

People's Democratic Republic of Algeria
Ministry of Higher Education and Scientific Research
Mohamed Boudiaf University of M'sila
Faculty of Technology



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة المسيلة
كلية التكنولوجيا

Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Génie des Matériaux

Présenté par :

BEN SIRADJ Mohamed Redha

Thème

**EFFET DE LA NATURE ET DU TRAITEMENT DE FIBRE
VEGETALE SUR LE COMPORTEMENT DE BRIQUE DE TERRE**

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
RAHMOUNI Zine El Abidine	Professeur	Président
ROKBI Mansour	MCA	Encadreur
BENYAHIA Azzedine	MCA	Examineur

Année Universitaire : 2019 / 2020

N° d'ordre : GM/...../2020

Remerciements

Ce travail a été réalisé au laboratoire du moulage au département de Génie Mécanique de l'université de M'sila.

Je remercie bien Allah le tout puissant de m'avoir accordé le courage et la patience pour accomplir ce modeste travail.

*Tout d'abord, mes sincères remerciements mon encadreur **Dr. Monsieur Rokbi** pour avoir proposé et dirigé mes travaux de recherche. Ses compétences et ses bonnes directives m'ont aidé à achever ce mémoire de master. Merci aussi pour son attention et ses exigences pendant la période de rédaction du mémoire.*

*Je suis très reconnaissante et remercie vivement **Mr. KHALDOUNE Abderraouf** chef de laboratoires de moulage, pour ses conseils et son assistance ainsi que toute l'équipe du hall technologique.*

Et mes vifs remerciements vont aussi mes amis :

Abdelkader, Karim, Farid, Farid, Rachid ...

Enfin, je voudrais remercier tous ceux qui ont contribué à ce travail.

Dédicace

Je dédie ce mémoire

À mes chers parents « Ali » et « Rahma »

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études

A ma chère femme « Hanane » pour leur aide

A tout ma famille pour l'amour et le respect qu'ils m'ont toujours accordé.

Ben Siradj

Mohamed Redha

المخلص

من أجل تعزيز المواد المحلية والمساهمة في تقليل تكاليف البناء والطاقة المستهلكة للتدفئة أو تكييف الهواء، يذكر انه مواد المحلية، مثل الألياف النباتية (ألياف الحلفاء) وأربعة أنواع من الطين من منطقة المسيلة استعملت لتثبيت كتل الترابية المضغوطة " Adobe ". في الأونة الأولى، استندت الدراسة إلى تحسين نوع الطين من حيث الخواص الميكانيكية من أجل تعزيزه باستخدام ألياف الحلفاء المعالجة كيميائيا وغير المعالجة باستعمال أطوال مختلفة للألياف النباتية. بعد وباء Covid-19 ، تم التركيز في هذه الدراسة على توجيه الدراسة نحو التحليل النظري للأعمال المنجزة في هذا المجال مع الحفاظ على المحور الأساسي و المسطر في البداية. ركزت الدراسة على تأثير المثبتات المستخدمة (الاسمنت والجير)، وتأثير تقوية Adobe بواسطة الألياف النباتية المعالجة وغير المعالجة، وكذلك تأثير طول الألياف النباتية على الأداء الميكانيكي للكتل الترابية المضغوطة. تم الإبلاغ عن اتفاق ملحوظ بين مختلف الأعمال المعالجة.

الكلمات المفتاحية: ألياف نباتية / طين / معالجة كيميائية / أدوب / سلوك ميكانيكي.

Résumé

Dans un but de valoriser les matériaux locaux et de contribuer à la réduction des coûts de construction et de l'énergie consommée pour le chauffage ou la climatisation, des matériaux locaux, telles que les fibres végétales (fibre Alfa) et quatre type d'argile issues de la région de M'sila ont été utilisées pour stabiliser les blocs de terre comprimée « Adobe ». Au premier lieu, l'étude s'était fondue sur l'optimisation du type d'argile en termes de propriétés mécaniques afin de le renforcer par des fibres Alfa traitées et non traitées à différentes longueurs. Suite à la pandémie Covic-19 cette étude et orienté vers une synthèse des travaux élaborés dans cette perspective tout en gardant l'originalité du travail initial. L'étude s'est focalisée sur l'effet du stabilisateurs utilisés (ciment et chaux), l'effet du renforcement de l'Adobe par des fibres traitées et non traitées, ainsi par l'impact de la longueur de la fibre végétale sur les performances mécaniques blocs de terre comprimée. Une concordance remarquable entre les différents travaux traités est signalée.

Mots clés : fibres végétales / argile / traitement chimique/ Adobe/ Comportement mécanique.

Abstract

In order to enhance local materials and contribute to the reduction of construction costs and the energy consumed for heating or air conditioning, local materials, such as vegetable fibers (Alfa fiber) and four types of clay from the M'sila region were used to stabilize the blocks of compressed earth "Adobe". First, the study was based on optimizing the type of clay in terms of mechanical properties in order to reinforce it with treated Alfa fibers and untreated one at different lengths. Following the Covic-19 pandemic, this study was focused on a synthesis of the work developed with this in mind while retaining the originality of the initial work. The study focused on the effect of the stabilizers used (cement and lime), the effect of the reinforcement of Adobe by treated and untreated fibers, as well as the impact of the length of the vegetable fiber on mechanical performance of compressed earth blocks. A remarkable agreement between the different works treated is reported.

Keywords: vegetable fibers / clay / chemical treatment / Adobe / Mechanical behavior.

Table des matières

Remerciements	I
Dédicace	II
المخلص	III
Résumé.....	IV
Abstract	V
Liste des figures	VI
Liste des tableaux	IX
Introduction générale.....	1

Chapitre I

Matériaux Composite

I.1.Introduction	4
I.2. Constituants d'un matériaux composites	4
I.2.1. Matrice.....	4
I.2.1.1.Matrices organiques	5
I.2.1.2.Matrices métalliques	6
I.2.1.3.Matrices céramiques	6
I.2.2. Renfort	6
I.3.Matériaux composites dans la construction	7
I.4.Exemples d'applications	8
I.4.1. Aéronautique.....	8
I.4.2. Automobile	9
I.4.3. Sports & loisirs	10
I.4.4. Construction.....	11

Chapitre II

Fibres végétales

II.1. Introduction	13
II.2.Différents type de fibres végétales	13

Table des matières

II.2.1. Alfa	13
II.2.2. Jute	13
II.2.3. Kenaf	14
II.2.4. Lin	14
II.2.5. Chanvre	15
II.2.6. Sisal	15
II.2.7. Palmier dattier	16
II.3. Extraction des fibres végétales	16
II.3.1. Extraction mécanique	17
II.3.2. Extraction chimique	17
II.3.3. Extraction biologique	17
II.3.4. Extraction combinée	18
II.4. Caractéristiques des fibres végétales	19
II.4.1. Caractéristiques chimique	19
II.4.2. Caractéristiques mécaniques	19
II.4.2. Caractéristiques physiques	20
II.5. Exemples d'applications	20
II.6. Fibres végétales de Boussaâda	21
II.6.1. Fibre Alfa	21
II.6.2. Fibre Diss	21
II.6.3. Fibre Lygeum spartum	22
II.6.4. Palmier	22
II.6.5. Agave Americana	23

Chapitre III

Brique de terre

III.1. Introduction	25
III.2. Brique de terre dans la construction	25
III.3. Différents type de brique	25

Table des matières

III.3.1. Classification selon la structure chimique	25
III.3.1.1. Kaolin.....	26
III.3.1.2. Smectites	26
III.3.1.3. Illites	28
III.3.1.4. Vermiculites	28
III.3.1.5. Chlorites	28
III.3.2. Classification selon la couleur	29
III.4. Renforcement de brique de terre	30
III.5. Exemples d'applications	30
III.5.1. En construction.....	30
III.5.1.1. Pisé.....	30
III.5.1.2. Adobe	31
III.5.1.3. Torchis	32
III.5.1.4. Bauge	33
III.5.1.5. Blocs de terre comprimée (BTC)	33
III.5.1.6. Les avantages et les inconvénients d'utilisation des briques en terre..	36
III.5.2. En traitement d'eau	37
III.5.3. En agroalimentaire	37
III.5.4. En tant qu'anti-poison	37

Chapitre IV

Téchniques et méthodes expérimentales

IV.1. Introduction.....	39
IV.2. Matériaux d'étude	39
IV.2.1. Argile	39
IV.2.1.1. Types d'argile	39
IV.2.1.2. Préparation de la poudre d'argile	40
IV.2.1.3. Echantillonnage.....	40
IV.2.1.4. Désignation des Argiles élaborés.....	41

Table des matières

IV.2.2. Fibres d'Alfa	42
IV.2.2.1. Etapes d'extraction des fibres d'Alfa.....	42
IV.2.2.2. Traitement des fibres d'Alfa	43
IV.3. Essai mécanique	43
IV.3.1 Compression	43

Chapitre V

Analyse des travaux réalisés dans le domaine de brique en argile

V.1. Introduction	45
V.2. Analyse des travaux déjà réalisés dans le domaine de briques en argile	45
V.2.1. Comportement de brique d'argile non renforcé.....	45
V.2.2. Comportement de brique d'argile renforcé par fibres végétales	53
V.2.3. Effet du taux de fibres sur le comportement du brique d'argile.....	56
V.2.4. Effet du traitement des fibres sur le comportement du brique d'argile	59
V.2.5. Résultats obtenus pour le cas des argiles testés	64
VI. Conclusion générale.....	65
Références.....	66

Liste des figures

Chapitre I

Fig I. 1. Constituants d'un matériaux composites.....	4
Fig I. 2. Différentes familles de matrices.	5
Fig I. 3. Classification des types de renforts.....	7
Fig I. 4. Les différentes parties d'un avion subissent des contraintes diverses.....	9
Fig I. 5. Les matériaux composites dans automobile	9
Fig I. 6. Les composants du panneau de ski.	10
Fig I. 7. Mur-rideau en panneaux en béton composite.....	11

Chapitre II

Fig II. 1. Les fibres d'Alfa	13
Fig II. 2. La plante de Jute avec ses fibres.....	14
Fig II. 3. Les fibres du kenef et sa plante	14
Fig II. 4. La plante et les fibres de lin	15
Fig II. 5. La plante et les fibres de chanvre	15
Fig II. 6. Les fibres de sisal avec sa plante.....	16
Fig II. 7. Les fibres et la plante de palmier.....	16
Fig II. 8. L'extraction mécanique.....	17
Fig II. 9. Rouissage du chanvre a l'eau	18
Fig II. 10. Diagramme des techniques d'extraction des fibres végétales	18
Fig II. 11. Plante d'alfa	21
Fig II. 12. La plante de Diss.....	22
Fig II. 13. La plante de Lygeum spartum	22
Fig II. 14. La plante de palmier et ses fibres	23
Fig II. 15. La plante et les fibres d'agave americana	23

Chapitre III

Fig III. 1. Analyse chimique d'argile verte type Montmorillonite.....	26
Fig III. 2. Processus de formation de l'argile	27
Fig III. 3. Classification des argiles selon la couleur.....	29

Fig III. 4. Méthodes des fabrications du pisé	31
Fig III. 5. Les deux modes de fabrication d'adobe	32
Fig III. 6. Les trois techniques de fabrications du torchis	32
Fig III. 7. Technique de fabrication du Bauge	33
Fig III. 8. Les étapes de fabrications du BTC	34
Fig III. 9. Brique pleine et perforée et Brique creuse	35
Fig III. 10. Différents produits de blocs de terre comprimée.....	35

Chapitre IV

Fig IV. 1. Les 4 types d'argile utilisés.....	40
Fig IV. 2. Pâte d'argile et le moule utilisé	41
Fig IV. 3. Echantillons finals des 4 types d'argile	41
Fig IV. 4. Techniques d'extraction des fibres Alfa.....	42
Fig IV. 5. Fibres Alfa Traitées	43
Fig IV. 6. La machine de compression	44

Chapitre V

Fig V. 1. Analyse granulométrique de l'argile rouge.....	45
Fig V. 2. Analyse par spectroscopie infrarouge d'un échantillon d'argile rouge.....	46
Fig V. 3. Effet d'addition de chaux sur la résistance de flexion et compression du matériau étudié.....	47
Fig V. 4. Effet d'addition de ciment sur la résistance de flexion et de compression du matériau étudié.....	47
Fig V. 5. Analyse granulométrique de l'argile.....	48
Fig V. 6. Résistances à la compression sèche et humide de l'argile en fonction du mode de cure	49
Fig V. 7. Effet d'addition de chaux sur la résistance compression du matériau étudié	50
Fig V. 8. Résistance à la compression sèche de l'argile en fonction du temps de cure	50

Fig V. 9. Effet de la longueur de fibres sur les propriétés mécaniques du composite	54
Fig V. 10. Variation de la résistance à la compression en fonction de la teneur en fibres	56
Fig V. 11. Variation de la résistance à la compression en fonction de la teneur en fibres	57
Fig V. 12. Effet du temps de traitement alcalin sur la flexion et la compression du matériau étudié.....	59
Fig V. 13. MEB micrographie de la surface des fibres non traitées et traitées : (a) PF00 ; (b) PF00;.....	60
Fig V. 14. Effet du traitement au NaOH sur la résistance à la traction des fibres FDP avec différentes concentrations : (a) traité pendant 2 h, (b) traité pendant 5 h,.....	62
Fig V. 15. Effet du traitement au NaOH sur le module de Young des fibres avec différentes concentrations : (a) traité pendant 2 h, (b) traité pendant 5 h, (c) traité pendant 7 h et (d)	62
Fig V. 16. Micrographie SEM de la surface des fibres traitées	63
Fig V. 17. Micrographie SEM de la surface des fibres non traitées	63
Fig V. 18 Forme des éprouvettes d'argile testées en compression	64

Liste des tableaux

Chapitre II

Tab II. 1. Composition chimique de quelques fibres végétales	19
Tab II. 2. Les propriétés mécaniques des fibres végétales	19
Tab II. 3. Propriétés physiques de différentes fibres végétales.....	20

Chapitre III

Tab III. 1. Tableau récapitulatif des différentes argiles selon leur composition chimique (en pourcentage)	28
Tab III. 2. les avantages et les inconvénients des différents types de brique	36

Chapitre IV

Tab IV. 1 Désignation des quatre types d'argile	42
--	----

Chapitre V

Tab V. 1. Composition chimique élémentaire de l'échantillon d'argile rouge.....	46
Tab V. 2. Composition chimique élémentaire de l'échantillon d'argile.....	48
Tab V. 3. Composition minéralogique d'argile	48
Tab V. 4. Amélioration des propriétés de l'argile après l'ajout des stabilisateurs...	52
Tab V. 5. L'effet de la longueur de fibres sur le comportement du brique d'argile de quelques fibres	55
Tab V. 6. L'effet du taux de fibres sur le comportement du brique d'argile de quelques fibres	58
Tab V. 7 Résistance à la compression des différents argiles testés	64

Introduction générale

Les sites archéologiques découverts dans de nombreux endroits de la planète ont été témoins de la maîtrise des techniques de construction sur la base de la terre crue depuis les premières civilisations, car il s'agissait de l'un des premiers matériaux de construction que les humains ont utilisés à travers les âges.

Aujourd'hui, et malgré l'évolution technologique qu'a connue l'humanité ces derniers siècles et qui a permis à l'homme moderne de disposer d'une grande variété de matériaux de construction jamais connus auparavant, l'utilisation de la terre est tombée en désuétude ; la plupart des bâtiments en terre se trouvent dans les régions arides à faible pluviosité. Cependant, nous enregistrons aujourd'hui à un retour croissant à la construction en terre crue dans plusieurs pays y compris les pays industrialisés profitant du développement des techniques de production très variées, soutenues par des recherches scientifiques.

En Algérie, la construction en terre est très répandue dans toute sa longue histoire, particulièrement dans les zones rurales et les régions arides. Aujourd'hui, on assiste à un regain d'intérêt pour ce matériau, qui s'explique d'abord par la volonté de réaliser une partie du programme consacrée au logement rural (environ 40%).

L'utilisation des fibres végétales est croissante dans les secteurs du bâtiment, des transports et des loisirs. Elles peuvent être utilisées seules comme la ouate de cellulose ou la laine de chanvre qui servent d'isolants dans le bâtiment. Ou alors, elles peuvent être utilisées en association avec une résine en formant ainsi un matériau composite à base de fibres végétales.

Dans ce contexte, on se propose ainsi d'étudier l'effet de la nature et du traitement de fibres végétales sur le comportement de brique de terre. Ce mémoire est structuré en cinq chapitres outre l'introduction générale.

Le premier chapitre présente des généralités sur les matériaux composites : les constituants du matériau composite (matrice, renfort), matériaux composites dans la construction...

Le deuxième chapitre est consacré à une présentation des fibres végétales : différents types de fibres végétales, extraction de fibres végétales, caractéristiques des fibres végétales, fibres végétales de la région de Boussaâda et exemples d'applications

Le troisième chapitre comprend des généralités sur la brique de terre, dans ce chapitre on va parler de brique de terre et leur utilisation et les différents types d'argile, le point important de ce chapitre est le renforcement de briques de terre.

Le quatrième chapitre : techniques et méthodes expérimentales c'est une étude que nous avons menée au laboratoire universitaire depuis le choix de l'argile optimale pour fabriquer des briques soutenues avec des fibres végétales et au vu de la situation que l'Algérie et le monde entier traversent à cause d'un virus COVID-19 nous avons dû arrêter l'étude.

Le dernier chapitre, c'est une analyse des travaux déjà réalisés dans le domaine de briques en argile renforcées et non renforcées.

Chapitre I

Matériaux composites

I.1.Introduction

Les matériaux composites sont des matériaux à très hautes performances mécaniques, qui peuvent être façonnés à volonté au gré du concepteur, de manière à obtenir les propriétés souhaitées en faisant un choix approprié des constituants. Ainsi, la possibilité de façonner à la carte les matériaux composites modifie considérablement l'approche conventionnelle du dimensionnement des structures habituellement utilisée pour les matériaux traditionnels. Les matériaux composites se développent aujourd'hui dans pratiquement tous les domaines et sont à l'origine de formidables challenges dans diverses réalisations de hautes technologies.

I.2. Constituants d'un matériaux composites

Il y'a deux constituants de base d'un matériau composite sont la matrice et le renfort. Le renfort assure la tenue mécanique tandis que la matrice assure la cohésion de la structure et le transfert de charges entre les renforts. A ces deux composants principaux peuvent s'ajouter des additifs qui permettent de modifier l'aspect, ou les caractéristiques du matériau (**Fig I. 1**) [1].

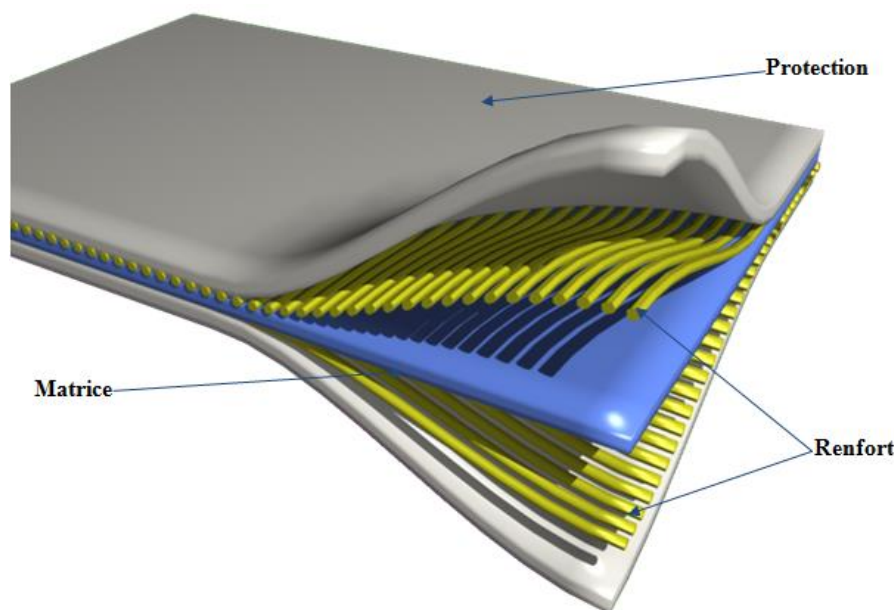


Fig I. 1. Constituants d'un matériaux composites

I.2.1. Matrice

Les matrices ont essentiellement pour rôle de lier les fibres, de transférer les contraintes imposées sur le matériau aux fibres, de les protéger contre les agressions extérieures et de donner la forme finale du matériau. Elles doivent être en outre assez déformable et présenter une certaine compatibilité avec le renfort.

Ainsi, pour pouvoir apporter aux matériaux composites des propriétés mécaniques spécifiques élevées, la matrice doit posséder une bonne affinité aux fibres et une masse volumique faible [2].

Il existe différentes familles de matrices utilisées dans les matériaux composites (**Fig I. 2**).

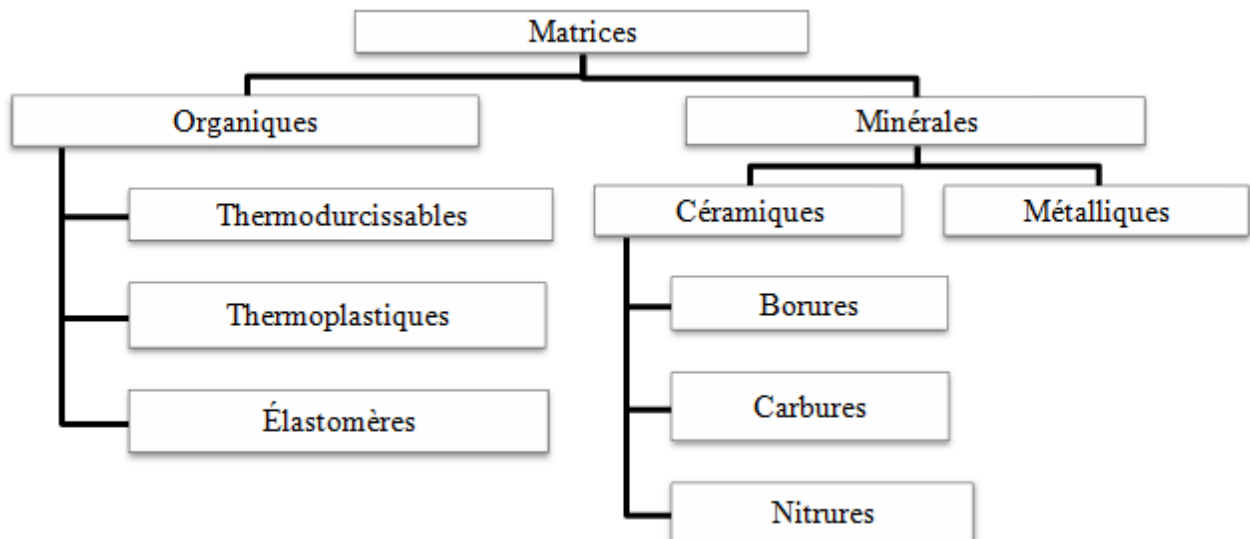


Fig I. 2. Différentes familles de matrices.

I.2.1.1. Matrices organiques

Dans le cas des composites à matrices organiques CMO, les résines (polymères ou matrices plastiques) les plus utilisées sont [1] :

a) Matrices thermodurcissables

Ce sont les polymères qui prennent leur forme définitive au premier refroidissement, ordinairement sous l'action de la chaleur ou de la pression, la réversibilité de leur transformation physico-chimique est impossible. La réticulation (gélification ou pontage) est l'opération par laquelle la matière première est transformée en matériau rigide, insoluble et infusible. Elle correspond à l'étape finale de la polymérisation [2].

La réticulation d'une résine thermodurcissable peut être amorcée par la chaleur, un catalyseur, une irradiation ou par le moyen de leurs effets conjugués.

C'est grâce à leur structure fortement réticulée et l'immobilisation de leurs molécules que les thermodurcissables ne peuvent s'écouler, ils possèdent une dureté élevée et s'offrent une bonne tenue au fluage à l'ambiante contrairement aux thermoplastiques. C'est pour ces raisons là qu'ils sont souvent utilisés comme éléments structuraux [2].

Ils sont aussi employés dans les matériaux composites pour leur fluidité avant réticulation et pendant la mise en œuvre ainsi que pour leur résistivité thermique. Ils ont une grande résistance mécanique.

b) Matrices thermoplastiques

Les thermoplastiques sont dérivés de polymères légèrement ramifiés (linéaires). C'est pour cette raison qu'ils se déforment et se ramollissent sous l'action de la chaleur, qui se traduit par l'écoulement des chaînes moléculaires les unes sur les autres. En refroidissant, ils reprennent une nouvelle forme. Cette caractéristique particulière de ramollissement au chauffage et de durcissement au refroidissement peut se répéter un bon nombre de fois car, contrairement aux matières thermodurcissables, les thermoplastiques ne subissent aucune transformation chimique ce qui facilite leur fabrication et leur recyclage. Cependant, leur sensibilité à la chaleur reste un inconvénient majeur dans des conditions réelles de travail [2].

I.2.1.2. Matrices métalliques

L'utilisation des matrices métalliques est encore actuellement en grande partie à un stade préindustriel. Plusieurs matériaux composites tels que ; l'Aluminium et ses alliages, Nickel, Titane, présentent une bonne conductibilité électrique et thermique, une bonne tenue à des températures élevées et de plus ils possèdent de bonnes caractéristiques mécaniques transverses. Leur fabrication conduit à des coûts très élevés [1].

I.2.1.3. Matrices céramiques

I.2.1.3.1. Matrices d'argile

Les argiles sont également utilisées dans l'industrie des matériaux réfractaires pour la fabrication des faïences émaillées et des porcelaines (matériels de laboratoire, sanitaire et cuisine), des céramiques (objets d'art, poterie).

La meilleure tenue mécanique d'une structure à base d'argile dépend non seulement de la composition chimique de la matière première, c'est à dire du site de prélèvement et des minéraux qui la constituent, mais aussi des conditions expérimentales de mise en forme (consistance de la pâte, contraintes mécaniques externes appliquées, conditions de séchage) [3].

I.2.2. Renfort

Les matériaux de renfort confèrent aux composites leurs caractéristiques mécaniques : rigidité, résistance à la rupture, dureté, etc. Ces renforts permettent également d'améliorer certaines des propriétés physiques : comportement thermique, tenue en température, tenue au feu, résistance à l'abrasion, propriétés électriques, etc.

Les caractéristiques recherchées pour les renforts sont : des caractéristiques mécaniques élevées, une masse volumique faible, une bonne compatibilité avec les résines, une bonne facilité de mise en œuvre, un faible coût, etc. En fonction des utilisations, les renforts peuvent être d'origines diverses : végétale, minérale, artificielle, synthétique, etc.

Toutefois, les renforts les plus utilisés se présentent sous forme de fibres ou formes dérivées, et

constituent une fraction volumique du matériau composite généralement comprise entre 0,3 et 0,7.

Les renforts fibreux se présentent sous diverses formes commerciales [2] (**Fig I. 3**):

- sous forme linéique (fils, mèches, etc.),
- sous forme de tissus surfaciques (tissus simples, mats, etc.),
- sous forme multidirectionnelle (tresses, tissus complexes, etc).

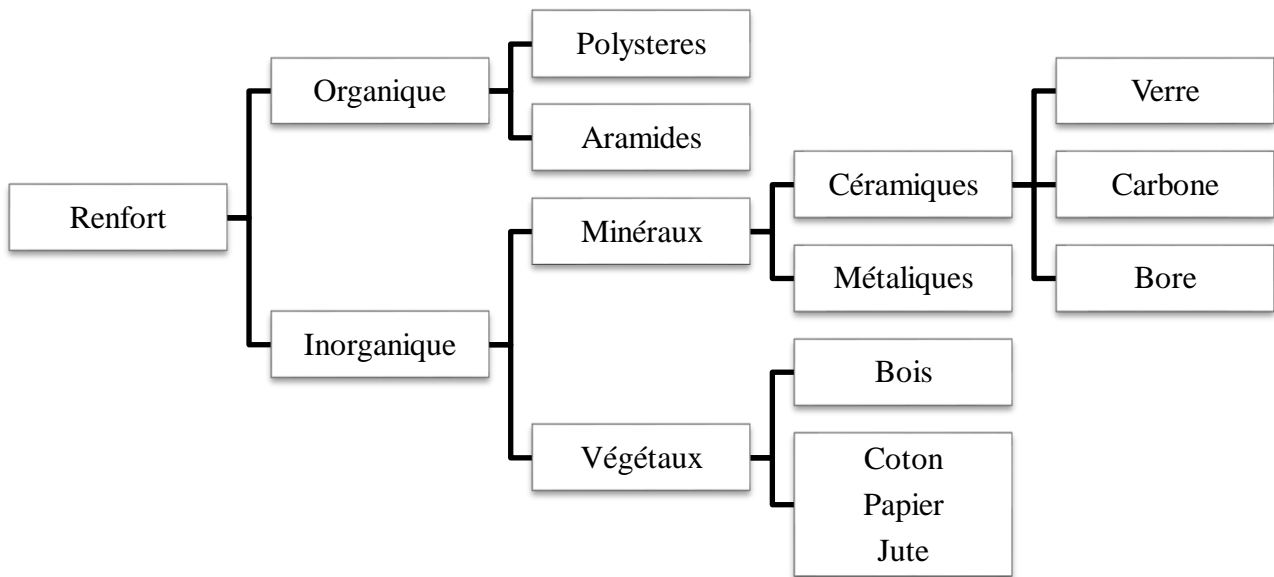


Fig I. 3. Classification des types de renforts

I.3. Matériaux composites dans la construction

Les matériaux composites sont utilisés dans de nombreuses applications et inondent de plus en plus notre quotidien. Outre dans les utilisations aéronautiques et aérospatiales, ils sont également présents dans les secteurs du génie civil, de l'automobile, de la construction navale, de l'éolien, du sport, etc [4].

Les matériaux composites fibres résine en termes de caractéristiques spécifiques en font des matériaux attrayants pour l'utilisation dans les structures. En outre, l'intérêt de ces matériaux réside dans leur anisotropie aisément contrôlable par le concepteur qui peut ainsi ajuster la rigidité et la résistance en fonction des sollicitations extérieures. Ainsi l'immense avantage des matériaux composites est de pouvoir être optimisé pour chaque application : on peut placer le renfort exactement où il est nécessaire. Cette optimisation résulte en une grande performance de ces matériaux, qui sont souvent de loin les plus légers pour une résistance mécanique spécifiée [1].

Ils forment ensuite des matériaux composites de pointe pour des domaines aussi variés que [4] :

- Les structures portantes en aéronautique
- Les renforcements de béton structurel
- L'isolation des câbleries en compartiment moteur
- Les structures portantes des constructions en milieux salins
- Le blindage
- Le vêtement anti-feu
- L'armement balistique
- Les écrans ignifuges dans les transports
- Les réservoirs à carburants
- Les oléoducs et conduites en températures extrêmes
- Les filtres chimiques à hautes températures
- Les textiles médicaux
- Le renforcement structurel des pneus et des convoyeurs

I.4.Exemples d'applications

I.4.1. Aéronautique

Dans le domaine de l'aéronautique, l'utilisation des matériaux composites devient de plus en plus importante. En effet, cette matière possède de très bonnes caractéristiques mécaniques qui sont recherchées dans ce domaine. Par exemple, un matériau composite à base de fibre de carbone est aussi rigide que l'acier, mais cinq fois plus léger que ce dernier. En aéronautique, le poids est un facteur déterminant dans la conception d'un aéronef. Plus un avion est lourd, plus il consommera de carburant et conséquemment, plus il coutera chère à l'exploitant de l'appareil (**Fig I. 4**). C'est principalement pour diminuer la masse d'un aéronef que les matériaux composites sont utilisés dans l'aviation civile. Caractéristiques des matériaux composites [4].

Les matériaux composites utilisés doivent donc avoir une flexibilité importante afin de résister aux forces subies.

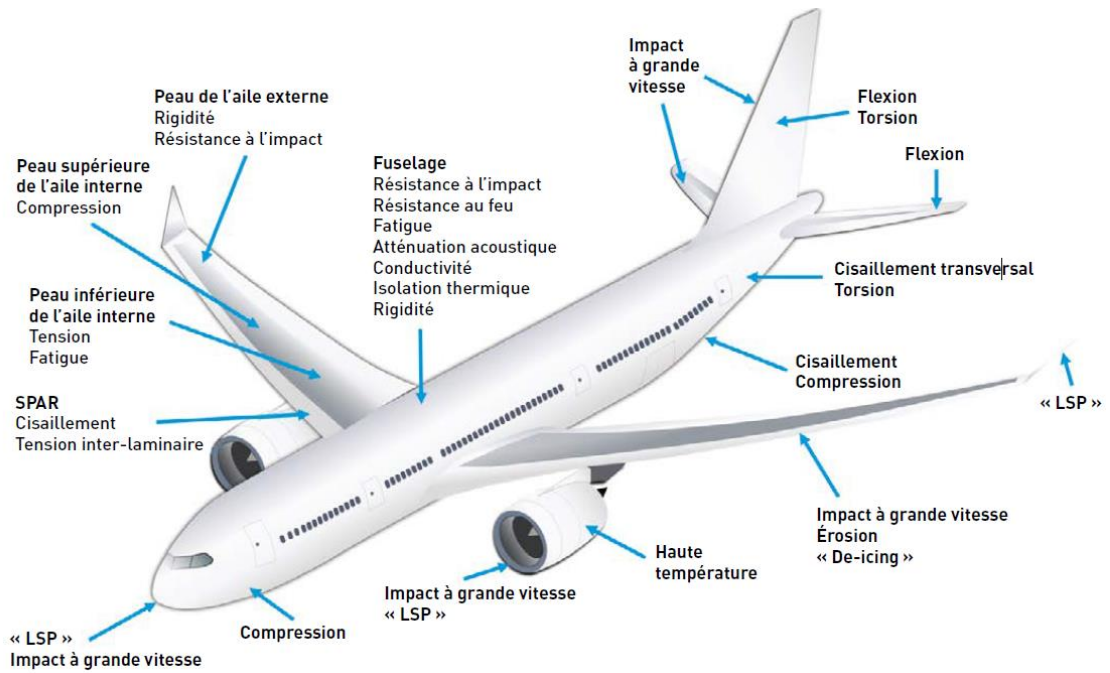


Fig I. 4. Les différentes parties d'un avion subissent des contraintes diverses.

I.4.2. Automobile

L'utilisation des composites fibres longues concerne trois grands domaines du véhicule : l'espace sous-capot, la carrosserie et le soubassement. L'habitacle est le domaine privilégié des matières plastiques mais principalement à l'état non renforcé (Fig I. 5). L'utilisation est donc limitée à des applications spécifiques. (garnitures de pavillons avec des concepts polyuréthannes/fibres de verre) ou ponctuelles (structures de sièges en TRE ou SMC) [4].

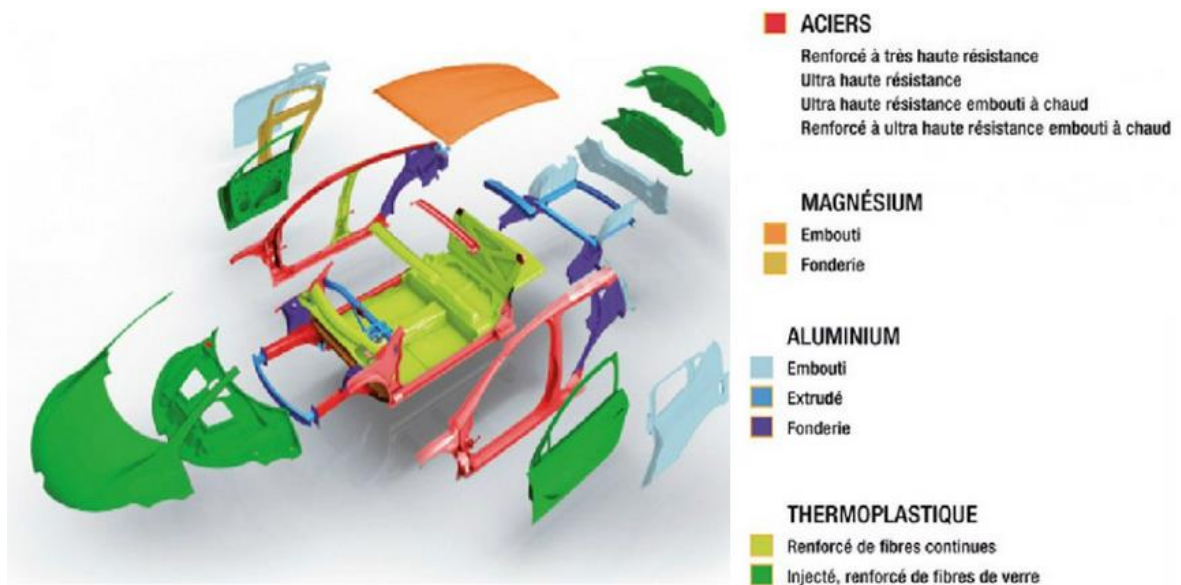


Fig I. 5. Les matériaux composites dans automobile

I.4.3. Sports & loisirs

Les composites se sont imposés dans les sports et les loisirs en se substituant principalement au bois (en particulier dans le nautisme et la glisse) et quelquefois aux métaux (notamment dans le cyclisme) (**Fig I. 6**). Plusieurs critères ont favorisé cette utilisation [4] :

- leur légèreté (portage et manipulations aisés) ;
- leur stabilité dimensionnelle (ni gonflage, ni voilage parasite) ;
- leur bon comportement à l'humidité et à la corrosion (produits pouvant rester dehors, voire dans l'eau ou sous la neige) ;
- leur bonne tenue à la fatigue répétée ;
- leur grande rigidité (ou flexibilité, modulable en fonction du type de renforcement) d'où une amélioration des performances par rapport aux plastiques ;
- leur souplesse de mise en œuvre (une dizaine de procédés de fabrication utilisables en fonction du cahier des charges et des séries à produire) ;
- une grande liberté de formes réalisables.

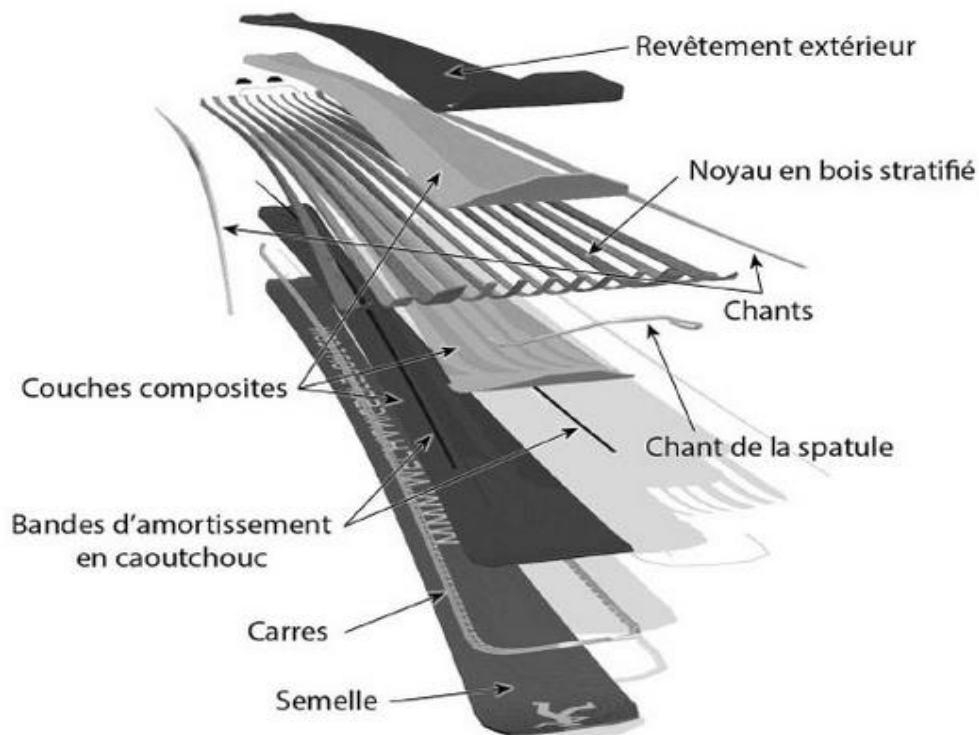


Fig I. 6. Les composants du panneau de ski.

I.4.4. Construction

Les matériaux composites sont couramment employés pour la réparation, et donc la mise en sécurité, d'ouvrages d'art (ponts, tunnels, etc.) (Fig I.7). Ils peuvent également être utilisés dès lors qu'il s'agit d'adapter les structures existantes à l'évolution des besoins d'utilisation de leurs gestionnaires ou à de nouvelles réglementations. « Initialement, leur emploi était réservé à pallier un éventuel déficit de ferrailage dans les structures en béton armé. Ils sont désormais souvent utilisés pour augmenter la quantité d'armatures passives de structures en béton précontraint » [5].

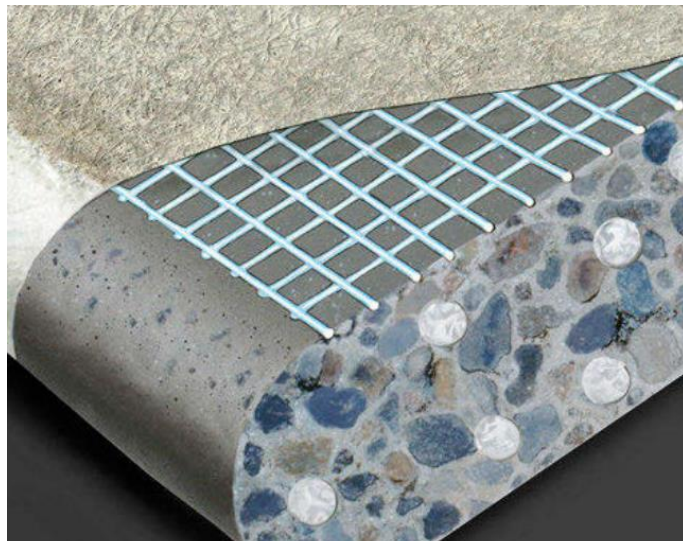


Fig I. 7. Mur-rideau en panneaux en béton composite [6]

Chapitre II

Fibres végétales

II.1. Introduction

Les fibres naturelles sont de plus en plus employées pour le renforcement mécanique de matériaux polymères. Même si ces fibres possèdent généralement des propriétés mécaniques inférieures aux fibres inorganiques classiques, telles que les fibres de verre ou les fibres de carbone, elles possèdent en revanche plusieurs avantages dont un coût de revient beaucoup plus faible. Cependant, ces fibres étant d'origine naturelle, il existe une grande variabilité de propriétés pour une même espèce.

II.2. Différents type de fibres végétales

II.2.1. Alfa

L'Alfa, est une espèce de plantes monocotylédones de la famille des Poaceae, originaire de l'ouest du bassin méditerranéen (**Fig II.1**). C'est une plante herbacée vivace qui pousse dans des régions arides et qui sert notamment à fabriquer des papiers d'impression de qualité [7]. Elle pousse en touffes d'environ 1m à 1m20 de haut formant ainsi de vastes nappes. Elle pousse spontanément notamment dans les milieux arides et semi arides [1].



Fig II. 1. Les fibres d'Alfa

II.2.2. Jute

La fibre de jute, aussi appelé le jute, est obtenue de l'écorce du jute et est principalement produite en Inde et au Bangladesh. Elle est longue, douce et brillante et est entre autres utilisée pour faire des sacs en toile de jute ou encore comme géotextile (**Fig II.2**) [8]. Les fibres utilisées en papeterie sont les déchets de culture et de filature. La tige atteint une hauteur de 4 à 6 m avec un diamètre d'environ 3 cm. Les caractéristiques de ces fibres sont généralement assimilées à celles du kenaf [1].



Fig II. 2. La plante de Jute avec ses fibres

II.2.3.Kenaf

kenaf est apparenté au jute. Ces tiges épineuses d'1 à 2 cm de diamètre sont souvent, mais pas toujours ramifiées. Les feuilles de 10 à 15 cm de longueur sont de forme variable (**Fig II.3**), celles de la base sont lobées et celles du sommet lancéolées. Les fleurs de 8 à 15 cm de diamètre sont blanches, jaunes ou pourpres. Le fruit est une capsule contenant plusieurs graines [9].



Fig II. 3. Les fibres du kenef et sa plante

II.2.4.Lin

Le lin cultivé est une espèce de plantes dicotylédones de la famille des Linaceae, originaire d'Eurasie (**Fig II.4**). C'est une plante herbacée annuelle, largement cultivée pour ses fibres textiles et ses graines oléagineuses [10]. Le lin a commencé à être cultivé dans le Croissant fertile. La fibre de lin vient des tiges de la plante mais aussi de l'huile extraite des graines. L'avantage de cette fibre est sa longueur élevée, en moyenne 25 mm et sa bonne résistance [1]. Le lin peut être utilisé comme substitut au coton.



Fig II. 4. La plante et les fibres de lin

II.2.5.Chanvre

Le chanvre, chanvre textile, chanvre industriel ou chanvre agricole est une variété de plante cultivée de la famille des Cannabaceae. C'est une plante annuelle (**Fig II.5**), sélectionnée pour la taille de sa tige et sa faible teneur en THC ou autres cannabinoïdes à partir de l'espèce que les botanistes nomment le Chanvre cultivé [11]. Le chanvre est une fibre libérienne, tout comme le lin, le kenaf, le jute et la ramie. Les plantes de cette famille présentent toutes des fibres externes longues et étroites et des fibres internes ligneuses [12].



Fig II. 5. La plante et les fibres de chanvre

II.2.6. Sisal

Sisal est également le nom de la fibre extraite des feuilles de cette plante [13]. Très résistante, cette fibre sert à la fabrication de cordage, de tissus grossiers et de tapis. Il constituée par une rosette de grandes feuilles à section triangulaire allant jusqu'à 2 m de long [1] (**Fig II.6**).



Fig II. 6. Les fibres de sisal avec sa plante

II.2.7. Palmier dattier

Le dattier ou palmier-dattier est une plante monocotylédone de la famille des Arécacées et de la sous-famille des Coryphoideae [14], qui atteint jusqu'à 20 mètres de hauteur et 60 cm de diamètre à l'âge adulte. Leur couronne se compose de plus d'une centaine de feuilles pennées qui mesurent plus de 5 mètres de longueur (**Fig II.7**) [1].



Fig II. 7. Les fibres et la plante de palmier

II.3. Extraction des fibres végétales

L'extraction des fibres végétales consiste à extraire des faisceaux de fibres de la tige récoltée. Autrement dit, elle consiste à détruire la fibre de faisceau à structure polygonale à identifier. Selon la littérature, l'extraction des fibres végétales peut être effectuée par un procédé mécanique, chimique, biologique ou par combinaison entre les trois méthodes [15] :

II.3.1.Extraction mécanique

La séparation mécanique quant à elle utilise des machines à décortiquer : le vapocraquage, l'ammoniaque et le procès Tilby. Cette dernière se révèle efficace notamment dans l'extraction des fibres de canne à sucre (**Fig II.8**), de maïs et d'autres plantes cellulosiques. L'avantage de ce procès est de réaliser une extraction sans désintégration des constituants [16].

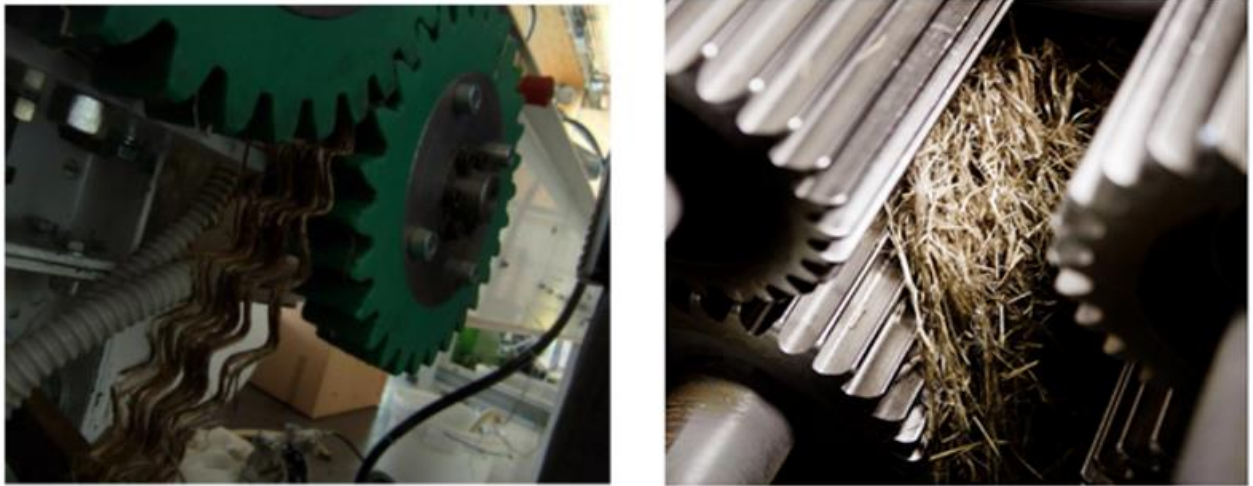


Fig II. 8. L'extraction mécanique

II.3.2.Extraction chimique

Des solutions alcalines ou acides doux sont souvent utilisées pour le rouissage. L'introduction des enzymes accélère le processus de libération de la fibre. L'alcali le plus utilisé est la soude caustique. Les acides doux comme l'acide sulfurique et l'acide oxalique en combinaison avec un détergent sont aussi utilisés pour l'extraction des fibres. On note que la proportion des constituants de la solution de traitement détermine la qualité des fibres extraites.

A titre d'exemple, le procédé Kraft (angl. Kraft pulping ou sulfate process) est utilisé pour délignifier de la matière cellulosique comme le bois. C'est une cuisson chimique de 2 heures dans une solution aqueuse (NaOH) et de sulfure de sodium (Na₂S) à la température de 170°C à 175°C. Les anions d'hydroxyde (OH⁻) et sulfuryl (SH⁻) dégradent la lignine, l'hémicellulose et les pectines par dissolution [16].

II.3.3.Extraction biologique

C'est une méthode d'extraction traditionnelle. Le principe repose sur l'utilisation des bactéries de l'environnement pour dissoudre les extractibles. Certaines bactéries, telles que Bacillus et Clostridium, utilisées lors du rouissage à l'eau (**Fig II.9**) et certains champignons comme Pusillus et Fusariuslaterium, sont utilisées lors du rouissage à la rosée. Ces derniers se sont révélés très

efficaces pour l'élimination des substances non cellulosiques des plantes et libérer la fibre. Malgré le temps d'extraction relativement long, le rouissage atmosphérique fournit des fibres de qualité. On note que le contrôle de la qualité de la fibre n'est pas aisé [16].



Fig II. 9. Rouissage du chanvre a l'eau

II.3.4.Extraction combinée

Ce procédé d'extraction consiste à la combinaison de plusieurs procédés d'extraction des procédés cités auparavant, pour avoir des fibres de meilleures qualités. Les types d'extractions choisis dépendent de plusieurs facteurs (**Fig II.10**), entre autre le type de plante et les qualités voulues [16].

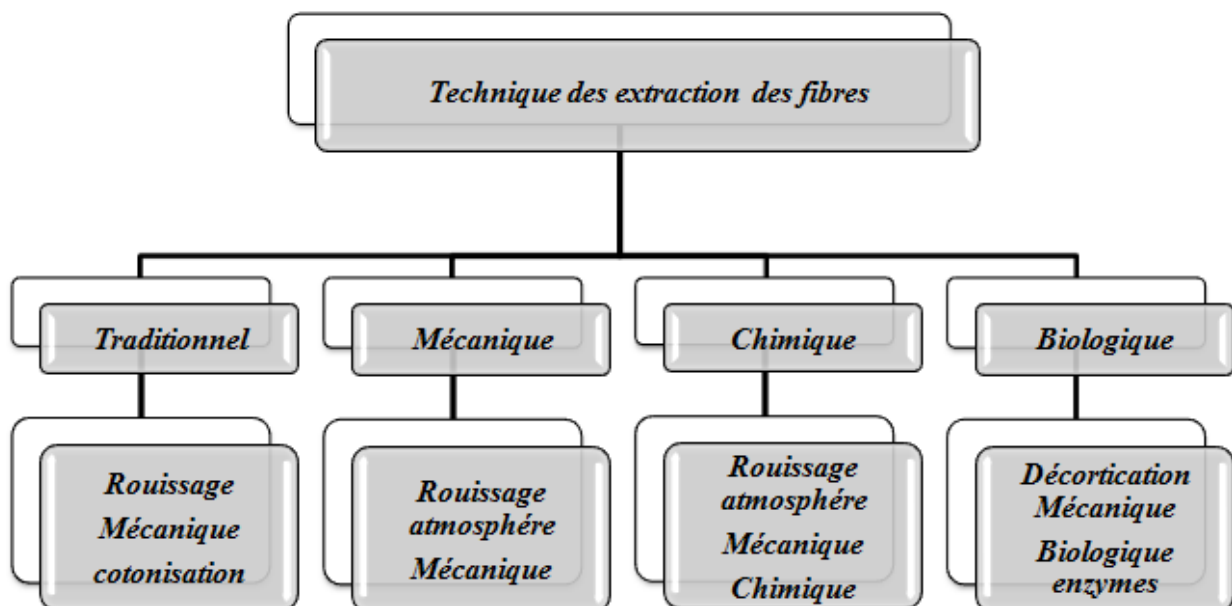


Fig II. 10. Diagramme des techniques d'extraction des fibres végétales

II.4. Caractéristiques des fibres végétales

Les fibres végétales sont caractérisées par sa finesse et sa forme allongée par rapport à son diamètre. La plupart des fibres végétales mesures entre 10 et 150 mm de long pour un diamètre de 10 à 50 micromètres, soit un rapport longueur sur diamètre compris entre 10 et 100 [15].

II.4.1. Caractéristiques chimique

La composition chimique varie d'une plante à une autre et dépend de l'espèce, de l'âge de la plante, des conditions climatiques, de la composition du sol et de la méthode d'extraction utilisée. Les différents constituants des fibres végétales sont : La Cellulose, Hémicellulose, Lignine, pectines, Extractibles (Tab II.1) [1, 15].

Fibre végétales	Cellulose %	Hémicellulose %	Lignine %	Pectine %	Graisses %	Eau %
Chanvre	70-74	17,9-22,4	3,7- 5,7	0,9	0,8	6,2-12
Lin	71	18,6-20,6	2,2	2,3	1,7	8-12
Jute	61-71,5	13,6-20,4	12- 13	0,2	0,5	12,5-13,7
Palmier dattier	63	-	-	-	-	6,4
Alfa	45	24	24	5	-	-
Sisal	66-78	10-14	10- 14	10	2	10-22
Kenaf	45-57	21,5	8-13	3-5	-	-

Tab II. 1. Composition chimique de quelques fibres végétales

II.4.2. Caractéristiques mécaniques

Les fibres végétales sont caractérisées mécaniquement par leur résistance à la traction, leur élongation à la rupture ainsi leur module d'élasticité. Le tableau présente les propriétés usuelles des fibres végétales (Tab II.2). On remarque que la plupart des fibres présentent des propriétés proches de celles des fibres synthétiques (verre, aramide, carbone...). La production de ces fibres est relativement importante [1].

Propriétés	Type de fibres						
	Lin	chanvre	jute	Alfa	sisal	abaca	palmier
Densité (g/mm³)	1,4	1,48	1,46	1,51	1,33	1,5	-
Résistance à la traction (MPa)	800-1500	550-900	400-800	75-154	600-700	980	58-203
Module d'élasticité (GPa)	60-80	70	10-30	12,7	38	-	2-7,5
Allongement a la rupture (%)	1,2-1,6	1,6	1,8	1,6	2-3	-	-

Tab II. 2. Les propriétés mécaniques des fibres végétales

II.4.2. Caractéristiques physiques

Généralement une fibre végétale est caractérisée par son diamètre, sa densité, sa teneur en eau et son pourcentage d'absorption d'eau (Tab II.3) [1, 15].

Type de fibres	Angle Micro-fibrillaire (°)	Diamètre (µm)	Longueur (mm)	Rapport L / d
Coton	33	19	35	1842
Lin	10	5 - 76	4 - 77	1687
Chanvre	6,2	10 - 51	5 - 55	960
Jute	8,0	25 - 200	9 - 70	110
Ramie	7,5	16 - 126	40 - 250	3500
Sisal	20	7 - 47	0,8 - 8	100
Coco	45	12 - 24	0,3 - 1	35
Alfa	-	5 - 95	5 - 50	1964

Tab II. 3. Propriétés physiques de différentes fibres végétales

II.5. Exemples d'applications

L'utilisation des fibres végétales est croissante de les secteurs du bâtiment, des transports et des loisirs. Elles peuvent être utilisées seules comme la ouate de cellulose ou la laine de chanvre qui servent d'isolants dans le bâtiment. Ou alors, elles peuvent être utilisées en association avec un matériau polymère formant ainsi un matériau composite à base de fibres végétales. Dans ce cas, le but premier recherché n'est plus le caractère isolant de la fibre mais les propriétés mécaniques spécifiques liées au renfort (les fibres). Ce type d'utilisation se généralise dans les transports. La consommation d'un véhicule étant directement liée à sa masse, il est particulièrement intéressant de réduire la masse d'un véhicule afin de réduire les dégagements de polluants dans l'environnement et de diminuer le coût pour le consommateur. Pour ce type particulier d'application, lorsque les fibres (matériaux hydrophiles) sont associées à un matériau polymère (souvent hydrophobes), elles subissent généralement un traitement en vue d'améliorer la compatibilité entre les deux. Ceci explique la nature des paramètres que nous avons choisi d'étudier dans cette recherche : variété des fibres, zone de prélèvement, traitement des fibres, procédé de mis en œuvre, fraction volumique de fibres, porosité. Dans un premier temps, nous étudierons les propriétés thermo-physiques de composites constitués de polymères renforcés par des fibres exotiques. Dans une deuxième partie nous étudierons les propriétés thermo-physiques de fibres seules et enfin, dans un troisième temps, nous étudierons la porosité par une approche thermique de polymères renforcés par des fibres de lin [17].

II.6.Fibres végétales de Boussaâda

II.6.1. Fibre Alfa

L'Alfa est une herbe vivace typiquement méditerranéenne, elle pousse en touffes d'environ 1m à 1m20 de haut formant ainsi de vastes nappes (**Fig II.11**). Elle pousse spontanément notamment dans les milieux arides et semi arides, elle délimite le désert, là où l'Alfa s'arrête, le désert commence. Cette plante appartient à la famille des Graminées, tribu des Stipées, genre Stipa. Ce genre comprend, outre l'Alfa (*Stipa tenacissima* L., seule espèce exploitée), environ 250 espèces dont 7 seraient rencontrées en Algérie [1, 7].



Fig II. 11. Plante d'alfa

II.6.2. Fibre Diss

La fibre Diss (*Ampelodesmos mauritanicus*), est une herbe vivace. Il existe en abondance à l'état sauvage sur le pourtour du bassin méditerranéen et l'Asie occidentale et au sud-ouest de l'Amérique du Nord. Il est utilisé auparavant dans la réalisation des habitations anciennes en raison de ses qualités mécaniques et hydriques et en tant que fibre pour la fabrication de tapis (**Fig II.12**). Cette herbe pousse mieux dans des sols sableux, caillouteux ou argileux qui sont modérément humides. Sa hauteur peut atteindre 3 mètres environ. L'utilisation de cette herbe dans les composites permet de préserver les ressources non renouvelables et d'ouvrir de nouveaux marchés [16].



Fig II. 12. La plante de Diss

II.6.3. Fibre *Lygeum spartum*

Lygeum spartum est une espèce de plantes monocotylédones de la famille des Poaceae, sous-famille des Pooideae, endémique du sud du bassin méditerranéen. C'est l'unique espèce du genre *Lygeum*, lui-même unique genre de la tribu des Lygeae (Fig II.13) [18].



Fig II. 13. La plante de *Lygeum spartum*

II.6.4. Palmier

Le palmier dattier il a un stipe solitaire de couleur marron ou gris qui atteint jusqu'à 20 mètres de hauteur et 60 cm de diamètre à l'âge adulte. Leur couronne se compose de plus d'une centaine de feuilles pennées qui mesurent plus de 5 mètres de longueur. Les folioles sont de couleur verte. Elles sont étroites, rigides et disposées de manière irrégulière sur le rachis (Fig II.14) [1].



Fig II. 14. La plante de palmier et ses fibres

II.6.5. Agave Americana

Agave d'Amérique ou Gilbert, est une espèce d'agaves de la famille des Agavacées. Elle est également appelée choka bleu à La Réunion. Il s'agit d'une espèce originaire d'Amérique du Nord. Très utilisée en horticulture, elle est maintenant naturalisée sur tous les continents. Il en existe une multitude de cultivars (Fig II.15) [19].



Fig II. 15. La plante et les fibres d'agave americana

Chapitre III

Brique de terre

III.1. Introduction

Les argiles sont des matières premières naturelles utilisées depuis l'antiquité dans de nombreux domaines. Ces matériaux argileux constituent souvent des mélanges naturels complexes de minéraux dont la granulométrie et les propriétés physico-chimiques sont très variables. Chaque minéral argileux a été formé dans un environnement chimique et climatique précis, avec lequel il se trouve en équilibre. Ainsi s'explique la variété des minéraux argileux [20].

III.2. Brique de terre dans la construction

Dans la construction, les argiles sont un constituant essentiel pour la production de briques et tuiles. Les argiles et sédiments argileux utilisables pour les manufactures de briques sont dispersés dans le monde entier. Ils contiennent des argiles comme constituants essentiels et des fragments de roche. Le comportement de la brique dépend des réactions qui se produisent quand la matière argileuse hétérogène est chauffée. La décomposition thermique des argiles est critique lors du chauffage et les minéraux se comportent individuellement. La composition en éléments majeurs d'argiles de construction est globalement silicium (Si) et aluminium (Al) qui dominent avec un pourcentage variable de fer (Fe), magnésium (Mg), sodium (Na), calcium (Ca) et potassium (K). L'abondance de certains composés peut altérer la qualité du produit fini. Par exemple, la calcite altère la couleur de la brique, des oxydes de calcium (Ca) peuvent s'hydrater lors du refroidissement, le gypse peut se déshydrater puis s'hydrater à nouveau en créant une pellicule à la surface de la brique, la pyrite peut s'oxyder en sulfates ou dioxydes de S qui peuvent émettre des gaz [20].

III.3. Différents type de brique

III.3.1. Classification selon la structure chimique

La classification des argiles fut réalisée par Millot. Les argiles font parties des silicates hydratés. Ceux-ci sont soit amorphes, soit cristallisés (cas des argiles). Les cristaux sont regroupés en deux classes : phylliteux (roche métamorphique foliée) et semi-phylliteux. Les chlorites sont les seules représentantes des semi-phylliteux. Les phylliteux, quant à eux, sont séparés selon que leurs feuillets soient continus ou discontinus. L'attapulgite ainsi que la sépiolite présentent des feuillets discontinus. Les feuillets continus ont une structure simple ou complexe. La structure dite complexe voit ses feuillets se superposer selon 2 ou plusieurs équidistances apparentes ou réelles. Aucune argile n'est recensée dans cette classe. Les feuillets ayant un seul type d'équidistance apparente sont séparés en fonction de la constitution des feuillets. Trois types de constitutions sont évoquées : T/O (ou 1/1) c'est-à-dire tétraédrique et octaédrique en référence à la maille élémentaire ; T/O/T (ou 2/1) ; T/O/T/O (ou 2/1/1) dont le talc [21].

III.3.1.1. Kaolin

Cette roche argileuse tire son nom du site chinois kao-Ling, où elle fut découverte. Son nom est dérivé du terme chinois "gaoling" traduit par "hautes collines". On appelle la roche kaolin et le minéral argileux kaolinite. Cette argile blanche, douce, friable, réfractaire, contient autant d'aluminium que de silice. Riche en silice et peu concentrée en sels minéraux, elle est utilisée pour la fabrication de porcelaine et de céramique. C'est une des rares argiles inerte chimiquement. Cette caractéristique en fait un composant idéal pour le papier, en tant que liant dans les peintures, dans les plastiques, ainsi que dans les médicaments [21].

III.3.1.2. Smectites

Cette famille d'argile regroupe les montmorillonites, les bentonites, les saponites, les nontronites, les beidelites. Ces différentes argiles sont connues pour leur capacité à piéger les molécules d'eau. Elles sont appelées argiles gonflantes [21].

III.3.1.2.1. Montmorillonite

Argile la plus communément récoltée, elle est généralement vendue verte mais peut-être trouvée sous d'autres coloris : gris, blanc, bleuté. Son nom provient de sa ville d'origine, Montmorillon située dans la Vienne. Elle détient une forte concentration en silice, en minéraux, dont de la potasse, des oxydes de magnésium, de fer, de manganèse, d'aluminium (**Fig III.1**) [21].

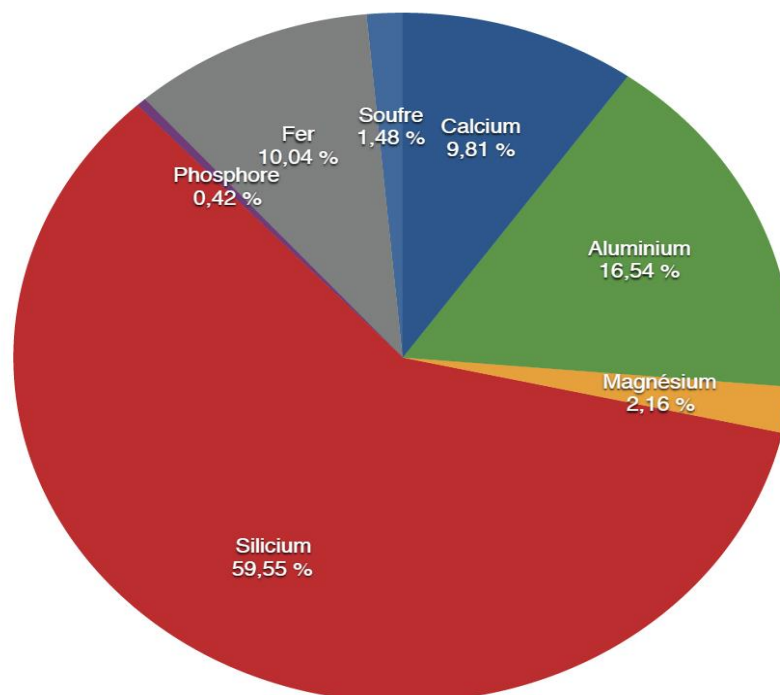


Fig III. 1. Analyse chimique d'argile verte type Montmorillonite

III.3.1.2.2. Attapulgite ou Bentonite

L'origine du nom attapulgite provient du site d'Attapulcus, en Géorgie aux États-Unis, bien qu'également découverte à Mormoiron dans le Vaucluse (**Fig III.2**) en France et en Floride. Sa forme commerciale est appelée palygorskite. Argiles attapulgite ou bentonite, dont le nom vient de Fort Benton, aux États-Unis, ont un fort pouvoir absorbant. Retrouvées dans la composition de pansements gastriques, dans le traitement d'ulcère de l'estomac, constipation, diarrhée, reflux gastrique... Elles sont aussi utilisées dans les litières pour chat.

La terre de Sommières et la terre de Carpentras, qui sont des bentonites, se voient dotées d'un fort pouvoir absorbant, jusqu'à 80 fois leur poids en eau, leur permettant de détacher à sec et sans laisser d'auroles, des taches grasses, sur les surfaces fragiles telles que textiles, ameublements, tapis, cuirs, marbres,... Elles peuvent aussi être utilisées pour absorber, neutraliser les taches d'urine [21].

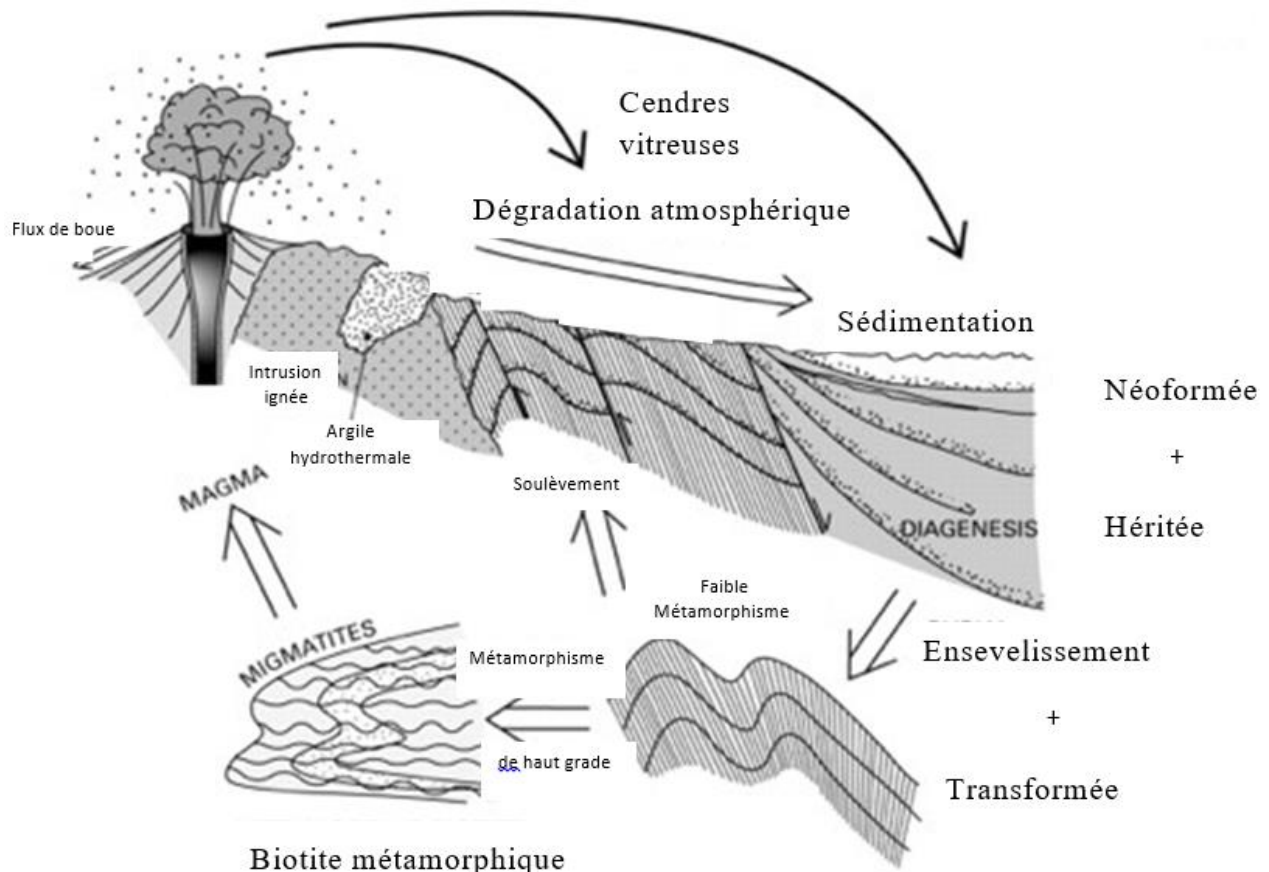


Fig III. 2. Processus de formation de l'argile

III.3.1.3. Illites

Son nom fait référence à l'Illinois, aux États-Unis où elle a été étudiée. Sa composition est riche en calcium (14%), en fer (9%) et pauvre en magnésium (Tab III.1). Elle présente un bon pouvoir d'absorption environ 25 % de son poids et un faible pouvoir d'adsorption Cette argile est retrouvée dans le nord de la France où elle est connue [21].

III.3.1.4. Vermiculites

Les vermiculites sont des argiles ayant une origine volcanique, riches en magnésium. Elles sont formées par hydratation de minéraux basaltiques. Lorsqu'elle est chauffée, elle éprouve un phénomène de dilatation, la rendant particulièrement utile comme isolant thermique pour les constructions (Tab III.1) [21].

III.3.1.5. Chlorites

Ce nom leur a été attribué pour leur couleur verdâtre, du grec « chloros » signifiant vert. Des chlorites de couleur jaune, rouge ou blanche sont également retrouvées (Tab III.1). De structure similaire aux illites et smectites [21].

		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O
Kaolin	max	53,72	46,28	0,00	0,00	0,00
	min	53,72	46,28	0,00	0,00	0,00
Montmorillonite	max	61,47	23,00	4,32	4,65	0,84
	min	48,24	16,54	0,30	0,03	0,12
Attapulгите	max	58,10	17,52	4,12	10,35	0,39
	min	54,64	10,33	3,01	7,28	0,00
Illites	max	54,09	38,84	8,16	5,90	7,98
	min	43,95	21,12	0,72	3,60	5,48
Vermiculites	max	54,09	38,84	8,16	5,90	4,97
	min	43,95	21,12	0,72	1,84	0,00
Chlorites	max	39,01	52,00	5,01	10,14	1,52
	min	29,50	32,15	0,00	0,00	0,00

Tab III. 1. Tableau récapitulatif des différentes argiles selon leur composition chimique (en pourcentage)

III.3.2. Classification selon la couleur

a) Argile rouge

Généralement des illites, ces argiles sont riches en oxyde de fer. Très reminéralisantes, elles sont idéales en usage externe pour les peaux irritées (**Fig III.3a**), fatiguées ou ternes qu'elles adoucissent et purifient [21].

b) Argile jaune

Ces illites riches en oxyde de fer et magnésique vont apaiser de nombreuses douleurs (articulaires, musculaires) et tonifier la peau. Appliquées en masques, la peau et les cheveux normaux l'apprécient tout particulièrement (**Fig III.3b**) [21].

c) Argile Vert

Les argiles vertes présentent une faible teneur en fer, ce sont généralement les montmorillonites, les illites et les smectites (**Fig III.3c**) [21].

d) Argile blanche

Ces roches argileuses ne sont pas retrouvées au naturel, telles quelles. Il s'agit d'un mélange d'argile rouge et d'argile blanche (**Fig III.3d**). Ce mélange a pour but d'augmenter la concentration en oligo-éléments de l'argile blanche tout en diminuant la concentration en fer de l'argile rouge.



Fig III. 3. Classification des argiles selon la couleur [21]

III.4. Renforcement de brique de terre

L'idée de l'utilisation des fibres est très ancienne. Les fibres ont été utilisées dans la fabrication des cordes et textiles. Comme élément de renforcement des matériaux de construction traditionnels, la première utilisation des fibres a été observée dans la fabrication des briques argileuses ou dans les mises en œuvre des plâtres, et spécialement par des fibres végétales. La naissance de la fibre industrielle, suite aux développements technologiques, a augmenté les champs d'applications des fibres dans plusieurs domaines. Utilisé dans le domaine des textiles depuis le XIXe siècle sous forme de fibre de coton, et partir de l'année 1935 la fibre de Nylon (plastique), et récemment la fibre de polypropylène prédomine depuis l'année 1950 la production des cordes et câbles utilise les fibres de verre et d'acier [22].

III.5. Exemples d'applications

III.5.1. En construction

A travers le patrimoine mondial des traditions de la construction en terre crue, on dénombre de très nombreuses techniques de construction avec une infinité de variantes adaptées à la qualité de la terre et au degré d'élaboration du savoir-faire, traduisant l'identité des lieux et des cultures. Il existe douze techniques d'utilisation de terre pour la construction présentées sur le diagramme établi par le groupe CRATERRE en 1986, Parmi celle-ci huit sont d'un usage courant et constituent les techniques principales [23].

III.5.1.1. Pisé

Est une technique de construction en terre crue qui consiste à réaliser des murs monolithique porteurs en compactant progressivement dans des branches ou coffrage des couches superposées de terre. Le compactage est réalisé manuellement par le maçon à l'aide d'un pilon appelé dame ou passoir [23].

➤ Il existe deux méthodes des fabrications :

- Méthode artisanale : consistant à compacter manuellement la terre entre deux banches de bois (**Fig III.4a**).
- Mise en œuvre modernisée : utilisant des dames adaptées sur un marteau piqueur et des banches modulables métalliques (**Fig III.4b**).

Le mode de production du pisé est d'un principe assez simple : la terre est déversée dans un coffrage puis compactée. Cette simplicité peut néanmoins être contrariée si l'on ne dispose pas d'une bonne terre à pisé, si l'on compacte à une mauvaise teneur en eau, si les coffrages sont mal conçus ou l'organisation générale de la production inadaptée. La période de production du pisé est étroitement liée aux conditions météorologiques des zones climatiques. En effet, sous climat

tempéré ou continental, on évite de construire en pisé pendant les périodes de gel (hiver) et les périodes de pointe de chaleur estivale. Les rendements de production du pisé varient considérablement selon de multiples paramètres dont les plus agissants sont : l'organisation du chantier et les conditions de travail, le type de coffrage utilisé, le degré de mécanisation [23].

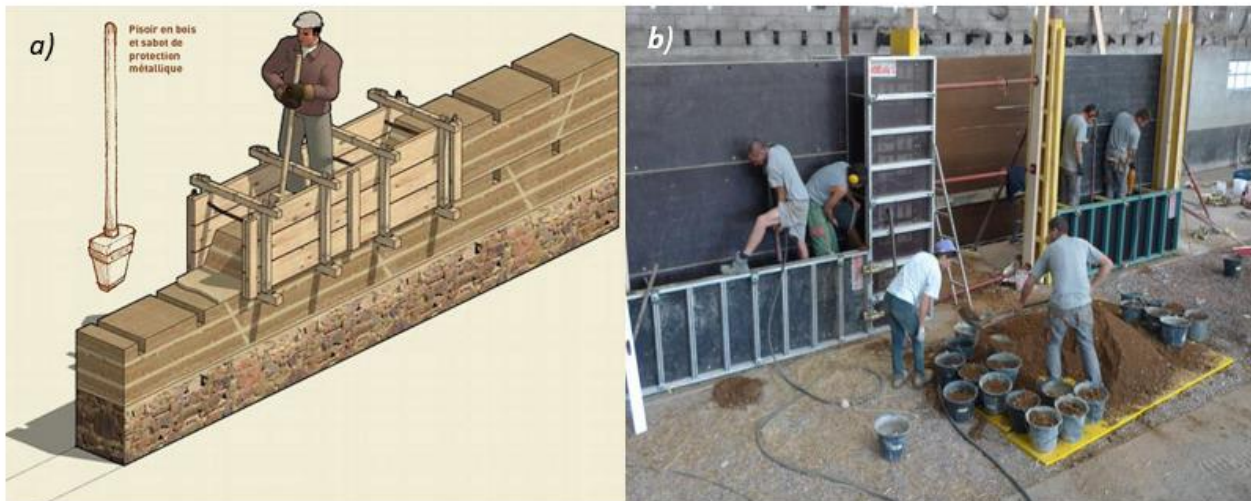


Fig III. 4. Méthodes des fabrications du pisé

III.5.1.2. Adobe

Le brique d'adobe est un mélange d'argile, d'eau et de débris végétaux comme de la paille, des copeaux de bois, de la sciure, du chanvre ou encore des poils d'animaux. Ils sont coulées dans un cadre ouvert, un rectangle dont les dimensions est en général de 10x25x36 cm bien que l'on rencontre d'autres tailles. Le moule est retiré, et la brique est mise à sécher au soleil pendant environ 15 jours, puis elles sont tournées sur leur tranche pour terminer le séchage. Les briques peuvent être placées à l'ombre pour éviter l'apparition de fissures [23].

On distingue deux principaux modes de production des adobes, l'un manuel et l'autre mécanisé traduisant un mode de production traditionnel et un mode de production industrialisé (modernisé).

- Mode artisanal et manuel de fabrication de briques ou de blocs dans des moules de bois ou de métal (**Fig III.5a**).
- industrialisé et fortement mécanisé dans certains états du sud aux U.S.A (**Fig III.5b**).



Fig III. 5. Les deux modes de fabrication d'adobe

III.5.1.3. Torchis

Le torchis est une technique de construction qui consiste à réaliser des murs de remplissage en terre crue sur des ossatures porteuses en bois. Ces murs sont constitués en apposant un mélange de terre argileuse et de fibres sur les deux faces de panneaux ajourés, arrimés à la structure porteuse en bois et constitués d'un treillis de fines branches de bois souple (Fig III.6).

Redécouvrir les gestes et la manière d'un matériau d'exception...Aujourd'hui encore le torchis garnit ou recouvre entièrement de très nombreuses maisons construites selon le principe du colombage. Pour entretenir et restaurer ce matériau fait d'argile et de fibres, écologique s'il en est, il faut renouer avec une connaissance fine des composants naturels, et la Maîtrise de gestes ancestraux. Cette deuxième édition fait le point sur les Solutions prêtes à l'emploi, pour l'intérieur comme pour l'extérieur, plus Simples mais toujours respectueuses de l'environnement [23].

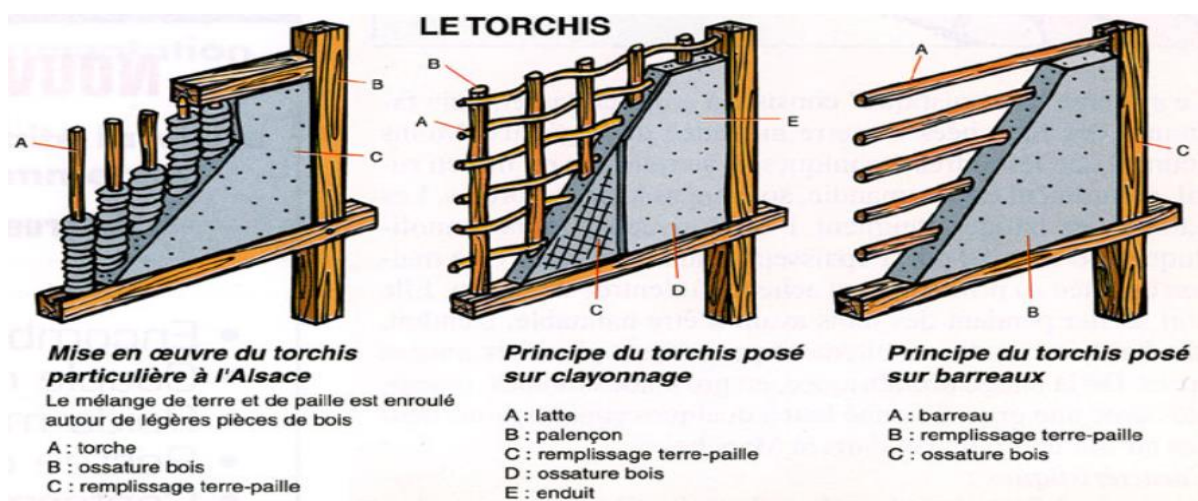


Fig III. 6. Les trois techniques de fabrications du torchis

III.5.1.4. Bauge

Est une technique de construction qui consiste à réaliser des murs monolithiques en Forman puis en empilant des mottes de terre en couche horizontales superposées (**Fig III.7**). Cette technique permet de modeler des murs porteurs sans l'aide de moules ni de coffrage [23].



Fig III. 7. Technique de fabrication du Bauge

III.5.1.5. Blocs de terre comprimée (BTC)

Cette technique est une évolution moderne du bloc de terre moulée, plus communément dénommé bloc d'adobe. Au lieu qu'ils soient moulés à la main dans un cache en bois, les blocs sont obtenus par compression de la terre, légèrement humide dans une presse métallique. Comparé au bloc moulé à la main, le BTC est très régulier en formes et en dimensions, plus dense et présente une meilleure résistance à la compression et à l'eau (**Fig III.8**). (CRA Terre, 1991).

L'idée de compacter la terre pour améliorer la qualité et la résistance des blocs de terre moulée est pourtant ancienne et c'est à l'aide de pilons en bois que l'on réalisait les premiers blocs de terre comprimée. Ce procédé est encore utilisé de par le monde. Les premières machines à comprimer la terre auraient été imaginées au XVIIIe siècle. Mais ce n'est qu'au début du XXe siècle que l'on imagina les premières presses mécaniques qui utilisaient de lourds couvercles rabattus avec force dans le moule, des presses de ce type ont même été motorisées. L'industrie de la brique cuite a ensuite utilisé des presses à compression statique où la terre était comprimée entre deux plateaux. Le développement significatif de l'emploi des presses et de l'utilisation constructive et architecturale du bloc de terre comprimée n'a été finalement engagé qu'à partir de 1952 suite à l'invention de la fameuse petite presse "CINVARAM",

Imaginée par l'ingénieur Raul Ramirez, au centre CINVA de Bogota, en Colombie. Elle fut utilisée dans le monde entier. Les années 70 et 80 ont amené l'apparition d'une nouvelle génération de presses manuelles, mécaniques et motorisées et le développement aujourd'hui considérable d'un véritable marché de la production et de l'utilisation du bloc de terre comprimée.

La production des blocs de terre comprimée peut être assimilée à celle des blocs de terre cuite produits par compactage, exception faite de la phase de cuisson. L'organisation de la production sera différente selon qu'elle est réalisée dans le cadre de petites unités de production artisanales (ou briqueteries) au moyen de presses généralement manuelles ou semi- mécanisées, voire motorisées ou bien dans le cadre d'unités de production semi industrielles et industrielles les principes et modes d'organisation de l'industrie des briques cuites ou des produits silico-calcaires classiques. Les aires de production, de séchage et de stockage varient également selon les modes de production adoptés et les conditions de production issues de l'environnement climatique, technique et économique [23].



Fig III. 8. Les étapes de fabrications du BTC

III.5.1.5.1.Diversités des produits de blocs de terre comprimée

a) Blocs pleins

Ils sont principalement de forme prismatique (parallélépipèdes, cubes, hexagones multiples, etc.). Leur usage est très varié.

b) Blocs creux de terre cuite (Norme NF P 13-301)

On distingue deux types de briques creuses (**Fig III.9**). :

❖ Type C : Briques à faces de pose continues, destinées à être montées a joints de mortiers Horizontaux continus.

❖ Type R.J : Briques dites “ à Rupture de Joint ”, destinées à être montées a joints de Mortiers horizontaux discontinus.

c) Blocs alvéolaires

Ils présentent l'avantage d'être légers mais exigent des moules assez sophistiqués ainsi que des pressions de compression plus forte que la normale [23].

d) Blocs à emboitements

Ils peuvent éventuellement permettre de se passer de mortier mais exigent des moules assez sophistiqués et en général des pressions de compression plus ou moins élevées.

e) Blocs parasismiques

Leur forme améliore leur comportement parasismique ou permet une meilleure intégration de systèmes structuraux parasismiques : chaînage par exemple [23].

f) Blocs spéciaux

Les blocs sont fabriqués exceptionnellement pour une application spécifique (**Fig III.10**).

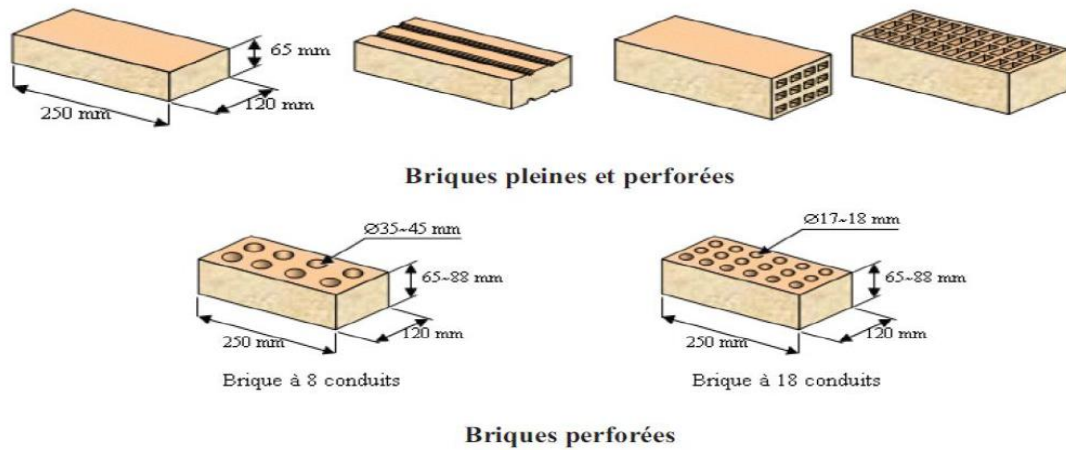


Fig III. 9. Brique pleine et perforée et Brique creuse



Fig III. 10. Différents produits de blocs de terre comprimée

III.5.1.6. Les avantages et les inconvénients d'utilisation des briques en terre

❖ Avantages

➤ Les avantages du point de vue environnement sont :

- La terre absorbe et restitue l'humidité.
- La terre régule la température par inertie thermique.
- La terre est un très bon isolant phonique.

	Avantages	Inconvénients
Pisé	<ul style="list-style-type: none"> • Mur solide et auto-porteur • très bon isolant-phonique 	<ul style="list-style-type: none"> • très sensible à la pluie, à l'humidité et au mécanisme gel-dégel • Formation pratique indispensable pour les autos constructrices • mauvais isolant pour les rebords de fenêtre.
Bauge	<ul style="list-style-type: none"> • qualité plastique du matériau • pas besoin de coffrage (pisé), ni d'armateur (torchis) 	<ul style="list-style-type: none"> • nécessite beaucoup de main d'œuvre • installation des murs très longue
Brique d'adobe	<ul style="list-style-type: none"> • recommandé et plus adapté pour des cloisons, murs intérieure. 	<ul style="list-style-type: none"> • La fabrication exige beaucoup de terre et de main d'œuvre
Torchis	<ul style="list-style-type: none"> • plus solide que la terre crue seule • séchage rapide • financièrement plus économe que les autres types de terre crue 	
Brique de terre comprimée (BTC)	<ul style="list-style-type: none"> • mur facile à mettre en œuvre • qualités d'inertie thermique et d'assainissement 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabrication de la brique longue et fatigante • Fragilité : au moindre choc la brique se brise ou s'effrite • se détériore sous l'effet du gel

Tab III. 2. les avantages et les inconvénients des différents types de brique [23]

➤ Les Avantages écologiques sont :

- La terre utilise peu d'eau en phase de transformation
- La terre est une ressource locale abondante et renouvelable.
- La terre a des vertus thérapeutiques, soigne les affections de la peau, détruit
- Les bactéries et les acariens.

- La construction en terre crue n'utilise que 3% de l'énergie employée dans une construction en béton.

❖ Inconvénients d'utilisation des briques en terre

La main d'œuvre nécessaire à toute construction en terre est souvent importante même une petite structure représente 15 tonnes de terre à travailler. Il faut aussi bien avoir conscience que le financement de ce type de maison n'est pas conventionnel, en effet il vous sera difficile d'obtenir un prêt hypothécaire pour ce genre d'habitation [23].

III.5.2.En traitement d'eau

L'argile est polyvalente et possède un capteur de minéraux qui est une ressource de pollution de l'eau qui absorbe les impuretés, restaure les métaux, régénère et revitalise. Il est extrêmement efficace pour absorber et réguler le sébum [21].

III.5.3.En agroalimentaire

L'argile capte et élimine 81% des microcystine-LR hépatotoxines (pouvant provoquer une nécrose hépatique) présentes dans l'eau à l'état naturel. Elle peut donc être utilisée pour filtrer l'eau dans le but d'un approvisionnement en eau potable. L'alimentation des animaux d'élevage est enrichie d'argile pour absorber les aflatoxines (molécules cancérigènes) synthétisées par une mycobactérie retrouvée dans les arachides. Une étude prouve la non toxicité de la consommation d'argile sur le court terme. Des essais cliniques ont été réalisés pour assurer que l'argile offre une réelle protection chez l'homme contre une exposition aux aflatoxines [21].

III.5.4.En tant qu'anti-poison

La smectite, en tant qu'anti-poison, est particulièrement efficace pour adsorber le paraquat, puissant herbicide. Cette adsorption se réalise dans la lumière intestinale, dans le cas du paraquat qui subit le cycle en téro-hépatique, il peut être adsorbé lors de son retour dans le tube digestif et donc sa réabsorption intestinale sera bloquée. La smectite s'est prouvée efficace pendant dix heures après sa prise sur l'adsorption intestinale du paraquat. L'argile est également efficace contre la strychnine (1g de kaolinite peut adsorber jusqu'à 480mg de ce poison retrouvé dans la mort aux rats") [21].

Chapitre IV

Techniques et méthodes expérimentales

IV.1. Introduction

Nous présentons dans ce chapitre les techniques et méthodes expérimentales des matériaux utilisés pour l'élaboration de brique de terre renforcée par des fibres végétales, ainsi que les essais exécutés. Dans cette étude, nous avons utilisé quatre composants essentiels :

- 4 types d'argile ;
- Fibre d'Alfa (non traité, traité à 5% NaOH et traité à 10% NaOH) ;

IV.2. Matériaux d'étude

Le matériau utilisé dans cette étude : ces 4 types d'argile comme matrice

IV.2.1. Argile

IV.2.1.1. Types d'argile

a) Argile rouge

Ces argiles sont riches en oxyde de fer. Très reminéralisantes, elles sont idéales en usage externe pour les peaux irritées (**FigIV.1a**).

b) Argile jaune

Ces illites riches en oxyde de fer et magnésie (**FigIV.1b**).

c) Argile Vert

Les argiles vertes présentent une faible teneur en fer, ce sont généralement les montmorillonites, les illites et les smectites (**FigIV.1c**).

d) Argile grise

Connue également sous le nom de Rhassoul, rassoul ou ghassoul, à l'apparence d'une motte solide de couleur gris clair ou gris foncé, de poudre (comme du sable) ou de plaquettes. Son association avec de l'eau tiède lui permet de se transformer en une pâte fluide très douce. L'argile grise est reconnue pour ses qualités adoucissantes et nettoyantes (**FigIV.1d**).



Fig IV. 1. Les 4 types d'argile utilisés

IV.2.1.2. Préparation de la poudre d'argile

Les différents argiles sont obtenues de quatre région différentes (**Fig IV.1**). Pour l'obtention de la poudre d'argile, nous avons procédés aux étapes suivantes :

- Broyage de l'argile brute,
- Tamisage de la poudre d'argile.

À cette étape, nous avons broyé l'argile et l'avons tamisée dans un tamis de diamètre 0,5 ''

IV.2.1.3. Echantillonnage

Pour obtenir nos échantillons, nous avons malaxé 125 g d'argile avec 25 ml d'eau durant 10 minutes. Le mélange obtenu est versé dans un moule de dimensions 40x40x40 mm³, puis pressé à 6 bar durant 10 minutes pour obtenir la forme cubique (**Fig IV.2**).

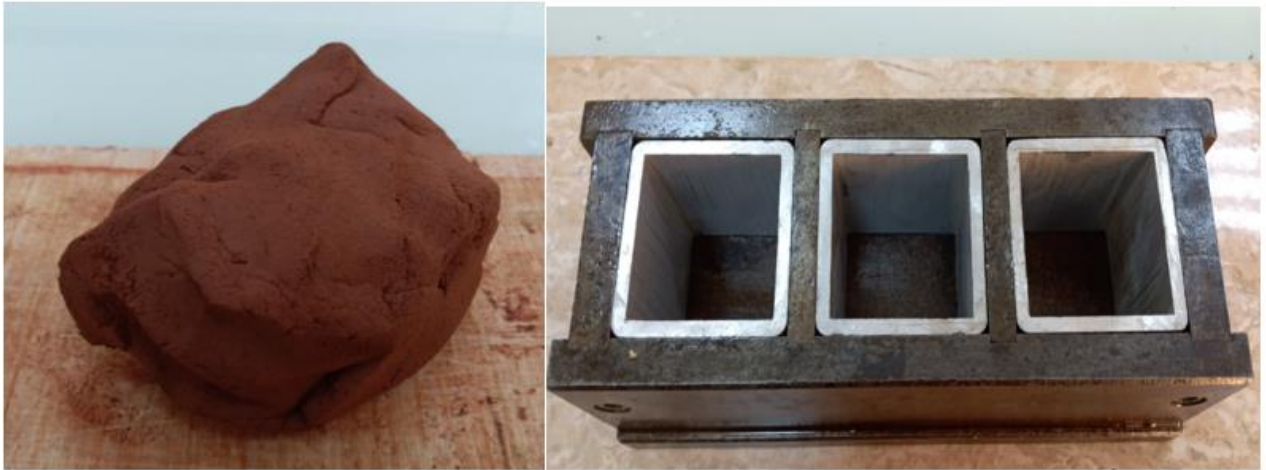


Fig IV. 2. Pâte d'argile et le moule utilisé

La pression des échantillons est réalisée à l'aide d'une presse hydraulique au niveau du laboratoire de moulage au niveau du hall Technologique, faculté de technologie.

Après cette étape nous avons déposé les échantillons dans l'étuve à température 40°C les 3 heures pour assurer le durcissement de l'argile. **La figure IV.3** présente les échantillons finals des 4 types d'argile



Fig IV. 3. Echantillons finals des 4 types d'argile

IV.2.1.4. Désignation des Argiles élaborés

Les argiles élaborées sont ainsi désignés par le **Tableau IV.1** afin de présenter une synthèse comparative entre les quatre types d'argile utilisée dans cette étude.

N°	Type d'argile	Couleur	Désignation
01	Argile rouge	Rouge	Type1
02	Argile jaune	Jaunâtre	Type2
03	Argile Vert	Verte	Type3
04	Argile gris	Grise	Type4

Tab IV. 1 Désignation des quatre types d'argile

IV.2.2. Fibres d'Alfa

L'Alfa est une herbe vivace typiquement méditerranéenne, elle pousse en touffes d'environ 1m à 1m20 de haut formant ainsi de vastes nappes, elle pousse spontanément dans la région du Hodna. Dans ce travail nous avons utilisé la technique de rouissage pour l'extraction de la fibre Alfa (25 jours). Ensuite, l'extraction est réalisée mécaniquement à l'aide d'une brosse métallique puis sécher à l'étuve durant 6h à 70°C.

IV.2.2.1. Etapes d'extraction des fibres d'Alfa

Pour l'extraction de la fibre Alfa, nous avons suivi les étapes suivantes (Fig IV.4) :

- Rouissage à l'eau ;
- Brossage des tiges ;
- Séchage à l'air libre (7h) ;
- Etuvage.



Fig IV. 4. Techniques d'extraction des fibres Alfa

IV.2.2.2. Traitement des fibres d'Alfa

Les fibres obtenues ont subi un traitement alcalin à 5% et à 10% NaOH (Fig IV.5) . Le traitement est réalisé pour voir son effet sur l'adhésion avec la matrice d'argile.



Fig IV. 5. Fibres Alfa Traitées

IV.3. Essai mécanique

IV.3.1 Compression

La mesure des propriétés mécanique à la compression des éprouvettes est effectuée au niveau de laboratoire de développement des géo-matériaux l'université de Mohamed Boudiaf de M'sila à l'aide d'une machine de compression mortier de marque PILOT 4F (Fig.IV.5).

On met la presse en marche à la vitesse de 1,8Km/s jusqu'à la rupture, on décharge puis, on note la charge de rupture **F**. La résistance à la compression, dans tous les cas est déterminée par la relation :

$$R_c = F/S \quad (2)$$

F : charge de rupture(KN).

S : section de l'éprouvette (cm^2).

R_c : Résistance à la compression (MPa).



Fig IV. 6. La machine de compression

Chapitre V
Analyse des travaux
réalisés dans le
domaine de briques en
argiles

V.1. Introduction

Dans ce chapitre, une analyse des travaux déjà réalisés dans le domaine de briques en argile renforcé et non renforcé est présentée. De plus, une partie de notre travail, réalisée avant la pandémie COVID-19 est aussi insérée comme comparaison. Étant donné que les travaux dans le domaine d'argile renforcé et non renforcé sont assez importants, dans ce qui suit, l'analyse du comportement mécanique est basée principalement sur le regroupement en raison de comparaison des travaux ayant en point commun une approche expérimentale similaire à notre travail.

V.2. Analyse des travaux déjà réalisés dans le domaine de briques en argile

V.2.1. Comportement de brique d'argile non renforcé

Dans le cadre du développement de matériaux locaux, telle que la fibre végétale (fibre de palmier) et l'argile rouge du sud Algérien, largement utilisées dans la préparation des briques, comme matériaux de construction rurale, Koadri et al.[23] ont caractérisé l'argile rouge utilisée prélevée au niveau de la région de M'sila (sud de l'Algérie). Dans cette étude, Koadri et al.[23] ont caractérisé au premier lieu l'argile rouge utilisé. La Figure V.1 représente l'analyse granulométrique de l'argile rouge. Les résultats obtenus montrent que notre argile est constitué d'environ 4 % de limon et 76 % de sable (Fig. V.1), ce qui nous autorise à dire que notre argile est sablo-limoneux.

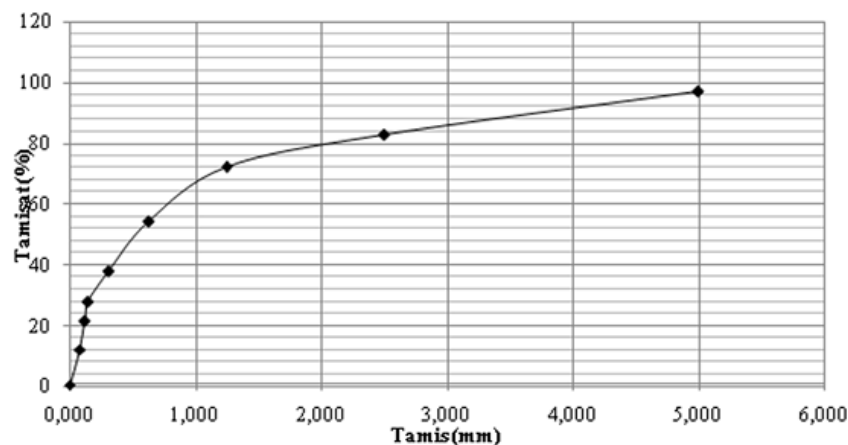


Fig V. 1. Analyse granulométrique de l'argile rouge [23]

De plus, le Tableau V.1 représente la composition chimique élémentaire de l'échantillon d'argile rouge. De l'analyse chimique élémentaire de l'argile rouge de ces données, il ressort que la silice et l'alumine sont les oxydes majeurs dans notre échantillon, ils ont respectivement égal à 45,28%, 10,53 %, traduisant qu'il est un aluminosilicate. De même que, pour le calcium qui est relativement élevé (12,1%), ce matériau est donc riche en calcite (CaCO_3).

Constituants									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	PAF
(%)	45,28	10,53	4,54	12,1	5,45	0,37	2,97	0,07	18,1

Tab V. 1. Composition chimique élémentaire de l'échantillon d'argile rouge

Koadri et al. [23] ont également effectué l'analyse par spectroscopie infrarouge d'un échantillon d'argile rouge (**Fig.V.2**). Les résultats confirment la présence des liaisons caractérisant l'argile rouge. Parmi ces bandes, celle à 3614 cm⁻¹ correspond principalement aux vibrations d'élongation du groupe OH de l'eau de constitution, celles à 1480 cm⁻¹ correspondent aux vibrations d'élongation de CH₃. Les bandes 1040, 1099 cm⁻¹ peut être attribuée aux vibrations de valence de la liaison Si-O. La bande de 780 cm⁻¹ correspond aux vibrations de déformation O-Si-O. Les deux bandes situées entre 877 et 712 cm⁻¹ correspondent aux vibrations de valence de la liaison CO de CaCO₃ [20], et celles à 798 cm⁻¹ correspondent aux vibrations de déformation Si-O-Al.

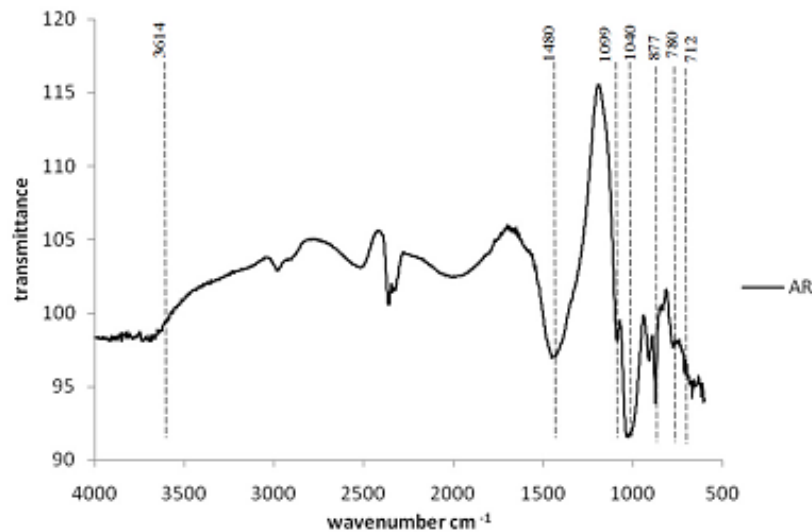


Fig V. 2. Analyse par spectroscopie infrarouge d'un échantillon d'argile rouge [23]

Dans le même travail, Koadri et al [23]. Ont étudié l'effet de l'ajout du chaux et de ciment, comme stabilisateur, en pourcentage massique (3, 6, 9 et 12%) dans l'argile rouge. Il a été clairement démontré que cette addition avait un effet positif sur les propriétés en flexion et en traction du composite (voir **Fig.V.3** et **Fig.V.4**). L'addition de chaux au composite **ARC0CH9**, a permis d'accéder à des valeurs considérées élevées. Elles sont, respectivement, pour la flexion et la compression de l'ordre de 2,4 et 5,6 MPa. Tandis que l'ajout de ciment au composite **ARC12CH0** (**Fig.V.4**) a donné des valeurs maximales de la résistance à la flexion et à la compression qui sont respectivement de l'ordre de 1,31 et 2,93 MPa.

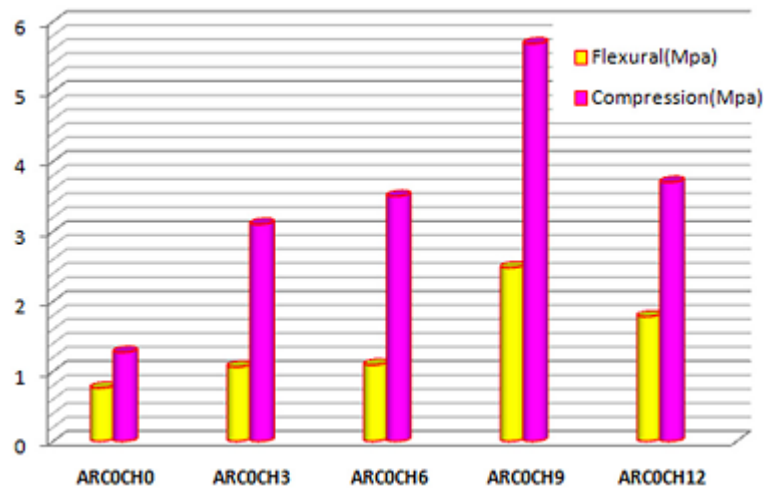


Fig V. 3. Effet d'addition de chaux sur la résistance de flexion et compression du matériau étudié [23]

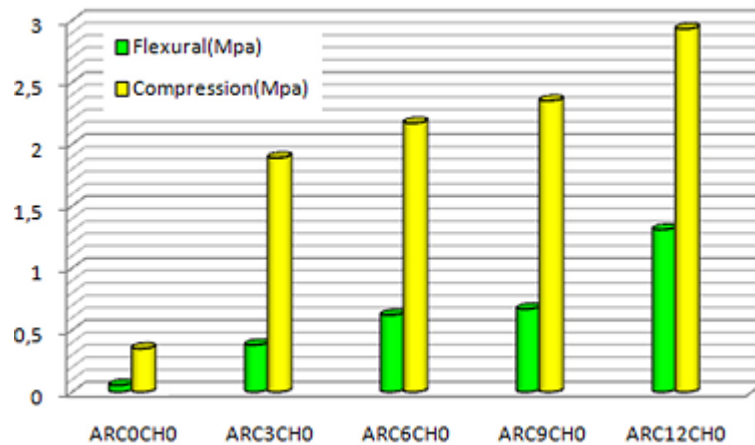


Fig V. 4. Effet d'addition de ciment sur la résistance de flexion et de compression du matériau étudié [23]

Dans le même contexte, cadre du développement de matériaux locaux, telle que la fibre végétale (fibre de palmier dattier male) et l'argile du sud Algérien, largement utilisées dans la préparation des briques, comme matériaux de construction rurale, Taallah [24], a caractérisé l'argile utilisée prélevée au niveau de la région de Biskra (sud de l'Algérie). Cet argile est choisi sur la base de sa disponibilité et son abondance dans la région. Dans cette étude, Taallah [24], a caractérisé au premier lieu l'argile utilisée. La Figure V.5 représente l'analyse granulométrique du type d'argile étudié. Les résultats obtenus montrent que notre argile est constitué d'environ 23 % de limon et 71 % de sable (Fig. V.5), ce qui nous autorise à dire que notre argile est sablo-limoneux.

De plus, le Tableau V.2 représente la composition chimique élémentaire de l'échantillon d'argile rouge. De l'analyse chimique élémentaire de l'argile de ces données, il ressort que la silice et l'oxyde de calcium sont les oxydes majeurs dans notre échantillon, ils ont respectivement égal à 33.33%, 26.45%. A travers l'analyse chimique d'argile, on voit bien que le sol contient un taux important de trioxyde de soufre (anhydride sulfurique) SO_3 (14.21 %) dépassant 3%.

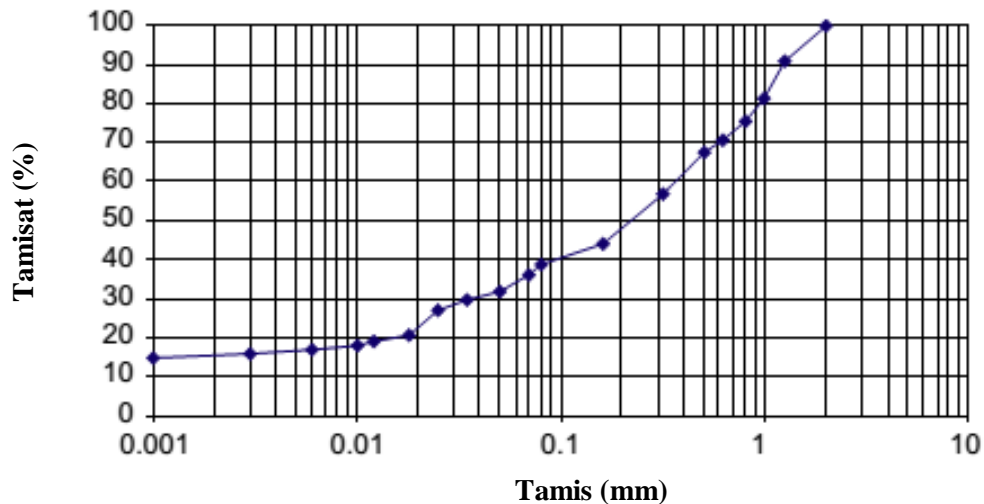


Fig V. 5. Analyse granulométrique de l'argile [24]

Constituants											
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	PAF	P_2O_5	TiO_2
(%)	33,33	2,99	1,39	26,45	0,88	14,21	0,5	0,13	19,85	0,06	0,21

Tab V. 2. Composition chimique élémentaire de l'échantillon d'argile

L'analyse minéralogique est également effectuée par diffraction de rayons X d'un échantillon d'argile. Les résultats d'analyse minéralogique ont révélé la présence d'un taux élevé de gypse (30.5 %) ce qui explique le taux élevé de trioxyde de soufre contenu dans le sol (**Tab V.3**). Le sol contient aussi des taux considérables en quartz et en calcite, alors que la teneur en Kaolinite est peu importante.

Minéraux	Quartz	Gypse	Calcite	feldspath k	Kaolinite	Minéraux ferrugineux
Teneurs (%)	29,5	30,5	29,5	3	6,5	1

Tab V. 3. Composition minéralogique d'argile

Dans cette thèse, Taallah [24], a étudié soigneusement le mode de cure de l'argile avant les autres caractérisations, étant donné que c'est un facteur très important. Trois modes de cure sont investis : cure au laboratoire (28j), cure à l'étuve (7j) et cure à vapeur naturelle (7j).

Les résultats montrent que les blocs curés à l'étuve présentent la meilleure résistance à la compression (Sèche et Humide) comparativement aux deux autres modes de cures. La résistance à la compression sèche du mode de cure à l'étuve dépasse celles de la cure au laboratoire et la cure à vapeur naturelle de 46.2 % et 29,3 % successivement. Alors que le dépassement de résistance à la compression humide est de 18.64 % et 12.9 % successivement (voir Fig.V.6).

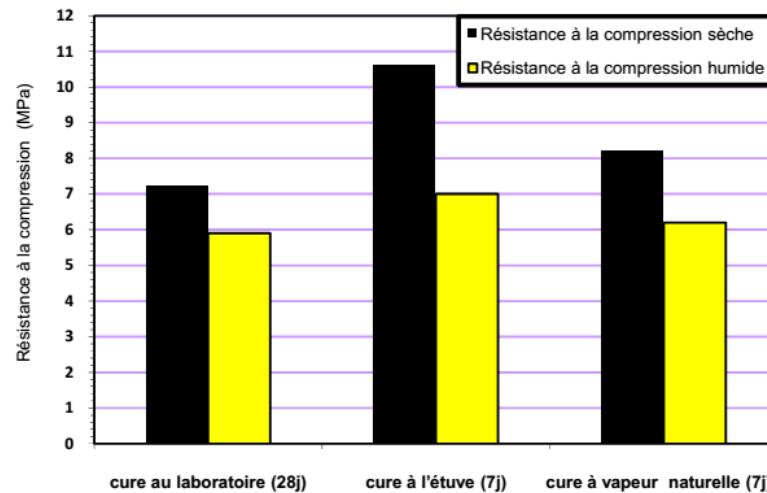


Fig V. 6. Résistances à la compression sèche et humide de l'argile en fonction du mode de cure [24]

Dans le même travail, Taallah [24] a étudié l'effet de l'ajout du chaux et de ciment, comme stabilisateur, en pourcentage massique (5, 6.5, 8, 10 et 12%) dans l'argile et trois contraintes de compactage (1.5, 5 et 10 MPa) sont utilisées dans cette étude. L'addition de chaux au composite, a permis d'accéder à des valeurs considérées élevées. Les résultats de la variation de la résistance à la compression sèche en fonction de la teneur en chaux qui sont présentés sur la **Figure V.7**. D'après cette figure, l'augmentation de la teneur en chaux de 8 % à 10 % a conduit à une augmentation de la résistance de l'ordre de 5 %, alors qu'avec une augmentation de la teneur en chaux de 10 % à 12 % on observe une réduction de la résistance de 8,15 %. On remarque que la variation de la résistance est peu importante.

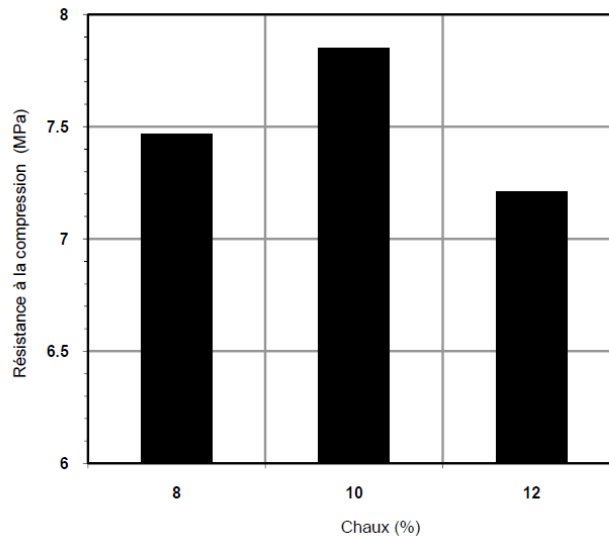


Fig V. 7. Effet d'addition de chaux sur la résistance compression du matériau étudié [24]

Le temps de cure a également un effet sur les propriétés mécaniques de l'argile. Taallah [24] a montré que la plus faible et la plus grande valeur de la résistance est obtenue pour 1 jour et 7 jours de cure successivement (voir **Fig.V.8**).

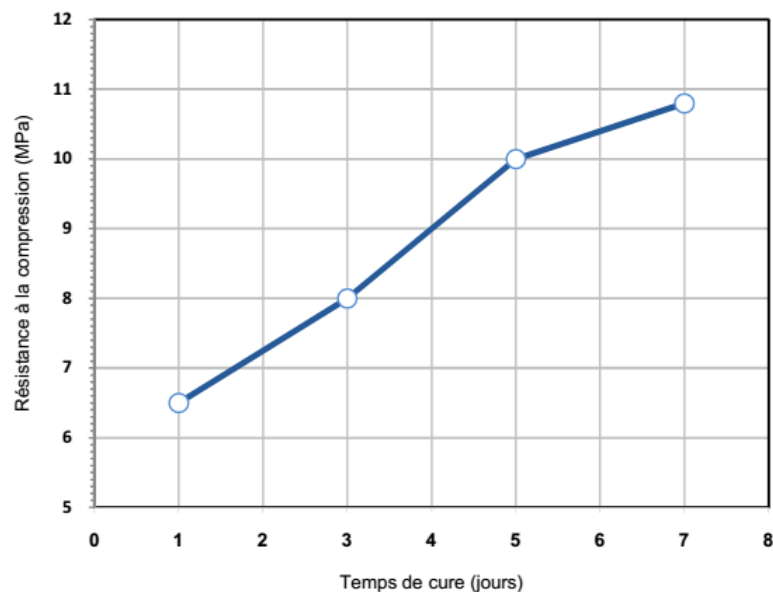


Fig V. 8. Résistance à la compression sèche de l'argile en fonction du temps de cure [24]

Plusieurs travaux bibliographiques ont caractérisé la matière d'argile d'une manière plus au moins similaire. Nous avons choisi les deux bibliographies cités plus haut étant donné que les caractérisations sont établies sur des argiles similaires à notre matériaux d'étude (Région de

Boussaâda [23] et région de Biskra [24]). Pour les autres travaux, nous avons préféré de les résumer par le **Tableau V.4**.

Le tableau V.4 : Résume le comportement de brique d'argile non renforcé.

N°	Auteurs	Région de l'argile	Propriétés améliorés	Stabilisateur	Résultats
01	Koadri et al. [23]	Algérie	compression, flexion	chaux, ciment	L'addition de chaux (9%) au composite, et de ciment (12%) ont permis d'accéder à des valeurs considérées élevées.
02	Taallah [24]	Algérie	compression, flexion	chaux, ciment	L'addition de chaux (10%) au composite, et de ciment (8%) ont permis d'accéder à des valeurs considérées élevées.
03	Sharma et al [25]	Inde	compression	ciment	L'addition de ciment (2.5%) au composite ont permis d'amélioration maximale de la durabilité.
04	Bouhicha et al [26]	Algérie	compression, flexion, cisaillement	chaux, ciment	Les enduits chaux-ciment ont donné de meilleurs résultats que les enduits à la chaux et les enduits de sol.
05	Heathcote [27]	Australie	compression	Ciment (2,5%, 5%, 7,5%)	Les échantillons de 7,5% de ciment présentent une durabilité améliorée
06	Guettala et al [28]	Algérie	compression	Ciment, chaux, résine	Les échantillons stabilisés avec 5% de ciment et de résine ont montré une meilleure durabilité
07	Tang et al. [29]	Chine	compression, cisaillement	Ciment	Les échantillons renforcés, cimentés et non cimentés, ont montré une résistance à la compression et une résistance au cisaillement.
08	Muntohar [30]	Indonésie	compression, flexion	chaux	L'ajout de chaux amélioré la résistance à la compression et flexion
09	Ramirez et al [31]	Mexique	compression, flexion	chaux	Les échantillons de 10% de chaux présentent des propriétés améliorées

Tab V. 4. Amélioration des propriétés de l'argile après l'ajout des stabilisateurs

V.2.2. Comportement de brique d'argile renforcé par fibres végétales

La stabilisation des argiles (Adobe) a été effectuée depuis l'antiquité. Le principe de la stabilisation du sol est une action de la nature, on peut le voir à travers la présence des racines des plantes dans les sols. Les fibres qui forment ces racines pénètrent et s'orientent dans le sol de façon aléatoire. Ces fibres végétales améliorent la résistance du sol et la stabilité des pentes naturelles. Par conséquent, le concept de stabilisation par des fibres a été reconnu il ya plus de 5000 ans. Par exemple, les civilisations anciennes mélangent la paille dans le matériau terre afin de créer des blocs de construction renforcés. Dans l'histoire moderne de la stabilisation des argiles, le concept et le principe du renforcement des argiles a été développée par Vidal [32]. Il a démontré que l'introduction d'éléments de renforcement dans le sol augmente sa résistance au cisaillement. Par conséquent, les efforts pour utiliser des matériaux fibreux ont été lancés. Depuis l'invention par Vidal en 1969, près de 4000 structures ont été construites dans plus de 37 pays à ce jour en utilisant le concept de renforcement du matériau terre. Plusieurs recherches ont été effectuées sur la stabilisation des argiles par des fibres naturelles ou synthétiques.

L'utilisation de fibres naturelles, et en particulier de fibres végétales comme renfort des argiles, 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) ;

Plusieurs auteurs ont tenté de renforcer l'argile par des fibres, et spécialement par des fibres végétales. L'ajout ses fibres naturelles est un moyen de stabilisation couramment utilisé dans la fabrication des adobes et autres produits de terre, et ceci depuis des milliers d'années. L'utilisation des fibres végétales comme renforcement vise une exploitation rationnelle de ces fibres dans les constructions et plus précisément dans la production de blocs de terre comprimée (Adobe), en vue de fabriquer des matériaux de construction de qualité, de coût abordable et qui s'accommode avec les conditions climatiques sévères de certaines régions, et plus précisément la région chaude. Les fibres végétales possèdent des propriétés très intéressantes, elles sont : renouvelables,

biodégradables et le rapport coût/légèreté faible. Leurs propriétés mécaniques sont très importantes.

Le rôle des fibres est multiple, elles augmentent d'une part la résistance à la traction et par conséquent la souplesse du matériau. Une terre ordinaire, en effet, ne peut supporter que de faibles efforts de flexion, alors qu'un sol armé sera capable de subir des déformations importantes sans se fissurer. Cette élasticité empêche le mur de se craqueler au séchage, les fibres répartissent dans toute la masse du matériau les tensions provoquées par le retrait de l'argile. D'autre part, le volume qu'elles occupent dans le mur diminue sa densité et améliore ses qualités iso-thermiques

Les recherches actuelles réalisées sur l'adobe en utilisant plusieurs types de fibres végétales ont abouti à des résultats différents. Koadri et al. [23] ont montré que l'ajout de fibre de palmier a un effet significatif sur le comportement de la brique d'argile. Les auteurs ont élaboré des briques d'argile (Adobe) tout en respectant les conditions optimales citées plus haut (9% de chaux et 12% de ciment), ces dernières sont renforcées par des fibres de palmier à différentes longueurs pour :

- Refléter l'effet de l'ajout de fibres végétales sur la résistance de l'Adobe ;
- Déterminer l'effet de la longueur de la fibre de palmier sur les propriétés mécaniques des composites.

Selon la **Figure V.9**, il a été clairement démontré que la longueur de la fibre de palmier influait sur les propriétés mécaniques du composite et que les valeurs les plus élevées pour la flexion et la compression étaient respectivement de 1,63 et 2,07 MPa pour les composites renforcés par des fibres d'une longueur de 2 cm.

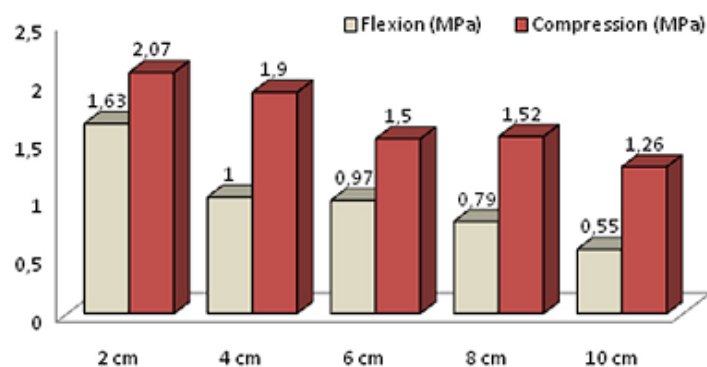


Fig V. 9. Effet de la longueur de fibres sur les propriétés mécaniques du composite [23]

Le tableau V.5 : Résumé l'effet de la longueur de fibres sur le comportement du brique d'argile de quelques fibres.

N°	Auteurs	Région de l'argile	Nom de Fibre	Longueur de fibre (mm)	Meilleure Longueur (mm)	Résultats
01	Koadri et al [23]	Algérie	Palmier	20-100	20	la fibre de palmier influait sur les propriétés mécaniques du composite et que les valeurs les plus élevées pour la flexion et la compression pour les composites renforcés par des fibres d'une longueur de 20
02	Taallah [24]	Algérie	Palmier	20 - 35	20	L'ajout des fibres de palmier dattier a conduit a une légère amélioration de la résistance à la compression sèche
03	Lassoued et al [33]	Tunisie	palmier	40	40	L'ajout des déchets de fibres de palmier est une méthode efficace pour améliorer la résistance
04	Francesconi et al [34]	Italie	Chanvre	10, 20, 30	30	L'ajout de fibres de chanvre est une méthode efficace pour améliorer la résistance à la rupture, la ductilité et les propriétés de durabilité des matériaux de construction au sol dans des conditions de charge et de choc stables.
05	Elena et al [35]	Espagne	Posidonie de Méditerranée	10, 30, 190	190	Les échantillons d'adobe avec posidonie de méditerranée à leur longueur naturelle fournissent des résultats très intéressants et amélioration les comportements mécaniques et thermiques
06	Laibi et al [36]	Bénin	Kenaf	10, 20, 30	30	les fibres améliorent les caractéristiques physiques et mécaniques d'adobe en raison de leur haute résistance à la traction et de leur adhérence à la matrice minérale
07	Ramkrishnan et al [37]	Inde	Jute	5, 10, 15	10	l'augmentation de la teneur en fibres qui est liée à l'augmentation de la valeur d'adobe du sol renforcé.

Tab V. 5. L'effet de la longueur de fibres sur le comportement du brique d'argile de quelques fibres

V.2.3. Effet du taux de fibres sur le comportement du brique d'argile

Shubham et al [38] ont proposé une méthode pour améliorer la résistance de argile disponible en Inde en le stabilisant avec du ciment Portland ordinaire en faible pourcentage et en mélangeant au hasard par des fibres de la noix de coco. Cette étude vise à étudier la proportion optimale de fibre de coco et de ciment adaptée à la construction des murs en pisé. Les fibres de noix de coco et le ciment peuvent être facilement incorporés au mélange d'argile, ce qui ajoute de la résistance et de la durabilité au mur. Comme partie de leur travail, Shubham et al [38] ont étudié la variation de la résistance à la compression en fonction de la teneur en fibres. À mesure que la teneur en fibres passe de 0 à 0,2%, la compression la force augmente de 22,31, 49,28 et 12,13% pour 0, 2,5 et 5% de ciment, respectivement (**Fig. V.10**). Mais pour 7,5 et 10 % de ciment, il y a une diminution de la compression respectivement 9,94 et 27,4%. Cette observation peut être attribuée à la formation de poches de sol avec un manque de renforcement dans les blocs et l'interférence des fibres dans la liaison entre l'argile et les particules de ciment. Comme le taux du fibre passe de 0,2 à 1 %, soit une augmentation uniforme la résistance à la compression est observée jusqu'à 0,8% la teneur en fibres, puis la résistance diminue à nouveau, ce qui peut être clairement vu dans la **Figure V.10**. Ce phénomène peut être en raison de la formation d'une masse de fibres dans le mélange qui crée des masses plus faibles. Par conséquent, 0,8% de fibres sont se révèle être la quantité optimale de fibres pour atteindre résistance maximale à la compression. La résistance à la compression pour 0,8% de terre battue stabilisée au ciment renforcé de fibres.

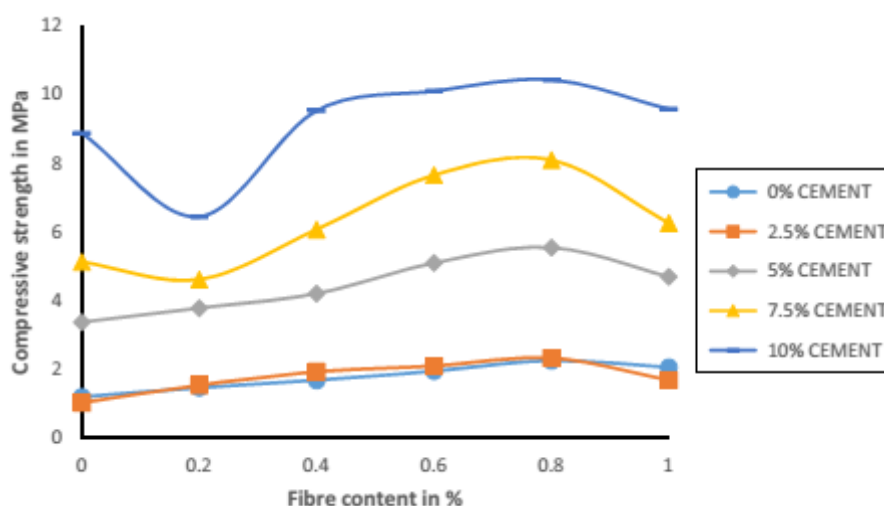


Fig V. 10. Variation de la résistance à la compression en fonction de la teneur en fibres [38]

Elena et al. [35] ont étudié la capacité de l'herbe marine de *Posidonia Oceanica* « Seagrass » de renforcer les briques en adobe. Dans ce but, des spécimens de terre avec ces fibres de plantes marines ont été comparés aux additifs les plus traditionnels pour ce but, c'est-à-dire des adobes à base de paille. Elena et al. [35] ont aussi exploité l'effet du taux de fibres sur le comportement mécanique de l'Adobe (**Fig .V.11**).

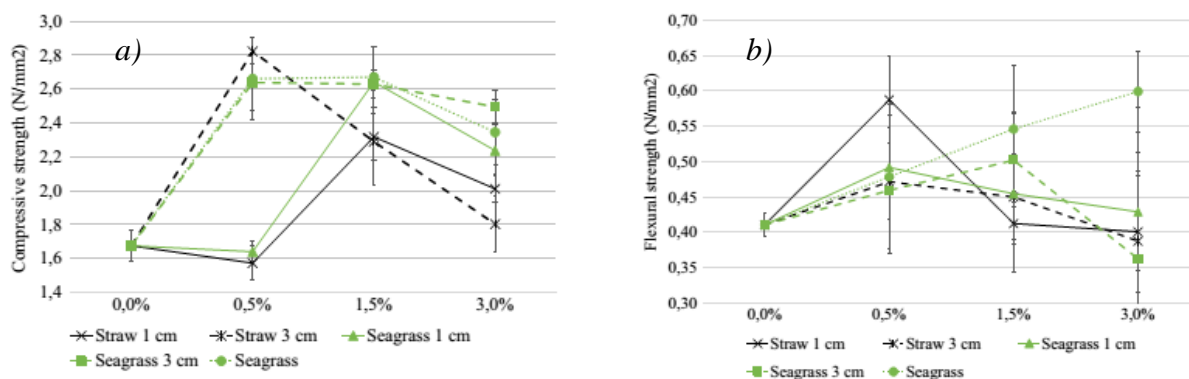


Fig V. 11. Variation de la résistance à la compression en fonction de la teneur en fibres [35]

En observant la **Figure V.11a** qui montre la résistance à la compression des spécimens, l'augmentation la fraction de fibre produit résistance à la compression à un contenu 0,50% lorsque les fibres sont à 3 cm de longueur. Après cela, vers 3% de contenu de fibres, la résistance a tendance à diminuer. Cette performance décroissante a montré des résultats plus mauvais dans les échantillons de paille que dans les fibres d'herbes marines, où les valeurs mécaniques d'adobe à base de paille sont réduites de presque 50% par rapport au renforcement des herbiers marins. Dans pratiquement tous les cas, les résistances sont améliorées par rapport à l'état d'origine des échantillons non renforcés.

La **Figure V.11b** présente le comportement en flexion des échantillons. Dans ce cas, les fibres de paille de 1 cm présentent un choix de résistance avec le contenu 0,50%. Dans le même temps, des fibres naturelles d'herbes marines à un contenu de 3% a atteint la même valeur ou même mieux, doublant presque les valeurs atteintes par les autres échantillons. Par conséquent, dans la plupart des cas, la résistance à la flexion a montré une diminution lorsque les fibres sont incluses davantage dans les adobes.

Le tableau V.6 : Résume l'effet du taux de fibres sur le comportement du brique d'argile de quelques fibres.

N°	Auteurs	Région de l'argile	Nom de Fibre	Différents taux de fibres (%)	Meilleur taux (%)	Meilleure Contrainte de compression (MPa)	Meilleure Contrainte de flexion (MPa)
01	Bock-Hyeng et al [39]	Cameroun	canne à sucre	0, 0,3, 0,6, 1,2, 2 et 3	3	4,79	-
02	Alomayri et al [40]	Australie	coton	0,3, 0,5, 0,7 et 1	0.5	46	-
03	Magdaleno et al [41]	Mexique	agave bagasse	0,25, 0,5, 0,75 et 1	1	9,29	0,61
04	Elena et al [35]	Espagne	Posidonie de Méditerranée	0, 0,5 , 1,5 et 3	1.5	2.64	0.50
05	Millogo et al [42]	Burkina Faso	Kénaf	0,2 – 0,8	0,3 à 0,5	2.89	1.15
06	Shubham et al [38]	Inde	Coconut	0,2 , 0,4 , 0,6, 0,8 et1,0	0,8	10,42	-

Tab V. 6. L'effet du taux de fibres sur le comportement du brique d'argile de quelques fibres

V.2.4. Effet du traitement des fibres sur le comportement du brique d'argile

Les fibres de cellulose sont incompatibles avec la majorité des résines. Or, la qualité de l'interface fibre-matrice est importante pour l'utilisation des fibres naturelles comme fibres de renfort pour les polymères. Il est donc très souvent nécessaire de modifier la surface des fibres pour optimiser cette interface. Les méthodes de modification sont différemment efficaces en ce qui concerne l'adhésion entre la matrice et les fibres.

Les fibres de renfort peuvent être modifiées par des méthodes physiques ou chimiques. Les méthodes physiques, telles que l'étirage, le calandrage, le traitement thermique, le laser, les rayons gamma, les UV, plasma... modifient les propriétés structurelles et de surface de la fibre et influencent ainsi les liaisons avec les polymères. Les modifications chimiques comprennent des traitements avec de la soude, du silane (alcoxyde de silicium fonctionnalisé), de l'acide acétique, ou encore des molécules à base de benzoyle, d'isocyanate, ect....

Plusieurs auteurs ont tenté de renforcer l'argile par des fibres traitées, et plus précisément par des fibres végétales. L'utilisation des fibres végétales traitées comme renforcement vise une exploitation rationnelle de ces fibres dans les constructions et plus précisément dans la production de blocs de terre comprimée (Adobe), Koadri et al. [23] ont traité chimiquement les fibres de palmier en utilisant la solution 4% de NaOH durant les périodes (3, 7, 24 et 48 h). Ces fibres traitées sont utilisées comme élément de renforcement de l'argile afin d'optimiser la durée de traitement(Fig.V.12).

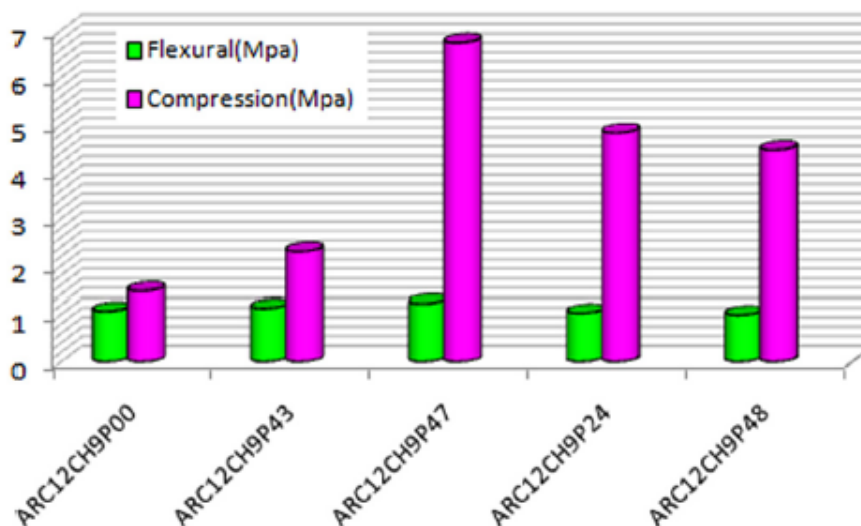


Fig V. 12. Effet du temps de traitement alcalin sur la flexion et la compression du matériau étudié [23]

La **Figure V.12** montre la résistance à la flexion et à la compression des composites traités et non traités. Il a été clairement constaté que le composite ARC12CH9P47 présentait la plus grande amélioration en termes de résistance à la flexion et à la compression. La valeur la plus élevée de résistance à la flexion et à la compression signalée est respectivement de 1,22 et 6,74 MPa. Cette augmentation observée de la résistance à la flexion et à la compression peut indiquer une meilleure adhésion entre l'argile modifiée et les fibres de palmier [23].

D'après les recherches bibliographiques effectuées, un traitement alcalin à la soude (NaOH) réduit considérablement la lignine (généralement présente dans la lamelle mitoyenne), la pectine et les cires recouvrant la surface externe provoque une augmentation de la rugosité de surface, un gonflement, une stabilisation des fibres et une réduction de la tendance hydrophile, comme l'a constaté l'ensemble des auteurs qui ont travaillé dans ce domaine [24].

Les modifications de la morphologie de surface de la fibre sont importantes pour évaluer son interaction avec la matrice inorganique dans les composites. Des micrographies électroniques à balayage de fibres de palmier brutes et traitées sont illustrées dans la **Figure V.13** [23].

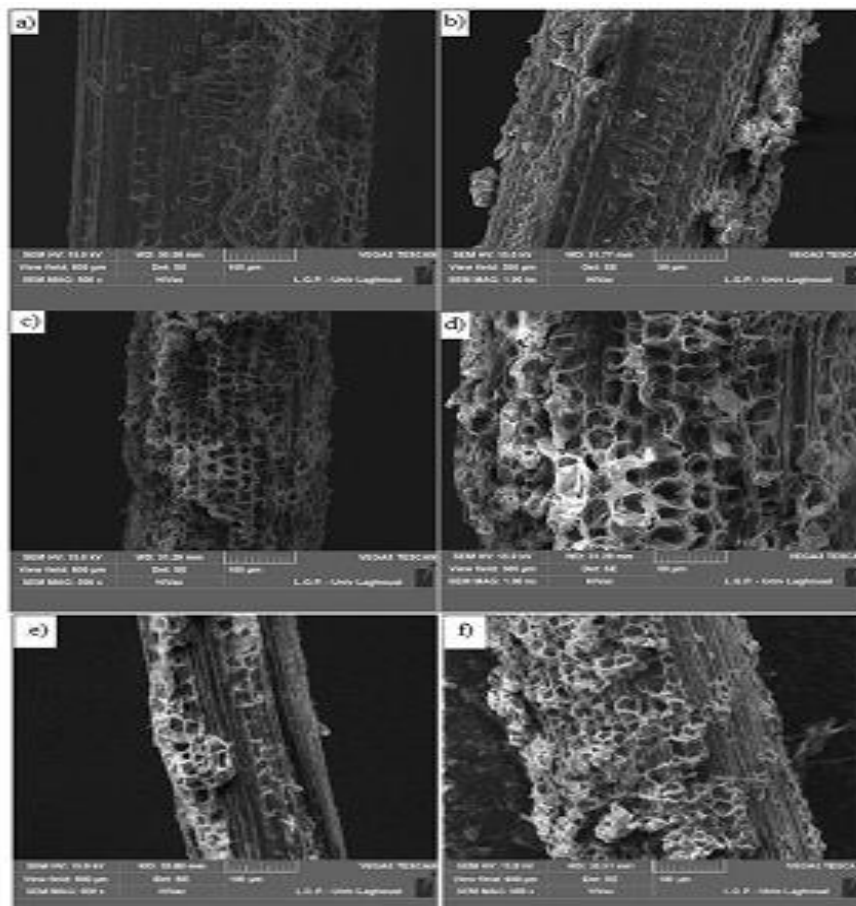


Fig V. 13. MEB micrographie de la surface des fibres non traitées et traitées : (a) PF00 ; (b) PF00; (c) PF47 ; (d) PF47 ; (e) PF48 ; (f) PF48 [23]

Le changement de la morphologie est très clair. La fibre non traitée, illustrée aux **Figure .V.13** (a) et (b), présente une surface irrégulière et est recouverte d'une couche d'impuretés. Cette dernière empêche l'adhérence inter-faciale entre la fibre-matrice et influence directement la rigidité de la fibre. De plus, la structure typique des parois cellulaires qui maintiennent ensemble les fibrilles uniques est toujours évidente. En revanche, les fibres traitées présentent une augmentation de la rugosité et de la qualité de surface en termes de réduction des impuretés. Une diminution du diamètre est confirmée pour toutes les fibres traitées du fait de l'élimination d'une certaine portion d'hémicelluloses, de lignine, de substances cireuses et d'huiles naturelles. Comme le montrent les **Figure .V.13** (c)–(f), les fibrilles peuvent être clairement observées à la surface de la fibre (PF47). En conséquence, il se produit une augmentation de la surface spécifique, ce qui entraîne une augmentation de l'adhésion à l'interface fibre-matrice dans les composites. Néanmoins, nous avons constaté la présence de microfissures sur toute la surface de la fibre traitée, en raison de phénomènes de dégradation se produisant lorsque la durée de traitement est trop longue. Ces dommages, mieux mis en évidence sur les **Figure .V.13** (e) et (f), justifient le décretement de la résistance à la traction obtenue à partir de la caractérisation mécanique.

L'étude approfondie de l'effet de traitement de la fibre de palmier réalisée par Lassoued et al. [33], montre clairement l'influence du traitement alcalin sur les caractéristiques de la fibre. Les **Figure .V.14** et **15** présentent les différentes variations des propriétés mécaniques de la fibre de palmier : Résistance à la traction (caractérise la contrainte maximale qu'un matériau peut supporter avant de se casser) et le module de Young des fibres de palmier traitées avec différentes concentrations et durées : (a) traité pendant 2 h, (b) traité pendant 5 h, (c) traité pendant 7 h et (d) traité pendant 24 h.

Pour chaque type d'échantillon, six tests ont été effectués. Comme le montre la **Figure .V.14**, un traitement des fibres à 2% pendant 2 h donne le meilleur résultat lorsque la résistance à la traction a atteint sa valeur optimale 242,6 MPa. On note également que la valeur maximale varie en fonction des deux paramètres temps et concentration. Traitement des fibres à 0,5% pendant 5 h, à son maximum égal à 230,4 MPa, alors que 162,3 MPa est obtenu lors du traitement des fibres à 2% pendant 7 h, et 187,2 MPa lorsque les fibres sont traitées avec 5% pendant 24 h. De la même manière, la figure 8 montre également que les traitements avec fibres à 2% pendant 2 h a le module d'Young maximum qui est égal à 7750, 3 MPa. Le traitement à 2% pendant 2 h est donc la condition idéale qui a donné des valeurs supérieures par rapport aux autres. Figures. 7 et 8 illustrent également que de faibles résultats ont été obtenus concentrations élevées de 0,5% à 5% pendant 24 heures.

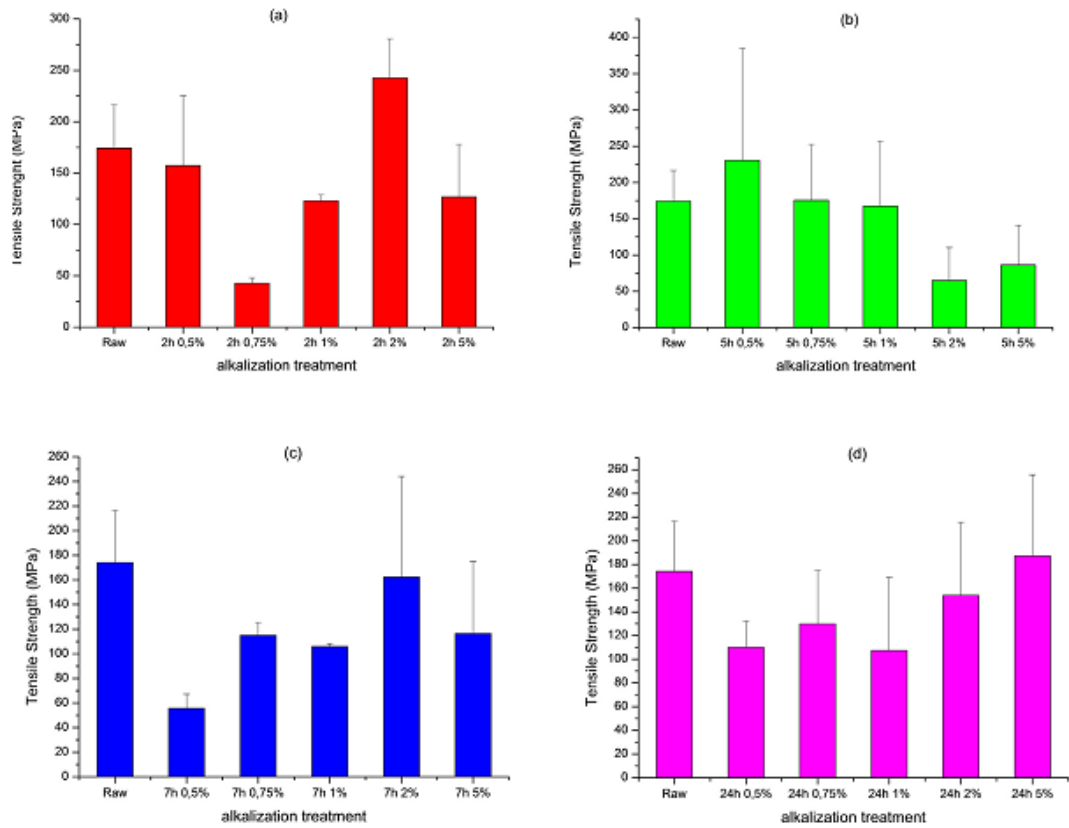


Fig V. 14. Effet du traitement au NaOH sur la résistance à la traction des fibres FDP avec différentes concentrations : (a) traité pendant 2 h, (b) traité pendant 5 h,

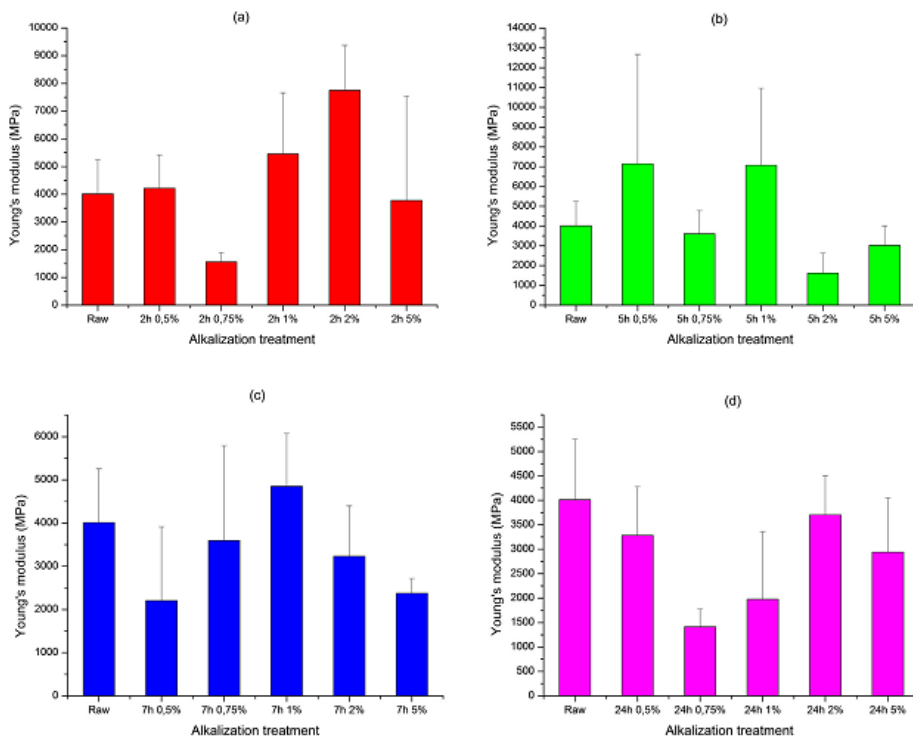


Fig V. 15. Effet du traitement au NaOH sur le module de Young des fibres avec différentes concentrations : (a) traité pendant 2 h, (b) traité pendant 5 h, (c) traité pendant 7 h et (d)

La microscopie électronique à balayage donne une idée détaillée de la morphologie de la surface avant et après le traitement, la surface de la fibre non traitée et traitée sont représentées sur les **Figure V.16 et 17**.

Le changement de la morphologie de la surface des fibres est très clair. La fibre non traitée, comme le montre la **Figure V.16**, a une surface irrégulière et recouverte d'une couche d'impuretés. La couche d'impureté empêche l'adhérence inter-faciale entre la fibre-matrice et influence directement sur la rigidité de la fibre. En revanche, la **Figure V.17** montre une grande différence pour la fibre traitée : la forme globale de la structure a été complètement changée, la fibre devient plus lisse et plus brillante que les fibres non traitées. La surface devient plus visible, propre et dépourvu de trous, ce dernier augmente la liaison entre fibre et matrice. Il est clair que le traitement alcalin peut éliminer les impuretés et les matières grasses, d'où l'amélioration d'adhésion dans le matériau composite plus tard.

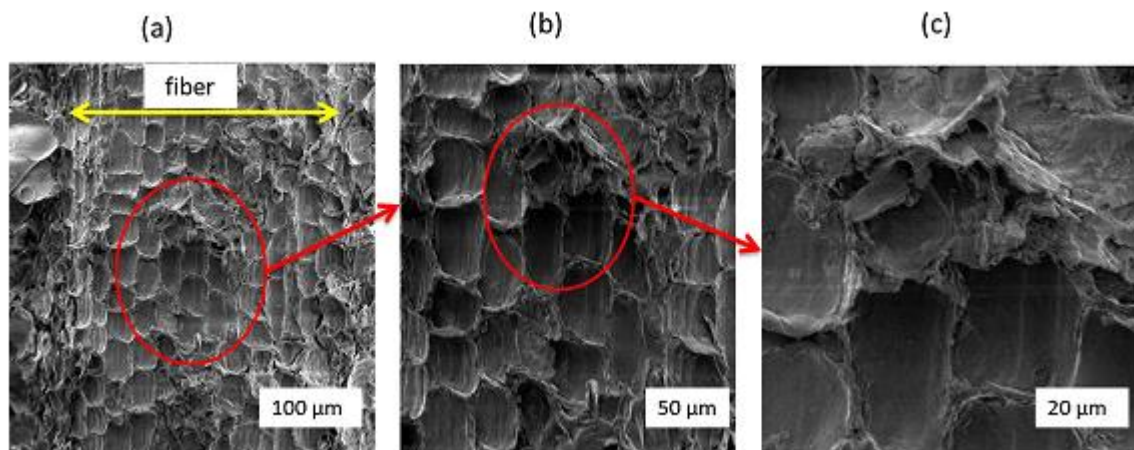


Fig V. 16. Micrographie SEM de la surface des fibres traitées [33]

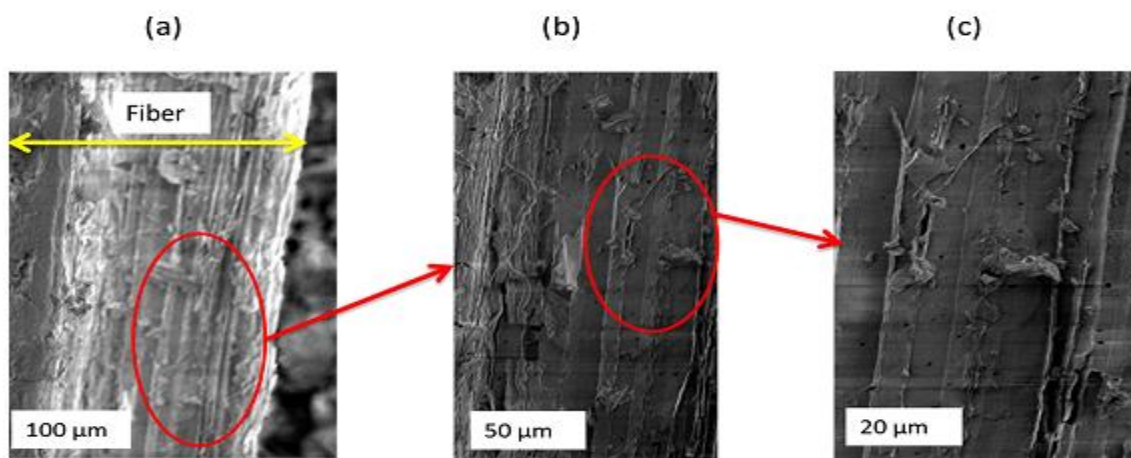


Fig V. 17. Micrographie SEM de la surface des fibres non traitées [33]

Celles-ci les résultats sont dus à une destruction de la structure des fibres principalement causée par la réduction de la lignine qui lie les fibrilles de cellulose ensemble comme démontré par Rokbi et al [43] ; Al Maadeed et al [44]. En conclusion, le traitement alcalin des fibres du pétiole à 2% pendant 2 h a été sélectionné comme le traitement optimal.

V.2.5. Résultats obtenus pour le cas des argiles testés

Les tests de compression des différents types d'argiles, sous forme d'un cube $4 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$ (Fig .V.18) a permis de déterminer les résistances à la compression de chaque type d'argile (Tab V.7 & Fig .V.18).

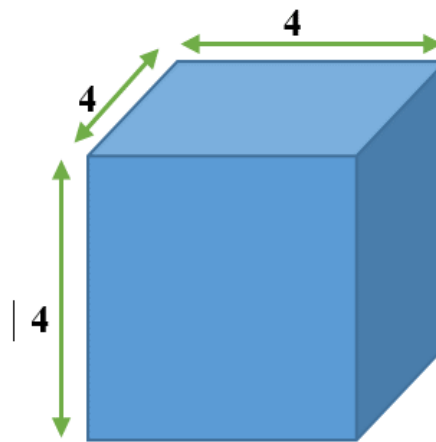


Fig V. 18 Forme des éprouvettes d'argile testées en compression

	Type 01	Type 02	Type 03	Type 04
Ep 01	3,27	4,57	4,03	5,75
Ep 02	3,83	4,08	4,7	5,74
Ep 03	3,83	4,3	4,01	5,29
Ep 04	3,78	3,84	4,11	5,43
Ep 05	3,19	3,48	5,45	3,56
Ep 06	3,37	2,99	4,49	3,73
Moyenne (MPa)	3,51±0,32	3,78±0,79	4,73±0,72	4,65±1,09

Tab V. 7 Résistance à la compression des différents argiles testés

Il est claire que les deux matériaux Type 03 (argile verte) et Type 04 (argile grise) présentent des résistances à la compression très proches. Alors que les deux autres types ont des résistances assez réduites. D'où, on envisage renforcer les deux types d'argile (3 et 4) par des fibres Alfa traitées et non traitées afin de refléter plus de détails sur ses types d'argile ainsi que leur valorisation comme élément de construction.

VI. Conclusion générale

Les blocs de terre stabilisée pourraient constituer une bonne alternative au béton, et s'affirmer comme un matériau de construction. Le bon choix de leurs constituants, notamment le type de stabilisant, constitue la clé de leur efficacité. L'adoption du stabilisant selon son action sur la terre et selon sa disponibilité doit répondre aux critères de résistance et de durabilité.

Cette étude comparative de certains travaux réalisés par les chercheurs nous a permis de voir de près comment l'amélioration des propriétés mécaniques de brique de terre, en intégrant différents types de fibres végétales (traitées, non traitées) de différentes longueurs, différents de taux et concentration de NaOH, mais l'attention principale est accordée aux fibres végétales et les fibres d'alfa en particulier.

Les résultats de cette comparaison nous a permis de dégager les conclusions principales suivantes :

- Le brique de terre a base du chaux et du ciment donné les meilleures résistances à la compression et à la traction selon les meilleurs pourcentage d'ajout : ciment (2,5% jusqu'à 12%) et la chaux (9% - 10%).
- L'ajout de fibre végétale dans les briques de terre a un effet significatif. Cet ajout participe fortement à l'augmentation de leur résistance à la flexion et compression,
- La longueur de la fibre végétale a, à son tour aussi, un impact sur la résistance de la brique de terre, selon la recherche établie, les meilleures longueurs qui permettent d'améliorer la résistance de l'Adobe est entre 20 mm et 40 mm. Cette longueur dépend de la nature de la fibre végétale. Un cas particulier est enregistré pour les fibres de Posidonie de Méditerranée, Il peut être ajouté complètement sur toute sa longueur (190 mm).
- L'effet de la taux de fibres sur le comportement de briques de terre cuites nous a permis de conclure que la meilleure teneur pour obtenir une meilleure résistance à la compression et à la flexion est de 0,3% à 3%.
- La concentration du traitement alcalin dépend de la nature de fibres, Cette concentration est très réduite pour quelques fibres telles que les fibres de palmiers (1% NaOH), alors qu'elle est un peu élevée pour autres telles que Alfa et Diss (5% à 10% NaOH).

J'espère que j'aurai autre occasion pour exploiter plus et découvrir l'effet du traitement alcalin des fibres locales telles que Alfa, Diss et Palmier sur le comportement de l'Adobe local.

Références

- [1]. **Madani GRINE, Mustapha GHEBOULI**, Étude de l'effet de l'orientation des fibres sur la rupture des bétons polymères (BP), mémoire master université de M'sila, 2019, pp 76.
- [2]. **MEKIDECHE S**, valorisation des déchets comme constituants des bio-composites, mémoire master université de M'sila, 2017, pp 79.
- [3]. **Y. Gagou, E. Padayodi, K-E. Atcholi, D. Mezzane, M-A. Fremy e, P. Saint-Grégoire**, Etude comparative du comportement mécanique des matrices de quatre types d'argile, p : 12.
- [4]. Sites d'internet <https://www.isomatex.com/fr/categorie/domaines-d-application.html>.
- [5]. Sites d'internet <https://www.construction21.org/france/articles/fr/genie-civil-les-materiaux-composites-en-renfort.html>
- [6]. <https://www.archiexpo.fr/prod/cembrit-limited/product-83030-994793.html>
- [7]. Sites d'internet https://fr.wikipedia.org/wiki/Alfa#Liens_externes
- [8]. Sites d'internet https://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre_de_jute
- [9]. Sites d'internet <https://fr.wikipedia.org/wiki/K%C3%A9naf>
- [10]. Sites d'internet https://fr.wikipedia.org/wiki/Lin_cultiv%C3%A9
- [11]. Sites d'internet <https://fr.wikipedia.org/wiki/Chanvre>
- [12]. **FALI A, MERZOUG A**, Etude de l'effet du traitement sur le comportement physico-chimique et mécanique d'une fibre végétale, mémoire master université de M'sila, 2019, pp 59.
- [13]. Sites d'internet https://fr.wikipedia.org/wiki/Agave_sisalana
- [14]. Sites d'internet https://fr.wikipedia.org/wiki/Phoenix_dactylifera
- [15]. **KHIRI A, BOUCHIBA M**, Effet des techniques d'extraction des fibres végétales sur leurs caractéristiques physiques chimiques et mécaniques, mémoire master université de M'sila, 2019, pp 72.
- [16]. **Mohamed H B**, Caractérisation d'un composite verre / époxy, thèse doctorat

université Ferhat Abbas setif, 2014, pp 125.

[17]. **Nicolas D**, un matériau bio-source de choix : les fibres naturelles caractérisations et applications. 25èmes Journées Scientifiques de l'Environnement L'économie verte en question, France, p : 11.

[18]. Sites d'internet https://fr.wikipedia.org/wiki/Lygeum_spartum

[19]. Sites d'internet
<http://www.catalogueoflife.org/col/search/scientific/genus/Agave/species/americana/match/1>

[20]. **Harrat M**, Contribution à l'amélioration du procédé de fabrication de la céramique, mémoire magister université kasdi merbah ouargla, 2007, pp : 70.

[21]. **Hernot F**, l'argile, son utilisation a l'officine, thèse doctorat université angers, 2016, pp : 116

[22]. **LAYEB A, HALBAOUI A**, Caractérisations physico-mécaniques d'un bloc de terre stabilisé avec la chaux à base des fibres (déchet de pneu usés - Verre), mémoire master université de djelfa, 2017, pp : 82

[23]. **Koadri Z, Benyahia A, Deghfel N, Belmokre K, Nouibat B, Redjem A**, Étude de l'effet du temps de traitement alcalin de fibres palmier sur le comportement mécanique des matériaux à base d'argile rouge de la région de M'sila, *Matériaux & Techniques*, 2019, p : 107- 404

[24]. **Taallah**, étude du comportement physico-mécanique du bloc de terre comprimée avec fibres, thèse doctorat université Mohamed Khider Biskra, 2014, pp : 182

[25]. **Sharma V, Bhanu M. Marwaha, Hemant K. Vinayak**, Enhancing durability of adobe by natural reinforcement for propagating sustainable mud housing, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 2016, p : 141-155

[26]. **Bouhicha M, Aouissi F, Kenai S**, Performance of composite soil reinforced with barley straw, *Cement & Concrete Composites*, 2005, p : 617-621.

[27]. **Heathcote K A**, Durability of earthwall buildings, *Construction and Building Materials*, 1995, p: 185-189.

-
- [28]. **Guettala A , Abibsi A, Houari H**, Durability study of stabilized earth concrete under both laboratory and climatic conditions exposure, *Construction and Building Materials*, 2006, p: 119-127.
- [29]. **Tang Ch, Shi B, Gao W, Fengjun Ch, Cai Y**, Strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil, *Geotextiles and Geomembranes*, 2007, p: 194-202.
- [30]. **Muntohar A S**, Engineering characteristics of the compressed-stabilized earth brick, *Construction and Building Materials*, 2011, p: 4215-4220.
- [31]. **Rafael A-R, Pedro M-G, Jacobo M-R, Delia C A-J, Yadira G-P**, The use of sugarcane bagasse ash and lime to improve the durability and mechanical properties of compacted soil blocks, *Construction and Building Materials*, 2012, p: 296-305.
- [32]. **Vidal H**, Bureau d'Etudes de la Terre Armee, Paris, France
- [33]. **Lassoued M, Mnasri T , Hidouri A , Ben Younes R**, Thermomechanical behavior of Tunisian palm fibers before and after alkalization, *Construction and Building Materials*, 2018, p: 121-128.
- [34]. **Aymerich F, Fenu L, Francesconi L, Meloni P**, Fracture behaviour of a fibre reinforced earthen material under static and impact flexural loading, *Construction and Building Materials*, 2016, p: 109-119.
- [35]. **Elena O, Anna Laura P, Vitaliano Ch, Susanna M, Andrea F, Luisa F. C**, Sustainable adobe bricks with seagrass fibres. Mechanical and thermal properties characterization, *Construction and Building Materials*, 2020.
- [36]. **A B. Laibi, Ph Poullain, N Leklou, M Gomina, D K. C. Sohounhloué**, Influence of the Length of Kenaf Fibers on the Mechanical and Thermal Properties of Compressed Earth Blocks (CEB), *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2018, p : 785-793.
-

-
- [37]. **R Ramkrishnan, V. Karthik, M R Sruthy, A Sharma**, Soil Reinforcement and Slope Stabilization Using Natural Jute Fibres, Conference Paper, 2018, p: 131-143.
- [38]. **Shubham R, Sher M, R Das, Sh Saha**, Coconut fibre-reinforced cement-stabilized rammed earth blocks, World Journal of Engineering, 2017, p: 208-216.
- [39]. **Ch Bock-Hyeng, A N Ofori-Boadu, E Yamb-Bell, M A Shofoluwe**, Mechanical Properties of Sustainable Adobe Bricks Stabilized With Recycled Sugarcane Fiber Waste, Journal of Engineering Research and Application, 2016, p: 50-59.
- [40]. **T Alomayri, I M Low**, Synthesis and characterization of mechanical properties in cotton fiber-reinforced geopolymer composites, Journal of Asian Ceramic Societies, 2013, p : 30-34.
- [41]. **M Caballero-Caballero, F Chinas-Castillo, J L Montes B, R Alavéz-Ramirez, M Eugenia Silva Rivera**, Effect on compressive and flexural strength of agave fiber reinforced adobes, Journal of Natural Fibers, 2017, p: 575-585
- [42]. **Y Millogo , J C Morel , J E Aubert, K Ghavami**, Experimental analysis of Pressed Adobe Blocks reinforced with Hibiscus cannabinus fibers, Construction and Building Materials, 2014, p: 71–78.
- [43]. **M Rokbi, H Osmani, Abdellatif I, N Benseddiq**, Effect of Chemical treatment on Flexure Properties of Natural Fiber-reinforced Polyester Composite, Procedia Engineering, 2011, p: 2092-2097
- [44]. **M.A. AlMaadeed, R Kahraman , P. N Khanam, S Al-Maadeed**, Characterization of untreated and treated male and female date palm leaves, Materials and Design, 2013, p: 526-531