



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



UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA –BOUMERDES

Mémoire de Fin D'études
En vue de L'obtention du diplôme master
Filière : Science et Génie des matériaux
Option: Construction durable

Thème

Influence de la quantité de fibres naturelles (alfa) et commerciales (polypropylène) sur les propriétés physico-mécaniques des mortiers fibrés.

Réalisé par :

M^{elle}: Nassah Dalila

Suivi par :

Mr : M. Saidi
M^{elle} : I. Djefour

2016/2017

Résumé

Les fibres alfa ont été utilisées afin de remplacer des fibres de verre et de carbone, qui ont un coût très élevé qui influe sur le prix de revient du produit fini.

Le projet de recherche présenté dans ce mémoire, a pour principal objectif de faire une étude comparative sur des mortiers à base de différents types de fibres telles que : la fibre alfa extraite mécaniquement, chimiquement et la fibre artificielle (polypropylène) dont les pourcentages varient de 0.5% ; 1% ; 1.5% et 2% de la masse du ciment, pour chaque fibre afin de connaître l'influence du taux de fibre (naturelle et commerciale) sur les propriétés physico-mécaniques des mortiers fibrés. Les résultats obtenus montrent que les performances des mortiers fibrés sont améliorées par l'incorporation des fibres pour un pourcentage de fibre optimal de 0,5 % pour les fibres de polypropylène, 1 % pour les fibres traitées chimiquement et 2% pour la fibre alfa traitée mécaniquement avec des résistances (46.41MPa) à compression et (4.99MPa) à la flexion. Cette étude nous permet aussi de conclure que les fibres extraites par traitement mécanique sont plus adéquates pour la confection des mortiers fibrés.

Mots Clés : mortier fibré, fibre alfa, fibre polypropylène, résistance mécanique traitement chimique et mécanique.

Abstract

The alfa fibers were used in order to replace carbon and glass fibers, which have a very high cost which influences the price of the final product.

The research project presented in this memory, has is intended to make a comparative study on mortars containing various types of fibers such as: mechanically and chemically extracted the alfa fiber and the artificial fiber (polypropylene) of which the percentages vary from 0.5%; 1%; 1.5% and 2% of the mass of cement, for each fiber in order to know the influence of the fiber rate (natural and commercial) on the physic mechanical properties of the mortars fibers. The gotten results show that the performances of the mortars fibers are improved by incorporation of fibers for an optimal percentage of fiber of 0,5% for fibers of polypropylene, 1% for alfa fibers treated chemically and 2% for the alfa fiber treated mechanically with resistances (46.41MPa)to compression and (4.99MPa) the inflection.

This study enables us to conclude that the alfa fibers extracted by mechanical treatment are more adequate for the clothes industry of the mortars fibers.

Keywords: Mortar fiber, Alfa fiber, fiber polypropylene, mechanical resistance chemical and mechanical treatment.

ملخص:

ألياف الحلفاء قد استخدمت من أجل استبدال الألياف الزجاجية، الكربون، التكلفة المرتفعة تؤثر في تكلفة المنتج النهائي.

مشروع البحث المقدم في هذه المذكرة، يتمثل الهدف الأساسي من دراسة مقارنة خليط الملاط على أنواع مختلفة من الألياف مثل ألياف الحلفاء المسترجعة ميكانيكياً وكيميائياً والألياف الاصطناعية ألياف البولي بروبيلان بنسب تتراوح من 0.5 بالمائة إلى 2 بالمائة من كتلة الاسمنت في كل نوع من الألياف من أجل معرفة تأثير الألياف الطبيعية والصناعية على الخصائص الفيزيوميكانيكية لخليط الملاط بالألياف.

النتائج تشير أن خصائص خليط الملاط بالألياف تحسنت عند إضافة ألياف البولي بروبيلان في النسبة 0.5 بالمائة وفي ألياف الحلفاء المعالجة كيميائياً في النسبة 1 بالمائة أما عند إضافة ألياف الحلفاء المعالجة ميكانيكياً أعطت أحسن نتيجة عند نسبة 2 بالمائة بمقاومة 46.41 ميغا باسكال عند الضغط 4.99 ميغا باسكال عن الالتواء.

من هذه الدراسة نستنتج إن ألياف الحلفاء المعالجة ميكانيكياً هي كافية لتحسين عمل خليط الملاط بالألياف.

الكلمات المفتاحية:

المعالجة الكيميائية والميكانيكية، المقاومة الميكانيكية، ملاط بالألياف، ألياف الحلفاء ألياف البولي بروبيلان.



Remerciements

J'exprime mes sincères remerciements :

*A l'ensemble du personnel de laboratoire LNHC en particulier le chef de service **Ami Arezki**, le chef de laboratoire des matériaux **Mr. D.Mustapha**, les ingénieurs **Mr. Hilal** et **Mr. Z. Belhadj** et le technicien **Mr Amine**, pour leur accueil et leur disponibilité qui n'ont ménagé aucun effort pour mener à bien ce modeste travail.*

*Mes remerciements vont aussi à notre promoteur **Mr. M.SAIDI** et à notre Co promotrice **Melle I.DJEFOUR** pour leurs aides, leurs dévouements, leurs conseils pour la réalisation de ce mémoire.*

*A toute l'équipe de l'unité du recherche UR/MPE surtout **Ami Said***

*A mes amis **B.Mustapha**, **Nadia** et **Nawel***

Merci à tous





Je dédie ce modeste travail :

*A Celle qui m'a donné la vie et l'envie
de vivre, à celle qui m'a entouré de sa tendresse, à celle
qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation,
à ma très chère mère.*

*A celui qui a été toujours là pour moi, à celui qui
m'indique la bonne voie en me rappelant que la volonté
fait toujours les grands hommes, à mon adorable
papa.*

Mes très chers frères Ferhat et Mohamed.

*A ma sœur Ratiba et son mari Rabah et ses enfants Ouissam,
Ghiles et Yani.*

*A ma sœur Hafida et son mari Miloud et ses enfants Abd alhadi
et Abd alwahab.*

Mes sœurs Atika et Samira.

A ma copine de chambre Sara et son fils Iyad.

*A tous mes ami (es) son exception et spécialement pour
les étudiants du groupe MCD15 et MCQ 15
Génie des matériaux*

Nassah Dalila



SOMMAIRE

Présentation de l'entreprise

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....1

Chapitre I

Généralité sur les mortiers et les bétons fibré

I.1. Mortier3

I.1.1. Définition d'un mortier3

I.1.2. Domaines d'utilisation des mortiers4

I.2. Béton fibré4

I.2.1 Définition de béton fibré4

I.2.2. Les constituants d'un béton de fibre :5

I.2.2.1. Les ciments5

I.2.2.2. Les granulats :6

I.2.2.3. Les fibres :7

I.2.2.4. L'eau de gâchage :8

I.2.2.5. L'adjuvant et additifs :8

I.2.3. Comportement Mécanique des Bétons de Fibres8

I.2.4. Formulation de béton de fibre :9

I.2.5. Objectif d'une formulation :9

I.2.6. Domain d'application de béton fibrés :9

I.2.7. Mise en œuvre de béton de fibre :10

I.2.8. Les avantages du béton fibré :11

I.2.8.1. Aspect technique ;11

I.2.8.2. Aspect économique :	11
I.3. Conclusion :	11

Chapitre II

Généralité sur les fibres

II.1. Introduction	13
II.2. Définition de la fibre	13
II.3. Différent types de fibre	13
II.3.1. Fibres naturelles.....	14
II.3.1.1. Les fibres végétales	14
II.3.1.2. Classification des fibres végétales	15
II.3.1.3. Caractéristiques Physiques et Mécaniques des Fibres Végétales	16
II.3.1.4. Structure de la fibre végétale	17
II.3.1.5. Composition chimique des fibres végétales	18
II.3.1.5.1. La cellulose :	18
II.3.1.5.2. L' hémicellulose.....	19
II.3.1.5.3. lignine	20
II.3.1.5.4. Les pectines.....	21
II.3.6. Organisation de la paroi végétale	22
II.3.1.7. Les avantages et inconvénients des fibres végétales.....	23
II.3.2. La fibre d'Alfa.....	23
II.3.2.1. La morphologie de la plante	24
II.3.2.2. Répartition géographique	25

II.3.2.3. Composition chimique	26
II.3.2.4. La récolte de l'Alfa	27
II.3.2.5. Domaines d'applications	27
II.3.2.6. Intérêt écologique et enjeu socio-économique.....	29
II.3.2.7. Méthodes d'extraction d'alfa.....	30
II.3.2.7.1.L'extraction mécanique	31
II.3.2.7.2. L'extraction chimique :	32
II.3.2. Fibres synthétiques d'origine minérale.....	33
II.3.2.1. Fibre de verre	33
Figure N°21: fibre de verre.....	33
II.3.2.2. Fibre métallique	34
II.3.2.3. Les Fibres de Carbone.....	34
II.3.3. Fibres synthétiques organique.....	35
II.3.3.1. Fibre d'amiante	35
II.3.3.2. Les Fibre polypropylène.....	35
II.4. Rôle des fibres	37
II.5. Conclusion.....	38

RTIE PRATIQUE

L'objectif et le plan du travail du la partie pratique.....	39
---	----

Premier partie

[Analyse et caractérisation des constituants](#)

I.1. l'eau :	40
I.2. Le ciment :	40
I.2.1. Caractérisation du ciment.	40
I.2.2. Caractéristiques mécaniques du ciment.	42
I.2.3. Caractéristiques physiques du ciment.	43
I.3. les fibres :	43
I.3.1 fibre de polypropylène :	43
I.3.1.1. Description :	43
I.3.1.2. Propriétés :	44
I.3.1.3. Les caractéristiques :	44
I.3.1.4. Les applications privilégiées des bétons de fibres de polypropylène sont les	44
1.3.2 Fibre Alfa	45
I.3.2.1. Extraction mécanique.	45
I.3.2.2. Extraction chimique.	47
I.4. le sable :	47
I.4.1. Analyse granulométrique de sable	48
I.4.2. Equivalent de sable :	50

Deuxième partie

[Elaboration des différentes formulations](#)

II.1. Préparation des mortiers :	51
II.1.1. Mortier normal (Témoin) :	51
II.1.2. Malaxage du mortier :	52
II.1.3. Préparation des éprouvettes :	52
II.1.4. Démoulage et conservation des éprouvettes :	53
II.1.4.1. Mortier fibré.	53

II.1.4.2. Malaxage du mortier fibré.....	53
--	----

Troisième partie

Les caractéristiques physico-mécaniques

III.2. Résistance à la compression :.....	60
III.2.1. Mortiers élaborés avec des Fibre de polypropylène :.....	60
III.2.2. Mortiers élaborés avec la fibre alfa traité mécaniquement.....	62
III.2.3. Mortiers élaborés avec des fibres alfa traitées chimiquement :	63
III.3. Traction des fibres alfa :.....	66
III.3.1. Fibre alfa traitée mécaniquement :	67
III.3.2. Fibre alfa traitée chimiquement :	68
Conclusion générale	70

Annexe

Référence

Liste des tableaux

Partie théorique

Chapitre 1

Tableau N°1 : Dimension et caractéristique des familles de granulats.	6
Tableau N°2 : Différents types de fibres.	7
Tableau N°3 : Domaines d'application du béton fibré.	10

Chapitre 2

Tableau N°4(a) : Les caractéristiques physiques des fibres végétales les plus utilisées	16
Tableau N°4(b) : Les caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales	16
Tableau N°5 : Propriétés des pectines CP Kelco	22
Tableau N°6 : Composition chimique d'Alfa selon plusieurs sources.....	26

Partie pratique

Premier partie

Tableau N°07 : La composition chimique ciment CEM II/A 42.5.	40
Tableau N°08 : Caractéristiques minéralogiques de ciment.....	41
Tableau N°09 : Caractéristiques mécaniques du ciment CEM II/A 42.5.....	42
Tableau N°10: Caractéristiques physiques du ciment CEM II/A 42.5.....	43
Tableau N°11 : Quantité de sable dans les tamis	38
Tableau N°12 : Analyse granulométrique de sable.	48
Tableau N°13 : Résultat d'équivalent de sable.	51

Deuxième partie

Tableau N°14 : Les quantités de fibre.	53
---	----

Troisième partie

Tableau N°15: Résistance à la flexion à 07 jours et 28jours de mortier de fibre polypropylène.	55
Tableau N°16: Résistance à flexion des mortiers de fibre alfa traitement mécanique.....	56
Tableau N°17: Résistance à flexion des mortiers de fibre alfa traitement chimique	57
Tableau N°18 : Résistance à flexion des mortiers fibré	59
Tableau N°19: Résistance à compression des mortiers de fibre polypropylène.....	61
Tableau N°20: Résistance à compressiondes mortiers de fibre alfa traitement mécanique.	62
Tableau N°21: Résistance à compression des mortiers de fibre alfa traitement chimique.....	63
Tableau N° 22: Résistance à la compression à 28 jours des mortiers fibrés.....	65
Tableau N°23 : Propriétés mécanique des mortiers de fibre alfa traitement mécanique.....	67
Tableau N°24: Propriétés mécanique des mortiers de fibre alfa traitement chimique.....	68

Liste des figures

Partie théorique

Chapitre 1

Figure N° 01 : Constituants des mortiers.....	3
Figure N°2: Diagramme de phase ternaire CaO-SiO ₂ -Al ₂ O ₃ , et repérage des compositions	Erreur ! Signet non défini.
Figure N°3 : Différents granulats	7

Chapitre 2

Figure N°4 : Organigramme des différents types de fibres naturelles	14
Figure N°5 : Classification des fibres végétales selon l'origine	Erreur ! Signet non défini. 15
Figure N°6: Structure du bois (observations multi échelles).....	17
Figure N°7: Modèle de description de la structure d'une fibre végétale.	18
Figure N°8: Molécule de la cellulose.	18
Figure N°9 : Structure de la micro fibrille de cellulose.....	19
Figure N°10 : Structure d'un type de xyloglucane.....	20
Figure N°11 : Structure de base de lignine.....	21
Figure N°12 : Structures possibles de lignine.....	21
Figure N°13 : Organisation de la cellule végétale	22
Figure N°14 : Représentation de la plante alfa.....	25
Figure N°15 : Photo de la plante alfa avec indication des parties Principales.....	25
Figure N°16 : Illustrations de la plante d'Alfa à l'état brut	26
Figure N°17. Les différentes étapes de la récolte de l'Alfa (a) l'arrachement, (b) la collecte et (c) la mise en balle.....	27

Figure N°18. Des exemples d'artisanat Alfatière (des paniers, des paillassons,.....	28
Figure N°19. Illustrations de la pâte d'Alfa commercialisée par la SNCPA	29
Figure N°20. Ecang pour teillage manuel (a) cylindres cannelées pour teillage mécanique (b)	31
Figure N°21 : fibre de verre.....	33
Figure N°22 : Exemples de fibres métalliques	34
Figure N°23 : Fibres de Carbone	35
Figure N°24 : fibre polypropylène.	36
Figure N°25 : Illustration de l'apport du renfort par des fibres.	37

Partie pratique

Premier partie

Figure N°26 : Diagramme circulaire de la composition chimique du ciment	41
Figure N°27 : Graphe de caractéristiques mécaniques.....	42
Figure N°28 : fibre polypropylène.	44
Figure N°29 : L'Alfa à l'état brut.....	46
Figure N°30 : Séchage à l'air libre.....	46
Figure N°31: Séparation des tiges.....	46
Figure N°32 : les méthodes d'extractions d'alfa.....	47
Figure N°33: série des tamis.	49
Figure N°34 : Courbe granulométrique du sable.	49
Figure N°35 : Mesure des particules fines.....	50

Deuxième partie

Figure N°36 : Malaxeur.....	52
Figure N°37: Eprouvette prismatique.....	53
Figure N°38: Mortier fibré.....	54

Troisième partie

Figure N°39: Appareil de flexion.....	54
Figure N°40: Résistance à la flexion des mortiers témoin et pp.....	55
Figure N°41: Résistance à flexion des mortiers de fibre alfa traitement mécanique	57
Figure N°42: l'histogramme de résistance à flexion des mortiers de fibre alfa traitement chimique.....	58
Figure N°43: L'histogramme de résistance à flexion des mortiers fibré	59
Figure N°44: Compression des éprouvettes.....	60
Figure N°45 : L'histogramme de résistance à compression des mortiers de fibre polypropylène.....	61
Figure N°46 : L'histogramme de résistance à compression des mortiers de fibre alfa traitement mécanique.....	62
Figure N°47: Résistance à compression des mortiers de fibre alfa traitement chimique.....	64
Figure N°48: Histogramme des résistances à la compression des mortiers en fonction du type de fibre.....	65
Figure N°49: Mesure d'épaisseur.....	66
Figure N°50: Appareil de traction de la fibre.	67
Figure N°51: Variation de la contrainte en fonction de l'allongement de fibre alfa traitée mécaniquement.....	68
Figure N°52: Variation de la contrainte en fonction de l'allongement de fibre alfa traitée chimiquement.....	69

Présentation de LHCC

Laboratoire de l'habitat et de la construction de centre LHCC

1. Présentation de l'entreprise

Le laboratoire de l'habitat et de la construction du centre « **L.H.C.C** » est une filiale du groupe laboratoire national de l'habitat et de la construction « **L.N.H.C** », créée suite à sa restructuration.



Le L.H.C.C présente à ce jour une expérience professionnelle de 30 ans dans l'ingénierie géotechnique et de matériaux de la géotechniques des terrassements des fondations et des ouvrages de soutènement grâce à laquelle il s'est rapidement imposée comme un acteur incontournable de la géotechniques, il dispose d'une maîtrise globale de toute la chaîne de l'ingénierie géotechnique et de chacun de ses domaines particulière des études à la réalisation des travaux

Le L.H.C.C est composé de 6 unités et 2 entités réparties sur la région centre et emploie un effectif de plus de 400 personnes hautement qualifiées dont 45% d'ingénieurs et techniciens pluridisciplinaire

Le L.H.C.C s'engage en outre à mettre en œuvre tous les moyens techniques et intellectuelles pour mener à bien toutes les études qui lui sont confiées alliant qualité rapidité d'exécution prix compétitif pour établir une prestation claire précise et complète. Ce qui s'est traduit au cours de toutes ses années d'activités par :

- le renouvellement et l'acquisition de nouvel équipement pour satisfaire une qualité de reconnaissance géotechnique
- l'optimisation de rôle de géotechnicien dans l'acte de construire indispensable pour une meilleure appréhension et maîtrise des risques de sol grâce à la banque de données dont il dispose compose de plus de 50000 études et la bonne adéquation entre les moyens mis en œuvre et le but à atteindre
- l'établissement de programmes de formation très pointus de personnel

2. Domaines d'activités et compétences :

Le LHCC intervient un géotechnique du bâtiment en géotechniques des infrastructures de transport (études des sols, projets de terrassements, contrôles techniques des travaux), pour la stabilité des pentes les sols compressible, les fondations des ouvrages d'arts les grands murs de soutènement les ouvrages, Sous-terrains ou pour les risques Natural (falaises, glissement de terrains, gravités souterraines...)

3. Etudes géotechniques :

Présentation de LHCC

Le **LHCC** effectue l'ensemble des études de sol nécessaire à la conception, au dimensionnement et la réalisation des ouvrages géotechniques du BTPH :

- ✓ Bâtiments et ouvrages d'arts
- ✓ Voiries et dallages
- ✓ Infrastructures (bassins, pylônes, grues...)
- ✓ Soutènements et stabilités de pentes
- ✓ Renforcement de sols
- ✓ Tunnel et ouvrages enterrés
- ✓ Etudes pathologiques

Pour réaliser ces missions d'études et d'assistance, le **LHCC** dispose des moyens suivants :

Sur site :

- ✓ Sondage et essais in situ
- ✓ géophysiques

Au laboratoire :

- ✓ essais d'identification
- ✓ essais de compactage
- ✓ analyse chimique

4. laboratoire béton et matériaux :

- Les essais réalisés sont les suivants :

ESSAIS	NORME DE REFERENCE
• Essais physico-mécaniques	
Analyses granulométries, (Teneur en fine)	NF P18-560 Sép.1990
Masse volumique apparente et absolue des granulats. (ρ_{ab}), (ρ_{ap})	NF EN 1097-3 (Avril.1998)- NF EN 1097-6 (Juin.2001).
Equivalent de sable (SE)	NF EN 933-8 (Aout.1999).
Détermination de la propreté superficielle des gravillons (f)	NF EN 933-1 (Déc.1997).
Détermination du coefficient d'aplatissements (FI)	NF EN 933-3 (Mar.1997).
Essai de friabilité des sables. (F_s)	NF P 18-576 (Déc.1990).
Essai de fragmentation (Los-Angeles). (LA)	NF EN 1097-2 (Oct.1998).

Présentation de LHCC

• Essai sur béton frais	
Plasticité au cône d'abrams (slump.test)	NF EN 12350-2.
Densité du béton frais.	NF EN 12350-6
• Essai sur béton durci	
Essai de compression sur éprouvettes $\varnothing 16 \times 32 \text{ cm}$	NF EN 12390-3 (Avril .2012)

Introduction Générale

Un béton fibré est un béton dans lequel sont incorporées des fibres. À la différence des armatures traditionnelles, les fibres sont réparties dans la masse du béton et elles permettent de constituer un matériau qui présente un comportement plus homogène. Les fibres, selon leur nature ont un comportement contrainte-déformation très différent. Elles peuvent, sous certaines conditions et pour certaines applications ou procédés, remplacer les armatures traditionnelles passives. Les fibres présentent des caractéristiques géométriques et mécaniques intéressantes selon leur nature. Chacune a une influence particulière sur les lois de comportement mécanique du béton, ce qui se traduit par des applications adaptées et spécifiques.

Les fibres noyées dans le béton jouent le rôle de "couture" des fissures. En effet, la longueur maximale d'une microfissure et de l'ordre de la dimension de plus gros granulats. La longueur moyenne des fibres utilisées est nettement supérieure à la dimension de plus gros granulats. Chaque microfissure se propageant dans la pâte, peut être "pontée" par une ou plusieurs fibres. Ainsi les fibres empêchent la propagation des microfissures qui ne peuvent de ce fait s'agrandir que par :

- ✓ Allongement élastique ou plastique des fibres ;
- ✓ Effritement de la matrice de béton de voisinage de la fibre ;
- ✓ Glissement des fibres ;
- ✓ Rupture des fibres.

L'objectif de notre travail est de faire une étude comparative sur des mortiers à base de différents types de fibres telles que : la fibre alfa extraite mécaniquement, chimiquement et la fibre artificielle (polypropylène) dont les pourcentages varient de 0.5% ; 1% ; 1.5% et 2% pour chaque fibre afin de connaître l'influence du taux de fibre (naturelle et commerciale) sur les propriétés physico-mécanique des mortiers fibrés.

Pour cela on a divisé ce travail en deux parties ; une partie théorique et une partie expérimentale.

La première partie est divisée en deux chapitres :

- ✓ Le premier chapitre est consacré aux connaissances actuelles des caractéristiques et les avantages des constituants et à la formulation des mortiers et des bétons fibrés.
- Le deuxième chapitre présente les caractéristiques des différents types de fibres, en

Introduction Générale

particulier les fibres alfa, leurs utilisations et les méthodes d'extraction de ces fibres.

- ✓ La partie expérimentale subdivisée en quatre parties :
- ✓ La première partie est destinée à la caractérisation des matériaux utilisés, par détermination des caractéristiques physiques et mécaniques des matériaux utilisés (ciment, sable, fibre alfa et fibre polypropylène).
- ✓ La deuxième partie présente des différentes formulations des mortiers avec des taux fibre suivant : 0% ; 0.5% ; 1% ; 1.5 % ; 2%.
- ✓ La troisième partie étudie les caractérisations physico-mécaniques des différentes éprouvettes (07 jours et 28 jours).
- ✓ La quatrième partie est consacrée à la détermination de la meilleure variante et à la comparaison entre les deux types de fibre sur le plan physico-mécanique.

Le béton reste un matériau moderne. En effet, il a de nombreuses qualités, parmi lesquelles on peut citer son faible coût, sa facilité de moulage ou de projection pour se prêter à diverses conceptions, son excellente résistance en compression, sa grande rigidité, sa faible conductivité thermique, sa bonne tenue au feu et sa durabilité. Toutefois, sa faible résistance en traction et sa fragilité font que le béton doit être renforcé. Ainsi, on utilise des armatures et des câbles ou des fils de précontraintes. Ces solutions traditionnelles ont fait leurs preuves et elles resteront utilisées encore très longtemps. Malgré cela, il existe une autre solution qui consiste à noyer dans le béton, des éléments résistant à la traction : **des fibres** qui sont naturelles ou synthétiques. Cela conduit à un matériau composite. Les différentes recherches effectuées jusqu'à présent, et les premières applications font espérer que le béton de fibres permettra la fabrication d'éléments plus mince et résistants mieux à la fissuration.

I.1. Mortier

I.1.1. Définition d'un mortier

Le mortier est un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, liant (ciment ou chaux), d'eau et d'adjuvant et éventuellement d'ajout. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables, leur choix et dosage sont en fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement [1].

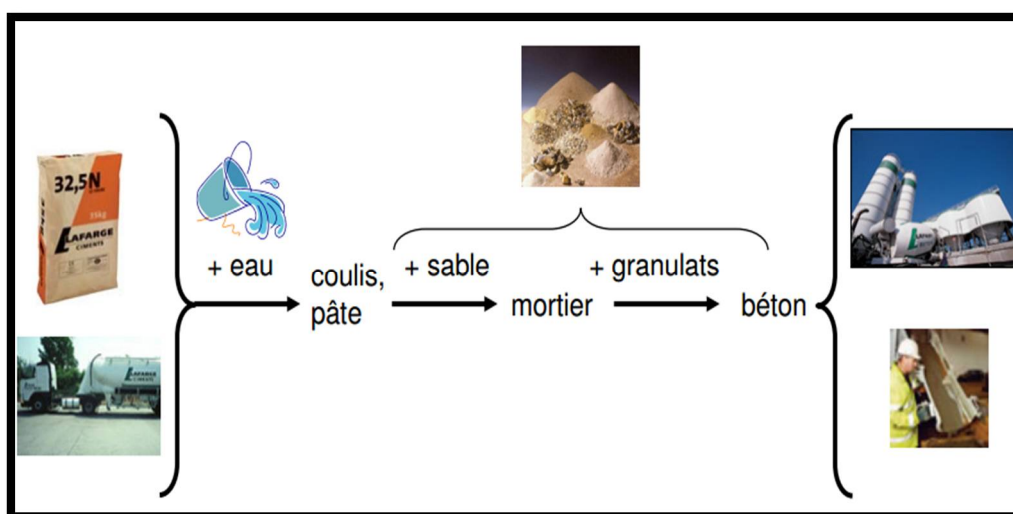


Figure N° 01 : Constituants des mortiers.

L'incorporation de fibres que se soient naturelles ou artificielles permet d'obtenir des mortiers présentant une cohésion supérieure et moins fissurables.

I.1.2. Domaines d'utilisation des mortiers

En général, les variétés de mortier sont liées directement par son domaine d'application qui est très vaste, une typologie des mortiers à partir de son utilisation permet de citer les catégories suivantes :

- Mortier de pose
- Mortier de joints
- Mortier pour les crépis
- Mortier pour le sol
- Mortier pour les stucs
- Pierres artificielles
- Support pour les peintures murales
- Mortier d'injection
- Mortier pour les mosaïques
- Mortier de réparation pour
- Mortier auto plaçant
- Mortier fibré

I.2. Béton fibré

I.2.1 Définition de béton fibré

On appelle béton de fibre, un béton dans lequel on a incorporé une armature par inclusion direct de fibres isolées au moment du gâchage ou de la projection. Les fibres sont assimilables à un granulats spécial de forme très allongée et de forte résistance à la traction, susceptible d'améliorer légèrement la résistance à la traction du matériau et de ralentir la propagation des fissures. En pontant les fissures, les fibres améliorent le comportement post fissuration de la matrice en maintenant une forte portance pendant l'accroissement des déformations [2].

I.2.2. Les constituants d'un béton de fibre

Les différents constituants (ciment, granulat, eau de gâchage, les fibres)

I.2.2.1. Les ciments

Le ciment est un liant hydraulique. C'est un matériau anhydre finement broyé qui, par simple mélange avec l'eau, développe des hydrates dont l'imbrication rigidifie le matériau granulaire non cohésif de départ en matériau cohésif présentant des propriétés mécaniques élevées.

D'un point de vue minéralogique, le ciment peut être définie comme un mélange d'oxyde basique, CaO noté C, et d'oxydes acides ou amphotères comme SiO₂, noté S, AL₂O₃, noté A, ou Fe₂ O₃, noté F, en notation cimentaire.

Il existe deux grandes familles de Ciments (**Figure N°2**):

➤ Les ciments Portland, constitués majoritairement de silice et de chaux et qui Utilisée principalement dans les bétons de bâtiments et les ouvrages de génie civil.

➤ Les ciments alumineux qui se composent essentiellement d'alumine et de chaux.

Ils ont développés au début du 20^{ème} siècle par Bied. En raison de leur résistance aux attaques chimiques, de leur prise rapide ou de l'absence de chaux, ils sont utilisés en génie civil pour la confection de sols industriels, d'ouvrage d'assainissements ou des mises en service rapides, et dans la réalisation de réfractaires monolithiques utilisés dans l'industrie sidérurgique ou verrière [3].

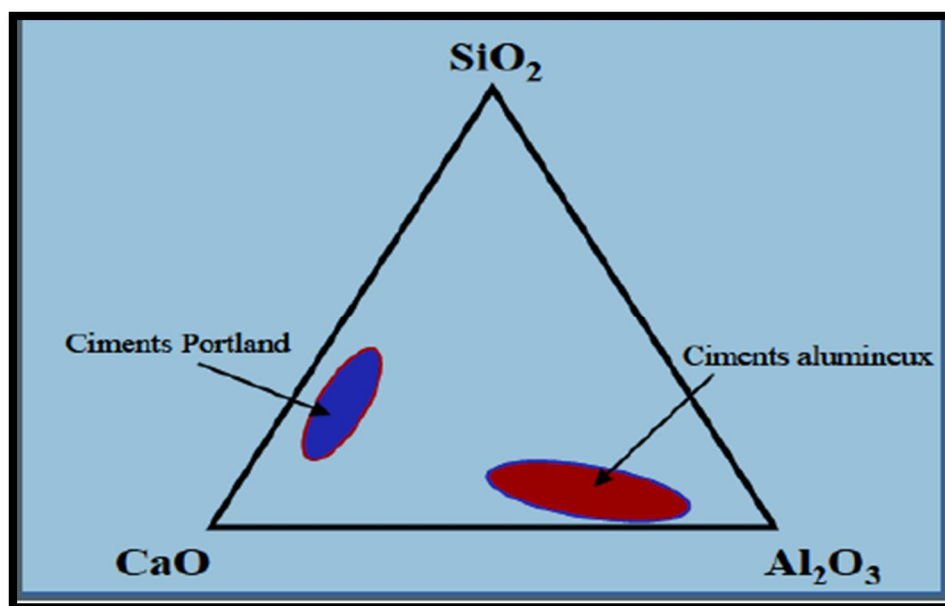


Figure N°2: Diagramme de phase ternaire CaO-SiO₂-Al₂O₃, et repérage des compositions de Ciment Portland et de ciment alumineux.

Il existe cinq types de ciments courants qui sont :

- Le ciment portland.
- Le ciment portland composé.
- Le ciment de haut fourneau.
- Le ciment pouzzolanique.
- Le ciment au laitier et aux cendres.

I.2.2.2. Les granulats

C'est l'ensemble des grains de dimensions comprises entre 0 et 125mm, peuvent être d'origine naturelle (sable et gravier de mer et de rivière), artificielle (argile et expansée) ou issue du recyclage de déchets de l'industrie (laitier de haut fourneaux). Ils constituent l'ossature du béton et occupent 70 à 80 % environ de volume d'un béton, ils sont inertes en principes mais peuvent favoriser certaines réaction d'hydratation de certaines minéraux du clinker c'est l'exemple des silicates tricalcique c3s en présence de filler d'origine calcaire. Leur utilisation pour la confection d'un béton est motivée pour le faible cout volumique, par une meilleure durabilité et stabilité volumétrique par rapport au mélange ciment –eau. En effet, la nature, la quantité, la forme, la granulométrie, la propreté, l'état de surface et le type de granulats sont des factures ayant une influence sur les caractéristiques du béton, aussi bien à l'état durci qu'à l'état frais [4].

Les granulats désigné par sa classe granulaire d/D ou O/D avec :

- d : dimension inférieure du granulat.
- D : dimension supérieure du granulat.

Tableau N°1: Dimension et caractéristique des familles de granulats.

familles	Dimensions	Caractéristiques
Fillers	0/D	D<2mm avec au moins 85% de passant à 1, 25 mm et 70% de passant à 0,063mm
Sable	0/D	d = 0 et D≤4mm
Graves	0/D	D≥6,3 mm
Gravillons	d/D	d≥2mm et D≤63 mm
ballasts	d/D	d = 31,5 mm et D= 50ou 63 mm



Figure N°3 : différents granulats

I.2.2.3. Les fibres

Il existe plusieurs types de fibres qui se différencient par leur nature, leur diamètre, leur longueur (macro ou micro fibres), leur forme et leur état de surface. Par leurs caractéristiques, différentes les unes des autres, les fibres sont définies suivant qu'elles soient naturelles ou artificielles. Le choix des fibres dépend de l'usage recherché (pièces minces ou massives, renforcement de pâte pure, de mortier ou de béton, réparation des structures), de leurs propriétés (résistance et module élevés, bonne adhérence), de leur disponibilité et de leur prix. Le **tableau N°2** représente les différents types de fibres [5].

Fibres naturelles		Fibres artificielles	
végétales	animales	minérales	organiques
Lin	Poile	Laitiers	Polypropylène
Chanvre	Laine	Carbone	Polyamides
Celluloses	Soie	Métaux (acier, fonte)	polyesters
Sisal		Verres spéciaux	
coir		amiante	

Tableau N°2: Différents types de fibres.

I.2.2.4. L'eau de gâchage

Le dosage en eau est un facteur très important de la composition du béton, ou bien l'influence qu'il a sur la propriété du béton par les vides créés, lorsque l'eau s'élimine pour différentes raisons (évaporation, combinaison chimique, absorption par les granulats).

Avec E/C couramment utilisé de 0,5 on estime que la moitié de l'eau de gâchage sert à l'hydratation du ciment, l'autre moitié est eau de mouillage interstitielle qui contribue à la plasticité du béton requise pour sa mise en œuvre. Ce schéma est modifié par l'emploi croissant d'adjuvants contribuant à améliorer la plasticité sans nécessiter une présence d'eau en excès, nuisible aux caractéristiques finales bétons durcis [6].

I.2.2.5. L'adjuvant et additifs

Les adjuvants et additifs sont utilisés pour améliorer l'adhérence, la plasticité, l'imperméabilité, pour accélérer ou retarder la prise des liants ou pour augmenter la résistance au gel. Les adjuvants et additifs incorporés dans les mortiers doivent être compatibles avec les liants utilisés et ils ne doivent produire aucun effet nocif sur les armatures et les pièces métalliques (conduites, chambranles, etc.) en contact avec les mortiers. Ainsi p.ex. Les chlorures attaquent les métaux ferreux. Les adjuvants et additifs des mortiers ne nécessitent pas un agrément officiel, mais il est recommandé de consulter les clauses techniques C.T. 8/1975 Adjuvants des bétons [7].

I.2.3. Comportement Mécanique des Bétons de Fibres

Le comportement de ce matériau composite est assez compliqué et difficile à cerner parce qu'il dépend de plusieurs facteurs dépendant eux mêmes de plusieurs variables tels que :

- A. Les propriétés des fibres qui dépendent de :
 - ✓ La nature de fibre (acier, verre, polymère ou végétale)
 - ✓ L'élanement des fibres.
 - ✓ La quantité d'incorporation des fibres.
- B. Les propriétés de la matrice qui dépendent aussi :
 - ✓ De la qualité et la quantité de ciment.
 - ✓ De la qualité et les dimensions des granulats.
 - ✓ Du rapport E/C.
- C. Le comportement de la bande d'interface qui dépend :
 - ✓ De la longueur des fibres.

- ✓ De la distribution des fibres, leur orientation et leur espacement.
- ✓ De type de cure.
- ✓ Du mode de chargement.

D. Les conditions de la mise en œuvre qui dépendent :

- ✓ Du mode de remplissage du béton (pression, vibration).

I.2.4. Formulation de béton de fibre

L'optimisation de la composition des BF est un passage obligé dans l'ingénierie de ce matériau. La formulation de ce dernier ne peut pas, et ne doit pas se résumer, à l'introduction directe d'un certain pourcentage de fibres, dans un béton ayant été préalablement optimisé sans fibres. En effet, cette introduction perturbe l'arrangement granulaire de la matrice, ce qui a pour double conséquence de diminuer la maniabilité du matériau et d'altérer sa compacité. Il est évident que cette perturbation est d'autant plus importante que le pourcentage de fibres est élevé, et que pour des dosages « homéopathiques », tels que ceux évoqués dans la préface, c'est-à-dire comportant au moins 50 kg/m³ de fibres, il est impératif de reformuler la matrice [7].

I.2.5. Objectif d'une formulation

Les performances requises pour un béton impliquent :

- ✓ Une consistance adaptée à sa destination, généralement définie par l'affaissement de cône d'abrams.

- ✓ Des qualités de résistances à différents échéancenes, le plus souvent à 28j, on notera f_{28} cette résistance.

- ✓ Des qualités durables qui conduisent à imposer un dosage minimum en ciment. (C_{min}) et un rapport E/C maximum (E/C_{max}).

La formulation des bétons doit permettre de respecter les deux premières exigences moindre cout, le plus souvent donc à partir d'un dosage en ciment «C» le plus faible possible tout en vérifiant $C \geq C_{min}$ [8].

I.2.6. Domain d'application de béton fibrés

Les Différentes applications de béton de fibre sont présentées dans le **Tableau N°3**[9].

Tableau N°3: Domaines d'application du béton fibré.

Applications	Intérêt apporté par l'adjonction des fibres dans le béton
<ul style="list-style-type: none"> -Canalisation et coques minces -faiblement sollicitées 	<ul style="list-style-type: none"> -Amélioration de la tenue des pièces aux jeunes âges - Modification des variations dimensionnelles, lutte contre les fissurations
<ul style="list-style-type: none"> -Dallages, chaussées en béton, Dallages manufacturés, et tous éléments structuraux soumis à la flexion 	<ul style="list-style-type: none"> -Diminution de 40% de l'ouverture de fissures - L'augmentation de la rigidité après fissuration - Augmentation de la résistance au cisaillement - Augmentation de la résistance à l'usure
<ul style="list-style-type: none"> -Éléments structuraux soumis à la compression (poteaux, pieux, fondations, ...etc. 	<ul style="list-style-type: none"> Amélioration de la charge ultime - Pas de rupture catastrophique
<ul style="list-style-type: none"> -Structures soumises à des sollicitations pulsionnelles ex: piste d'un aéroport 	<ul style="list-style-type: none"> L'énergie absorbée est plus importante - La durée de choc est augmentée - Loi de comportement du matériau est fortement modifiée
<ul style="list-style-type: none"> -Réparation des revêtements routiers, tablier de ponts 	<ul style="list-style-type: none"> -Amélioration de la résistance aux chocs - Amélioration de la déformabilité
<ul style="list-style-type: none"> -Parties exposées aux fortes variations de température et même aux très 	<ul style="list-style-type: none"> -Remplacement avec succès du revêtement réfractaire - Diminution le coût de réparation des éléments réfractaires
<ul style="list-style-type: none"> -Stabilisation des parois rocheuse, -les talus, les tunnels, les galeries souterrains. 	<ul style="list-style-type: none"> -Évite le travail de fixation du grillage ordinairement employé. - Diminution du coût de réparation de stabilisation des parois rocheuses et les talus,

I.2.7. Mise en œuvre de béton de fibre

Lors de la mise en œuvre du béton de fibres, le dosage en fibre ne peut pas dépasser certaines limites car ou delà, le gâchage et la mise en œuvre deviennent impossibles. Compte tenu des rôles opposés dévolus aux paramètres fondamentaux des fibres (dosage en volume, forme et rapport longueur sur le diamètre) sur l'ouvrabilité et la mise en œuvre, et sur l'efficacité mécanique après durcissement, on doit se limiter à une gamme de pourcentages qui ne donne qu'une efficacité mécanique réduite mais qui permet une mise en œuvre acceptable [10].

I.2.8. Les avantages du béton fibré

Les avantages de l'utilisation des fibres dans le béton sont présentés selon l'aspect technique et économique.

I.2.8.1. Aspect technique

L'utilisation d'un béton fibré est avantageuse principalement au niveau du contrôle de la fissuration ainsi que du support de charge, tout dépendamment du type de fibres et du dosage utilisé.

Les principaux avantages techniques sont

- ✓ Un renforcement tridimensionnel uniformément distribué à travers le béton ;
- ✓ Une augmentation de la ténacité grâce au comportement en post fissuration (résistance résiduelle) ;
- ✓ Une énergie d'absorption élevée ;
- ✓ Une résistance à l'impact élevé ;
- ✓ Une résistance à la fatigue élevée ;
- ✓ Une augmentation de la résistance en cisaillement.

I.2.8.2. Aspect économique : les principaux avantages économiques du béton fibrés sont :

- ✓ Une réduction des intervenants sur le chantier, se qui implique une réduction ;
- ✓ Du cout de mise en place et du temps de construction ;
- ✓ Une optimisation de la résistance du dimensionnement [11].

I.3. Conclusion

L'utilisation des fibres dans la construction remonte à plusieurs siècles. Depuis les trente dernières années, l'intérêt pour leur utilisation ne cesse de croître pour la fabrication du

béton prêt à l'emploi, du béton préfabriqué, du béton projeté ainsi que le renforcement du béton auto plaçant.

Le paramètre numérique le plus fondamental décrivant la fibre est son élancement qui est défini comme le rapport entre la longueur et le diamètre (l/d) équivalent à la fibre. Il est considéré comme l'un des paramètres les plus importants dans la technologie des bétons renforcés de fibres, comme son rôle prépondérant sur la maniabilité du béton.

Donc la fonction principale des fibres dans le béton est de réduire l'ouverture et la propagation des fissures en état de service et de transformer le comportement fragile du béton en un comportement ductile.

II.1. Introduction

Près de 35 millions de tonnes de fibres naturelles représentant environ le tiers de la production mondiale en fibres textiles sont récoltées chaque année à partir d'une vaste gamme d'animaux tels que : les moutons, les chèvres ou les alpagas.

Les fibres forment les tissus, les cordes et les ficelles qui ont joué un rôle fondamental pour la société depuis l'aube de la civilisation et ont accompagné l'homme au fil des siècles. Mais au cours du demi-siècle passé, les fibres naturelles ont été remplacées dans nos ménages, vêtements et industries par des fibres synthétiques ou artificielles avec des noms comme l'acrylique, le Nylon, le polyester et le polypropylène. Le succès des produits synthétiques est dû principalement à leur faible coût de revient. Contrairement aux fibres naturelles récoltées par les agriculteurs, les fibres synthétiques sont produites en masse à partir de produits pétrochimiques avec des propriétés mécaniques uniformes et contrôlables, quant aux longueurs et couleurs, elles sont facilement adaptables aux différentes applications spécifiques pour lesquelles elles sont destinées. Pour la 1^{ère} fois, au milieu des années 70, la tendance s'est inversée et la consommation mondiale des fibres chimiques a dépassé celle des fibres naturelles, et depuis, l'écart entre les fibres chimiques et les fibres naturelles ne cesse de se creuser [1].

II.2. Définition de la fibre

Le terme "Fibre" se rapporte à un corps solide flexible, de forme sensiblement cylindrique, d'un diamètre de quelque centimètre dont la longueur égale à quelques milliers de fois ce diamètre. Ce terme est généralement aussi utilisé pour définir le constituant élémentaire des structures textiles. Par ailleurs, on distingue la fibre de longueur réduite ou fibre courte, de 20 à 150 mm, de la fibre de grande longueur ou filament continu [2].

II.3. Différent types de fibre

Les différentes fibres actuellement disponibles peuvent être classées selon leur origine en trois grandes familles de fibres :

- ✓ Fibres naturelles minérales et végétales: amiante, cellulose;

- ✓ Fibres synthétiques d'origine minérale: verre, carbone, fibres métalliques
- ✓ Fibres synthétiques organique: polyamides, polypropylène, acrylique, kevlar, aramide.

II.3.1. Fibres naturelles

Les fibres naturelles sont classées généralement en fonction de leurs origines : Animale, végétale et minérale. Les fibres d'origine végétale sont constituées majoritairement de cellulose et possèdent des propriétés mécaniques supérieures à celles d'origine animale. Ces dernières, telles que la laine et la soie, sont largement utilisées dans le domaine du textile. Les fibres d'origines végétales peuvent être classées en sous familles selon d'où elles ont été extraites ; graines, fruits, écorce, feuilles, bois, tiges ou canne [3].

Les différents types de fibres naturelles sont présentés sur la **Figure N° 4**.

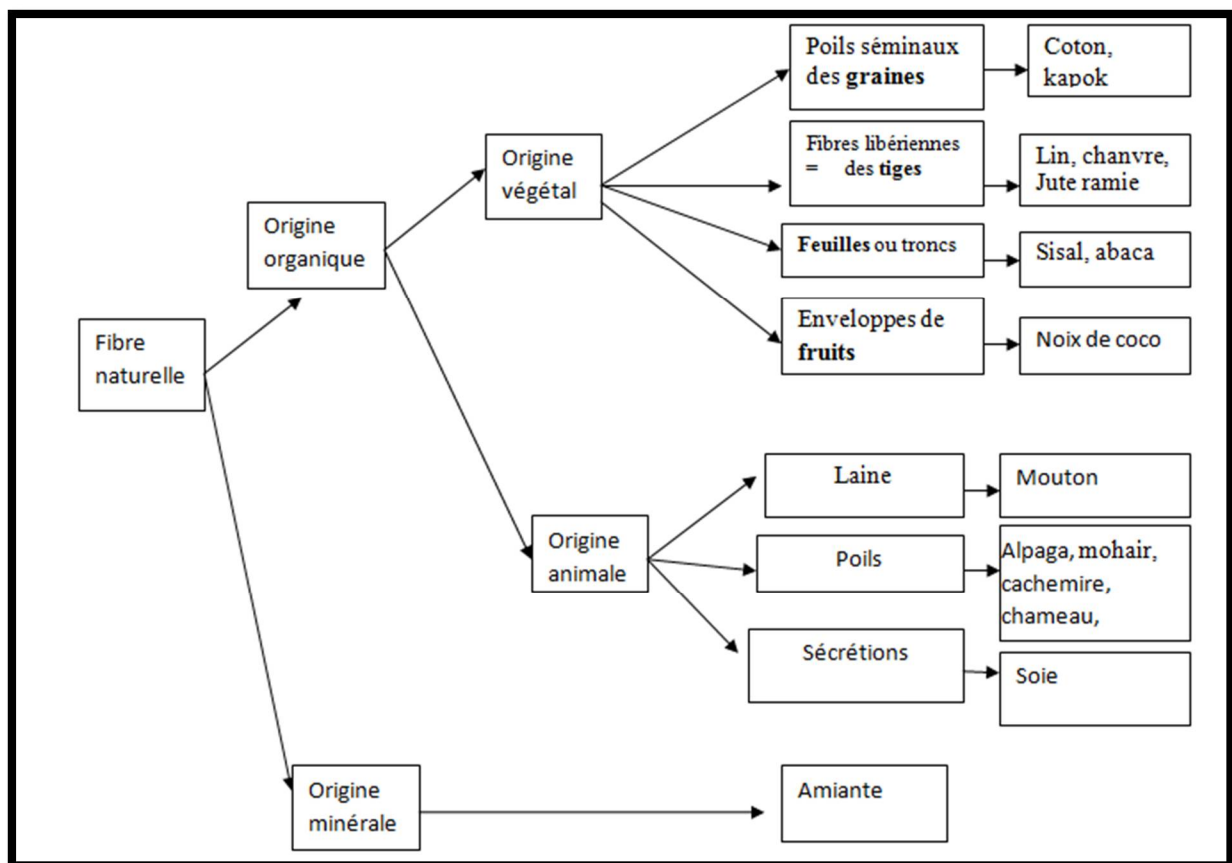


Figure N°4 : Organigramme des différents types de fibres naturelles [4]

II.3.1.1. Les fibres végétales

La principale fibre végétale est la cellulose qui résiste aux alcalis. Les fibres végétales, résistent aussi à la plupart des acides organiques, mais sont détruites par les acides minéraux

forts. Il existe quatre sortes de fibres végétales: les fibres provenant des poils, les fibres du liber, et les fibres extraites des troncs de certaines graminées. Elles sont souvent utilisées dans la fabrication du papier et dans les panneaux de construction [5].

II.3.1.2. Classification des fibres végétales

Nous pouvons subdiviser les fibres végétales en 5 groupes selon leur origine (**Figure N°5**) Les fibres provenant des poils séminaux de graines (coton, kapok), les fibres libériennes extraites de liber de plantes (lin, chanvre, jute, ramie), les fibres extraites de feuilles (sisal, abaca), d'enveloppes de fruits (noix de coco) ou les fibres dures extraites des tiges de plantes.

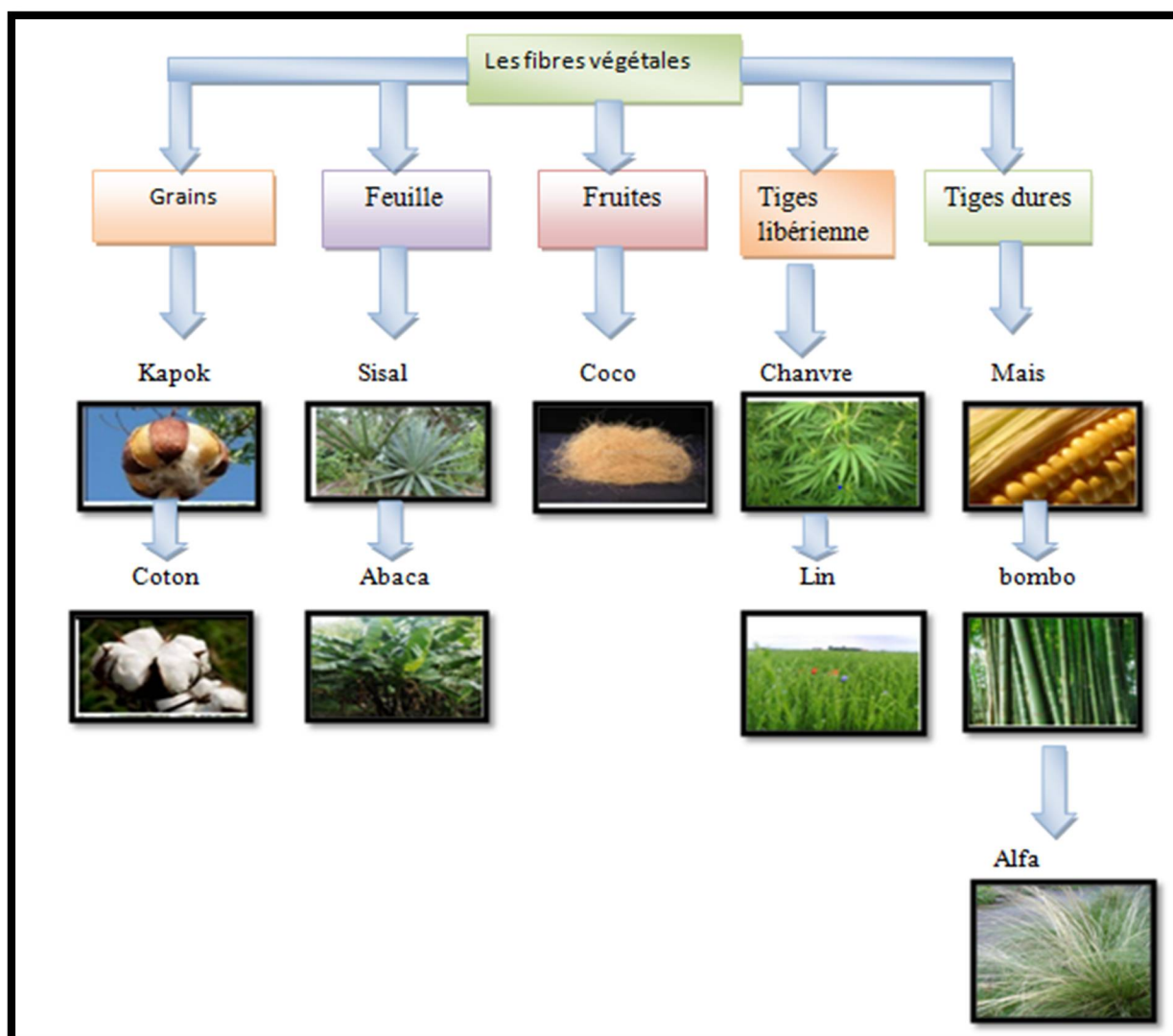


Figure N°5 : Classification des fibres végétales selon l'origine [6]

II.3.1.3. Caractéristiques Physiques et Mécaniques des Fibres Végétales

Généralement une fibre végétale est caractérisée physiquement par son diamètre sa densité et son teneur en eau et son pourcentage d'absorption d'eau. Et elle est caractérisée mécaniquement par sa résistance à la traction, son élongation à la rupture et son module d'élasticité.

Les propriétés physiques et mécaniques des fibres végétales ont été traitées par beaucoup de chercheurs [7].

Tableau N°4(a) : Les caractéristiques physiques des fibres végétales les plus utilisées [8].

Fibre	Diamètre (mm)	Densité (g/cm ³)	Teneur en eau à l'état naturel (%)	Absorption d'eau après 5 min (%)	Absorption d'eau à la saturation (%)
Sisal	1.5	1.5	10.97-14.44	89.30	92
	1.37 0.75-1.07	1.37 0.75-1.07			
Noix de coco	-	1.2	-	43.20	80.40
	1.2	1.17		22-28	
	0.11-0.53	0.67-1.00		11.44-15.85	

Tableau N°4(b) : Les caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales [8].

Fibres	Densité (g/cm ³)	Allongement à la rupture (%)	Résistance à la traction (MPa)	Module de Young (GPa)
Cotton	1.5-1.6	7.0-8.0	587-597	5.5-12.6
Jut	1.3	1.5-1.8	393-773	26.5
Lin	1.5	2.7-3.2	345-103	--
chanvre	--	1.6	690	61.4-128
ramie	--	3.6-3.8	400-938	--
sisal	--	2.6	278	15.2
	1.37	5.2	263	10.94-26.70
	0.75-1.07	2.08-4.08	577.50	9.4-22.00
	1.5	2.0-	511-635	
Noix de coco	1.2	30.0	175	4.0-6.0
	1.17	37.7	107	2.8
	0.67-1.00	13.7-41.0	174	2.5-4.5
	1.33		72	2.0
Palmier dattier	0.51-1.08	7.5-17.4	170-290	2.1-5.25

II.3.1.4. Structure de la fibre végétale

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 liaison hydrogène et covalentes à la lignine.

La fibre végétale est composée de plusieurs parois parallèles à l'axe de la fibre et disposée en couche superposée dans le sens radiale. 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) [9].

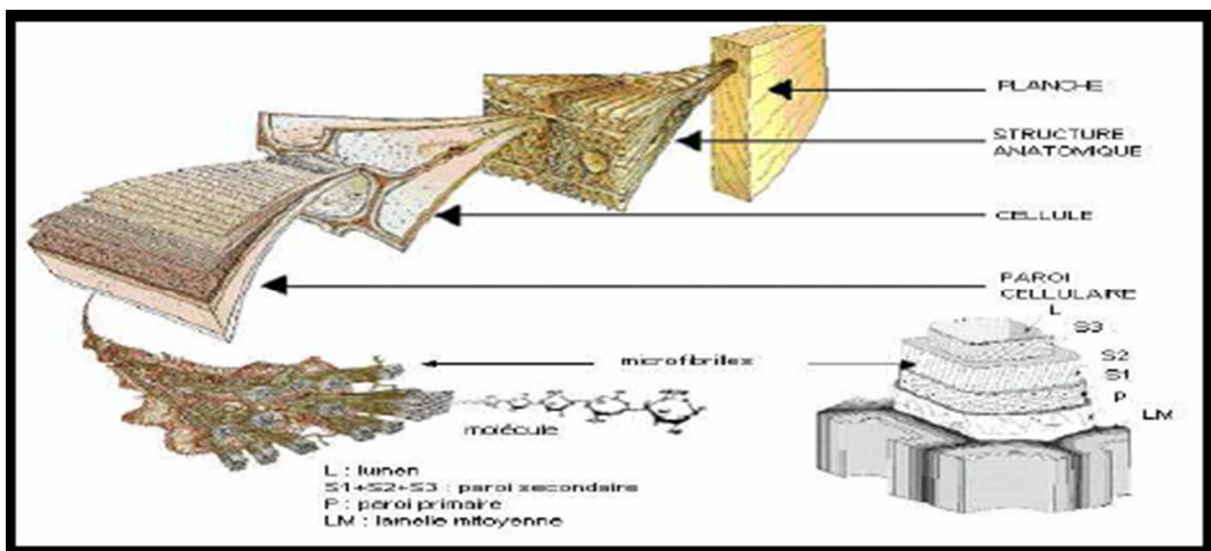


Figure N°6: Structure du bois (observations multi échelles)

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 micros 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 micros fibrilles augmente, le module de Young (une mesure de la rigidité) décroît, tandis que l'extensibilité des parois augmente [9].

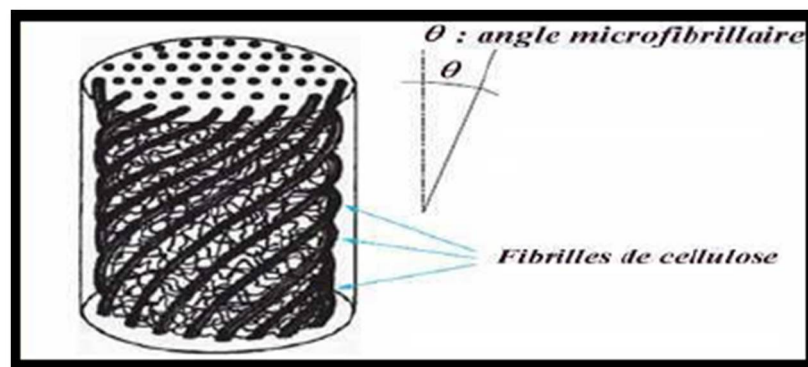


Figure N°7: Modèle de description de la structure d'une fibre végétale.

II.3.1.5. Composition chimique des fibres végétales

Les fibres végétales sont caractérisées par leur composition chimique qui influence énormément sur leur durabilité et spécialement dans les milieux alcalins.

La composition chimique des fibres végétales est formée de plusieurs constituants ligno cellulosiques et organiques :

II.3.1.5.1. La cellulose :

La cellulose est un polymère naturel dont les molécules, formées de longues chaînes, sont constituées de D-anhydroglucopyranoses liés par des liaisons β -(1,4)-glycosidiques en position C1 et C4 (**Figure N°8**). Le degré de polymérisation (DP) est d'environ 10 000, il varie selon l'espèce végétale. Chaque unité de répétition comporte trois groupes hydroxyles. Ces groupes hydroxyles et leur capacité à réaliser des liaisons hydrogène jouent un rôle majeur pour la cristallinité [10].

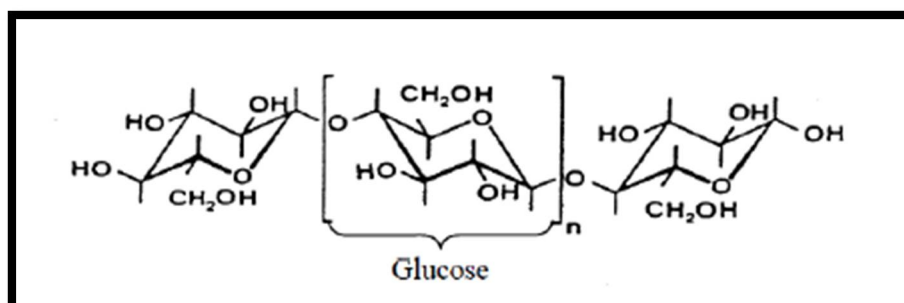


Figure N°8: Molécule de la cellulose.

Les chaînes de cellulose sont rassemblées en structures basiques appelées micro fibrilles (**Figure N°9**) qui ont des diamètres de 2 à 20 nm. Chaque micro fibrille peut être considérée comme des chaînes de cristaux de cellulose liés par des domaines amorphes.

Contrairement aux autres composants des fibres qui possèdent une structure amorphe, la cellulose possède en effet une structure en grande partie cristalline. La cellulose cristalline est l'un des polymères ayant le module d'élasticité le plus élevé, soit environ 136 GPa à comparer aux 75 GPa de la fibre de verre.

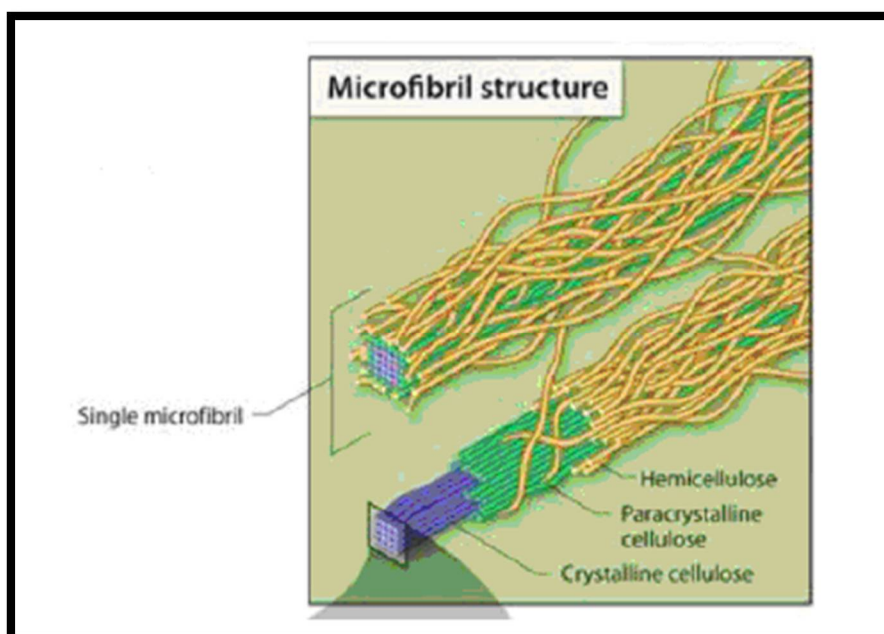


Figure N°9 : Structure de la micro fibrille de cellulose

Les propriétés de la cellulose sont étroitement corrélées à la forte densité de liaisons hydrogène qui se développent entre les chaînes. Malgré la présence de groupements fonctionnels hautement réactifs que sont les hydroxyles, la cellulose réagit difficilement. La cellulose n'est pas hydrosoluble mais est fortement hydrophile, propriété qui est à l'origine, pour les fibres exploitées, de leur grand confort en tant que fibres textiles. Dans les conditions normales d'utilisation, elle peut contenir jusqu'à 70% d'eau plus ou moins liée. [10].

II.3.1.5.2. L' hémicellulose

L'hémicellulose présente dans toutes les parois de ces fibres, est un polysaccharide à chaîne courte ramifiée et repliée sur elle même. C'est le constituant responsable de l'élasticité des fibres et qui permet aux parois de s'allonger pendant la croissance [11].

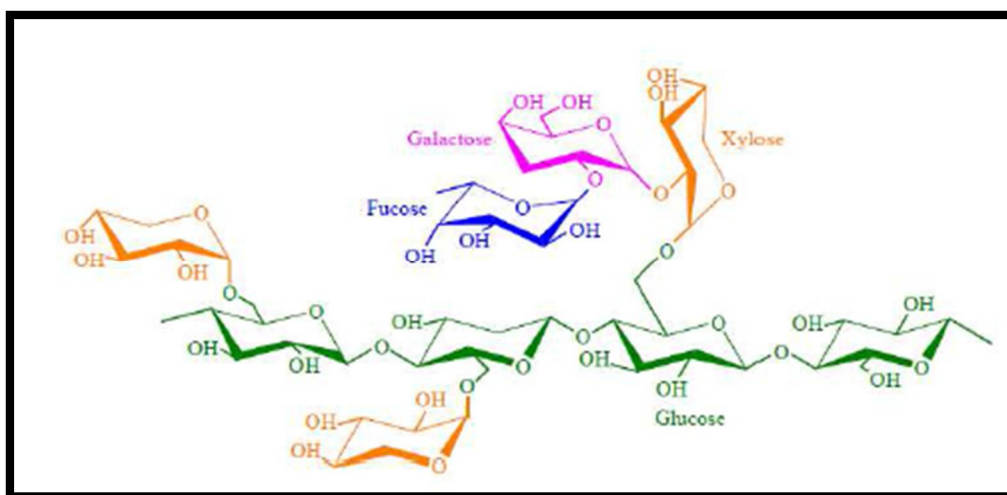


Figure N°10 : Structure d'un type de xyloglucane.

II.3.1.5.3. lignine

La lignine est le composant liant dans les tiges d'alfa et en général dans les plantes. C'est le liant entre les fibres formant des faisceaux ou des tiges. Sans la lignine, les tiges d'alfa n'existeraient pas. L'extraction des fibres consiste en la libération des fibres ultimes en dégradant les composants non-cellulosiques comme la lignine. L'élimination de la lignine est appelée la délignification.

Une structure de base (Figure N°11) de la lignine existe avec deux groupes fonctionnels qui peuvent varier, ainsi réalisant plusieurs molécules différentes de lignine. Par conséquent en réalité, le nom « la lignine » n'est pas correct car il s'agit de plusieurs molécules. Il est donc mieux de parler « des lignines ». En considérant la structure de base, il est clair qu'un groupe aromatique est présent, et que les deux groupes qui varient sont un groupe aromatique (-Ar) et aliphatique (-R). Mais pourtant la structure exacte reste inconnue.

Cependant des analyses de spectroscopie UV-VIS donnent une idée de la structure de la lignine (Figure N°12). Les liaisons covalentes sont relativement fortes, conduisant à une bonne résistance biologique et chimique. C'est pour cela que l'élimination de la lignine afin d'obtenir des fibres d'alfa est difficile. Les propriétés mécaniques des lignines sont faibles [12].

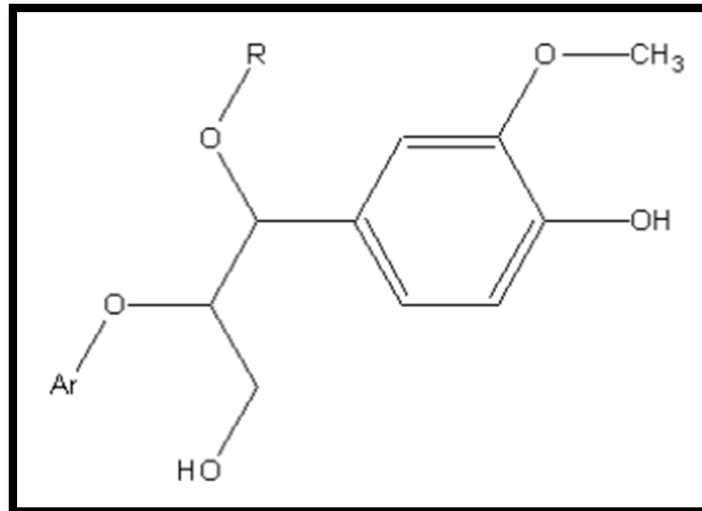


Figure N°11 : Structure de base de lignine

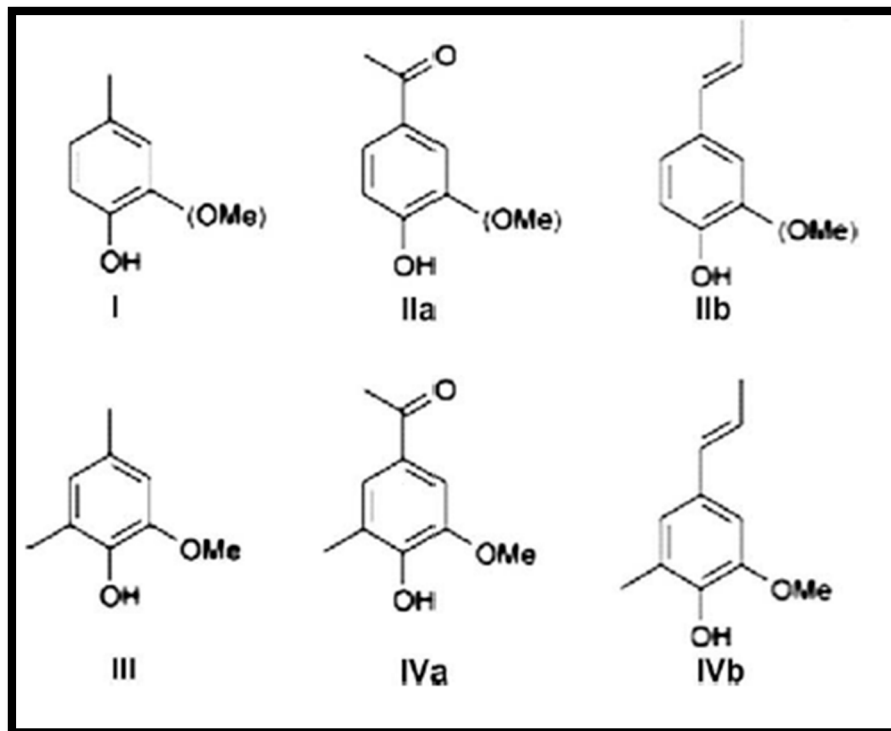


Figure N°12 : Structures possibles de lignine.

II.3.1.5.4. Les pectines

. Les pectines font parties des constituants des tissus végétaux et permettent le maintien de l'ensemble des cellules. Leurs actions dépendent des conditions ioniques du milieu (ex : présence d'ion Ca^{2+}).

Les pectines sont utilisées comme agent comptabilisant entre les fibres naturelles et les lignosulfonates. Dans ce travail différentes pectines d'origines diverses (écorces de citron ou pulpe de betterave sucrière) sont étudiées. [13].

Tableau N°5 : Propriétés des pectines CP Kelco

Nom	Type	Degré d'estérification (%)	Degré d'acétate (%)
Genu	Ramifiée	57.4	9
3138	Faible degré d'estérification	36.3	0
3139	Sensible au calcium	70	0

II.3.6. Organisation de la paroi végétale

Les fibres végétales sont des structures biologiques principalement composées de cellulose, d'hémicelluloses, et de lignine dont des proportions dépendent de l'organisme producteur du tissu (**figure N°13**).

En plus elles contiennent aussi des extractibles, et certains composés inorganiques. Ces éléments confèrent à la cellule des propriétés biomécaniques de rigidité et d'élasticité, qui peuvent apparaitre contradictoires. En effet, d'une part la structure est rigide permettant le maintien de l'organisme et d'autre part l'enveloppe est souple et extensible assurant la croissance des cellules [14].

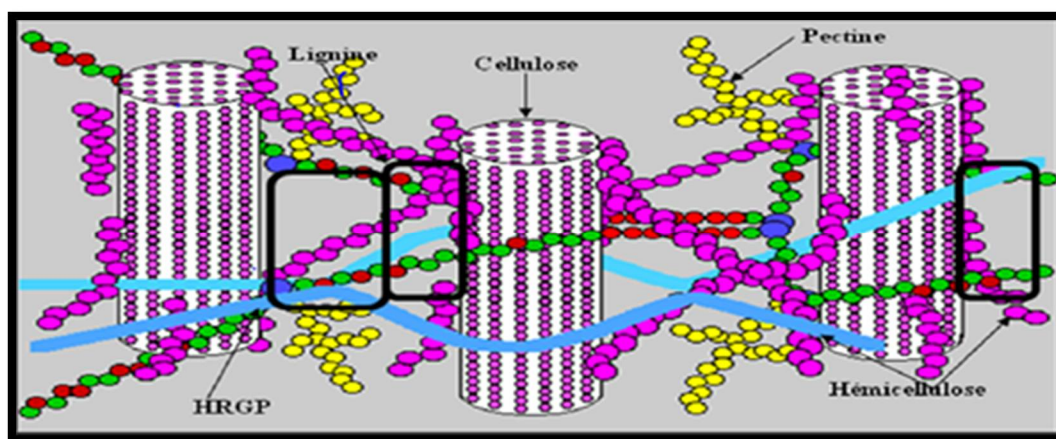


Figure N°13 : Organisation de la cellule végétale

II.3.1.7. Les avantages et inconvénients des fibres végétales [16]**➤ Avantage**

- Faible cout
- Biodégradabilité
- Neutre pour l'émission de CO2
- Pas d'irritation cutanée lors de la manipulation des fibres
- Pas de résidus après incinération
- Ressource renouvelable
- Ressource renouvelable
- Demande peu d'énergie pour être produite
- Propriétés mécaniques spécifique importantes (résistance et rigidité)
- Propriétés mécaniques spécifique importantes (résistance et rigidité)

➤ Inconvénients

- Absorption d'eau
- Faible stabilité dimensionnelle
- Mauvaise tenue en vieillissement
- Mauvaise tenue en vieillissement
- Faible tenue thermique (200 à 230 °C max)
- Fibres anisotropes
- Variation de qualité en fonction du lieu de croissance de la météo...
- Pour des applications industrielles, demande de la gestion d'un stock
- Renfort discontinu

II.3.2. La fibre d'Alfa

L'alfa, *Stipa tenacissima* L, est l'une des graminées pérennes dominantes, typiques des parcours steppiques maghrébins.

C'est une essence très robuste, raide, sèche très persistante. Elle se présente en touffes denses, à feuilles longues et coriaces, l'inflorescence est longue (30cm) très fournie. L'alfa

comprend une partie souterraine très importante pour la régénération et une partie aérienne atteignant 1m de hauteur.

La partie aérienne est constituée de rameaux portant des graines imbriquées les unes dans les autres, surmontées de limbes longs de 30 à 120 cm [17].

II.3.2.1. La morphologie de la plante

La plante est plutôt une grande herbe dure au lieu d'une plante « normale » avec une grande tige avec des ramifications et des feuilles. Par contre, beaucoup de tiges poussent en forme de cercle (du vue d'en haut) en se partageant la même racine (**Figure N°14**). Les tiges peuvent atteindre une hauteur d'un mètre, et les racines une profondeur de plus d'un mètre. Entre les deux se trouve le rhizome (**Figure N°15**). Les racines sont très ramifiées avec beaucoup de nœuds où de nouvelles racines secondaires commencent. De cette façon, l'alfa est bien ancré dans le sol, ce qui est nécessaire dans les régions où elle pousse. Ces régions se trouvent à la frontière du désert où le sol de sable n'est pas un sol dur. Donc des racines ramifiées sont nécessaires pour pouvoir y tenir et croître.

En même temps, le fait que l'alfa stabilise bien le sable et le sol avec ses racines, donne une fonction importante de cette plante, c'est-à-dire elle sert à arrêter la désertification et à éviter l'érosion éolienne. Grâce à sa présence, le vent déplace peu le sable.

De plus, les tiges ou bien les feuilles proches du sol sont velues et cireuses. Quand le vent souffle et transporte le sable et la poussière de sable, ces parties velues peuvent capter ces particules et ainsi arrêter la désertification d'une deuxième façon [18]

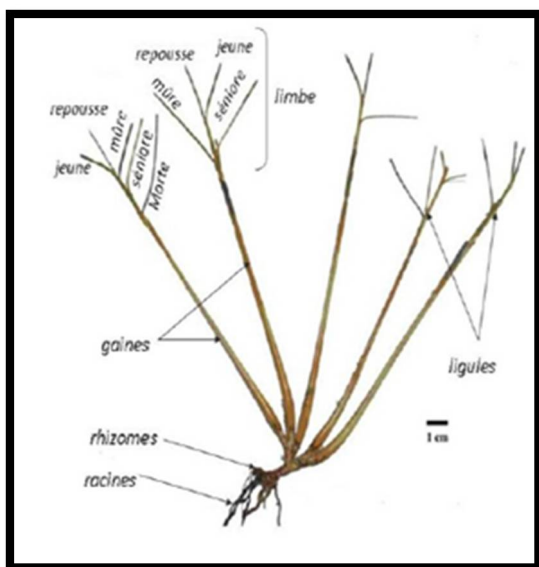


Figure N°15 : Photo de la plante alfa avec indication Des parties Principales.

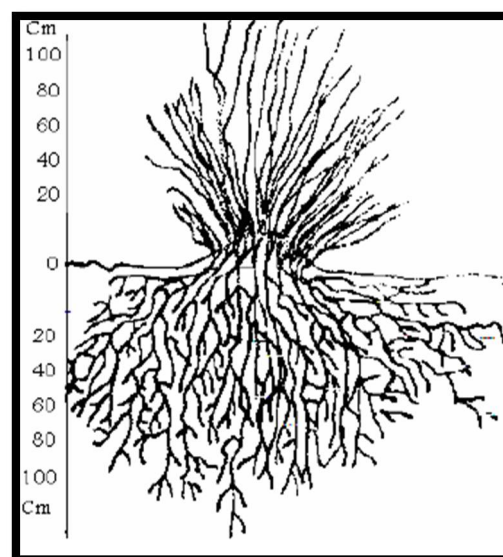


Figure N°14 : Représentation de la plante alfa.

Les cires limitent l'évaporation et cela est la raison pour laquelle l'alfa peut résister à des températures élevées et consomme peu d'eau.

L'alfa fleurit normalement de début mai jusqu'à fin juin. L'alfa « mûre » est récoltée manuellement de juillet jusqu'à novembre.

Elle est capable de résister à une grande variation de température. P.e. la nuit des températures de -20°C ont été mesurées, mais pendant la journée en été la température peut atteindre les 40°C [18].

II.3.2.2. Répartition géographique

Répartition géographique L'alfa (*Stipa tenacissima* L.) est une herbe vivace typiquement méditerranéenne appartenant à la sous-région éco logico-floristique ibéro-maghrébine, qui fait partie intégrante de la région méditerranéo-steppique s'étendant de la moyenne vallée de l'Èbre jusqu'à celle de l'Indus. Par ailleurs, c'est l'une des espèces xérophiles qui caractérise le mieux les milieux arides méditerranéens à l'exclusion des secteurs désertiques. Sa terre d'élection est l'Afrique du Nord, et tout particulièrement les hauts plateaux du Maroc et de l'Algérie [19] :



Figure N°16 : Illustrations de la plante d'Alfa à l'état brut

II.3.2.3. Composition chimique

Comme toutes les fibres végétales, la fibre d'Alfa est un composite à base de lignine et d'hémicellulose renforcée par Les fibrilles en cellulose. Plusieurs chercheurs ont étudié la composition chimique de cette plante notamment, les résultats trouvés sont regroupés dans le **tableau N°6** selon la source [20] :

Tableau N°6: Composition chimique d'Alfa selon plusieurs sources

composant	[9%]	[11%]	[10%]	[19%]
cellulose	43,81	45	45	47,63
Lignine	18,76	23	24	17,71
cendres	4,66	2	2	5,12
silica	1,76			
Hémicellulose/pectines	28,4	25	24	22,15
cires		5	5	
autres	2,61			7,39

II.3.2.4. La récolte de l'Alfa

L'Alfa se récolte après la maturation des graines, c'est-à-dire, à partir de juillet-août. La récolte commence par l'enlèvement des feuilles uniquement à la main, par arrachage, suivant la pratique adoptée depuis toujours, soit en enroulant les feuilles autour d'un bâton court, soit en se garnissant la main d'une tige de métal. Le javeleur saisit une poignée d'Alfa, l'enroule autour d'une tige métallique pour assurer sa prise et tire brusquement.

Aujourd'hui, il serait possible de mécaniser la récolte d'alfa, cependant, la voie de la mécanisation n'a pas été suivie, car d'un côté, la récolte manuelle fournit un revenu à quelques milliers de cueilleurs, et d'autre part, comme c'est une activité saisonnière, cela ne serait pas économiquement rentable, en plus de la difficulté d'accès et la topographie particulière des nappes alfatières.

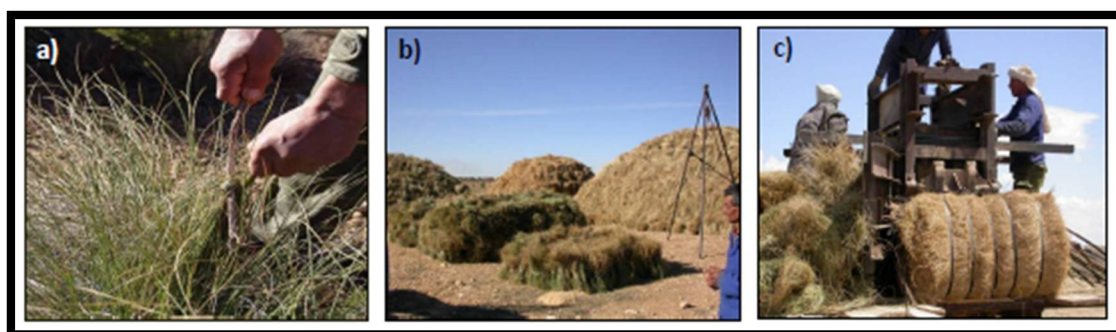


Figure N°17. Les différentes étapes de la récolte de l'Alfa (a) l'arrachement, (b) la collecte et (c) la mise en balle.

II.3.2.5. Domaines d'applications

Les applications de l'Alfa sont multiples et diversifiées, et peuvent être classées en 2 catégories selon la nature de la matière :

➤ **Les tiges de l'Alfa**

- **Applications artisanales** : Ces tiges, une fois filées ou tressées, s'emploient pour la fabrication de cordages et d'objets de sparterie (tels que : des tapis, des paniers, des paillasons, des plateaux, des ficelles ...). L'utilisation artisanale par les riverains qui habitent dans les régions alfatières peut être évaluée à 50 kg/ménage/an (**Figure N°18**).
- **Pâturage** : Les nappes alfatières constituent un espace pastoral de réserve tant pour le bétail (bœufs, moutons, chameaux...) que pour la faune sauvage (gazelle...). Du fait qu'elle est relativement délaissée par les animaux en présence d'autres ressources pastorales plus appétentes, vu sa faible valeur alimentaire, elle constitue un énorme stock qui permet la survie des animaux pendant les années de disette.

- **Combustible** : Le pouvoir calorifique supérieur de l'alfa varie de 4666 Kcal/kg pour les brins de 1 an et de 5160 et 5163 Kcal/kg pour les brins âgés de 2 ans et de 3 ans respectivement, ce qui lui confère un usage énergétique important sous forme de briquettes combustibles en remplacement ou d'appoint au bois de feu [22].



Figure N°18. Des exemples d'artisanat Alfatière (des paniers, des paillassons, des espadrilles...)

➤ Fibre alfa

- **La pâte à papier** : A la fin du 19^{ème} siècle, le papier d'Alfa est apparu, c'est un papier de bonne qualité qui met bien en évidence la valorisation de cette plante et lui donne une grande importance économique. La pâte à papier représente la branche qui consomme le plus d'Alfa (la Société Nationale de Cellulose et de Papier Alfa (SNCPA – Tunisie) produit 25.000 tonnes de papier et 12.000 tonnes de pâte par an) (**Figure N°19**) [23]. Cette pâte est essentiellement utilisée dans la fabrication du papier noble usage, du papier cigarette, du papier filtre et du papier condensateur (diélectrique).
- **Non tissés** : Des travaux ont été effectués afin de remplacer des fibres de verre et de carbone, qui ont un coût élevé influençant le prix de revient du produit fini. Les non tissés sont utilisés comme couche de renfort pour des emboîtures dans le domaine orthopédique par exemple [24].
- **Composites** : Analogiquement, des études ont été réalisées pour développer des composites à base de fibres d'Alfa dans une matrice de polypropylène, de polyester ou de PVC. Ce recours aux fibres naturelles se produit de plus en plus de nos jours afin de réaliser des composites biodégradables avec des bonnes performances mécaniques et acoustiques et avec moins d'impact sur l'environnement. Mais ce type d'application connaît quelques difficultés pour la mise en œuvre telles que des problèmes de cohésion avec la matrice utilisée [21].

Par ailleurs, la feuille d'Alfa fournit également des sous-produits puisqu'elle possède des acides gras insaturés, notamment l'acide oléique et l'acide linoléique, pouvant être

valorisés dans le domaine diététique et des cires utilisées pour les cosmétiques. Malgré cette diversité d'utilisations, l'Alfa n'est donc utilisée qu'à son état primitif (des tiges) ou bien en fibres très courtes n'ayant aucune performance mécanique (composites et non tissés) ou encore sous forme de pâte. C'est alors dans ce cadre que se situe notre travail qui va consister à extraire les fibres techniques avec une longueur et des propriétés mécaniques suffisantes pour être transformées en fils.



Figure N°19. Illustrations de la pâte d'Alfa commercialisée par la SNCPA

II.3.2.6. Intérêt écologique et enjeu socio-économique

➤ Intérêts économiques

L'Alfa est très recherché pour la fabrication des tapis des cordes des maltes et surtout de papier de haute qualité l'exploitation de cette plante devrait être rationnelle au risque de la voir disparaître un jour, danger que signalait, L'alfa est une plante rustique, peut exigeante en eau et en sol, bien adaptée à la sécheresse, et qui présente d'énormes possibilités d'exploitation.

➤ Sur le plan artisanal

Elle est très utilisée dans la confection de vannerie, de nattes, de tapis et de chaussures

➤ Sur le plan industriel

Le meilleur débouché demeure la fabrication de la pâte à papier, en effet les recherches effectuées sur le système foliaire de cette poacée ont montré que la plante dispose d'un potentiel important en élément fibreux, notamment en cellulose (40 à 50%), matière première de l'industrie papetière.

➤ Intérêts zootechniques

L'alfa présente une faible valeur fourragère de 0,3 à 0,5 UF/Kg MS, cependant, les inflorescences sont très appréciées et recherchées par le bétail surtout en période de disette

La productivité pastorale moyenne de ce type de steppe varie de 60 à 150 UF/ha selon le recouvrement et le cortège floristique.

➤ **Intérêts médicaux**

L'alfa pourrait servir à la fabrication des composés utilisés dans les industries alimentaires Pharmaceutiques tel que de xylose, c'est l'équivalent du saccharose et qui conviendrait fort bien au diabétique car son métabolisme ne nécessite pas l'insuline.

➤ **Intérêts écologiques**

De par sa physionomie dominante sur les hautes plaines, l'alfa joue un rôle important dans la lutte contre l'érosion et le ravinement des sols La touffe d'alfa intervient, à travers sa forme, dans la rétention à sa base, des fines particules de qui conviendrait fort bien au diabétique car son métabolisme ne nécessite pas l'insuline.

➤ **Intérêts écologiques**

De par sa physionomie dominante sur les hautes plaines, l'alfa joue un rôle important dans la lutte contre l'érosion et le ravinement des sols La touffe d'alfa intervient, à travers sa forme, dans la rétention à sa base, des fines particules de sols, transportées par le vent et qui s'y déposent en surélevant le substratum , les fines particules ainsi piégées, ajoutées à la litière des feuilles d'alfa, constituent une niche écologique, qui attire une faune très variée de prédateurs polyphages et d'insectes détritophages , des microorganismes cellulolytiques.

Elle joue un rôle dans la protection du sol et dans la biodiversité, elle peut servir d'abri pour les plants annuels dont les graines peuvent germer à son ombre, ce qui améliorent ainsi la qualité pastorale des parcours. Les brins morts sont utilisés comme paillage, contre la désertification, et aussi pour constituer un milieu forestier [25].

II.3.2.7. Méthodes d'extraction d'alfa

L'Alfa est souvent utilisée sous forme de pâte à papier ou bien à l'état pure, donc, l'extraction des fibres d'Alfa est une notion récente qui est limitée à une pratique traditionnelle : l'extraction à l'eau de mer et à une autre méthode chimique à la soude avec des faibles concentrations pour ne pas dégrader la cellulose, mais là aussi, il s'est avéré qu'il y avait plusieurs paramètres à contrôler simultanément, d'où la difficulté de la tâche. En plus, selon l'application finale de ces fibres extraites, les chercheurs essayent d'optimiser ces

paramètres de la façon la plus adéquate, en conséquence, il existe une multitude de méthodes d'extraction de fibres cellulosiques, cependant, aucune n'est distinctement appliquée pour les fibres d'Alfa.

II.3.2.7.1.L'extraction mécanique

➤ Le teillage

Cette méthode consiste à séparer le bois (le casser) des tiges par action mécanique : broyage et battage. Cette technique est plutôt utilisée pour extraire les fibres de lin ou de chanvre, les tiges sont prises par leurs extrémités et insérées dans le tilleul ou l'écang (instrument manuel à levier) si l'opération est manuelle. Les tiges sont battues pour enlever le bois, et cette opération est répétée jusqu'à ce que les fibres soient le plus souples possible. Cette technique est améliorée si les tiges au départ sont dures et sèches, d'où la nécessité d'une étape préliminaire qui consiste à chauffer les tiges dans un four ou par un fumage. Enfin, pour donner aux fibres obtenues un meilleur aspect, les faisceaux de fibres sont divisés et parallélisés par une opération de peignage et séparées selon leur longueur [21].

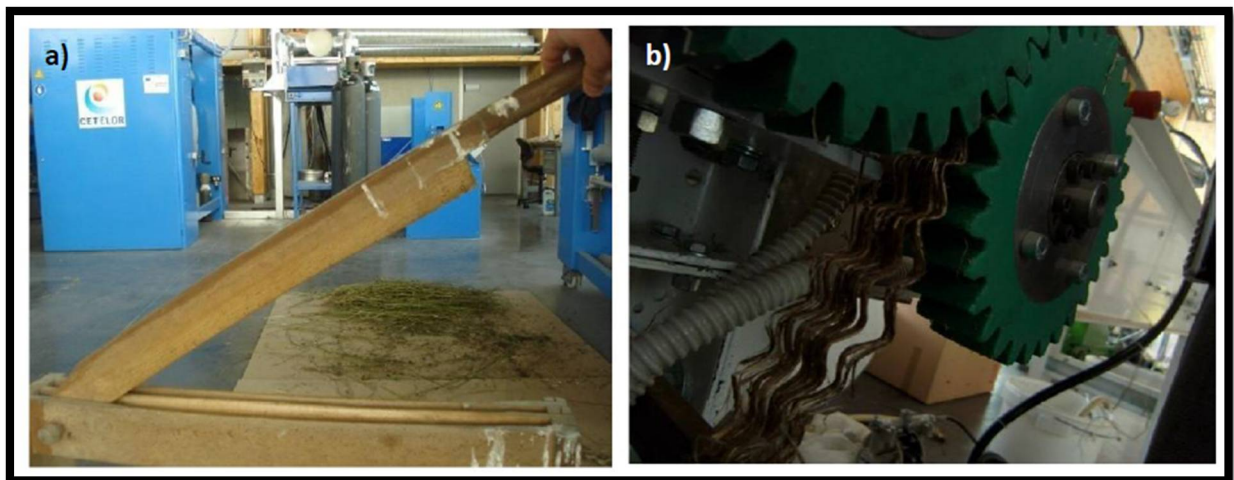


Figure N°20. Ecang pour teillage manuel (a) cylindres cannelés pour teillage mécanique (b)

➤ **par laminage ou pressage**

Les tiges sont découpées en morceaux qui sont ensuite écrasés sous presse ou par laminage ou encore par combinaison des 2 traitements. Ceci est effectué plusieurs fois de suite jusqu'à ce que les fibres soient le plus possible séparées.

➤ **Explosion à la vapeur**

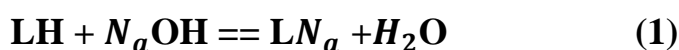
La fibre est tout d'abord divisé en plusieurs morceaux de longueur environ 1m qui sont mis dans une enceinte en présence de vapeur surchauffée à 175°C. La pression de vapeur est d'environ 0,7 – 0,8 MPa. Au bout d'une heure, la pression est ramenée très rapidement à la pression 22 atmosphérique. Des micro-explosions se produisent alors dans les cellules les plus fragiles du bambou. Ce cycle est répété une dizaine de fois (8-11 fois). Après le procédé d'explosion à la vapeur, les lamelles de bambou explosées sont lavées à grande eau de façon à finir de séparer les faisceaux de fibres qui comprennent plus de cent mono filaments [26].

II.3.2.7.2. L'extraction chimique :

Plusieurs méthodes basées sur la séparation chimique de la cellulose des autres composants non cellulosiques existent dans la bibliographie. Elles permettent d'éviter les inconvénients de l'extraction mécanique, et surtout un gain de temps et d'énergie considérables. Dans cette section, nous présentons les principales méthodes d'extraction chimique des fibres végétales.

➤ **Procédé à la soude**

La soude agit sur la lignine qui est acide le << lignate obtenu est soluble dans l'eau :



Le carbonate qui libère de l'alcali par l'hydrolyse pour remplacer la soude :



Son action est progressive et plus douce, le PH est moins élevée que par emploi d'une solution équivalente d'alcali et la dégradation de la cellulose est moins à craindre.

La soude attaque la lignine des tissus d'abord ceux de la lamelle mitoyenne avec formation d'alcali lignines soluble. Elle produit la rupture de liaisons lignine hémicelluloses vraisemblablement par hydrolyse de groupe phényle propane et salification d'oxyhydroyles acides .les hémicelluloses et les pectines après hydrolyse sont partiellement dissoutes. Les matières grasses sont saponifiées. Les résines, les tannins et d'autres acides sont éliminés à l'état de sels ainsi que des matières minérales, notamment la silice.

➤ Procédé de Kraft

Le procédé Kraft ou au sulfate représente environ 80% de la production mondiale de la pâte à papier. Le terme « **sulfate** » est dérivé du produit chimique d'appoint, le sulfate de sodium, qui l'on ajoute au cours du cycle de régénération pour compenser les pertes de produit chimiques.

Dans Le procédé Kraft les produits chimiques actifs de cuisson (liqueur blanche) sont d'hydroxydes de sodium **Na OH** et le sulfate de sodium **Na₂ S**. En raison de l'importante quantité d'hydroxydes de sodium utilisée, au début de la cuisson, la valeur du **PH** est comprise entre **13** et **14** (méthode de fabrication de la pâte d'alcalin). Elle baisse continuellement pendant la cuisson du fait de la libération d'acides organiques contenus dans la lignine et les hydrates de carbone au cours de la réaction [27].

II.3.2. Fibres synthétiques d'origine minérale

II.3.2.1. Fibre de verre

Bien que le béton armé de fibre de verre soit un produit industriel récent il a trouvé des applications diverses. Son application dans les panneaux de revêtement de façade découle de la possibilité qu'offre la fabrication par projection de donner au produit l'aspect (couleur, texture de la surface) désiré par l'architecte et de pouvoir enrober des âmes isolantes. Avec les techniques complémentaires (emboutissage, pressage) [28].



Figure N°21: fibre de verre

II.3.2.2. Fibre métallique

Ce type de fibre, qui regroupe les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, a été et reste encore l'objet de recherches très importantes dans le monde. On se limite aux fibres d'acier qui sont sans doute les plus utilisées dans le domaine du génie civil.

En effet, les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion interfaçage entre fibre et matrice [29].



Figure N°22 : Exemples de fibres métalliques

II.3.2.3. Les Fibres de Carbone

Suivant les conditions de fabrication, il existe toute une variété de fibres de carbone mais actuellement trois types de fibres sont commercialisés:

- Les fibres hautement résistant (H.R.)
- Les fibres à module intermédiaire (I.M.)
- Les fibres à hauts modules (H.M.)

Les fibres de carbone sont très fragiles ce qui rend l'opération de malaxage du béton de ces fibres très difficile. Pour cela, elles sont ajoutées par la suite au béton par projection. Par ailleurs, le béton de ces fibres présente des caractéristiques de durabilité très Intéressantes [30].



Figure N°23 : Fibres de Carbone

II.3.3. Fibres synthétiques organique

II.3.3.1. Fibre d'amiante

Ces fibres sont considérées comme les renforcements les plus anciens des matrices cimentaires. Elles sont aussi utilisées pour la confection de tissus résistants aux feux. Elles sont en fait des bâchettes de micro-fibres extrêmement fines, difficilement fusibles (vers 1500 °C) et ont l'avantage d'être inattaquables par les ciments. Elles possèdent un excellent tenue au feu, une bonne résistance à la traction et un module d'élasticité élevé. Elles sont aussi plus résistantes aux agressions chimiques et micro-organismes, ainsi que leur résistance électrique élevée. Les fibres d'amiante sont utilisées dans les applications suivantes : voiles, tuyaux, panneaux, matériaux d'isolation thermique et protection contre le feu, tuyaux d'égout, plaques de toitures plates et ondulées, revêtements de mur [31].

II.3.3.2. Les Fibres polypropylène

Ces fibres obtenues par extrusion du polypropylène, se présentent en faisceaux ou sous forme de filaments individuels. Lorsqu'elles sont utilisées sous forme de faisceaux, elles se séparent lors de malaxage. Elles se répartissent de façon multidirectionnelle dans le béton.

Les fibres polypropylène permettent en particulier de mieux contrôler le retrait plastique du béton frais mais n'améliorent pas son comportement post fissuration (contrairement aux fibres métalliques).

Elles améliorent la maniabilité et la cohésion du béton (en particulier dans le cas de béton projeté). Elles sont particulièrement souples et insensibles chimiquement mais peu résistantes au feu (température de fusion comprise entre 140 à 170°C).

La fabrication du béton avec des fibres polypropylène ne soulève pas de difficulté particulière. La répartition des fibres est facile et ne nécessite pas de précautions spécifiques lors du malaxage. L'optimisation de l'adjuvantation permet de réaliser des bétons dont l'ouvrabilité est conservée. Le grand avantage des bétons de fibres de polypropylène est leur bonne résistance à la fissuration due au «premier retrait », ainsi que leur résistance aux chocs. De ces propriétés découlent les applications privilégiées des bétons de fibres de polypropylène:

- Dallage et aménagements urbains ;
- Produits préfabriqués (parements) ;
- Mortier projetés ;
- Enduit ;
- Sculptures ;

Les propriétés des fibres polypropylène sont intéressantes pour les pièces à démoulage immédiate (meilleur comportement au jeune âge). Elles améliorent l'aspect et la précision des angles, des tranches ou des arêtes des pièces moulées. Elles permettent de réaliser des parements esthétiques, avec des motifs très précis, et sont utilisées aussi pour la formulation des bétons projetée ou des mortiers de réparation [32].



Figure N°24 : fibre polypropylène.

II.4. Rôle des fibres

Les fibres en généralement pour rôle de renforcé ou remplacer l'action des armatures traditionnelles en s'opposent à la propagation des microfissures.

Elles peuvent également dans certaines applications remplacer les armatures passives.

Selon les fibres utilisée (forme et nature) et les ouvrages auxquels elles sont incorporées, ce rôle se traduit par les améliorations relatives à :

- La cohésion du béton frais ;
- La déformabilité avant rupture ;
- La résistance à la traction par flexion ;
- La ductilité et la résistance post fissuration ;
- La résistance aux chocs ;
- La résistance à la fatigue ;
- La résistance à l'usure
- La résistance mécanique du béton aux jeunes âges ;
- La réduction des conséquences du retrait par effet de couture des microfissures ;
- La tenue au feu ;
- La résistance à l'abrasion [33].

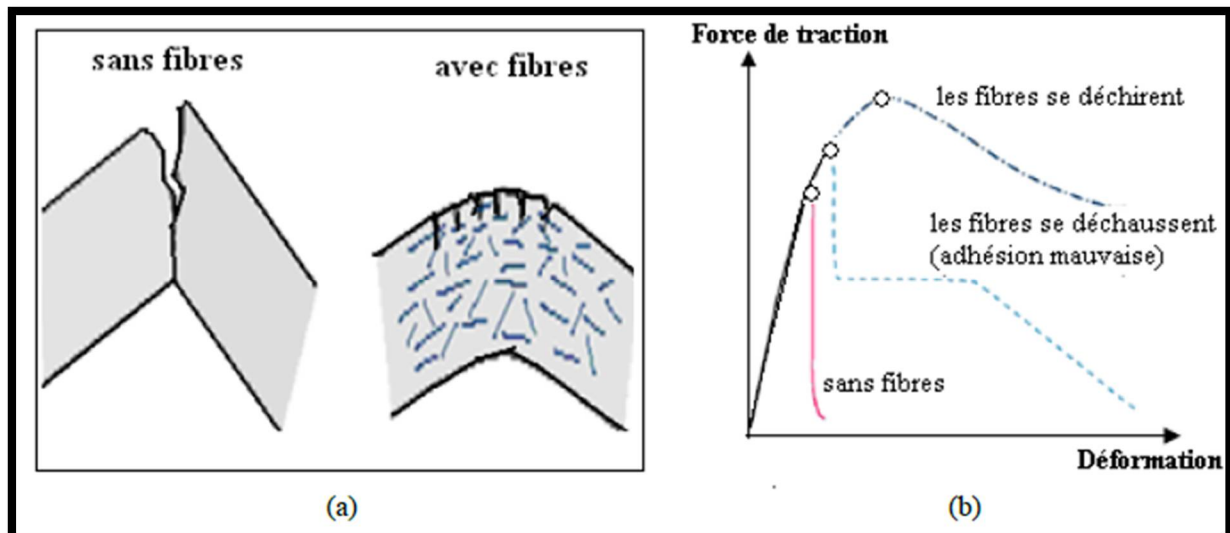


Figure N°25 : Illustration de l'apport du renfort par des fibres.

II.5. Conclusion :

La géométrie des fibres, leur adhérence avec la matrice de béton, leur pourcentage et leur orientation jouent un rôle important dans le béton. En effet, une bonne orientation des fibres optimise leur participation à la reprise des efforts. La géométrie variable permet un bon ancrage des fibres et augmente ainsi l'effort nécessaire à leur arrachement. Néanmoins, un pourcentage en fibres entraîne une diminution de l'ouvrabilité.

Objectif :

L'objectif de notre travail est de faire une étude comparative sur des mortiers à base de différents types de fibres telles que : la fibre alfa extraite mécaniquement, chimiquement et la fibre artificielle (polypropylène) dont les pourcentages varient de 0.5% ; 1% ; 1.5% et 2% pour chaque fibre afin de connaître l'influence du taux de fibre (naturelle et commerciale) sur les propriétés physico-mécaniques des mortiers fibrés. Ce travail expérimental est divisé en plusieurs parties :

Première partie : Cette partie résume l'analyse, les méthodes d'extraction de la fibre et la caractérisation de tous les constituants à savoir :

- ✓ Eau
- ✓ Ciment
- ✓ Sable
- ✓ Fibres

Deuxième partie : Elle est consacrée à l'élaboration des différentes formulations avec l'incorporation des fibres avec différents pourcentages : 0% ; 0.5% ; 1% ; 1.5% ; 2%.

- ✓ Fibre naturelle (alfa)
 - Alfa traitement mécanique
 - Alfa traitement chimique
- ✓ fibre artificielle (polypropylène).

Troisième partie : Cette partie considère la caractérisation physico-mécanique des différentes éprouvettes confectionnées (07 jours et 28 jours).

Quatrième partie : Elle est dédiée à l'interprétation des résultats avec la détermination de la meilleure variante et la comparaison entre deux types de fibre et les deux méthodes de traitement.

Première partie

Analyse et caractérisation des constituants :

Les trois composants cités ci-dessous (eau, ciment et sable) sont utilisés pour tous les essais et les fibres sont utilisées avec de différents types et pourcentages dans l'élaboration des mortiers fibrés.

I.1. l'eau :

On a utilisé l'eau du laboratoire d'Oued Smar classée comme une eau potable.

I.2. Le ciment :

Le ciment utilisé de type Portland composé CEM II/A de classe 42.5 provenant de la cimenterie de Sour El -Ghouzlane, CEM II/A 42.5 conformément à la norme NA 442 édition 2000.

I.2.1. Caractérisation du ciment.

Les tableaux suivants présentent la composition chimique, les caractéristiques mécaniques, physiques et minéralogiques du ciment utilisé:

Tableau N°07 : Composition chimique ciment CEM II/A 42.5.

Eléments	%
Ca O	61,79
SiO ₂	17,46
Al ₂ O ₃	4,41
Fe ₂ O ₃	3,22
Mg O	2,02
SO ₃	2,12
K ₂ O	0,73
Na ₂ O	0,15

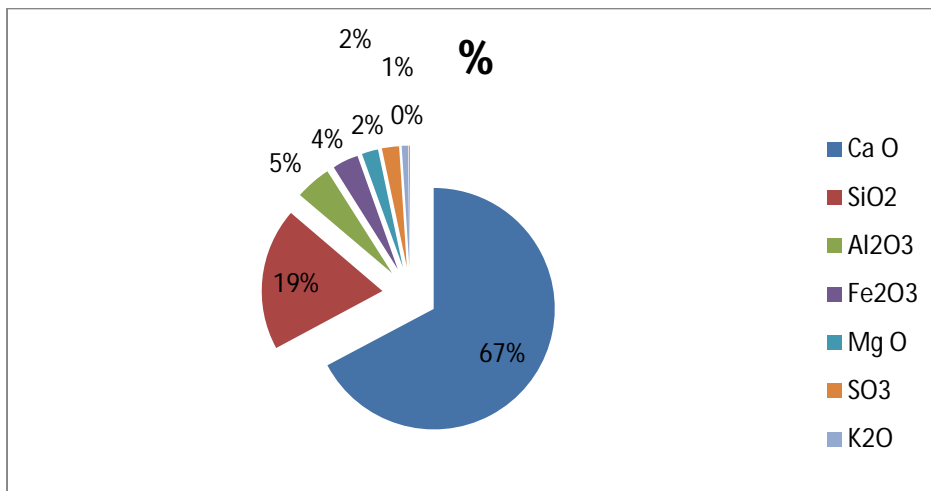


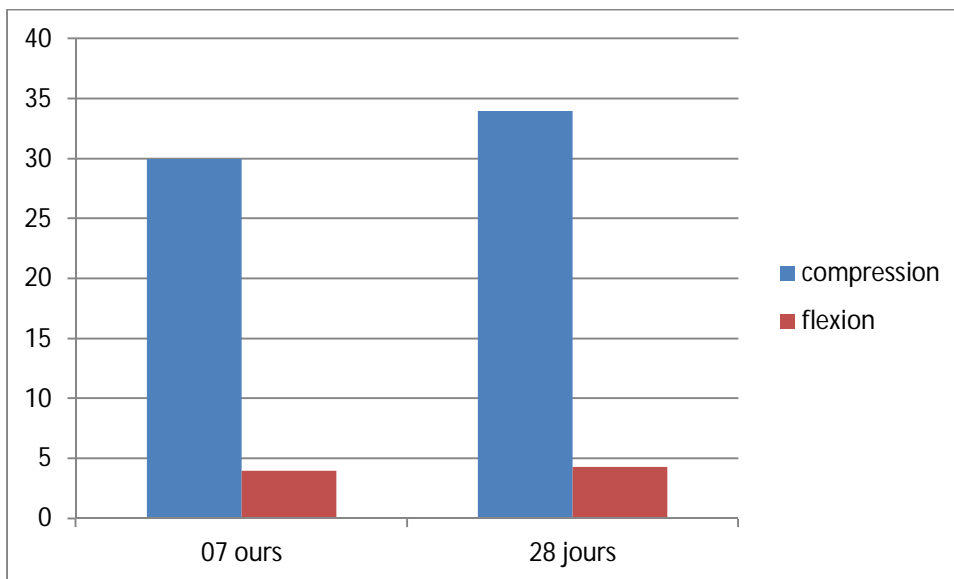
Figure N°26 : Diagramme circulaire de la composition chimique du ciment

Tableau N°08 : Caractéristiques minéralogiques de ciment

Elément	%
Silicate tricalcique C_3S	68,08
Silicate bi calcique C_2S	12,75
Aluminates tricalciques C_3A	5,75
Alumino- ferrite titra -calcique C_4AF	11,66

I.2.2. Caractéristiques mécaniques du ciment.**Tableau N°09 : Caractéristiques mécaniques du ciment**

Résistance (MPa)	Age	
	07 jours	28 jours
compression	30	34
flexion	4	4.29

**Figure N°27 : Caractéristiques mécaniques**

I.2.3. Caractéristiques physiques du ciment.

Tableau N°10: Caractéristiques physiques du ciment CEM II/A 42.5

Désignations		Garantie NA 442	Moyenne	Unités
Surface spécifique(SSB) (NA231)			3961	cm ² /g
Poids spécifique			3,2	g/cm ³
Consistance normale (NA 229)			26	%H ₂ O
Temps (NA 230)	Début de prise	≥60	150	Mn
	Fin de prise		252	Mn
Retrait à 28 jours		≤1000	731	μm/m
Expansion à chaud		≤10	0.5	Mm
Refus sur tamis 45μ			20,0	%

I.3. les fibres :

I.3.1 fibre de polypropylène :

I.3.1.1. Description :

GRANIFIBRES sont les fibres en polypropylène qui ajoutées au béton et au mortier réduisent les fissurations et le faïençage. Les chapes réalisées avec l'addition du **GRANIFIBRES** présentent de meilleures résistances à l'abrasion et aux chocs.



Figure N°28 : Fibre de polypropylène.

I.3.1.2. Propriétés :

- ✓ meilleur comportement du béton frais ;
- ✓ meilleure résistance mécanique au jeune âge ;
- ✓ résistent aux milieux alcalins ;
- ✓ réduisent les fissurations de retrait.

I.3.1.3. Les caractéristiques :

T° transition vitreuse10°C ;

T° fusion1450 à 175 °C ;

Masse volumique.....09 g/cm³ ;

Module de Young.....3KN/mm²;

Section de la fibre.....30 micros ;

Longueur de fibre12 mm

I.3.1.4. Les applications privilégiées des bétons de fibres de polypropylène sont les suivantes :

- dallages et aménagements urbains;
- produits préfabriqués (parements) ;
- mortiers projetés ;

- enduits ;
- sculptures.

1.3.2 Fibre Alfa

L'extraction de la fibre peut se faire par deux procédés distincts à savoir le traitement mécanique et le traitement chimique.

I.3.2.1. Extraction mécanique.

La tige Alfa utilisée provient de la wilaya de Djelfa. Comme première étape on met les tiges Alfa à l'air libre afin de les sécher jusqu'à l'obtention de la couleur jaune (**figures 29 et 30**). Après on les écrase et on les sépare cardage à l'aide des brosses métalliques de dimensions différentes manuellement (extraction mécanique) pour obtenir des fibres fines et lisses (**figure 31**)

Avant de pouvoir être filée, une fibre naturelle doit être cardée ou peignée, en fonction du matériau et du résultat souhaité. Le cardage consiste à démêler et aérer les fibres textiles à partir de divers matériaux bruts.

Le cardage s'effectue avec une paire de cardes à main, ou une cardeuse à rouleau, et l'on obtient un rouleau avec les cardes à main, ou une nappe avec la cardeuse. On carde généralement les fibres courtes (mérinos, coton, alfa).

❖ Les étapes du cardage moderne

La laine est d'abord ensimée, c'est-à-dire imprégnée d'une émulsion destinée à faciliter le démêlage ; puis elle passe dans la carde : des tambours garnis de très fines pointes d'acier, tournant à grande vitesse, divisent et parallélisent les fibres de laine et retiennent les impuretés végétales qui ont pu rester.

Suivant l'usage final auquel la laine est destinée, elle suivra, à partir du cardage et jusqu'à la transformation en fil, l'un ou l'autre cycle suivant :

- 1- le cycle peigné, suivi de préférence par les laines fines. Elles sortent de la carde sous forme de ruban continu, souple et homogène, dit ruban de carde. Le ruban subira l'opération de peignage avant d'être transformé en fil.

- 2- le cycle cardé, suivi par les laines de plus gros diamètre de fibre. Elles sortent de la cardé sous forme de mèches fines qui seront directement transformées en fil. La laine cardée donnera des tissus et des tricots d'aspect plus rustique.



Figure N°29 : L'Alfa à l'état brut.



Figure N°30 : Séchage à l'air libre.

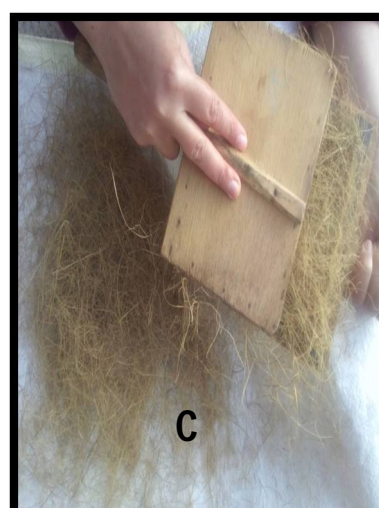


Figure N°31 : Séparation des tiges et cardage.

I.3.2.2. Extraction chimique

Une partie des fibres séchées et écrasées est trempée dans une solution de soude de normalité 2N et chauffée sur une plaque chauffante à 60°C pendant 1h. On rince les tiges avec de l'eau distillée afin d'éliminer toutes les traces de la soude, ensuite on fait sécher les fibres dans une étuve à 60°C pendant vingt-quatre (24) heures et enfin, on les sépare manuellement par cardage à l'aide d'une brosse métallique. On obtient des fibres lisses et fines sous forme de laine qui sont ensuite utilisées pour l'élaboration des mortiers.

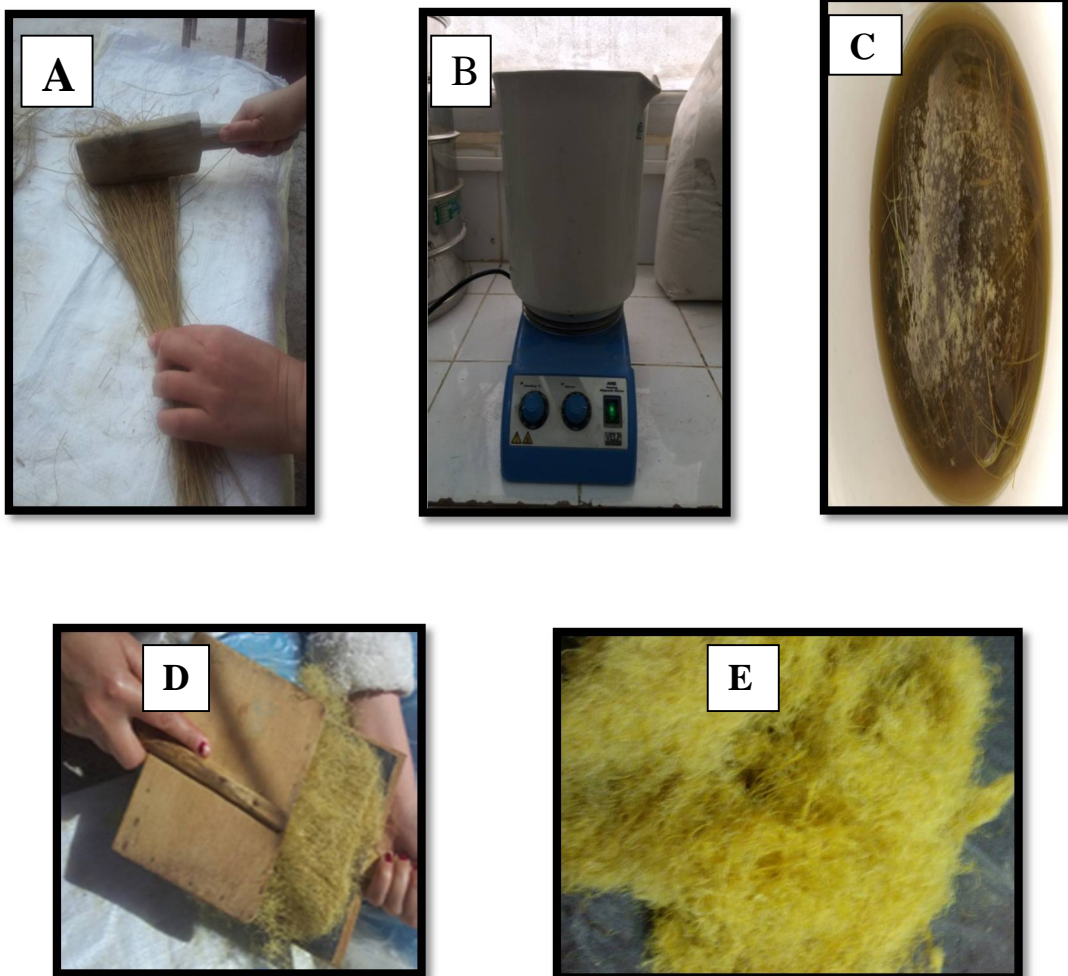


Figure N°32 : Différentes étapes d'extraction des fibres alfa

I.4. le sable :

Le sable utilisé est de la région d'oued EL MAHAROUN TIZI-OUZOU avec ce dernier on a préparé par la suite un sable normalisé.

Le tableau suivant représente la quantité de sable en gramme dans chaque tamis de la série pour préparer un sac de sable normalisé (tableau 11).

Tableau N°11 : Quantité de sable dans les tamis

Tamis (mm)	M(g)	%
2	0	0
1.6	94.5	7
1	351	26
0.5	459	34
0.16	270	20
0.08	162	12
FT	13.5	1

I.4.1. Analyse granulométrique de sable

Tableau N°12 : Analyse granulométrique de sable.

Tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulé (%)	MF
2	0	0	100	2.49
1.6	98.7	7.39	92.69	
1.25	318.4	23.58	76.42	
1	439.73	32.57	67.43	
0.63	749.63	55.52	44.48	
0.5	856.63	63.45	36.55	
0.315	990.93	73.40	26.6	
0.25	1037.13	76.82	23.18	
0.16	1309.33	96.98	3.02	
0.08	1325.7	98.2	1.8	
FT	1344	99.5	0.5	



Figure N°33 : Série des tamis.

Analyse granulométrique par tamisage NF EN 933-1
ENR. N° 0160/13

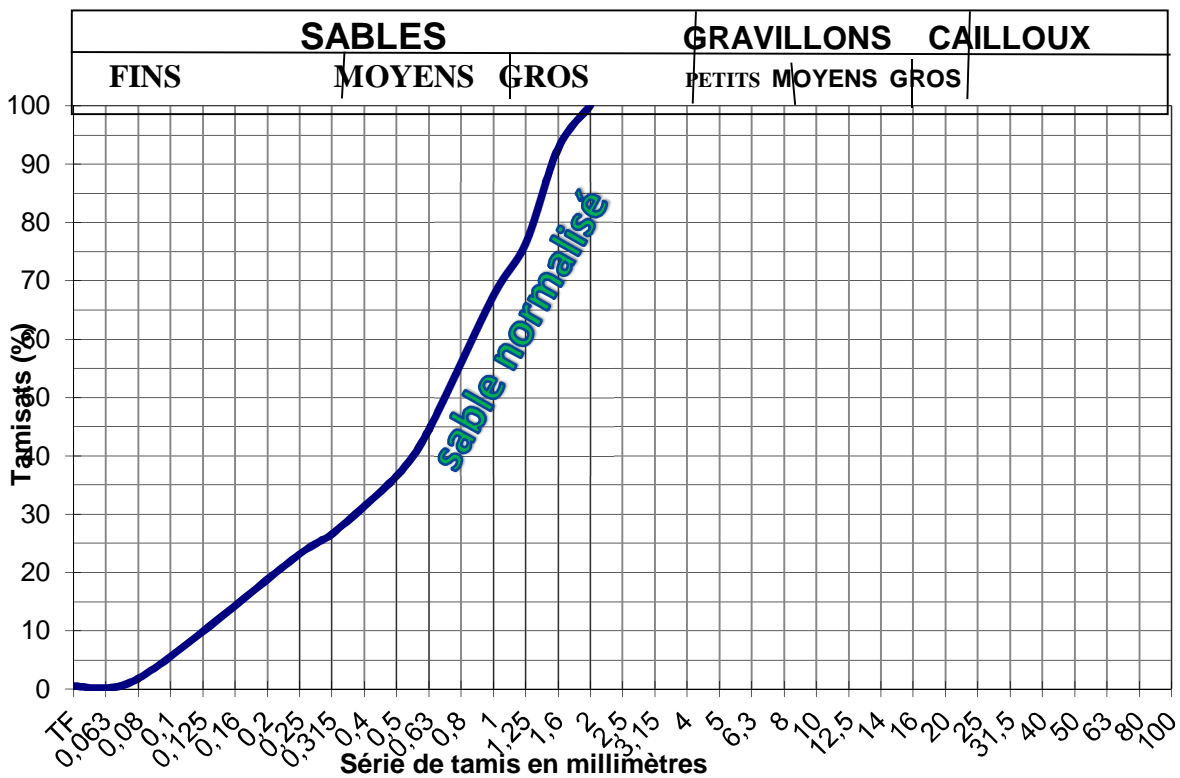


Figure N°34 : Courbe granulométrique du sable.

I.4.2. Equivalent de sable :

L'essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, et effectuer sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 2mm. Il prend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport, conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

La valeur de l'équivalent de sable (E_s) est le rapport multiple par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale du floculat et de la partie sableuse sédimentée.

Cet essai a été réalisé selon les modalités de la norme NF EN 933-8.

Tableau N°13 : Résultat d'équivalent de sable.

	1 ^{ère} Prise	2 ^{ème}
Heure de début d'essai	13H 10mn	13H 12mn
Heure début +10mn	13H 20mn	13H 22mn
Heure de lecture (20mn après lavage)	13H 45mn	13H 47mn
Hauteur totale H_1 (cm)	11	11
Hauteur H_2 (cm) ($ESP=43-H_2'$)	34.4	34
Hauteur de sable H_2' (cm)	8.6	9
$ESP=100(H_2/H_1)$	78.18%	81.81%
Moyenne	79.99 %	

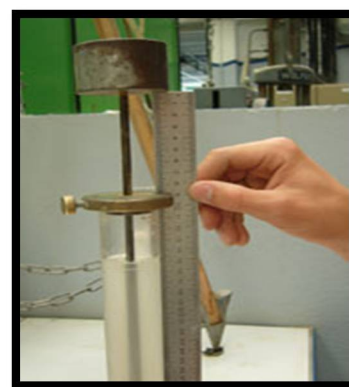


Figure N°35 : Mesure des particules fines.

Deuxième partie

Cette partie est consacrée à la formulation d'un mortier fibré avec des différents pourcentages et types de fibres ; ainsi que les caractéristiques physico-mécaniques (la résistance à la compression et la résistance à la flexion à différents âges).

Elaboration des différentes formulations :

Après l'analyse et caractérisation de tous les constituants, nous présentons les principaux essais faits dans laboratoire de LNHC sur les propriétés des mortiers fibrés à base de deux types de fibres (naturelle et artificielle).

❖ Les différents mortiers étudiés sont notés comme suit :

- **MT** : mortier normal sans fibre (Témoin).
- **M+0.5%PP** : mortier fibré avec 0.5% de fibre polypropylène.
- **M+1%PP** : mortier fibré avec 1% de fibre polypropylène.
- **M+1.5%PP** : mortier fibré avec 1.5% de fibre polypropylène.
- **M+2%PP** : mortier fibré avec 2% de fibre polypropylène.
- **M+0.5% α m** : mortier fibré avec 0.5% de fibre alfa traité mécaniquement.
- **M+1% α m** : mortier fibré avec 1% de fibre alfa traité mécaniquement.
- **M+1.5% α m** : mortier fibré avec 1.5% de fibre alfa traité mécaniquement.
- **M+2% α m** : mortier fibré avec 2% de fibre alfa traité mécaniquement.
- **M+0.5 α C** : mortier fibré avec 0.5% de fibre alfa traité chimiquement.
- **M+1% α C** : mortier fibré avec 1% de fibre alfa traité chimiquement.
- **M+1.5% α C** : mortier fibré avec 1.5% de fibre alfa traité chimiquement.
- **M+2% α C** : mortier fibré avec 2% de fibre alfa traité chimiquement.

II.1. Préparation des mortiers :

II.1.1. Mortier normal (Témoin) :

Pour préparer un mortier normal on pèse les constituants suivants :

- ✓ Sable normalisé : 1350 \pm 5g ;
- ✓ Ciment : 450 \pm 2g ;

- ✓ Eau de gâchage : 225g (le rapport E/C est égale 0.5).

II.1.2. Malaxage du mortier :

On introduit le ciment et le sable dans la cuve de malaxeur, on met le malaxeur en marche à vitesse lente, après 15s de malaxage sec on introduit l'eau et avec un malaxage pendant 1.30 min, on arrête le malaxeur 15s pour racler le mortier rapidement et le placer au milieu du cuve, puis on redémarre le malaxeur à une vitesse rapide jusqu'à terminer les (04) min de malaxage.



Figure N°36 : Malaxeur.

II.1.3. Préparation des éprouvettes :

- ✓ On utilise des moules prismatiques de dimension $4 \times 4 \times 16$ cm.
- ✓ On doit nettoyer les éprouvettes à l'aide d'une brosse métallique puis on les étale avec l'huile pour faciliter le démoulage.
- ✓ On verse le mortier dans les moules prismatiques.
- ✓ On remplit les éprouvettes puis on les vibre pour éliminer les bulles d'air.



Figure N°37: Eprouvette prismatique.

II.1.4. Démoulage et conservation des éprouvettes :

Après 24(h) heure on fait un démoulage et conservation des éprouvettes dans la chambre de conservation à une température de 20 ± 1 °C pendant 28 jours.

II.1.4.1. Mortier fibré

Les quantités de fibre utilisées dans les différentes compositions sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau N°14 : Quantités de fibre.

Quantité de fibre en (%) de la masse du ciment	Quantité de fibre en (g)
0.5	2.25
1	4.5
1.5	6.75
2	9

II.1.4.2. Malaxage du mortier fibré

On introduit le ciment et le sable dans la cuve de malaxeur, on met le malaxeur en marche à vitesse lente et après 15s de malaxage sec on introduit l'eau avec malaxage pendant 1.30min, on arrête le malaxage 15s pour racler le mortier et placer au milieu de cuve de malaxeur, puis on

redémarre le malaxeur à grande vitesse et après 30s de malaxage on ajoute la fibre régulièrement à la même vitesse précédente pendant 60s.



Figure N°38: Mortier fibré.

Troisième partie

Les caractéristiques physico-mécaniques

Dans cette partie on étudie les caractéristiques physico-mécaniques des éprouvettes après conservation dans la chambre humide pendant 07 jours et 28 jours pour chaque type d'éprouvette.

Les essais de flexion à 3 points sur éprouvettes prismatique $4 \times 4 \times 16$ cm et des essais de compression sur les moitiés d'éprouvette.

III.1. La résistance à la flexion :



Figure N°39: Appareil de flexion

III.1.2. Mortiers fibrés de polypropylène :

La résistance à la flexion à 07 jours et 28 jours

Tableau N°15: Résistance à la flexion à 07 jours et 28 jours des mortiers fibrés avec du polypropylène.

Type de mortier	Résistance à flexion en MPa	
	07 jours	28 jours
MT	4	4.29
M+0.5%PP	5.60	4.64
M+1%PP	4.89	4.52
M+1.5%PP	4.10	4.45
M+2%PP	3.80	4.20

Le graphe suivant présente la résistance à la flexion de mortier témoin et de polypropylène

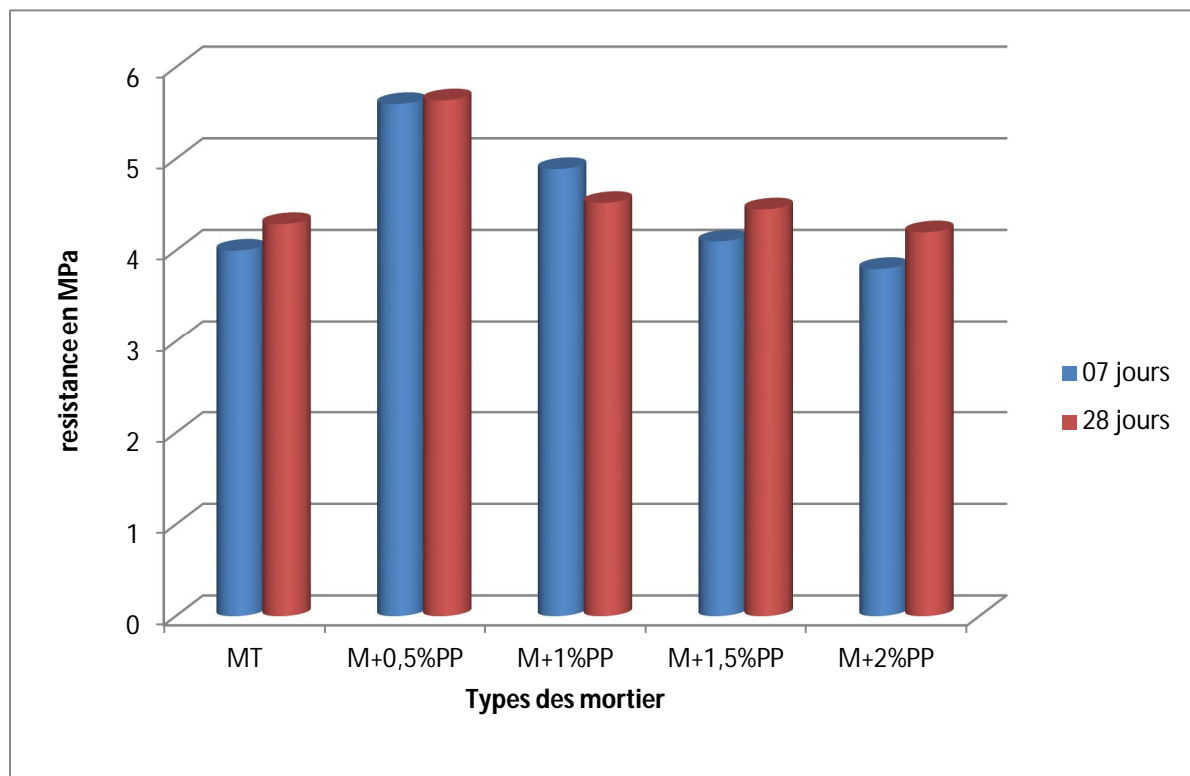


Figure N°40: Résistances à la flexion des différents mortiers avec fibre pp.

Commentaire :

Ces résultats montrent qu'à 7 jours et 28 jours les fibres polypropylène apportent une légère augmentation de la résistance à la traction par flexion des mortiers de dosage 0.5%, 1% et 1.5% et la meilleure variante est obtenue pour le dosage en fibre de 0,5 %.

L'augmentation du dosage de polypropylène fait augmenter la résistance mécanique à la flexion par rapport au mortier témoin jusqu'à une valeur limite en quantité de fibre de polypropylène de 2 %.

III.1.2 Mortiers élaborés avec des fibres alfa traitées mécaniquement :**Tableau N°16:** Résistance à flexion des mortiers de fibres alfa avec traitement mécanique.

Type de mortier	Résistance mécanique à flexion en MPa	
	07 jours	28 jours
MT	4	4.29
M+0.5% α m	4.10	4.35
M+1% α m	4.35	4.62
M+1.5% α m	4.6	4.69
M+2% α m	4.62	4.99

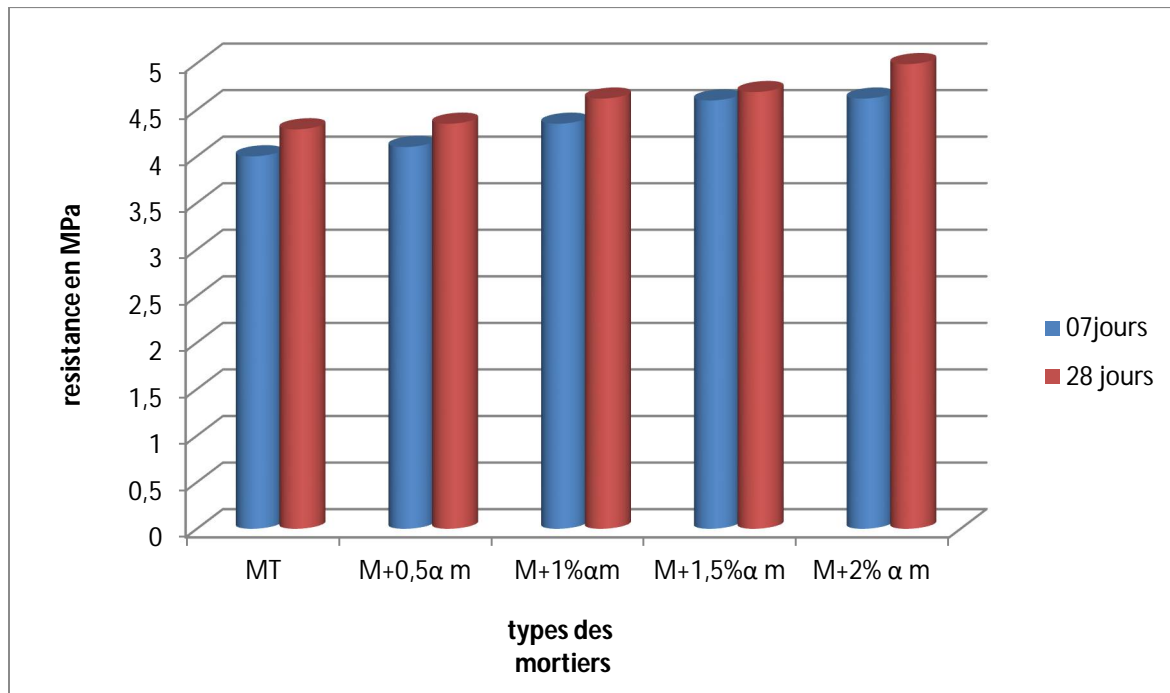


Figure N°41: Résistance à flexion des mortiers de fibre alfa traitement mécanique.

Commentaire :

La résistance à la flexion augmente avec l'augmentation de dosage des fibres alfa traitées mécaniquement à 07 jours et 28 jours.

Le mortier à dosage de 2% d'alfa traité mécaniquement présente les résistances à flexion les plus élevées à 07 jours et 28 jours avec des valeurs 4.62 MPa et 4.99 MPa.

III.1.3. Mortiers élaborés avec des fibres alfa traitées chimiquement :

Tableau N°17: Résistance à flexion des mortiers de fibres alfa avec traitement chimique

Type de mortier	Résistances mécanique à flexion en MPa	
	07 jours	28 jours
MT	4	4.29
M+0.5%α C	3.8	2.64
M+1%α C	4.20	3.53
M+1.5% C	4.45	3.61
M+2% C	4.80	3.50

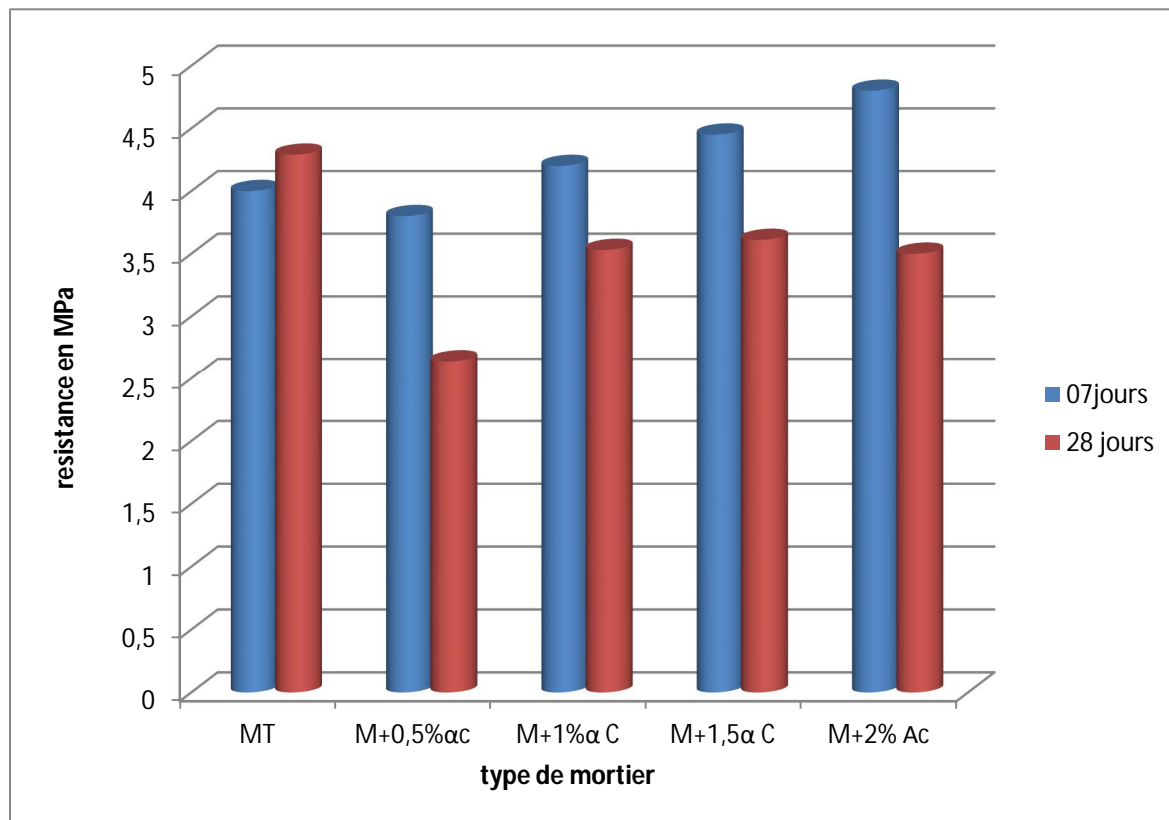


Figure N°42: L'histogramme de résistance à flexion des mortiers de fibre alfa traitement chimique.

Commentaire :

La résistance à la flexion des mortiers de dosage de 0.5% de fibre alfa traité chimiquement est inférieure à la résistance du mortier témoin à 07 jours.

La résistance des mortiers à dosage de 1%, 1.5%, et 2% de fibre alfa traitées chimiquement à 07 jours est supérieure par rapport la résistance de mortier témoin.

La résistance à la flexion augmente avec l'augmentation de dosage de fibre alfa traitées chimiquement à 07 jours.

L'augmentation de dosage de fibre alfa traité chimiquement augmente la résistance à flexion mais reste toujours inférieure à la résistance de mortier témoin à 28 jours.

Le mortier de 2% de fibre alfa traité chimiquement est plus résistant à la flexion à l'âge de 07 jours (4.45 MPa) mais à 28 jours c'est le mortier à 1.5% d'alfa traité chimiquement qui est le plus résistant à la flexion (3.61 MPa). On remarque que la fibre traitée chimiquement n'apporte pas d'amélioration pour la résistance à la flexion, ceci est dû principalement à fragilité de ces fibres suite aux différents traitements chimiques et thermique nécessaires pour

l'extraction. On remarque aussi que la résistance à flexion diminue avec l'âge, ceci est dû probablement à leur fragilité suite aux différents traitements subis par ces fibres.

Comparaison entre les résultats des résistances des mortiers fibrés à la flexion à 28 jours

Tableau N°18 : Résistance à flexion des mortiers fibré

% de fibre	Résistance mécanique à la flexion à 28 jours en MPa		
	M+PP	M+ α m	M+ α c
0,5	4,64	4,35	2,64
1	4,52	4,62	3,53
1,5	4,45	4,69	3,61
2	4,20	4,99	3,50

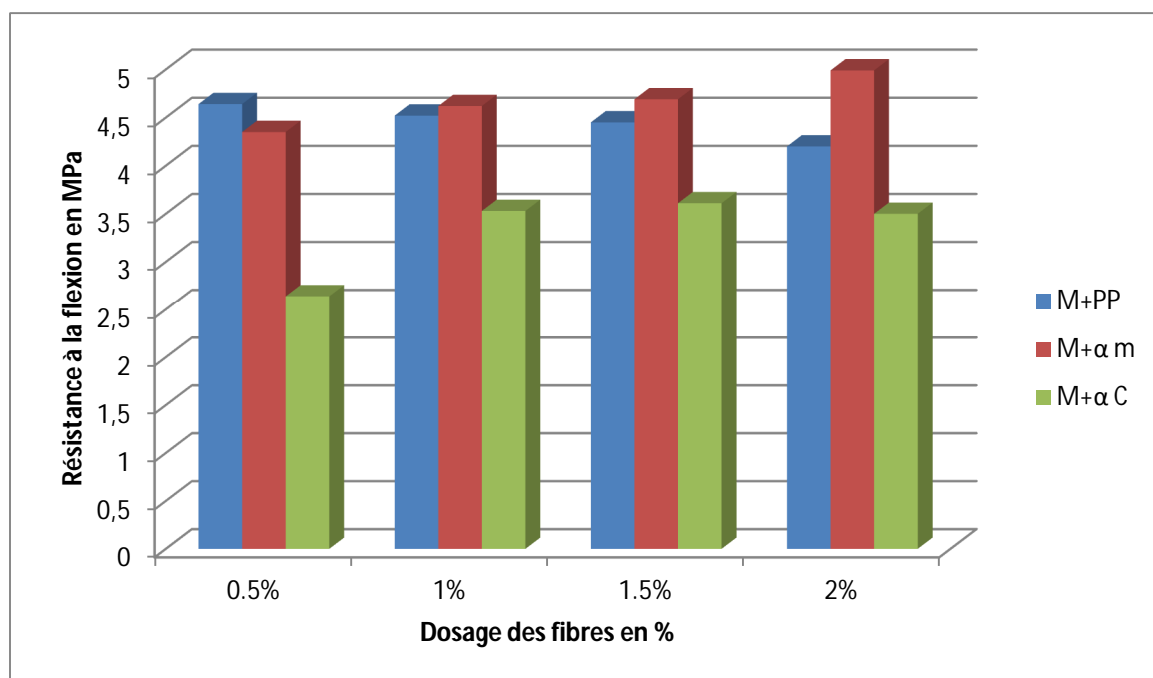


Figure N°43: L'histogramme de résistance à flexion des mortiers fibré

La figure N° 43 montre que les performances des mortiers fibrés sont dépendantes du dosage, de la nature et le type de traitement des fibres utilisées, en effet, l'amélioration de la résistance à la flexion est obtenue avec les fibres alfa extraites par traitement mécanique et apporte leur contribution à l'augmentation de la résistance à la flexion (4,99 MPa avec une augmentation de 12 % par rapport à celle du témoin). On relève aussi que la quantité de fibres alfa, obtenues par traitement mécanique, augmente avec l'augmentation de la résistance par rapport à celles des autres types de fibres (2 % de la masse du ciment soit 9 g).

III.2. La résistance à la compression :

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture en flexion seront rompus en compression comme le montre la figure suivante:

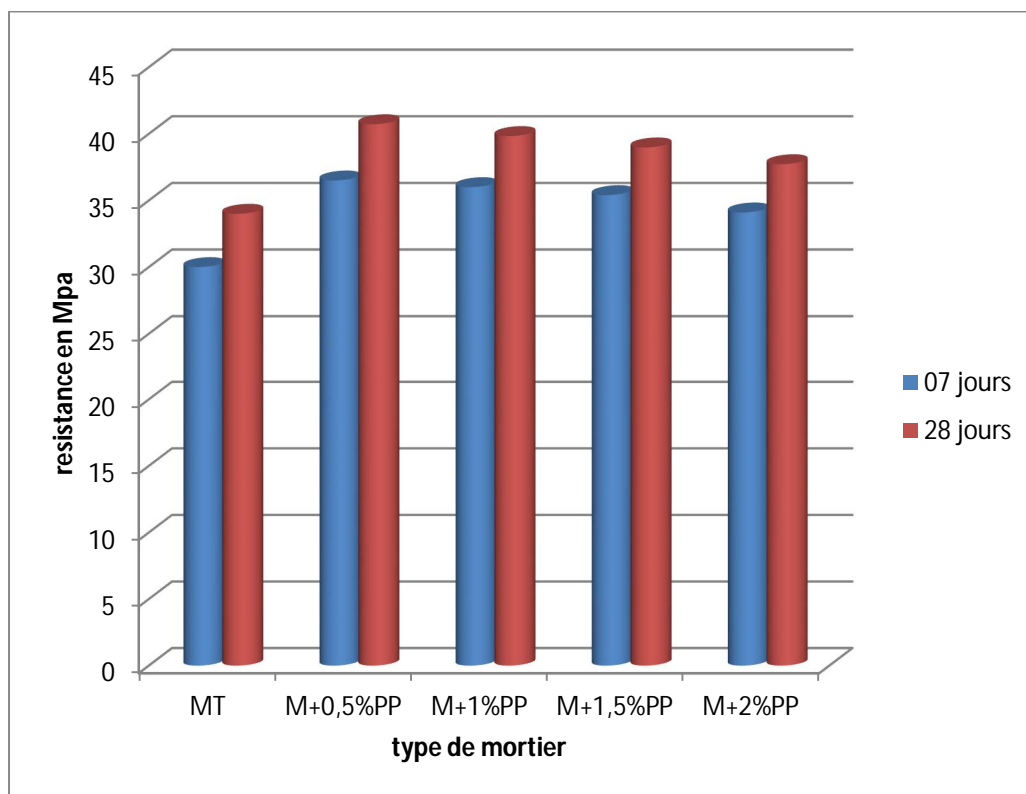


Figure N°44: Compression des éprouvettes.

III.2.1. Mortiers élaborés avec des Fibre de polypropylène :

Tableau N°19: Résistance à compression des mortiers de fibres polypropylène.

Type de mortier	Résistance mécanique à compression en MPa	
	07 jours	28 jours
MT	30	34
M+0.5%PP	36.5	40.72
M+1%PP	36	39.83
M+1.5%PP	35.40	38.98
M+2%PP	34.10	37.72

**Figure N°45 :** Histogramme de résistance à la compression des mortiers de fibres polypropylène.**Commentaire :**

La résistance à la compression à 07 jours et 28 jours des mortiers élaborés avec la fibre polypropylène est supérieure à celle de mortier témoin.

L'augmentation de dosage de polypropylène diminue la résistance à compression.

Le dosage optimal des fibres de polypropylène dans les mortiers est obtenu pour la variante (M+0,5%) qui donne des résistances à la compression de l'ordre de 36.5 MPa et 40.72 MPa respectivement pour 07 et 28 jours.

III.2.2. Mortiers élaborés avec la fibre alfa traité mécaniquement

Tableau N°20: Résistance à compression des mortiers de fibres alfa traitées mécaniquement.

Type de mortier	Résistance mécanique à compression en MPa	
	07 jours	28 jours
MT	30	34
M+0.5% α m	34.37	40.94
M+1% α m	36	42.81
M+1.5% α m	37.25	45.62
M+2% α m	37.75	46.41

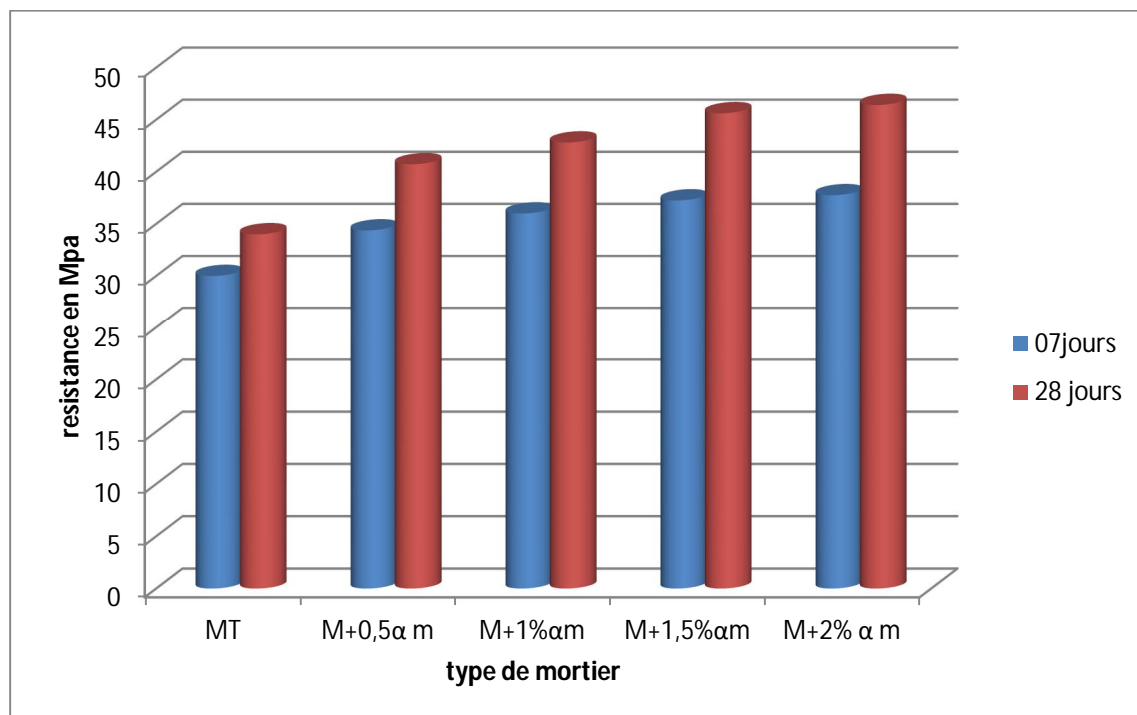


Figure N°46 : L'histogramme de résistance à compression des mortiers de fibre alfa obtenues par traitement mécanique

Commentaire :

La résistance à la compression augmente avec l'augmentation de dosage de fibre alfa traité mécaniquement, elle est supérieure par rapport au mortier témoin à 07 jours et 28 jours.

Le mortier à dosage de 2% de fibre alfa traité mécaniquement et plus résistant à compression à 07 jours et 28 jours.

III.2.3. Mortiers élaborés avec des fibres alfa traitées chimiquement :**Tableau N°21:** Résistance à compression des mortiers de fibre alfa par traitement chimique.

Type de mortier	Résistance mécanique à compression en MPa	
	07 jours	28 jours
MT	30	34
M+0.5% α C	23	40.15
M+1% α C	23.75	37.81
M+1.5% α C	25.62	33.59
M+2% α C	27.75	32.56

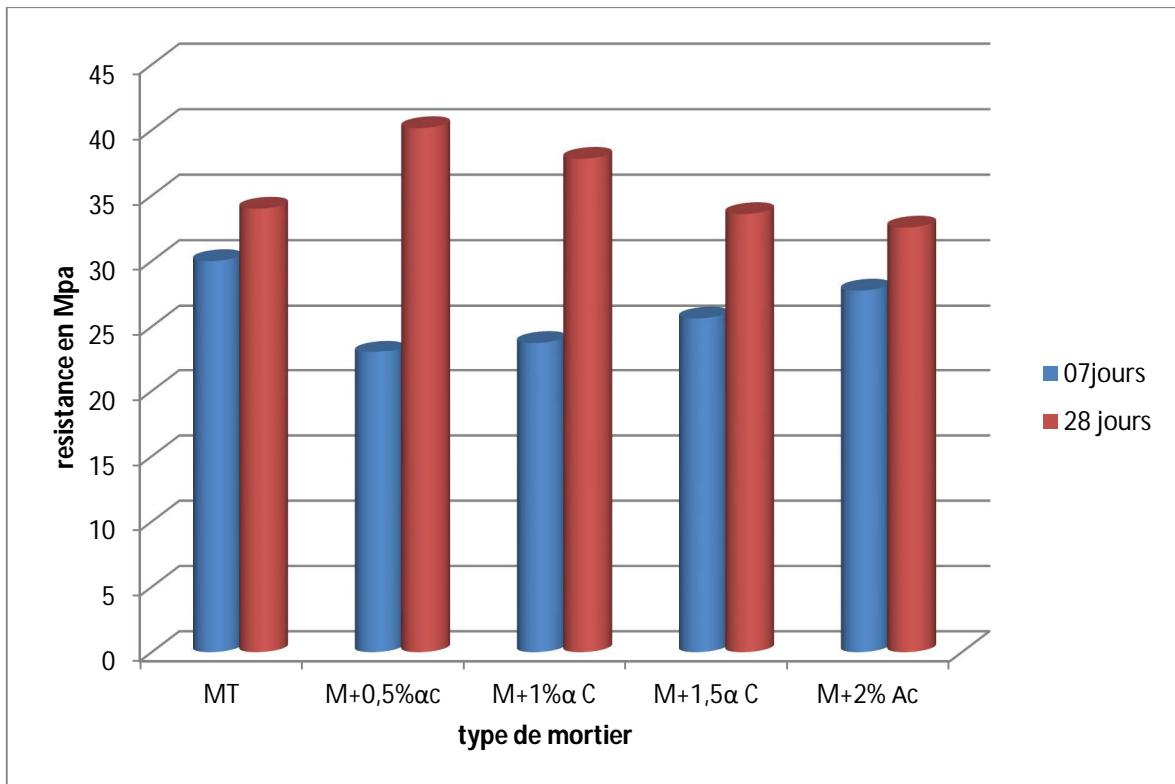


Figure N°47: Résistance à la compression des mortiers de fibres alfa (traitement chimique).

Commentaire :

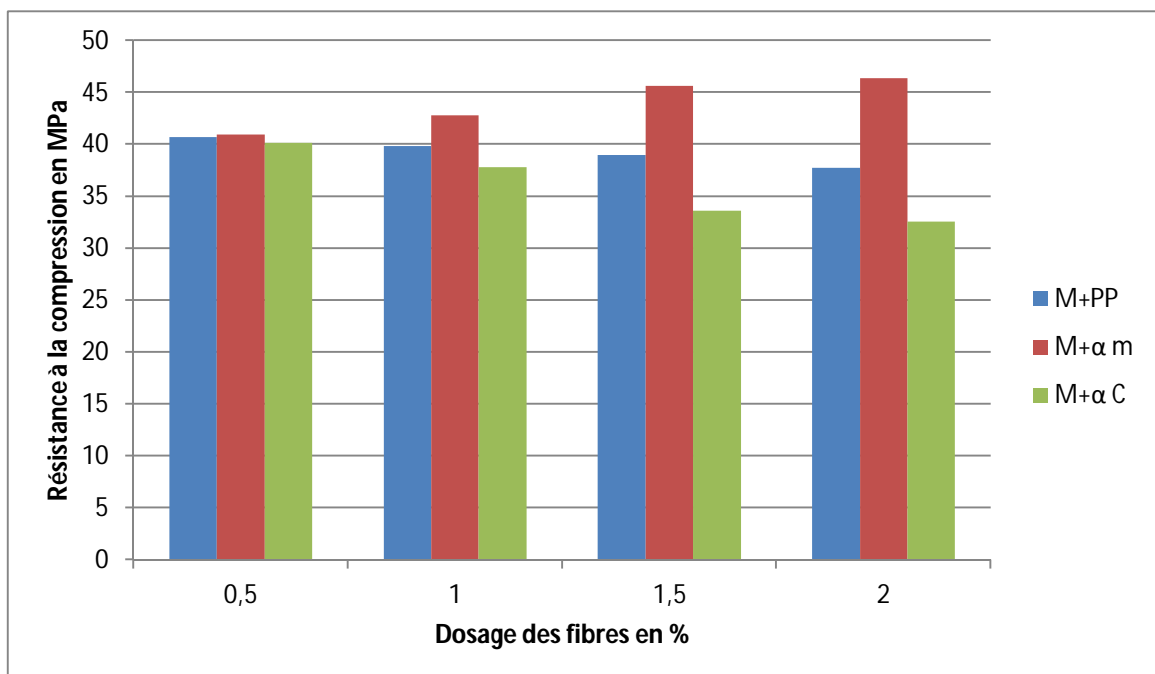
A 07 jours la résistance à compression augmente avec l'augmentation du dosage de fibre alfa traitée chimiquement mais reste toujours inférieure à la résistance de mortier témoin.

A 28 jours les résistances à compression des mortiers à dosage de 0.5% et 1% sont supérieures à la résistance du mortier témoin. Les résistances chutent et deviennent néfastes pour les mortiers si la quantité de fibres dépasse le pourcentage de 01% de la masse du ciment (Résistances inférieurs à celle du mortier témoin).

D'après ces essais de résistances mécaniques, Nous pouvons conclure que les fibres extraites manuellement et mécaniquement apportent des améliorations aux différents mortiers par rapport aux fibres commerciales et des fibres extraites chimiquement.

Tableau N° 22: Résistance à la compression à 28 jours des mortiers fibrés

% de fibre	Résistance mécanique à la flexion à 28 jours en MPa		
	M+PP	M+ α m	M+ α C
0,5	40.72	40.94	40.15
1	39.83	42.81	37.81
1,5	38.98	45.62	33.59
2	37.72	46.41	32.56

**Figure N°48:** Histogramme des résistances à la compression des mortiers en fonction du type de fibre.

La figure N°48 montre que la meilleure variante est M+2% α m avec une résistance à la compression de 46.41Mpa. Le dosage en fibres est meilleur pour les fibres alfa obtenues par traitement mécanique (2% avec 9g de fibres). On remarque aussi que les fibres d'alfa obtenues par l'extraction chimique ne résistent pas à long terme, ceci est dû à l'effet de ce traitement chimique et qui peut engendrer une grande porosité du mortier suite à des attaques chimiques de la fibre.

III.3. Traction des fibres alfa :

Les essais mécaniques sont des expériences dont le but est de caractériser les lois de comportement des matériaux.

Cette expérience pour déterminer les propriétés mécaniques de deux types de fibre alfa (alfa traité mécaniquement et alfa traité chimiquement)

Avant l'essai de traction, on doit mesurer l'épaisseur de la fibre et qui est représentée dans la figure suivante :

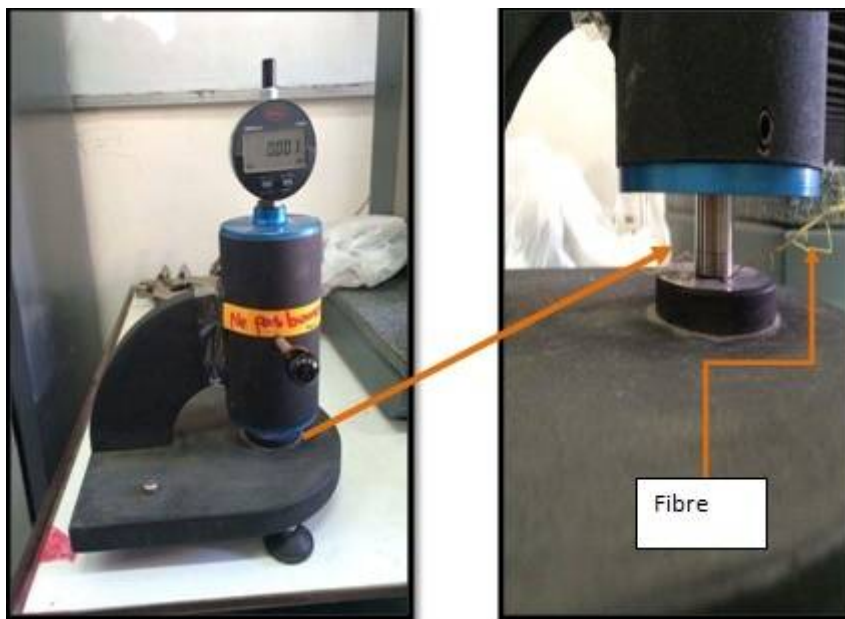


Figure N°49: Mesure d'épaisseur.

Pour faire l'essai de traction, on utilise cet appareil dans la figure suivante :

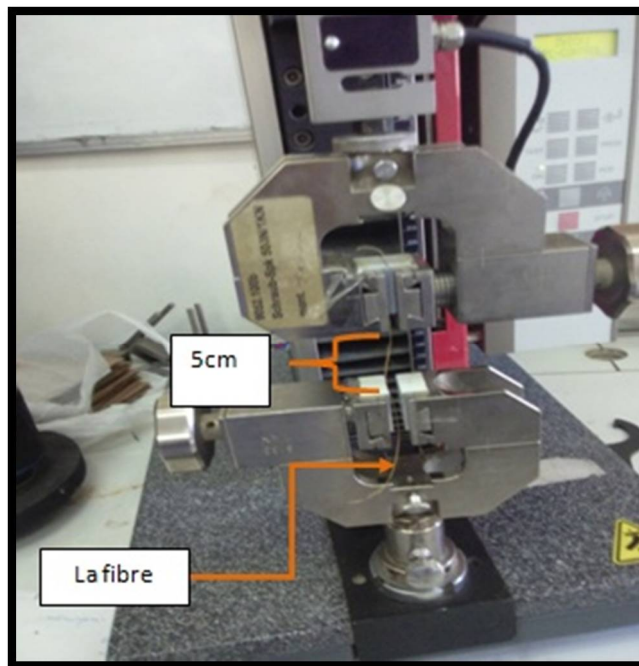


Figure N°50 : Appareil de traction de la fibre.

Les fibres supportent presque la totalité de l'effort axial. Par conséquent, elles contribuent essentiellement à la rigidité du composite et contrôlent le processus de sa rupture.

On a fait plusieurs essais de traction sur les deux types de fibre alfa (alfa traité mécaniquement et alfa traité chimiquement).

III.3.1. Fibre alfa traitée mécaniquement :

Les essais de traction sont effectués sur des fibres alfa traitées mécaniquement et on constate que la fibre présente un comportement linéaire élastique et donne les résultats dans le tableau suivant :

Tableau N°23 : Propriétés mécaniques de fibre alfa traitée mécaniquement.

Contrainte (N/mm ²)	889.73
Rupture (%)	3.23
Module de Young (N/mm ²)	27260.83

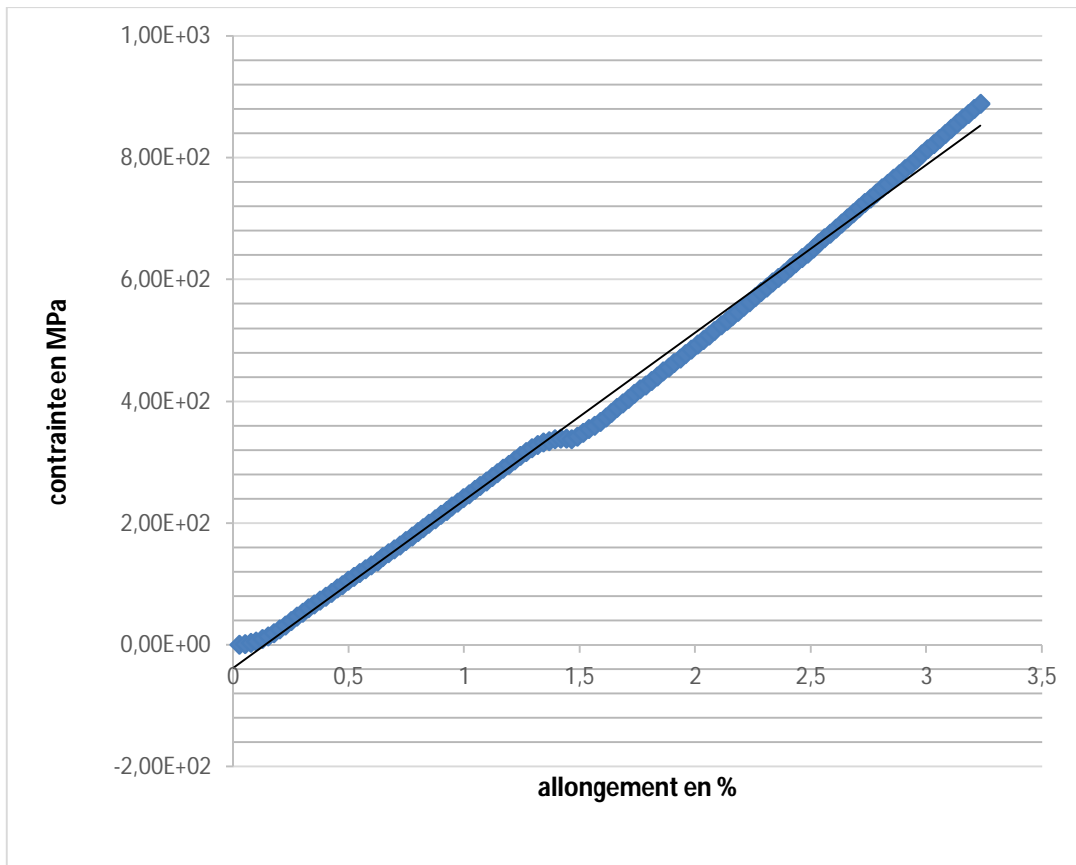


Figure N°51: Variation de la contrainte en fonction de l'allongement de fibre alfa traitée mécaniquement.

III.3.2. Fibre alfa traitée chimiquement :

Les résultats de traction de fibre alfa traitée chimiquement représenté par le tableau suivant :

Tableau N°24: propriétés mécaniques de fibre alfa traitée chimiquement.

Contrainte (N/mm ²)	266,09
Rupture (%)	2,66
Module de Young (N/mm ²)	9765,67

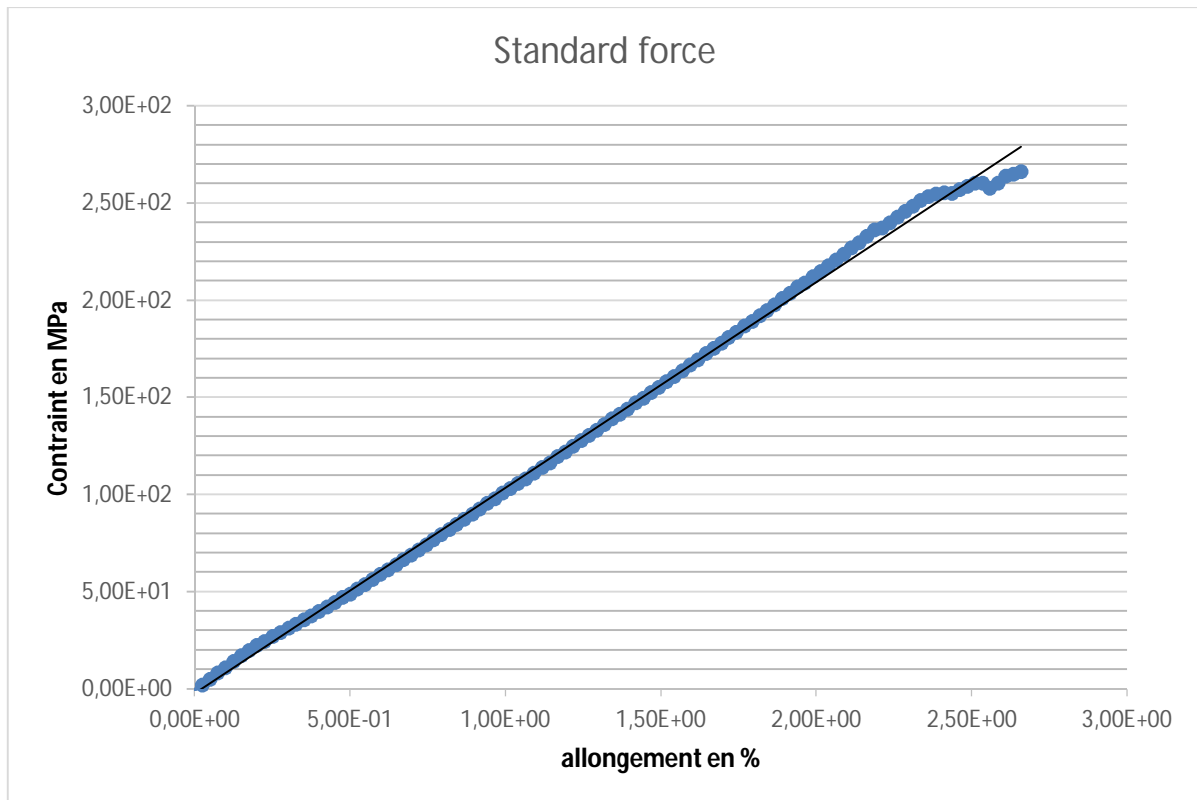


Figure N°52: Variation de la contrainte en fonction de l'allongement de fibre alfa traitée chimiquement

Module de Young de fibre polypropylène :

Module de young.....3000N/mm²

Commentaire

D'après les résultats obtenus, on conclut que le module de Young obtenu pour la fibre alfa traitée mécaniquement est le plus élevé par rapport aux autres fibres. Donc, il y'a un changement de comportement quand la contrainte augmente (l'allongement est grand pour les fibres obtenues par traitement mécanique). Ceci confirme nos résultats sur les performances des différents mortiers étudiés.

Conclusion Générale

Le béton fibré est utilisable dans tous les domaines en bâtiment et génie civil, aussi bien dans les constructions industrielles, commerciales et institutionnelles que résidentielles. Les fibres ont généralement pour rôle de renforcer ou remplacer l'action des armatures traditionnelles en s'opposant à la propagation des microfissures.

La présente étude porte sur l'élaboration et la caractérisation des mortiers fibré en incorporant des fibres végétales (alfa) ainsi fibre artificielle (polypropylène) avec différent dosage pour chaque types de fibre (0%, 0.5%, 1%, 1.5% et 2%) dans un mortier en fixé le rapport E/C.

- L'introduction de 0.5% de fibre polypropylène apport une forte augmentation de la résistance à compression et à flexion à 07 jours et 28 jours.
- La résistance à flexion et compression des mortiers à fibre alfa mécanique et plus forte en dosage 2% par rapport le mortier témoin.
- la résistance à compression augment avec l'augmentation de dosage de fibre alfa chimique mais reste toujours inférieur à la résistance de mortier témoin à 07 jours.
- les résistances à compression des mortiers à dosage de 0.5% et 1% supérieure à la résistance de mortier témoin mais les résistances des mortiers à 1.5% et 2% inférieur à résistance de mortier témoin à 28 jours.
- Les mortiers fibré à alfa traité mécaniquement et alfa traité chimiquement donnent presque même résistances à flexion à 07 jours mais à 28 jours les mortiers à fibres alfa traité mécaniquement qui donne bonne résultats.
- Les résistances à la compression des mortiers à fibre alfa traité mécaniquement c'est des bonnes résistances par rapport les mortiers à fibre alfa chimiquement à 07 jours et 28 jours.
- Les mortiers à fibre alfa traité mécaniquement donnent bonne résistances à la flexion et à la compression par rapport les mortiers à fibre polypropylène à 07 jours et 28 jours.
- Les résistances à flexion de mortier à fibre alfa traité chimiquement fort par rapport les résistances de mortier à fibre polypropylène à 07 jours mais à 28 jours c'est le contraire.
- Les résistances à compression des mortiers à fibre polypropylène fort par rapport les mortiers à fibres alfa traité chimiquement à 07 jours et à 28 jours.

1. Les essais physico-chimiques

➤ Les essais sur sables:

MASSES VOLUMIQUES :

La masse volumique d'un matériau est la masse de ce matériau par unité de volume. son symbole est désigné par M_v , comme on distingue le volume absolu et le volume apparent

Détermination de la masse volumique absolue.

a-Définition :

La masse volumique absolue ρ_s est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains. Les masses volumiques s'expriment en t/m^3 , en kg/dm^3 , ou en g/cm^3 . La masse volumique absolue moyenne des granulats silico-calcaires est prise égale, en première approximation, à $2,65 t/m^3$ ou $2,65 g/cm^3$.

But de l'essai :

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

Méthode de l'éprouvette graduée :

Cette méthode est très simple et très rapide. Elle utilise du matériel très courant de laboratoire. Toutefois sa précision est faible.

1. Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau.
2. Peser un échantillon sec M de granulats (environ 300 g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
3. Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume V_2 .

La masse volumique est alors:

$$\rho_s = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

ANNEXE

Pour opérer dans de bonnes conditions, utiliser une éprouvette graduée en verre de 500 cm³ de volume. La lecture des niveaux V_1 et V_2 doit se faire en bas du ménisque formé par l'eau. En effet, celle-ci a tendance à remonter sur les bords de l'éprouvette sur une hauteur de 1 à 2 mm, ce qui fausse bien sûr la lecture des volumes si la lecture est effectuée en haut du ménisque.

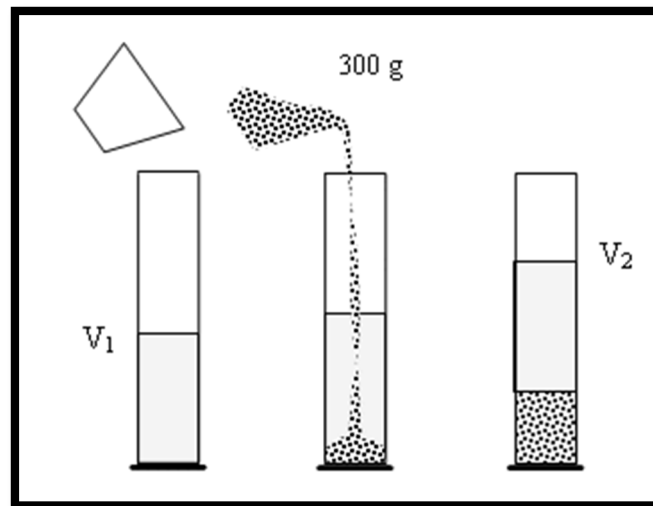


Figure : Méthode de l'éprouvette

Mesure la propriété de sable (NF EN 933-8) :

La propriété des granulats peut s'apprécier de différentes façons telles que l'essai au bleu de méthylène, d'équivalent de sable à 10 % de fines etc., mais dans ce cours, on va présenter seulement l'essai d'équivalent de sable.

But de l'essai.

Cet essai a pour but de mesurer la propriété des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les flocules fins contenues dans le sable. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propriété de celui-ci.

Principe de l'essai :

On agite une quantité de sable dans une solution lavante dans un récipient, on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- ✓ hauteur h_1 : sable propre + éléments fins,
- ✓ hauteur h_2 : sable propre seulement.

On en déduit l'équivalent de sable qui, par convention est (a). L'essai dit d'équivalent de sable - permet de déterminer le degré de propriété du sable :

ANNEXE

$$ES = \frac{h_1}{h_2} 100$$

Selon que la hauteur h_2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine **ESV** (équivalent de sable visuel) et **ES** (équivalent de sable au piston)

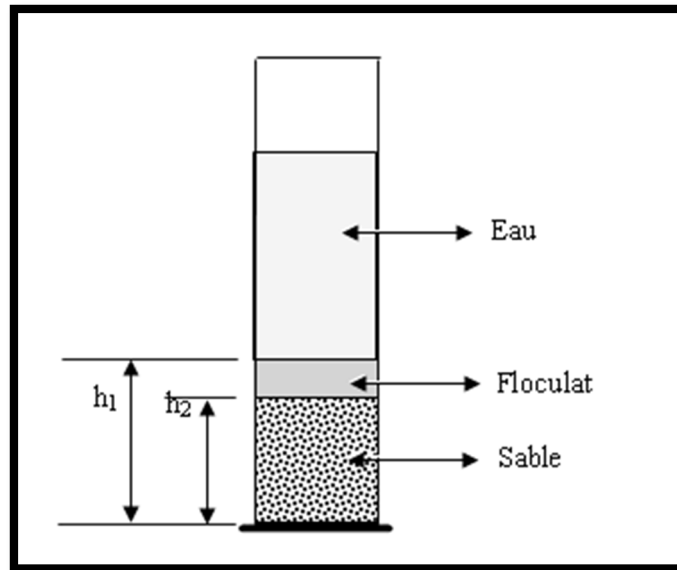


Figure: Définition de l'équivalent de *sable*

LES ESSAIS SUR CIMENT.

1 MASSE VOLUMIQUE :

On utilise un pycnomètre afin de travailler à volume constant. Le liquide utilisé est non réactif avec le ciment : toluène, cyclohexane

La masse volumique des ciments varie de 2,85 à 3,21 g/cm³

DETERMINATION DE LA CONSISTANCE NORMALE.

Mode opératoire.

La quantité de ciment qui doit être pesé est de 500g, une certaine quantité d'eau, par exemple 125g doit être introduite à partir d'un verre gradué

- ✓ Ajouter les 500g de ciment pesé à l'eau et ceci soigneusement afin d'éviter toute perte d'eau ou de ciment.
- ✓ la durée de cette opération ne doit pas être inférieure à 5min ni supérieure à 10min.
- ✓ Mettre le malaxeur en route immédiatement à vitesse lente pendant 60 secondes.

ANNEXE

- ✓ Tourner à vitesse rapide pendant 2 minutes, au bout de 3 minutes arrêter la machine pendant 15 secondes racler la pâte adhérente à la cuve. Remettre alors la machine à vitesse rapide.
- ✓ Introduire la pâte malaxée dans le moule tronconique (préalablement placé sur une plaque de verre légèrement graissée).
- ✓ Régler préalablement l'appareil de VICAT muni de la sonde.
- ✓ abaisser la sonde avec précaution jusqu'à ce qu'elle arrive contact de la pâte, observer une pose de 01 à 02 secondes à cette position de manière à éviter une vitesse initiale ou une accélération forcée des parties mobiles.
- ✓ Lâcher alors rapidement les parties mobiles, la sonde doit pénétrer verticalement au centre de la pâte. Lâcher la sonde de 4 minutes après l'instant (zéro) effectue la lecture de l'échelle à la fin de la pénétration où 30 secondes après la libération de la sonde.

La consistance normale est donnée par la formule suivante :

$$CN = \frac{V_e}{P_c}$$

Où :

V_e : volume d'eau de gâchage.

P_c : poids de ciment

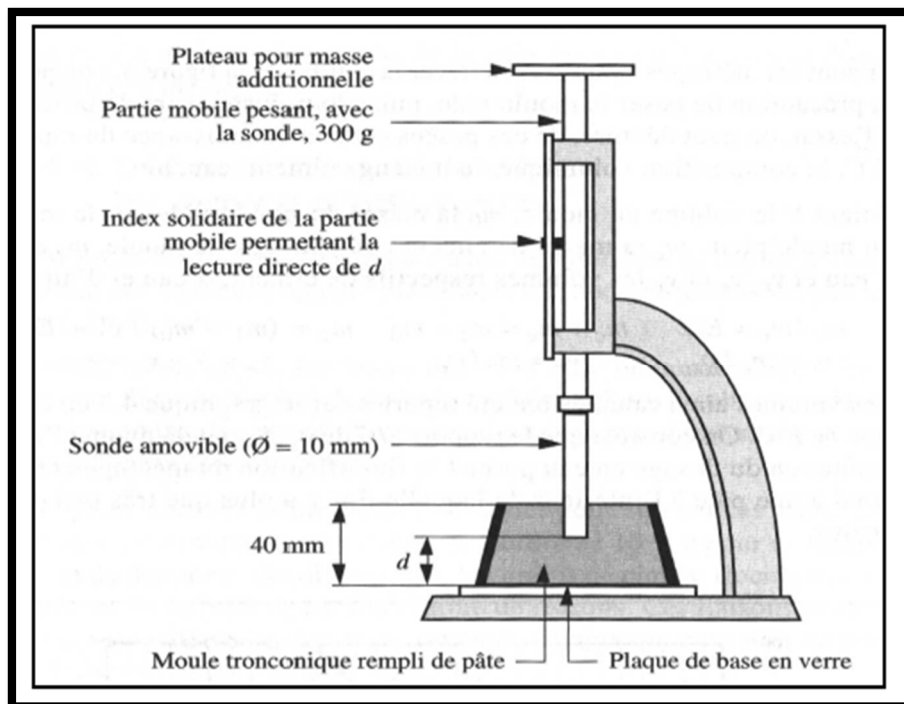


Figure : Appareil de Vicat

Détermination du temps de PRISE :

Principe D'ESSAI :

Remplir le moule de l'appareil de VICAT de pâte de consistance normale et arasé, abaisser l'aiguille avec précaution jusqu'à ce qu'elle arrive au contact de la pâte, lâcher alors rapidement la partie mobile, l'aiguille doit pénétrer verticalement dans la pâte répéter l'essai de pénétration sur la même éprouvette à des positions convenablement espacés à plus de 10 mm du bord de moule.

Début de prise :

L'aiguille de VICAT descendue perpendiculairement à la surface de la pâte est immobilisée pendant un court arrêt quand elle entre en contact avec cette surface est abandonnée à elle-même sans vitesse initiale.

Le temps mesuré, depuis l'instant 0, au bout duquel la distance entre l'aiguille et la plaque de base est entre 0 et 1 mm est le temps de début de prise de ciment.

Fin de prise :

C'est le temps, mesuré depuis l'instant 0, au bout duquel l'aiguille ne pénètre plus la même fois qu'à 1 mm dans l'éprouvette.

Remarque : pour la détermination de temps de prise on utilise le même appareil utilisé pour la détermination de la consistance normale « appareil de VICAT » sauf on remplace la cendre par une aiguille de 1 mm.

➤ **Détermination de surface spécifique de Blaine : NF EN 196-6**

La surface spécifique d'un liant est calculée en fonction du temps que met un volume d'air constant, sous une pression déterminée et la température connue, à traverser une couche tassée de liant.

Mode opératoire :

La surface spécifique est déterminée avec le perméabilimètre de Blaine.

- On place un papier filtre sur la plaque inférieure de la cellule.
- On introduit l'échantillon de ciment et on égalise en secouant légèrement la cellule.

ANNEXE

- En place ensuite un papier-filtre au-dessus de l'échantillon et on comprime ce dernier en tournant légèrement le piston jusqu'à ce que son col et supporter par le bord supérieur de la cellule.

Après compression de l'échantillon dans la couche soumise à l'essai et le papier filtre.

- ✓ On relie la cellule du tube du manomètre et on s'assure de la parfaite étanchéité du raccord.
 - ✓ On ferme le robinet monté sur le tube manomètre, on comprime la poire en caoutchouc.
 - ✓ Le relâchement simultané de la pression sur la poire et l'ouverture du robinet d'aspiration on pour effet, l'air est lentement aspiré du tube du manomètre et le liquide est refoulé vers le haut, lorsque le niveau du liquide atteint le repère supérieur.
 - ✓ On ferme le robinet on met le chronomètre en marche lorsque la surface inférieure du ménisque franchisse le 2^{ème} trait annulaire depuis le sommet du tube.
 - ✓ On arrête le chronomètre.
- **Expression des résultats :**
 - La surface spécifique est calculée par la formule suivant :

$$S = K \frac{\sqrt{e^3 t}}{\rho (1 - e) \sqrt{\eta}}$$

- Dans laquelle :

S : surface spécifique (cm²).

K : constant de l'appareil, égale à 28,26.

E : porosité de la couche tassée, égale à 0,5.

T : temps mesuré en secondes.

ρ : masse volumique des grains g/cm²

η : viscosité de l'air à la température d'essai (en poise).

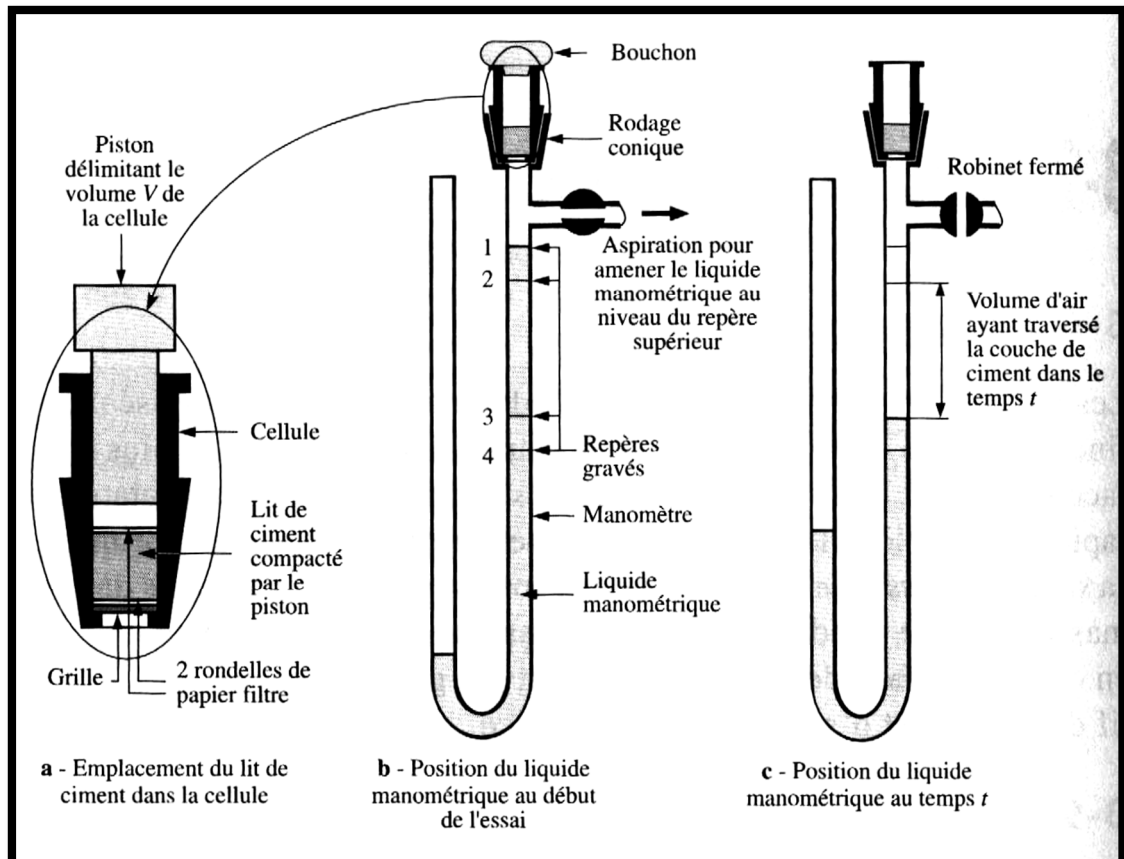


Figure : La surface spécifique de Blaine

Essais MECANQUES

L'éprouvette utilisée dans l'essai de flexion est une éprouvette prismatique $4 \times 4 \times 16$ cm en mortier . La rupture est effectuée sous charge concentrée dans une machine munie d'un dispositif à trois rouleaux

Dispositif de l'essai

Le dispositif de flexion comporte deux appuis à rouleau de 10 mm de diamètre, distant de 100 ou de 106,7 mm, sur lesquels repose l'éprouvette prismatique suivant une face latérale de moulage, et un troisième rouleau de même diamètre, équidistant des deux premiers, et transmettant la charge F.

ANNEXE

Pour transmettre une répartition uniforme des efforts sur l'éprouvette, deux rouleaux doivent pouvoir osciller légèrement de leur centre dans le plans vertical perpendiculaire au grand axe de l'éprouvette.

Machine d'essai

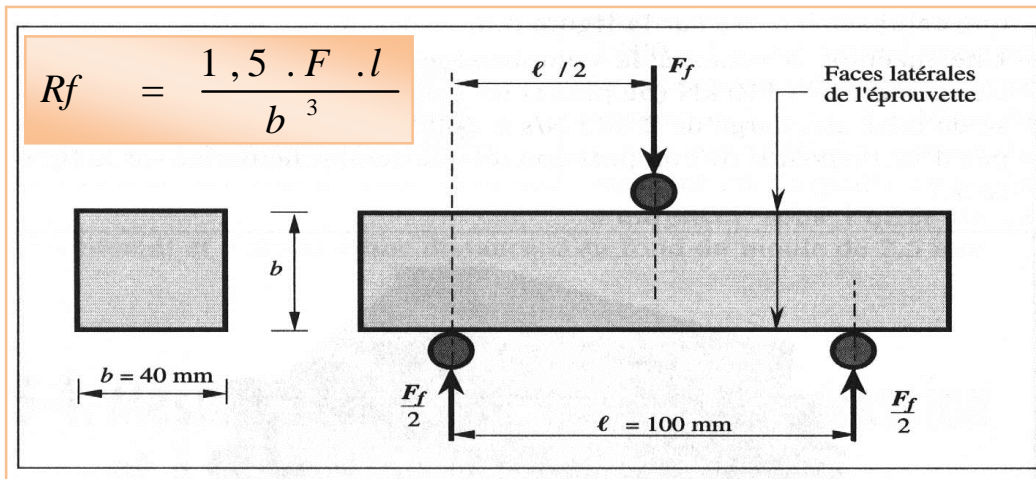


Figure : Essai mécanique de rupture par flexion

Résistance mécanique à la compression (NF P 15-471)

L'essai de compression est exécuté sur une presse pour matériaux durs, sur les demi-éprouvettes provenant de l'essai de flexion. Si la compression a lieu plus de 20mm après celui de la flexion, il faut conserver les demi éprouvettes dans l'armoire humide.

Dispositif de l'essai :

Chaque demi prisme est essayé en compression sur ses faces de moulage, sous une section de $40 \times 40 \text{ mm}$, entre deux plaques de métal dur d'au moins 10mm d'épaisseur, de $40 \pm 10,1 \text{ mm}$ de largeur, de longueur supérieur à 40mm et dont la tolérance de plénitude est de 0,01mm. Ces plaques sont en acier dur d'une dureté Vickers d'au moins 600, ou de préférence en carbure de tungstène.

Le demi-prisme est placé entre elles de manière que son extrémité intacte dépasse d'environ 1cm. (voir figure 65)

Machine d'essai

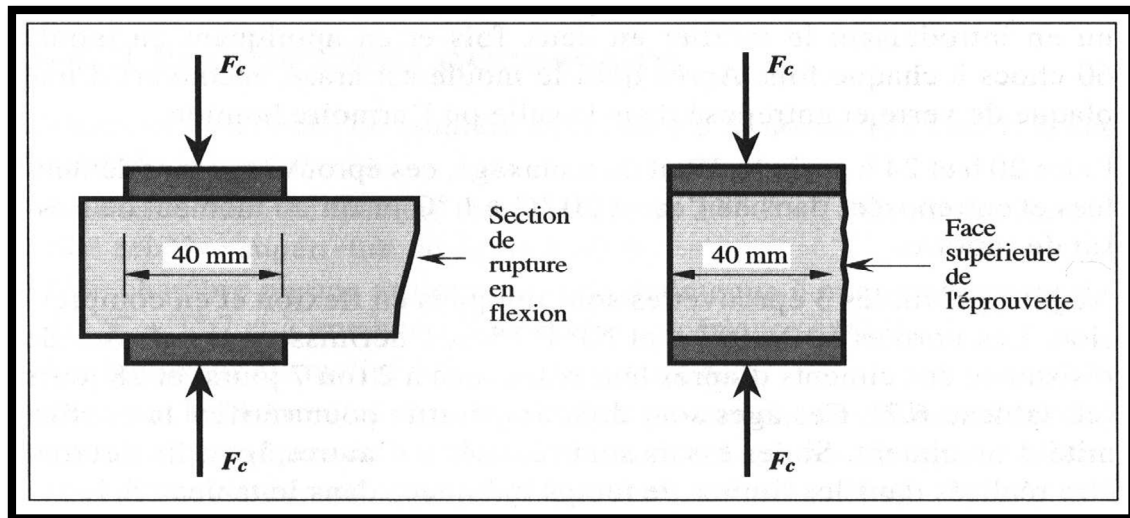


Figure 22 : Résistance mécanique à la compression

$$Rf = \frac{F_c}{b^2}$$

L'ensemble du dispositif et de l'éprouvette est placé entre les plateaux d'une presse répondant aux spécifications du fascicule de documentation FD P n°18-308 « Spécification de construction, d'emploi et de contrôle des presses destinées à l'essai de compression des matériaux durs ».

Chapitre I

[1]: Furlan, Vinicio; Bissegger, Paul, "Ancient mortars - history and approach to scientific examination" **Date of Publication:** 1975

[2] : ABSI, E. (1994) «Béton de fibres, synthèse des fibres et recherche réalisées au CEBTP», Annales de L'ITBTP N° 520, 1994.

[3] : **Yahiaoui Lamia** université Ferhat Abbas –Sétif- mémoire magister 2011 (caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétale).

[4] : collection technique Cimbéton, fiche technique (tom 1), G10, les constituant des bétons et des mortiers.

[5] : **Malou Malika**, université Mentouri Constantine thèse doctorat 30 octobre 2007 (influence de l'introduction des fibres métalliques sur le comportement différé d'une matrice cimentaire, caractérisation-comportement monotone-microstructure).

[6] : GROUPEMENT BELGE DU BETON (G.B.B.) cour de technologie du béton Namur 2006

[7] : **Chafi Nardjes**, université de Constantine thèse de magister Mars 2015(matrice cimentaire renforcée de fibre).

[8] : **Ben Kechkache Ghofrane**, université Mentouri Constantine thèse de magister Novembre 2007 (étude de comportement différé des bétons auto placent influence des paramètres de composition et de chargement).

[9] : **Haddadou Naima**, université de Boumerdes, Thèse doctorats 2014/2015(élaboration et caractérisation de béton autoplaçente fibré avec ajout de poudre de marbre).

[10] : **Djebali Saïd**, université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou thèse doctorats 22juin 2013(caractérisation des éléments de structures en béton de fibre métallique).

[11] article/beton-fibre-15, consulté cette page le 29/05/17.

Chapitre II

[1] : Mohamed Dallel, évaluation du potentiel textile des fibres d'alfa (stipa tenacissima L.) : caractérisation physico-chimique de la fibre au fil. Université de haute alsace - Mulhouse, 2012. français. <nnt : 2012mulh6853>. <tel-00844129>

Bibliographie

- [2] : Benali Redha, mémoire de magister, étude du comportement mécanique et rhéologique de la pate de ciment, mortier et béton avec différentes fibres. Université Mohamed khider Biskra.
- [3] : Sofien Bouzouita. Optimisation des interfaces fibre-matrice de composites à renfort naturel. Autre. École centrale de Lyon; école nationale d'ingénieurs de Monastir, 2011. Français. <nnt : 2011ecdl0052>. <tel-00769959>.
- [4] : Camille Magniont, thèse doctorat de l'université de Toulouse le 8 juin 2010(contribution à la formulation et à la caractérisation d'un éco matériau de construction à base d'agro ressources).
- [5] : Nesrine Meddour, mémoire de magistère (le béton de fibres métalliques dans la conception architecturale) Alger 2013.
- [6]: « fibres et renforts végétaux solutions composites », fibres recherche développement (frd), Troyes – France (mars 2012)
- [7] : Gagui Warda, université Mohamed khi der – Biskra .juin 2015. (L'effet d'ajout des fibres palmiers dattiers (saaf et lif) sur les propriétés physico-mécanique des bétons de sable.
- [8] : Agnès Roudier. Analyse multi-échelle du comportement hygro-mécanique des fibres de lin. Autre. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, 2012. Français.
- [9] : Vi Vi do thi. Matériaux composites à fibres naturelles / polymère biodégradables ou non. Alimentation et nutrition. Université de grenoble, 2011. Français. <nnt : 2011grena012>. <tel-00652477>
- [10] : Mokhtari Abdessamed, université de kasdi merbah ouargla le 06/11/2006 (influence des ajouts de fines minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcés de fibres végétales de palmier dattier).
- [11] : Eva Rogge, Ecole nationale supérieure d'ingénieurs sud-alsace (uha), 2009 – 2010, extraction et étude des propriétés physiques et mécaniques des fibres d'alfa (esparto grass) en vue d'applications textiles.
- [12] : Edwige privas. Matériaux ligno-cellulosiques : "élaboration et caractérisation". autre. École nationale supérieure des mines de paris, 2013. Français. <nnt : 2013enmp0028>. <Pastel- 00933754>.
- [13] : B.Montiès, "Les polymères végétaux - Polymères pariétaux et alimentaires non azotés, Gauthier Villars (ed), Paris (1980).
- [14] : fiche technique matériaux composites à renforts fibres naturelles d'origine végétale, supplément technique n°7, charlyse poteau, chef de projet, visions/décembre 2004

Bibliographie

- [15] : Abdelmonem Elouaer, Thèse de Doctorat de l'université de Reims Champagne-Ardenne, [31] janvier 2011, (contribution à la compréhension et à la modélisation du comportement mécanique de matériaux composites à renfort en fibres végétales).
- [16] : Saida Medjahed, agence nationale pour la conservation de la nature b.p. 115, el annasser Alger – Algérie.
- [17] : Eva Rogge, école nationale supérieure d'ingénieurs sud-alsace (uha), 2009 – 2010, extraction et étude des propriétés physiques et mécaniques des fibres d'alfa (esparto grass) en vue d'applications textiles
- [18] : Mokhtari Abdellah Zakaria, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen, 2013-2014, (contribution à l'étude édaphique des formations à Alfa dans la commune de mâamora (Saida)).
- [19] : élaboration, analyse et modélisation mécanique numérique d'agro-composites à base de fibres courtes d'alfa, owned by the authors, publisher by edp sciences, 2014.
- [20]: A. Bessadok and S. Marais, Effect of chemical treatments of Alfa (*Stipa tenacissima*) fibers on water-sorption properties, *Composites Science and Technology*, 67 (2007) 685–697
- [21] : L'alfa : importance écologique et socio-économique », portail de l'agriculture marocaine, terre et vie, n°61-62, (novembre 2002)
- [22] : le site de la société nationale de cellulose et de papier alfa <http://www.sncpa.com.tn>
- [23] : M. ben Hassen « élaboration de non tissés à base de fibres d'alfa » disponible sur : non-woven.blogspot.fr
- [24] : Boussaid Mohamed, université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, le 11/04/2013, diversité des populations naturelles de *stipa tenacissima* l en Algérie: approches phénotypique, cary logique et moléculaire).
- [25] : Vi Vi do thi. Matériaux composites a fibres naturelles / polymère biodégradables ou non. Alimentation et nutrition. Université de grenoble, 2011. Français. <nnt : 2011grena012>. <tel-00652477>
- [26] :Bouiri baya, université M'hammed Bougara Boumerdes , 2009/2010, (blanchement de la pate fibreuse pour transformation chimique).
- [27] : Chafi Nardjes, université mentouri Constantine, mars 2005,(matrice cimentaire renforcée de fibres valorisation des sous produits (polystyrène, copeaux d'acier et copeaux de bois).
- [28]: Benali Redha, université Mohamed khider Biskra, 2010(étude du comportement mécanique et rhéologique de la pate du ciment, mortier et béton avec différentes fibres).

Bibliographie

[29] : Mokhtari abdessamed, université de kasdi merbah Ouargla, 06/11/2006, influence des ajouts de fines minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcés de fibres végétales de palmier dattier

[30] : Makhoul née Chergui Nadia, (caractérisation en statique du comportement en traction directe du béton armé de fibre en copeaux).

[31] : Rapport d'information n° 37 (2005-2006) de MM. Gérard DÉRIOT et Jean-Pierre GODEFROY, fait au nom de la mission commune d'information, déposé le 26 octobre 2005

[32] : Collection technique Cimbéton G11, tome 2 (Les bétons formulation, fabrication et mise en œuvre).

[33] : Naamaoui née Haddadou Naima, université M'Hamed Bougara-Boumerdes, thèse de doctorat 2014 / 2015(élaboration et caractérisation de béton auto plaçant fibré avec ajout de poudre de marbre).