

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQ
UEUNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GENIE CIVIL



DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE
SFILIERE : GENIE CIVIL
OPTION : MATERIAUX

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par :

BOUREZG MOHAMED

Intitulé :

**Développement et analyse des performances mécaniques et
du matériau composite renforcés par des fibres naturelles
dans le mortier**

Devant le jury composé de :

Dr : BELOUADAH Messaouda Université Mohamed Boudiaf - M'sila Encadreur

Dr : Salhi Sami

Université Mohamed Boudiaf - M'sila CoEncadreur

Université Mohamed Boudiaf - M'sila Examinatrice

Année universitaire : 2025/2026

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Avant tout, je remercie Allah le Tout-Puissant de m'avoir accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadreuse, Mme Blouadhah Massouda, pour son accompagnement, ses précieux conseils, sa disponibilité et ses encouragements tout au long de la réalisation de ce mémoire.

J'adresse également mes sincères remerciements à tous les enseignants du département de Génie Civil pour la qualité de leur enseignement et les connaissances qu'ils m'ont transmises durant mon parcours universitaire.

Mes plus vifs remerciements vont à mes chers parents pour leur amour, leurs sacrifices, leur soutien moral et matériel ainsi que leurs encouragements permanents. Que Dieu les protège et les récompense pour tout ce qu'ils ont fait pour moi.

Je remercie également tous mes frères et sœurs pour leur soutien, leur affection et leurs encouragements qui m'ont accompagné tout au long de mes études.

J'adresse un remerciement particulier à mon frère Ahmed, qui m'a soutenu et encouragé durant tout mon parcours d'études, depuis mes premières années scolaires jusqu'à l'achèvement de ce mémoire. Son aide et sa présence ont été pour moi une source de motivation et de confiance.

Je tiens aussi à remercier chaleureusement ma collègue Ouail pour son aide précieuse, sa collaboration et son soutien tout au long de la réalisation de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également à l'ensemble du personnel du Centre de Contrôle Technique de la Construction (CTC) de M'Sila pour leur accueil, leur disponibilité et les connaissances pratiques acquises durant mon stage.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui m'ont soutenu de près ou de loin, par leurs conseils, leurs encouragements, leurs prières ou simplement par une parole bienveillante. Qu'Allah les récompense et leur accorde santé, bonheur et réussite.

Merci à toutes et à tous.

Résumé

L'objectif de ce travail est la valorisation des ressources naturelles, telles que les fibres végétales, en les utilisant comme renfort dans le mortier afin de réduire l'impact environnemental et d'améliorer le comportement mécanique (flexion, compression et rupture).

Ce travail de fin d'études porte sur l'étude de l'effet du traitement chimique de surface des fibres d'Alfa sur les caractéristiques physico-mécaniques d'un mortier de ciment. Les fibres d'Alfa ont été introduites à différents pourcentages massiques (0,25%, 0,5%, 0,75%, 1% et 1,5%) par rapport au poids du ciment. Afin d'améliorer l'adhérence matrice-fibre et de réduire la sensibilité hydrophile des fibres, un traitement chimique alcalin à base de soude (NaOH) à une concentration de 2% a été appliqué. Une étude comparative a été menée entre un mortier témoin (sans fibres), des mortiers renforcés par des fibres brutes et d'autres renforcés par des fibres traitées.

Les propriétés à l'état frais (ouvrabilité, masse volumique) ainsi que les performances mécaniques à l'état durci (résistances à la flexion et à la compression) ont été évaluées. Les résultats expérimentaux montrent que l'introduction des fibres brutes diminue l'ouvrabilité et les résistances mécaniques aux forts pourcentages en raison de la création de vides internes. Cependant, l'application du traitement chimique à 2% de NaOH améliore significativement l'état de surface des fibres, renforce la liaison interfaciale et permet d'obtenir des gains optimaux en flexion et en compression, particulièrement pour les faibles dosages (0,25% à 0,75%), ouvrant ainsi des perspectives prometteuses pour la valorisation de l'Alfa comme éco-matériau de construction.

Mots-clés : Mortier, Fibres d'Alfa, Traitement chimique, NaOH (2%), Propriétés mécaniques, Composites cimentaires, Valorisation.

Abstract:

The objective of this work is the valorization of natural resources, such as vegetable fibers, by using them as reinforcement in mortar in order to reduce environmental impact and improve mechanical behavior (flexion, compression, and failure). This graduation thesis focuses on investigating the effect of chemical surface treatment of Alfa fibers on the physico-mechanical characteristics of a cement mortar. Alfa fibers were incorporated at different mass percentages (0.25%, 0.5%, 0.75%, 1%, and 1.5%) relative to the weight of cement. To enhance the matrix-fiber adhesion and reduce the hydrophilic sensitivity of the fibers, an alkaline chemical treatment using sodium hydroxide (NaOH) at a concentration of 2% was applied. A comparative study was conducted among a control mortar (without fibers), and others reinforced with treated fibers. The properties in the fresh state (workability, bulk density) as well as the mechanical performance in the hardened state (flexural and compressive strengths) were evaluated. Experimental results show that the introduction of raw fibers decreases workability and mechanical strength at high percentages due to the creation of internal voids. However, the application of the 2% NaOH chemical treatment significantly improves the fiber surface topography, strengthens the interfacial bond, and yields optimal gains in flexion and compression, particularly at low dosages (0.25% to 0.75%), thereby opening promising perspectives for the valorization of Alfa as an eco-friendly construction material.

Keywords : Mortar, Alfa Fibers, Chemical Treatment, NaOH (2%), Mechanical Properties, Cementitious Composites, Valorization.

يهدف هذا العمل إلى تثمين الموارد الطبيعية، مثل الألياف النباتية، من خلال استخدامها كعنصر تعزيز في الملاط وذلك بهدف الحد من الأثر البيئي وتحسين السلوك الميكانيكي للمادة (عند الانحناء، الضغط، والكسر). وتركز هذه مذكرة التخرج على دراسة تأثير المعالجة الكيميائية السطحية لألياف الحلفاء على الخصائص الفيزيائية-الميكانيكية للملاط الإسمنتي. تم إدراج ألياف الحلفاء بنسب وزنية مختلفة (0.25%، 0.5%، 0.75%، 1%، و1.5%) بالنسبة لوزن الإسمنت. ومن أجل تحسين الالتصاق بين المصفوفة الإسمنتية والألياف وتقليل حساسية الألياف لامتصاص الماء (الخاصية المحبة للماء)، تم تطبيق معالجة كيميائية قلوية تعتمد على الصودا (NaOH) بتركيز 2%. وقد أجريت دراسة مقارنة بين ملاط شاهد (بدون ألياف)، وملاط آخر مدعم بألياف معالجة. تضمنت الدراسة تقييم الخصائص في الحالة الطازجة (قابلية التشغيل، الكثافة الحجمية) بالإضافة إلى الأداء الميكانيكي في الحالة المتصلدة (مقاومة الانحناء والضغط). وتظهر النتائج التجريبية أن إدراج الألياف الخام يؤدي إلى انخفاض قابلية التشغيل والمقاومة الميكانيكية عند النسب العالية بسبب تشكل فراغات داخلية. ومع ذلك، فإن تطبيق المعالجة الكيميائية بـ 2% من NaOH يحسن بشكل ملحوظ حالة سطح الألياف، ويعزز الترابط البيئي، مما يسمح بالحصول على تحسن مثالي في مقاومة الانحناء والضغط، لا سيما عند النسب المنخفضة (0.25% إلى 0.75%)، وهو ما يفتح أفقاً واعداً لتثمين نبات الحلفاء كمادة بناء صديقة للبيئة.

الكلمات المفتاحية: ملاط، ألياف الحلفاء، معالجة كيميائية، هيدروكسيد الصوديوم (2%)، الخصائص الميكانيكية، المركبات الإسمنتية، التثمين.

Table des matières

Remerciements.....	3
Résumé	4
الملخص	5
Table des matières.....	6
Introduction Générale.....	12

Chapitre I : Généralité sur les mortiers

I.1. Introduction.....	14
I.2. Définition.....	14
I.3. Les constituants des mortiers.....	15
I.3.1. Le ciment	15
I.3.1.1 Historique.....	15
I.3.1.2 Définition du ciment.....	16
Les différentes méthodes de fabrication du ciment	17
Principe de fabrication du ciment Portland.....	17
Les Constituants du ciment.....	18
. Le clinker.....	18
. Le gypse (CaSO_4)	18
Classification des ciments courants.....	18
Caractéristiques chimiques du ciment.....	19
Ciments courants.....	19
Caractéristiques mécaniques des ciments courants.....	20
Propriétés des ciments courants.....	21
Prise.....	21
Durcissement.....	21
Chaleur d'hydratation	21
Finesse de mouture	21
Expansion	22
Désignation normalisée des ciments.....	22
Domaine d'utilisation du ciment	23
I.3.2 Le sable	23
I.3.2.1 Définition	23
I.3.3. Eau de gâchage	24
I.3.4. Les adjuvants	24

I.3.4.1 Historique	24
I.3.4.2 Le rôle des adjuvants	25
I.3.4.3 Les types des adjuvants	25
Plastifiants	26
Réducteurs d'eau	26
Accélérateurs de prise	26
Accélérateurs de durcissement	26
Entraîneurs d'air	27
I.4 Les ajouts	27
I.5 Les mortiers peu ventêtre	27
I.6 Les mortiers de chantier et les mortiers prêts à l'emploi	28
I.6.1 Les mortiers fabriqués sur le chantier	28
I.6.2 Les mortiers industriels secs prémélangés	28
I.6.3 Les mortiers frais retardés, stabilisés, prêts à l'emploi	29
I.6.4 Les mortiers de fibres	29
I.7 Les emplois des mortiers	29
I.7.1 Les enduits	29
I.7.2 Les chapes	30
I.7.3 Les joints de maçonnerie	31
I.7.3.1 Réparer les joints dégradés sur les murs en pierre	31
I.7.3.1.1 Méthode de réparation	32
I.7.4 Les scellements et les calages	32
I.8 Les techniques particulières de mise en œuvre	33
I.8.1 La projection	33
I.8.2 L'injection des mortiers	33
I.9 Etude des qualités d'un mortier	34
Maniabilité	34
Perméabilité	34
Conditions d'hydratation	34
Déformabilité	35
Déformabilité	35
Retrait	35
Adhérence	35
Durabilité	35
I.10 Le rôle de l'utilisation du mortier	34
I.11 Conclusion	34

Chapitre II: Généralités sur les fibres végétales

II.1. Introduction	38
II.2. Les fibres naturelles	38
II.3. Classification des fibres naturelles	38
II.4. Définition de la fibre végétale	39
II.4.1. Aperçu historique.....	39
II.4.2. Classification des fibres végétales.....	40
Les fibres de feuilles.....	40
Les fibres de bois.....	40
Les fibres de surface.....	40
II.4.3. La composition chimique d'une fibre végétale.....	40
II.4.4. Structure d'une fibre végétale.....	41
II.4.5 Propriétés usuelles des fibres végétales.....	42
II.4.5.1. Propriétés physiques des fibres végétales.....	42
II.4.5.2. Propriétés mécaniques des fibres végétales	43
II.4.5.3. Propriétés chimiques des fibres végétales	45
II.4.5.4. Propriétés écologiques des fibres végétales.....	45
II.4.5.5. Autres propriétés spéciales sur les fibres végétales.....	45
II.4.6. Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales comme renforts de matériaux composites.....	46
II.5. Les différents renforcements à base de fibres végétales ...	46
II.5.1. Le chanvre.....	46
II.5.2. Le lin.....	47
II.5.3. Le Coton.....	47
II.5.4. L'Abaca.....	47
II.5.5. Le Kenaf.....	48
II.5.6. Le Jute.....	48
II.5.7. Le Sisal.....	48
II.5.8. Le Ramie.....	49
II.5.9. Le Coco.....	49
II.5.10. Palmier dattier.....	49
II.5.11. Alfa.....	50
II.6. L'utilisation des fibres végétales ans le domaine de génie civil	50
II.7. Conclusion :	50

Chapitre III : Matériaux utilisés et méthodes expérimentales

III.1. Introduction :	52
III.2. caractérisation des matériaux utilisés :	52
III.2.1. Ciments.....	52
III.2.2 Les sables:	52
III.2.2 .1.La masse volumique absolue.....	53
III.2.2.2 Masse volumique apparent.....	53
III.2.2.3 Porosité:	54
III.2.2.4 Compacité.....	54
III.2.2.5 L'indice des vides.....	54
III.2.2.6 Equivalent de sable.....	55
• Equivalent de sable visuel (ESV):	56
• Equivalent de sable au piston :	56
III.2.2 .7.Analyse granulométrique.....	57
III. 2.2.8 Module de finesse.....	60
III .2.3 Adjuvant.....	60
III .2.3 .1.Degré de saturation :	61
III .2.3 .1.1.Essais du Taux de saturation.....	61
III.2.4 Eau De Gachage :	62
III.2.5 Fumée de silice :	62
III.2.6. Fibre d'Alfa.....	63
III.3. Fabrication et conditionnement des éprouvettes :	65
III.4. Composition de mortier :	65
III.5. Formulation d'un mortier témoin.....	65
III.6.Malaxage du mortier.....	65
III.7.Essais de maniabilité (consistance de mortier)	66
III.8.Préparation des éprouvettes.....	66
III.9. Conservation des éprouvettes :	67
III.10. Les compositions utilisées :	67
III.11. Séquence de malaxage du mortier :	68
III.12. Démoulage et conservation des éprouvettes:	68
III.13. Techniques expérimentales	69
III.13.1. Caractérisation à l'état frais:	69
III.13.1.1.Essai d'étalement.....	69

III.13.2. Caractérisation à l'état durci:	70
III.13.2.1.Cure appliquée [NF P 18-404]	70
III.13.2.2. La masse volumique a L'état durci	70
III.13.2.3.Essai de flexion trois points	71
III.13.2.4.Résistance à la compression :	71
III.13.2.5.L'absorption d'eau :	72
III.13.2.6. L'essai de retrait.....	73
III.13.2.7 .L'essai l'ultrason.....	73
II.14. Conclusion	74

Chapitre IV : Résultat et discussion

IV.1 Introduction	76
IV.2. Les résultats des essais à l'état frais	76
IV .2.1 Maniabilité sur mortiers frais (Flow Test)	76
IV. 3. Densité à l'état durci.....	77
IV.4. Caractéristiques mécaniques des mortiers.....	79
IV.4.1Résistance à la compression(Rc)	79
IV.4.2 Résistance à la flexion(Rt)	80
IV.5. Propriétés physiques:	81
IV.5.1. Absorption capillaire.....	81
IV.5.1.1.Diminution de l'absorption (M0 à M2)	81
IV.5.1.2Augmentation de l'absorption (M3 à M5)	81
IV.5.2. Vitesse des ondes ultrasonores (UPV)	82
IV.5.2.1.Effet du dosage en fibres d'Alfa et de la fumée de silice.....	82
IV.5.2.1.1.Amélioration de la compacité (M1 à M4)	82
IV.5.2.1.2. Le mortier optimal M4.....	82
IV.5.2.1.3.Chute de la vitesse à fort dosage M5.....	82
IV.5.2.2. Effet de l'âge du béton (Temps de cure)	83
IV.5.3. Retrait.....	83
IV.5.3.1.Effet du dosage en fibres d'Alfa et des adjuvants.....	83
IV.5.3.1.1.Augmentation continue du retrait (M1à M4)	83
IV.5.3.1.2.Le cas du mortier optimal (M4)	84
IV.5.3.1.3.Diminution du retrait pour le fort dosage (M5)	84
IV.5.3.2.Effet du temps de cure (Évolution temporelle)	84
IV.5.3.2.1.Analyse visuelle du mode de rupture.....	84
IV.5.3.2.1.1.Faciès de rupture et distribution des fibres.....	85

IV.5.3.2.1.2. Évolution de l'aspect de la matrice selon le dosage.....	85
IV.6.Caractérisation microstructurale des mortiers légers à l'état durci.....	85
IV.6.1.Microscopie optique (MOP)	85
IV.6.2.Analyse ATR-FTI.....	86
Conclusion Générale.....	87
Références.....	89
Annexes 01.....	91
Annexes 02.....	92

Introduction générale

Face aux défis environnementaux majeurs du XXI^e siècle, le secteur du génie civil se trouve contraint de réévaluer ses pratiques de construction et de se tourner vers le développement d'éco-matériaux plus durables. L'industrie du ciment étant l'une des principales sources d'émissions de dioxyde de carbone (CO₂), la recherche actuelle en ingénierie des matériaux s'oriente massivement vers la valorisation des ressources renouvelables et des sous-produits agricoles. C'est dans cette perspective que l'incorporation des fibres naturelles (telles que le palmier, le lin, le chanvre ou le sisal) comme renfort dans les matrices cimentaires suscite un intérêt grandissant. Ces bio-ressources offrent en effet des avantages écologiques et économiques indéniables, notamment leur faible coût, leur biodégradabilité, leur légèreté, ainsi que leurs excellentes propriétés d'isolation thermique et acoustique. Intégrées dans un mortier, ces fibres ont pour rôle principal d'améliorer le comportement mécanique du matériau, en agissant comme des barrières contre la propagation des microfissures dues au retrait, transformant ainsi un comportement fragile en un comportement plus ductile. Cependant, l'utilisation de ces fibres végétales à l'état brut dans les milieux cimentaires se heurte à des verrous technologiques majeurs qui limitent grandement leur efficacité à long terme. Le premier obstacle réside dans la forte alcalinité de la matrice cimentaire (pH élevé), qui agresse chimiquement les composants non cellulotiques de la fibre (comme la lignine et l'hémicellulose), entraînant sa minéralisation et sa dégradation prématurée. De plus, la nature hautement hydrophile des fibres naturelles provoque une absorption d'eau excessive lors du malaxage, ce qui perturbe l'hydratation du ciment et crée, après séchage, des vides internes préjudiciables à la compacité du matériau. Enfin, la présence d'impuretés et de cires naturelles à la surface des fibres altère la qualité de la liaison mécanique et chimique à l'interface fibre-matrice, empêchant un transfert optimal des efforts.

Pour pallier ces inconvénients et exploiter pleinement le potentiel de ces renforts écologiques, l'application d'un traitement préalable (chimique, thermique ou physique) s'avère indispensable. C'est précisément dans ce cadre scientifique que s'inscrit notre travail intitulé "L'effet du traitement des fibres naturelles sur les caractéristiques d'un mortier". L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'impact de ces modifications de surface sur les performances globales du mortier. À travers une approche méthodologique rigoureuse, il s'agira d'analyser comment le traitement modifie les propriétés intrinsèques des fibres, et par conséquent, comment il influence les caractéristiques du mortier à l'état frais (notamment l'ouvrabilité) ainsi qu'à l'état durci (les résistances à la compression, à la flexion et la durabilité face au vieillissement). Pour ce faire, ce mémoire s'articulera autour d'une partie théorique dédiée à la synthèse bibliographique de la littérature existante, suivie d'une partie expérimentale consacrée à l'élaboration et à la caractérisation des matériaux composites. Le manuscrit est ainsi structuré en quatre chapitres principaux :

Le premier chapitre est consacré à une étude bibliographique approfondie sur les mortiers, abordant leurs constituants, leurs propriétés à l'état frais et durci, ainsi que les facteurs influençant leur durabilité.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons une synthèse bibliographique sur la classification, la structure et les propriétés essentielles des fibres végétales utilisées comme renforts, tout en mettant l'accent sur les différents traitements de surface existants.

Le troisième chapitre, intitulé "Matériaux et méthodes expérimentales", décrit en détail les matières premières utilisées dans cette étude (ciment, sable, eau et fibres d'ALFA), ainsi que le protocole de traitement des fibres et les méthodes d'essais mises en œuvre pour caractériser le composite élaboré.

Le quatrième chapitre, dédié aux "Résultats et interprétations", présente et discute de manière comparative les résultats obtenus lors des différents tests physiques et mécaniques, afin de mettre en évidence l'effet réel du traitement des fibres sur les performances du mortier.

Enfin, ce travail se terminera par une conclusion générale qui résumera les principaux enseignements de cette étude, suivie de quelques perspectives ouvrant la voie à des travaux futurs dans ce domaine.

Chapitre I : **Généralité sur les mortiers**

I.1. Introduction:

Le mortier constitue un matériau de construction ancestral, largement employé depuis les civilisations anciennes pour relier les éléments de maçonnerie, notamment les pierres et les briques. À l'heure actuelle, il occupe toujours une place importante dans le domaine du bâtiment grâce à ses multiples usages. La compréhension de sa composition et de ses propriétés s'avère indispensable pour garantir la résistance et la longévité des ouvrages. En effet, le mortier joue un rôle déterminant dans la qualité globale des constructions, depuis leur mise en œuvre jusqu'à leur durabilité. Dans ce chapitre, nous aborderons les bases essentielles liées au mortier, en présentant sa définition, ses principaux types, ses constituants, ainsi que les propriétés qui influencent ses performances dans le secteur de la construction.

I.2. Définition:

Le mortier est un matériau composite de construction constitué d'un mélange de liant hydraulique (ciment ou chaux), de granulats fins (sable) et d'eau. Il est utilisé comme matériau de liaison entre les éléments de maçonnerie, assurant la transmission des efforts, la stabilité mécanique de l'ouvrage ainsi que le remplissage des joints et des vides.

Les performances du mortier dépendent principalement de la nature des constituants, des dosages adoptés, ainsi que des conditions de mise en œuvre telles que le malaxage, le temps de gâchage et les conditions de cure. L'ajout éventuel d'adjuvants permet également de modifier ses propriétés rhéologiques, mécaniques et de durabilité en fonction des exigences du projet. [1]



Figure.I.1:mélange de mortier [1].

I.3. Les constituants des mortiers:

I.3.1. Leciment :

I.3.1.1. Historique:

Les Romains furent probablement les premiers à fabriquer des liants hydrauliques. En effet, ils mélangeaient de la chaux et des cendres volcaniques de la région de Pozzuoli au pied du Vésuve donnant naissance au ciment « Pouzzolanique » ; matériau capable de fixer la chaux en présence d'eau. Cependant, ce n'est qu'au XVIII^{ème} siècle que fut inventé le ciment artificiel. En 1817, les travaux du Français Louis Vicat ont permis de déterminer les proportions de calcaire et de silice nécessaires pour constituer le mélange qui après cuisson à la température adéquate et broyage, donnera un véritable liant hydraulique fabriqué industriellement. Quelques années plus tard, en 1824, l'Écossais Aspdin dépose un brevet pour la fabrication d'une chaux hydraulique à prise rapide qu'il appelle commercialement le ciment « Portland » (car la couleur de son produit ressemble aux célèbres pierres de la péninsule de Portland située dans la Manche). [2]



Figure.I.2: Cimenterie de m'sila [2].

I.3.1.2 Définition du ciment:

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 [3].

Tableau.I.1: Composition chimique en oxydes d'un ciment ordinaire et notation cimenterie. [4]

Oxydes	CAO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaSO ₄	CaSO ₄	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 [5].

Le ciment ordinaire anhydre est constitué de clinker Portland, de gypse et éventuellement d'additions comme les fillers et fumée de silice [6].



Figure.I.3: Le ciment [6].

I.3.1.3. Les différentes méthodes de fabrication de ciment :

Il existe quatre méthodes de fabrication de ciment [7] :

- 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.3.1.4. Principe de fabrication du ciment Portland :

Le ciment est produit à partir de 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.

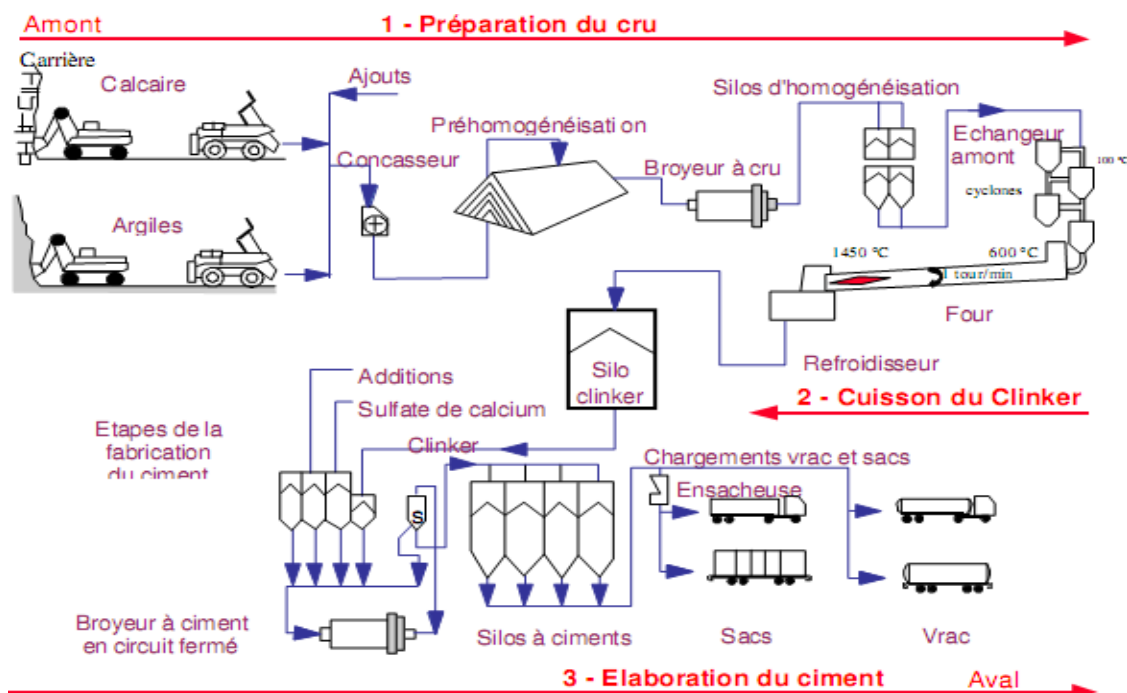


Figure I.4 : étapes de fabrication des ciments [8].

I.3.1.5. Les Constituants du ciment:

Leclinker:

C'est un produit obtenu par cuisson jusqu'à fusion partielle (Clinkirisation) du mélange calcaire + argile, dosé et homogénéisé et comprenant principalement de la chaux (CaO) de la silice (SiO_2) et de l'alumine (Al_2O_3).

Le mélange est en général constitué à l'aide de produits naturels de carrière (calcaire, argile, marne.). C'est le clinker qui, par broyage, en présence d'un peu de sulfate de chaux(gypse) jouant le rôle de régulateur, donne des Portland [9].

Les éléments simples (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3) se combinent pour donner les constituants minéraux suivants :

- Silicatetricalcique(C_3S): $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (Alite).
- Silicatebicalcique(C_2S) : $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (Belite).
- Aluminateetricalcique(C_3A): $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$.
- Ferroaluminatecalcique(C_4AF): $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$ (Célite).

Legypse(CaSO_4):

L'additionde gypse au clinker a pour but derégulariser la prise du ciment, notammentde ceux qui contiennent des proportions importantes d'aluminate tricalcique. Grâce à ce gypse, la prise du ciment, c'est-à-dire le début de son durcissement, s'effectue au plut tôt une demi-heure après le début de l'hydratation. Sans gypse, la prise serait irrégulière et pourrait intervenir trop rapidement.

I.3.1.6. Classificationdescimentscourante:

On obtient les différents types de ciments définis par la norme NF EN 197 1. Le tableau (III.2) ci –dessous donne la liste des différents types des ciments courants normalisés avec indication, pour chacun d'eux, de leur désignation propre et des pourcentages respectifs de constituants qu'ils comportent.

Tableau.I.2: les différents types de ciment [10].

Désignations	Type de Ciments	Teneur en clinker	Teneur en % de l'un des constituants suivant : laitier-pouzzolanes- cendres-calcaires-schistes-fumées de silice	Teneur en constituants secondaires (filler)
CPA-CEMI	Ciment portland	95 à 100%		0 à 5%
CPJ-CEMII/A CPJ-CEMII/B	Ciment portland Composé	80 à 94% 65 à 79%	de 6 à 20% de l'un quelconque des constituants, sauf dans les cas où le constituant est des fumées de silice auquel la proportion est limitée à 10% - de 21 à 35% avec les mêmes restrictions que ci-dessus	0 à 5% 0 à 5%
CHF-CEMIII/A CHF-CEMIII/B CLK-CEMIII/C	Ciment de haut-fourneau	35 à 64% 20 à 34% 5 à 19%	-35 à 65% de laitier de haut-fourneau -66 à 80% de laitier de haut-fourneau -81 à 95% de laitier de haut-fourneau	0 à 5% 0 à 5% 0 à 5%
CPZ-CEMIV/A CPZ-CEMIV/B	Ciment Pouzzolanique	65 à 90% 45 à 64%	-10 à 35% de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces dernières étant limitées à 10%. -36 à 55% comme ci-dessus	0 à 5% 0 à 5%
CLC-CEMV/A CLC-CEMV/B	Ciment à laitier et aux cendres	40 à 64% 20 à 39%	-18 à 30% de laitier de haut-fourneau et 18 à 30% de cendres siliceuses ou de pouzzolanes. -31 à 50% de chacun des 2 constituants comme ci-dessus	0 à 5% 0 à 5%

I.3.1.7. Caractéristiques chimiques du ciment:

I.3.1.7.1. Ciments courants:

D'une façon générale, les ciments doivent satisfaire au respect d'un certain nombre d'exigences, résumées dans le tableau (I.3) .ci-après, quant à leur composition chimique.

Tableau.I.3:caractéristiquechimiquedecimentcourante[11].

Propriété	Type de ciment	Classe de Résistance	Valeur maximale en % de la masse
Perte au feu	CPA-CEM I CHF-CEM III CLK-CEM III	Toutes classes	≤ 5
Oxyde de Magnésium	CPA-CEM I	Toutes classes	≤ 5
Résidu insoluble	CPA-CEM I CHF-CEM III CLK-CEM III	Toutes classes	≤ 5
Sulfates SO ₃ limite supérieure	CPA-CEM I et CPJ-CEM II (A et B)	32,5 32,5R 42,5	$\leq 3,5$
	CPZ – CEM IV et CLC-CEM V CHF-CEM III	42,5 52,5 52,5R	≤ 4
		Toutes classes	≤ 4
	tous types de ciment (CHF-CEM III/A et B et CLK-CEM III/C)	52,5R toutes les autres classes	$\leq 0,05$ $\leq 0,10$

I.3.1.8. Caractéristiques mécaniques des ciments courants:

Les ciments courants sont classés en fonction de leurs résistances mécaniques à la compression exprimées en MPa à 28 jours, la norme spécifiant une limite inférieure et une limite supérieure dont les valeurs sont les suivantes:

Tableau. I.4:caractéristique mécanique des ciment courants [11].

Classe de ciment	Résistance à 2 jours (MPa)	Résistance minimale à 28 jours (MPa)	Résistance maximale à 28 jours (MPa)
32,5	$\geq 13,5$	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$
32,5R	$\geq 12,5$	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$
42,5	≥ 20	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$
42,5R	≥ 20	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$
52,5	≥ 30	$\geq 52,5$	
52,5R		$\geq 52,5$	

Classes « R », rapides, présentent aux jeunes âges des caractéristiques mécaniques plus élevées et leur intérêt particulièrement dans certaines circonstances telles que bétonnage trouvant par temps froid, décoffrage rapide, préfabrication.

I.3.1.9. Propriétés des ciment scourantes:

Une fois la poudre de ciment mélangée à l'eau, les réactions d'hydratation se développent, il se produit alors une cristallisation qui aboutit à un nouveau système de constituants hydratés stables avec formation de cristaux en aiguilles plus ou moins enchevêtrées produisant la prise.

Cette réaction chimique accompagne d'un dégagement de chaleur plus ou moins important selon les ciments et la rapidité de prise.

a) Prise:

La prise du ciment c'est-à-dire le passage de la pâte de ciment (ciment + eau) d'une consistance fluide à un état solide est une phase essentielle dans la fabrication du béton ou mortier puisqu'elle donne sa cohésion au matériau.

b) Durcissement:

Une fois la prise amorcée, le phénomène d'hydratation se poursuit, c'est la période de durcissement rapide qui se poursuit pendant des mois voire des années au cours desquelles les résistances mécaniques continuent de croître.

Lorsqu'on désire un durcissement rapide, on choisit des ciments de classe élevée et de préférence de classe « R » c'est-à-dire ayant la caractéristique complémentaire. « Rapide ». Il est également possible d'utiliser du ciment alumineux fondu CA, qui après quelques jours a atteint la quasi-totalité de ses résistances [12]

c) Chaleur d'hydratation :

La dissolution des différents constituants est exothermique et, selon leurs pourcentages relatifs, le dégagement de chaleur est donc plus ou moins important, c'est le cas par exemple des ciments riches en C 3 A que l'on préfère au temps chaud.

d) Finesse de mouture:

La finesse de mouture, également appelée finesse Blaine, exprimée en cm^2/g , représente la surface spécifique ou surface développée d'une masse de 1 kg de ciment. Elle est, d'une façon

générale, comprise entre 3000 et 3500 cm² /g, certains ciments prompts naturels «CNP »ont un Blaine supérieure à 4500 cm² /g [13].

Plus la finesse est grande, plus les résistances sont précoces et élevées, mais par contre, plus les risques de retrait et par conséquent de fissuration ainsi que d'événement du Ciment sont accrus.

e) Expansion:

Les causes possibles de l'expansion proviennent de l'hydratation des oxyde de calcium ou de magnésium que peuvent contenir certains ciments sous forme de chaux ou de magnésie libres. Les ciments doivent être stables, car les risques d'expansion dans le temps peuvent provoquer des désordres importants par dislocation des maçonneries [14].

La stabilité se détermine par l'essai Le Chatelier, qui consiste à mesurer l'écartement de deux aiguilles solidaires d'un moule rempli de la pâte de ciment à tester, et conservé dans de l'eau bouillante. La valeur de l'expansion mesurée doit être inférieure à 10mm pour tous les types de ciments courants.

I.3.1.10. Désignation normalisés des ciments:

La désignation des ciments, ainsi que l'indication complémentaires figurant sur les sacs ou sur les bons de livraisons, fournissent les indications nécessaires pour un bon usage d'un ciment.

La désignation normalisée des ciments courants comportée dans l'ordre systématiquement:

- L'ectype.
- La classe de résistance normale.
- La classe de résistance au jeune âge, quand le ciment appartient à la classe élevée.
- Et éventuellement les notations complémentaires, PM, ES, CP, cette dernière avec indication de la classe de teneur en sulfate, CP1, CP2.

Exemple:

CPA-CEM I 42.5: ciment portland de classe 42.5 (résistance normale à 28 jours), sa classe de résistance au jeune âge est ordinaire (ce qui se voit à l'absence de la lettre R après 42.5 [13].

I.3.1.11. Domaine d'utilisation de ciment:

- 1) Stabilisation des sols.
- 2) Maçonnerie.
- 3) Travaux en grande masse comme les barrages.
- 4) Produit préfabriqués.
- 5) Béton routier. [13]

I.3.2. Le sable:

I.3.2.1. Définition:

On utilise souvent ce qu'on appelle le sable normalisé, dont la granulométrie est bien contrôlée. Un bon sable doit contenir des grains fins, moyens et grossiers : les grains fins remplissent les vides entre les gros grains, ce qui améliore la compacité du mortier.

Cette répartition permet de réduire les variations de volume, la chaleur dégagée et le coût du matériau. Le dosage est généralement effectué en poids plutôt qu'en volume, afin d'éviter les erreurs liées à l'humidité du sable.

Selon la taille des grains, on distingue :

- Sable extra-fin : jusqu'à 0,8 mm
- Sable fin : jusqu'à 1,6 mm
- Sable moyen : jusqu'à 3,15 mm
- Sable gros : jusqu'à 5 mm.



Figure.I.5:échantillonde sable.[15]

I.3.3. Eau de gâchage:

C'est la quantité d'eau totale ajoutée au mélange sec de mortier. Elle est nécessaire pour l'hydratation du liant, le mouillage des granulats et la facilité de mise en place du mortier.

Cette eau est d'une grande importance, elle est soumise à certaines exigences. On conçoit donc, en premier lieu, les impuretés nocives comme les chlorures, Les sulfates, Les matières organiques, Les nitrates, Les sels de sodium(Na) et de potassium(K)...etc. La qualité de l'eau de gâchage peut avoir une influence sur le temps de prise, le développement des résistances du mortier. Ce qui nécessite une analyse chimique pour déterminer les impuretés qui s'y trouvent. Et aussi L'acidité ((pH) doit être supérieure à 4).

L'eau potable convient toujours. Le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé. Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers et des Bétons sont précisées dans la norme NF P 18-303 [16].

I.3.4. Les adjuvants:

I.3.4.1. Historique:

Dès les origines de la fabrication du béton de ciment Portland, commencent les recherches sur l'incorporation de produits susceptibles d'améliorer certaines de ses propriétés. On cherche à agir sur les temps de prise, les caractéristiques mécaniques et de mise en œuvre, l'étanchéité.

Dès 1881, Cadot étudie l'action des accélérateurs et des retardateurs de prise. Le sucre est déjà connu comme retardateur de prise et souvent employé à partir de 1909.

Entre 1910 et 1920 débute la commercialisation d'hydrofuges et d'accélérateurs à base de chlorure de calcium.

A partir de 1930, les entraîneurs d'air sont fréquemment utilisés. Ils seront suivis par les antigels et les produits de cure.

Depuis 1960, avec le développement du béton manu facturée du béton prêt à l'emploi, les adjuvants prennent une place grandissante [17].

Le contrôle des adjuvants est vite devenu une nécessité. En 1964, est créée la COPLA (Com- mission Permanente des Liants hydrauliques et des Adjuvant du béton). Elle était chargée de l'agrément et du contrôle des adjuvants ayant une réelle efficacité et pouvant être employés en toute sécurité et d'en établir la liste officielle.

Le développement des normes d'adjuvants à partir de 1972 a abouti en 1984 à la mise en place d'une certification par la marque NF Adjuvants, véritable label de qualité. La liste des adjuvants bénéficiant de la marque NF est publiée régulièrement par l'AFNOR.

Il faut enfin préciser que les adjuvants ont permis des progrès considérables en matière de bétons et d'étendre leur champ d'application.

I.3.4.2. Le rôle des adjuvants:

Ainsi que le définit la norme NF EN 934-2, un adjuvant est un produit dont l'incorporation à faible dose inférieure à 5 % de la masse de ciment) aux bétons, mortiers ou coulis lors du malaxage ou avant la mise en œuvre, provoque les modifications recherchées de telle ou telle de leurs propriétés, à l'état frais ou durci. Sont donc exclus du domaine des adjuvants au sens de la norme, les produits ajoutés au moment du broyage du clinker ou les produits dont le dosage dépasserait 5 % du ciment (poudres Pozzo la niques par exemple)[18].

L'emploi d'un adjuvant ne peut entraîner une diminution de certaines caractéristiques du mortier que dans les limites précisées par la norme. Chaque adjuvant est défini par une fonction principale et une seule, caractérisée par la ou les modifications majeures qu'il apporte aux propriétés des bétons, des mortiers ou des coulis, à l'état frais ou durci.

L'efficacité de la fonction principale de chaque adjuvant peut varier en fonction de son dosage et des composants du mortier. Un adjuvant présente généralement une ou plusieurs fonctions secondaires qui sont le plus souvent indépendantes de la fonction principale. L'emploi d'un adjuvant peut aussi entraîner des effets secondaires non directement recherchés.

Ainsi un adjuvant réducteur d'eau peut avoir une fonction secondaire de retardateur de prise.

I.3.4.3. Les type des adjuvants:[19]

Il y a plusieurs adjuvants on peut classer selon les types suivants:

- ❖ Les plastifiants
- ❖ Les réducteurs d'eau
- ❖ Les accélérateurs de prise

-
- ❖ Les accélérateurs de durcissement
 - ❖ Les entraîneurs d'air
 - ❖ Les fluidifiants
 - ❖ Les hydro fuges de masse

Les normes françaises P 181-03 et P 183-31 et suivantes donnent les définitions et les caractéristiques des différents adjuvants. Elles sont rappelées ci-après :

a- Plastifiants:

Adjuvants dont la fonction principale est, pour une même teneur en eau, d'apporter sans ségrégation une augmentation de l'ouvrabilité d'un béton, mortier ou coulis.

b- Réducteurs d'eau:

Adjuvants, dont la fonction principale, à même ouvrabilité, d'apporter une réduction de la teneur en eau d'un béton, mortier ou coulis.

Ces deux types d'adjuvants possèdent parfois des fonctions secondaires, complémentaires. C'est ainsi que des plastifiants peuvent être réducteurs d'eau, et que des réducteurs d'eau peuvent également être plastifiants.

Leur emploi est intéressant car ils permettent dans une certaine mesure d'augmenter la compacité finale du mélange et la résistance mécanique tout en facilitant la mise en œuvre du béton dans les moules.

Toutefois, il faut noter qu'ils peuvent dans certains cas modifier les temps de prise et de durcissement et que pour certains d'entre eux des surdosages entraînent par exemple des retards de prise importants.

c- Accélérateurs déprise:

Adjuvants dont la fonction principale est de diminuer les temps de début et de fine prise du ciment dans le béton, mortier ou coulis. Un effet secondaire peut être de modifier le développement des résistances du béton, mortier ou coulis.

d- Accélérateurs de durcissement:

Adjuvants dont la fonction principale est d'accélérer le développement des résistances initiales du béton, mortier ou coulis. Un effet secondaire peut être de modifier la durée de prise.

Pour ces deux types d'adjuvants, l'accélération recherchée s'accompagne presque toujours d'une chute de résistance mécanique à moyen et long terme par rapport au témoin. Il est donc nécessaire de s'assurer par des essais de convenance effectués suffisamment tôt avant l'ouverture du chantier (des essais à 90 jours devant être exigés) que les résistances finales obtenues sont acceptables.

e- En traîneurs d'air:

Adjuvants dont la fonction principale est d'entraîner la formation dans le béton, mortier ou coulis, de microbulles d'air restant uniformément réparties dans la masse.

Ces adjuvants améliorent l'ouvrabilité, permettent une réduction de l'eau de gâchage et diminuent la ségrégation.

I.4. Les ajouts :

Les additifs utilisés dans le mortier comprennent notamment les poudres Pozzolaniques fines, comme la poudre de verre obtenue par broyage du verre recyclé.

Lorsqu'elle est incorporée dans le béton en remplacement d'une partie du ciment, elle réagit avec ses composants grâce à ses propriétés Pozzolaniques, améliorant ainsi les performances du matériau.

- Fibres de nature différente.
- Colorants (naturels ou artificiels).
- Polymère

I.5. Les mortiers peuvent être:

- Préparés sur le chantier en dosant et en mélangeant les différents constituants, adjuvants compris.
- Préparés sur le chantier à partir de mortiers industriels secs pré dosés (il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire).
- Livrés par une centrale : ce sont des mortiers prêts à l'emploi, dont les dernières années, les mortiers retardés stabilisés, ont un temps d'emploi supérieur à 24 heures.

Les mortiers industriels se sont beaucoup développés ces dernières années, permettant d'éviter le stockage et le mélange des constituants sur des chantiers. Le marché du bricolage a profité du développement des mortiers pré mélangés. Aujourd'hui, on peut trouver dans les surfaces de bricolages des mortiers répondant à tous les besoins non seulement par la nature du

Produit, mais aussi par son conditionnement plus adapté : sacs de 5 à 25 kg.

I.6. Les mortiers de chantier et les mortiers prêts à l'emploi:

I.6.1. Les mortiers fabriqués sur le chantier:

L'entreprise qui fabrique sur le chantier son mortier doit choisir correctement le liant en fonction de son type et de sa classe, le ou les sables, la teneur en eau (pour obtenir la plasticité désirée) et les adjuvants adaptés à la destination du mortier.

Les sables utilisés sont généralement siliceux ou (silico-calcaires) ; leur granulométrie est de préférence continue. 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 du volume du sable humide (foisonnement).

Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants.

Dans tous les cas des soins particuliers doivent être pris afin d'obtenir des mortiers sans ressuage, homogènes d'une gâchée à l'autre.

Le dosage en liant, (ciment ou chaux, ou mélange des deux) le plus généralement employé est de 300 à 400 kg/m³ de sable. Pour un sable courant et un ciment Portland utilisé au dosage de 400 kg/m³ de sable, la quantité d'eau de gâchage nécessaire pour obtenir un bon mortier d'usage courant est de l'ordre de 200 litres au maximum, qu'on a intérêt à diminuer par l'emploi de réducteur d'eau ou de plastifiant.

I.6.2. Les mortiers in du stressés pré mélangés:

Comme la plupart des produits industriels, ces mortiers font l'objet de contrôles à tous les stades de leur élaboration par le fabricant, ce qui constitue pour l'utilisateur une sécurité.

Les avantages présentés par ces produits sont les suivants:

- Pré dosage de composition constante, garant de régularité et de qualité.
- Pas d'approvisionnement et de stockage sur place des constituants (sables, liant, adjuvants).
- Permet de temps limitée (appréciable dans le cas de travaux à effectuer rapidement et lorsque la place fait défaut).
- Chantiers plus propres.

Les producteurs proposent de nombreuses formules standard répondant à la plupart des besoins. Ils peuvent également étudier des compositions de mortier adaptées, donnant les performances optimales requises pour chaque usage. Ces mortiers reçoivent le plus souvent un ou plusieurs

adjuvants en poudre, afin de modifier les propriétés rhéologiques, les temps de prise, la durabilité, l'aspect (mortier colorés) ou leur adhérence grâce à l'ajout de résines vinyliques ou acryliques. Ils sont conditionnés en sac. Ces dernières années, il est apparu des sacs de 10 et 25 Kg pour les petits travaux et le bricolage.

I.6.3. Les mortier sfraisretar dés ,stabilisés, prêts à l'emploi:

Depuis quelques années sont apparus une nouvelle génération de mortiers livrés par les centrales de béton prêt à l'emploi : les mortiers frais retardés et stabilisés. Du fait qu'ils sont retardés, ces mortiers peuvent être livrés et stockés en quantité importante. On peut les utiliser dans un délai allant jusqu'à 24 heures sans avoir le souci de préparer de nombreuses petites gâchée. Très maniables et homogènes, ils possèdent des résistances très largement suffisantes pour les travaux auxquels ils sont destinés : maçonnerie et jointoiement.

Lorsqu'ils sont étalés en couche mince, la prise de ces mortiers est accélérée (effet d'absorption d'eau par le support et perte par évaporation).

Ces mortiers permettent, comme le béton prêt à l'emploi, de simplifier et d'améliorer les conditions de travail, en évitant les pertes de temps. Ils sont en général livrés dans des auges ou des bacs non absorbants, de 250 à 500 litres de capacité. Ces bacs restent sur le chantier, ce qui fournit un stockage commode et une complète disponibilité.

I.6.4. Les mortiers de fibres:

L'incorporation de fibres de verre ou de polypropylène permet d'obtenir des mortiers présentant une cohésion supérieure et moins fissurables. Ce sont soit des mortiers pré mélangés, livrés en sac, soit des mortiers prêts à l'emploi, livrés par certaines centrales.

I.7. Les emplois des mortiers:

I.7.1. Les enduits: [20]

Dans la construction, un enduit est une couche de mortier appliquée sur un mur pour le protéger et le recouvrir. Le crépi est aussi un revêtement, mais avec une surface rugueuse (non lisse). Ces revêtements sont généralement faits de matériaux minéraux :

Ciment, chaux ou plâtre.



Figure.I.6 :les enduits.

I.7.2. Les chapes: [20]

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 : on y incorpore alors souvent des produits spécifiques. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol.

Les chapes doivent présenter une résistance suffisante pour assurer la transmission des charges au support, et parfois résister à l'abrasion ou au poinçonnement (sols industriels). Adhérente ou flottante, la chape peut également avoir une fonction thermique ou acoustique.



Figure.I.7:leschapes.

I.7.3. Les joints de maçonnerie: [20]

Dans une maçonnerie, un joint correspond à l'espace situé entre deux éléments (briques, blocs ou pierres), généralement rempli de mortier afin d'assurer la liaison et la stabilité de l'ouvrage.

Ces joints jouent un rôle important dans la résistance et la durabilité du mur. Pour améliorer la solidité, on évite que les joints soient alignés verticalement d'une rangée à l'autre.



Figure. I.8:les joints de maçonnerie

I.7.3.1. Réparer les joints dé gradé sur les mur sen pierre:

Les murs de pierre sont les éléments structurels les plus fréquents dans les constructions anciennes. Constitués de lits de pierres taillées, de moellons équarris ou bruts, ils sont exceptionnellement liaisonnés au plomb dans le cas des appareillages en taille noble ou le plus Souvent calés par un lit de mortier de ciment. Dans ce dernier cas, d'Eux types de joints pourraient être identifiés : les joints « vifs », étroits (inférieurs à 5 mm) et peu profonds et les joints larges.

Les joints de mortier des murs depierres sont vu ln é rab les aux intempéries et notamment à l'eau. Leur exposition permanente provoque leur usure en profondeur, une désagrégation du mortier qui peut et accentuée par des mouvements liés à des problèmes structurels(bouffement, déversement, fissuration...), et /ou à la pousse de végétation.

I.7.3.1.1. Méthode de réparation:

La réparation des joints dégradés sur les murs en pierre consiste d'abord à éliminer les parties détériorées du mortier à l'aide d'outils adaptés afin d'éviter d'endommager les pierres. Ensuite, les joints sont nettoyés et humidifiés avant l'application d'un nouveau mortier compatible avec les caractéristiques du mur existant. Le mortier est appliqué soigneusement dans les joints puis compacté afin d'assurer une bonne adhérence et une meilleure durabilité. Enfin, une finition adaptée est réalisée pour préserver l'aspect esthétique et la résistance du mur.

I.7.4. Le scellement et les calages: [20]

Les mortiers de scellement et de calage sont des mortiers à base de liants hydrauliques, utilisés après mélange avec de l'eau. Ils présentent une consistance fluide et une bonne résistance mécanique.

Ils servent à fixer et stabiliser différents éléments comme les barres métalliques, machines et structures. Le mortier de calage assure notamment un support solide pour les équipements industriels.

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.
- ❖ Scellements d'éléments de second œuvre.
- ❖ Scellements de mobiliers urbains.
- ❖ Scellements de regards de visite.
- ❖ Assemblage d'éléments préfabriqués.

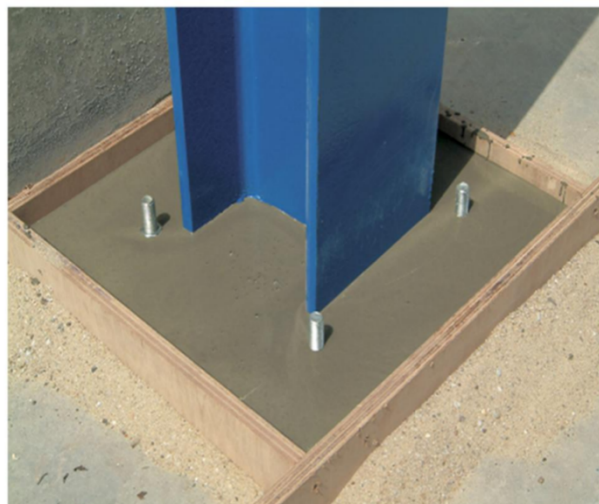


Figure. I.9 : Les scellements et les calages

I.8. Les techniques particulières de mise en œuvre:

Il y a deux techniques qui intéressent de nombreuses applications: la projection et l'injection.

I.8.1. La projection:

Fabriqués sur chantier, ou plus généralement pré dosés, les mortiers projetés comportent, outre le liant et le sable habituels, des adjuvants spécifiques améliorant l'adhérence, des charges (silice, carbonate, etc.), et parfois des fibres (verre, polypropylène ou acier).

Projeté à l'aide de machines le plus souvent à air comprimé, le mortier est plus compact, adhère mieux au support et se prête bien à son application sur des parties d'ouvrages difficiles d'accès et de forme irrégulière. La suppression de manipulations délicates et pénibles, ainsi que les gains de productivité, expliquent le succès du mortier projeté dans de nombreuses applications

- Enduit saison couches.
- Enduit saison ants.
- Revêtements de voûtes, en galeries, consolidation de talus.
- Travaux de réparation, etc.

I.8.2. L'injection des mortiers:

L'injection de mortier n'intéresse que certains types de travaux où les cavités à remplir sont suffisamment larges. Il est nécessaire que le diamètre maximum des grains de sable les plus gros ne dépasse pas le 1/5 des vides les plus fins à remplir.

S'il n'en était pas ainsi, il faudrait utiliser des coulis d'injection, comme dans le cas des coulis de ciment, le mortier d'injection doit être constitué de façon à être le plus « injectable » possible : grande fluidité pour un ressuage modéré (et, partant, une bonne stabilité, peu de ségrégation).

Les applications de l'injection sont essentiellement le remplissage de cavités, gaines, enveloppes diverses, ou plus généralement les vides d'accès difficile. L'injection est généralement pratiquée pour certains travaux sous l'eau, avec des formules de mortier étudiées pour éviter le délavage.

I.9. Etude des qualités d'un mortier:

Pour les mortiers traditionnels réalisés sur chantier, les performances requises sont réputées satisfaites moyennant le respect des dosages en liants donnés dans le DTR Maçonnerie ou dans le DTU 20.1 ; quant aux mortiers industriels, ils font l'objet de spécifications de fabrication précises. Les principales caractéristiques visées sont les suivantes :

- ❖ Sur la poudre : masse volumique, granulométrie ;
- ❖ Sur la pâte : rétention d'eau, durée pratique d'utilisation, temps ouvert, temps d'ajustable, temps de prise ;
- ❖ La quantité d'eau à utiliser est fonction du dosage et de la finesse de la granulométrie du sable
- ❖ Sur le produit durci : résistance en compression, résistance en traction par flexion, module d'élasticité, variations dimensionnelles et pondérales.

Les caractéristiques essentielles du produit utilisé sont les suivantes :

1. Maniabilité

Suivant les emplois, les propriétés requises peuvent être différentes mais dans tous les cas, la maniabilité du mortier conditionne sa mise en oeuvre. La maniabilité est apportée par les éléments fins (liants et fillers) et par les adjuvants. Cela explique le surdosage fréquent des mortiers traditionnels composés uniquement de sable et de ciment.

2. Perméabilité

L'aptitude des mortiers à se laisser traverser par les liquides dans des conditions

dépression et de viscosité du liquide données. La perméabilité diminue en augmentant la compacité, elle n'est obtenue qu'avec un dosage en liant suffisant pour l'enrobage de tous les grains internes.

3. Conditions d'hydratation

Un autre problème, généralement rencontré lors de la mise en oeuvre des mortiers, est celui de l'hydratation correcte du liant. Les liants hydrauliques ont besoin d'eau pour durcir normalement. Or les mortiers sont souvent appliqués en couche mince et risquent une déshydratation prématurée due à l'absorption des matériaux avec lesquels ils sont en contact ou à l'évaporation. Ce risque amène à utiliser des produits spécifiques (formulations contenant des rétenteurs d'eau) et à prendre des précautions particulières lors de leur emploi par temps chaud (humidification des supports et ré humidification ultérieure).

4. Déformabilité

Aussi dans les travaux de liaisonnement que de revêtement, le mortier est utilisé en association avec d'autres matériaux et doit présenter une déformabilité suffisante pour absorber les variations dimensionnelles admissibles des supports. Dans les maçonneries, c'est le mortier de montage qui, par son adaptation, permet une bonne répartition des contraintes dans les éléments.

5. Retrait

Les contraintes qui résultent du retrait peuvent être absorbées par le développement de micro fissures internes non préjudiciables au comportement ultérieur du mortier. Toutefois, dans les travaux de surface, elles peuvent également conduire à des fissurations d'autant plus préjudiciables que le mortier est destiné à assurer la protection de la maçonnerie vis-à-vis de la pluie. Il y a lieu de noter que ces contraintes dépendent non seulement du retrait mais également des caractéristiques mécaniques du mortier et en particulier de son module d'élasticité.

6. Adhérence

L'adhérence du mortier aux matériaux associés est, dans un grand nombre de cas, un critère primordial de bon comportement.

7. Durabilité

Dans tous les emplois extérieurs, la résistance aux intempéries conditionne la durabilité du mortier (capillarité, perméabilité à l'eau et à la vapeur, résistance au gel). En outre, pour les travaux de surface, le mortier doit présenter une résistance aux chocs et à l'abrasion adaptée au niveau de sollicitation prévu (sol, mur, exposition, ...).

Les mortiers pour enduit se subdivisent-en :

-  Mortier pour enduits ordinaires.
-  Mortiers décoratifs.

Suivant le domaine d'utilisation, les mortiers de finissage sont divisés-en :

-  Mortier pour les enduits extérieurs
-  Mortier pour les enduits intérieurs

Les mortiers d'enduit doivent avoir une bonne adhérence à la base et une faible variation de volume pendant le durcissement afin d'éviter la formation des fissures dans l'enduit. La fluidité des mortiers d'enduits ordinaires et des mortiers décoratifs est différente pour chaque couche de l'enduit.

Pour les couches de finition on utilise les sables fins d'un diamètre inférieur à 1.2 mm pour obtenir une surface rugueuse.

I.10. Le rôle de l'utilisation du mortier :

Le mortier joue un rôle essentiel dans plusieurs domaines de la construction: [21]

- assurer la liaison entre les éléments de maçonnerie et garantir la solidité de l'ouvrage
- protéger les structures contre l'humidité et les infiltrations
- réaliser des chapes et des revêtements de sol
- servir de base pour la fabrication de blocs, carrelages et éléments moulés
- intervenir dans le béton comme composant principal
- renforcer certains sols de fondation par injection

I.11. Conclusion:

Le mortier est l'un des matériaux de construction le plus utilisée dans le monde grâce à leur différent domaine d'application.

L'étude de quelque propriété et quelque pathologie des mortiers tels que le retrait le ressuage donnent une idée générale sur leur qualité et comment on peut modifier et améliorer leurs caractéristiques mécaniques, chimiques, et physiques.

Le type de ciment est un paramètre de toute première importance. Il n'est pas aisé de déterminer les caractéristiques du ciment (finesse, ...) qu'ont une influence .

Donc L'étude des composantes des mortiers aide nous pour obtenir une bonne qualité de mortier.

Chapitre II : ***Généralités sur les fibres végétales***

II.1. Introduction :

Depuis plusieurs années, les industries manifestent un intérêt grandissant pour les fibres naturelles. Ces fibres présentent de nombreux avantages pour la création de matériaux composites, et elles sont de plus en plus utilisées dans des domaines tels que la construction et l'industrie automobile. Ce chapitre présente une recherche bibliographique sur les fibres naturelles, précisément les fibres végétales, leurs classifications, structures et compositions chimiques, propriétés physiques et mécaniques et leurs applications.

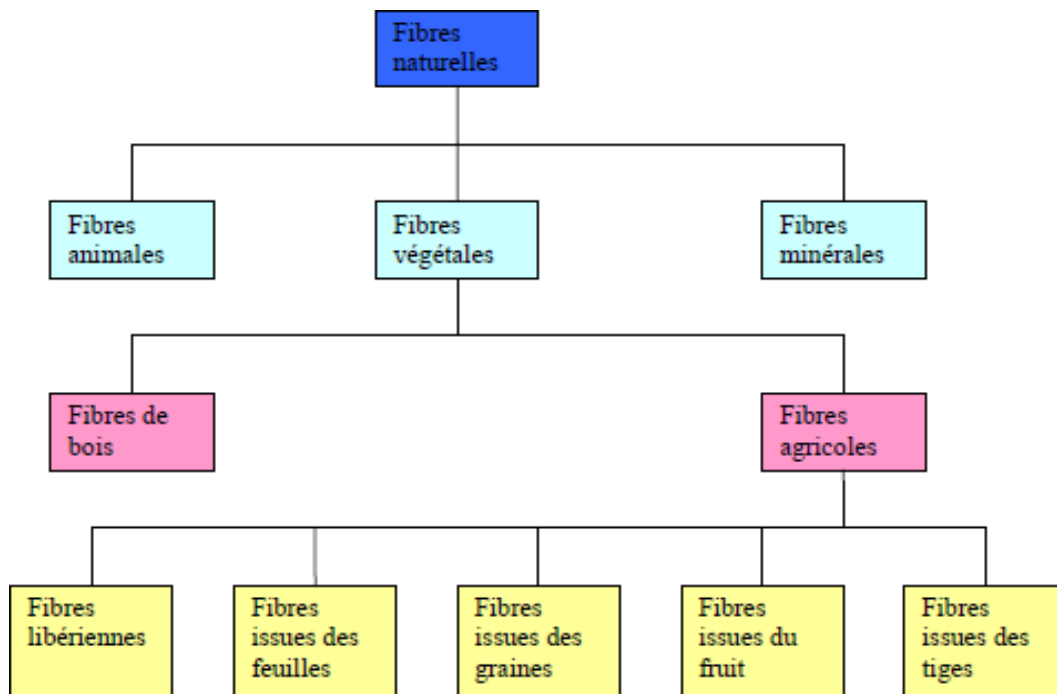
II.2. Les fibres naturelles :

C'est une matière que l'on trouve dans la nature et qui n'a pas besoin d'être transformée avant d'être travaillée [22]. Les fibres naturelles conduisent les composites biosourcée, peuvent aussi être classées selon leur origine, végétale et animale, minérale [23].

II.3. Classification des fibres naturelles :

Les fibres naturelles sont pour la plupart d'origine végétale et animale (Fig. II.1). Il y a :

- **Végétale** : Extraites de plantes, de fruits et d'arbres comme le coton, le lin, l'agave, le jute, le chanvre, etc.[24].
- **Animale** : Extraites de poil d'animaux comme le mouton, la chèvre, le lama, etc. [24].
- **Minérale** : On trouve dans la nature des minéraux dont la texture fibreuse. Il s'agit d'une matière toxique, comme l'amiante [25].



II.4. Définition de la fibre végétale :

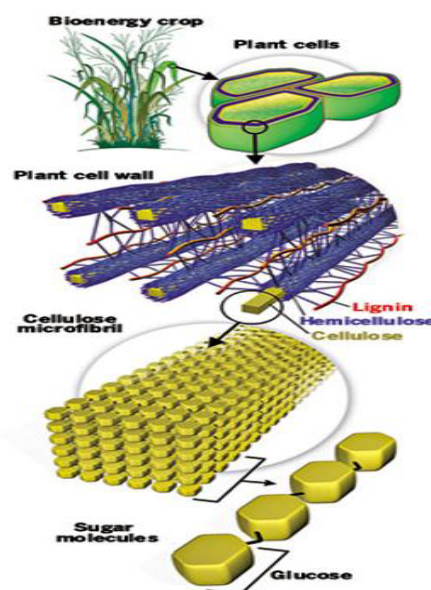
II.4.1. Aperçu historique :

Les fibres végétales peuvent être considérées comme composites naturels constituées essentiellement de fibre.

Les matériaux composites renforcés par des fibres naturelles ne sont pas récents. En 1908, par exemple, des composites associant la Bakélite au coton ou au papier ont été développés pour la réalisation industrielle de panneaux et de tubes pour l'électronique. Dans le domaine automobile, Henry Ford a réalisé en 1941 un prototype dont les panneaux de carrosserie étaient élaborés à base de fibres de chanvre et d'une matrice formulée à partir de protéines de soja. Par ailleurs, des éléments de la carrosserie de la « Trabant » (toit, capot, aile et portes), lancée en 1958 en Allemagne de l'Est, étaient réalisés en composites fibres de coton/résine phénolique.

Les fibres végétales naturelles sont issues d'éléments végétaux comme des graines, des tiges, des feuilles ou de l'écorce. On dit qu'elles sont naturelles puisqu'on les trouve dans la nature contrairement aux fibres animales ou aux fibres synthétiques et artificielles (qui sont créées par l'homme). Les fibres naturelles jouent un rôle crucial dans une multitude de secteurs grâce à leurs propriétés écologiques et polyvalentes. Dans l'industrie cosmétique, elles sont utilisées pour fabriquer des produits de soins et de beauté naturels, offrant une alternative plus durable aux ingrédients synthétiques. Dans le domaine de la mode, ces fibres sont prisées pour la création de textiles écologiques, permettant de réduire l'empreinte environnementale de l'industrie vestimentaire. De plus, le secteur de la construction bénéficie largement de l'intégration des fibres naturelles, où elles sont employées pour concevoir des matériaux de construction innovants et des bioplastiques. Ces matériaux offrent des solutions durables et performantes, contribuant à la réduction de l'empreinte carbone et à l'amélioration de la durabilité des constructions. L'adoption des fibres naturelles dans ces divers domaines illustre leur potentiel à transformer les pratiques industrielles vers des approches plus respectueuses de l'environnement.

Il les de cellulose, maintenues ensemble par une matrice composé Erin cipale ment de lignine et d'hémicellulose (Figure II.2). Les fibrilles de cellulose son to rien té es en hélice suivant un angle nommé angle micro fibrillaire [26]. Les conditions climatiques, l'âge et le processus de digestion influe non seulement sur la structure des fibres, mais aussi la composition chimique [27].



FigII.2 : Structure et composition d'une paroi végétale [27].

II.4.2. Classification des fibres végétales

Les fibres végétales sont classées en quatre groupes (Fig.II.2) suivant leur provenance. A S'avoir [27] : les fibres de feuille, de tiges, de bois et de surface.

- **Les fibres de feuilles**

Les fibres de tige sont obtenues dans les tiges des plantes dicotylédones. Elles ont pour rôle de donner une bonne rigidité. Ces fibres sont commercialisées sous forme de paquet de cor et en toute longueur. Exemple : fibres de jute, de lin, de ramie, de kenaf, et de chanvre.

- **Les fibres de bois**

Les fibres de bois proviennent du broyage des arbres tels que les bambous ou les roseaux. Elles sont généralement courtes

- **Les fibres de surface**

Sont entourant en général la surface de la tige, de fruits ou de grains. Les grains constituent le groupe le plus important dans cette famille de fibres. Exemple : le Cotton et la noix de coco

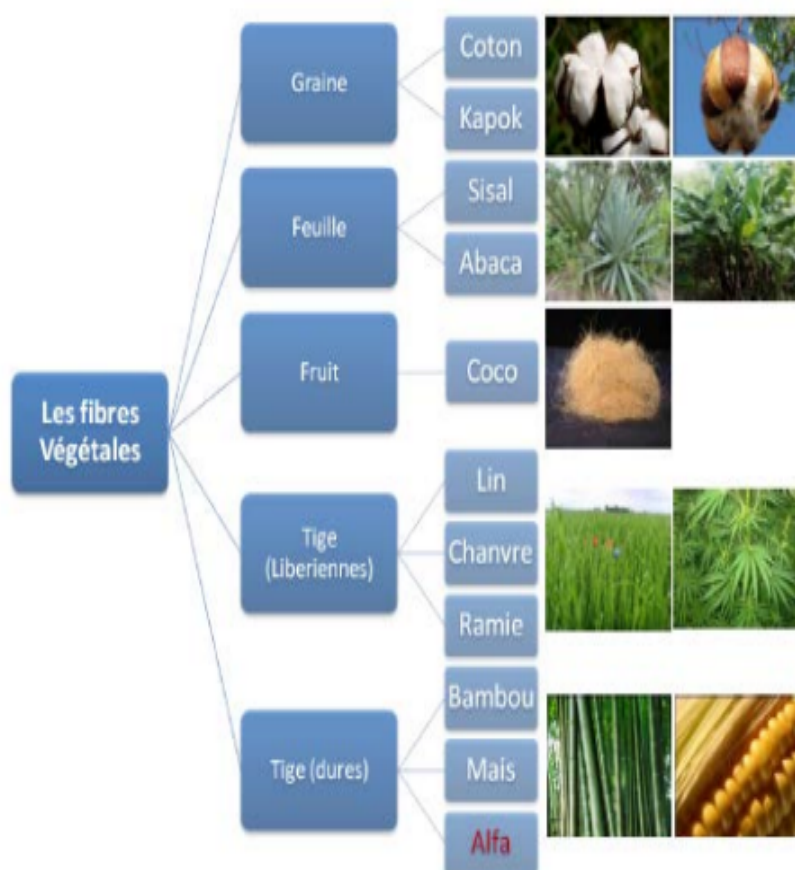


Fig.II.3 : Classification des fibres végétales selon l'origine [27]

II.4.3. La composition chimique d'une fibre végétale

La composition chimique varie d'une plante à une autre et dépend de l'espèce, de l'âge de la plante, des conditions climatiques, de la composition du sol et de la méthode d'extraction utilisée. Les différents constituants des fibres végétales (Fig. II.3) sont

- La Cellulose : C'est la principale composante des fibres végétales. C'est un polymère naturel du premier plan. Généralement, les fibres végétales sont constituées par une chaîne de fibres en cellulose.
- Hémicellulose : L'hémicellulose présente dans toutes les parois de ces fibres. C'est le constituant responsable de l'élasticité des fibres.
- Lignine : La lignine constitue la colle qui lie les fibres végétales entre elles ainsi que leurs parois. C'est un polymère tridimensionnel.

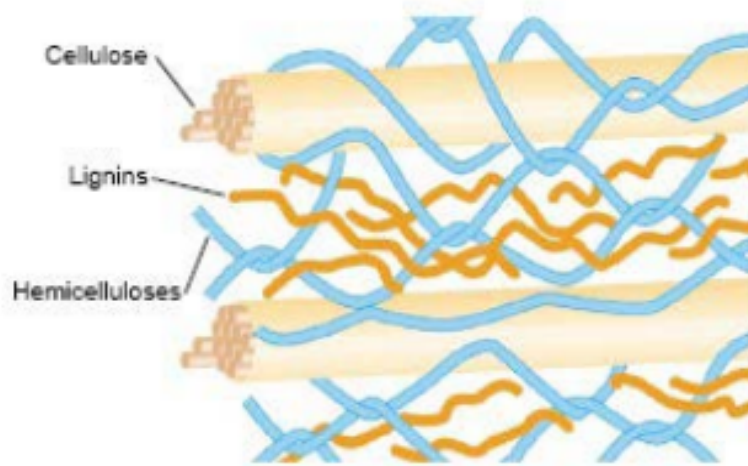


Fig. II.4 : Différents constituants d'une fibre végétale.

II.4.4. Structure d'une fibre végétale

La fibre végétale est un composite en elle-même. Le renfort est constitué par les couches de microfibre cellulosiques en partie cristalline. Ce dernier est enrobé d'une matrice polysaccharidique amorphe (hémicellulose et pectine) qui est associée par liaison hydrogène et covalentes à la lignine [26].

La fibre végétale est composée de plusieurs parois parallèles à l'axe de la fibre et disposée en couche superposée dans le sens radial. Ces différentes couches qui forment la lamelle mitoyenne, la paroi primaire et la paroi secondaire. Ces dernières bordent un lumen de diamètre variable suivant l'espèce. La paroi secondaire est composée de trois couches de micro fibrilles (S1, S2, S3) (**Fig. II. 5**). [26].

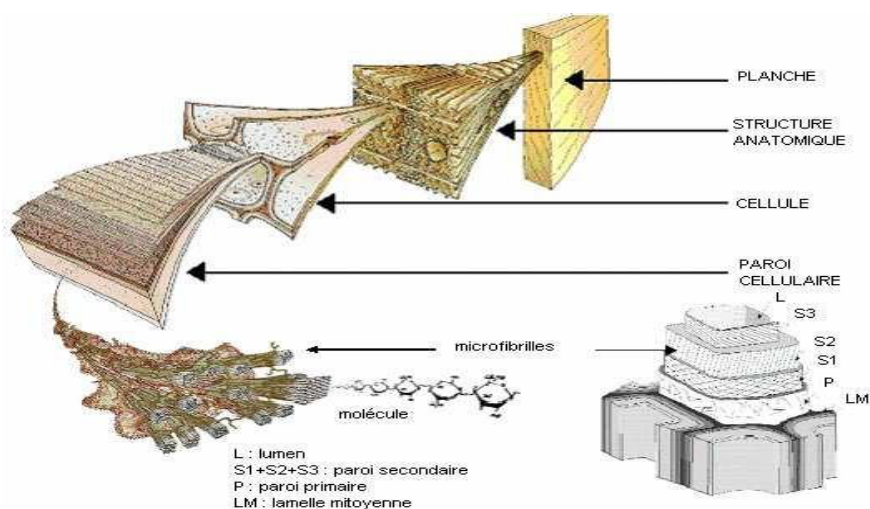


Fig. II.5: Structure du bois (observations multi échelles) [26]

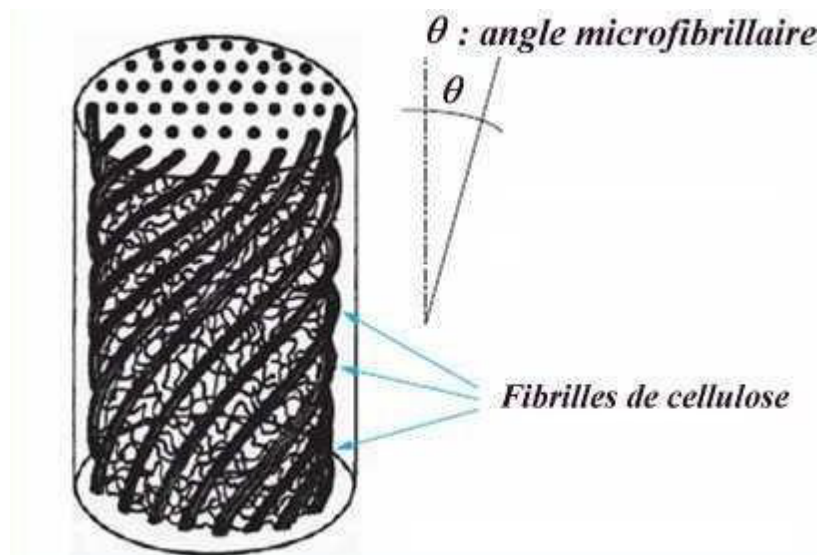


Fig II.6 : Modèle de description de la structure d'une fibre végétale.

Les micros fibrilles décrivent par rapport à l'axe de la fibre, un angle micro fibrillaire (MAF) dont la valeur varie d'une espèce à l'autre. L'orientation des micro fibrilles par rapport à l'axe de la cellule joue un grand rôle dans les propriétés mécaniques des parois des fibres, plus que l'angle des micro fibrilles augmente, le module de Young (une mesure de la rigidité) décroît, tandis que l'extensibilité des parois augment [26].

II.4.5 Propriétés usuelles des fibres végétales

II.4.5.1. Propriétés physiques des fibres végétales

La fibre végétale est un composite en elle-même. Le renfort est constitué par les couches de micro fibrille cellulosiques en partie cristalline. Ce dernier est enrobé d'une matrice polysaccharidique amorphe (hémicellulose et pectine) qui est associée par liaisons hydrogènes et covalentes à la lignine [27].

La fibre végétale est composée de plusieurs parois parallèles à l'axe de la fibre et disposées en couches superposées dans le sens radial. Ces différentes couches forment la lamelle mitoyenne, la paroi primaire et la paroi secondaire. Ces dernières bordent un lumen de diamètre variable suivant l'espèce. La paroi secondaire est composée de trois couches de micro fibrilles (S1, S2, S3) (**Figure II.7**).

De manière générale, l'examen des parois cellulaires peut être effectué à différentes échelles d'observation et se décompose en :

- ✓ Macro fibrilles de 0,5 μ m de diamètre.
- ✓ Micro fibrilles de 10 à 30 nm de diamètre.
- ✓ Fibrilles élémentaires appelées micelles de 3,5 à 5 nm de diamètre.

Molécules de cellulose ; une micelle est constituée d'environ 50 à 100 molécules de cellulose.

Entre les fibres, on trouve une lamelle moyenne, constituée de pectine, une substance amorphe, qui réunit fortement les parois cellulaires contiguës. La paroi primaire referme de la cellulose dans une proportion estimée de 8 à 14 %. Les micro fibrilles sont enchevêtrées et forment un maillage lâche, un arrangement dit en structure dispersée. Elles sont disposées dans une matrice de composition très analogue à la pectine de la lamelle moyenne. Il y a continuité entre la matrice et la lamelle moyenne. La paroi primaire est très

Élastique, elle se laisse détendre et déformer. Elle peut ainsi suivre l'augmentation de taille de la cellule en croissance.

La paroi secondaire renferme nettement plus de cellulose que la paroi primaire. Elle présente une stratification aussi bien microscopique que su microscopique.

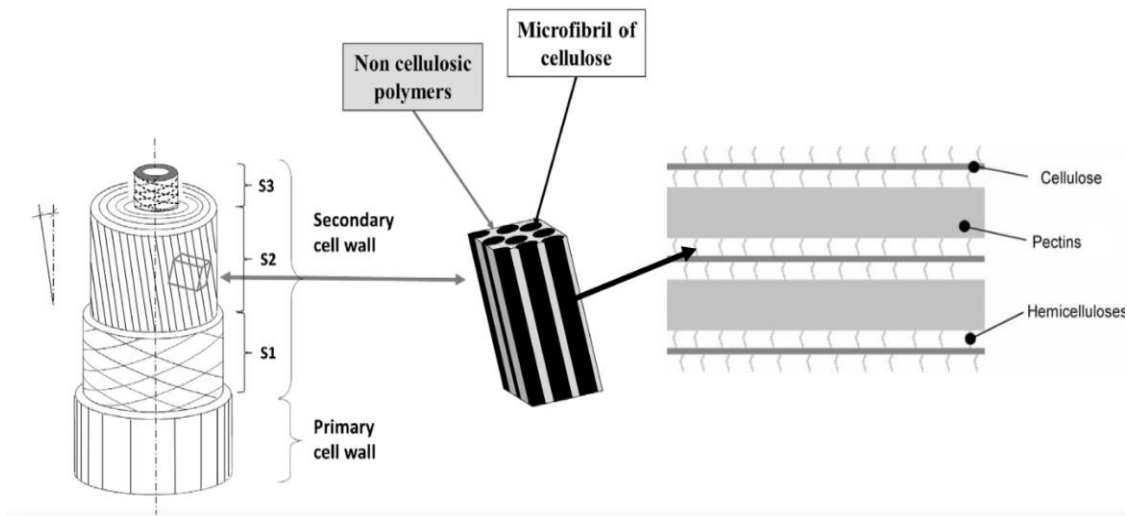


Figure II. 7 : Structure de la fibre végétale

Les micros fibrilles décrivent par rapport à l'axe de la fibre, un angle micro fibrillaire (MAF) dont la valeur varie d'une espèce à l'autre. L'orientation du micro fibrilles par rapport à l'axe de la cellule joue un grand rôle dans les propriétés mécaniques des parois des fibres. Plus l'angle du micro fibrilles n'augmente, plus le module d'Young (une mesure de la rigidité) décroît, tandis que l'extensibilité des parois augmente (Figure II.8).

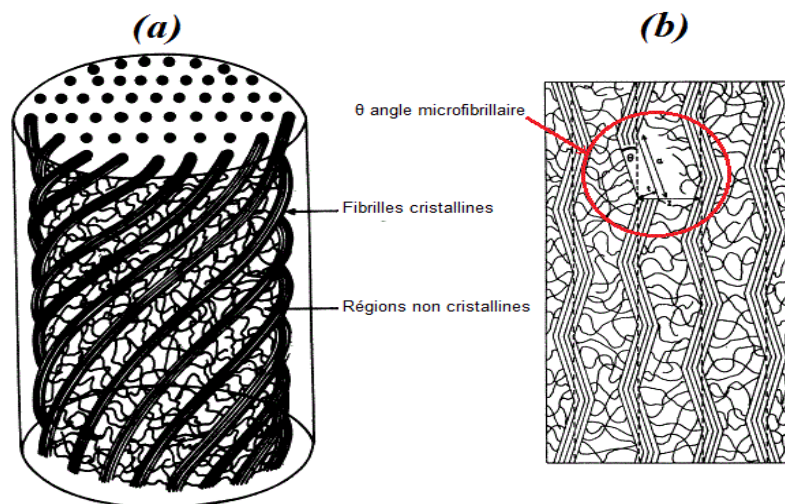


Figure II. 8 : Modèle de description de la structure d'une fibre végétale

II.4.5.2. 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 GPa. Ainsi un index de cristallinité de la cellulose d'une fibre élevée est indicateur de propriétés mécaniques élevées.

Les fréquents défauts structuraux (Fig II.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.

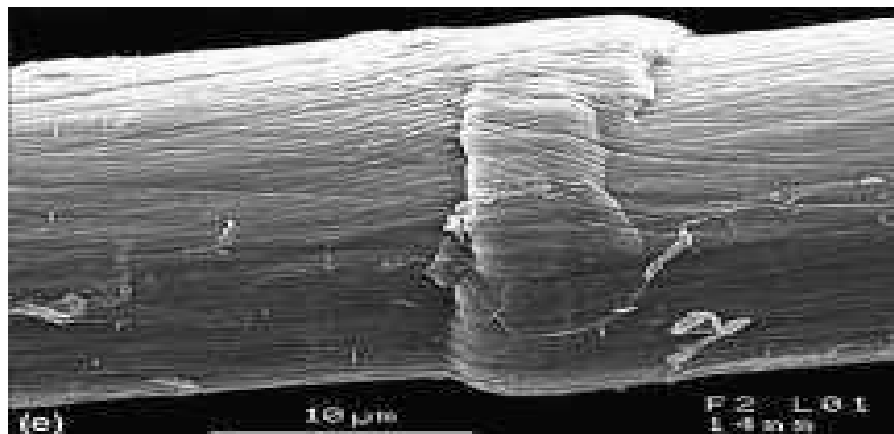


Fig. II.9: Exemple de défaut structural sur une fibre de lin

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 ligne cellulosique 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.

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 [27]. Le tableau II. 1. ci-dessous présente les propriétés mécaniques des fibres naturelles en comparaison avec certaines fibres de renforcement conventionnelles

Tableau II.1: Propriétés mécaniques des fibres naturelles

Propriétés	Type de fibres							
	lin	chanvre	Jute	ramie	coco	sisal	abaca	Coton
Densité	1.4	1.48	1.46	1.5	1.25	1.33	1.5	1.51
Résistance A la traction (MPa)	800-1500	550-900	400-800	550	220	600-700	980	400
Module D'élasticité (E) (GPa)	60-80	70	10-30	44	6	38		12
(E/densité) spécifique	26-46	47	7-21	29	5	29		8
Allongement A la rupture (%)	1.2-1.6	1.6	1.8	2	15-25	2-3		3-10
Absorption D'eau (%)	7	8	12	12-17	10	11		8-25

II.4.3.3. Propriétés chimiques des fibres végétales

La composition chimique de certaines fibres végétales est présentée dans le **Tableau II.2**. La structure microscopique des fibres végétales est complexe. Elles sont constituées par des fibrilles, elles-mêmes formées par des chaînes de cellulose. Les chaînes de cellulose s'associent entre elles de façon parallèle par des liaisons hydrogènes pour former des micro fibrilles dont la section (de l'ordre de quelques nm) est variable selon les espèces végétales. Enfin, les fibres se présentent sous la forme d'un composite multicouches dans lequel la lignine joue le rôle d'une matrice enrobant un élément structurant très rigide qui est la cellulose. La composition chimique des fibres végétales dépend en grande partie des besoins particuliers de la plante dont elles sont extraites. Cependant, cellulose, hémicellulose en sont les principaux constituants, et leur teneur dépend de l'âge, l'origine et des conditions d'extraction des fibres.

Tableau II.2 : Composition chimique de quelques fibres végétales [28].

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.4.4.4. Propriétés écologiques des fibres végétales

- ✓ La fibre végétale est naturel pas d'irritation pour la peau.
- ✓ Plus de confort pendant la manipulation et renouvelables.

II.4.4.5. Autres propriétés spéciales sur les fibres végétales

La fibre végétale contient plusieurs propriétés fondamentales qui définit le comportement de la fibre, il aussi

- Bonne absorption des vibrations.
- Fibres moins abrasive.
- Bonne isolation acoustique et thermique.

II.4.6. Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales comme renforts de matériaux composites

Les fibres naturelles ce sont des bio composites agro sources qui présentent comme tous les matériaux composites de notre planète des avantages qui favorisent leur utilisation Dans plusieurs domaines d'application (Civil et Militaire). Ces matériaux verts montrent aussi des inconvénients qui limitent leur utilisation si aucune amélioration n'a été appliquée sur la fibre brute. Le tableau II.3 indique les principaux avantages et les inconvénients des fibres végétales.

Tableau II.3 : Principaux avantages et les inconvénients des fibres végétales [29].

Avantages	Inconvénients
Faible cout	Absorption d'eau
Biodégradabilité	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 tenue thermique (200 à 230°C max)
Pas de résidus après incinération	Fibres anisotropes
Ressource renouvelable	Variation de qualité en fonction du lieu de croissance, de la météo.....
Demande peu d'énergie pour être produite	Pour des applications industrielles, demande la gestion d'un stock
Propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité,...)	Renfort discontinu
Bonne isolation thermique et acoustique	
Non abrasif pour les outillages	

II.5. Les différents renforcements à base de fibres végétales :

Dans la nature il y a plusieurs de plantes végétales, qu'on peut utiliser comme des renforts au niveau de la matrice composite. On trouve :

II.5.1. Le chanvre

Le chanvre est une fibre libérienne (Fig.II.10). Les plantes de cette famille présentent toutes des fibres externes longues et étroites et des fibres internes ligneuses. La France est le premier producteur de chanvre en Europe, sont généralement transformées en textiles (tapis et vêtements) et en produits industriels comme des géotextiles, de la toile anti-érosion, du renfort de composite et du remplissage. A cause de sa grande solidité et de son intérêt économique



Fig. II.10: Plante de chanvre et les fibres de chanvre.

II.5.2. Le lin

Le lin est une plante annuelle (Fig.II.11), qui pousse dans le monde entier, aussi bien en Asie. La fibre de lin vient des tiges de la plante mais aussi de l'huile extraite des graines. L'avantage de cette fibre est sa longueur élevée, en moyenne 25 mm et sa bonne résistance. Le lin peut être utilisé comme substitut au coton. Cette fibre est utilisée pour fabriquer des papiers fins comme les papiers à cigarette ou le papier Bible.

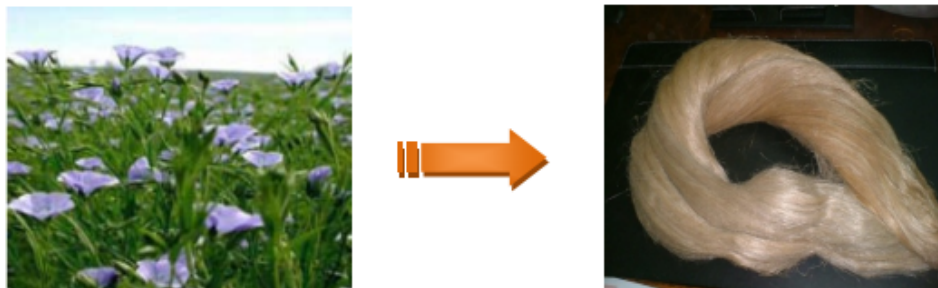


Fig. II.11 : Plante du lin et les fibres de lin.

II.5.3. Le Coton

Le cotonnier est un petit arbuste annuel de 1 à 1,50 m de haut. Il est cultivé dans les zones chaudes d'Amérique, d'Afrique, d'Asie. Les fibres de coton proviennent des graines, et sont appelées linters. Cette fibre (Fig.II.12) est utilisée pour ses bonnes caractéristiques physiques et mécaniques. Elle est utilisée pour des papiers dits de luxe. Elles sont également utilisées pour les papiers fiduciaires et principalement pour les billets de banques, papiers pour lesquels la caractéristique essentielle est la résistance au pliage.

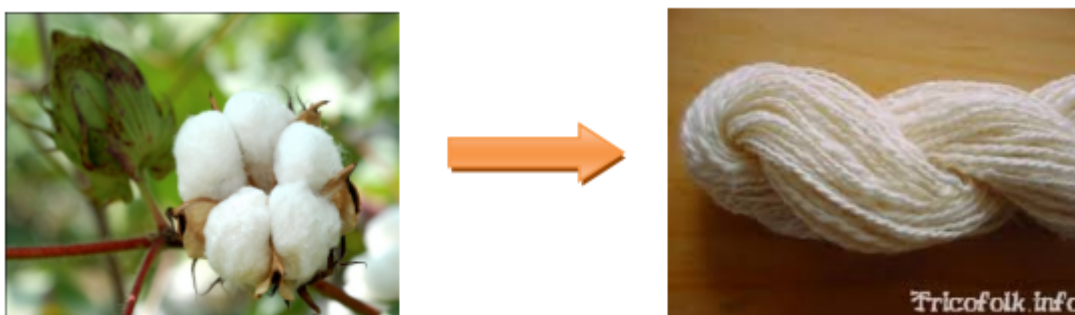


Fig.II.12 : Plante et fibres naturelles de coton

II.5.4. L'Abaca

L'Abaca de Manille est un bananier textile qui pousse aux Philippines. Les fibres dans les gaines foliaires forment un pseudo tronc très recherché pour la fabrication de cordages légers et insubmersibles, pour des rabanes, des nappes. La fibre d'Abaca (Fig.II.13), a une longueur de 6 mm pour un diamètre de 22 μm . Elle est utilisée principalement dans la composition des papiers filtres, des sachets de thé. Ce sont des papiers poreux demandant une bonne résistance.



Fig. II.13 : Plante de l'abaca et les fibres de l'abaca.

II.5.5. Le Kenaf

Le kenaf est une plante herbacée (Fig.II.14), dont la tige peut atteindre 3 m de haut. Il se trouve principalement dans les régions tropicales et en Amérique du Sud. La production de kenaf est rare. Elle est destinée uniquement pour le domaine papetier. La longueur moyenne des fibres (1,5 mm) est comprise entre celle des fibres de feuilles



Fig. II .14 : Plante de Kenaf avec ces fibres.

II.5.6. Le Jute

Le jute est une plante buissonnante (Fig.II.15), originaire du sud-est asiatique. Les principaux producteurs sont l'Inde et le Bangladesh. Les fibres utilisées en papeterie sont les déchets de culture et de filature. La longueur moyenne des fibres est de 2 mm, avec une largeur de 20 μ m Les caractéristiques de ces fibres sont généralement assimilées à celles du kenaf



Fig. II.15 : Jute : (a) plante, (b) tisse, (c) fibres.

II.5.7. Le Sisal

Le sisal est une plante vivace (Fig.II.16), constituée par une rosette de grandes feuilles à section triangulaire allant jusqu'à 2 m de long. Il s'agit d'une plante tropicale, principalement cultivé en Amérique du sud et en Afrique. La longueur moyenne de ces fibres est de 3 mm

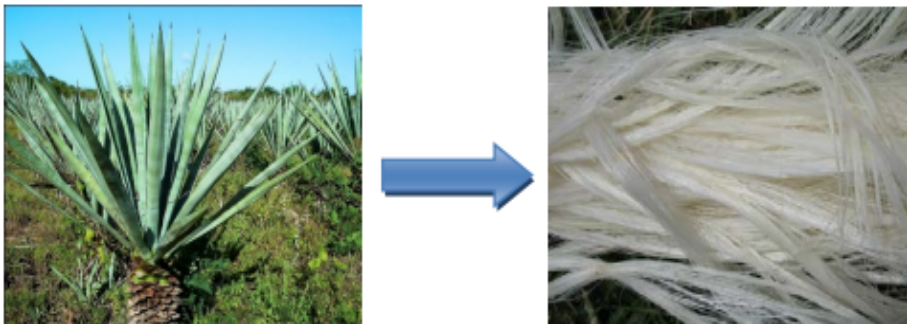


Fig. II.16 : Fibres naturelles du Sisal.

II.5.8. Le Ramie

La Ramie est une plante arbustive (Fig.II.17). Originaires d'Asie de l'Est, la ramie a pour principaux producteurs la Chine, le Japon et l'Amérique. La longueur moyenne des fibres est comprise entre 40 et 250 mm, pour un diamètre moyen de 45 μm . Ces fibres ressemblent aux fibres de lin mais sont encore plus longues, plus solides et plus rigides



Fig. II.17 : plante de Ramie et les fibres naturelles de la Ramie.

II.5.9. Le Coco

Les fibres de coco proviennent de la couche fibreuse qui entoure la noix de coco (Fig.II.18). Elles sont filées et tissées après avoir été assouplies dans l'eau. Le filage grossier et irrégulier donne au coco un aspect rustique. Le coco est très résistant, il est isolant, imputrescible et antibactérien. On utilise plutôt dans des pièces spacieuses



Fig. II.18: Fibres naturelles de la plante du coco.

II.5.10. Palmier dattier

Le palmier dattier il a un stipe solitaire de couleur marron ou gris qui atteint jusqu'à 20 mètres de hauteur et 60 cm de diamètre à l'âge adulte (Fig.II.19). Leur couronne se compose de plus d'une centaine de feuilles pennées qui mesurent plus de 5 mètres de longueur. Le pétiole peut mesurer jusqu'à un mètre, et est recouvert d'épines sur ses bords. Les folioles sont de couleur verte. Elles sont étroites, rigides et disposées de manière irrégulière sur le rachis [30]. Les types les plus connus sont : Deglette Nour, Dokar, Elghers (appellation locale)



Fig. II.19 : Palmier et les fibres de palmier dattier.

II.5.11. Alfa

L'Alfa est une herbe vivace typiquement méditerranéenne, elle pousse en touffes d'environ 1m à 1m20 de haut formant ainsi de vastes nappes (Fig.II.20). Elle pousse spontanément notamment dans les milieux arides et semi arides, elle délimite le désert, là où l'Alfa s'arrête, le désert commence [31]. Elle est employée dans la fabrication de sparterie, des cordages, des espadrilles, des tissus grossiers, des papiers d'imprimerie.....etc.

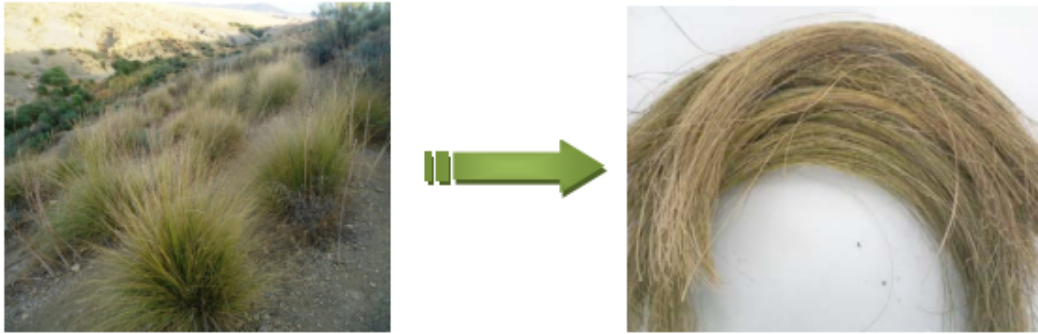


Fig. II.20 : Plante et les fibres d'Alfa.

II.6. 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

II.7. Conclusion :

Les fibres végétales possèdent une structure complexe et une composition chimique variable, largement influencées par des facteurs tels que les conditions climatiques, l'âge de la plante et le type de sol, ce qui rend leur étude difficile. Cependant, ces fibres offrent divers avantages pour les applications composites en raison de leur structure creuse et poreuse, qui leur confèrent d'excellentes propriétés isolantes thermiques et acoustiques. Malgré cela, leur forte capacité d'absorption d'eau et la dégradation de certaines composantes chimiques comme l'hémicellulose et la lignine en milieux alcalins limitent leur utilisation comme renfort.

La cellulose, la lignine et la pectine sont responsables respectivement de la résistance, de la rigidité et de la flexibilité des plantes. Les végétaux contenant de l'hémicellulose et de la lignine nécessitent un traitement par des solutions alcalines pour les extractions.

La résistance à la traction des fibres dépend fortement de leur pourcentage total en cellulose, tandis que l'allongement à la rupture est lié à l'angle micro-fibrillaire. De plus, l'orientation de cet angle micro-fibrillaire détermine la ductilité ou la rigidité de la fibre

Chapitre III :
Matériaux utilisés et méthodes
expérimentales

III.1. INTRODUCTION :

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

Les matériaux utilisés pour ce travail sont :

- Le Ciment
- Super plastifiant (Master Glenium SKY 3080)
- Eau de gâchage (eau de robinet du laboratoire).
- Le sable d'oued Souf
- Fibres : fibres d'Alfa (traité par 2% NaOH).
- Les ajouts : Fumée de silice 10%

III.2. CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX UTILISÉS :

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

III.2.1. Ciments :

Le ciment utilisé dans ce travail est un ciment composé de type CEM II/B-L 42,5 N de classe de résistance 42.5, produit par : la cimenterie Lafarge district de Hammam Dhalaa. (Fiche Techciment Gica).



Figure III. 1 : Ciment utilisé

III.2.2 Les sables:

Le sable de base dans notre recherche provient de la région de Ouad souf (Elbaadj) lavée et séché. Les sables ont été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de M'sila, suivant les normes françaises AF NOR.

III.2.2 .1La 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

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

Tableau III.4. Masse volumique absolue du sable

N° d'essai	M(g)	V0 (ml)	V1 (ml)	ρ abs (g/cm ³)	ρ abs Moy(g/cm ³)
1	300	300	410	2.73	2.82
2	300	300	405	2.86	
3	300	300	405	2.86	

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

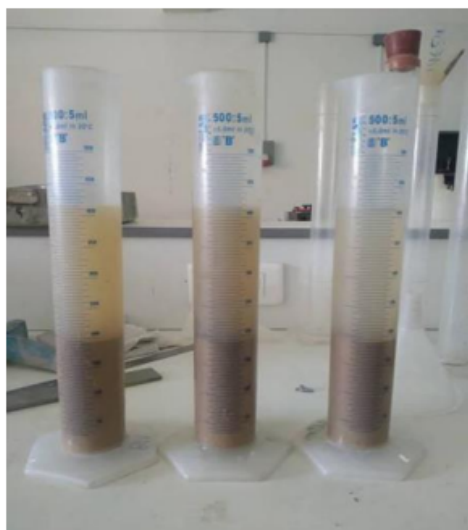


Figure III.2: Essai de la masse absolue

III.2.2.2 Masse volumique apparent (NFP18-554)

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)	V (cm ³)	ρ_{app} (g/cm ³)	ρ_{app}^{Moy} (g/cm ³)
1	126	1517	1.545	1.54
2	126	1513	1.541	
3	126	1511	1.539	

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



Figure III .3 : Essai de la masse volumique apparente

III.2.2.3 Porosité:NFP18-554

C'est le volume du vides 'entre les grains du sable La porosité peut être déterminée par la formule les 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.2.2.4Compacité

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupe 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.2.2.5 L'indice des vides

L'indicedesvidesestlerapportentrelevolumeduvideetlevolumedesolideavecunepourcent(%).

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

✓ **V_v**: volume du vide

✓ **Vs:** 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
40	30	55	70	0.67	0.43

III.2.2.6 Equivalent de sable

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 500g)

Prendre une pesée de 120g

Remplir l'éprouvette de solution la vante 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

20 cm de course 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 à l'intérieur de 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 levant atteigne le 2^{ème} repère. Laisser ensuite reposer pendant 20 minutes.

✓ **Figure III. 4:** Mesure de l'équivalent de sable



A. Equivalent de sable visuel (ESV):

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

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

- ✓ h_1 : Sable propre + éléments fins
- ✓ h_2 : La hauteur du sable

B. Equivalent de 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 réglet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit h' la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée

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

- ✓ h_2 : La hauteur du sable ($h_2 < h_1$)



Figure III.5 : Mesure de l'équivalent de sable.

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	8.6	89.58	92.47	8,2	85.41	90.32
02	9,3	8.6	92.47		8,4	90.32	
03	9,5	8.5	89.47		8,45	88,42	

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

E.S.V_{moy}=92.47% **E.S.P_{moy}**=90.32%

➤ 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 à 110°C pendant 24 heures

- Peser l'échantillon de nouveau, soit « M_s » son poids.

Tableau III.9. Teneur en eau

N° d'essai	$M_{h,en}$ [g]	$M_{s,en}$ [g]	W [%]	W_{moy} [%]
01	500	499	0,20	0,27
02	500	498	0,40	
03	500	499	0,20	

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

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

Les résultats obtenus sont présentés au tableau III.6 :

But d'essai

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

Principe De L'essai :

Faire passer l'échantillon tester à travers une série des tamis décroissante de plus grand à plus petit, et



faire peser le refus dans chaque tamis.

Figure III.6. Analyse granulométrique par tamisage

Matériel utilisé :

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



Figure II.7 : Série du tamis utilisé

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

Action	Tamis utilisés (exprimée mm)
0/5	(5 – 2.5 – 1.25 – 0.63 – 0.32 – 0.16 – 0.08)et Lafond

Principe De L'essai :

Prélever (2 kg) de matériau (sable sec).

Peser chaque tamis à vide à 1 g près, soit la masse du tamis.

Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement

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

Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine

D'agitation mécanique, agité pendant 5 minutes. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin les différents

tamis.

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

La différence entre M_i et m_i (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel R_1 du tamis 1.

Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement inférieur.

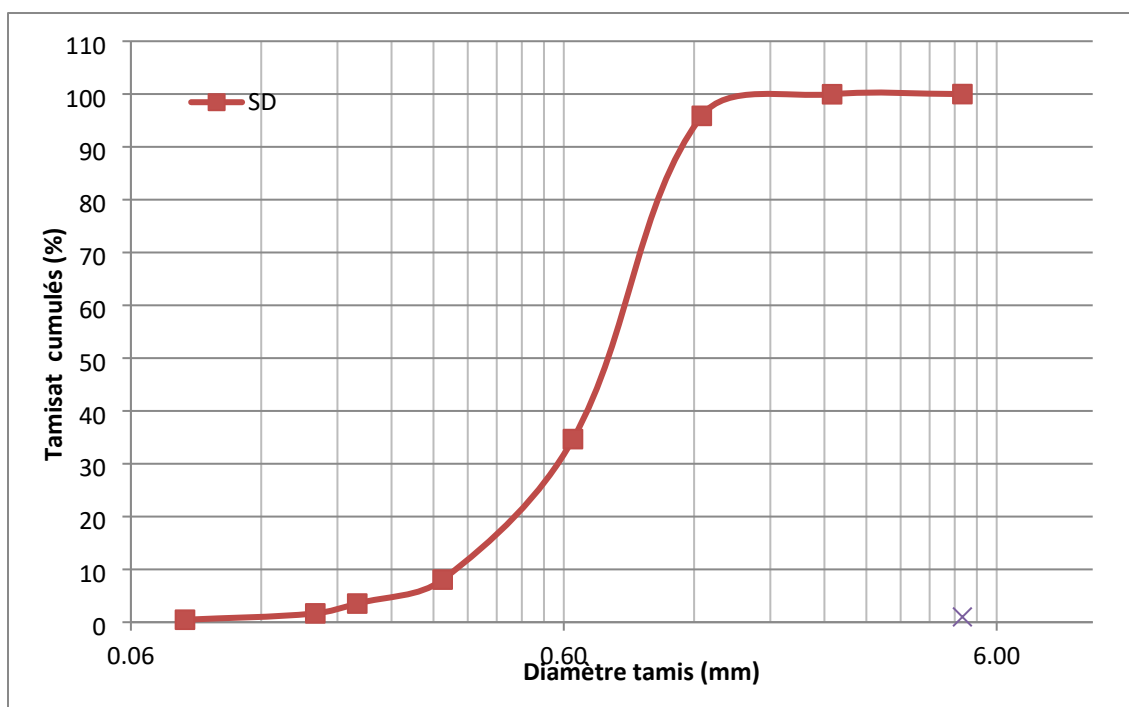
Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à R_1 , soit R_2 la masse du refus cumuler du tamis

2($R_2 = R_1 + \text{Refus partiel sur tamis}$).

Pour suivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumulés R_3 , R_4 , ...

Tableau III.7: Analyse granulométrique du sable

Tamis Ouverture (mm)	Refus du sable (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
5	0	0	0	100
2.5	6	6	0.4	99.96
1.25	56	62	4.13	95.87
0.63	918	980	65.33	34.67
0.315	399	1379	91.93	8.07
0.16	96	1475	98.33	1.67
Fond de tamis	18	1493	99.53	0.47



2.2.5 Module de finesse :

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat. Il est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés

exprimée en pourcentages sur une série de tamis (0,16 0,315 0,63 1,25 2,5 5).il est donné par la relation suivant :

$$F = \frac{\sum \text{refus cumulée \%}}{100}$$

Les normes spécifient le M_f des sables comme suit :

Sable sgros $M_f > 2.5$

Sablesmoyen $2 < M_f < 2.5$

Sablesfin $1.5 < M_f < 2$

Sable strèsfin $1 < M_f < 1.5$

On remarque que le module de finesse du sable de dune est 2.60 ce qui veut dire que c'est un sable fin.

II.2.3 Adjuvant

Master Glenium SKY 3080 Master Glenium SKY 3080 est un superp la stifiant de nouvelle génération (3ème génération) à base de Poly carboxylate Ethers (PCE)(fiche technique en annexe). Il s'agit d'un réducteur d'eau à haut rendement (High Range Water Reducer) possédant une excellente rétention d'affaissement (long lump rétention). Produit par la société Master Builders Solutions, il est conforme à la norme européenne EN 934-2 (type F). Caractéristiques physico-chimiques : Aspect : Liquide brun clair. Masse volumique : $1,07 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$ à 25°C .

pH : $5,5 \pm 1,8$. Teneur en chlorures : $< 0,1 \%$. Teneur en nitrates : $< 2 \%$. Avantages principaux : Réduction importante de la quantité d'eau de gâchage (jusqu'à 30-40 %) tout en maintenant une grande

Fluidité. Maintien prolongé de l'ouvrabilité (jusqu'à 120 minutes et plus). Amélioration de la maniabilité et de la mise en place sans augmentation du rapport E/C. Réduction de la ségrégation et du ressuage. Amélioration de la durabilité et des performances mécaniques à long terme du béton. Bonne compatibilité avec différents types de ciments. Domaines d'application : Il est particulièrement recommandé pour : Les bétons auto-plaçant (BAP - Béton Auto-Plaçant / SCC). Les bétons pompés sur de longues distances. Les bétons architecturaux. Les bétons autonivelants. Les bétons à hautes performances avec un rapport eau/ciment faible. Dosage recommandé : De 0,2 % à 1,7 % du poids du ciment (le dosage habituel varie entre 0,5 % et 1,2 % selon le type de béton et les performances recherchées).

Degré de saturation :

Essais du Taux de saturation

Tableau II.14 : Essais du Taux de saturation.

Ciment(gr)	%De l'adjuvant	Tempdécollement (sec)
500	0,5	15
	0,7	13
	0,9	10
	1	8
	1,1	8
	1,2	7.9
	1,3	7.8
	1,4	7.8
	1,5	7.7



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

Taux de saturation en

Le taux de saturation en super plastifiant est estimé d'après le graphe de la figure à 1.55

II.2.4 Eau De Gâchage :

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

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

Paramètre Physico chimique	PH	Potentiel redox EH	Conductivité é à 20°C	Turbidité	Oxygène dissous	Salinité	CO ₂ libre	CO ₂ total
Unité	-	Mv	S / cm	NTU	Mg/l	%	Mg/ L	Mg/l
Résultat	7.94	-60.6	1926	2.05	5.47	09	9.26	223.96

II.2.5 Fumée de silice :

La fumée de silice (Fumée de silice): [32]

La fumée de silice est un sous-produit ultrafin issu de la fabrication du silicium métallique ou des alliages de Ferro silicium dans les fours à arc électrique. Elle est constituée principalement de dioxyde de silicium amorphe (SiO₂) avec une teneur généralement supérieure à 85 %. Grâce à sa très grande finesse et à sa forte réactivité pouzzo la nique, elle est largement utilisée comme addition minérale dans les mortiers et les bétons afin d'améliorer leurs performances mécaniques et leur durabilité.

Caractéristiques de la fumée de silice:

- .Très forte teneur en silice amorphe (85 à 98 %).
- .Taille moyenne des particules : environ 0,1 µm.
- .Surface spécifique très élevée (15 000 à 30 000 m²/kg).
- .Couleur grise à gris foncé.
- .Densité réelle : environ 2,2 g/cm³.
- .Matériau très réactif vis-à-vis de la chaux libérée lors de l'hydratation du ciment.

Avantages de l'utilisation de la fumée de silice:

- .Augmentation de la résistance mécanique à la compression et à la traction.
- .Réduction de la porosité du mortier ou du béton.
- .Amélioration de l'adhérence entre la pâte cimentaire et les granulats.
- . Diminution de la perméabilité à l'eau et aux agents agressifs
- .Amélioration de la durabilité et de la résistance aux attaques chimiques.

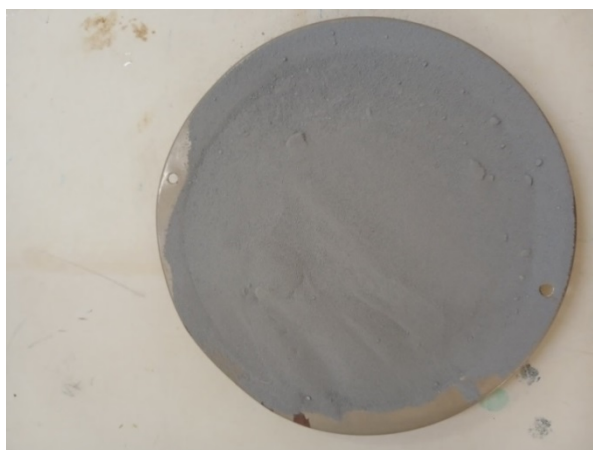


Figure II.13 : Fumée de silice

III.2.3 Fibre d'Alfa

Les fibres Alfa, sont récoltées de la région de Bou-Saadâ (Algérie). Elles sont une touffe d'herbe, constituée de tiges de forme cylindrique d'une hauteur maximale d'environ 1m avec une surface spécifique de 3m²/g. Les fibres Alfa sont principalement composées de 45% de cellulose, 24% d'hémicellulose, 24% de lignine, 2% de cendres et de 5% de cire.

Les faisceaux de fibres Alfa sont caractérisés par un diamètre moyen de 113 µm (90-120µm) et une densité de 0,89 g.cm⁻³ [35].

Extraction des fibres Alfa

En premier lieu on coupe les extrémités de la tige d'Alfa en longueur 35 à 40 cm. Les tiges obtenues sont lavées plusieurs fois pour éliminer les contaminants et les saletés adhérentes. Ensuite, ces tiges sont immergées dans l'eau pendant un mois (Fig.V.5a). Après cela on effectue l'extraction mécanique par brossage des tiges pour obtenir des fibres longues. Les fibres obtenues sont désignées fibres non traitées (Fig.V.5b)

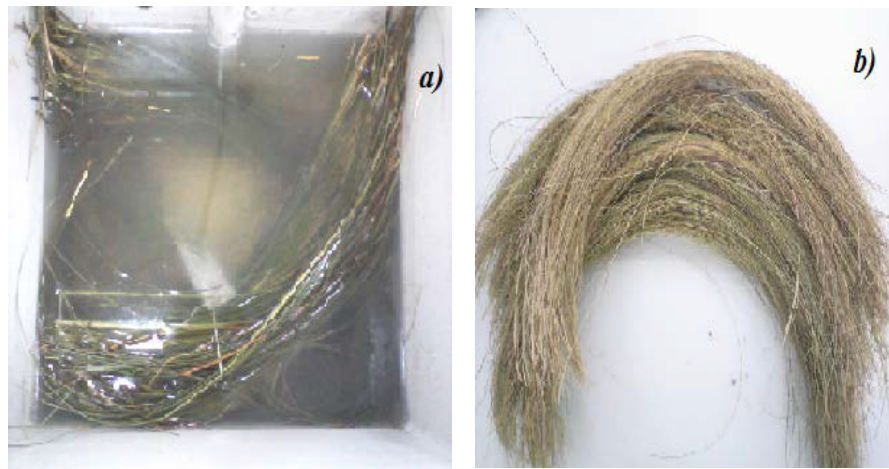


Figure III.10 : Préparation des fibres Alfa : (a) immergée des tiges dans l'eau, (b) fibres d'Alfa

a) Traitement des fibres Alfa

Les fibres Alfa sont traitées avec une solution de NaOH (milieu alcalin) à concentration de 2% durant une 24h (Fig.III.9). Le but de ce traitement est l'élimination de certaine quantité de lignine, de cire et d'impuretés qui recouvrent la surface externe des fibres [35]. Le traitement par l'hydroxyde de sodium (NaOH) de la fibre favorise l'ionisation du groupe hydroxyle de l'alcoolate :

Fibre – OH + NaOH → Fibre – O – Na + H₂O (1).

Ainsi, le traitement alcalin influe directement sur les fibrilles et le degré de polymérisation de la cellulose. Il favorise aussi l'extraction de la lignine et l'hémicellulose [35]. Après traitement, les fibres sont rincées à l'eau distillée. Les traces de NaOH sont neutralisées par une solution d'eau distillée à 2% d'acide sulfurique durant 10 min.



Figure III.9 : Traitement de fibre Alfa par NaOH



Fig. III.10. : (a) Traitement d'Alfa par H_2SO_4 pour éliminer les traces de NaOH, (b) Fibre d'Alfa traitées.

a) Traitement thermique des fibres

Après toutes les étapes de préparation et l'extraction des différents types de fibres végétales, on place les fibres obtenues dans une étuve de séchage à température $70^\circ C$ (Fig.III..11) durant 5h pour améliorer leurs propriétés mécaniques.



Fig. III..11: Etuve de séchage à $70^\circ C$.00

a) Longueur choisi pour fibres

Après le traitement thermique le type de fibre sont coupées en longueur de 2 cm (fig. III..12.).



Fig.V.12 : Mesure de la longueur des différentes fibres utilisées

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 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. 13 : 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 trio 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.7Malaxage 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.14: 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.17) 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.19)
- ✚ 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.19)
- ✚ Retirez la hausse du moule et utilisez une règle plate à araser pour enlever tout excès de mortier des éprouvettes. (Figure III.18)
- ✚ 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.20)

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.15:Lubrification



Figure III.16 : Rasage



Figure III.17 : étiqueter les moules



.Figure III.18: 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.19 : 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 d'alfa
- F_C : Fumée de silice
- E : Eau.
- MT : Mortier de référence formule San substitution de Fibres *d'alfa*
- M1 : Mortier formulé en substituant 0.25% de ciment par de la Fibres *d'alfa*
- M2 : Mortier formulé en substituant 0.5% de ciment par Fibres *d'alfa*
- M3 : Mortier formulé en substituant 0.75% de ciment par Fibres *d'Alfa*
- M4 : Mortier formulé en substituant 1% de ciment par Fibres *d'Alfa*
- M5 : Mortier formulé en substituant 1.5% de ciment par Fibres *d'Alfa*

Tableau III.15: Les compositions utilisé pour le mortier.

Formulation	Sable (g)	Fibre (g)	Ciment (g)	Eau (g)	Adjuvant (g)	Fumé de siliss	E/C
MT	1350	00	450	225	6.98	00	0.5
M 1	1350	0.28	405	191.17	6.98	45	0.47
M 2	1350	1.38	405	176.66	6.98	45	0.43
M 3	1350	2.04	405	176.67	6.98	45	0.436
M 4	1350	2.73	405	176.80	6.98	45	0.436
M 5	1350	4.09	405	187.34	6.98	45	0.46

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 poursuit pendant 2.5 mn.
- Le super plastifiant restant est ajouté avec un malaxage final d'une minute.
- Malaxer pendant 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 lacure et marquer par peinture et conserver dans un bac d'eau jusqu'au jour d'essais (7,14 et 28).

III.13. Démoulage et conservation des éprouvettes:

Après malaxage, on prélève un échantillon du béton afin de remplir des éprouvettes

prismatiques de (4x4x16) cm. On conserve les échantillons dans la salle pendant 24 heures. Après 24 heures, on démoule les échantillons et on les place dans un bac de conservation, avec 100% d'humidité et d'une température de 20°C.



Figure III.20.: Echantillons conservés dans le bac

III.14. Techniques expérimentales

Les méthodes abordées dans cette étude visent à évaluer les caractéristiques mécaniques et physiques, ainsi que la durabilité des mortiers. Cela est réalisé en variant les pourcentages de fibres végétales. Nous comparons ensuite ces propriétés avec celles du mortier de référence après 7, 14 et 28 jours de conservation dans l'eau au laboratoire

III.14.1. Caractérisation à l'état frais:

III.14.1.1 Essai d'étalement

La mesure d'étalement est effectuée dans le but de déterminer la consistance du mortier à l'état frais. Cet essai a été réalisé selon la norme NF EN 12350-5, qui spécifie les paramètres pour mesurer la consistance de la pâte à l'aide d'un petit cône de dimensions suivantes : $D_0=100\text{ mm}$, $D_1=70\text{ mm}$, et une hauteur de 60 mm. Trois essais ont été effectués au minimum pour obtenir ainsi une moyenne. Le diamètre du mortier affaissé a été mesuré dans deux directions. L'étalement est obtenu par la moyenne des deux paramètres d_1 et d_2 , exprimés en millimètres. d_1 et d_2 correspondent aux diamètres de la plaque de silicium. La procédure de mesure d'étalement se déroule comme suit

Le cône est rempli de deux épaisseurs, compactées chacune par 10 chocs avec un pilon afin que le matériau soit homogène dans le tronc de cône de la base. L'excès de matière est ensuite enlevé à l'aide de la règle métallique. Le cône est ensuite levé doucement et verticalement, puis la table d'agitation est activée pour effectuer 15 chocs au rythme d'un par seconde sur le composite

La **Figure III-21**.décrit le processus de mesure de l'étalement.



Figure III.22 : Mesure d'étalement a table de choc

III.14.2. Caractérisation 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 :

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

- ρ : est la masse volumique du mortier durci en kilogrammes par mètre cube (g/cm^3).
- M : est la masse de l'échantillon lorsqu'il est saturé d'eau.
- V : Volume des éprouvettes en cm^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 Essai de flexion trois points

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.23 : 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.24 : Essai de résistance à la compression

III.14.2.5L'absorption d'eau :

Dans cet essai, on détermine l'absorption par l'immersion totale des éprouvettes de pâtes et de mortiers dans l'eau selon la norme **NF P 18-555**, après 28j de conservation à l'air libre. Premièrement, les poids des éprouvettes sont prélevés et ensuite placés dans des bacs en plastique immergé dans l'eau pendant 24h jusqu'à ce que la masse devienne stable. En plus, une certaine distance entre chaque éprouvette et l'autre est laissée d'environ 2 cm pour que toutes les surfaces entrent en contact avec l'eau (Fig III.25.). Parce que, cet essai c'est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau.

Après avoir saturé les éprouvettes par l'eau, on prit leurs poids, puis on place dans une étuve à 105 °C pendant 24 heures de séchage jusqu'à ce que sa masse devînt constante. Cette étape est importante sur laquelle on doit la considérer, qu'avant chaque pesée, il est nécessaire d'essuyer les éprouvettes avec du papier absorbant de manière à ce qu'elles ne contiennent plus d'eau au niveau de surface.

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

$$A = \left(\frac{M2 - M1}{M1} \right) \times 100 [\%]$$

- ✓ M1 : la masse de l'éprouvette sèche en (g) ;
- ✓ M2 : la masse de l'éprouvette saturée d'eau superficiellement sèche en (g).



Figure III.25: Protocole de l'essai d'absorption

III.14.2.6 L'essai de retrait

Nous préparons 3 prismes ($4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$) pour chaque essai de retrait et de gonflement, l'essai consiste à suivre l'évolution des changements dimensionnels d'une éprouvette de mortier conservé à l'air pour le retrait et à l'eau pour le gonflement.



Fig III.26: Essai de retrait

III.14.2.7 L'essai l'ultrason

La méthode repose sur la mesure du temps de propagation d'une onde entre deux points. Les circuits de mesure électroniques permettent de déterminer ce temps dans le béton. Les mesures doivent être réalisées sur des surfaces parfaitement lisses, et il est conseillé d'utiliser un matériau intermédiaire entre le béton et les transducteurs. Les matériaux recommandés incluent de la vaseline commerciale, un savon liquide ou une pâte faite de Kaolin et de Glycérol. Si la surface du béton est très rugueuse, il est nécessaire de poncer et aplanir la zone où le transducteur sera fixé.

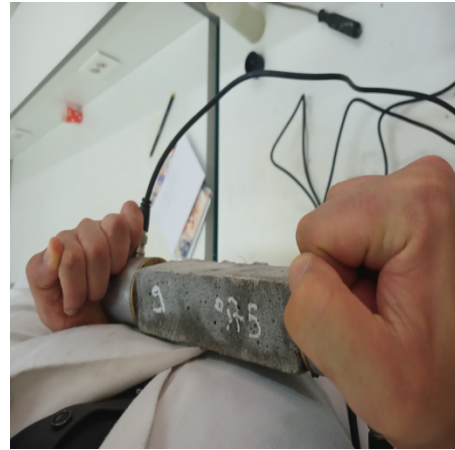
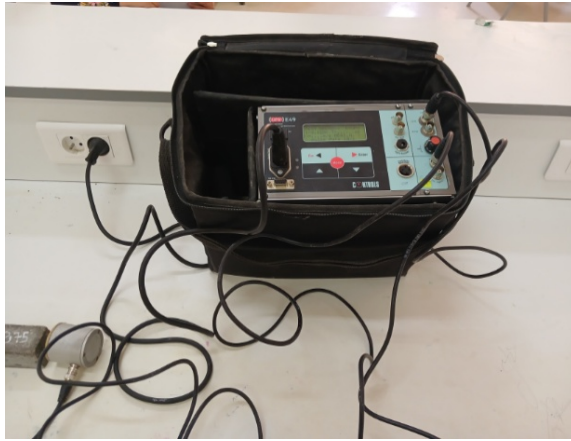


Fig IV.27 : Essai l'ultrason

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, retrait, 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 discussion**

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats obtenus à partir des différents essais cités dans le chapitre III. Nous avons caractérisé le comportement physico-mécanique à l'état frais et durci, notamment les résistances mécaniques des mortiers avec et sans fibres, ainsi que les masses volumiques à l'état durci. Nous présentons également les résultats de la vitesse d'impulsion des ondes ultrasonores (UPV) et du retrait à différents âges de cure. Afin d'arriver à des conclusions pratiquement exploitables, il a été nécessaire d'introduire des analyses microstructurales telles que l'FTIR et la MOP. Ces analyses identifient les effets de la fibre végétale sur la matrice cimentaire d'un mortier composite. Enfin, nos résultats ont été comparés avec ceux de la littérature. Par ailleurs, le Tableau V.1 présente les notations des différentes compositions utilisées afin de clarifier l'identification des mélanges étudiés.

Tableau V.1 : les notations des différentes compositions utilisées

Notation	Pourcentage (%)	Dénomination des différents mélanges
	0	M0 : Mortier témoin
M1	0.25	Mortier avec fibre d'Alfa 0.25 % avec 10% fumée de silice 1.55% super plastifiant
M2	0.5	Mortier avec fibre d'Alfa 0.5% avec 10% fumée de silice 1.5% super plastifiant
M3	0.75	Mortier avec fibre d'Alfa 0.75% avec 10% fumée de silice 1.5% super plastifiant
M4	1	Mortier avec fibre d'Alfa 1% avec 10% fumée de silice 1.5% super plastifiant
M5	1.5	Mortier avec fibre d'Alfa 1.5% avec 10% fumée de silice 1.5% super plastifiant

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

IV.2.1 Maniabilité sur mortiers frais (Flow Test) :

Pour chaque type de mortier formulé, on mesure sa maniabilité grâce à la table d'étalement, conformément à la norme ASTM C 1437.

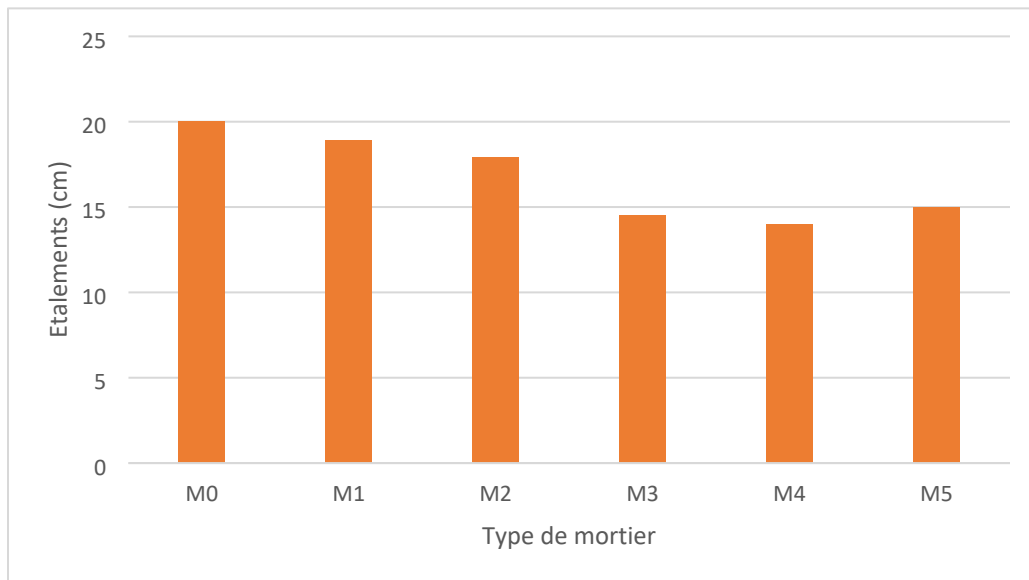


Figure V.2. Etalements des mortiers en fonction du % de la teneur de fibre

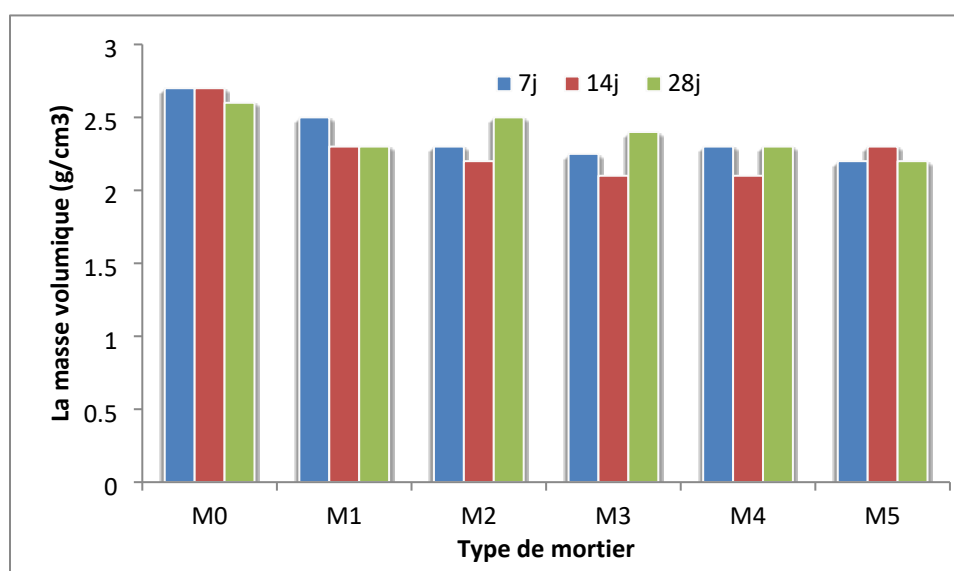
L'analyse de la figure montre une diminution progressive du diamètre d'étalement du mortier frais à mesure que le taux de fibres d'Alfa augmente (de M0 à M4), passant d'environ 20 cm à 14 cm. Ce comportement physique est directement lié à l'incorporation des fibres qui créent un réseau tridimensionnel interne, augmentant les frottements inter granulaires et limitant la fluidité du mélange. Cependant, le fait que les fibres d'Alfa aient subi un traitement chimique à 2% (généralement une alcalinisation à la soude NaOH) joue un rôle crucial dans ces résultats : ce traitement élimine une grande partie des composants amorphes et hydrophiles de la fibre (comme l'hémicellulose et la lignine), ce qui réduit initialement leur capacité naturelle à absorber l'eau de gâchage par rapport à des fibres brutes. Malgré cette réduction d'hydrophilie qui tend à préserver l'eau libre, l'effet géométrique et mécanique des fibres reste prédominant, ce qui explique la baisse continue de l'ouvrabilité, accentuée par la forte surface spécifique de la fumée de silice (10%) qui consomme également de l'eau. Quant à la légère remontée observée pour la formulation M5 (1.5% de fibres), elle s'explique par un phénomène de saturation ou de ségrégation ; à ce taux élevé, le traitement chimique à 2%, en modifiant la rugosité de surface des fibres, peut altérer leur dispersion, favorisant la formation de granulats de fibres (phénomène de *balling*) qui libèrent localement l'eau et le super plastifiant (1.55%), provoquant ainsi une fausse augmentation de la fluidité lors du test

IV.3. Densité à l'état durci

Les pesées effectuées pour chaque éprouvette nous ont permis d'étudier l'évolution de la masse volumique pour toutes les compositions de mortier testées. La valeur de la masse volumique à l'état sec retenue correspond à la moyenne des pesées effectuées sur trois échantillons d'une même gâchée. Les résultats obtenus sont représentés sur le (FigureV.3).

Tableau V.2: Résultats de la masse volumique à l'état durci du mortier étudié

Type de mortier	7j	14j	28j
M0	2.7	2.7	2.6
M1	2.5	2.3	2.3
M2	2.3	2.2	2.5
M3	2.25	2.1	2.4
M4	2.3	2.1	2.3
M5	2.2	2.3	2.2

**Figure V.3:** Masse volumique en fonction des différents mortiers étudiés

L'analyse de la figure V.3 montre une diminution globale de la masse volumique des mortiers composites (M1 à M5) par rapport au mortier témoin (M0). Ce phénomène s'explique par la faible densité intrinsèque des fibres d'Alfa vis-à-vis des constituants cimentaires, ainsi que par l'introduction de porosités (air occlus) lors du malaxage. Cependant, le traitement chimique à 2% de NaOH atténue cette chute en améliorant l'état de surface des fibres et leur adhésion avec la matrice. À l'échéance de 28 jours, on observe une augmentation remarquable de la masse volumique pour les variantes M2, M3 et M4. Cette densification tardive est le résultat direct de la réaction pouzzolane de la fumée de silice (10%), qui réagit avec la chaux libérée pour former des hydrates (C-S-H) supplémentaires. Grâce au traitement chimique des fibres qui a optimisé la zone de transition interfaciale (ITZ), ces hydrates viennent combler efficacement les pores environnants, augmentant ainsi la compacité du matériau. Enfin, la rechute observée pour M5 (1.5% de fibres) à 28 jours traduit un effet de saturation : à ce taux élevé, le phénomène de tressage ou d'agglomération des fibres (balling effect) l'emporte, créant des macro-vides que les produits d'hydratation ne peuvent plus colmater, ce qui diminue à nouveau la densité du composite.

IV.4. Caractéristiques mécaniques des mortiers

La résistance mécanique est exprimée par le pouvoir du mortier à résister à la destruction sous l'action des contraintes dues à différentes charges de compression ou de traction par flexion. Chaque valeur de la résistance à la traction ou à la compression est égale à la moyenne des mesures sur trois éprouvettes.

IV.4.1. Résistance à la compression (RC)

Les résistances à la compression des différents mortiers renforcés de fibres traitées à différentes échéances sont présentées dans la figure (V.4).

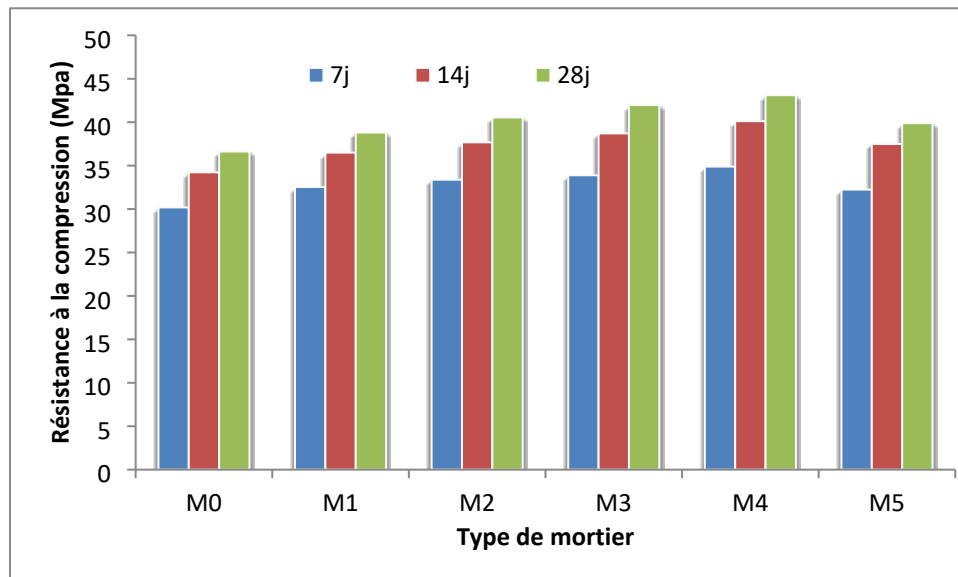


Figure V.4: Résistance à la compression des mortiers renforcés avec des fibres traitées

D'après la Figure (V.4), on remarque que :

De manière générale, on observe une **augmentation progressive** de la résistance mécanique pour tous les mélanges en fonction du temps. Ce phénomène prévisible est lié à la cinétique d'hydratation continue du ciment.

En analysant l'effet de l'incorporation des fibres d'Alfa combinées à 10% de fumée de silice et 1.5% de super plastifiant à 28 jours, les constatations suivantes s'imposent :

- Pour toutes les compositions (M0 à M5), 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 30 MPa à 7 jours, 34 MPa à 14 jours, et 36 MPa à 28 jours. Il sert de base de comparaison.
 - Amélioration initiale (M0 à M4) : Par rapport au mortier témoin (M0, 0% de fibres) qui affiche une résistance d'environ 36 MPa, l'ajout progressif de fibres d'Alfa engendre une amélioration continue des performances mécaniques. La résistance maximale est atteinte avec le mélange M4 (1% de fibres), culminant à plus de 42 MPa.
 - Chute de performance (M5) : Au-delà d'un seuil de 1%, soit pour le mélange M5 (1.5% de fibres), on assiste à une baisse notable de la résistance à la compression, qui redescend autour de 39 MPa.
- L'augmentation de la résistance s'explique par l'effet synergique entre la fumée de silice et le super

plastifiant. La silice, par son activité pouzzo la nique et son effet de remplissage (filler), densifie la matrice cimentaire et améliore l'adhérence à l'interface matrice/fibres. Le super plastifiant, quant à lui, permet de réduire le rapport Eau/Ciment tout en maintenant une bonne maniabilité.

La baisse de résistance observée pour M5 (1.5%) est due à un phénomène d'enchevêtrement ou de bouillonnement des fibres (balling effect) lorsque leur dosage devient excessif. Cela nuit à l'homogénéité du mélange, engendre la formation de pores et de vides internes, créant ainsi des zones de fragilité qui réduisent la capacité du mortier à supporter les charges de compression.

IV.4.2. Résistance à la flexion (Rf)

Les résultats obtenus sont représentés sur le Figure V.7

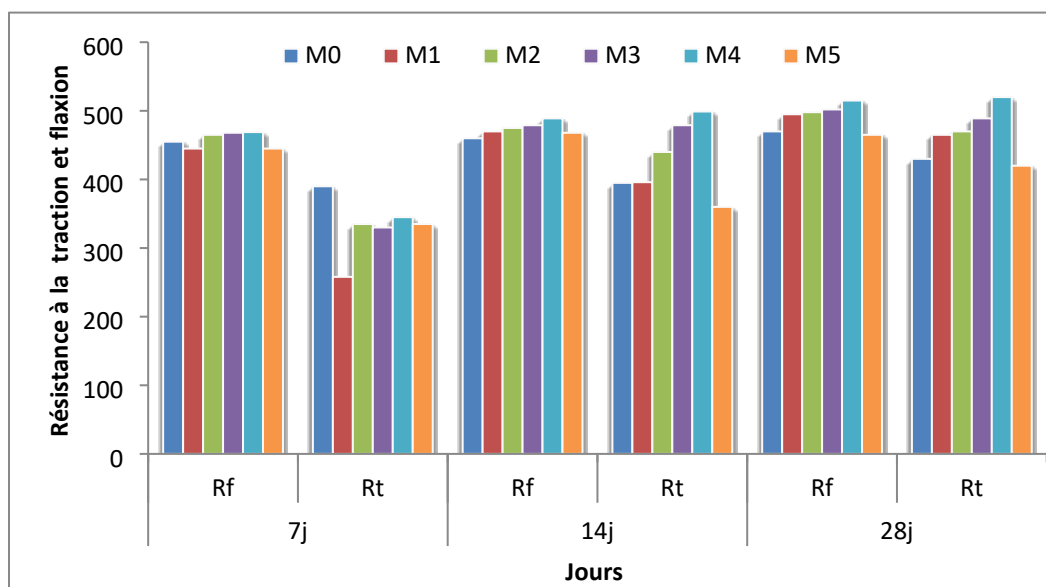


Figure V.5: Résistance à la traction en fonction de type de mortier

L'analyse des résultats graphiques met en évidence l'effet combiné du pourcentage de fibres d'Alfa, de l'ajout de la fumée de silice et du temps de cure (7, 14 et 28 jours) sur les résistances à la flexion (Rf) et à la traction (Rt) des différents mortiers. De manière générale, on assiste à une amélioration progressive et continue des performances mécaniques de la formulation M1 jusqu'à la formulation M4 (contenant 1% de fibres d'Alfa). Ce comportement optimal s'explique par le rôle de pontage des fibres qui limitent la propagation des microfissures sous l'effet des charges, ainsi que par l'effet pouzzo la nique de la fumée de silice qui densifie la matrice cimentaire et renforce l'adhérence à l'interface fibre-matrice. La formulation **M4 représente ainsi le dosage optimal**, enregistrant les valeurs de résistance les plus élevées pour tous les âges.

Cependant, au-delà de ce seuil, notamment pour le mélange M5 (1.5% de fibres), une chute brutale des résistances est observée, rendant ce mortier parfois moins performant que le mortier témoin (M0). Ce déclin est principalement dû au phénomène d'agglomération des fibres, qui génère des vides internes, emprisonne l'air et absorbe l'eau de gâchage indispensable à l'hydratation, affaiblissant ainsi la structure interne du matériau.

Par ailleurs, l'évolution temporelle montre une augmentation systématique des résistances entre 7 et 28 jours pour l'ensemble des mélanges, ce qui traduit la cinétique normale d'hydratation du ciment et l'activation tardive de la fumée de silice. Enfin, il est à noter que les valeurs de résistance à la flexion demeurent constamment supérieures à celles de la traction, ce qui est conforme au comportement intrinsèque des matériaux cimentaires, structurellement plus faibles face aux sollicitations de traction directe.

IV.5. Propriétés physiques :

IV.5.1. Absorption capillaire

Les cinétiques d'absorption d'eau par capillarité des bio-mortiers de contrôle, et des mortiers fibrés traités sont présentées dans la Figure V.8

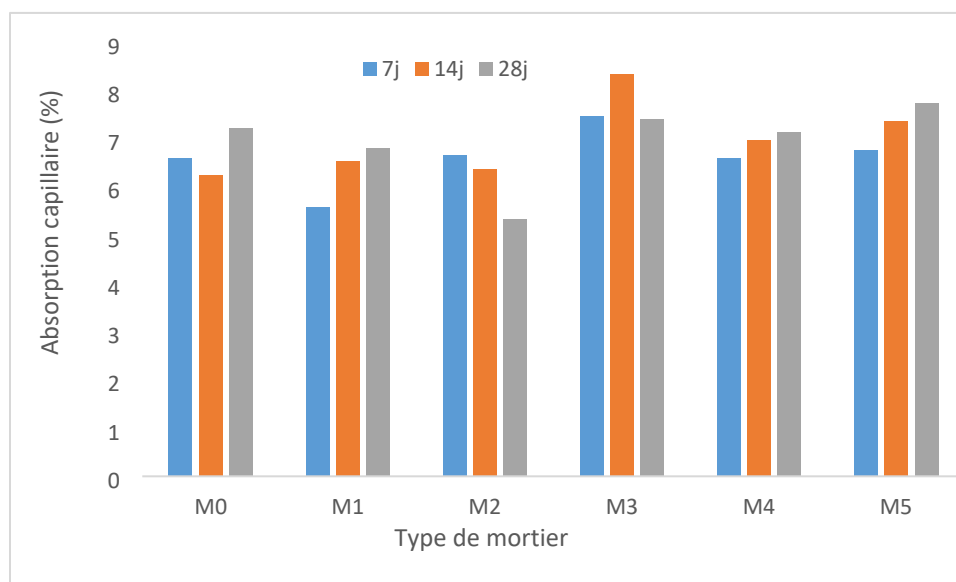


Figure V.6: Absorption capillaire en fonction de type de mortier

Ce graphique illustre le pourcentage d'**absorption capillaire (%)** de six formulations de mortier (M0 à M5) suivies à trois âges de cure différents : **7 jours**, **14 jours** et **28 jours**.

L'absorption capillaire est un indicateur clé de la durabilité, car elle reflète le réseau de pores interconnectés (porosité ouverte) à l'intérieur de la matrice cimentaire. Plus l'absorption est faible, plus le mortier est étanche et durable.

En analysant le comportement des différents mélanges à l'échéance finale de **28 jours** (barres grises), nous constatons deux phases distinctes :

- **IV.5.1.1. Diminution de l'absorption (M0 à M2) :** Par rapport au mortier témoin (M0, 7.2%), l'introduction de faibles dosages en fibres d'Alfa combinées à la fumée de silice (10%) réduit l'absorption capillaire. Le minimum global à 28 jours est atteint par le mélange M2 (0.5% de fibres), affichant une valeur remarquable d'environ **5.3%**.
- **IV.5.1.2. Augmentation de l'absorption (M3 à M5) :** Au-delà de 0.5% de fibres (de M3 à M5), on remarque une inversion de la tendance. L'absorption capillaire réaugmente progressivement pour atteindre son maximum avec le mélange **M5** (1.5% de fibres) à environ **7.7%**, dépassant ainsi le mortier témoin.

IV.2.Vitesse des ondes ultrasonores (UPV)

La figure III.4 représente la variation de la vitesse de propagation de son en fonction de pourcentage de fibre pour le mortier Figure V.9

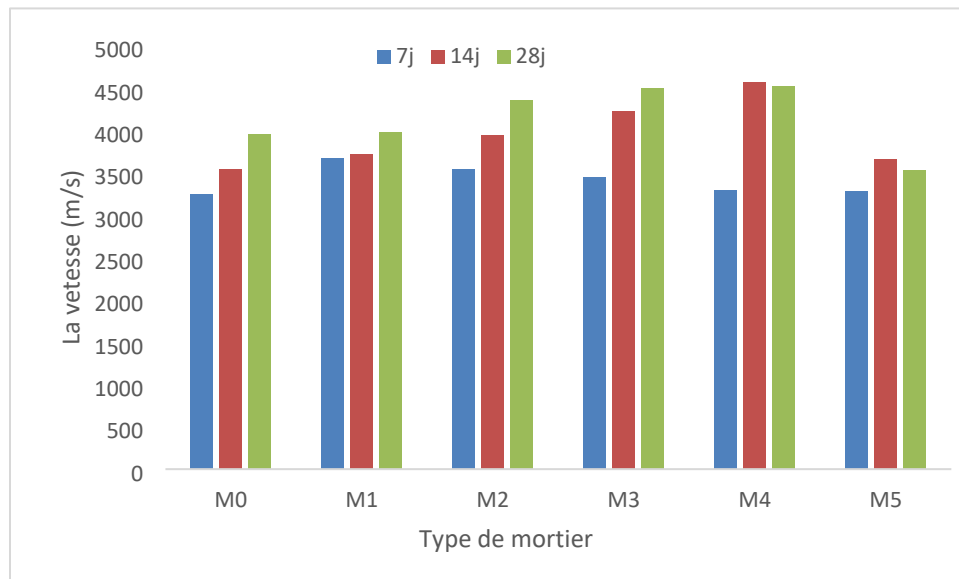


Figure IV.7: Résultats d'ultrason de mortier

La Figure III.4 illustre la variation de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores au sein des différentes formulations de mortier (M0 à M5) en fonction du pourcentage d'incorporation des fibres d'Alfa, mesurée à des échéances de 7, 14 et 28 jours de cure.

L'essai de vitesse d'ultrasons est une méthode non destructive qui permet de qualifier la compacité, l'homogénéité et la qualité interne du matériau. Plus la structure est dense et dépourvue de vides, plus la vitesse de propagation est élevée.

IV.5.2.1.Effet du dosage en fibres d'Alfa

L'analyse du graphique permet de distinguer trois comportements principaux :

- **IV.5.2.1.1.Amélioration de la compacité (M1 à M4) :** On observe une augmentation progressive de la vitesse ultrasonique des mortiers renforcés allant de M1 jusqu'à atteindre un maximum pour le mélange M4 (1% de fibres), notamment à 28 jours où la vitesse dépasse les 4500 m/s. Bien que l'introduction de fibres naturelles ait tendance à emprisonner de l'air, l'effet bénéfique et synergique de la **fumée de silice** (10%) joue ici un rôle de micro-remplisseur (filler). Elle réagit chimiquement (réaction pouzzolanique) pour former des hydrates supplémentaires qui colmatent les pores, densifient la matrice et améliorent l'adhérence autour des fibres, facilitant ainsi le passage de l'onde.
- **IV.5.2.1.2.Le mortier optimal M4 :** Le mélange M4 présente le meilleur compromis, indiquant que pour un dosage de 1% de fibres d'Alfa, la structure interne du mortier atteint sa compacité et son homogénéité maximales.
- **IV.5.2.1.3.Chute de la vitesse à fort dosage M5 :** Au-delà de 1% de fibres (mélange M5 à 1.5%), une diminution nette et brutale de la vitesse est enregistrée (redescendant sous la barre des 3600 m/s à 28j). Ce phénomène s'explique par l'excès de fibres qui provoque leur agglomération. Ces amas de fibres créent d'importants réseaux de pores et de vides interconnectés. L'air étant un

milieu très atténuateur pour les ondes acoustiques, ces vides font obstacle et ralentissent considérablement la propagation du son.

IV.5.2.2. Effet de l'âge du béton (Temps de cure)

Pour l'ensemble des mortiers étudiés, on remarque que la vitesse du son croît de manière systématique avec le temps ($7j < 14j < 28j$) :

- Ce comportement traduit la cinétique d'hydratation progressive du ciment. Au fil des jours, les produits d'hydratation (C-S-H) se développent et comblent progressivement les pores capillaires initialement occupés par l'eau libre.
- Le milieu devient de plus en plus solide, rigide et continu, ce qui optimise la transmission des ondes ultrasonores à 28 jours.

IV.5.3. Retrait

Les résultats du retrait du mortier avec différentes proportions de fibre sont représentés dans le graphique suivant :

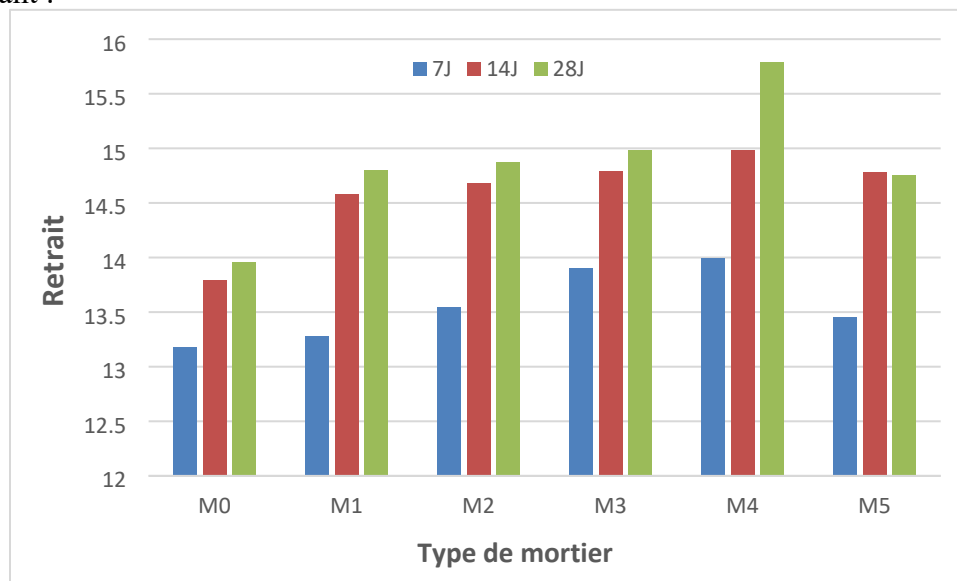


Figure IV.8 : Résultats du retrait à l'état durci

La Figure III.5 présente la variation du retrait des différentes formulations de mortier (M0 à M5) en fonction du pourcentage d'incorporation des fibres d'Alfa, mesurée aux échéances de 7, 14 et 28 jours de cure.

Le retrait est un phénomène crucial dans les matériaux cimentaires, correspondant à une diminution de volume induite principalement par la perte d'eau (retrait hydraulique/dessiccation) et par les réactions chimiques internes (retrait endogène).

IV.5.3.1. Effet du dosage en fibres d'Alfa et des adjuvants

L'examen du graphique révèle une tendance claire et progressive de l'évolution du retrait en fonction de la composition des mélanges :

IV.5.3.1.1. Augmentation continue du retrait (M1 à M4) : Par rapport au mortier témoin (M0), on constate que l'introduction des fibres d'Alfa et de la fumée de silice entraîne une

- hausse progressive des valeurs de retrait, atteignant un maximum pour le mélange M4 (1% de fibres) à 28 jours.

Explication physico-chimique : Cette augmentation est principalement attribuée à la forte finesse de la **fumée de silice**. En raison de sa très grande surface spécifique, elle exige une quantité importante d'eau et affine considérablement le réseau poreux du mortier (porosité capillaire fine). Cette modification renforce la pression capillaire lors de l'évaporation de l'eau, ce qui accentue le phénomène

de retrait plastique et de dessiccation. De plus, les fibres végétales d'Alfa possèdent un caractère hydrophile naturel qui capte une partie de l'eau de gâchage, influençant ainsi la cinétique d'hydratation et le mouvement de l'eau interne.

- **IV.5.3.1.2. Le cas du mortier optimal (M4) :** Le mélange M4, ayant montré la meilleure compacité et les propriétés mécaniques les plus élevées, enregistre également le retrait le plus important. Cela démontre une matrice très dense et réactive, où les pores fins génèrent de fortes tensions internes.
- **IV.5.3.1.3. Diminution du retrait pour le fort dosage (M5) :** Pour le mélange M5 (1.5% de fibres), on observe une rupture de cette tendance avec une baisse du retrait à 14j et 28j par rapport à M4.

Explication : Comme mis en évidence dans les essais précédents (chute de la vitesse ultrasonique et des résistances), le dosage excessif de 1.5% de fibres crée des amas de fibres et une forte porosité macroscopique (gros pores). Ces pores de grande taille réduisent drastiquement la pression capillaire interne (qui est inversement proportionnelle au rayon des pores), ce qui limite mécaniquement l'amplitude du retrait globale de la matrice.

IV.5.3.2. Effet du temps de cure (Évolution temporelle)

Pour toutes les formulations, le retrait se développe de manière continue au cours du temps ($7j < 14j < 28j$) :

Cette cinétique est tout à fait conventionnelle. Le retrait progresse rapidement durant les premiers jours (entre 7 et 14 jours) en raison de l'évaporation active de l'eau libre et des réactions initiales d'hydratation, puis tend à se stabiliser à des échéances plus longues (28 jours) à mesure que le réseau cimentaire se solidifie et que l'humidité interne s'équilibre avec le milieu ambiant.

IV.5.3.2.1. Analyse visuelle du mode de rupture

La figure V.11 montre l'état des échantillons des composites mortier après l'essai de la résistance à la flexion à 28 jours



La Figure illustre l'état des éprouvettes prismatiques de mortier composite après avoir été soumises à l'essai de résistance à la flexion à 28 jours de cure. L'observation macroscopique des faciès de rupture fournit des informations qualitatives cruciales sur le comportement ductile ou fragile du matériau ainsi que sur l'efficacité du pontage des fibres d'Alfa.

IV.5.3.2.1.1. Faciès de rupture et distribution des fibres :

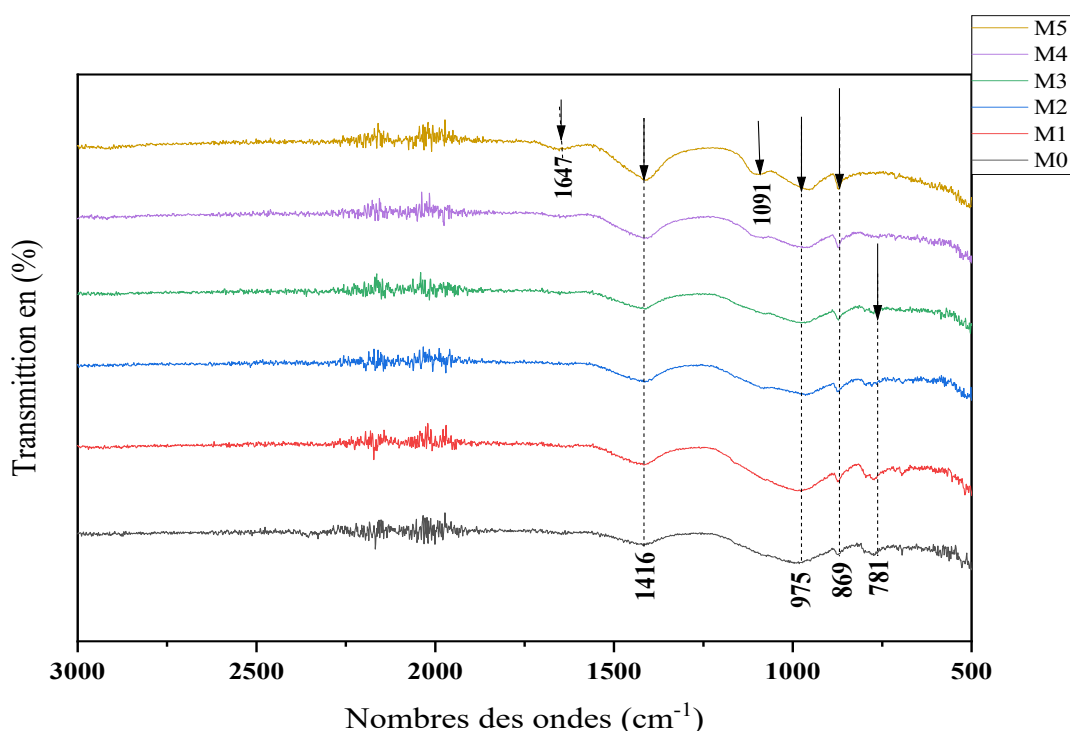
- Maintien de l'intégrité après rupture (Non-séparation brutale) : Contrairement à un mortier ordinaire (témoin) qui subit généralement une rupture fragile et soudaine se traduisant par une séparation nette et immédiate en deux morceaux distincts, les éprouvettes renforcées en fibres d'Alfa (comme observé de manière détaillée sur le zoom de la formulation à 0.75%) montrent une rupture plus contrôlée.

IV.5.3.2.1.2. Évolution de l'aspect de la matrice selon le dosage :

L'alignement des différentes éprouvettes (allant de 0.25% à 1.5%) permet de mettre en évidence des modifications physiques de la matrice :

- Dosages modérés (0.25% à 1%) : La surface de rupture reste relativement homogène et compacte. La répartition des fibres semble uniforme sur toute la section transversale, confirmant la bonne efficacité du super plastifiant et de la fumée de silice pour assurer un enrobage optimal de chaque filament.
- Fort dosage (1.5%) : On peut observer visuellement une texture légèrement plus hétérogène ou rugueuse sur les bords de l'échantillon à 1.5%. Cela témoigne graphiquement de la difficulté d'homogénéisation à fort pourcentage, où la formation d'amas microscopiques de fibres tend à piéger des microbulles d'air, ce qui corrobore la chute des propriétés mécaniques et de la vitesse ultrasonique analysées précédemment.

IV.6.1. Analyse ATR-FTIR



Conclusion Générale

Cette étude a exploré l'impact de l'incorporation des fibres d'Alfa 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'étalement, la masse volumique (à l'état frais et durci), la résistance à la flexion, la résistance à la compression, la vitesse d'ultrasons, le retrait et l'absorption à différents âges (7, 14 et 28 jours) permettent de tirer les conclusions principales suivantes :

L'introduction des fibres d'Alfa modifie la rhéologie du mortier. On note une diminution de l'étalement (maniabilité) à l'état frais à mesure que le pourcentage de fibres augmente, en raison de la nature hydrophile des fibres végétales. De même, la masse volumique à l'état frais et durci subit une légère baisse induite par la faible densité intrinsèque des fibres et l'air occlus.

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

L'incorporation des fibres d'Alfa, combinée à l'action pouzzolanique de la fumée de silice, améliore de manière significative les résistances à la flexion et à la compression. **Le dosage de 1% (mélange M4) s'est révélé être le seuil optimal**, offrant les meilleures performances mécaniques à 28 jours grâce à un excellent effet de pontage des fissures.

Les résultats de la résistance à la flexion à 28 jours ont montré que le renforcement par les fibres d'Alfa 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 M4 (1 % – 2 cm) a présenté la résistance absolue la plus élevée, tandis que M2 et M3 ont offert le meilleur compromis de ductilité tout en conservant une excellente résistance. Cependant, la composition M5 a marqué le seuil critique de l'étude, où l'excès de fibres a entraîné une chute des performances mécaniques malgré la ductilité recherchée, ce qui confirme que l'efficacité des fibres végétales reste tributaire d'un dosage optimal.

L'incorporation des fibres d'Alfa, combinée à l'action de la fumée de silice, a permis de maintenir, voire d'améliorer la résistance à la compression. Les dosages optimaux en fibres (notamment la composition **M4 à 1%** et **M3 à 0.75%**) ont donné les meilleures résistances à la compression, surpassant ainsi le mortier témoin M0 grâce à la densification de la matrice

Les essais non destructifs par ultrasons confirment que la vitesse de propagation des ondes suit la même tendance que les résistances mécaniques. La compacité maximale est atteinte pour la formulation M4, ce qui démontre une matrice cimentaire dense et homogène.

Le retrait du mortier augmente progressivement jusqu'à la formulation M4, ce qui s'explique par l'affinement du réseau poreux et les fortes pressions capillaires générées par la finesse de la fumée de silice.

L'évolution de l'absorption d'eau met en évidence l'impact de la porosité. À de faibles et moyens dosages, la fumée de silice parvient à colmater les pores, maintenant l'absorption à des niveaux acceptables.

Au-delà du seuil de 1% (mélange M5 à 1.5%), toutes les propriétés physiques et mécaniques chutent brutalement. Ce déclin est directement lié au phénomène d'agglomération des fibres (effet de bouillage), créant une forte porosité interne (vides) qui ralentit les ultrasons, diminue le retrait apparent, et affaiblit globalement la structure.

Pour l'ensemble des essais, les performances s'améliorent de manière continue de 7 à 28 jours, traduisant la cinétique normale d'hydratation du ciment et l'effet à long terme de la fumée de silice.

En conclusion, l'étude confirme que les fibres d'alfa traitées au NaOH sont un renfort très efficace pour les mortiers, permettant d'obtenir un matériau à la fois plus résistant (en flexion et en compression) et plus ductile, tout en maintenant une compacité adéquate grâce à l'apport de la fumée de silice. L'optimisation des dosages est cruciale, avec des concentrations allant de **0.75% à 1%** 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.

En somme, cette étude démontre la faisabilité technique de valoriser les fibres d'Alfa traitées au NaOH comme renforcement écologique dans les matrices cimentaires. Pour une application structurelle ou semi-structurelle optimale, un dosage strict ne dépassant pas **1% de fibres** est vivement recommandé afin de garantir le meilleur compromis entre durabilité, compacité et résistance mécanique.

Étudier l'impact de l'incorporation des fibres d'Alfa dans des matrices cimentaires alternatives ou à faible empreinte carbone, telles que les ciments éco-efficients (composés de laitiers ou de pouzzolanes) ou les géopolymères.

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.
- ✓ Évaluer le comportement des mortiers renforcés en fibres d'Alfa face aux agressions environnementales sévères, notamment à travers des essais de cycles de gel-dégel, de cycles de mouillage-séchage, et de résistance aux milieux agressifs (attaques sulfuriques ou acides).
- ✓ Comparer l'efficacité du traitement au NaOH utilisé dans cette étude avec d'autres types de traitements écologiques ou chimiques (comme l'acétylation, le traitement au silane ou l'utilisation d'enzymes) afin d'améliorer encore plus l'adhérence à l'interface fibre-matrice et de réduire le caractère hydrophile de la fibre.
- ✓ 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.

Références

- [1]: KHALED , BOUALI . Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires. 2015. Thèse de Doctorat. Boumerdes.
- [2]: A.M. Neville, Propriétés des bétons, Éditions Eyrolles, Paris, France, 2000.
- [3]: M. S. Mamlouk et J. P. Zaniewski, Matériaux pour génie civil, Pearson Education, 2003.
- [4]: P. C. Hewlett, Lea's Chemistry of Cement and Concrete, 4th Edition, Elsevier, England, 1998
- [5]:
H. F. W. Taylor, Cement Chemistry, 2nd Edition, Thomas Telford Publishing, London, 1997.
- [6]: H. F. W. Taylor, Cement Chemistry, 2nd Edition, Thomas Telford Publishing, 1997
- [7]: M. S. Mamlouk et J. P. Zaniewski, Matériaux pour génie civil, Pearson Education, 2003.
- [8]: P. C. Hewlett, Lea's Chemistry of Cement and Concrete, 4th Edition, Elsevier, 1998
- [9]: A.M. Neville, Propriétés des bétons, Éditions Eyrolles, Paris, 2000.
- [10]: Norme Européenne EN 197-1, Ciment – Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants, 2011
- [11]: NF EN 197-1, Ciment — Partie 1 : Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants, AFNOR, 2012.
- [12]: Dreux, G. et Festa, J., Nouveau guide du béton et de ses constituants, Eyrolles, 1998.
- [13]: Association Française de Normalisation. NF EN 197-1 : Ciment — Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants. Paris : AFNOR.
- [14]: Association Française de Normalisation. NF EN 196-3 : Méthodes d'essais des ciments — Détermination du temps de prise et de la stabilité. Paris : AFNOR.
- [15]: Association Française de Normalisation. NF EN 12620 : Granulats pour béton. Paris : AFNOR.
- [16]: Association Française de Normalisation. NF EN 1008 : Eau de gâchage pour bétons — Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi. Paris : AFNOR.
- [17]: Association Française de Normalisation. NF EN 934-2 : Adjuvants pour béton, mortier et coulis. Paris : AFNOR.
- [18]: Association Française de Normalisation. NF EN 934-2 : Adjuvants pour béton, mortier et coulis — Définitions, exigences, conformité, marquage et étiquetage. Paris : AFNOR
- [19]: Association Française de Normalisation. NF EN 934-2 : Adjuvants pour béton, mortier et coulis — Définitions, exigences et conformité. Paris : AFNOR.
- [20]: hamel Chourouk_bouheka Abdia "ÉTUDE DES MORTIERS à BASE D'UNE POZZOLANE NATURELLE LOCALE" Spécialité : Génie civil Option :structures UNIVERSITÉ IBN KHALDOUN DE TIARET

-
- [21]: Jean FESTA, Georges DREUX, nouveau guide du béton et ses constituants, 8ème édition, EYROLLES, 2007
- [22]: Lakel Adel, « *Évaluation de la dégradation de propriétés et le comportement du béton polymère à renfort de fibres végétales et additifs minéraux* », mémoire master, université de M'sila, Juin 2012.
- [23]: Bezato Tsaranofy Zita Fredo, « *les palmiers dattiers : étude de la filière, utilisation et diversité variétale* », mémoire DEA, université de Tolirara, domaine biologie végétales, juillet 2013
- [24]: Bates.J, « *les fibres naturelles pour les composites* », KU.LEUVEN, octobre 2014.
- [25]: Aurélie Vissac, « *matière en fibre* », mémoire du diplôme de spécialisation et d'approfondissement architecture de terre, septembre 2014
- [26]: Yahiaoui Lamia, « *caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales Diss* », mémoire magister, option mécanique applique, université de Sétif, 2011.
- [27]: Moktari Abdessamed, « *influence des ajouts de fins minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcé de fibre végétales de palmier dattier* », université de Kasdi Merbah Ouargla option génie civil, novembre 2006.
- [28]: Sofien Bouzouita, « *optimisation des interfaces fibre-matrice de composites à renfort naturel* », thèse doctorat, école centrale de Lyon, France, janvier 2013.
- [29]: CARMA, « *Glossaire des matériaux composites renforcés des fibres d'origine renouvelable* », centre d'animation régional en matériaux avances, Décembre 2006.
- [30]: Daghefel Azzedine, « *Étude du comportement à la rupture du béton polymère renforcé par des fibres végétales* », mémoire master, université de M'sila, juin 2012.
- [31]: Baali Hafida, « *étude de l'effet du traitement chimique des fibres de palmier dattier sur le comportement mécanique du béton polymère* », mémoire master, université de M'sila, juin 2014.
- [32]: Aïtcin, P.-C. (2000). High Performance Concrete. London: E & FN Spon. ISBN: 978-0419235507.

Annexes 01:



50kg

ماتين MATINE

ALGÉRIE

LAFARGE
Construire
des villes meilleures™



Ciment portland au Calcaire

NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine Ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments

Matine
NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA442 – 2013) et Européenne (EN 197-1)

AVANTAGES PRODUIT



- Une résistance initiale élevée pour vos ouvrages nécessitant un décoffrage rapide
- Favorise la maniabilité du béton et le maintien de sa rhéologie
- Une Classe Vraie qui offre une haute performance au béton.
- Meilleure durabilité du béton.

MEMBRE DE
HOLCIM

APPLICATIONS RECOMMANDÉES



- Construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments
- Préfabrication légère
- Béton de haute performance



FORMULATION CONSEILLÉE



	Ciment 	Sable (sec) 	Gravillons (sec) 		Eau (litres) 
Dosage pour béton C25/30	X 1 	+ X7 	+ X5 	+ X4 	+ 25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES



• Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	Max 5%
Teneur en Chlorures (NA5042) (%)	< 0,1

• Temps de prise à 20° (NA 230)

	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

• Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	8±2

• Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10,0
28 jours (MPa)	≥ 42,5

• Propriétés physiques

	Valeur
Consistance Normale (%)	26,5±2,0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm²/g) (NA231)	3 700 - 5 200
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3,0

CONSIGNES DE SÉCURITÉ



1- PROTÉGEZ VOTRE PEAU : Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

2- MANUTENTION : levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.

MEMBRE DE
HOLCIM



Conditionnement:  / 

LAFARGE ALGÉRIE

Bureau n°02, 16ème étage, tour Geneva,
les Pins maritimes, Mohammadia, Alger.
tél: + 213 (0) 21 98 54 54
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94
www.lafargealgerie.com
dz.satisfaction-clients@lafargeholcim.com
Tél: 021 98 55 55

LAFARGE
لافارج



MasterGlenium SKY 3080

Superplastifiant, haut réducteur d'eau avec un long maintien de rhéologie

DESCRIPTION

MasterGlenium SKY 3080 est un superplastifiant haut réducteur d'eau, issu du long savoir de MBS Construction Chemicals en termes de formulation et d'innovation. MasterGlenium SKY 3080 a été développé pour optimiser la production du béton prêt à l'emploi où qualité, durabilité, performance, ouvrabilité, faible viscosité et robustesse sont requises.

Particularités du MasterGlenium SKY 3080

Il se différencie des superplastifiants traditionnels par sa facilité d'utilisation notamment pour les bétons fluides et auto-plaçant, même avec des dosages très faibles. Cette faible viscosité alliée à une grande robustesse de béton permettent au MasterGlenium SKY 3080 d'améliorer considérablement le comportement dynamique et ainsi la mise en œuvre des bétons, tout en optimisant le dosage en liant du béton.

DOMAINES D'APPLICATION

MasterGlenium SKY3080 est recommandé pour la fabrication de béton de consistance plastique à auto-plaçant nécessitant un long maintien d'ouvrabilité (2heures et plus) et aux performances initiales élevées. MasterGlenium SKY 3080 est donc adapté à l'industrie du béton prêt à l'emploi et aux chantiers de Génie Civil.

Recommandé pour les usages suivants :

- Béton à très long maintien d'ouvrabilité
- Béton Pompé à longues distances
- Béton architectonique
- Béton Auto Plaçant
- Béton Auto Nivelant
- Béton à faible E/C et long maintien d'ouvrabilité

PROPRIÉTÉS ET AVANTAGES

MasterGlenium SKY 3080 a un excellent effet d'ouvrabilité qui permet de conserver une consistance S4 ou S5 sur des bétons à faibles E/C pendant 120 minutes sans retard de prise

MasterGlenium SKY 3080 offre les avantages suivants :

- Béton à faible viscosité même à faible rapport E/C
- Long maintien d'ouvrabilité sans retard de prise préjudiciable
- Béton à haute performance
- Optimisation des dosages en liant
- Grande plage de dosage possible
- Bonne réactivité avec les granulats concassés

- Bonne robustesse vis-à-vis du ressuage et de la ségrégation
- Amélioration de la durabilité liée au faible E/C
- Pompage sur de longues distances
- Amélioration de la durabilité liée au faible E/C
- Pompage sur de longues distances
- Amélioration des parements

CARACTÉRISTIQUES

Aspect	Liquide
Couleur	Brun à brun clair
Densité à 25 °C	1,07 ± 0,02 g/cm ³
Chlorures	<0,1%
pH	5,5 ± 1,8
Teneur en Nitrate	< 2%

MODE D'EMPLOI

L'effet optimal est obtenu par incorporation du MasterGlenium SKY 3080 dans le béton en différé, c'est-à-dire après l'addition de 70% de l'eau de gâchage dans le malaxeur.

Toutefois il est possible d'incorporer le produit dans l'eau de gâchage.

Éviter d'ajouter le MasterGlenium SKY 3080 sur les granulats secs.

DOSAGE

Plage normale d'utilisation

0,2 % à 1,7% du poids du ciment, soit 0,19 Litres à 1,9Litres pour 100 Kg de ciment. Pour d'autres utilisations, consultez votre représentant local.

NORME / AGREMENT

- Conforme à la norme EN 934-2
- PV CNERIB disponible.

COMPATIBILITÉ

Pour une utilisation en synergie avec un autre adjuvants de la gamme MBS, consultez votre représentant local.

CONDITIONNEMENT

MasterGlenium SKY 3080 est disponible dans les conditionnements suivants :

- Container de 1000 litres
- Fût de 210 litres
- En vrac



MasterGlenium SKY 3080

Superplastifiant, haut réducteur d'eau avec un long maintien de rhéologie

RECOMMANDATION

En cas de gel, stocker le produit à une température proche de + 30 °C et agiter mécaniquement

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

MasterGlenium SKY 3080 ne contient aucune matière dangereuse nécessitant un étiquetage particulier. Pour de plus amples informations, se référer à la fiche de données de sécurité

STOCKAGE

MasterGlenium SKY 3080 doit être stocké à une température supérieure à 5°C

Il doit être stocké comme recommandé dans les paragraphes de la fiche de données de sécurité.

DURÉE DE VIE

La durée de conservation est de 12 mois, à compter de la date de fabrication

Les informations données sont réelles, représentent notre savoir actuel et sont basées non seulement sur des essais en laboratoire mais également sur les expériences externes. Cependant, du fait de nombreux facteurs affectant les résultats, nous offrons ces informations sans garantie et aucune responsabilité ne pourra nous être imputée.

Pour plus d'informations ou de questions, Contacter votre représentant local.

MBS Construction Chemicals

Zone Industrielle Sidi Moussa, Route de Dar El Beïda,
District 13 Ilot N° 15 Alger, Algérie
Tél. +213 (0) 21 760 220/222
Fax +213 (0) 21 760 233

Nos fiches techniques ont pour objectif de vous conseiller d'après nos connaissances les plus récentes, nous nous réservons donc le droit de modifier à tout moment le contenu de celles-ci. L'emploi des produits doit être adapté aux conditions spécifiques à chaque situation. Pour toute précision complémentaire, nous vous conseillons de prendre contact de votre représentant local.

® = registered trademark of MBS group in many countries