matériaux du mortier. Toutefois, le chlorure de calcium chlorite tend à corroder l'armature dans le mortier. Les accélérateurs, même ceux qui ne contiennent pas de chlorure de calcium, ont tendance à causer de l'efflorescence.

✚ Une bonne composition du mélange, l'utilisation de matériaux de qualité et une bonne technique permettent habituellement d'obtenir une maçonnerie solide. Par contre, une mauvaise composition, l'utilisation de matériaux de qualité inférieure et une technique défectueuse ne peuvent pas être corrigées par l'emploi d'adjuvants. Selon l'effet recherché, on peut distinguer trois grandes familles d'adjuvants.

Tableau I.1. Différentes actions des adjuvants.

Action	Rôle	Domaine d'emploi
La prise	Il diminue le temps ou prise où Durcissement du ciment	Bétonnage pour temps froid, décoffrage rapide, travaux sous l'eau.
	Il augmente le temps de prise.	Bétonnage par temps chaud, avec coffrage glissant.
L'ouvrabilité	A teneur en eau égale, il augmente	Travaux Génie civil, bétonnage avec coffrage glissant.
	l'ouvrabilité du béton et mortier.	Travaux Génie civil, bétonnage avec coffrage glissant.
	Il provoque un fort croissement de maniabilité.	Fondation, dalles, raideurs, béton pompé.
Les résistances aux agents extérieurs	Il entraîne la formation de microbulles d'air uniformément.	Béton exposé au gel, bétons routiers
	Ils diminuent l'absorption capillaire des bétons et mortiers.	Ouvrage hydraulique, mortiers d'étanchéité.



Figure 1.8. Les adjuvants

1.3. Fonctions d'un mortier

La fonction principale d'un mortier est de liasonner les éléments de maçonnerie de manière à ce qu'ils constituent un seul bloc. Par ailleurs, le mortier sépare les éléments et remplit toutes les fentes et fissures en formant une surface de contact homogène. Le rejointoiement doit permettre de renforcer les propriétés structurales des éléments et en même temps empêcher la pénétration de la pluie. Ceci exige une adhérence complète. Si elle est réalisée, le mur aura une durabilité suffisante pour résister aux éléments [5]

Les mortiers sont des éléments indispensables à toute construction. Il peut être utile pour la plupart des travaux de construction et de rénovation en maçonnerie. :

1. Lier des briques ou des pierres entre elles,
2. Effectuer l'enduit d'un mur,
3. Sceller des éléments,

1.4 Emplois des mortiers

➤ **Le hourdage de maçonnerie :**

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



Figure I.9. Mortier utilisé dans le hourdage de maçonnerie

➤ **Les enduits**

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



Figure I.10. Mortier utilisé dans les enduits

➤ **Les chapes**

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



Figure I.11. Application d'une chape de sol

➤ **Les scellements et les calages**

• La multiplicité des problèmes de scellement et de calage a conduit les producteurs de mortiers industriels à mettre au point des produits spécifiques adaptés aux travaux à réaliser :

- Scellements d'éléments de couverture
- D'éléments de second œuvre
- De mobiliers urbains
- De regards de visite

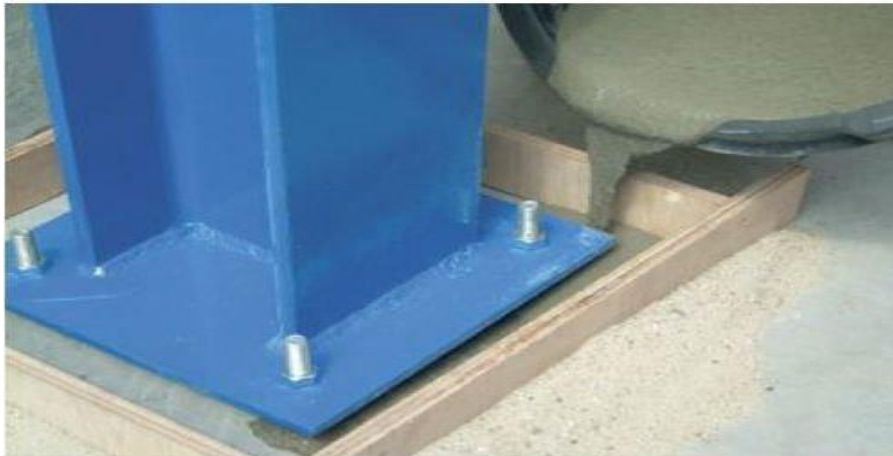


Figure I.12. Mortier utilisé dans les scellements et les calages

1.5. Différents mortiers en fonction du type de liant

Les types de mortiers sont choisis selon l'application. Il existe de multiples types de mortiers avec différentes propriétés et applications, plus ou moins adaptés en fonction des usages. Les mortiers les plus fréquemment utilisés sur les chantiers sont :

1.5.1. Les mortiers de ciment

Le mortier-ciment est le produit le plus basique qui soit, indispensable pour construire un mur et lier les pierres ou briques entre elles. Il s'agit d'un mélange classique de ciment, de sable et d'eau.

Le mortier de ciment est très résistant et étanche à l'eau mais sujet à la fissuration : convient pour l'assemblage de blocs béton, Pour les jointements et les scellements, on peut envisager de se passer de sable. [6]

1.5.2 Les mortiers de chaux

C'est un type de mortier où la chaux (chaux grasse ou chaux hydraulique) est utilisée comme liant et le sable est utilisé comme granulat fin. Ce mélange est couramment utilisé pour enduire les murs intérieurs et extérieurs.

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment, surtout lorsque la chaux est calcique. Il a de la souplesse mais il a moins d'imperméabilité que le ciment.

1.5.3 Les mortiers bâtards

Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement les qualités de ces deux liants. Le ciment lui procure de la résistance, tandis que la chaux lui apporte de la souplesse. L'usage de ces deux liants donne un mortier résistant, une prise plus rapide grâce au ciment, suffisamment gras et onctueux grâce à la chaux. Le tout lui procure une facilité de prise en main. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales ; mais on mettra une quantité plus ou moins grande de l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée

1.6. Les différents mortiers en fonction de l'usage**1.6.1 Le mortier-ciment**

Ce matériau sera utile pour toutes les constructions classiques (murs, chapes, etc.), qui ne nécessitent pas l'usage d'un mortier spécifique. L'avantage du ciment est qu'il profite d'une excellente résistance à la compression. Il durcit également plus vite que la plupart des autres solutions.

Les dosages courants sont de l'ordre de : 300 à 400 kg de ciment pour 1 m³ de sable. De plus un dosage en ciment insuffisant les rend pratiquement imperméables

1.6.2 Le mortier hydrofuge

Comme son nom l'indique, le mortier hydrofuge est un mortier résistant à l'eau, qui permet d'éviter les problèmes d'humidité sur une surface. Il permet de :

- Boucher des fissures,
- Enduire un mur,
- Réaliser des chapes.

On l'utilise avant tout dans les lieux humides (salle de bain, extérieur, etc.) ou encore pour concevoir des réalisations étanches, comme un bassin de piscine

1.6.3 Le mortier réfractaire

Le mortier réfractaire est un mortier résistant aux hautes températures. Selon les préparations, il peut généralement résister à des températures de 900° ou moins. En toute logique, il est uniquement utilisé pour les constructions qui sont exposées à ce type de températures, à savoir pour le montage et le jointement des :

- Foyers de cheminée,
- Des barbecues maçonnés.

Ce matériau protège ainsi les joints et la structure des constructions exposées aux flammes et à la chaleur. Il n'est cependant jamais utilisé sur des constructions qui n'en ont pas besoin ?

1.6.4 Le mortier de chaux

La chaux est l'un des liants les plus utilisés dans les anciennes constructions. À tel point qu'on utilise encore fréquemment des mortiers à la chaux.

Il faut dire que ce type de mortier permet au mur de mieux respirer et dispose également de capacités hydrofuges (idéales pour les pièces humides).

L'usage de chaux dans un mortier permet généralement une application plus facile, grâce à un temps de séchage un peu plus long. Ces mortiers sont cependant plus complexes à doser que le ciment

1.6.5. Le mortier bâtard

Le mortier dit "bâtard" est un mortier qui utilise à la fois deux types de liants différents (ciment + chaux ou deux ciments différents), généralement, à parts égales. [7]

Un mortier bâtardé (à base de chaux) permet de tirer parti des avantages des deux liants. Plus adhérent et plastique que le ciment pur, il résiste mieux à la fissuration : le bon compromis pour la brique de terre cuite, la pierre mi-tendre.

1.6.6 Le mortier-colle ou ciment-colle

Il s'agit, comme son nom l'indique, d'un mortier adhésif, qui permet de coller un revêtement contre un mur ou un sol.

Ce matériau est utilisé pour coller des plaquettes de parement, des carrelages muraux ou au sol, ou encore des dalles. Selon le mortier-colle choisi, l'utilisation peut se faire en intérieur et/ou en extérieur.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons vu que le mortier est l'un des matériaux de construction de grande importance et d'utilisation dans la construction grâce à leur diversité. Les composés Principaux de ce dernier ainsi que les exigences de son utilisation sont bien décrites dans ce chapitre.

CHAPITRE II :
GENERALITE SUR LES FIBRES
NATURELLES

I.1. Introduction

Depuis l'Antiquité, l'homme a élaboré des matériaux composites par combinaison de matières de natures différentes dans le but d'obtenir des matériaux aux propriétés spécifiques.

De nombreux matériaux naturels lui ont fourni des modèles, tel que l'os rigide mais léger, formé de fibres de collagène dans une matrice minérale d'apatite dure et fragile, ou le bois, souple mais résistant formée d'un réseau de microfibrille de cellulose cimenté dans une matrice d'hémicellulose et lignine [1, 2]. La famille des matériaux composites à fibres, apparue dans les années 1940 n'a cessé de se développer en raison de leurs propriétés mécaniques associées souvent à une faible densité. Leur bon rapport coût/performance leur a ouvert une très large gamme d'application Dans des domaines varies ; l'industrie aérospatial, automobile, maritime, ferroviaire, le bâtiment, l'ameublement, la décoration etc. [3].

Toutefois, même si le développement des composites est qualifié de prometteur cette progression est néanmoins jalonné de quelques contraintes à surmonter dont par exemple celles liées à l'environnement, l'hygiène et la sécurité.

La valorisation des matériaux composites classiques avec leur armature en fibres de verre, d'aramide, ou bien de carbone pose un grand problème à leur fin de vie. Pour y palier les fibres naturelles sont mises.

Elles sont issues de ressources renouvelables elles sont biodégradables. Elles sont moins irritantes pour la peau et le système respiratoire des personnes qui les manipulent. Par ailleurs les fibres naturelles ont une densité plus faible que les fibres minérales [4, 5].

Le faible coût et les propriétés mécaniques spécifiques élevées (résistance et rigidité) des fibres végétales sont des avantages essentiels.

II.2. Les fibres vegetales

II.2.1. Définition de la fibre végétale :

La biomasse végétale est constituée de plusieurs macromolécules qui sont liées entre elles au sein de la paroi végétale. On distingue quatre composés principaux qui sont: la cellulose, la lignine, les hémicelluloses et les pectines. Ces différents composés sont liés entre eux par différents types de liaisons (covalente, hydrogène et de Vander Walls) nécessitant chacune une manière spécifique de rupture. Les fibres végétales peuvent permettre aux industriels des

matériaux de réduire leur dépendance vis-à-vis du pétrole, grâce à leurs propriétés mécaniques, leur faible densité, leur résistance thermique, leur absorption phonique, leurs propriétés de surface, et leur biodégradabilité [7].

II.2.2. Classification des fibres végétales

Les fibres naturelles peuvent être classées selon leur origine en fibres animales, minérales et végétales (VF). Ces dernières, également connues sous le nom de fibres lignocellulosiques en raison de leurs composants principaux étant la cellulose, l'hémicellulose et la lignine [1] sont classées selon leur composition chimique en fibres de bois et non ligneuses.

Les fibres de bois contiennent une plus grande quantité de lignine que les fibres non ligneuses et peuvent être divisées en fibres de bois résineux (Softwood fibers) ou de bois dur (hardwood fibers). Les fibres de résineux peuvent être trouvées dans les pins, les sapins, etc., et les fibres de bois durs se trouvent dans le bouleau, l'eucalyptus, le hêtre, etc. Les fibres non ligneuses couvrent quatre grandes catégories selon la partie de la plante où se trouvent les fibres (p. Ex. Fibres libériennes, graines, feuilles, tiges et roseaux) [7]. Figure 1 montre des exemples de fibres naturelles et leur classification [1].

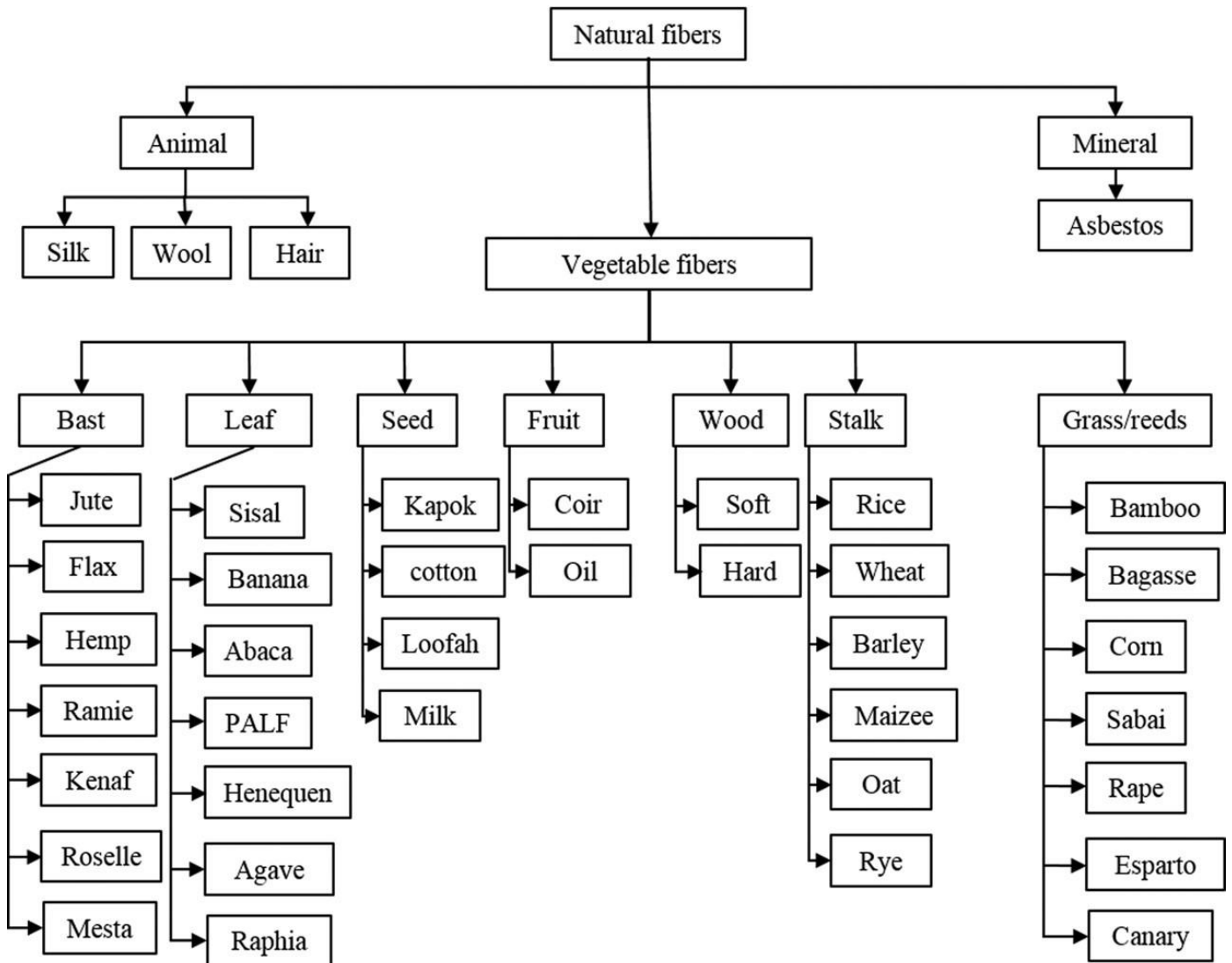


Figure II.1 Classification des fibres naturelles [7].

II.2.3. Structure de la fibre végétale

La biomasse végétale est constituée de plusieurs macromolécules étroitement liées entre elles au sein de la paroi végétale. Comme nous l’avons vu précédemment les composées les plus majoritaires sont la cellulose, l’hémicellulose les pectines et les lignines. Ces différents constituants sont agencés de manière très complexe.

Dans le bois, la cellulose est concentrée à l’intérieur de la fibre (Figure 2.). Les parois extérieures de la fibre sont composées principalement de lignines et d’hémicelluloses et les lamelles de jonction inter fibres sont composées presque uniquement de lignine. Un réseau

supplémentaire de pectines (polymères de polysaccharides acides) augmente la complexité de la matrice. Le réseau polysaccharidique peut également être solidifié par un réseau secondaire de protéines HRGP (Hydroxyproline Rich Glycol Protéines).

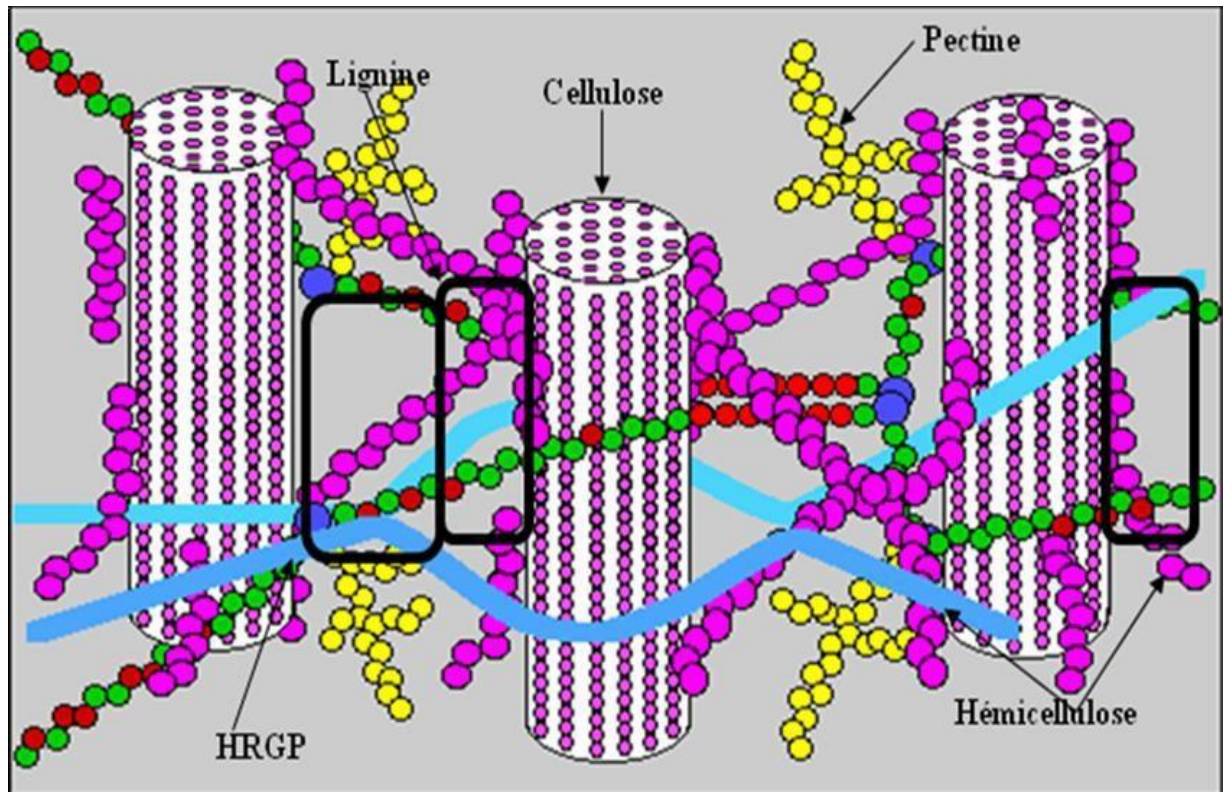
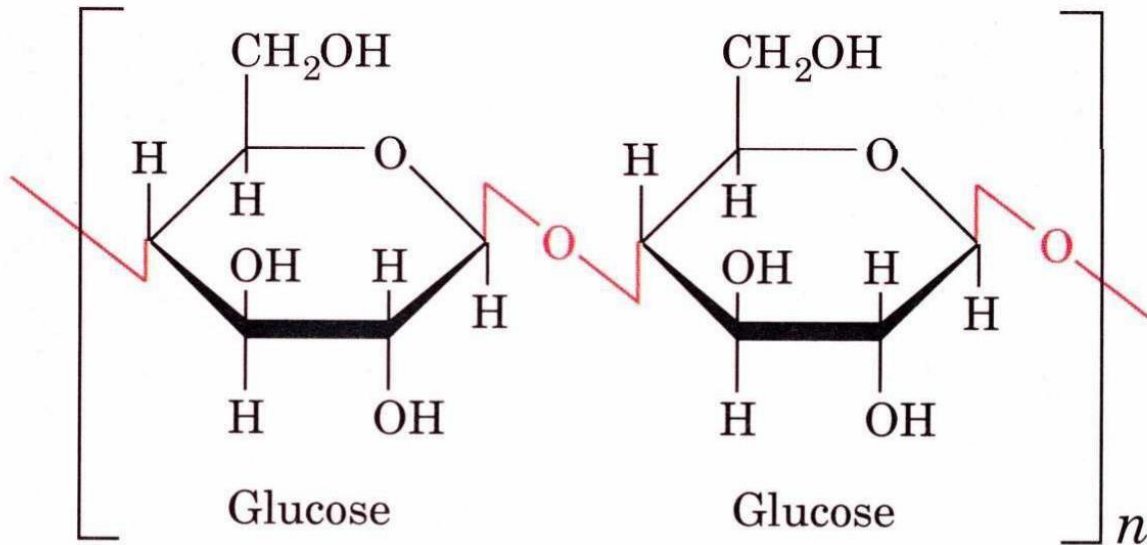


Figure II.2. Représentation schématique d'une fibre de bois [8].

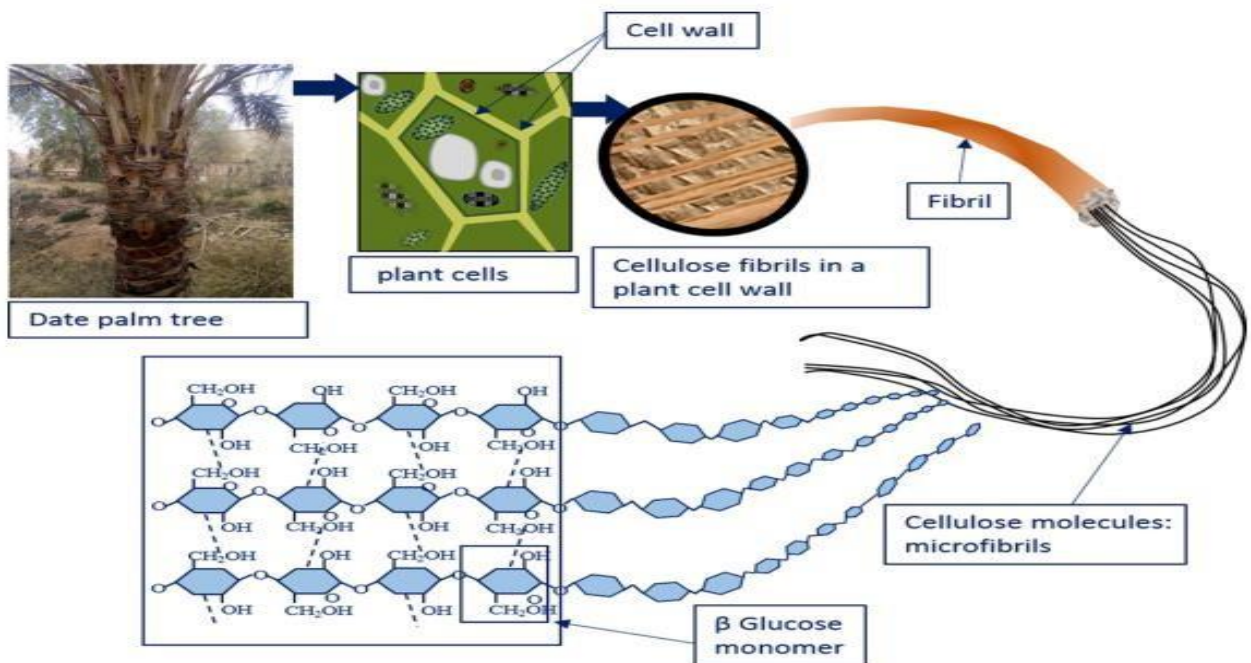
II.2.3.1. La cellulose

La cellulose est un polymère naturel le plus disponible sur terre. Il peut être trouvé dans de nombreux domaines de l'industrie, tels que l'emballage, les textiles et le papier, ainsi qu'être utilisé comme additif alimentaire. La cellulose est constituée de longues chaînes de molécules unitaires d'anhydride de glucose comptant jusqu'à 15 000 molécules. Les particules d'anhydride de glucose sont liées entre elles par des liaisons bêta [β (1,4)]. La molécule de cellulose a une formation linéaire en raison de cette configuration de liaison (voir Figure. 3). Le degré de polymérisation déterminé par les scientifiques, basé sur le comptage des résidus de glucane, est d'environ 10000 pour la cellulose de bois [9]



FigureII.3. Structure moléculaire de la cellulose [11].

La forme unitaire cellulaire de la cellulose est connue dans la littérature sous différents noms, tels que microfibrilles, fibrilles élémentaires et protofibrilles. Une telle configuration de différents composants cellulosiques est illustrée sur la Figure 4 [12].



FigureII.4. Organisation des composants cellulosiques dans la paroi cellulaire d'une fibre végétale typique [12].

II.2.3.2. L'hémicellulose

On désigne par hémicellulose tout polysaccharide soluble dans l'eau et pouvant Être extrait de la paroi des cellules végétales par des solutions acides.

Les hémicelluloses sont une classe de polymères très variés (de nombreux monomères et de nombreux branchements différents). Elles sont donc assez mal définies. Dans leurs états naturels, leur structure est fonction de l'espèce végétale. Elles ont un degré de polymérisation compris entre 200 et 300. La montre les unités monosaccharidiques les plus représentatives des différentes familles d'hémicelluloses.

Ce sont des polysaccharides dont la chaîne principale linéaire est constituée. Respectivement de xylose, de mannose et de galactose [13].

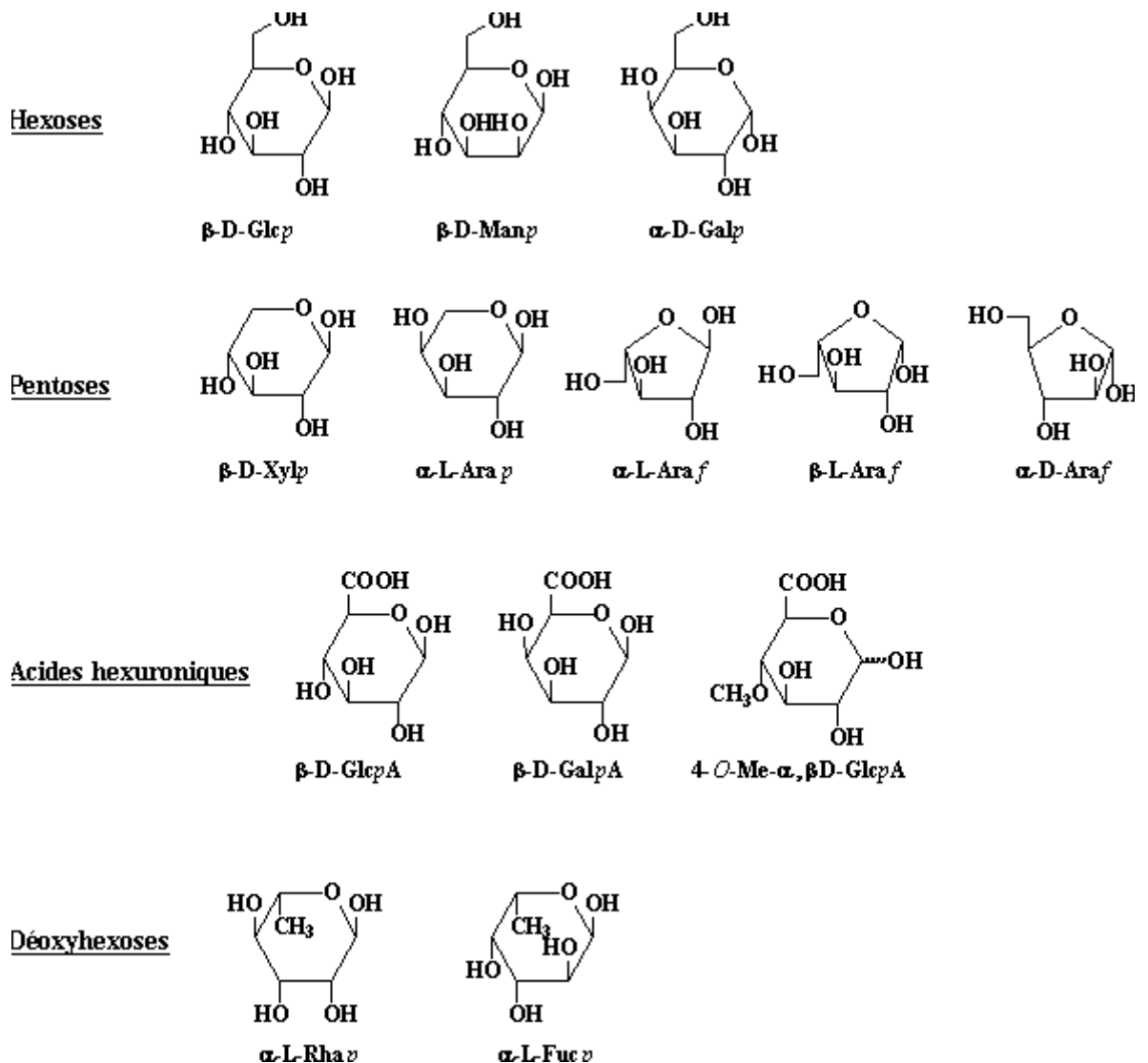


Figure II.5. Principaux glucides constituant les hémicelluloses [13].

II.2.3.3. Pectines

Les pectines jouent un rôle capital dans l'architecture de la paroi végétale. Ces substances pectiques sont présentes avec des proportions variées dans la plupart des végétaux (environ 1% dans le bois). Elles jouent le rôle de ciment intercellulaire et contribuent à la cohésion des tissus végétaux [14]. Sur le plan structural, les pectines sont une famille de polysaccharides complexes qui contiennent un enchaînement d'unités d'acide α -D-galacturonique liées entre elles par des liaisons α (1-4), interrompu par la présence d'unités L-rhamnopyranose. Les pectines portent aussi des substances non sucrées, essentiellement le méthanol, l'acide acétique, l'acide phénolique et parfois des groupes d'amide. L'estérification des résidus d'acide galacturonique avec le méthanol ou l'acide acétique est une caractéristique qui joue un rôle très important sur les propriétés physicochimiques des pectines particulièrement sur la formation de gel [15].

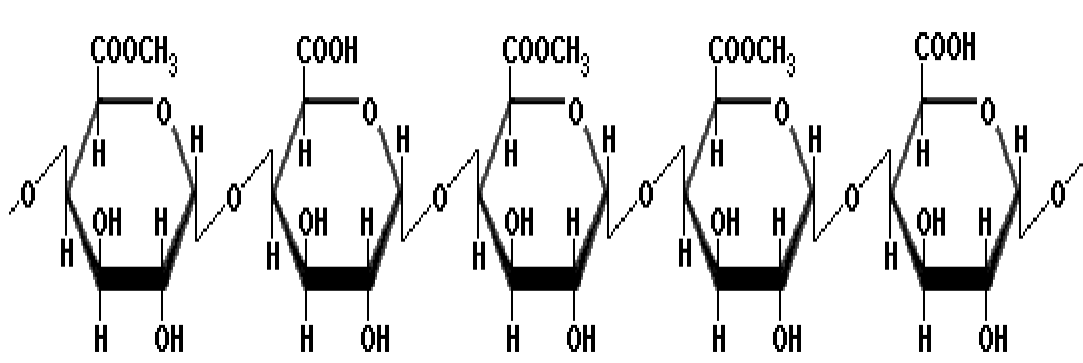


Figure II.6. structure de la pectine [15].

II.2.3.4. La lignine

La lignine est après la cellulose, la matière organique renouvelable et la plus Abondante à la surface terrestre. La lignine originelle ou " Prot lignine " constitue la plus importante fraction non saccharique des fibres végétales. C'est la matière "incrustante" de la cellulose. La lignine est constituée de polymères phénoliques tridimensionnels, amorphes possédant trois unités différentes de type pénylopropane :

les alcools p-coumarylique , coniférylique et sinapylique [16]. Parce qu'il est impossible d'isoler la lignine native du bois sans la dégrader, sa Masse moléculaire reste encore inconnue. Nous pouvons trouver des masses Moléculaires approximatives dont les valeurs moyennes sont de 5000 à 10000 g/mol pour les bois durs (des feuillus), et de 20000 g/mol pour les bois tendres (des Résineux).

La figure 7. présente les motifs élémentaires de la lignine.

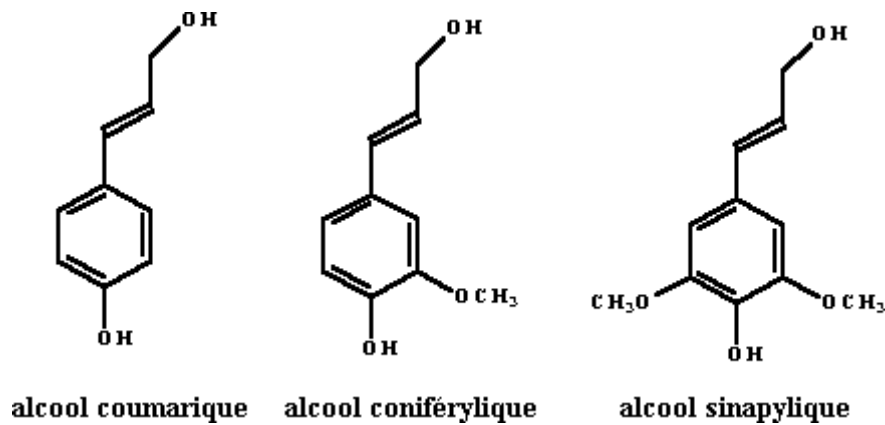


Figure II.7. Motifs élémentaires de la lignine [8].

La lignine est peu sensible à la dégradation biologique et contribue à la protection naturelle des végétaux contre certaines attaques parasitaires [8].

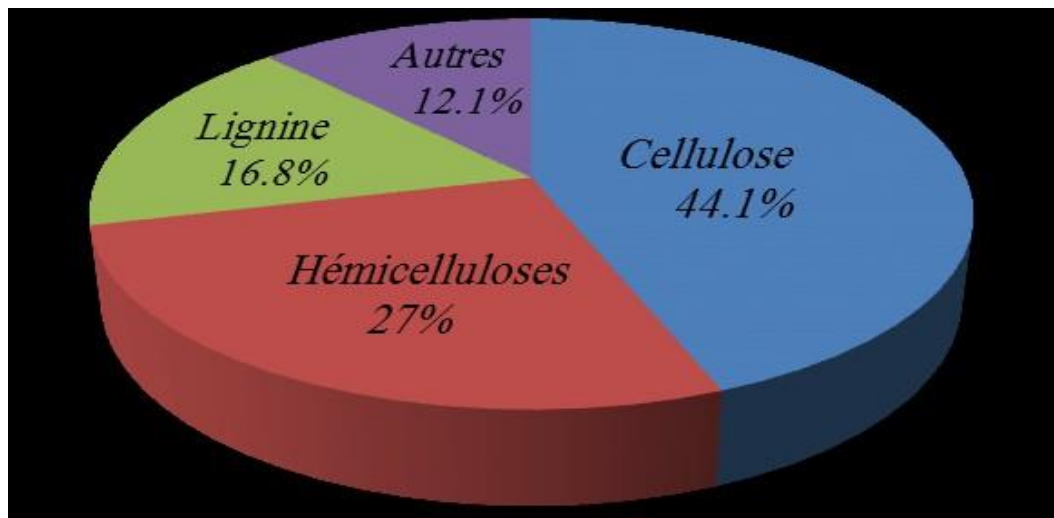


Figure II.8. Composition chimique des fibres de Diss en matière sèche (% en poids)

II.3. Utilisation d'applications les fibres naturelles

Une fibre naturelle est un type de fibre d'origine animale ou végétale. Les plus utilisées sont les fibres de coton, lin et chanvre, ou encore de sisal, jute, kénaf ou coco.

Les fibres de typha étaient particulièrement prisées pour les cordages et voilures des bateaux de la marine marchande et de guerre du fait de leur grande souplesse et résistance en

environnement agressif. Les fibres et typha de chanvre sont aujourd'hui utilisées par exemple pour l'étanchéité dans le chauffage sanitaire.

De nombreuses ressources en fibres naturelles ont été explorées au fil du temps pour l'industrie textile. Suivant la finesse, la résistance et la longévité des fibres produites ces différentes ressources sont utilisées pour la production de vêtements, de tissus, de tapis, de cordages ou de sacs de manutention. Concurrencées dans ces secteurs par les fibres textiles artificielles et synthétiques, elles trouvent parfois de nouveaux débouchés dans l'industrie papetière ou dans la construction [18].

Après la Seconde Guerre mondiale, la montée en puissance des fibres synthétiques va considérablement réduire l'utilisation des fibres naturelles. Avec la flambée des cours du pétrole, les contraintes environnementales et obligations de recyclage, on assiste aujourd'hui au renouveau de la filière dans les secteurs textile, bâtiment, plasturgie et automobile. Engouement renforcé par les perspectives de développement des filières agro-industrielles et de productions locales, vecteurs de développement et d'indépendance économique face aux produits d'importation.

Même si le bois reste la première filière, l'agriculture exploite ces nouveaux débouchés, et les productions telles que le chanvre et le lin sont en constante augmentation [18].

La France est de loin le premier producteur européen de fibres de chanvre avec une production de 50 000T (100 000T UE), et la plus large gamme de semences et variétés industrielles au niveau mondial. La Chine et la Russie sont également producteurs mais leurs statistiques ne sont pas disponibles [18].

L'utilisation des fibres naturelles au niveau industriel permet de réduire le coût et le poids des pièces, et d'améliorer les perspectives de recyclage et d'impact environnemental, en particulier sur les applications automobiles. Dans le domaine du bâtiment, l'intérêt est économique et technique avec des niveaux d'isolation thermique largement supérieurs aux matériaux courants [18].

II.4. Propriétés mécaniques des fibres végétales

Il est très difficile de présenter un tableau qui répertorie toutes les propriétés des fibres lignocellulosiques. La grande variabilité constitutive et anatomique de la fibre végétale implique une variabilité de leurs propriétés mécaniques.

La faiblesse de la masse volumique des fibres végétales (1,2 à 1,5 g/cm³) confère à ces matériaux des propriétés mécaniques spécifiques intéressantes. Les fibres longues ont des contraintes en traction plus faibles que les fibres courtes, du fait que les premières ont de plus grandes probabilités de contenir des défauts de formation.

La cellulose cristalline est l'un des polymères ayant un module d'élasticité relativement plus élevé (90-137 Gpa), comparé à celui de la fibre de verre qui est de 75 Gp. Ainsi un index de cristallinité de la cellulose d'une fibre élevée est indicateur de propriétés mécaniques élevées.

Les fréquents défauts structuraux (Figure 9) observés de la surface des fibres sont des conséquences de la grande variabilité de morphologie, de composition chimique, de structure et de comportement mécanique spécifique de ces fibres.

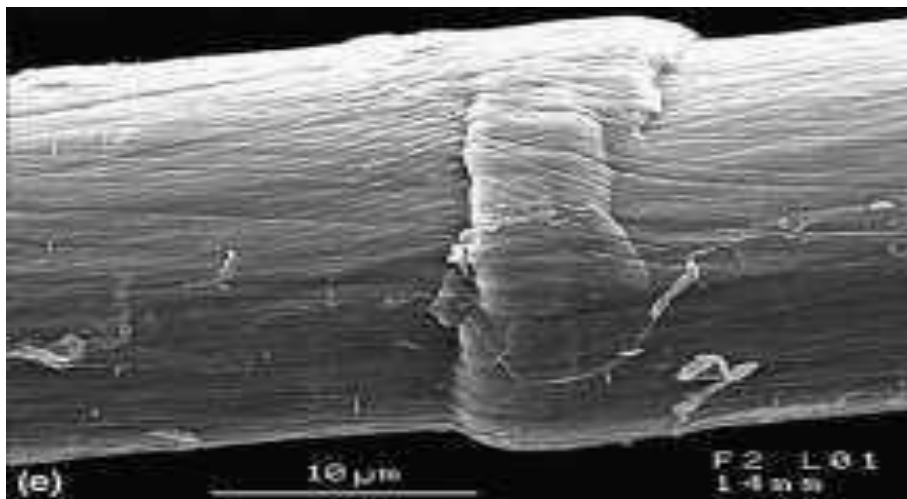


Figure II.9. Exemple de défaut structural sur une fibre de lin [19].

L'angle micro fibrillaire explique en partie la déformation élastique de la fibre végétale et dès lors son allongement à la rupture en traction. En effet, sous l'action de forces de traction relativement faibles, la fibre lignocellulosique subit une déformation réversible du fait de l'alignement progressif des microfibrilles cellulosiques avec l'axe de la fibre et une déformation élasto-viscoplastique des polymères amorphes [19].

Si la sollicitation de la fibre est plus forte, la déformation de celle-ci entre dans une phase irréversible qui peut se poursuivre jusqu'à la rupture. Un angle micro fibrillaire élevé suppose une déformation élastique plus importante pour une sollicitation de la fibre en traction faible [20].

II.5. Propriétés physiques des fibres végétales

Généralement une fibre végétale est caractérisée par son diamètre, sa densité, son teneur en eau et son pourcentage d'absorption d'eau [21].

II.6. Propriétés chimiques des fibres végétales

Les fibres végétales sont caractérisées par leur composition chimique (Tableau.I.1) qui influe énormément sur leur durabilité et spécialement dans les milieux alcalins [21].

TableauII. 1. Composition chimiques de quelques fibres naturelles

Fibres naturelles	Cellulose %	Hémicellulose %	Lignine %	Pectine %	Graisses %	Eau %	Angle de Microfibrille (°)
Chanvre	70-74	17.9-22.4	3.7-5.7	0.9	0.8	6.2-12	2-6.2
Lin	71	18.6-20.6	2.2	2.3	1.7	8-12	5-10
Jute	61-71.5	13.6-20.4	12-13	0.2	0.5	12.5- 13.7	8
Coton	85-90	5.7	-	0-1	0.6	7.85-8.5	-
Sisal	66-78	10-14	10-14	10	2	10-22	10-22
Ramie	68.6-76.2	13.1-16.7	0.6-0.7	1.9	7.5-17	0.3	7.5
Kenaf	45-57	21.5	8-13	3-5	-	-	-
Palmier Dattier	41-45	6-10	30-40	-	1.2	-	-

II.7. Utilisation des fibres végétales dans la construction

Si l'utilisation de fibres végétales en construction n'est pas nouvelle, cette famille de matériaux connaît actuellement un fort engouement dans la filière du bâtiment et de l'aménagement. Paille, lin, chanvre, ouate de cellulose... autant de matières naturelles promises à un bel avenir [22].

II.7.1. La paille en construction

Depuis 15 ans, la construction en paille s'est fortement développée, notamment dans l'ouest de la France. Considérée comme solution d'avenir, la paille peut être employée en neuf comme en rénovation. En plus d'apporter une isolation thermique très performants, elle stocke d'importantes quantités de CO2 et permet de valoriser les co-produits agricoles.

Il y a plusieurs manières d'utiliser la paille en construction:

remplissage d'ossature porteuse contreventée, le système constructif le plus répandu;

- remplissage de caissons porteurs;
- remplissage d'ossature secondaire non porteuse;
- bottes porteuses;
- la technique du GREB [22].

II.7. 2. Les constructions en béton de chanvre

Depuis quelques années, ce matériau développé dans les années 1990 en France redevient populaire, boosté par le développement annoncé de la filière chanvre et la baisse des coûts de production.

L'entreprise Wall'Up Préfa, spécialisée dans la construction de panneaux préfabriqués en béton de chanvre et en ossature bois, en est un bon exemple. Après une première usine construite en 2021, l'entreprise vient de lever 2,5 millions d'euros pour poursuivre son développement et fluidifier sa production automatisée.

De multiples projets en béton de chanvre ont récemment vu le jour :

- un immeuble R+8, le plus haut bâtiment d'Europe en béton de chanvre - Boulogne-Billancourt, 2020 ;
- un immeuble collectif R+3, la première résidence sociale française en béton de chanvre – Seine-et-Marne, 2021 ;
- restauration du château d'Ansembourg - Grand-Duché de Luxembourg, 2019[22].

II.7.3. Les mélanges terre et fibre végétale

La bauge est un mélange de terre et de fibres végétales d'origine agricole. Cette technique de construction traditionnelle, utilisée dans le monde entier, est en train d'être modernisée et adaptée aux techniques de construction actuelles.

Le projet franco-britannique CobBauge* vient ainsi de s'achever après 5 ans d'expérimentations. Les techniciens et ingénieurs participant au projet ont commencé par rechercher le mélange terre-fibre le plus prometteur. Ils ont ensuite mis au point un procédé de construction mixte associant une terre allégée pour la partie isolante et une terre dense pour la partie structurelle.

Deux bâtiments démonstrateurs utilisant le couple “terre et fibre de roseau” (partie isolante) et “terre et chènevotte de lin” (partie structurelle) ont été construits et instrumentés dans le but de valider les résultats de laboratoire.

***Note :** CobBauge est un programme Interreg VA France (Manche) / Angleterre, mené de 2018 à 2023 avec un cofinancement des Fonds Européens de Développement Régional (FEDER) à hauteur de 2,8 millions d'euros[22].

II.7.4. Des briques en mousse végétale et fibre de lin

Certaines fibres végétales sont particulièrement résistantes. C'est par exemple le cas de la fibre de lin, un matériau qui a longtemps été employé dans la confection des cordages de bateaux.

Cette résistance de la fibre de lin a été mise à l'épreuve dans le cadre du projet européen Smart Circular Bridge. L'objectif du projet dirigé par l'université de technologie d'Eindhoven : construire un véritable pont piétonnier 100% végétal, rivalisant avec l'acier et le béton. Un premier démonstrateur a déjà été inauguré à Almere, aux Pays-Bas et 2 autres constructions devraient prochainement voir le jour en Allemagne et aux Pays-Bas.

Du point de vue technique, ces ponts sont construits à partir de blocs de mousse végétale composés de biorésine et de fibre de lin. Ces sortes de briques végétales sont ainsi assemblées et à nouveau recouvertes de plusieurs couches de fibre de lin. L'ensemble est ensuite trempé une nouvelle fois dans la résine, formant un assemblage très résistant.

Ces ponts sont par ailleurs remplis de capteurs, le but étant d'étudier l'évolution des matériaux en conditions réelles et de tester leur résistance à la traction, la compression, l'humidité et le rayonnement UV[22].

II.8. Avantages et inconvénients des fibres végétales

Les fibres présentent de nombreux avantages comme renfort de matériaux composites. En revanche, certains inconvénients peuvent être un frein au niveau du développement industriel. Les principaux avantages et inconvénients sont rassemblés dans le tableau 2 :

Tableau II.2. Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales

Avantages	Inconvénients
Faible densité et faible coût	Absorption d'eau
Facile à recycler et biodégradables	Faible stabilité dimensionnelle
Neutre pour l'émission de CO ₂	Mauvaise tenue en vieillissement
Pas d'irritation cutanée lors de la manipulation des fibres	Faible résistance au feu (200 à 230 °C max)
Absence de résidus après incinération	Fibres anisotropes
Ressource renouvelable, Non abrasives pour les outillages	Variation de qualité en fonction de lieu de croissance de la météo...
Demande peu d'énergie pour être produite	Pour des applications industrielles, demande la gestion d'un stock
Bonnes propriétés d'isolation thermique et acoustique	Renfort discontinu
Propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité)	

II.9. L'utilisation des fibres végétales dans le domaine de génie civil :

L'application des fibres dans le domaine de construction c'est pour la fabrication des panneaux pour l'isolation et dans l'industrie du bâtiment, la fabrication des enduits et des peintures à base d'huile végétales pour renforcer la durabilité des éléments de construction renouvelables[20].

II.10. Etude des Typhacées

Les Typhacées sont des herbes palustres, appartenant à la classe des monocotylédones, vivaces à l'aide d'un rhizome donnant chaque année, naissance à des branches dressées. Les typhacées sont classés en deux genres : genre Sparganium et genre Typha. Ce dernier genre fera l'objectif de notre étude [16].

II.10.1. Présentation de la plante de Typha

Typha signifie « marais » en Grec. C'est un genre de monocotylédones de la famille monotypique Typhacée avec environ 15 espèces [22] distribuées dans les zones tropicales et les régions tempérées de différentes profondeurs dans le monde.

Cette plante peut occuper des marges, des lacs doux, des marais, des fossés et des réservoirs contaminés par des déchets industriels. Il s'agit d'une plante commune des zones humides, rhizomateuse ayant des feuilles longues, effilée et de petits fleures portés en épis sur un axe cylindrique.

Il s'agit en fait d'une plante de grande taille (2 m et d'avantage), à longues feuilles rubanées partant de la souche et formées de tissus lacuneux ; tiges terminées par un long épi de fleurs très simples. L'épi, brun-jaunâtre, comprend deux parties : à sa base, une région cylindrique épaisse, formée de fleurs femelles constituées chacune d'un court pédoncule portant quelques poils et d'un ovaire ; à son sommet, une région plus grêle, conique, faite de fleurs mâles réduites à quelques étamines entourées de poils (Figure 10). A maturité, les fleurs mâles disparaissent et les fleurs femelles donnent des fruits à une seule graine, noyés dans une bourre cotonneuse constituée par les poils des fleurs qui se dissocie peu à peu [22].



Figure II.10. Photo des plantes de Typha ; Moknine « Oued el Ghecil »

Depuis longtemps, la plante de Typha a été largement exploitée en Europe. En Roumanie, l'extraction de la cellulose a été effectuée à partir de la plante de Typha pour la fabrication du papier. Aux Etats-Unis, vers 1945, les grains de Typha sont utilisés pour la production d'huile comestible. Les graines sont utilisées aussi comme matériau de bourrage dans les vestes de sauvetage. En Allemagne, un procédé de filage des fibres de graines de Typha a été breveté en 1941 [11].

II.10.2. Les différentes variétés de Typha

On distingue 15 variétés de Typha [10] dont la classification est basée sur les différents caractères micro et macroscopiques existants dans chaque variété [12].

Dans son intitulé « Études botaniques et agronomiques sur les Typha et quelques autres plantes palustres », Gèze montre que, les principaux critères permettant de déterminer les Typha sont divisés en deux catégories [42]:

• Caractères macroscopiques : espacement des épis mâle et femelle ; aspect de la surface de l'épi femelle ; forme des feuilles à la base du limbe ; couleur de l'épi femelles et couleur des feuilles.

• Caractères microscopiques qui sont les plus intéressants pour la classification : présence ou absence des bractéoles dans l'épi femelle ; présence ou absence des poils dans l'épi mâle, mode de groupement des grains de pollen ; forme de stigmate ; dimensions et forme des protubérances de l'axe femelle au moment de la maturité des fruits ; hauteur relative des stigmates, des poils du gynophore et des bractéoles; couleur, forme et dimensions de la tête des bractéoles ; couleur, forme et dimensions de la tête des poils mâles ; forme et couleur de l'extrémité des poils du gynophore.

La figure 8 montre quelques paramètres spécifiques à certaines espèces de la plante de Typha :










Espèces	<i>Typha latifolia</i>	<i>Typha domingensis</i>	<i>Typha laxmannii</i>
Hauteur	jusqu'à 2 m	jusqu'à 2 m	jusqu'à 1,5 m
Section des feuilles (à mi-hauteur)	 plane	 un peu convexe à l'intérieur	 peu convexe
Largeur de la feuille	 1 à 2,5 cm	 4 mm à 1 cm	 3 mm
Position relative des 2 épis	 contigus ou peu espacés	 séparés de 1 à 4 cm	 séparés de 2 à 4 cm
Diamètre de l'épi femelle	jusqu'à 5 cm	jusqu'à 2 cm	jusqu'à 1,5 cm
Couleur de l'épi inférieur	brun noirâtre	brun chocolat	brun fauve

Figure II.11. Caractéristiques spécifiques à certaines variétés de la plante de Typha

Parmi les différentes variétés, on distingue :

- Typha Elephantina.
- Typha Angustata.
- Typha Angustifolia L.
- Typha Latifolia.
- Typha Domigensis.
- Typha Australis .

II.11. Conclusion

Le but de ce chapitre est d'explorer le domaine des fibres végétales et de leurs nouvelles applications. L'étude des propriétés chimiques, physiques et mécaniques des fibres qui sont en cours d'exploitation permet de nous guider lors de la caractérisation des nouveaux matériaux fibreux tels que celui de notre étude « les fibres extraites de Typha».

CHAPITRE III :
MATERIAUX ET PROCEDURES
EXPERIMENTALES

III.1. INTRODUCTION :

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents matériaux et les techniques expérimentales de notre étude. Dans une première partie, nous détaillerons les caractéristiques et les propriétés des matériaux de base utilisés dans la composition des mortiers.

Ensuite, dans une seconde partie, nous exposerons les types de traitements appliqués sur la fibre de *Typha angustifolia*. Enfin, nous décrirons la méthode de formulation et présenterons les différents essais réalisés au cours de notre étude.

III.2. Matériaux et matériel utilisé :

- Le Ciment
- Super plastifiant (MEDAFLOW 30/30)
- Eau de gâchage (eau distillée).
- Le sable d'oued Souf
- Fibres : *Typha angustifolia*

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

III.3. CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX UTILISÉS :

Les caractéristiques physico-chimiques des matières premières utilisées pour la confection des mortiers sont présentées ci-après.

III.3.1. Ciments : CEM I42.5R (Ciment Portland NA 442/2013) : Un ciment portland, contenant 95% clinker et 5% de gypse en tant que régulateur de prise. (FicheTech ciment Gica).

Tableau III.1 : Analyse chimique ciment (%)

Analyse chimique	Min	Max
SiO₂	22.80	32.00
AL₂O₃	5.20	6.20
Fe₂O₃	3.20	3.60
CAO	52.00	62.00
MgO	1.02	1.20
K₂O	0.35	0.45
Na₂O	0.40	0.50
SO₃	1.80	2.20
PF	2.00	2.80
CL	0.03	0.45
Ri	6.00	12.00
Caol	0.40	1.54



Figure III. 1 : Ciment utilisé

Tableau III.2 : caractéristiques physico-mécaniques

Essai physico-Mécanique	Min	Max	Norme
Ss Blaine cm/g	2960	4200	-
Consistance%	25.5	26.8	-
Début de prise	80	160	≥60mn
Compression 02j	12.5	23	>10.0
Compression 07j	25	36	-
Compression 28j	43	52	≥42.5
Expansion	0	8.5	>10mn

Tableau III.3 : Les constituants de ciment en %

Les Constituants de Ciment	
Clinker	80-88
Pouzzolane + Calcae	12-20
Régulateur de prise(Gypse)	00-05

III.3.2 Les sables :

Formule : Le sable de base de notre recherche provient de sabords d'Oued Souf (DJAMAA). Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de M'sila, suivant les normes françaises AFNOR.

III.3.2.1 La masse volumique absolue

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

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

Tableau III.4. Masse volumique absolue du sable

N°d'essai	M [g]	Ve [cm ³]	Vm [cm ³]	ρ [g /cm ³]	ρ_{moy} [g /cm ³]
01	300	150	267	2,56	2,58
02	300	150	265	2,60	
03	300	150	265	2,60	

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

III.3.2.2 Masse volumique apparent (NF P 18-554)

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

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

Tableau III.5. Masse volumique apparente à l'état lâche

N°d'essai	M1 [g]	M2 [g]	ρ [g/cm3]	ρ_{moy} [g/cm3]
01	218	1873,89	1,66	1,65
02	218	1872,5	1,65	
03	218	1873,9	1,65	

Tableau III.6. Masse volumique apparente à l'état compact

N°d'essai	M1 [g]	M2 [g]	ρ [g/cm3]	ρ_{moy} [g/cm3]
01	218	2084	1,86	1,86
02	218	2083,1	1,86	
03	218	2084,1	1,86	

III.2.2.3 Porosité : NFP18-554

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

$$P (\%) = 1 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{masse volumique absolue}) \times 100$$

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

III.2.2.3 Compacité

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

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

III.2.2.4 L'indice des vides

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide avec unepourcent (%).

$$e (\%) = \frac{V_v}{V_s} = \frac{P}{(100-P)}$$

- ✓ **V_v** : volume du vide
- ✓ **V_s** : volume du solide

Tableau III.7. Porosité, compacité et indice des vides

Porosité P(%)		Compacité C(%)		Indice des vides E	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
36,04	27,90	63,96	72,1	0,56	0,38

III.2.2.5. Equivalent de sable [NF EN 933-8]

Nous essayons de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultrafines contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité des bétons et mortiers.

Mode opératoire :

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

le mouillage de l'échantillon.

- ✓ Laisser reposer pendant 10 minutes
- ✓ Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20cm de cours horizontale en 30 secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique
- ✓ Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution la vante au-dessus de l'éprouvette, rincer ensuite les parois de celle-ci
- ✓ Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution le van t'atteigne le 2èmerepère. Laisser ensuite reposer pendant 20 minutes.



Figure III. 2 : Mesure de l'équivalent de sable

III.2.2.6. Equivalent de sable visuel (ESV) :

Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h1 du niveau supérieur du flocculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une réglette. Mesurer également avec la règle la hauteur h'2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

$$E.S.V = \frac{h'2}{h1} * 100(\%)$$

- ✓ **h'2 < h1**
- ✓ **h1** : sable propre + éléments fins

III.2.2 .1.7. Equivalent ide sable au piston :

Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette. Introduire le réglelet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit h₂ la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

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

- ✓ h₂ : La hauteur du sable (h₂ < h₁)

Les résultats sont regroupés sur le tableau suivant :

Tableau III.8: Les résultats d'équivalent du sable

N°d'essai	h1 [cm]	h2 [cm]	ESV [%]	Moy [%]	h'2[cm]	ESP [%]	Moy [%]
01	9,6	9	93,75	94,13	8,8	91,66	88,97
02	9,8	9,3	94,89		8,5	86,73	
03	9,6	9	93,75		8,5	88,54	

- ✓ h₁ : hauteur du sable plus tube.
- ✓ h₂ : hauteur du sable.
- ✓ h₂' : hauteur du sable avec piston.

*E. S. V*_{moy} = 94.13% *E. S. P*_{moy} = 88.97 %

- Pour le sable de Djamaa : C'est une **Sable très propre**

La teneur en eau d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec. On peut aussi définir la teneur en eau comme le poids d'eau W (tableaux III.12 et III.13) contenu par unité de poids de matériau sec.

$$W = (h - M_s) / M_s \times 100 (\%)$$

Où :

M_h : Masse du matériau humide ;

M_s : Masse du matériau sec.

Pour avoir cette teneur il faut :

- Peser un échantillon de sable humide, soit « *M_h* »son poids (500g) et le laisser dans une étuve à une température dans l'intervalle de 105°C à110°C pendant 24 heures
- Peser l'échantillon de nouveau, soit « *M_s* » son poids.

Tableau III.9. Teneur en eau

N°d'essai	Mh en [g]	Ms en [g]	W [%]	Wmoy [%]
01	500	499	0,20	0,27
02	500	498	0,40	
03	500	499	0,20	

III.2.2 .1.8Analyse granulométrique (NF P 18-560)

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéreux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon, la distribution en poids des particules d'un granulat suivant leurs dimensions permet de déterminer ses continuités.

Pour arriver à notre fin,il faut :

- Prélever une masse de 2kg de matériau (Sable sec).
- Constituer une colonne de tamis (figure III.4) propres et sec dont l'ouverture des mailles de haut en bas (exprimée en mm) [5, 2.5, 1.25, 0.63, 0.315, 0.125, 0.08]
- Verser le sable sur la colonne de tamis et celle-ci est vibrée à l'aide de la tamiseuse électrique pendant 5 minutes.
- Peser chacun des tamis.

On considère que le tamisage est terminé lorsque les refus ne varient pas de plus de 1% entre deux séquences de vibration de la tamiseuse.

A la fin de tamisage peser les refus en matière retenue par chaque tamis a 1g. Soit M_i = la masse de tamis (i) + le sable :

- Calculer la différence entre M_i et m_i (tamis de plus grandes mailles correspond au refus partiel R_1 de tamis 1).
- Reprendre la même opération avec le tamis immédiatement inférieur.
- Ajouter le refus obtenu sur le second tamis a R_1 , soit R_2 la masse de refus m du tamis 2 ($R_2 = R_1$ +refus partiel sur tamis 2)
- Poursuivre la même opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses de différentes refus cumulés R_3, R_4, \dots, R_n le tamisât est calculé par la relation : $T = 100 - R_c$

R_c : refus cumulé en %, T : tamisât en %



Figure III.3. Analyse granulométrique par tamisage

Les résultats de ces opérations, sont transcrits aux tableaux III.14 et III.15 :

Tamis [mm]	Refus [g]	Refus cumulés	Tamisât [%]
------------	-----------	---------------	-------------

		[g]	(%)	
5	0.001	0	0.00	100
2,5	6	6	0.3	99,7
1,25	98	104	5,2	94,8
0,63	453	557	27,85	72,15
0,315	1040	1597	79.85	20,15
0,16	336	1933	96.65	3,35
0,08	60	1993	99.65	0,35
Fond	7	2000	100	0,00

On remarque que le module de finesse du sable de dune est 1.38 ce qui veut dire que c'est un sable fin.

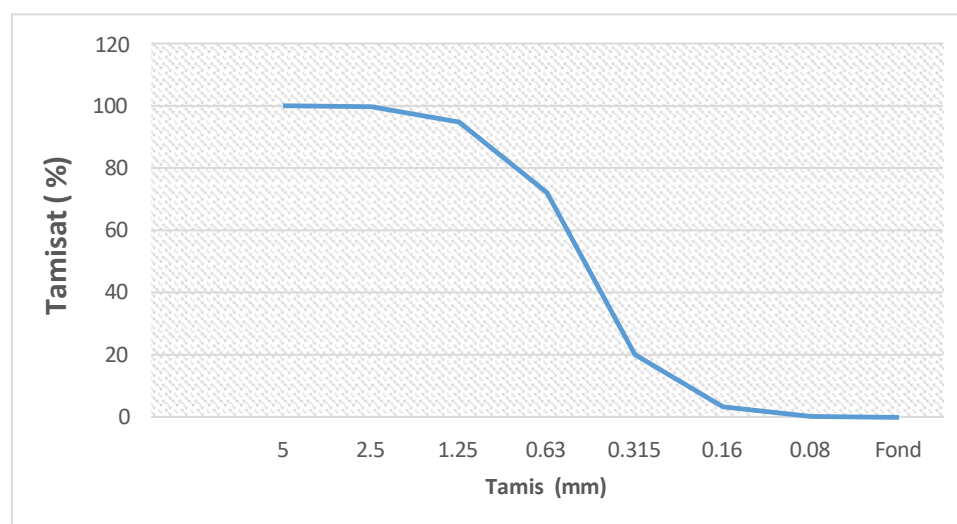


Figure III.4 : La courbe granulométrique du sable

III.2.3 Typha angustifolia

Le Typha angustifolia est une plante aquatique cosmopolite, souvent trouvée dans les zones humides (marais, eaux douces ou saumâtres peu profondes). Elle est reconnue pour sa

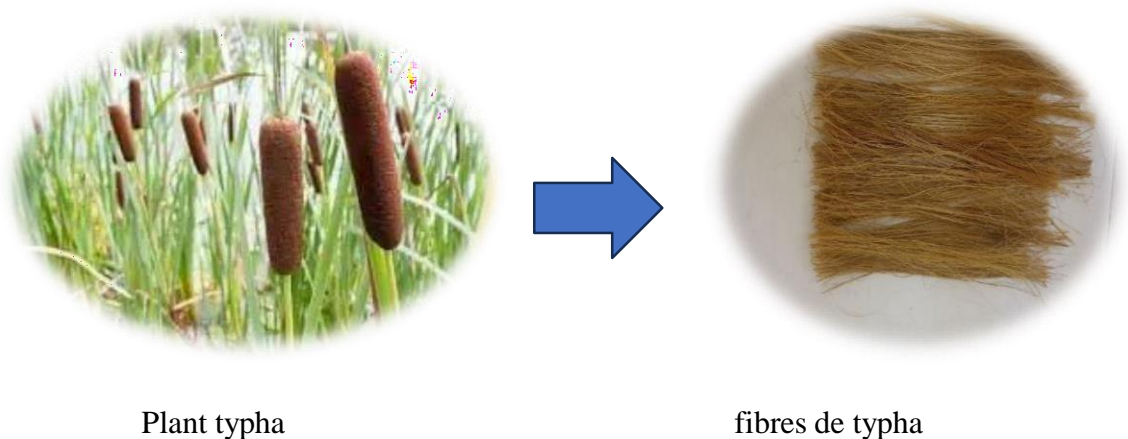
croissance rapide et sa capacité à accumuler des nutriments, ce qui la rend précieuse pour l'amélioration de la qualité de l'eau dans les zones humides construites.

Bien que parfois considérée comme envahissante en raison de sa croissance végétative vigoureuse, le *Typha angustifolia* offre des avantages écologiques significatifs, tels que la purification de l'eau, la protection des berges et la restauration de la biodiversité. Ses feuilles fournissent des fibres exploitables pour des textiles ou du papier, utilisées traditionnellement pour fabriquer des nattes, des chaises ou des toits.



Figure II.5 : Plante *Typha angustifolia*

Les fibres naturelles utilisées dans cette recherche proviennent le typha. Les fibres le typha sont tissées naturellement et sont retirées du tronc sous la forme d'un maillage presque rectangulaire (longueur 500-1500 mm et largeur 20-30 mm) formé de trois couches superposées. Il est facile de les séparer en fibres individuelles d'un diamètre de 0,1-0,8 mm dans solution Hydroxyde de sodium. Les fibres utilisées dans cette étude sont des fibres de typha la région de Msila, Figure III.6.



Plant typha

fibres de typha

Figure III.6: Plant typha

III.3. Traitement des fibres

III.3.1. Hydroxyde de sodium

Le traitement des fibres végétales à l'hydroxyde de sodium (NaOH), également appelé traitement alcalin, est une étape cruciale pour améliorer leurs propriétés avant leur incorporation dans le mortier. Ce processus commence par l'immersion des fibres (préalablement obtenues, par exemple, par un traitement à 80 °C) dans une solution de NaOH à 7% pendant 30 minutes à température ambiante. L'objectif principal est d'éliminer les composants non cellulosiques et les impuretés de surface, comme l'hémicellulose et la lignine, ce qui augmente la surface spécifique des fibres et améliore considérablement leur adhérence à la matrice cimentaire. Suite à cette étape chimique, les fibres sont rincées abondamment à l'eau distillée afin d'éliminer toute trace résiduelle de soude et d'assurer leur pureté. Enfin, elles sont séchées méticuleusement dans une étuve à 55 °C pendant 72 heures. Cette longue période de séchage garantit l'élimination complète de l'humidité, un facteur essentiel pour prévenir toute dégradation des performances des fibres une fois intégrées dans le mortier. Ainsi préparées, les fibres présentent des caractéristiques physiques et mécaniques optimisées, les rendant parfaitement aptes à renforcer le mortier.

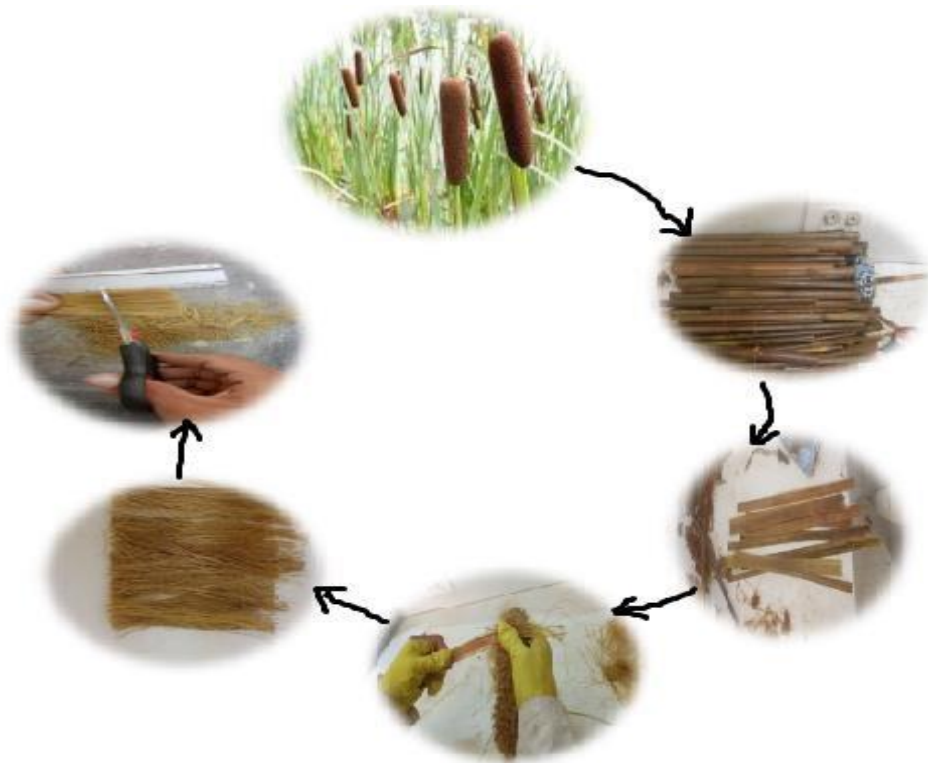


Figure III.7: Processus d'extraction des fibres

III.4 Fabrication et conditionnement des éprouvettes :

Mortier a été coulé dans les moules cubiques sans vibrée. Pour réaliser les essais, nous utiliserons des moules cubiques de dimensions 4 cm x 4 cm x 4cm et des moules prismatiques de dimensions 4 cm x 4cm x 16cm. Les éprouvettes cubiques sont destinées aux essais de la porosité. Les éprouvettes prismatiques sont réservées à la compression, essai de traction et de flexion, essais à l'ultrason.



Figure III. 8 : Des éprouvettes

III.5 Composition de mortier :

La composition du mortier est définie par la norme EN 196-1. Le mortier doit être composé en masse, d'une partie de ciment, de trois parties de sable normalisé et d'une demi partie d'eau (le rapport eau / ciment = 0.50). Chaque gâchée pour trois éprouvettes d'essai doit comporter $450 \text{ g} \pm 2 \text{ g}$ de ciment, $1350 \text{ g} \pm 5 \text{ g}$ de sable et $225 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ d'eau.

III.6 Formulation d'un mortier témoin

Pour la composition du mortier de sable témoin, nous vous utilisé un dosage en ciment et sable correspondant à celui qui est un mortier normalisé ; c'est à dire une part de ciment et troi part de sable. Concernant le dosage en eau nous vous utilisé de maniabilité, pour la détermination de la quantité d'eau qui correspond à un mortier "plastique ».

III.7 Malaxage du mortier

Il faut malaxer chaque gâchée de mortier mécaniquement au moyen du malaxeur spécifié.

- Verser l'eau dans le récipient et introduire le ciment.

- Mettre alors immédiatement le malaxeur en marche à petite vitesse et après 30 s, introduire régulièrement tout le sable (pendant les 30 s suivantes).
- Mettre le malaxeur à sa vitesse la plus grande et continuer à mélanger pendant 30s supplémentaires.
- Arrêter le malaxeur pendant 1 min 30 s. Pendant les 15 premières secondes, enlever au moyen d'une raclette en caoutchouc tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.
- Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 s [20].
- Dans notre travail nous avons utilisé un malaxeur automatique de marque CONTROLS.



Figure III.9: Malaxeur

III.8. Essais de maniabilité (consistance de mortier)

Elle nous permet d'apprécier la fluidité d'un mortier qu'est l'objet des essais définis par les normes NF P18-452 et NF P 15-437.

III.9. Préparation des éprouvettes

- Assurez-vous que les moules sont soigneusement nettoyés et correctement montés, prêts à recevoir le mortier.
- Enduisez légèrement les parois latérales des moules d'une fine couche d'huile de décoffrage avant de procéder à la fabrication des éprouvettes. (Figure III.10) Cela facilitera le démoulage ultérieur.
- Versez la première des deux couches de mortier dans chaque compartiment du moule.

- Utilisez la plus grande spatule tenue verticalement pour étaler uniformément la couche de mortier dans chaque compartiment du moule.
- Effectuez 60 chocs sur chaque compartiment du moule pour bien compacter la première couche de mortier. (Réglage de la machine) (Figure III.11)
- Ajoutez ensuite la seconde couche de mortier dans chaque compartiment du moule.
- Utilisez la petite spatule tenue verticalement pour étaler uniformément la deuxième couche de mortier dans chaque compartiment du moule.
- Effectuez à nouveau 60 chocs sur chaque compartiment du moule pour bien compacter la deuxième couche de mortier. (Réglage de la machine) (Figure III.11)
- Retirez la hausse du moule et utilisez une règle plate à araser pour enlever tout excès de mortier des éprouvettes. (Figure III.12)
- Identifiez chaque moule en étiquetant les éprouvettes avec des informations telles que les noms, la date et les caractéristiques spécifiques pour permettre une traçabilité ultérieure. (Figure III.13)

Ces étapes garantissent un processus de fabrication cohérent et efficace des éprouvettes à base de mortier, tout en assurant une manipulation et un suivi appropriés



Figure III.12: Lubrification



Figure III.10 : Rasage



Figure III.13 : étiqueter les moules.



Figure III.11 : serrée mortier

III.10. Conservation des éprouvettes :

Le moule rempli de mortier est convenablement identifié, puis placé jusqu'au moment du démoulage couvert d'un couvercle, sur un support horizontal dans laboratoire dont la température de $24\pm 2^{\circ}\text{C}$ et humidité de $50\pm 5\%$.

Le démoulage est effectué entre 20 h et 24 h après le moulage. Les éprouvettes sont alors marquées convenablement avec un crayon résistant à l'eau. Les éprouvettes sont placées dans l'eau et conservé dans une chambre humide sous conditions de température de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ et $90\pm 5\%$ d'humidité



Figure III.13 : Marquer les éprouvettes

III.11. Les compositions utilisées :

Dans notre travail, nous avons préparé environ 150 éprouvettes pour la caractérisation physique et mécaniques des mortiers confectionnés en différent pourcentage de poudre de Plumes de poulet. On donne les nomenclatures nommées dans le travail :

- **SN** : Sable de construction (100% sable de construction)
- **C** : Ciment.
- **F** : Fibres de **typha**
- **E** : Eau.

- **MT** : Mortier de référence formulé sans utilisation de Fibres de **typha**
- **M1** : Mortier formulé en substituant 0.2% de ciment par de la Fibres de typha
- **M2** : Mortier formulé en substituant 0.5% de ciment par Fibres de typha
- **M3** : Mortier formulé en substituant 0.8% de ciment par Fibres de typha
- **M3** : Mortier formulé en substituant 1% de ciment par Fibres de typha

Tableau III. 10 : Les compositions utilisé pour le mortier.

Formulation	Sable (g)	Fibre (g)	Ciment (g)	Eau (g)	Adjuvant	E/C
MT	1350	0	450	158	7.5	0.35
M 0,2%	1350	4,016	450	168	7.5	0.37
M 0,5%	1350	10,04	450	195,7	7.5	0,43
M 0,8%	1350	16,064	450	205,6	7.5	0,45
M 1%	1350	20,08	450	216,5	7.5	0,48

III.12 Séquence de malaxage du mortier :

- Pour la confection du mortier fluide, la séquence de malaxage décrite dans la Figure 3.15 suit les étapes suivantes :
- Vérifier en premier le nombre et l'état des moules prismatique et cubique nécessaires pour les essais, ces derniers doivent être graissés à l'aide d'une huile pour faciliter le décoffrage.
- Réunir tout le matériel nécessaire pour effectuer les essais.
- Vérifier que les matériaux ne sont pas humides, si non les sécher préalablement dans l'étuve.
- Préparer la quantité d'eau nécessaire pour la gâchée, le super plastifiant est ajouté à un quart de l'eau de gâchage.
- Peser les matériaux secs (sable, ciment, et la Fibres de typha).
- Malaxer pend 1min et 30 secs dans le malaxeur.
- L'eau de gâchage est ajoutée à un tiers du volume de super plastifiant et de malaxage se poursuite pendant 2.5 mn.
- Le super plastifiant restant est ajouté avec un malaxage final d'une minute.
- Malaxer pendent 3min et ajouter l'eau tout attentivement.
- Mesurer l'affaissement à chaque fois par Mini cône jusqu'à la valeur désire [d(20,26)].
- On remplit les moules de mortier.
- Maintenir les éprouvettes à l'air libre au laboratoire pendant 24 h et faire la cure et marquer par peinture et conserver dans un bac d'eau jusqu'au jour d'essais (7,14et 28).

III.13. Démoulage et conservation des éprouvettes :

Après malaxage, on prélève un échantillon du béton afin de remplir des éprouvettes cubiques de (4x4x4) cm et prismatiques de (4x4x16) cm. On conserve les éprouvettes dans la salle pendant 24 heures. Après 24 heures, on démoule les éprouvettes et on les place dans un bac de conservation, avec 100% d'humidité et d'une température de 20 °C.

III.14. Essais Sur Mortier :**III.14.1. Des essais à l'état frais :****III.14.1.1 L'affaissement :**

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



Figure III.14 : Cône d'Abrams

III.14.1.2 La masse volumique a l'état frais :

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

- Tout d'abord, pesez le récipient vide et notez sa masse **m1**
- Remplissez le récipient d'un échantillon de mortier frais.
- Après avoir rempli le récipient, pesez-le à nouveau avec l'échantillon de mortier frais et notez cette masse **m2**

$$P = \frac{m2 - m1}{V}$$

p : masse volumique du mortier frais (kg/l),

m1 : masse du récipient (kg),

m2 : masse du moule plus la masse de béton contenu dans le récipient (kg),

V : volume du récipient.

III.14.2. Des essais à l'état durci :

III.14.2.1 Cure appliquée [NF P 18-404] :

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

III.14.2.2 La masse volumique a L'état durci :

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

$$\rho = Me/V$$

- **P** : est la masse volumique du mortier durci en kilogrammes par mètre cube (kg/l).
- **Me** : est la masse de l'échantillon lorsqu'il est saturé d'eau.

- V : Volume des éprouvettes en m^3 .

Cette norme s'applique au mortier léger, au mortier de densité normale et au mortier lourd. Elle permet d'évaluer la densité du mortier dans différentes conditions, ce qui est essentiel pour garantir la qualité et la durabilité des constructions qui utilisent du mortier.

III.14.2.3 Résistance à la traction par flexion :

Les essais de traction par flexion trois points sont effectués sur des échantillons prismatiques de dimensions $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ conformément à la norme NF EN 196-1. Pour cet essai, les prismes sont positionnés dans un dispositif de flexion de telle sorte qu'une de leurs faces latérales de moulage repose sur des rouleaux d'appui, avec leur axe longitudinal perpendiculaire à ces rouleaux. Une charge verticale est alors appliquée sur la face latérale du prisme, augmentée à un taux de $50 \text{ N/s} \pm 10 \text{ N/s}$, jusqu'à ce que l'éprouvette se rompe.

Les demi-prismes doivent être conservés jusqu'au moment des essais en compression pour déterminer la résistance en flexion R_f (en MPA).

Les mortiers étudiés ont été testés à des âges de 7, 14 et 28 jours, et les résistances à la flexion sont représentées par la moyenne de trois éprouvettes.



Figure III.15 : Essai de résistance à la flexion

III.14.2.4 Résistance à la compression :

L'essai de compression est l'un des tests les plus importants pour déterminer le comportement des matériaux composites. En effet, il est primordial dans certains contextes industriels, de connaître la résistance à la compression et la capacité à supporter les charges d'un matériau ou d'une structure.



Figure III.16 : Essai de résistance à la compression

III.14.2.5 Porosité ASTM - C642 :

La méthode ASTM C642 est l'une des méthodes utilisées pour évaluer la porosité du mortier. Son objectif est de déterminer le pourcentage en volume des pores présents dans l'éprouvette, ce qui permet de comprendre l'influence de la structure interne du béton sur l'interconnexion des pores.

Voici les étapes de la méthode :

- Chauffage de l'éprouvette jusqu'à évaporation pendant 5 heures. (Figure III.27)
- Pesage de l'échantillon à l'air (noté C à ce point). (Figure III.28)
- Pesage de l'échantillon sous l'eau (pesée hydrostatique, noté D à ce point).
- Calculer par la formule :

$$P\% = \frac{C-D}{C} * 100$$

$$C-D$$

Cette méthode fournit une mesure précise de la porosité du mortier, ce qui est essentiel pour évaluer la qualité et les propriétés du matériau.



Figure III.17: essai de chauffage



Figure III.18: Essai de mesure dans l'eau

III.14.2.5 Mesure de la densité

Comprendre la densité des fibres végétales est important pour évaluer leurs propriétés ainsi que celles des composites. La densité des fibres de *Malva sylvestris* L. et de *Typha angustifolia* a été mesurée à l'aide d'un pycnomètre pour solide d'une capacité de 50 ml, conformément à la norme ASTM D2320-9. Le test de densité a été réalisé dans des conditions de laboratoire (27 °C et 50-60 % d'humidité relative). La moyenne arithmétique de cinq valeurs a été calculée (Figure II.19). Du méthanol, avec une densité de 0,791 g/cm³, a été utilisé comme liquide d'immersion.



Figure II.19 : Mesure de densité.

Avant la mesure, les fibres de MS et de TA ont été coupées à une longueur de 12 à 15 mm, puis séchées à 60 °C jusqu'à atteindre un taux d'humidité inférieur à 5 % [33]. La densité apparente de fibre ρ_F est déterminée selon l'équation suivante :

$$\rho_F = \frac{m_3 - m_1}{(m_2 - m_1) - (m_4 - m_3)} \times \rho_M$$

Où :

ρ_F : Représente la densité de la fibre (g/cm³),

ρ_M : est la densité du méthanol (g/cm³),

m_1 : poids du pycnomètre sans échantillon (g),

m_2 : poids du pycnomètre contenant de méthanol (g),

m_3 : poids du pycnomètre contenant de fibres hachées (g),

m_4 : poids du pycnomètre contenant de fibres hachées et de méthanol (g).

La section transversale a été calculée selon la relation [32] :

$$S_F = \frac{M}{\rho M S^L}$$

Où :

S_F est la section transversale de la fibre (cm²),

M est le poids de la fibre (g),

L est la longueur de la fibre (cm).

Le diamètre de la fibre a été calculé à partir de cette équation en supposant une forme cylindrique, selon la formule suivante [34].

$$D_F = 2 \times \sqrt{\frac{M}{\rho_{MS} \pi L}}$$

Où :

D_F : correspond au diamètre de la fibre (cm),

ρ_{MS} : correspond à la densité de la fibre (g/cm³),

M : correspond à la masse de la fibre (g),

L : correspond à la longueur de la fibre (cm).

II.15. Conclusion :

Dans ce troisième chapitre, nous avons présenté les matériaux et les méthodes expérimentales utilisés dans cette étude. Nous avons également détaillé les différentes méthodes de traitement appliquées aux fibres végétales.

De plus, nous avons décrit les protocoles d'essais mis en œuvre pour déterminer les propriétés physiques (masse volumique, porosité, absorption d'eau) et mécaniques (résistance à la compression et à la traction par flexion) des composites cimentaires renforcés avec ces fibres végétales.

CHAPITRE IV :

Résultat et Interprétation

Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons étudier l'effet de l'ajout de fibres de Typha sur le comportement mécanique des mortiers. Les formulations de mortier à base de fibres de Typha ont été réalisées afin d'étudier différentes compositions, utilisées et détaillées dans le Tableau IV.1 suivant :

Tableau IV.1 : les notations des différentes compositions utilisées

Notation	Pourcentage de fibre (%)	Langur de fibre utilisé (cm)
MT	0 Témoin	
M1	0.2	2
M2	0.5	2
M3	0.8	2
M4	1	2
M5	0.2	5 (coupe aléatoire)
M6	0.5	5 (coupe aléatoire)
M7	0.8	5 (coupe aléatoire)
M8	1	5 (coupe aléatoire)

IV.1 Caractérisation physique des fibres

IV.1 1. Densité des Fibres de Typha angustifolia

La densité des fibres textiles est une caractéristique importante, car elle est directement liée au poids du produit final, notamment dans les applications techniques telles que les composites. Dans le cas des fibres végétales, la densité est généralement faible et se situe entre 1,4 et 1,5 g/cm³.

Pour mesurer la densité des fibres de Typha, la méthode conforme à la norme française NF T 20-053, basée sur l'utilisation d'un pycnomètre Gay-Lussac, a été utilisée. Dans cette étude, la fibre TA a présenté une densité de $1,42 \pm 0,05$ g/cm³. Cette valeur est tout à fait

cohérente avec celles enregistrées pour d'autres types de fibres naturelles, qui suscitent un intérêt croissant dans le domaine des matériaux de construction et des composites. À titre comparatif, des densités similaires ont été observées pour des fibres telles que N. Lemita, S. Deghboudj. [34]

La densité est une propriété physique importante qui influence l'utilisation des fibres dans divers domaines, notamment les composites, textiles, ou matériaux isolants. Une densité de 1,42 g/cm³ suggère une fibre relativement compacte, ce qui pourrait indiquer une faible porosité et une bonne résistance mécanique. Toutefois, selon une étude détaillée, la densité mesurée de la fibre de *Typha angustifolia* est plus proche de 0,579 g/cm³, ce qui est comparable à celle du coton (1,51 g/cm³ pour le coton). Cette densité plus faible reflète une fibre légère, adaptée à des applications où le poids est un facteur critique. La fibre de *Typha* est caractérisée par une structure cellulaire en faisceaux, avec un bon équilibre entre rigidité et flexibilité, ce qui est confirmé par des analyses microscopiques et mécaniques.

IV.2 Les résultats des essais à l'état frais :

IV.2.1 L'affaissement :

Le graphique ci-dessus présente l'évolution de l'affaissement (en cm) et du ratio Eau/Ciment (E/C) pour les différentes compositions de mortier (MT à M8), telles que définies dans le Tableau IV.2. L'affaissement, mesuré par le test de l'affaissement au cône d'Abrams, est un indicateur essentiel de la maniabilité et de la consistance du mortier frais.

Tableau IV.2 : Résultats de l'essai l'affaissement et rapport E/C pour mortiers étudiés

Formulation	L'affaissement (cm)	E/C
MT	4.1	0.35
M1	4.3	0.37
M2	4.2	0.43
M3	4.1	0.45

M4	4.4	0.48
M5	4	0.37
M6	4.2	0.44
M7	3.9	0.46
M8	4.4	0.49

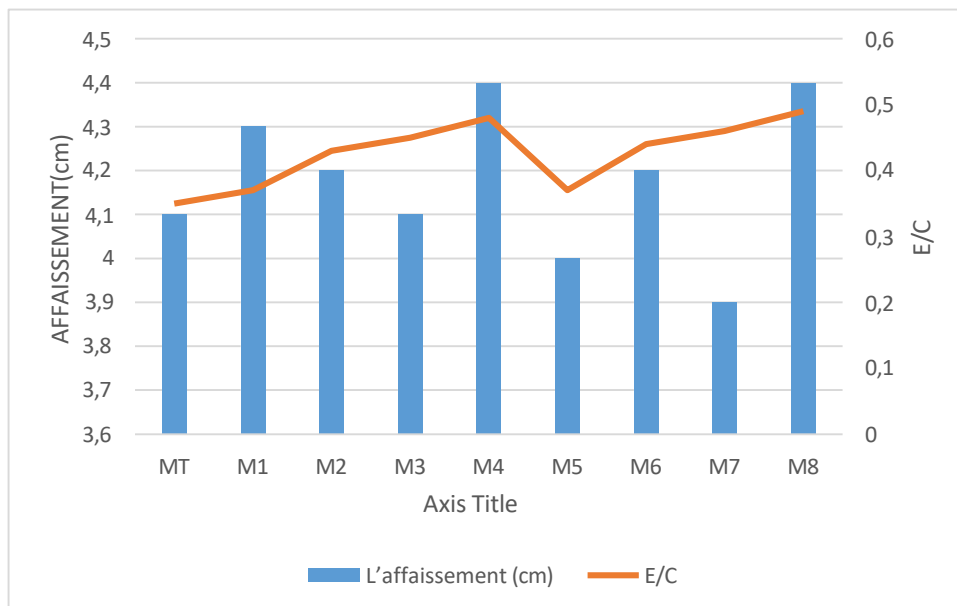


Figure IV.3 : Evolution de l'affaissement et rapport E/C des mortiers étudiés

D'après la figure IV.3, On remarque que :

L'affaissement varie entre environ 3.9 cm (pour M7) et 4.4 cm (pour M4 et M8), ce qui indique une consistance relativement similaire pour toutes les compositions, mais avec des variations notables.

La composition de référence (MT) présente un affaissement d'environ 4.1 cm.

Pour les fibres de 2 cm (M1 à M4) :

- L'affaissement augmente initialement avec l'ajout de 0.2% (M1, 4.3 cm) par rapport au témoin (MT, 4.1 cm). Cela pourrait indiquer que l'amélioration de la dispersion et de l'adhérence (grâce au traitement NaOH) l'emporte sur l'effet d'entrave des fibres à cette faible concentration.

- L'affaissement diminue ensuite pour 0.5% (M2, 4.2 cm) et 0.8% (M3, 4.1 cm), suggérant qu'à ces concentrations intermédiaires, même traitées, les fibres commencent à gêner l'écoulement du mortier frais.

- Curieusement, pour 1% (M4), l'affaissement atteint un maximum de 4.4 cm. Cela pourrait être dû à un effet de "lubrification" ou de "glissement" accru par la grande quantité de fibres bien dispersées et traitées, ou à une modification de la structure du réseau fibré qui facilite l'écoulement.

Pour les fibres de 5 cm (coupe aléatoire) (M5 à M8) :

- L'affaissement diminue significativement à 0.2% (M5, 4.0 cm) par rapport au témoin. Les fibres plus longues, même traitées, semblent entraver davantage la maniabilité à faible concentration.

- Il diminue à nouveau à 0.8% (M7, 3.9 cm), la valeur la plus faible. Cela confirme que les fibres plus longues créent une plus grande résistance à l'écoulement du mortier.

- Finalement, à 1% (M8), l'affaissement remonte de manière significative pour atteindre 4.4 cm, le même maximum que M4. Ici aussi, malgré la longueur des fibres, le traitement NaOH et la quantité élevée pourraient favoriser une meilleure interaction avec la matrice ou une configuration de réseau permettant un affaissement élevé.

IV.2.2 La masse volumique à l'état frais du mortier étudié :

Le Tableau ci-dessus représente la masse volumique à l'état frais (en g/cm³) pour les différentes compositions de mortier (MT à M8). La masse volumique à l'état frais est un indicateur important de la compacité du mortier et de la quantité d'air occlus ou entraîné. Une masse volumique plus élevée indique généralement un mortier plus dense et moins poreux à l'état frais.

Tableau IV.3 : Résultats de la masse volumique état frais du mortier étudié

Formulation	La masse volumique (g/cm³)
MT	2.18
M1	2.06
M2	2.04
M3	1.98
M4	1.87

M5	1.93
M6	1.83
M7	1.85
M8	1.73

Les histogrammes de la figure IV.4 représenté la variation de la masse volumique à l'état frais en fonction de pourcentage de Fibres De typha

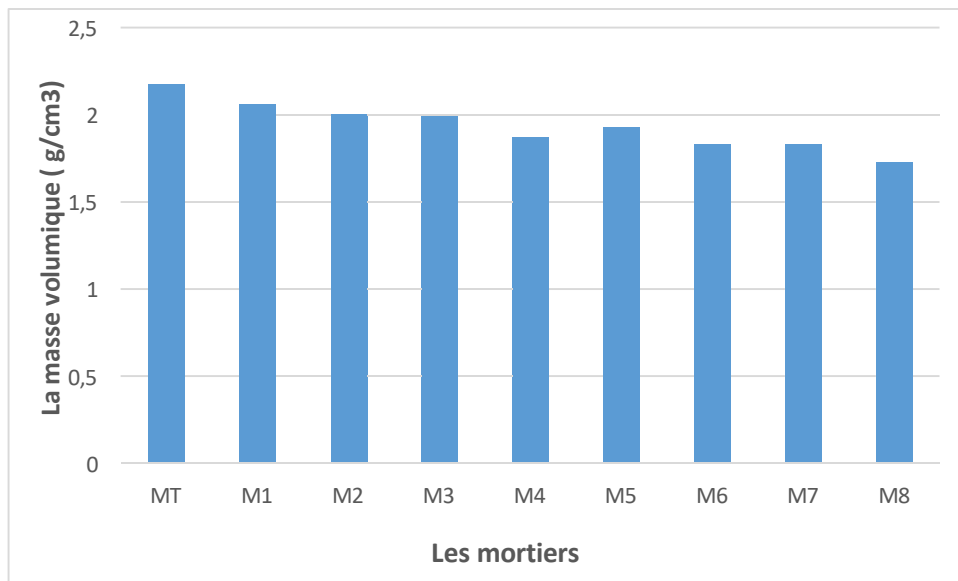


Figure IV.4 : Histogramme de la masse volumique à état frais du mortier étudié

Les valeurs de la masse volumique se situent dans une plage cohérente pour les mortiers, variant entre environ 1.7 g/cm³ (pour M8) et 2.2 g/cm³ (pour MT).

L'échantillon MT (mortier de référence sans fibres) présente la masse volumique la plus élevée, d'environ 2.18 g/cm³. C'est le point de référence pour évaluer l'impact des fibres.

Pour les fibres de 2 cm, il y a une tendance progressive à la diminution de la masse volumique à mesure que la concentration en fibres augmente. Cela indique qu'une plus grande quantité de fibres courtes tend à piéger plus d'air ou à réduire la compacité du mortier frais.

Pour les fibres de 5 cm, la masse volumique est généralement plus faible que pour les fibres de 2 cm à des pourcentages équivalents, et elle montre également une tendance générale à la diminution avec l'augmentation de la concentration en fibres.

Analyse :

L'ajout des fibres entraîne une réduction de la masse volumique du mortier frais, et cette diminution devient plus significative avec l'augmentation de la longueur des fibres. Cela peut s'expliquer par une incorporation plus importante d'air dans le mélange due à la difficulté de dispersion homogène des fibres longues, ce qui augmente la porosité et diminue la compacité du mortier.

Ainsi, plus la longueur des fibres est grande, plus l'effet sur la diminution de la masse volumique est accentué, ce qui souligne l'importance de bien choisir la dimension des fibres selon les performances recherchées.

IV.3. Les résultats des essais à l'état durci :

IV.3.1. La masse volumique a L'état durci :

Tableau IV.5 : Résultats de la masse volumique état durci du mortier étudié

§§§	7 (Jours)	14 (Jours)	28 (Jours)
MT	5.62	5.98	7.12
M1	4.65	5.12	5.39
M2	5.12	6.28	7.07
M3	4.32	5.73	6.75
M4	4.45	6.47	7.31
M5	4.53	5.82	6.54
M6	3.57	4.36	5.58
M7	5.54	5.47	7.08
M8	5.62	6.9	6.98

Le graphique ci-dessus (**Figure IV. 5**) présente l'évolution de la masse volumique à l'état durci (en g/cm³) pour les différentes compositions de mortier (MT à M8) à des âges de 7, 14 et 28 jours. La masse volumique à l'état durci est un indicateur crucial de la compacité finale du matériau, de sa porosité interne, et est souvent corrélée à ses propriétés mécaniques et sa durabilité.

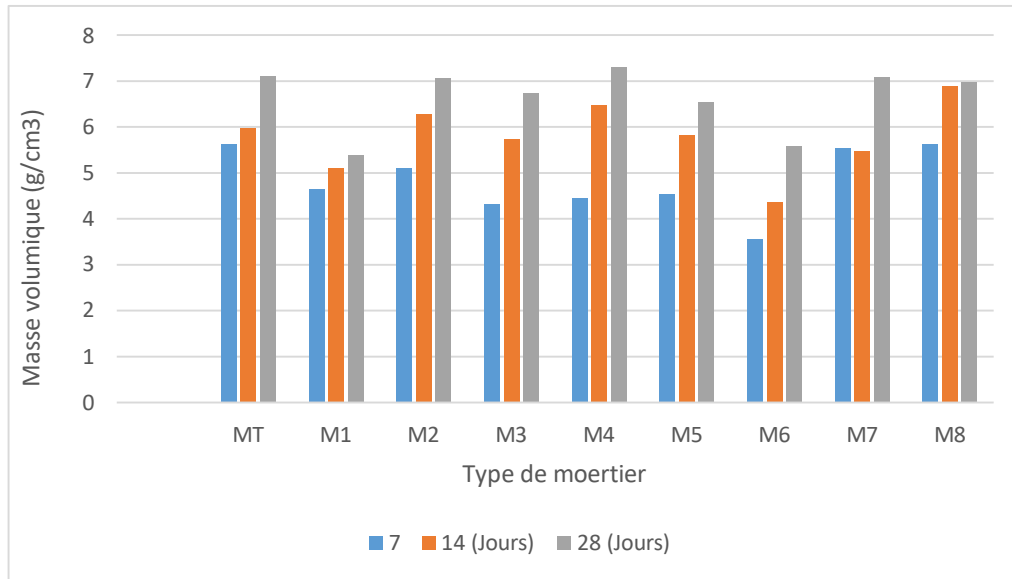


Figure IV. 5 : Histogramme de la masse volumique du mortier étudié.

D'après la Figure IV. 5 :

Pour toutes les compositions (MT à M8), on observe une augmentation progressive de la masse volumique avec l'âge de durcissement (de 7 à 14 jours, puis de 14 à 28 jours).

Cette augmentation est attendue et normale : le processus d'hydratation du ciment progresse avec le temps, formant davantage de produits hydratés qui remplissent les pores, réduisant ainsi la porosité et augmentant la densité du mortier durci.

MT présente une masse volumique élevée dès 7 jours (5.6 g/cm^3), qui augmente pour atteindre environ 6.0 g/cm^3 à 14 jours et environ 6.6 g/cm^3 à 28 jours. Cela en fait l'une des compositions les plus denses à l'état durci, en particulier à 28 jours.

Pour la plupart des compositions fibrées, la masse volumique à l'état durci est inférieure à celle du mortier témoin (MT) à tous les âges, bien que certaines compositions fibrées (notamment M7 et M8 à 28 jours) atteignent des niveaux très similaires à MT. Cela suggère que, même à l'état durci, les fibres (malgré le traitement NaOH) peuvent conduire à une plus grande porosité interne en raison de l'air occlus initialement ou de la difficulté de compactage.

M3 (0.8%) : La masse volumique est plus faible que M1 et M2, surtout à 7 et 14 jours. À 28 jours, elle atteint environ 6.8 g/cm^3 , ce qui est la plus élevée de toutes les compositions à 28 jours, dépassant même MT. Cette observation est très intéressante et inattendue après l'affaissement et la masse volumique à l'état frais.

M7 (0.8%) : La masse volumique augmente significativement avec l'âge et atteint une valeur très élevée à 28 jours (environ 7.1 g/cm^3), dépassant MT et presque toutes les autres compositions.

IV.3.2. Résistance à la flexion :

L'évolution de la résistance à flexion a été étudiée à 7.14.28 jours de stockage dans l'eau, et nous avons obtenu les résultats sous forme de courbes graphiques :

• La résistance à flexion a été étudiée à 7 jours :

Les figures (IV.6, IV.7), présentent les courbes Force (N) en fonction du Déplacement (mm), obtenues lors des essais de flexion réalisés sur les différentes formulations de mortier (MT à M8) après 7 jours de durcissement. Ces courbes permettent d'évaluer la résistance maximale à la flexion (force de rupture) ainsi que le comportement post-fissuration (ductilité) des mortiers. Les fibres de Typha utilisées ont été préalablement traitées par une solution de NaOH.

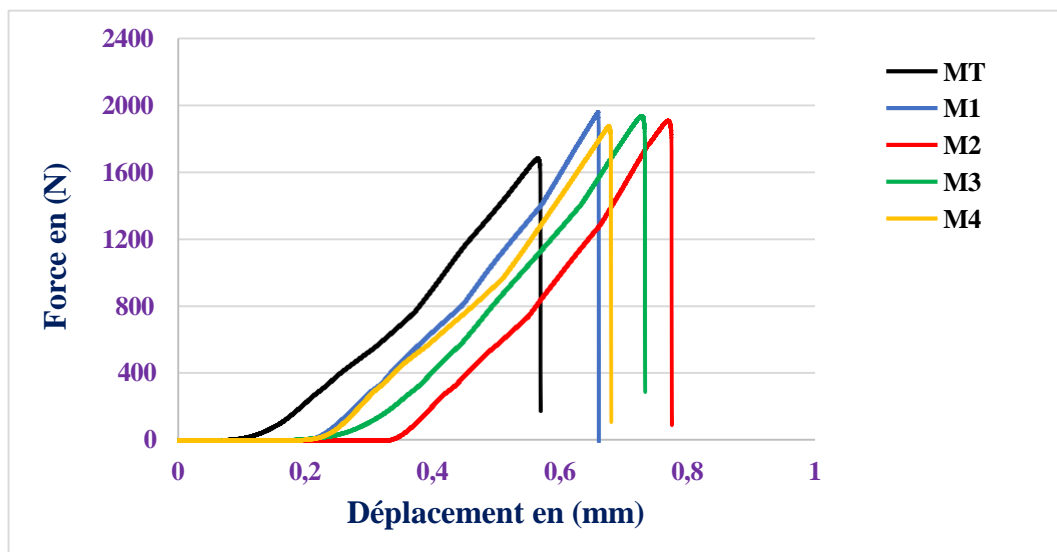


Figure IV. 6 : Courbe assemblée de la force de flexion des mortiers avec fibres (2 cm) à 7 jours.

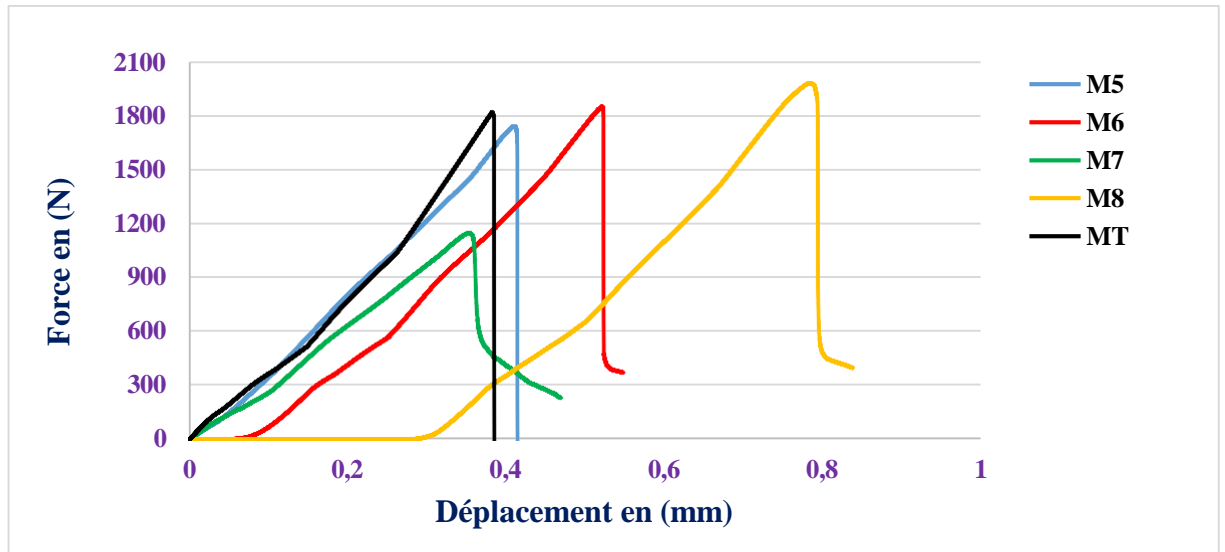


Figure IV.7: Courbe assemblée de la force de flexion des mortiers avec fibres (5 cm) à 7 jours.

J'observe sur la figure que la courbe correspondant au mortier MT présente une pente abrupte, atteignant une force maximale d'environ 1700 N. La rupture est fragile et soudaine, avec une chute brutale de la force après le pic, et un déplacement à la rupture relativement faible (environ 0,6 mm). Ce comportement est typique d'un mortier conventionnel non renforcé par des fibres.

J'observe aussi que la majorité des mortiers fibrés présentent une augmentation significative du déplacement avant la rupture par rapport au témoin, ce qui traduit une amélioration de la ductilité ou une capacité à absorber de l'énergie après la première fissuration, un effet typique du renforcement par fibres. La force maximale (résistance à la flexion) varie considérablement entre les compositions fibrées et par rapport au témoin.

L'ajout de fibres de 2 cm semble généralement réduire la force maximale en flexion à 7 jours par rapport au mortier témoin, les dosages intermédiaires (M2, M3, M4) étant les plus affectés.

Les fibres de 5 cm, surtout à 1% (M8), confèrent une ductilité très élevée, permettant une déformation considérable avant la rupture finale.

• **La résistance à flexion a été étudiée à 14 jours**

Les figures (IV.8, IV.9) composées des deux graphiques ci-dessus, présentent les courbes Force (N) en fonction du Déplacement (mm) obtenues lors des essais de flexion réalisés sur les différentes formulations de mortier (de MT à M8) après 14 jours de durcissement. Ces courbes

permettent de suivre l'évolution de la résistance maximale en flexion ainsi que du comportement post-fissuration avec l'âge, ce qui reflète l'impact du temps sur les performances des matériaux.

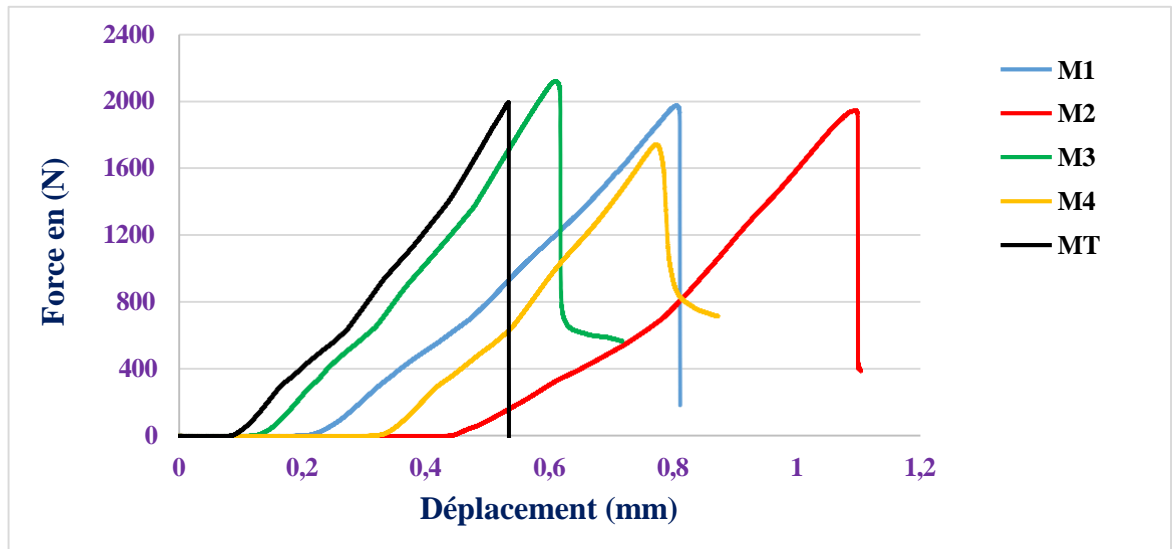


Figure IV. 8 : Courbe assemblée de la force de flexion des mortiers avec fibres (2 cm) à 14 jours.

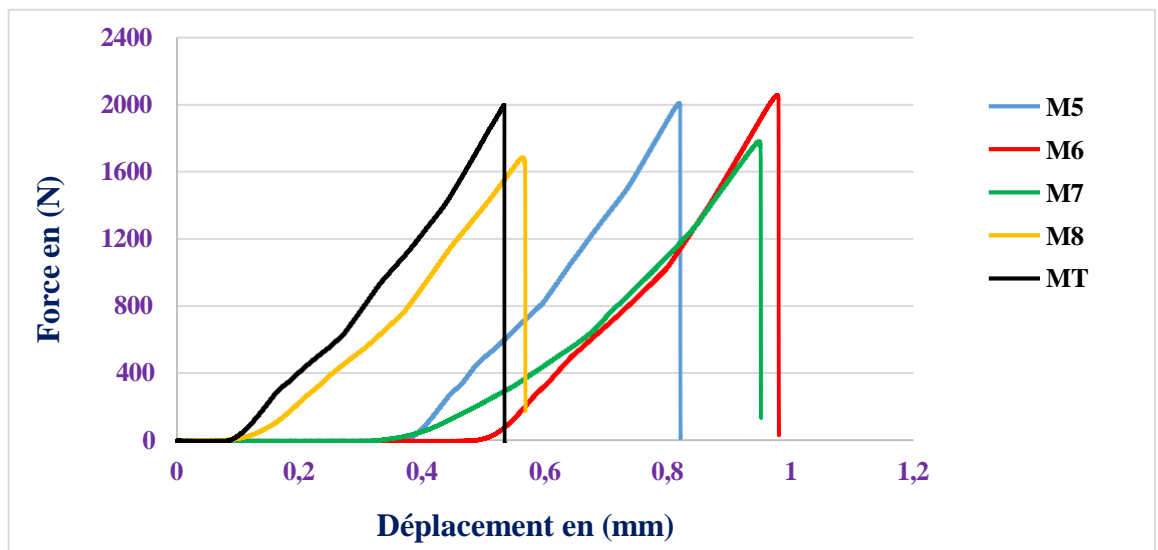


Figure IV. 9: Courbe assemblée de la force de flexion des mortiers avec fibres (5 cm) à 14 jours.

La courbe de MT montre une augmentation de la force maximale par rapport à 7 jours, atteignant désormais environ 2000 N (contre 1700 N à 7j). Le comportement reste fragile, avec

une chute brutale de la force après le pic et un déplacement à la rupture toujours faible (autour de 0.5 mm). L'augmentation de la résistance est typique avec l'âge de durcissement.

J'observe que pour la plupart des mortiers, la force maximale à 14 jours est supérieure à celle observée à 7 jours, ce qui est cohérent avec la progression de l'hydratation du ciment. La capacité des mortiers fibrés à se déformer au-delà du point de pic de force (ductilité) est toujours présente et, dans certains cas, même améliorée par rapport à 7 jours.

J'observe qu'à l'inverse de la situation à 7 jours où la force maximale était généralement réduite, à 14 jours, les fibres de 2 cm augmentent ou maintiennent la force maximale par rapport au témoin MT, avec M3 se distinguant comme la meilleure performance.

M3 (0,8 % - 2 cm) ainsi que M5 et M6 (0,2 %, 0,5 % - 5 cm) se distinguent comme des formulations très performantes à 14 jours, offrant à la fois une résistance élevée et une bonne ductilité.

Les formulations M7 et M8 (fibres de 5 cm, dosages élevés) présentent toujours une résistance légèrement inférieure à celle du témoin MT, mais se caractérisent par une ductilité remarquable, notamment M8.

• **La résistance à flexion a été étudiée à 28 jours :**

Les figures (IV.10 IV.11), illustrent les courbes Force (N) en fonction du Déplacement (mm) obtenues lors des essais de flexion sur les différentes formulations de mortier (MT à M8) après 28 jours de durcissement. Ces courbes représentent les performances finales en flexion et la capacité du matériau à absorber l'énergie.

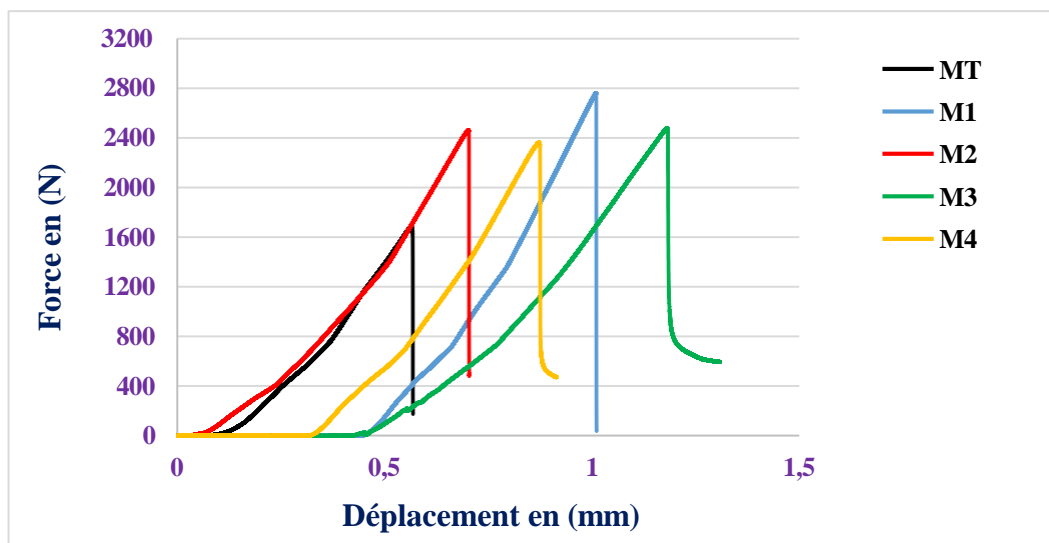


Figure IV. 10 : Courbe assemblée de la force de flexion des mortiers avec fibres (2 cm) à 28 jours

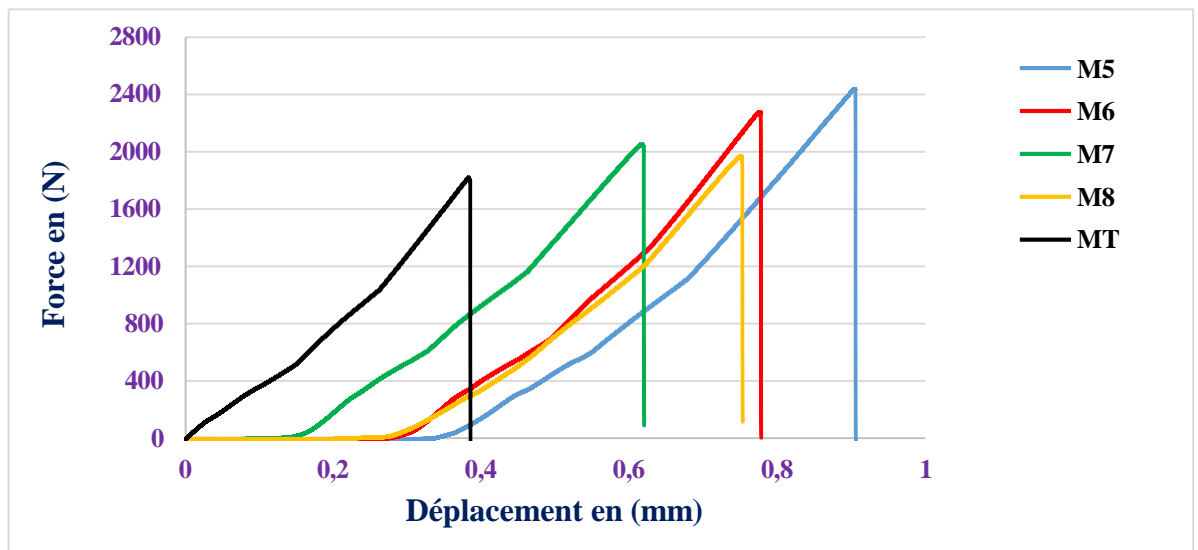


Figure IV. 11: Courbe assemblée de la force de flexion des mortiers avec fibres (5 cm) à 28 jours

J'observe que la courbe du mortier témoin (MT) montre une augmentation continue de la force maximale par rapport aux résultats à 7 et 14 jours, atteignant désormais environ 1750 N. Le comportement reste fragile, avec une rupture soudaine après le pic et un déplacement à la rupture faible (environ 0,4 mm). La résistance a augmenté, mais la nature fragile du matériau n'a pas changé.

J'observe également une amélioration générale des résistances : pour la plupart des mortiers, la force maximale à 28 jours est supérieure à celle observée à 7 et 14 jours, confirmant la progression de l'hydratation et du renforcement. La capacité des mortiers fibrés à se déformer au-delà du point de pic de force est encore plus marquée, et dans certains cas, la combinaison entre résistance et ductilité est remarquable.

IV.3.3. Résistance à la compression :

L'évolution de la résistance à la compression a été étudiée à l'âge de 7,14 ,28 jours de conservation dans l'eau, les résultats sont présentés dans le figure IV. 12 suivant :

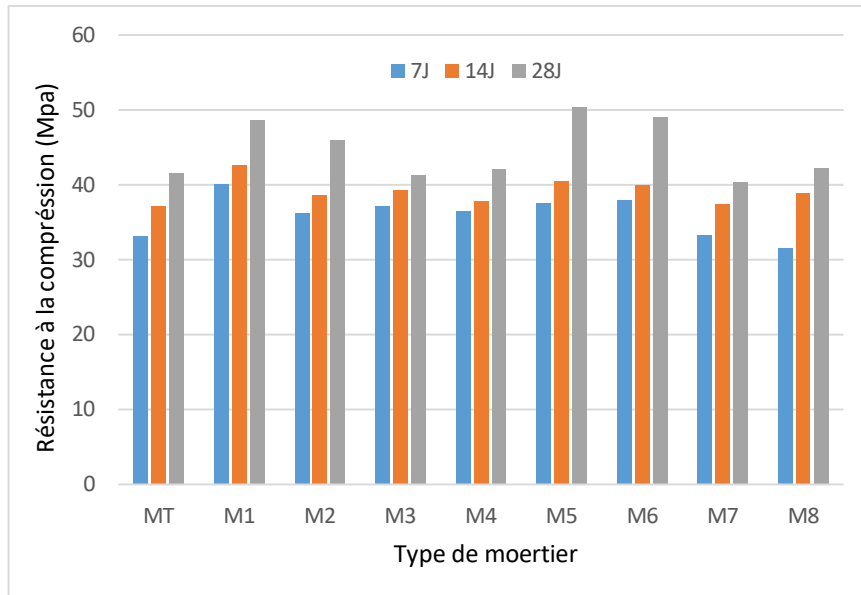


Figure IV. 12 : Histogramme de la résistance à la compression

D'après la Figure (IV.12), on remarque que:

- Pour toutes les compositions (MT à M8), la résistance à la compression augmente significativement avec l'âge de durcissement (de 7 à 14 jours, puis de 14 à 28 jours). Cette progression est normale et attendue, reflétant l'avancement du processus d'hydratation du ciment et la densification de la matrice.

- Le mortier témoin sans fibres (MT) présente une résistance à la compression de 33 MPa à 7 jours, 37 MPa à 14 jours, et 41 MPa à 28 jours. Il sert de base de comparaison.

- J'observe que l'ajout de fibres de 2 cm (dans les compositions M1 à M4) entraîne une amélioration notable de la résistance à la compression par rapport au mortier témoin MT, dès 7 jours et jusqu'à 28 jours. À 7 jours, toutes les compositions dépassent MT, avec M1 (0,2 %) affichant la meilleure performance. À 14 jours, cette tendance se maintient, notamment pour M1 et M2. À 28 jours, M1 atteint la résistance la plus élevée (environ 49 MPa), tandis que l'efficacité des fibres semble diminuer dans les formulations à plus forte teneur (M3 et M4), suggérant qu'un dosage supérieur à 0,2 % n'apporte pas nécessairement une amélioration supplémentaire.

- J'observe que l'utilisation de fibres de Typha de 5 cm dans les compositions (M5 à M8) a contribué à améliorer la résistance à la compression, en particulier pour les faibles et moyennes teneurs (M5 et M6), qui ont atteint les valeurs les plus élevées à 28 jours, dépassant même le mortier témoin MT. Les compositions à teneurs élevées (M7 et M8) ont montré des résistances proches ou légèrement inférieures à MT aux premiers âges, mais se sont améliorées

progressivement jusqu'à atteindre, voire dépasser, le niveau du témoin à 28 jours. Cela indique que l'efficacité des fibres est optimale à des dosages modérés, et que le traitement alcalin au NaOH a renforcé l'adhérence des fibres à la matrice cimentaire, améliorant ainsi les performances à long terme.

IV.3.4. Porosité :

La porosité des composites est résumée dans le tableau ci-après.

Tableau IV.6 : Résultat de l'essai de porosité

	7J	14J	28J
MT	9.29	10.23	10.77
M1	8.25	8.77	9.72
M2	7.61	7.89	7.96
M3	8.5	9.05	9.21
M4	7.05	8.11	8.17
M5	7.5	8.24	8.76
M6	7.13	7.98	8.02
M7	8.9	9.15	9.27
M8	7.28	7.89	8.15

Le graphique ci-dessus (Figure IV.13) illustre l'évolution de la porosité (%) des différentes formulations de mortier (MT à M8) à 7, 14 et 28 jours de durcissement. La porosité représente le volume des vides interconnectés ou isolés au sein du matériau et est un indicateur clé de sa compacité et de sa perméabilité.

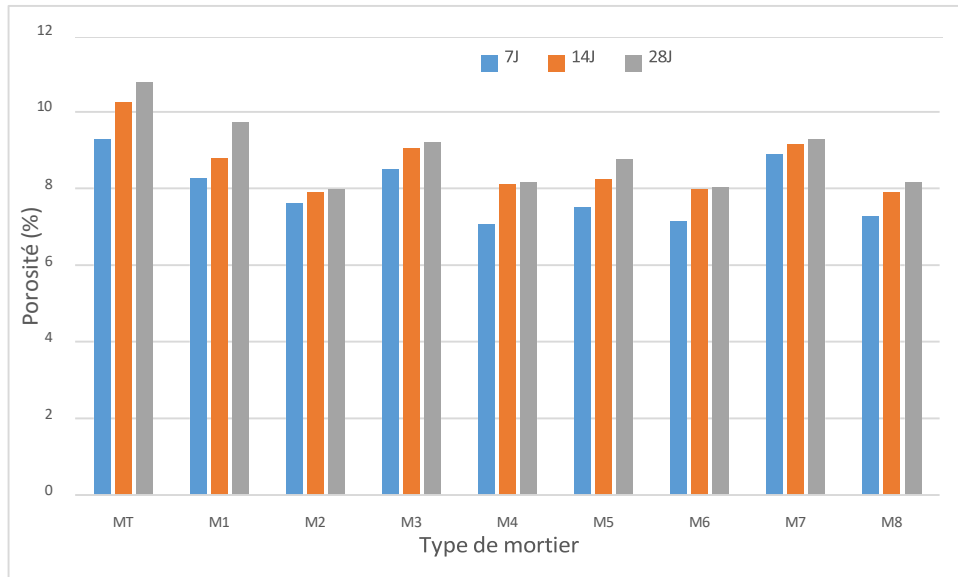


Figure IV. 13 : Evolution de la porosité

Le tableau IV.6 présente les résultats de l'essai de porosité pour les différentes formulations de mortier aux âges de 7, 14 et 28 jours. Il est évident que l'ajout de fibres a influencé les valeurs de porosité par rapport au mortier témoin (MT), qui affiche les valeurs les plus élevées, atteignant 10,77 % à 28 jours.

Pour toutes les compositions (MT à M8), la porosité diminue progressivement avec l'âge de durcissement (de 7 à 14 jours, puis de 14 à 28 jours). Cette diminution est normale et attendue, car le processus d'hydratation du ciment progresse avec le temps, produisant des gels d'hydratation qui remplissent les pores, réduisant ainsi le volume des vides.

En comparaison, plusieurs formulations renforcées présentent une porosité plus faible, notamment M4 (8,17 %), M2 (7,96 %) et M8 (8,15 %) à 28 jours. Cela suggère que l'incorporation de fibres a contribué à réduire la porosité capillaire dans la matrice cimentaire, probablement en améliorant la compacité et en limitant l'apparition de microfissures.

La formulation M1, bien qu'elle affiche une bonne résistance mécanique, conserve une porosité relativement élevée (9,72 %), ce qui pourrait être attribué à une orientation ou à une répartition non homogène des fibres.

Globalement, on observe une tendance générale à l'augmentation de la porosité avec le temps, ce qui peut être lié à l'effet de la cure dans l'eau ou à la formation de microfissures internes. Toutefois, les mélanges fibrés parviennent mieux à contenir cette augmentation par rapport au témoin.

En conclusion, l'utilisation de fibres dans les formulations a permis une amélioration significative de la microstructure du mortier, en réduisant la porosité de manière mesurable, ce qui renforce la durabilité du matériau.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Cette étude a exploré l'impact de l'incorporation Typha traitées au NaOH sur les propriétés mécaniques et physiques des mortiers, afin d'évaluer leur potentiel comme matériau de renforcement dans les constructions. Les résultats obtenus sur l'affaissement, la masse volumique (à l'état frais et durci), la résistance à la flexion, la résistance à la compression et la porosité à différents âges (7, 14 et 28 jours) permettent de tirer les conclusions principales suivantes :

Les dosages de 1% de fibres (M4 pour 2cm et M8 pour 5cm) ont montré les meilleurs affaissements, indiquant une maniabilité optimale avec une concentration élevée de fibres.

Malgré une tendance générale à la diminution avec l'ajout de fibres, certaines compositions comme M2 (0.5% - 2cm) ainsi que M7 (0.8% - 5cm) et M8 (1% - 5cm) ont maintenu des masses volumiques très proches ou supérieures au témoin (selon le graphique utilisé), suggérant une bonne compacité à l'état frais pour ces dosages.

Les résultats de la résistance à la flexion à 28 jours ont montré que le renforcement par les fibres de Typha a permis de transformer le comportement fragile du mortier en un comportement plus ductile, avec une amélioration significative de la résistance maximale par rapport au témoin. La composition M1 (0,2 % – 2 cm) a présenté la résistance absolue la plus élevée, tandis que M2 (0,5 %) et M3 (0,8 %) ont offert la meilleure ductilité tout en conservant une excellente résistance. De plus, les compositions M5 et M6 (0,2 % et 0,5 % – 5 cm) ont montré un bon équilibre entre résistance élevée et ductilité, ce qui confirme l'efficacité des fibres végétales dans l'amélioration des performances mécaniques du mortier.

Les fibres ont significativement augmenté la résistance à la compression.

Les dosages de 0.2% de fibres (M1 pour 2cm et M5 pour 5cm) ont donné les meilleures résistances à la compression, surpassant le mortier témoin.

M6 (0.5% - 5cm) a également montré une performance très élevée.

L'incorporation de fibres a généralement conduit à une réduction de la porosité finale du mortier.

M2 (0.5% - 2cm) a présenté la porosité la plus faible de toutes les compositions, indiquant une structure très dense et durable.

L'étude confirme que les fibres de Typha traitées au NaOH sont un renfort très efficace pour les mortiers, permettant d'obtenir un matériau à la fois plus résistant (en compression et flexion) et plus ductile, avec une porosité réduite. L'optimisation des dosages est cruciale, avec des concentrations de 0.2% à 0.5% apparaissant comme les plus prometteuses pour maximiser l'ensemble des propriétés mécaniques et physiques. Ces résultats ouvrent la voie à l'utilisation durable de cette ressource naturelle dans les applications de construction.

Perspectives

Les perspectives de cette étude sont nombreuses le programme expérimental pourrait être complété par les études suivantes :

- ✓ Vérifier les propriétés thermiques (conductivité thermique) sur l'utilisation de ces fibres végétales dans les matériaux cimentaires.
- ✓ Développer autres traitements chimique avec différentes concentrations.
Interactions physico-chimiques aux interfaces entre les deux fibres végétales et la matrice cimentaire,
- ✓ Durabilité à long terme des fibres végétales dans des milieux alcalins similaires à la solution interstitielle du milieu cimentaire.
- ✓ Ajouté des différents pourcentages du traitement chimique ou chercher d'autres traitements chimiques.
- ✓ Ajouté des fibres végétales longues avec traitement et sans traitement chimique pour étudier l'influence de ces fibres sur le comportement du béton.

REFERENCES

- [1] <http://dspace.univ-tiaret.dz/bitstream/123456789/11704/1/chapitre%20I.pdf>
- [2] <http://thesis.univ-biskra.dz/2446/4/chapitre2.pdf>
- [3] KHACHBAT Mohamed ettahir - ARDJANI Kamel « caractérisation d'un mortier à base de sable de d'une avec caoutchouc », Mémoire Master, Université 8 Mai 1945 Guelma - (2020), 98 p
- [4] HEMIL Samir ; NOUGARI Ayoub Zakaria. « Effet combiné des billes du polystyrène et les fibres plastique sur les mortiers au ciment blanc », Thèse de Magister en Génie Civil, Université Mohamed Boudiaf - M'SILA (2018), 99 p
- [5] <http://193.194.86.69/facultes/ft/externe/departements/gc/cours/mortiers.pdf>
- [6] <https://www.pavebeton.fr/comment-faire-du-mortier/>
- [7] <https://www.constructionlabrique.com/le-mortier-et-son-utilite/>
- [1]: A. Y. Nennonene, "Elaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules de tige de kénaf et de bioadhésifs à base de colle d'os, de tannin ou de mucilage", thèse de doctorat de l'université de Toulouse, Institut National Polytechnique de Toulouse, Sciences des Agro ressources, 2009.
- [2]: F.Laurans, A.Déjardin, J.Pilate, "Physiologie de la formation des parois de fibres de bois", composites et matériaux avancés, Vol.16, pp.27-39,2006.
- [3]: N.Anil "composite get greener ", Material today, Vol 45, pp12, 2001.
- [4]: E. BODROS, C. BALEY, " Etude des propriétés de biopolymer renforcés par des fibres de lin aléatoirement dispersées dans le plan de stratification", propriété aux interfaces et composites, Université de Bretagne-Sud, 2006
- [5]: F.Gouanvé, S.Marais, M. Métayer, " composites polyester insaturé renforcés par des fibres de lin", composites et matériaux avancées, Vol.16, pp.117.128 ,2006propension à absorber de l'eau en grande quantité et leur faible tenue en températu
- [5]: F.Gouanvé, S.Marais, M. Métayer, " composites polyester insaturé renforcés par des fibres de lin", composites et matériaux avancées, Vol.16, pp.117.128 ,2006re tendent aux des servie
- [6]. Rapport Fibres Recherche Développement-ADEME, p. 38
- [7]:F. Michaud, "Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique : Aptitude post formage" thèse Phd, univ Laval, 2003.
- [8] : Coudert. Pyrolyse flash à haute température de la biomasse lignocellulosique et de ses composés - production de gaz de synthèse", Thèse de pour obtenir le de Doctorat de l'Ecole des Mines de Paris Energétique.2007.
- [9]: D Sedan, "Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment. Influence sur les propriétés mécaniques du composites", thèse doctorat de l'université de limoges, matériaux céramiques et traitement de surface, 2007.

REFERENCES

- [10]: S, Berlioze, ‘‘Etude de l’estérification de la cellulose par une synthèse sans solvant. Application aux matériaux nano composites’’, thèse doctorat de l’université JOSEPH FOURIER, Sciences des Polymères, 2008
- [11]: N.Joly, ‘‘synthèse et caractérisation de nouveaux films plastiques obtenues par acylation et réticulation de la cellulose’’, thèse doctorat de l’université de Limoges, chimie des substances Naturelles, 2003.
- [12]: C.Satge, ‘‘Etude de nouvelles stratégies de valorisation de mono et polysaccharides’’, thèse doctorat de l’université de limoges, chimie des substances naturelles, 2002.
- [13]: D, Hatsch, ‘‘Interaction hôte/pathogène : étude du modèle *Cumulus lupulus Fusarium graminearum*. Identification, génomique et transcriptomique du pathogène,’’ thèse de doctorat de l’université de Louis Pasteur Strasbourg I, Sciences du Vivant – Aspects moléculaires et cellulaires de la biologie. 2004.
- [14]: B.Montiès, ‘‘Les polymères végétaux - Polymères pariétaux et alimentaires non azotés, Gauthier Villars (ed), Paris (1980).
- [15]: B.R. Sharma, Naresh L., N.C. Dhuldhoya, S.U. Merchant and U.C. Merchant Lucid ‘‘Colloids Limited Jodhpur’’-342005, Rajasthan, India, 2006.
- [16]: S, Thiebaud, ‘‘Valorisation chimique de composés lignocellulosiques : obtention de nouveaux matériaux’’, thèse de doctorat, Institut National Polytechnique De Toulouse, Sciences des Agroressources, 1995.
- [17]: P, Boustingorry, ‘‘Élaboration d’un matériau composite à matrice gypse renforcé par bois fragmenté -amélioration de la résistance au vissage de produits préfabriqué en gypse,’’ thèse de doctorat de l’école Nationale Supérieure des Mine de Saint Etienne, Génie des procédés, 2002
- [18] : Camille Brabant et Naomi Rossignol, Filer les fibres naturelles : chanvre, laine, ortie..., Ulmer, coll. « Résiliences », 2023, 126 p.
- [19]: K.Charle, C.morvan, J.Bréard, JP.Jernot, M.Gomina, ‘‘Etude morphologique d’un composite naturel la fibre de lin’’ revue des composites et des matériaux avancées, Vol16, pp11-24, 2006.
- [20]: R.M. Rowell ‘Composite Materials from Agricultural Resources’’ Olsen, Ole; Rexen, Finn; Larsen, Jorgen, eds. Research in industrial application of non food crops, I: plant fibers: Proceedings of a seminar; 1995 May; Copenhagen, Denmark. Linkboy, Denmark Academy of Technical Science: 27-41
- [21]: Daghefel Azzedine, « Étude du comportement à la rupture du béton polymère renforcé par des fibres végétales », mémoire master, université de M’sila, juin 2012.
- [22]: <https://dumetier.org/publications/constructions-en-fibre-vegetale-et-materiaux-de-demain>
- [23]: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2010
- [24]: ‘‘Evaluation de la disponibilité et de l’accessibilité de fibres végétale à usage matériaux en France ’’. Données internes, Fibers Recherche Développement

REFERENCES

- [25] : A. Govin., “Aspects physico-chimiques de l’interaction bois-ciment/Modification de l’hydratation du ciment par le bois” .
Thèse de doctorat, l’Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne, N°:331CD (2004).
- [26] : R. D. Tolêdo Filho, K. Scrivener, G.L. England, K. Ghavami “Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibers in cement mortar composites”.
Cement and Concrete Composites, Volume 2 (2000) 127-143.
- [27] : Ch. Baley, Y. Grohens, G. Levesque, F. Busnel, C. Pommel, O. Sire “ influence des traitements chimiques sur les propriétés interfaciales et l’adhérence du système fibre de lin-résine polyester” .
Matériaux, (2002).
- [28] : Claire.S. Peyratout, M. Le Troëdec, T. Chotard, J. Pierre Bonnet, A. Smith
“Modification physico-chimiques des interactions entre les fibres de chanvre et la chaux : impacts sur les propriétés mécaniques des mortiers”.
18ème congrès Français.
- [29] :O. Bahloul, A. Bourzam, A. Bahloul, “Utilisation des fibres végétales dans le renforcement de mortiers de ciment” .
SBEIDCO, 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria) - October 12-14, 2009.
- [30] :M. Le Troëdec., “Caractérisation des interactions physico-chimiques dans un matériau composite à base de phyllosilicates, de chaux et de fibres cellulosiques”.Thèse de doctorat, Université de Limoges, Faculté des Sciences et Techniques, N°65-2009.
- [31] : M. Rokbi, H. Osmani., “L’effet des traitements de surface des fibres sur les propriétés mécaniques de composites Polyester-fibres Alfa”.20 ème Congrès Français de Mécanique, 29 Août au 02 Septembre 2011.
- [32] : MEDDAH Mostefa. 2025. “Exploitation des fibres végétales sur les sites de Boussaâda comme élément de renforcement des matériaux composites ”Thèse doctorat en sciences, Spécialité : Génie mécanique, Option : Construction mécanique
- [33] S. B. Brahim and R. B. Cheikh, "Influence of fibre orientation and volume fraction on the tensile properties of unidirectional Alfa-polyester composite," Composites science and technology, vol. 67, no. 1, pp. 140-147, 2007.
- [34] S. Msahli, J. Ydrean, and F. Sakli, "Evaluating the fineness of agave Americana L. fibers," Textile Research Journal, vol. 75, no. 7, pp. 540-543, 2005.
- [35] N. Lemita, S. Deghboudj, M. Rokbi, F. M. L. Rekbi, and R. Halimi, "Characterization and analysis of novel natural cellulosic fiber extracted from Strelitzia reginae plant," Journal of Composite Materials, vol. 56, no. 1, pp. 99-114, 2022.

ANNEXES

ANNEXES 01 :



SPA BISKRIA CIMENT



FICHE TECHNIQUE

CEM I 42.5R CIMENT PORTLAND

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

CEM I 42.5R:

Conforme à la norme Algérienne (NA442-2013).



DOMAINES D'APPLICATION

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

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



APPLICATIONS RECOMMANDEES

- ▶ Béton armé à haute résistance.
- ▶ Béton autoplaçant.



Un produit conforme aux normes et spécifications de l'Union européenne. Le marquage CE est une exigence légale pour certains produits sur le marché de l'UE.



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



ANNEXES 02 :

FORMULATION CONSEILLÉE

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

Remarque: un bidon = 10 litres

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Analyses chimiques (%)	Valeur	Résistance à la compression	Valeur
Perte au feu	26 – 37	2 jours (MPa)	20 – 29
Teneur en sulfates (SO3)	2.2 – 2.8	28 jours (MPa)	42.5 – 52.5
Teneur en Oxyde de Magnésium (MgO)	1.7 – 2.8		
Teneur en Chlorures (Cl-)	0.03 – 0.07		
Composition Potentielle du Clinker (Selon Bogue) (%)	Valeur		
C3S	56 – 66		
C2S	5.1 – 7.2		
Propriétés physiques	Valeur		
Consistance normale (%)	25.8 – 26.4		
Expansion à chaud (mm)	0.25 – 1.0		
Temps de prise (min)	Valeur		
Début de prise	150 – 190		
Fin de prise	220 - 250		



CONSIGNES DE SÉCURITÉ

PROTÉGEZ VOTRE PEAU:

Portez les équipements adaptés dans vos chantiers:



casques

lunettes

gants

genouillères

chaussures

vêtements de sécurité

Djar Belahrache, Branis, Biskra, Algérie

Tel: (+213) 0560 753 424

Fax: (+213) 033 62 73 92

www.biskriaciment-dz.com

contact@biskriaciment-dz.com



f in y @ Biskria Ciment

01/2023

NOTICE TECHNIQUE

2 1 1 9

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

Le **MEDAFLOW 30** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons.

Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable.

Le **MEDAFLOW 30** ne présente pas d'effet retardateur.

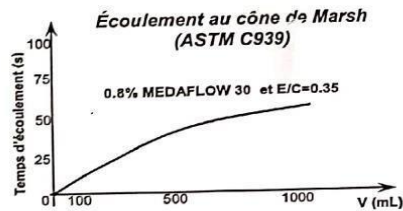
DOMAINES D'APPLICATION

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

PROPRIÉTÉS

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

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



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

58

**Granitex**

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



Sur béton durci :

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

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

CARACTÉRISTIQUES

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

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLOW 30** est introduit dans l'eau de gâchage.

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

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :

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

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

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE