

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED EL-BACHIR EL IBRAHIMI BORDJ BOU ARRERIDJ

FACULTÉ DE TECHNOLOGIE Département de GENIE CIVIL



Présentée en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Filière: Génie Civil – Spécialité: Matériaux en génie civil

Présentée par:

CHOUTRI Aya

THÈME

*L'influence du revêtement résines polymères sur les performances
mécaniques des fibres végétales et sur leur adhérence avec une
matrice cimentaire*

Soutenue devant le jury:

BECHICHE Said	Université de BBA	Président
KESSAL Oussama	Université de BBA	Rapporteur
BELKADI Ahmed Abderraouf	Université de BBA	Co-rapporteur
LOGZIT Nacer	Université de BBA	Examineur
MESSAOUDENE Ibrahim	Université de BBA	Examineur

Remerciements

De prime abord, on tient à remercier le dieu et miséricordieux de nous avoir donnés la force, le courage et la patience durant notre étude pour arriver à ce jour-là.

Comme, c'est un plaisir de remercier tous ce qui a contribué à la réalisation de ce mémoire :

En premier lieu, nous voudrions exprimer nos sincères remerciements à **M. BELKADI Ahmed Abderraouf** et **M. KESSAL Oussama**, Nos encadreurs, pour l'aide qu'ils ont apporté à la réalisation de ce travail et pour leur précieux conseils.

Nous tenons aussi à remercier Dr. **Dridi Meriem** pour sa collaboration, ses précieux conseils et critiques.

Je désire aussi remercier les professeurs de département de génie civil, les ingénieurs de laboratoire, qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite de mes études universitaires.

RESUME

Un traitement en styrène butadiène caoutchouc ou en immersion dans la solution 5% NaOH ont été appliqué sur plusieurs fibres végétales et son effet sur les performances physico-chimiques et mécaniques a été évalué. Des fibres de Dis, de chanvre et de verre ont été utilisées dans cette étude. L'influence du traitement de revêtement a été évaluée par test de compression et de flexion. Un mortier de ciment avec 10% de fumé de silice a été utilisé comme matrice. Le traitement crée une couche de polymère entourant la fibre, réduisant la capacité d'absorption d'eau. Les résultats indiquent une augmentation de la résistance à la flexion et à la compression de toutes les fibres étudiées. L'interaction entre le polymère et les fibres naturelles peut être régie par la quantité de cellulose des fibres et leur cristallinité. L'augmentation de la résistance est due à l'augmentation de la liaison chimique entre les fibres traitées et la matrice cimentaire.

Mots clés

Fibre de Dis, chanvre, un traitement en styrène butadiène caoutchouc, NaOH, Résistance à la compression, Résistance à la flexion.

ABSTRACT

A treatment in styrene butadiene rubber or by immersion in a 5% NaOH solution was applied to several plant fibers and its effect on the physicochemical and mechanical performances was evaluated. Dis, hemp and glass fibers were used in this study. The influence of the coating treatment was evaluated by compression and bending test. A cement mortar with 10% silica fume was used as a matrix. The treatment creates a layer of polymer surrounding the fiber, reducing the water absorption capacity. The results indicate an increase in the flexural and compressive strength of all fibers studied. The interaction between the polymer and natural fibers can be governed by the amount of cellulose in the fibers and their crystallinity. The increase in strength is due to the increased chemical bond between the treated fibers and the cementitious matrix.

Key words

Dis fiber, Hemp, Treatment in styrene butadiene rubber, NaOH, compressive strength, flexural strength.

ملخص

تم تطبيق معاملة في مطاط ستيرين بوتادين أو عن طريق الغمر في محلول هيدروكسيد الصوديوم بنسبة 5% على العديد من الألياف النباتية وتم تقييم تأثيرها على الأداء الفيزيائي والكيميائي والميكانيكي. تم استخدام الديس والقنب والألياف الزجاجية في هذه الدراسة. تم تقييم تأثير معالجة الطلاء عن طريق اختبار الضغط والانحناء. تم استخدام ملاط أسمنتي يحتوي على 10% من دخان السيليكا كمصفوفة. تخلق المعالجة طبقة من البوليمر تحيط بالألياف ، مما يقلل من قدرة امتصاص الماء. تشير النتائج إلى زيادة مقاومة الانضغاط والانثناء لجميع الألياف التي تمت دراستها. يمكن التحكم في التفاعل بين البوليمر والألياف الطبيعية بكمية السليولوز في الألياف وبلورتها. تعود الزيادة في القوة إلى زيادة الرابطة الكيميائية بين الألياف المعالجة والمصفوفة الأسمنتية.

الكلمات الدالة

ديس الألياف ، القنب ، العلاج في مطاط ستيرين بوتادين ، هيدروكسيد الصوديوم ، قوة الانضغاط ، قوة الانحناء.

Table des matières

RESUME.....	3
ABSTRACT	4
ملخص.....	5
Introduction générale.....	2
CHAPITRE 1: L'état de l'art sur les mortiers fibrés	
1.1. Généralité sur les mortiers.....	4
1.2 Le mortier fibré	4
1.3 Les domaines d'application des mortiers fibrés	5
1.4 Généralité sur les fibres.....	5
1.5 Différents types de fibres	5
1.5.1 Les fibres naturelles	6
1.5.1.1 Les fibres végétales.....	6
1.5.1.2 Les fibres animales	7
1.5.1.3 Les fibres minérales.....	7
1.5.1.4 Les fibres synthétiques	7
1.5.2 Fibres artificielles.....	8
1.6 Traitement des fibrés	8
1.6.1 Traitement des fibres par hydroxyde de sodium NaOH	8
1.6.2 Traitement des fibres par Latex	9
1.7 Conclusion.....	10

CHAPITRE 2: Caractérisation des matériaux de base et méthodologie d'essai.

2.1	Introduction	12
2.2	Matériaux de construction de base	12
2.2.1	Sable.....	12
2.2.1.1	Analyse granulométrique.....	12
2.2.1.2	Masse volumique absolue et apparente des granulats	13
2.2.1.3	Caractéristiques physico-chimiques	13
2.2.2	Ciment.....	14
2.2.3	Additions minérales	14
2.2.4	Eau de gâchage.....	14
2.2.5	Résine.....	15
2.2.6	Fibres.....	15
2.2.6.1	Propriétés des fibres.....	15
➤	Définition	15
➤	Résistance à la traction	16
➤	Analyse thermogravimétrique (ATG) des fibres végétales.....	17
➤	Traitement des fibres	18
2.3	Formulation	18
2.4	Essais de caractérisations	19
2.4.1	Préparation des échantillons.....	19
2.4.2	Résistances mécaniques	20
2.4.2.1	Résistance à la compression et à la flexion	20
2.4.2.2	Variations dimensionnelles et pondérale	20
2.4.2.3	Porosité capillaire	20
2.5	Conclusion.....	21

CHAPITRE 3: Résultats et discussions

3.1	Introduction	23
-----	--------------------	----

3.2	Densité.....	23
3.3	Performances mécaniques	24
3.3.1	Résistance à la flexion.....	24
3.3.2	Résistance à la compression.....	25
3.3.3	Variation dimensionnelle (Retrait de séchage)	26
3.4	Conclusion.....	27
	Conclusion générale	29
	Références	35

Liste des figure

Figure1. 1 Classification des fibres naturelles en fonction de leur origine (C, 2004).....	6
Figure1. 2 Fibres de banane traité par Banjo(mortars, 2020).....	8
Figure1. 3 Fibres de bambou traité par NaOH(Yan et al., 2016).	9
Figure1. 4 Micrographie du polymère SBR : (a) curauá, (b) jute et (c) fibres du sisal traitées après essai d'arrachement ; Points d'ancrage en polymère et flèches indiquant une plus grande quantité d'hydratation produits attachés à la surface des fibres (b)(Ferreira et al., 2020).....	10
Figure2. 1 Courbe granulométrique du sable utilisé.	13
Figure3. 1 Densité de différents mélanges.	23
Figure3. 2 Evolution de la résistance à la flexion des mortiers.....	24
Figure3. 3 Evolution de la résistance à la compression des mortiers.....	25
Figure3. 4 Retrait total des différents mélanges.....	26

Liste des tableaux

Tableau2. 1 Valeurs des masses volumiques des granulats utilisés.	13
Tableau2. 2 Valeurs de l'équivalent de sable des granulats.	14
Tableau2. 3 Caractéristiques chimiques et physique des ciments utilisés.	14
Tableau2. 4 Composition chimique et physique du fumé de silice.	14
Tableau2. 5 Les caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques des fibres végétales et verre.	16
Tableau2. 6 Composition des différents mélanges de mortiers utilisés.	19

Introduction générale

Introduction générale

Les fibres végétales peuvent être associées à des matrices de différentes natures. L'utilisation de fibres végétales dans une matrice thermoplastique ou thermodurcissable est une technique déjà utilisée et industrialisée notamment dans l'automobile (panneaux intérieurs, garnitures de toit, planchers de camions... etc.), la construction (profilés de portes et de fenêtres, clôtures, bardages... etc.) ou encore dans l'équipement domestique (meubles de jardin par exemple).

Un composite fibré est un matériau constitué d'un ensemble de fibres résistantes noyées dans une matrice dont les propriétés mécaniques sont nettement plus faibles. Les fibres jouent le rôle de renfort tandis que la matrice assure la cohésion du composite et le transfert des efforts aux fibres.

L'utilisation des fibres naturelles comme renfort sur les systèmes à base de ciment a été signalée comme une alternative disponible et durable aux fibres synthétiques au cours des 30 dernières années. Après de nombreuses recherches campagnes, plusieurs objectifs ont été fixés, dont le maintien de la durabilité des fibres sur les systèmes de ciment avec un taux alcalin plus élevé environnement. Même avec l'avance mentionnée dans l'utilisation d'un tel renforcement, il est encore nécessaire de poursuivre les recherches dans ce domaine visant d'autres directions.

Les propriétés physiques des fibres naturelles telles que l'absorption d'eau peuvent être répertoriées comme un problème majeur. La prise d'eau des fibres végétales naturelles peut atteindre environ 300 % de sa propre masse, entraînant une variation dimensionnelle de sa section transversale jusqu'à 47 %. Après la prise de la pâte de ciment, le retrait de la matrice pendant l'absorption d'eau des fibres favorise un décollement prématuré de la matrice, diminuant son adhérence et compromettant la capacité de renforcement des fibres naturelles.

Un traitement en styrène butadiène caoutchouc ou en immersion dans la solution 5% NaOH ont été appliqués sur plusieurs fibres végétales et son effet sur les performances physico-chimiques et mécaniques a été évalué. Des fibres de Dis, de chanvre et de verre ont été utilisées dans cette étude. Méthodologie de la recherche contient les chapitres suivants

Chapitre 1 : L'état de l'art sur les mortiers fibrés

Chapitre 2 : Caractérisation des matériaux de base et méthodologie d'essai.

Chapitre 3 : Résultats et discussion.

Chapitre 1

Etat de l'art sur les mortiers fibrés

1.1. Généralité sur les mortiers

Le mortier est un matériau composite hétérogène. A l'échelle macroscopique, il a une structure composée de pâte de ciment, de sable de différentes tailles, de forme, des pores, de micro fissure d'une zone de transition inter faciale localisée autour des grains de sable. Le comportement mécanique en traction des mortiers dépend de sa microstructure, de la qualité, de l'interface matrice granulats.

En fonction de leur composition on distingue 5 types de mortiers :

- **Mortier de ciment** : Fabriqué avec du ciment artificiel de type Portland, blanc ou gris. Il est très résistant.
- **Mortier de chaux** : Fabriqué avec de la chaux hydraulique. Moins résistant et moins étanche que le mortier de ciment, il est plus souple et laisse respirer les murs.
- **Mortier bâtard** : Fabriqué avec un mélange de ciment et de chaux. Il présente des caractéristiques intermédiaires entre le mortier de ciment et le mortier de chaux.
- **Mortier réfractaire** : A base de "fondu", pour les cheminées et barbecues.
- **Mortier rapide** : A base de ciment "prompt", pour les scellements.

Des compositions multiples de mortier peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau.

En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables ; leur choix et le dosage sont fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement. La durée de malaxage doit être optimum, afin d'obtenir un mélange homogène et régulier.

1.2 Le mortier fibré

Le mortier fibré se compose de différents types de sables majoritairement siliceux, de ciments spéciaux (ciments de classe CEM I), de fibres synthétiques ainsi que d'adjuvants.

Les fibres utilisées sont en matière plastique. Leur longueur (d'une moyenne de 6 mm) et leur diamètre dépendent principalement de la granulométrie du mortier, comprise entre 0 et 2 mm. La plupart du temps, le mortier fibré est un mortier prêt à l'emploi. Toutefois, il est possible d'ajouter soi-même les fibres au mortier réalisé. Propriétés liées à leur nature, leurs formes et à leurs caractéristiques mécaniques.

L'ajout de fibres dans le mortier permet d'augmenter la densité du matériau. Le mortier fibré est plus compact et plus résistant. Ainsi :

- Il bénéficie d'une meilleure résistance à la compression ;
- Il est moins sujet aux risques de fissurations lors de la phase de retrait ;
- Il endure mieux les chocs et les agressions extérieures (pluies acides, pollution) ;
- Il offre peu de prise à la corrosion, qui résulte de la carbonatation du béton et des ions chlorure.

1.3 Les domaines d'application des mortiers fibrés

Le mortier fibré peut être utilisé aussi bien en intérieur qu'en extérieur. On l'emploie :

- pour la réparation d'ouvrages courants de maçonnerie ou le renforcement d'ouvrages tels que balcons, corniches, surfaces en béton ;

- pour la fabrication de chapes. Celles réalisées avec du mortier fibré sont plus résistantes puisqu'elles présentent une résistance à la compression à 28 jours de 20 MPa.

- SOLS INTÉRIEURS & EXTÉRIEURS :

SOLS INTÉRIEURS de tous locaux classés à trafic modéré ou intensif : Classés P2 et P3 tels que : Logements, Garages, Bureaux, Magasins.

– SOLS EXTÉRIEURS de terrasses, balcons, coursives, plages de piscines.

- SUPPORTS ADMISSIBLES.
- Supports résistants, cohésifs, stables, adaptés à l'usage du local.

1.4 Généralité sur les fibres

Les fibres sont caractérisées par une longueur au moins trois fois supérieure à leur diamètre. On peut dire que sous l'appellation " fibres" se cache une grande famille de matériau qui a été introduite dans le commerce comme de nouvelles applications. Elles sont classées selon leur origine (naturelles, synthétiques et artificielles), leur forme (droite, ondulée, aiguille, ...etc), leur dimension (macro ou micro-fibre) et aussi par leurs propriétés mécaniques. Cependant, pour faire un choix de fibres à utiliser pour une application donnée, il faut tenir compte de la compatibilité de la fibre avec la matrice, et le mode de performance du composite.

1.5 Différents types de fibres

Plusieurs types des fibres sont utilisés dans la construction, elles peuvent être classées par famille :

1.5.1 Les fibres naturelles

On peut subdiviser les fibres naturelles en trois grands groupes selon leur origine :

1.5.1.1 Les fibres végétales

L'utilisation de fibres naturelles, et en particulier de fibres végétales comme renfort de matériaux composites, présente deux principaux avantages. Tout d'abord, ces fibres sont largement disponibles à faible coût et leur utilisation en construction constitue de nouveaux débouchés pour les matières agricoles. D'autre part, la valorisation des fibres végétales permet la réduction des impacts environnementaux par rapport à des composites conventionnels puisque ce sont des matières premières renouvelables, biodégradables, neutres vis-à-vis des émissions de CO₂ et demandant peu d'énergie pour être produites.

Les fibres végétales comprennent :

- ❖ des fibres provenant des poils séminaux de graines (coton, kapok),
- ❖ les fibres libériennes extraites de tiges de plantes (lin, chanvre, jute, ortie),
- ❖ les fibres extraites de feuilles (sisal), de troncs (palmier), d'enveloppes de fruits (noix de coco) ;

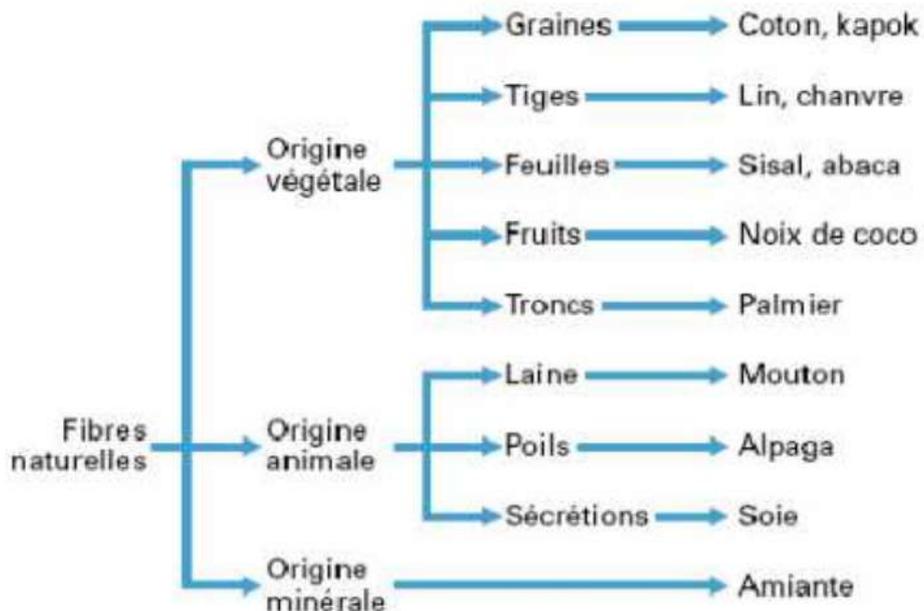


Figure1. 1 Classification des fibres naturelles en fonction de leur origine (C, 2004).

1.5.1.2 Les fibres animales

La fibre la plus importante et la plus utilisée est la fibre de laine connue pour ses qualités de bon isolant thermique, son pouvoir absorbant élevé (16-18%) et son élasticité importante (45%) (C, 2004). Les fibres animales sont classées selon leur provenance, on note essentiellement :

- ❖ Poils : la laine (obtenue par la tonte de moutons), alpaga, angora, chameau, cachemire,
- ❖ Sécrétions : soie (Bombyx Mori), soie sauvage, fils d'araignée ;

1.5.1.3 Les fibres minérales

L'amiante est la seule fibre minérale naturelle. Elle a attiré l'attention des industriels pour sa résistance à la chaleur, au feu, aux agressions électriques et chimiques et pour son pouvoir absorbant. Elle a été utilisée dans diverses installations industrielles et même en construction avant de l'interdire progressivement à cause des risques cancérogènes qu'elle présente.

1.5.1.4 Les fibres synthétiques

Les fibres synthétiques sont fabriquées avec des polymères de synthèse obtenus à partir de substances ou de composés fournis par l'industrie pétrochimique. Elles ont fait leurs apparitions au début de 20^{ème} siècle, après la réussite de la fibre de Viscose, depuis lors, un grand nombre de fibres synthétiques ont été mises au point ; elles possèdent chacune des propriétés qui répondent à un type particulier d'application. Ces fibres, tout comme les fibres artificielles, sont obtenues par filage. Elles suscitent l'intérêt de beaucoup d'industriels pour leur faible coût, leur disponibilité et leur indépendance des saisons et surtout la possibilité de les adapter et modifier leurs propriétés, par contre, elles sont très critiquées quant à leur comportement vis-à-vis de l'environnement que ce soit pendant le processus de fabrication ou après leur utilisation et les difficultés de leur recyclage.

Les principales catégories de fibres synthétiques commercialisées sont :

- ❖ Les polyamides (Nylons) ;
- ❖ Les polyesters ;
- ❖ Les dérivés polyvinyliques ;
- ❖ Les polyoléfinés: les polyéthylènes et les polypropylènes: sont d'une importance croissante et leur production s'élève maintenant à environ 8% de toutes les fibres synthétiques (A, 1996).

1.5.2 Fibres artificielles

Ce type de fibres est le plus utilisé dans le domaine industriel en général et dans le domaine de génie civil en particulier. Il regroupe les fibres de verre, les fibres de carbone, les fibres d'acier et d'autres. Elles sont aujourd'hui les plus répandues dans l'industrie de la construction.

1.6 Traitement des fibrés

1.6.1 Traitement des fibres par hydroxyde de sodium NaOH

Banjo (E.Y. Okino, (2004)) a utilisé les déchets de la bananeraie de Landmark University qui ont été récupérés, coupés en longueur de 50 mm et laissés à sécher en laboratoire à 23 °C pendant 7 jours. Il a ensuite été broyé au marteau pour réduire la taille des particules et immergé dans la solution d'hydroxyde de sodium diluée pendant 2 h. Le mélange a été décanté et lavé à l'eau du robinet pour éliminer les produits chimiques et les débris lessivés. Le rinçage à l'eau a été effectué plusieurs fois pour s'assurer que les fibres de banane (BF) étaient complètement exemptes de toute trace de produits chimiques. Ensuite, le BF a été séché dans une étuve ventilée à 50°C pendant 6 h avant de le laisser refroidir à température ambiante à 23°C. Le BF a une largeur de 4 mm ; Longueur de 13 mm et densité de 1,30 g/cc. Résultats des études précédentes a montré qu'au-delà d'une plage de teneur en fibres de 1 à 2 % en poids, les propriétés des composites de ciment renforcés de fibres naturelles ont tendance à diminuer(T. E. O. B.A. Akinyemi, 2017; T. E. O. B.A. Akinyemi, O. Micheal,, 2016), par conséquent, une teneur en fibres de 1,5 % a été utilisée pour le mélange de conception(Banjo Ayobami Akinyemi, 2020).



(a) Treated banana fiber

Figure1. 2 Fibres de banane traité par Banjo(mortars, 2020).

Aussi Banjo et Temidayo (Banjo Akinyemi, 2018) ont utilisés des fibres de bambou qui sont traité comme suit : elles ont été trempées dans de l'eau pour éliminer la poussière, les débris et autres objets indésirables. Ils ont ensuite été plongés dans une solution de NaOH à 10 % poids qui a été récupérée après dissolution des pastilles dans de l'eau distillée. Le trempage des fibres en solution a été effectué pendant 24 h en laboratoire à 30 C avant que les fibres ne soient retirées et rincées trois fois dans un volume de 100 L d'eau fraîche l'eau. Cela a été fait pour permettre la lixiviation de l'alcali des fibres. Enfin, les fibres lavées ont été séchées naturellement au laboratoire pendant 120 h(Yan et al., 2016).



Figure1. 3 Fibres de bambou traité par NaOH(Yan et al., 2016).

Banjo (Banjo Ayobami Akinyemi, 2020) a conclu que l'amélioration de la résistance constatée était due à l'amélioration de la liaison interfaciale dans la matrice fibreuse, au prétraitement de surface avec NaOH et aux micro-charges fournies par les peintures au latex qui, ensemble, ont contribué à de meilleures tendances à la réduction des fissures dans les échantillons.

1.6.2 Traitement des fibres par Latex

L'ancrage chimique est principalement régi par la présence des groupes fonctionnels à la surface des fibres tels que des hydroxyles (OH⁻). Ces groupes peuvent interagir avec les produits d'hydratation du ciment(Jo et al., 2014). Selon les travaux de la littérature, l'utilisation d'un revêtement polymère est un traitement prometteur, agissant dans les deux mécanismes mentionnés(Ferreira et al., 2020). L'utilisation de styrène butadiène est indiquée

comme un traitement efficace en raison de sa bonne compatibilité avec à la fois une matrice de ciment et des fibres naturelles. La raison principale de son efficacité peut être due à la possibilité de réduire les fibres naturelles leur absorption d'eau et d'améliorer leur interaction chimique avec une matrice de ciment en raison de ses groupes carboxyle. Kundu et al. (Roy et al., 2012) ont utilisé des fibres de jute traitées aux alcalis et modifiées chimiquement par du latex polymère. Les résultats ont montré que la modification chimique des fibres agissant également comme un pont entre les fibres et la matrice cimentaires.

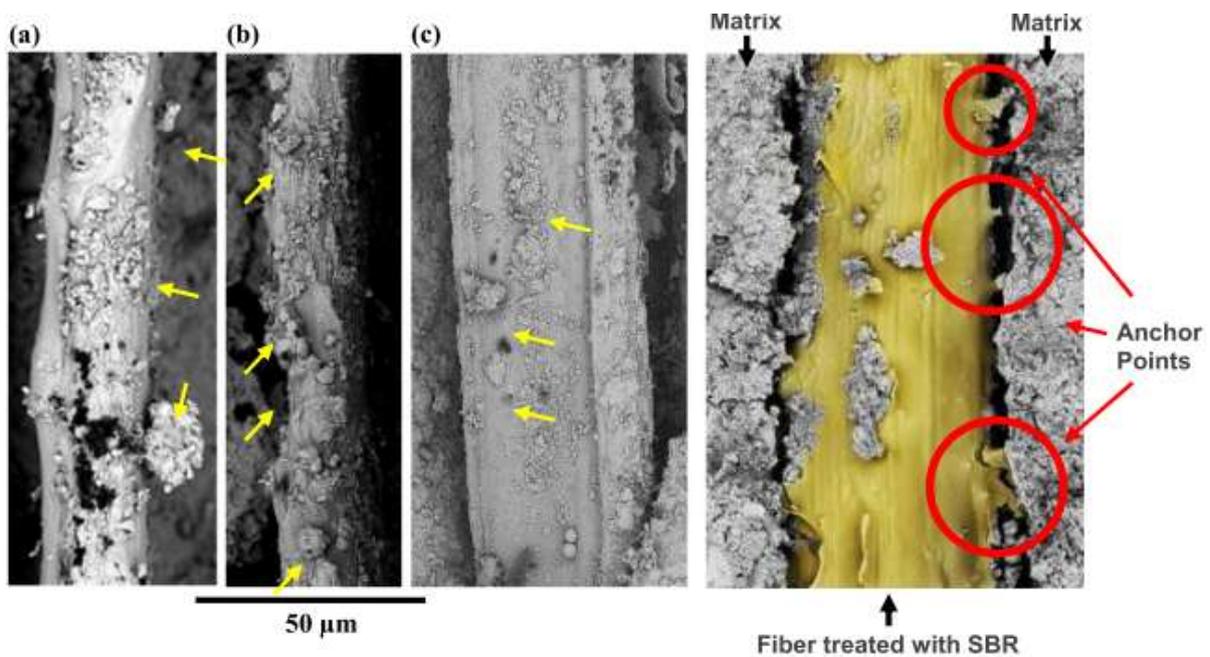


Figure 1. 4 Micrographie du polymère SBR : (a) curauá, (b) jute et (c) fibres du sisal traitées après essai d'arrachement ; Points d'ancrage en polymère et flèches indiquant une plus grande quantité d'hydratation produits attachés à la surface des fibres (b)(Ferreira et al., 2020).

1.7 Conclusion

Dans ce chapitre on a montré l'effet de différentes fibres sur le comportement des mortiers à. On conclut d'après cette analyse qu'il existerait un avenir prometteur pour l'utilisation des fibres végétales traitées par styrène butadiène dans les matériaux cimentaires.

Chapitre 2

Caractérisation des matériaux de base et méthodologie d'essais

2.1 Introduction

Ce chapitre sera consacré à la description des matériaux et protocoles expérimentaux utilisés pour la réalisation du programme expérimental de nos travaux de recherche.

Nous procéderons donc dans cette partie, successivement à la présentation des essais et procédure, à l'identification des matériaux de base utilisés et à la caractérisation des matériaux élaborés.

On utilise une gamme de constituants disponibles et très utilisés localement pour confectionner des mortiers pouzzolaniques. Les différents constituants utilisés sont :

- CEM I/42.5
- Fumé de silice UF5
- Sable oied de souf,
- Eau du robinet des réseaux urbains,
- Fibres végétales de chanvre et de Dis
- Fibre organique (verre).
- Résine « styrène butadiènes » de SIKA

2.2 Matériaux de construction de base

2.2.1 Sable

La norme (NF P18-541) montre que le sable présente des caractéristiques, pouvant lui permettre d'être utilisé pour la confection des mortiers. Les granulats utilisés dans les travaux de bâtiments et de génie civil doivent répondre à des impératifs de qualité et à des caractéristiques propres à chaque usage. Il est nécessaire d'en établir les caractéristiques par différents essais de laboratoire. Le sable utilisé est de provenance du gisement d'Oued Souf, qui se situe à 620 Km au sud-est d'Alger, c'est un sable naturel (sable de dune), il est constitué principalement de petites particules de silice, propre dont les grains sont généralement de forme isométrique et arrondie de dimension variant entre 0,08 et 3 mm.

2.2.1.1 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles des grains constituant l'échantillon. Les résultats de l'essai effectuer pour le sable utilisé est présenté dans la Figure 2.1.

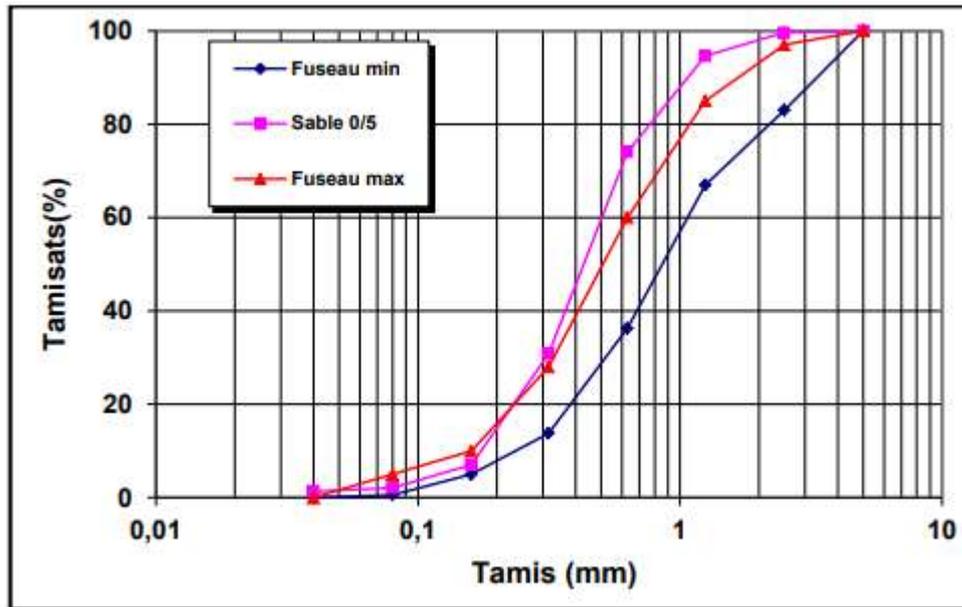


Figure2. 1 Courbe granulométrique du sable utilisé.

2.2.1.2 Masse volumique absolue et apparente des granulats

La masse volumique est l'une des plus importantes caractéristiques physiques des granulats influençant sur le comportement de béton frais et par conséquent leur performance après durcissement. Différentes masses volumiques peuvent être définies pour les granulats : masses volumiques apparente et absolue. Le Tableau 2.1 présente différents granulats utilisés.

Tableau2. 1 Valeurs des masses volumiques des granulats utilisés.

	Absolue (kg/m ³)	Apparente (kg/m ³)
Sable	2608	1617

2.2.1.3 Caractéristiques physico-chimiques

L'équivalent de sable est un indicateur, caractérisant la propreté d'un sable. Il indique la teneur en éléments fins, d'origine essentiellement argileuse, végétale ou organique à la surface des grains. Le tableau 2.2 montre les valeurs de l'équivalent de sable (933-8+A1, 2015).

Tableau2. 2 Valeurs de l'équivalent de sable des granulats.

	ESV/ESP
Sable	87; 85

2.2.2 Ciment

Le ciment utilisé est de type CEM I/ 42,5. Les différentes caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques du ciment utilisé sont établies sur des fiches techniques fournis par la cimenterie. Les résultats de la composition chimique du clinker du ciments sont représentés dans le tableau 2.3.

Tableau2. 3 Caractéristiques chimiques et physique des ciments utilisés.

Elément	CaO	SiO ₂	Na ₂ O	Mgo	Al ₂ O ₃	K ₂ O	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Densité absolue (kg/m ³)	Densité apparente (kg/m ³)	La finesse (cm ² /g)
CEMI 42.5	61,60	20,40	/	1,73	5,53	/	/	3,54	2,29	3100	/	3600

2.2.3 Additions minérales

Les additions minérales que nous avons utilisées dans notre étude sont caractérisées par une granulométrie inférieure à 80µm. Des fumés de silice, provenant de GRANITEX, dont les principales caractéristiques sont représentées dans le Tableau 2.4.

Tableau2. 4 Composition chimique et physique du fumé de silice.

Elément	CaO	SiO ₂	Na ₂ O	Mgo	Al ₂ O ₃	K ₂ O	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Densité absolue (kg/m ³)	Densité apparente (kg/m ³)	La finesse (cm ² /g)
Fumé de silice	0.995	88.60	0	0,2	0.9649	0.398	/	/	/	2.24	1.4	30000

2.2.4 Eau de gâchage

L'eau utilisée est l'eau de robinet, qui alimente les laboratoires : de génie civil de l'université de Bordj Bou Arréridj.

2.2.5 Résine

Une résine de styrène butadiène provenant de SIKA a été utilisé pour confectionner les différents mortiers de réparation. Dans l'ANNEX A présente différentes caractéristiques chimiques physiques.



2.2.6 Fibres

2.2.6.1 Propriétés des fibres

➤ Définition

Les différentes fibres végétales utilisées dans cette étude sont : DIS et Chanvre. Ces fibres ont été utilisées avec une longueur d'environ 1.5 cm pour les mortiers. Sur la figure 2.2, sont présentées les différentes fibres végétales utilisées. La fibre de verre a été utilisée avec une longueur de 1.5 cm. Le tableau 2.5 présente les caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques des fibres végétales et verre.

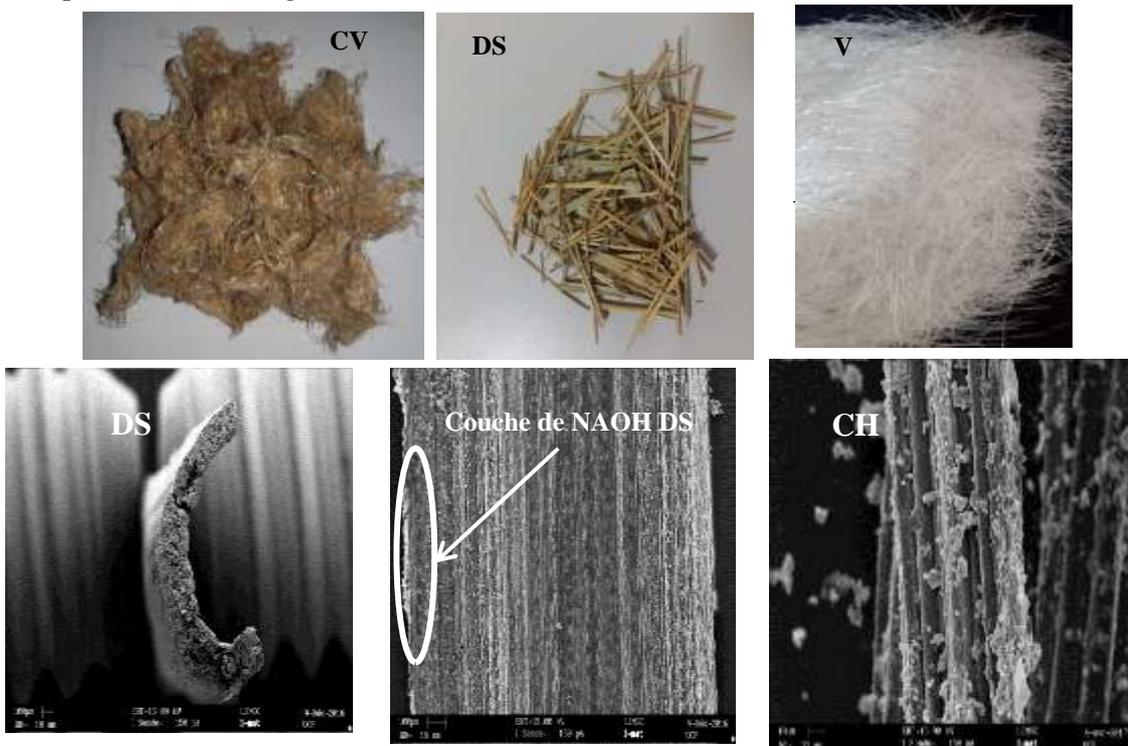


Figure2. 2 Différentes fibres traitées utilisées.

Tableau2. 5 Les caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques des fibres végétales et verre.

Nature de la fibre	Dis (Sellami et al., 20 13)	Chanvre (Sedan et al., 2007)	Verre
Densité absolue (Kg/m ³)	1300	1500	2600
Lignines (%)	/	6	/
Cellulose (%)	30 ; 40	56,1	/
Hémicellulose (%)	4,8 - 0,08	10,9	/
Cendre (%)	/	/	/
Résistance à la traction (MPa)	173,53	619,25	3400
Déformation maximale (mm)	0,433	0,682	/
Absorption d'eau (%)	90- 88	158	/
Diamètre (µm)	900-2480	110	9
Longueur (cm)	1.5	1.5	1.5

➤ **Résistance à la traction**

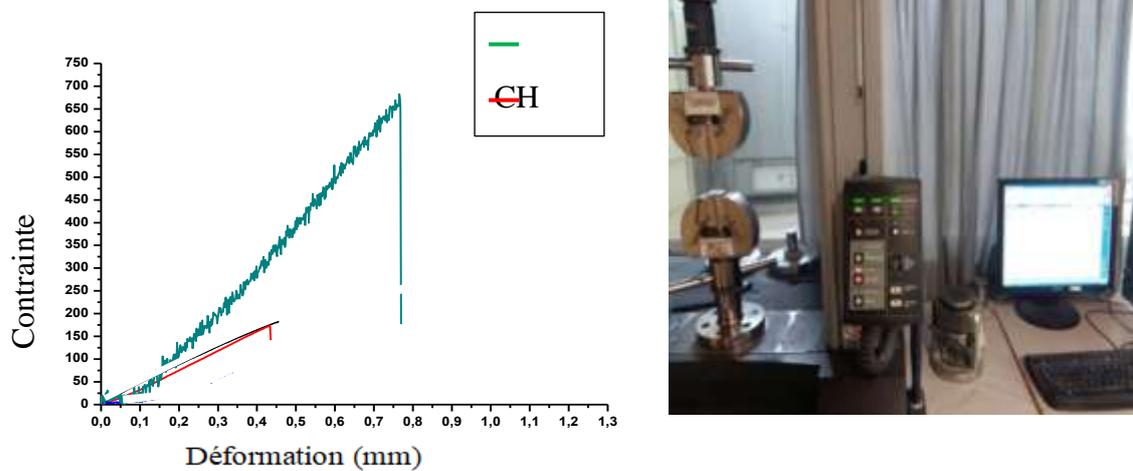


Figure2. 3 Résistance à la traction des différentes fibres végétales utilisées.

A partir de la figure 2.3 on remarque que la fibre de chanvre possède une résistance plus élevée que les autres fibres. Toutes les fibres donnent des résistances à la traction élevées qui varient entre 173 et 619 MPa. Ainsi on peut constater que la déformation maximale des fibres change suivant la nature. La flexibilité et la capacité de déformation de ces fibres jouent un rôle important pour l'amélioration de la capacité d'absorption d'énergie dans les cas de défaillance.

➤ Analyse thermogravimétrique (ATG) des fibres végétales

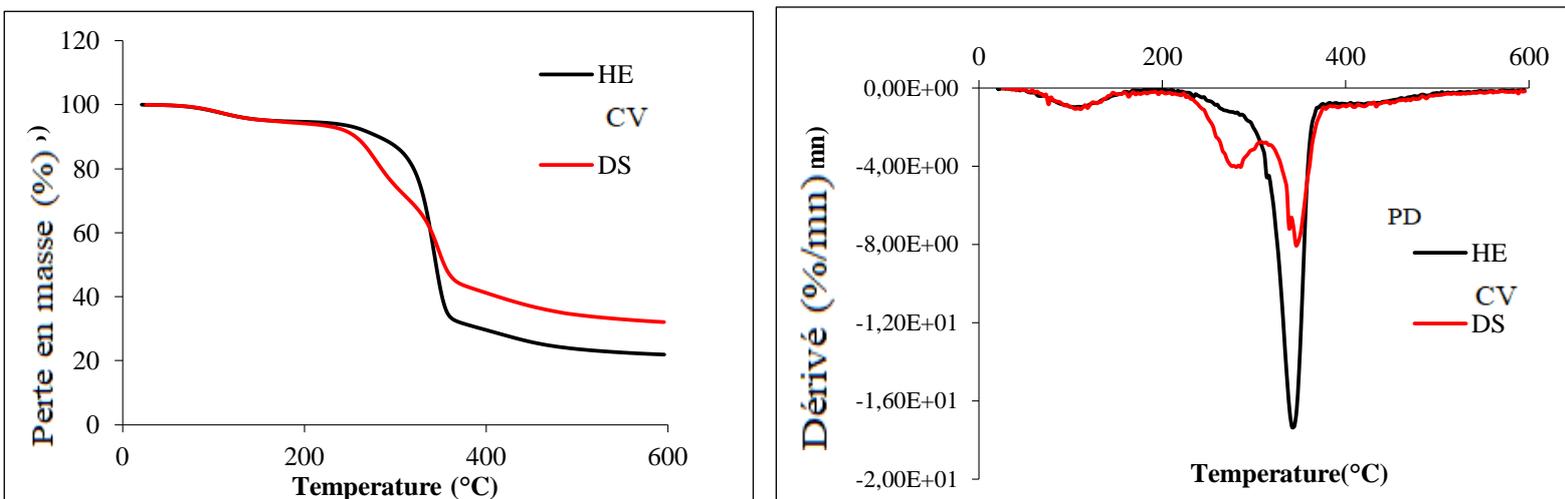


Figure2. 4 Analyse thermogravimétrique et sa dérivée sur les fibres végétales (Dis (DS), chanvre (CH)).

D'après la figure 2.4 on constate qu'entre 20-100°C il y a une légère perte de poids en raison de l'évaporation de l'humidité contenue dans les fibres (Wei & Meyer, 2015). M. Benítez-Guerrero et al (Sedan et al., 2007) ont montré qu'il y a une perte de masse de 4% de cellulose, 7% à 9% de lignine et xylane de la fibre végétale. Dans cette plage de températures, une diminution importante de cristallinité est observée pour ces fibres.

A une température comprise entre 100 et 350°C selon J. Wei and C. Meyer (Wei & Meyer, 2015) ont montré que la perte du poids des fibres naturelles est due à décomposition de l'hémicellulose et de la partie principale de la lignine.

Par ailleurs M. Benítez-Guerrero et al (Benítez-Guerrero et al., 2014) ont expliqué qu'à 200°C les fibres végétales subissent la dépolymérisation, la décomposition et le réarrangement des éléments amorphe, impliquant une perte de masse importante variant entre 17 à 21%.

Entre 260-490°C la perte de poids des fibres est maximale et accompagnée d'une dégradation de la cellulose(Wei & Meyer, 2015). Cette étape présente une perte de masse des fibres de 50 à 60%. La fibre de chanvre présente le plus grand pic. Ceci à cause de la grande quantité de cellulose qui existe dans cette fibre. Entre 490 et 600 °C la perte de masse continue à diminuer. Cela est dû à la décomposition thermique de la cellulose et de la lignine résiduelle de la fibre (Wei & Meyer, 2015). M. Benítez-Guerrero et al (Benítez-Guerrero et al., 2014)

ont constaté que la petite perte de masse soutenue et observée dans une atmosphère inerte, correspond au procédé de carbonisation des fibres. Le résidu mesuré à 600 ° C pour les fibres naturelles est entre 30 et 40%.

➤ Traitement des fibres

Pour les fibres de chanvre et une partie de DIS ont été mises dans une solution d'hydroxyde de sodium (à 5% de concentration) pendant deux heures à une température de 20°C. Elles étaient, ensuite séchées dans une température de 30°C pendant 24 heures. La période d'immersion des fibres végétales allant de 30 à 60 min, avec des concentrations d'alcalins faibles (0,5-1%) ne provoquent pas la dégradation des fibres (Wei & Meyer, 2015).

Pour l'autre parties des Dis ont été mises dans la résine (styrène butadiène) provenant de SIKA voire la figure (2.5).



DIS dans 5% NaOH



Chanvre dans 5%
NaOH



DIS dans la résine

Figure2. 5 Fibre végétales traitées.

2.3 Formulation

Au total, 12 formulations ont été préparées, avec différentes teneurs de fibre (0.1%, 0.3%, 0.5%) par rapport au volume total.

Le dosage en liant (Ciment + Fumé de silice) est fixé à 450 kg/m³ est utilisé avec le même squelette granulaire, la teneur en eau. Les détails de la composition des mélanges sont résumés dans le tableau 2.6.

Tableau2. 6 Composition des différents mélanges de mortiers utilisés.

Quantité (kg/m ³)	MT	M0.1 CH	M0.3 CH	M0.5 CH	M0.1 DS .NA	M0.3DS. NA	M0.5 DS.NA	M0.1 DS.SB	M0.3 DS.SB	M.0.5D S.SB	M0.1 V	M0.3 V	M0.5 V
Ciment	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405
FS	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Sable	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350
Eau	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Fibre	/	1.34	4.03	6.71	1.20	3.7	5.9	1.20	3.7	5.9	2.34	7.06	11.77

MT : mortier témoin (sans fibre), MV : mortier avec des fibres de verre, MCH : mortier avec des fibres de chanvre traitées par NaOH, MDS.NA : mortier avec des fibres de Dis traitées par NaOH, MDS.SB : mortier avec des fibres de DIS traité par la résine styrène butadiène.

2.4 Essais de caractérisations

2.4.1 Préparation des échantillons

Le schéma suivant montre les principales procédures utilisées pour confectionner différents mortiers.



Méthode de malaxage :

- Introduction de l'eau plus ciment (30 secondes vitesse lente)
- Introduction du sable (30 secondes)
- 90 secondes pose
- 60 secondes vitesse rapide

Mode de conservation 5 jours dans l'eau, ainsi à l'air.

Figure2. 6 Méthode de malaxage et le mode de conservation

2.4.2 Résistances mécaniques

2.4.2.1 Résistance à la compression et à la flexion

Tous les échantillons ont été démoulés 24 h après leur coulage et conservés dans l'eau à une température de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Les échéances de la caractérisation mécanique (résistance à la compression et à la flexion) pour tous les types de mortier sont 7, 28 jours.

Pour chaque mélange, des éprouvettes prismatiques $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ ont été utilisées pour déterminer la résistance à la flexion, et des demis prismes $4 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$ pour la détermination de la résistance à la compression.



Figure2. 7 Appareilles de l'essai de compression et de flexion.

2.4.2.2 Variations dimensionnelles et pondérale

Pour chaque mélange, les mesures de la perte en masse sont effectuées longitudinalement sur des éprouvettes prismatiques $4 \times 4 \times 28 \text{ cm}^3$. Ces mesures sont effectuées à l'aide d'un refractomètre (précision $\pm 0,001 \text{ mm}$) voir la figure 2.7. Les éprouvettes sont conservées à l'air libre à une température de $22 \pm 2^{\circ} \text{C}$ et une humidité relative de $55 \% \pm 5 \%$.

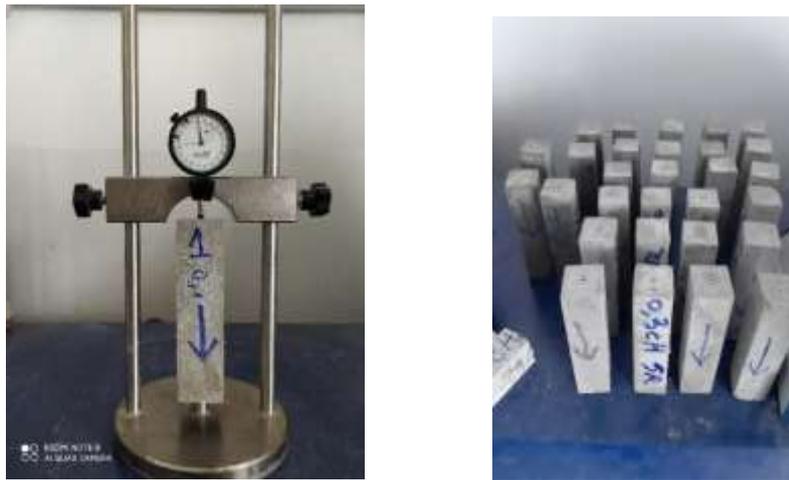


Figure2. 8 Mesure de variation dimensionnelle.

La formule de retrait s'interprète par la variation relative de longueur. Elle est généralement désignée par ε et calculée comme suite :

$$\varepsilon(t) = \frac{L(t) - L(t_0)}{L}$$

Où : L : la longueur de la tige étalon $l = 160$ mm.

L(t) : la longueur de l'éprouvette au temps t

L(t_0) : la longueur de l'éprouvette au temps t_0 choisie pour origine. En général cette origine est prise au moment du démoulage, soit 24 h après la confection des éprouvettes.

2.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons décrit les essais de caractéristique des matériaux de base des différents mélanges. Les constituants sont conformes aux normes et recommandations pour leur utilisation dans les mortiers hydrauliques. Ce qui nous facilite l'adoption d'une approche de formulation adéquate. Ces caractéristiques intrinsèques des différents constituants nous permettent de comprendre les modifications apportées aux performances des différents mélanges sous différentes sollicitation.

Chapitre 3

Résultats et discussions

3.1 Introduction

Les fibres végétales constituent une option très intéressante pour l'industrie de la construction. Le travail suivant s'intéresse aux performances mécaniques des mortiers cimentaires à base de fumé de silice renforcés par des fibres végétales.

3.2 Densité

La densité est un facteur important pour déterminer la porosité et évaluer la durabilité des mortiers cimentaires.

Figure 3.1 montre la densité des différents mélanges utilisés.

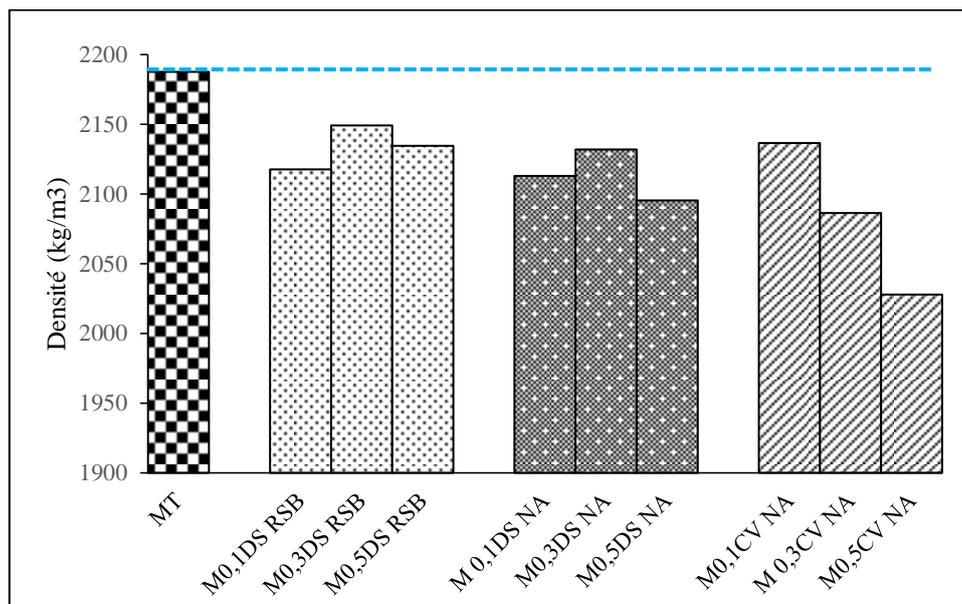


Figure3. 1 Densité de différents mélanges.

D'après la figure 3.1 on constate que l'introduction des fibres dans les mortiers diminue la densité du matériau par rapport au témoin. On remarque aussi que le MCV présente une faible densité par rapport aux autres mortiers. De plus, la valeur de la densité est liée aux dosages des fibres dans les mortiers. A titre exemple M0.5CV NA montre une diminution de la densité de 7.5% par rapport au témoin. On explique ce phénomène par la présence des fibres construit une grille ou un réseau qui empêche l'introduction de la pâte de ciment dans ce filet (phénomène d'oursin).

3.3 Performances mécaniques

3.3.1 Résistance à la flexion

La figure 3.2 montre l'évolution de la résistance à la flexion des mortiers selon différentes échéance (7,28 jours).

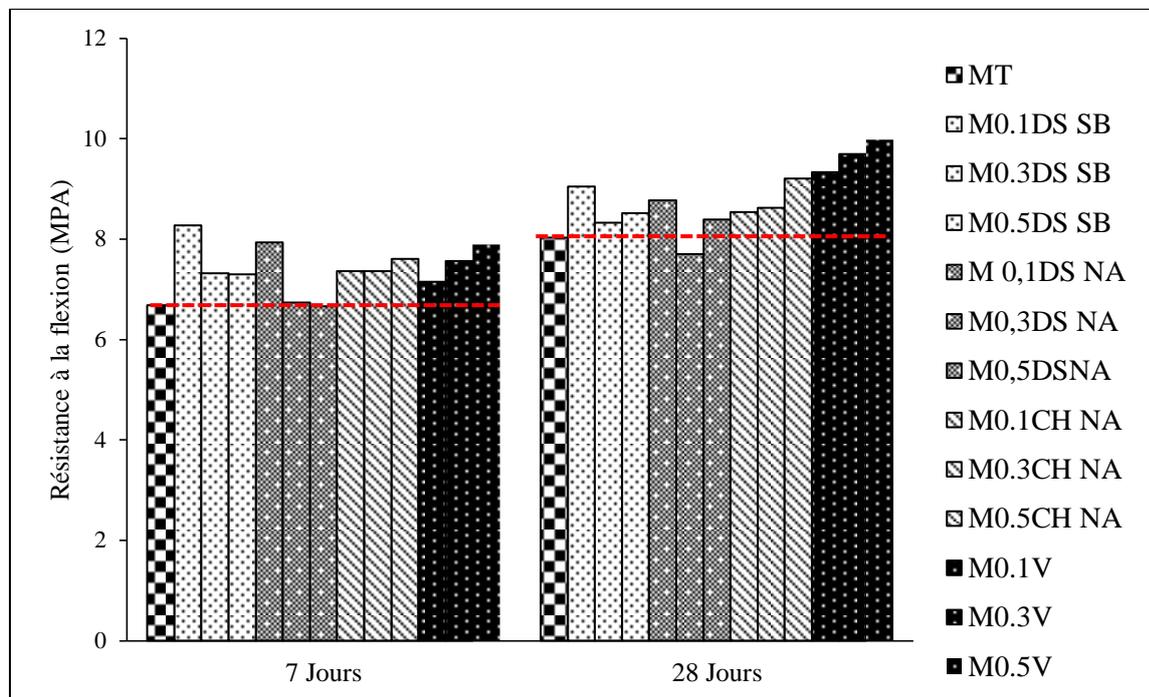


Figure3. 2 Evolution de la résistance à la flexion des mortiers.

On constate sur la figure 3.2 qu'à 7 et 28 jours tous les mortiers avec des fibres montrent une résistance à la flexion plus élevée que le mortier sans fibre. Les mortiers avec Dis traité par styrène butadiène révèlent une résistance très élevée par rapport aux autres mélanges en particulier les M0.1DS SB.

On conclut que les fibres végétales traitées DIS et CH révèlent un bon comportement dans les mortiers à base de fumé de silice. Ceci est due à sa surface rugueuse qui améliore l'interaction entre les fibres et la matrice.

De plus, l'effet du taux des fibres se diffère selon la nature des fibres à titre d'exemple : le taux optimal pour les DIS est d'environ 0.1%, mais, pour les fibres de verres et de chanvre le taux optimal est de 0,5%.(de Almeida Melo Filho et al., 2013) (Mouhoubi et al., 2012).

3.3.2 Résistance à la compression

La figure 3.3 montre l'évolution de la résistance à la compression des mortiers selon différentes échéances (7 et 28 jours).

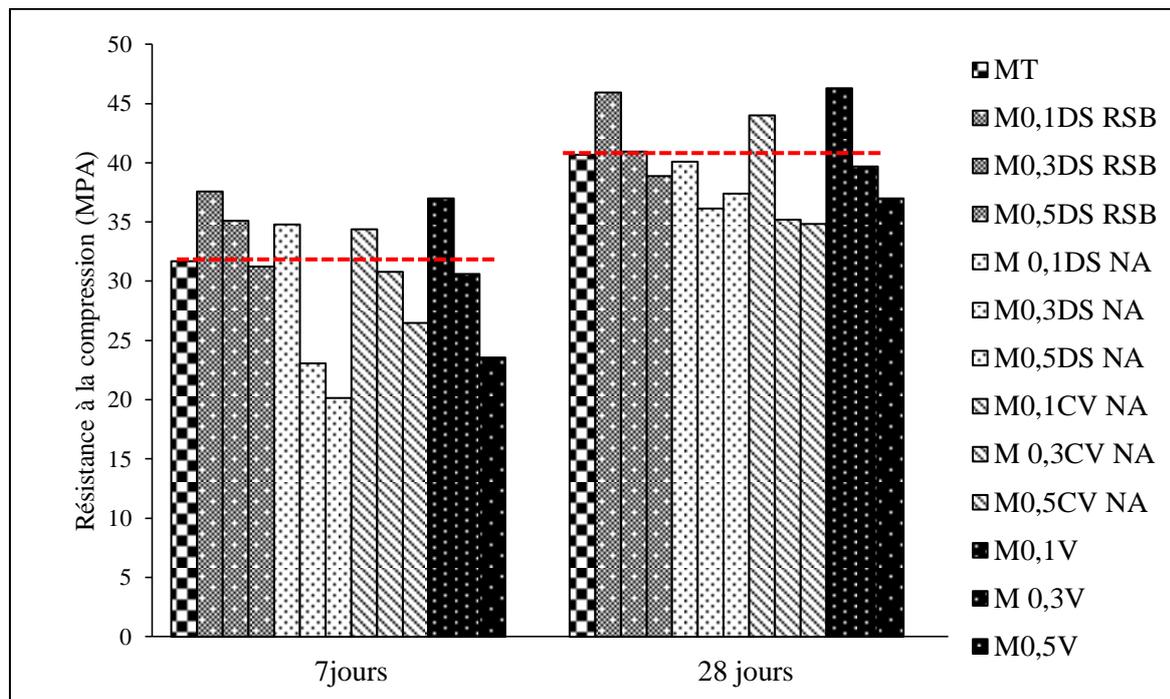


Figure3. 3 Evolution de la résistance à la compression des mortiers.

Les résultats de la résistance à la compression se différencient selon la nature des fibres et leur dosage. Pour les mortiers à base de DIS traité par latex montrent une résistance élevée par rapport au témoin en particulier pour les taux 0.1% et 0.3%. Concernant les M-0.1DIS NA montrent une bonne résistance, mais au-delà du taux 0.1% une diminution considérable de la résistance. Le dosage élevé des fibres de verre provoque une diminution remarquable de la résistance à la compression à titre d'exemple : pour les M0.5V une diminution de 25% de la résistance à la compression par rapport au témoin a été remarquée.

Les chercheurs (Mo et al., 2017) ont expliqué la diminution de la résistance à la compression par la présence des fibres dans les mortiers cimentaires qui provoque des porosités supplémentaires au niveau de l'interface fibre/matrice. Par conséquent la résistance à la compression des mortiers fibrés est diminuée.

Le traitement des fibres de Dis par latex montre une efficacité notable dans les performances mécaniques des mortiers même avec des taux élevés de fibre.

3.3.3 Variation dimensionnelle (Retrait de séchage)

Le retrait total c'est la somme du retrait de dessiccation et le retrait endogène. La figure 3.4 montre l'évolution des déformations différées totales des mortiers à base des différentes fibres (fibre de Dis et fibre de verre).

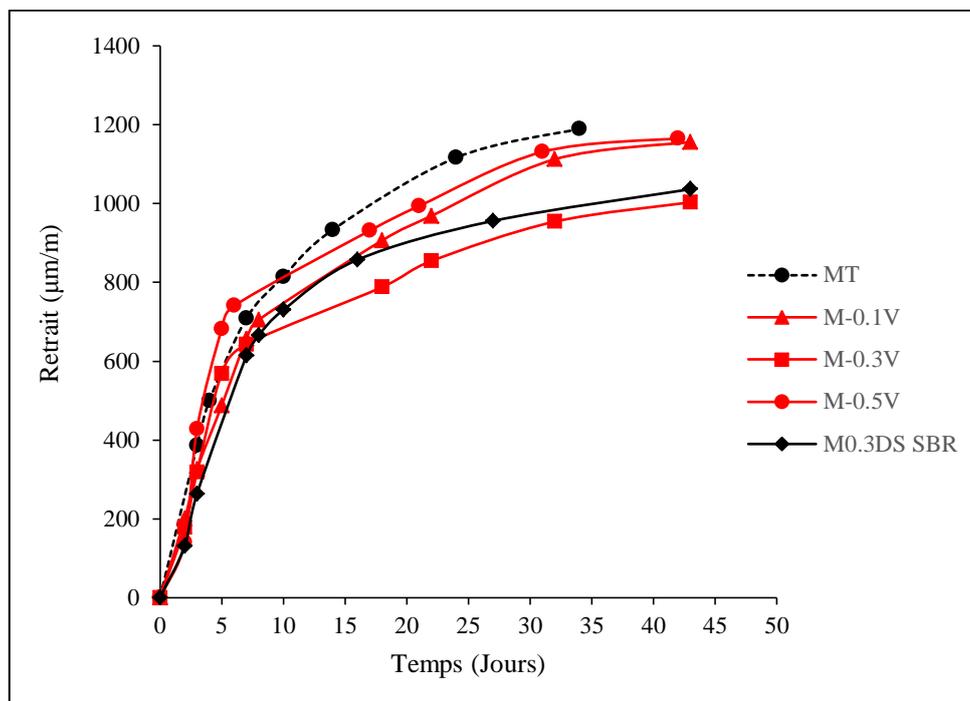


Figure3. 4 Retrait total des différents mélanges.

On remarque à partir de la figure 3.4 qu'aux premiers jours, toutes les courbes sont superposées aucune différence mesurable n'est observée pour les différents mortiers. Par contre au-delà de 7 jours l'écart évolue rapidement. La cinétique de la déformation du retrait est rapide et probablement due au fort gradient d'humidité existant entre le matériau testé et le milieu extérieur. Par la suite, sa cinétique devient lente à cause du séchage.

On constate que l'introduction des fibres de verre et 0.3% de Dis traité par la résine dans les mortiers engendre une diminution des déformations différées totales de 7% à 20% par rapport au témoin.

3.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié l'effet des fibres végétales traitées sur le comportement mécanique des mortiers cimentaires à base de fumé de silice. Les résultats obtenus, nous ont permis de montrer que :

- Les caractéristiques des fibres ont un effet bénéfique sur le comportement en flexion des matériaux cimentaires et leur capacité à la déformation.
- Une diminution de la densité des mortiers fibrés jusqu'à 7.5% a été remarquée à cause du phénomène d'oursin.
- Le traitement des fibres de Dis par latex montre une efficacité notable dans les performances mécaniques des mortiers même avec des taux élevés de fibre.
- L'analyse de la déformation différée d'origine physico-chimique comme le retrait montre que les fibres ont une influence importante sur ce phénomène. La présence de ces fibres dans les mortiers a conduit à un retrait moins important que celui des mortiers sans fibre.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de notre étude était d'effectuer des mortiers à base de fumé de silice contenant différentes fibres (Dis, Chanvre et verre) avec différents traitements (Résine styrène butadiène et 0.5% NaOH).

Pour mieux comprendre l'effet de ces fibres sur le comportement des matériaux cimentaires, nous avons fait des essais mécaniques (Résistance à la flexion et à la compression) et des essais physico-chimique (Retrait).

- La caractérisation de ces fibres végétales a montré qu'elles présentent une résistance à la traction élevée comprises entre 173 et 619 MPa et une déformation maximale entre 0.433 et 1.178 mm. Ces caractéristiques ont un effet bénéfique sur le comportement en flexion des matériaux cimentaires et leur capacité à la déformation.
- Les caractéristiques des fibres ont un effet bénéfique sur le comportement en flexion des matériaux cimentaires et leur capacité à la déformation.
- Une diminution de la densité des mortiers fibrés jusqu'à 7.5% a été remarqué à cause du phénomène d'oursin.
- Le traitement des fibres de Dis par latex montre une efficacité notable dans les performances mécaniques des mortiers même avec des taux élevés de fibre.
- L'analyse de la déformation différée d'origine physico-chimique comme le retrait montre que les fibres ont une influence importante sur ce phénomène. La présence de ces fibres dans les mortiers a conduit à un retrait moins important que celui des mortiers sans fibre.

Finalement, on peut conclure que l'utilisation de fibres végétales traités par résine styrène butadiène et NaOH dans les matériaux cimentaire contenant une poudre pouzzolanique reste possible.

Références Bibliographiques

- 933-8+A1, N. E. (2015). Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 8 : évaluation des fines - Équivalent de sable.
- A, D. (1996). *Etude des mécanismes de pénétration des ions chlore dans les bétons conventionnels et à haute performance Thèse de doctorat, spécialité Génie Civil.*
- B.A. Akinyemi, T. E. O. (2017). Engineering properties of acrylic emulsion polymer modified bamboo reinforced cement bonded composites, . 126–132 .
- B.A. Akinyemi, T. E. O., O. Micheal,. (2016). Prospects of coir fibre as reinforcement in termite mound clay bricks, *Acta Technol. Agric.*, 57–62.
- Banjo Akinyemi, a. T. O. (2018). Properties of Latex Polymer Modified Mortars Reinforced with Waste Bamboo Fibers from Construction Waste.
- Banjo Ayobami Akinyemi, C. D. (2020). Development of banana fibers and wood bottom ash modified cement mortars. .
- Benítez-Guerrero, M., López-Beceiro, J., Sánchez-Jiménez, P. E., & Pascual-Cosp, J. (2014). Comparison of thermal behavior of natural and hot-washed sisal fibers based on their main components: Cellulose, xylan and lignin. TG-FTIR analysis of volatile products. *Thermochimica Acta*, 581, 70-86.
- C, B. (2004). Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites. .
- de Almeida Melo Filho, J., de Andrade Silva, F., & Toledo Filho, R. D. (2013). Degradation kinetics and aging mechanisms on sisal fiber cement composite systems. *Cement and Concrete Composites*, 40, 30-39.
- E.Y. Okino, M. R. D. S., M.A. Santana, M.V. da S Alves, M.E. de Sousa, D.E.Teixeira. ((2004)). Cement-bonded wood particleboard with a mixture of eucalypt and rubberwood, . (729–734.).
- Ferreira, S. R., Neto, A. R. S., de Andrade Silva, F., de Souza Jr, F. G., & Toledo Filho, R. D. (2020). The influence of carboxylated styrene butadiene rubber coating on the mechanical performance of vegetable fibers and on their interface with a cement matrix. *Construction and Building Materials*, 262, 120770.
- Jo, B.-W., Chakraborty, S., & Yoon, K. W. (2014). A hypothetical model based on effectiveness of combined alkali and polymer latex modified jute fibre in controlling the setting and hydration behaviour of cement. *Construction and Building Materials*, 68, 1-9.

- Mo, K. H., Bong, C. S., Alengaram, U. J., Jumaat, M. Z., & Yap, S. P. (2017). Thermal conductivity, compressive and residual strength evaluation of polymer fibre-reinforced high volume palm oil fuel ash blended mortar. *Construction and Building Materials*, *130*, 113-121.
- mortars, D. o. b. f. a. w. b. a. m. c. (2020). Banjo Ayobami Akinyemi, Chunping Dai
- Mouhoubi, S., Osmani, H., Bali, T., & Abdeslam, S. (2012). Élaboration et étude des propriétés des composites Polyester-Alfa traitée et non traitée.
- Roy, A., Chakraborty, S., Kundu, S. P., Basak, R. K., Majumder, S. B., & Adhikari, B. (2012). Improvement in mechanical properties of jute fibres through mild alkali treatment as demonstrated by utilisation of the Weibull distribution model. *Bioresource technology*, *107*, 222-228.
- Sedan, D., Pagnoux, C., Smith, A., & Chotard, T. (2007). Propriétés mécaniques de matériaux enchevêtrés à base de fibre de chanvre et matrice cimentaire. *18ème Congrès Français de Mécanique (Grenoble 2007)*.
- Sellami, A., Merzoud, M., & Amziane, S. (2013). Improvement of mechanical properties of green concrete by treatment of the vegetals fibers. *Construction and Building Materials*, *47*, 1117-1124.
- Wei, J., & Meyer, C. (2015). Degradation mechanisms of natural fiber in the matrix of cement composites. *Cement and Concrete Research*, *73*, 1-16.
- Yan, L., Chouw, N., Huang, L., & Kasal, B. (2016). Effect of alkali treatment on microstructure and mechanical properties of coir fibers, coir fiber reinforced-polymer composites and reinforced-cementitious composites. (112, 168–182.).