REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

**UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA**




**F**aculté de **T**echnologie

# Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : matériaux

---

# Contribution a l étude de la durabilité d'un composite cimentaire renforcé de fibres végétales locales

---

Présenté par

**SADOUKI Mohamed**

**BOURGHAYA Radhouane**

Proposé et Dirigé par

**M me KALLOU Amel**

**Promotion Juin 2021**

# *Remercîments*

*Tout d'abord, nous sommes très reconnaissants à notre Dieu*
*de nous avoir guidés pour une fin réussie de notre travail.*
*Rien de tout cela n'aurait été possible sans son aide notre Dieu*
*merci pour l'occasion*

*Dans le cadre de la réalisation de ce mémoire,*
*un certain nombre de personnes ont contribué de façon ou d'autre*
*nous tenons à les reconnaître*
*Nous tenons a exprimer nous profonde gratitude*
*et nos remerciements à notre promoteur MME KALLOU AMEL ,*
*prof au département de génie civil pour le sujet qu' il nous a proposé*
*et nous a dirigé ainsi que pour sa disponibilité*
*et pour tous les moyens mis a notre disposition pour l'élaboration de ce mémoire.*
*La plupart de ce projet n'aurait pas été réalisé sans son aide et ses conseils*

*Nous voudrons adresser nos sincères remerciements*
*à tous les professeurs du département de génie civil.*

*Nous tenons aussi à remercier*
*les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger ce travail.*

*Enfin, nous tenons a remercier*
*nos familles et nos amis pour leurs soutiens et leurs encouragements.*

## *Dédicaces*

*Nous dédions cette modeste travail*

*À nos parents*

*À nos frères et sœurs*

*Pour toute notre famille*

*A tous ceux qui nous ont aimés*

## *Résumé*

Le domaine de la construction doit jouer un role important dans la resolution des problemes environnementaux lies au recyclage et !'exploitation de la biomasse. Dans la categorie des materiaux cimentaires, differents types de dechets et coproduits issus de !'agriculture ont deja ete utilises, soit sous forme de particules, en remplacement total ou partiel des granulats mineraux, soit sous forme de fibres pour renforcement. Dans cette, etude nous nous sommes interesses au potentiel d'utilisation des fibres de jute comme elements de renfort pour mortiers. La fibre de jute a ete utilisee en substitution partielle du sable a differents taux, le mortier de reference etant sans fibres. Un protocole d'essais experimentaux a ete mene pour etudier les composites a l'etat frais et a l'etat durci. La compatibilite chimique des fibres de jute avec le ciment a ete evaluee a l'aide des tests d'hydratation qui consistent a enregistrer !'elevation de temperature au ca:ur du composite lors des reactions exothermiques des composants du ciment avec l'eau de gachage. Les resultats revelent un faible indice d'inhibition confirmant la compatibilite de la fibre avec le ciment. Les essais mecaniques montrent une baisse des performances avec !'augmentation du taux de fibres, mais un gain substantiel en poids.



**Mots cles**: *Composite cimentaire - Mortier de fibres - Fibres de jute - Compatibilite chimique*.



## *Abstract*

Construction field has to play an important role in resolving environmental problems related to recycling and exploitation of the biomass. In the category of cementitious materials, various types of wastes and byproducts derived from agriculture have already been used, either as particles, in total or partial replacement of mineral aggregates, or as fibers for reinforcement. In this study we were interested at the potential use of jute fibers as reinforcing elements for mortars. The jute fiber was used in partial replacement of sand at different rates; the control mortar was without fibers. A Memorandum of experimental tests was conducted in order to study the composite in fresh and hardened state. The chemical compatibility of jute fibers with cement was evaluated using tests of hydration which consist in recording the temperature rise in the heart of the composite during the exothermic reactions between the components of the cement and the mix water. The results of these tests revealed very low index of inhibition confirming the compatibility of the jute

fiber with cement. The mechanical tests showed a decrease in performances according to the increase of fiberand a substantial gain weight.

**Key words**: *Cementitious composite - Fiber mortars - Jute fibers - Chemical compatibility.*

## ملخص

يجب أن يلعب مجال البناء دورًا مهمًا في حل المشكلات البيئية المتعلقة بإعادة التدوير واستغلال الكتلة الحيوية. في فئة المواد الأسمنتية ، تم بالفعل استخدام أنواع مختلفة من النفايات والمنتجات الثانوية المشتقة من الزراعة ، إما كجزيئات ، في الاستبدال الكلي أو الجزئي للركام المعدني ، أو كألياف للتقوية. في هذه الدراسة كنا مهتمين بالاستخدام المحتمل لألياف الجوت كعناصر تقوية للملاط. تم استخدام ألياف الجوت في الاستبدال الجزئي للرمل بمعدلات مختلفة ؛ كانت ملاط التحكم بدون ألياف. تم عمل مذكرة اختبارات تجريبية لدراسة المركب في حالة نضرة وصلبة. تم تقييم التوافق الكيميائي لألياف الجوت مع الأسمنت باستخدام اختبارات الترطيب والتي تتكون من تسجيل ارتفاع درجة الحرارة في قلب المركب أثناء التفاعلات الطاردة للحرارة بين مكونات الأسمنت وماء الخلط. أظهرت نتائج هذه الاختبارات معامل تثبيط منخفض للغاية يؤكد توافق الجوت الألياف مع الاسمنت. أظهرت الاختبارات الميكانيكية انخفاضًا في الأداء وفقًا لزيادة الألياف وزيادة الوزن بشكل كبير .

**الكلمات المفتاحية**: المركب الأسمنتي - الملاط الليفي - ألياف الجوت - التوافق الكيميائي.

## Table des matières

Résumé

Remerciements & Dédicace

Table des matières

Liste des figures tableaux

Liste des figures

# Introduction General

## CHAPITRE I

Synthèse bibliographique

1. Construction en terre ……3

1 .1. Historique : ……3

1 .2. Le matériau terre : ……5

1.3. La construction de terre dans le monde : ……6

1.4. La construction de terre dans le Yemen : ……7

2. Composite cimentaires renforcées avec des fibres naturelles : ……8

2.1. Types de ciments : ……9

2.2. Matériaux destinés aux éléments structuraux : ……10

2.3. Matériaux destinés aux éléments non structuraux : ……10

3. Les avantages de la construction en terre : ……12

4. Stabilisation des sols : ……13

4.1. Stabilisation mécanique : ……13

4.2. Stabilisation physique……13

4.3. Stabilisation chimique ……14

5. Brique de terre compressée (BTC) : ……14

6. Les fibres végétales : ……15

6.1. INTRODUCTION : ……15

6.2. Composition : ……15

6.3. Diffèrent type de fibre végétale : ……16

a. Fibres de jute : ……16

b. Fibres de chanvre : ……17

c. Fibres de sisal : ……17

d. Fibres de lin : ……18

e. Fibres de ramie : ……18

f. Fibres d'Alfa : ……19

g. La Récolte De l'Alfa : ……19

h. Sarments de vigne : ……20

6.4. Influence des fibres végétales sur propriétés mécaniques des BTC : ……21

a. Résistance à la compression : ……21

b. Résistance à la traction par flexion : ……22

6.5. Influence des fibres d'alfa sur les propriétés thermique : ……23

7. Traitements des fibres végétales : ……23

7.1. Traitement physique : ……23

7.2. Traitement chimique : ……24

7.3. Traitement thermique : ……25

8. Synthèse : ……25

**Chapitre II** : Matériaux utilisés et méthodes expérimentales……26

1. Introduction : ……27
2. Matériaux utilisés : ……27

2.1. Le sol : ……27

a. La Teneur En Eau : ……27
b. La masse volumique : ……27
c. Analyse granulométrique : ……29
d. Limites d'Atterberg : ……27

2.2. Le Sable : ……30

a. Equivalent sable : ……32
b. Masse Volumique : ……32
c. Analyse granulométrique du sable : ……33
d. Module de finesse d'un sable (MF): ……34

2.3. Ciment : ……35

a. Définition……35
b. Constituants : ……35
c. Hydratation du ciment portland : ……36
d. Prise du ciment norme EN 196-3 : ……37
e. Consistance normale : ……37
f. Finesse de mouture : norme NF EN 196-6 ……37
g. Caractéristiques Chimiques du ciment : ……37
h. Les caractéristiques physiques du ciment : ……38
i. Résistance réelle : ……38

2.4. Eau de gâchage : ……38
2.5. Fibres végétales : ……38
a. La fibre d'alfa……38
b. Les fibres de vigne : ……39
c. Traitement des fibres : ……40
3. Formulation des BTC : ……41
3.1. Malaxage et Compactage des BTC (NF94-093) : ……41
3.2. Confection et conservation des éprouvettes : ……41
a. Préparation des éprouvettes : ……41
b. Composition des BTC……43
c. Démoulage et conservation des éprouvettes : ……44
4. Protocol expérimental : ……44
4.1. Résistance mécanique à la compression (NF P 15-471) : ……44
4.2. Essai traction par flexion (Norme NF P 18 – 407) : ……45
4.3. Essais de durabilité **:**……45
4.4. Essai d'érosion : ……46
4.5. Essai de vieillissement (gonflement) ……46
5. Conclusion……47

**Chapitre III** : Résultats et interprétation……46

1 :Introduction ……**Error! Bookmark not defined.**

1.1 :Influence fibres d'alfa et de sarments de vigne sur les propriétés mécaniques des BTC ……**Error! Bookmark not defined.**

1.1.1 Résistance à la compression :……**Error! Bookmark not defined.**

1.1.2 Résistance à la traction par flexion :……50

1.2 Influence fibres d'alfa et de sarments de vigne sur la durabilité des BTC :……51

1.2.1 Essai d'érosion « Essai de douche » :……51

1.2.2 Essai de vieillissement (gonflement) :……52

Conclusion général ……54

## Symboles et unités

ES : équivalent de sable(%)

ɣ : taux d'absorption de fibre d'alfa(%)

M(h) : la masse humide (g)

M(s) : la masse sèche(g)

*W* : Teneur en eau pondérale d'un matériau(%)

md : la masse des grains solides(g)

mw : la masse de l'eau évaporée lors de l'étuvage(g)

*Wat :* Teneur en eau naturelled'un matériau(%)

**ρ** : la masse volumique (**g/cm3)**

d : la densité

$W_l$ : Limite de liquidité(%)

$W_p$ *: Limite de plasticité*(%)

Ip : Indice de plasticité(%)

Ic : Indice de consistance (%)

**б**: la contrainte normale de traction

n : La porosité totale d'un matériau poreux(%)

Vv : volume des vides

Vt : le volume total de l'échantillon

Wmax : la teneur en eau maximale (%)

Rc : Résistance à la compression (Mpa)

Rt : La Résistance à la traction par flexion (Mpa)

λ: La Conductivité thermique des BTC(X/m.k)

R : coefficient corrélation

**Liste des tableaux :**

Tableau II.1 : Séries de tamis employés pour la détermination du module de finesse du sable……..32

Tableau II.2 : Caractéristiques physiques du sable utilisé……35

Tableau II.3 : Caractéristiques chimiques du CPJ CEM II/A 42……..38

Tableau II.4 : Caractéristiques physiques du CPJ CEM II/A 42.5……..38

Tableau II.5 : Composition des BTC à base de fibres de tiges de vigne……..44

**Liste des figures :**

Fig. I.1 : Jéricho (Palestine), PPNB, tranchée III, phase IX, xviii. Architecture de briques modelées à empreintes de doigts (d'après Kenyon 1981, pl. 263c)……4

Fig. I.2 : La construction en terre dans le monde……6

Fig. I.3 : Réalisation de travaux d'entretien pour préserver les bâtiments en torchis de Shibam……8

Fig. I.4 : Fibres végétales et matrices commentaires……9

Fig. I.5 : Type de briques……11

Fig. I.6 : Brique de terre comprimée……14

Fig. I.7 : Composition d'une de la fibre végétale……16

Fig. I.8 : fibre de jute……16

Fig. I.9 : Fibres de chanvre……17

Fig. I.10 : Fibres de sisal……18

Fig. I.11 : Fibres de lin……18

Fig. I.12 : Fibres de ramie……19

Fig. I.13 : Fibres d'alfa……19

Fig. I.14 : Récolte d'alfa……20

Fig. I.15 : Sarments de vigne……22

Fig. I.16 : Les courbes de la résistance à la compression en fonction de la teneur et la longueur des fibres……22

Fig. I.17. Variation de la résistance à la flexion en fonction de la teneur en paille d'orge hachée ……23

Fig. II.1. Sol utilisé……27

Fig. II.2. Tamiseuse……29

Fig. II.3. L'analyse granulométrique par sédiment métrie……30

Fig. II.4. Limites d'Atterberg……31

Fig. II.5. Boite de Casa grande et la plaque de verre. ……31

Fig. II.6. Tamiseuse électrique……33

Fig. II.7. L'analyse granulométrique par tamisage……34

Fig. II.8. Analyse granulométrique du sable utilisé……34

Fig. II.9. Différentes réactions du ciment avec l'eau……36

Fig. II.10. Les fibres d'alfa……39

Fig. II.11. Préparation de solution……40

Fig. II.12. Traitement à la résine des fibres de tige de vigne et de vigne……41

Fig. II.13. Malaxeur……42

Fig. II.14. Préparation des éprouvettes……42

Fig. II.15. Compacte des éprouvettes……43

Fig. II.16. Conservation des éprouvettes……44

Fig. II.17. Essai de compression……45

Fig. II .18: Essai traction par flexion. ……45

Fig. II .19: Dispositif d'érosion……46

Fig. III.1 : Résistance à la compression des BTC à base de fibres d'alfa et de sarment de vigne……**Error! Bookmark not defined.**

Fig. III. 2: Résistance à la traction des BTC à base de fibres d'alfa et de sarment de vigne ……50

Fig. III.3 : Taux d'absorption d'eau BTC à base de fibres d'alfa et de sarments de vigne…… 52

Fig. III.4 : Gain de masse des BTC couvertes de l'enduit 1 pendant le gonflement dans l'acide sulfurique……53

Fig. III.5 : Gain de masse des BTC couvertes de l'enduit 2 pendant le gonflement dans l'acidesulfurique.....53

Fig. III.6 : Aspect visuel des BTC couvertes de l'enduit 1 et l'enduit 2 pendant le gonflement dans l'acide sulfurique.....54

Fig. III.7 Gain de masse des BTC couvertes de l'enduit 1 pendant le gonflement dans le sulfate de sodium .....54

Fig. III.8 : Gain de masse des BTC couvertes de l'enduit 2 pendant le gonflement dans le sulfate de sodium.....55

Fig. III.9 *:* Aspect visuel des BTC couvertes de l'enduit 1 et l'enduit 2 pendant le gonflement dans le sulfate de sodium.....55

# *INTRODUCTION GENERAL*

# *INTRODUCTION GENERALE*

# *INTRODUCTION GENERAL*

Les dechets de differentes sources sont a l'origine de divers problemes environnementaux lies a leur stockage et leurs quantites croissantes. Par ailleurs, les materiaux de construction traditionnels d'origine naturelle sont confrontes, a terme, a l'epuisement. n est done important de penser a !'elaboration de materiaux composites a agregats artificiels ou recycles provenant de dechets industriels et agricoles . Ce type de materiaux repond aux exigences economiques et environnementales. Dans le secteur du batiment, !'exploitation et la valorisation des dechets industriels ainsi que des coproduits agricoles ont donne lieu a un certain nombre de travaux de recherche sur de nouveaux materiaux composites [1-3]. La caracterisation mecanique de composites incorporant des matieres renouvelables tels que les coproduits issus de !'exploitation agricole (lin, chanvre, coco, jute, palmier ... ) en qualite d'agregats, sous forme de particules, ou de fibres, dans une matrice cimentaire de mortier ou de beton a fait l'objet de nombreuses publications [ 4-6]. Cette valorisation des agroressources constitue une solution d'un grand interet par rapport a leur elimination par brfilage sur place. De plus, ces composites sont caracterises par une densite relativement faible par rapport aux materiaux traditionnels et presentent plusieurs interets d'applications potentielles, telles que !'isolation thermique ou !'isolation acoustique. En revanche, ils peuvent presenter une certaine sensibilite a l'eau et une instabilite dimensionnelle tels que le retrait et le gonflement en service ou en presence d'un environnement humide [7]. Ainsi, pour ameliorer les performances des composites renforces par des fibres vegetales, plusieurs approches ont ete etudiees y compris !'impregnation des fibres ou particules avec un agent hydrofuge [8]. Neanmoins, !'incorporation de residus issus du vegetal dans une matrice cimentaire necessite dans certains cas un traitement chimique ou physique et parfois les deux. L'incompatibilite entre les deux materiaux se manifeste par un ralentissement de la reaction d'hydratation du a la composition de la fraction vegetale. La partie lignocellulosique presente, en effet, un pouvoir inhibiteur vis a vis des reactions d'hydratation du ciment, par reduction de la cinetique et de la temperature d'hydratation, ce qui engendre un retard de prise. Ce phenomene freine le developpement des proprietes mecaniques du composite. C'est pourquoi, !'incorporation de particules issues du vegetal

dans des betons OU des mortiers de ciment est limitee [9,10]. Cette incompatibilite chimique est en general attribuee a la quantite de matieres lignocellulosiques contenues dans la partie vegetale, tels que les terpenes, les acides gras, la lignine et les sucres. L'inhibition se produit essentiellement lorsque le silicate de calcium hydrate, site des nucleations sur les surfaces a l'origine chargees positivement, se retrouve en presence d'anions d'acide gras et la lignine [11]. Plusieurs etudes [l, 5, 7, 12], ont ete menees dans le but de minimiser les effets nefastes de cette fraction lignocellulosique sur l'hydratation des ciments. Les resultats de ces etudes ont montre qu'il est possible de controler ces effets negatifs et d'ameliorer ainsi certaines proprietes mecaniques des composites a matrice cimentaire, moyennant un traitement approprie de la partie vegetale.

L'objectif principal de ce travail est d'etudier l'utilisation potentielle de fibres de jute comme additif de renfort a un mortier de ciment afin de proposer une solution alternative au renforcement par fibres synthetique ou fibres d'acier. Les fibres de jute ont été utilisees par substitution massique partielle du sable dans la compositiondu mortier, a des taux de 0.5%, 1 %, 1.5% et 2% par rapport a un mortier de reference a 0% de fibres. L'effet inhibiteur qui correspond a l'incompatibilite chimique entre les fibres de jute et le ciment Portland a ete evalue en examinant la cinetique d'hydratation et de durcissement du materiau [ 1]. Complementairement, un programme d'essais experimental , a ete realise pour etudier les proprietes des composites a l'etat frais et a l'etat durci dont, la maniabilite, la teneur en air occlus, la masse volumique et les resistances mecaniques a la compression et a la flexion.

# 1. Construction en terre

## 1 .1. Historique :

Avec les premières sédentarisations qui ont lieu au Proche-Orient dès 14000 av. J.-C., les abris sous roche laissent la place à des installations en plein air. Les premières sont des huttes circulaires semi-enterrées aux parois enduites de terre, l'élévation étant faite de clayonnages enduits de terre eux aussi et les poteaux porteurs sont souvent fixés grâce à des mottes d'argile.

Dès le IXe millénaire av. J.-C., une nouvelle étape fondamentale est atteinte : on utilise un matériau en couches (pierres ou terre) pour construire un mur porteur. La terre seule peut désormais devenir l'élément porteur, sous forme tout d'abord de mottes de terre encore humide empilées directement sur le mur. De nombreux sites (par ex. Jéricho, Aswad, au Levant mais également Nemrik et Qermez Dere en Iraq) ont fourni des architectures semi-enterrées à élévation de terre empilée. L'étape suivante sera d'utiliser des matériaux préfabriqués (craie taillée ou briques séchées au soleil) liaisonnés avec de la terre. Il semble que ces différentes étapes – huttes semi-enterrées à élévation de clayonnage avec mottes d'argile, puis avec élévation de terre empilée et enfin élévation de matériaux préfabriqués (briques, blocs de craie taillée ou pierre) – représentent des stades techniques que l'on peut relever en différent points du Proche-Orient à des époques différentes mais toujours lors d'installations humaines nouvelles. **[10]**

La terre empilée pour l'élévation des murs semble avoir été moins utilisée à partir du moment où furent inventées les briques. Elle ne fut cependant pas entièrement abandonnée et on en trouve de nombreux exemples pendant tout le Néolithique proche-oriental, plus particulièrement dans les régions orientales (Iraq et Iran). On notera également que cette technique est beaucoup plus difficile à reconnaître en fouille (en particulier pour les périodes très anciennes qui nous intéressent ici). On peut donc penser que les attestations recensées sont sous-représentées par rapport à la réalité ancienne. Les premières briques apparaissent donc au Proche-Orient vers 9000 av. J.-C. (Jéricho, Aswad, Gesher, Netiv Hagdud, Nemrik, M'lefaat, Ganj Dareh et Ali Kosh : fig. 1). Elles

sont faites à partir de « terre-à-bâtir », mélange d'argile, d'eau et le plus souvent d'un dégraissant végétal (balle de grain ou paille hachée).

Ce mélange est ensuite façonné avec les mains pour obtenir des éléments de forme variable (en galette, en cigare, etc.), qui sont laissés à sécher au soleil avant d'être agencés sur le mur à l'aide d'un mortier d'argile dont la composition est proche de celle des briques. L'intérêt de la technique des éléments préfabriqués est évidemment d'éviter le temps de séchage nécessaire entre chaque couche de terre empilée. On note souvent, sur la surface supérieure de ces premières briques modelées, des empreintes de doigts destinées, selon toute vraisemblance, à faciliter l'adhérence du mortier.

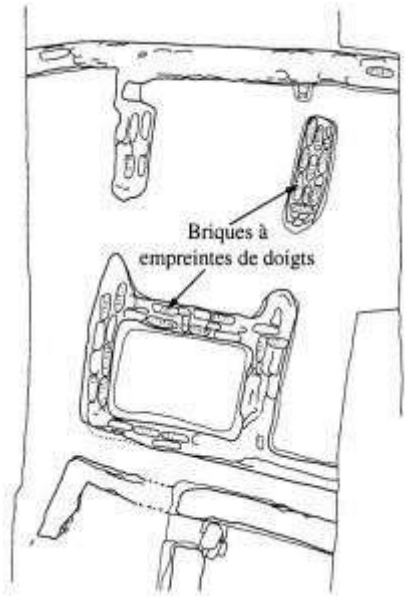



**Fig. I.1 :** Jéricho (Palestine), PPNB, tranchée III, phase IX, xviii. Architecture de briques modelées à empreintes de doigts (d'après Kenyon 1981, pl. 263c)

Il est possible de retracer en plusieurs points du Proche-Orient la genèse de l'architecture de terre : il semble qu'elle ait eu lieu en différents endroits de façon autonome et plus ou moins simultanée. Pour la brique, le premier foyer d'invention identifié est le Levant Sud (Jéricho, Munhata, Aswad, etc.). On y relève, dès le départ, une grande diversité des formes des briques modelées (briques en cigare à Jéricho, briques en galette à Munhata, etc.). Un deuxième foyer, contemporain, regroupe les sites du moyen Tigre iraquien (M'lefaat, Nemrik, Ginnig). Un troisième foyer est constitué par le Sud-Ouest de l'Iran

(Ganj Dareh, Ali Kosh, Guran, Choga Sefid). Il semble légèrement postérieur mais on y trouve également toute la genèse de l'invention de la brique. Le cas du moyen Euphrate (Gritille, Cafer Hüyük) reste plus problématique. Les attestations, notamment de briques, y sont plus récentes et on n'y trouve pas de façon aussi claire les différentes étapes de la genèse de l'invention. Il est possible qu'il y ait eu la diffusion de l'invention à partir soit du Levant sud soit du moyen Tigre. Par contre, il est assuré que la brique s'est ensuite diffusée à partir du moyen Euphrate, à travers le Taurus, vers l'Anatolie centrale car cela s'est fait avec tout le bagage néolithique (sédentarisation, élevage, agriculture, etc.). **[11]**

## 1 .2. Le matériau terre :

La terre est un matériau largement utilisé dans le monde pour la construction que ce soit sous forme de clayonnage, de hourdis de torchis, de terre massive empilée ou bauge, de pisé moulé entre des banches ou encore de briques séchés au soleil ou cuites au four (pour la définition de ces différents termes, voir par exemple Aurenche et al. 2011 et Perello 2015 sur ce blog). **[12]**

La terre possède en effet de nombreux atouts comme matériau de construction :

- Elle se trouve partout, avec une extraction et un transport faciles
- Ses modes de mise en œuvre sont simples et non coûteux et peuvent être réalisés pour l'habitat rural par des non spécialistes
- C'est un très bon isolant thermique
- Elle présente de bonnes capacités de résistance à la pression
- Elle permet une très grande variabilité des solutions techniques et décoratives
- La brique cuite, enfin, a une résistance proche de celle de la pierre pour un mode de mise en œuvre plus facile (mais nécessite une grande quantité de combustible qui est nocif pour l'environnement).

## 1.3 . La construction de terre dans le monde :

Les bâtiments en terre fournissent un abri à plus d'un tiers de la population mondiale. Des lieux aussi particuliers tels que monté dans les figures ci-dessous (Figure I.2), représentent environ 10% des sites inscrits sur la liste du patrimoine mondial.

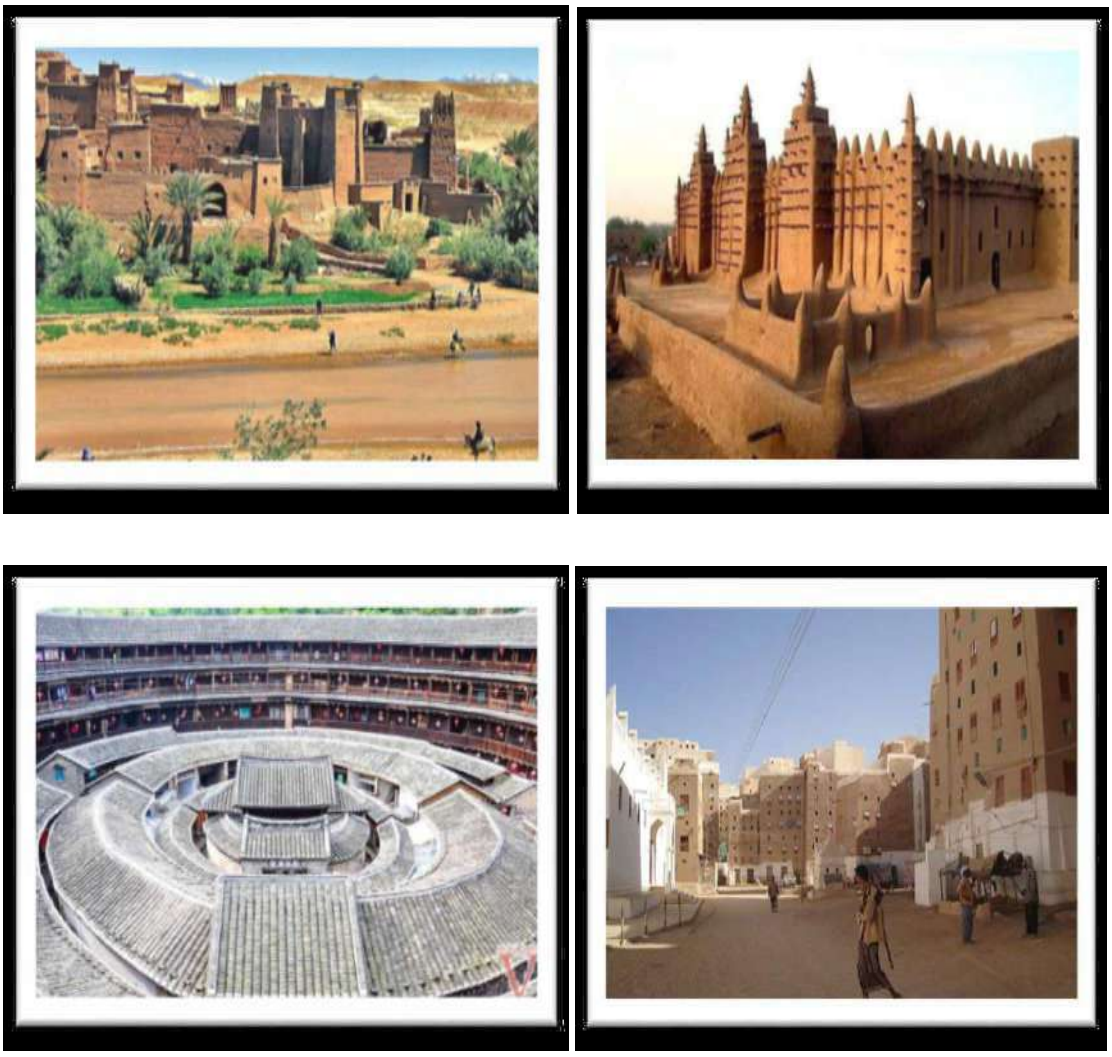


**Fig . I.2.** : La construction en terre dans le monde

## 1.4. La construction de terre dans le Yemen :

Au cœur de la vallée du Wadi Hadramaout, au Yémen, une cité de grattes-ciels en torchis s'élève au-dessus du sol du désert, un modèle d'adaptabilité humaine aux environnements les plus extraordinaires. **[13]**

En bordure d'une étendue de désert désolée connue sous le nom de « Quart Vide », Shibam, ville fortifiée datant du 17ème siècle, reste la plus ancienne métropole du monde construite à la verticale. En 1930, l'exploratrice britannique Freya Stark avait même baptisé la cité de « Manhattan du désert » lors de son passage en caravane sur la route des épices et de l'encens au nord de l'Arabie.

Chaque aspect de l'architecture de Shibam est stratégique. Perchée sur un éperon rocheux entouré du lit gigantesque d'un oued inondé, sa position élevée la protège des inondations tout en préservant une proximité avec sa principale source d'eau et d'agriculture. La ville a été fondée sur une grille rectangulaire à l'arrière d'un mur fortifié, une construction défensive qui protégeait ses habitants des tribus rivales et offrait un point de vue élevé à partir duquel il était possible de voir les ennemis approcher. Ces grands immeubles en torchis, qui s'élèvent jusqu'à sept étages, ont été bâtis à partir du sol fertile entourant la ville. Les briques ont été fabriquées à partir d'un mélange de terre, de foin et d'eau puis ont été cuites au soleil pendant des jours. Les rez-de-chaussées sans fenêtres étaient utilisés pour le bétail et le stockage du grain, tandis que les niveaux supérieurs servaient généralement d'espaces communs pour sociabiliser. Les passerelles ainsi que les portes communicantes entre les bâtiments étaient conçus de manière à permettre une évacuation rapide, une autre des caractéristiques impressionnantes de défense de la ville.

Les structures sont constamment menacées par le vent, la pluie et l'érosion thermique et nécessitent un entretien régulier. En 2008, un cyclone tropical a inondé Shibam, endommageant plusieurs structures et menaçant de renverser ses tours de terre**[14]**



**Fig .I.3 :** réalisation de travaux d'entretien pour préserver les bâtiments en torchis de shibam

## 2. Composite cimentaires renforcées avec des fibres naturelles :

Les préoccupations économiques et environnementales liées au recyclage et aux besoins en éco-matériaux conduisent à explorer des matières premières jusque-là destinées à d'autres applications. Ceci est le cas pour le lin, matière abondante et de très bonne qualité en Normandie, Actuellement, il est surtout exporté en Chine ou en Italie, et transformé dans l'industrie textile. La valorisation de cette matière naturelle est à l'ordre du jour dans le cadre de plusieurs projets nationaux dont LINT-Lin Technique normand pour l'intégration du lin dans les matériaux composites. **[15]**

Dans le monde entier, un intérêt de plus en plus croissant est porté sur la fabrication des matériaux de construction incorporant des fibres végétales. Du point de vue matériau de construction, le lin est utilisé sous plusieurs formes : fibres, anas, etc. Les applications se situent principalement dans le domaine des bétons afin d'améliorer les propriétés mécaniques, thermiques et d'isolation phonique. Les matériaux incorporant des fibres végétales sont font partie de l'ensemble générique appelé agro-matériaux. L'élaboration de composites cimentaires avec des végétaux dépend d'un certain nombre de paramètres telles que les proportions du mélange, les méthodes de malaxage, de manipulation et de mise en place qui s'avèrent très influentes sur les propriétés des composites à l'état frais et à l'état durci. **[16]**



Fibres végétales et matrices cimentaires

## 2.1. Types de ciments :

Si le procédé de fabrication du ciment est universel, le matériau n'en demeure pas moins complexe, avec six grands types dont la composition (nature et proportions des constituants) varie en fonction de l'application de destination du matériau. Ils sont définis dans la norme produit européenne **NF EN 197-1**, **[1]** et leur répartition est brièvement présentée ci-dessous avec l'annotation conventionnelle des constituants entre-parenthèses. **[17]**

- ***Le CEM I ou ciment Portland :*** contient au moins 95 % de clinker (K) et au plus 5% de constituants secondaires. Les CEM I conviennent pour le béton armé ou le béton précontraint, là où une résistance élevée est recherchée ainsi qu'un décoffrage rapide.

- ***Le CEM II/A ou B ou ciment Portland composé :*** contient au moins 65% de clinker (K) et au plus 35 % d'autres constituants secondaires : laitier de haut-fourneau (S), fumée de silice (D)(entre 6 et 10 %, pouzzolane naturelle (P), cendres volantes siliceuses (V), schiste calciné (T) et calcaire (L ou LL). Les CEM II sont adaptés pour le béton armé en général, coulé sur place ou préfabriqué, ainsi que pour des travaux massifs exigeant une élévation de température modérée

ou encore pour des travaux exigeant des résistances initiales élevées (classe R).

- ***Le CEM III/A, B ou C ou ciment de haut-fourneau*** : contient entre 36 et 80 % de laitier de haut-fourneau (S) et 20 à 64 % de clinker (K). Le CEM III/ C (également dit ciment de haut-fourneau) contient au moins 81 % de laitier de haut fourneau (S) et 5 à 19 % de clinker (K)

- **Le CEM IV/A ou B est un ciment pouzzolanique**
- ***Le CEM V/A ou B ou ciment pouzzolanique au laitier*** : contient de 20 à 64 % de clinker (K), de 18 à 49 % de laitier de haut fourneau (S) et de 18 à 49 % de cendres volantes siliceuses (V). Les CEM III, CEM V qui comportent du laitier de haut-fourneau sont bien adaptés aux travaux hydrauliques souterrains, aux fondations, aux travaux en milieu agressif, aux travaux à la mer, aux bétons de masse et généralement à tout travaux nécessitant une faible chaleur d'hydratation. Leur utilisation permet de réduire les émissions de CO2 grâce à la substitution du clinker par d'autres constituants.

## 2.2. Matériaux destinés aux éléments structuraux : [18]

- Les Bétons Prêts à l'Emploi.
- Le béton armé
- Le béton fibré
- Le béton précontraint
- Les Bétons Hautes Performances.
- Le béton projeté
- Les bétons auto-compactant, auto-plaçant et auto-nivelant.
- Les bétons caverneux, drainant et poreux

## 2.3. Matériaux destinés aux éléments non structuraux : [19]

- Briques cuites
- Eléments préfabriqués

- La brique rouge. La brique, également appelée brique pleine, est très utilisée pour la construction de maison.
- La brique Creuse.
- La brique de parement.
- La brique réfractaire.
- La brique de verre.



**Fig. I.5 :** Types de briques

## 3. Les avantages de la construction en terre :

Si investir dans l'écoconstruction est plus lourd qu'une construction dite « classique », votre investissement est rapidement amorti par les économies d'énergie réalisées et les aides que vous pouvez obtenir, Une éco-habitation ou habitation écologique respecte à la fois l'environnement et les principes du développement durable. Elle doit concilier l'économie, l'environnement et le social. Il s'agit d'atteindre le meilleur équilibre possible entre l'homme et son lieu de vie. Construire une éco-habitation implique de respecter le milieu écologique à chaque étape de la construction et de l'utilisation. Pour cela, on utilise des ressources peu transformées, locales et saines, L'un des objectifs d'une écoconstruction est de limiter au maximum la consommation d'énergie. Mais attention ! Une maison BBC ou Bâtiment Basse Consommation, comme une maison HQE ou Haute Qualité Environnementale, ne sont pas forcément éco-construites. Même si elles respectent la plupart des critères, une isolation par laine minérale ou un chauffage au fuel leur enlèvent la qualification d'écoconstruction. Pour obtenir cette appellation, la maison doit consommer moins d'énergie sur l'année qu'elle n'en produit, Pour économiser les énergies, respecter la santé des occupants ainsi que l'environnement, des normes précises sont élaborées. Depuis la 1er janvier 2013, la Réglementation Thermique 2012 (RT 2012) impose une architecture plus compacte, une analyse de l'orientation afin de profiter au maximum de la lumière naturelle et de l'ensoleillement, la présence d'espaces « tampons » au nord comme un garage ou un cellier ainsi qu'une isolation thermique efficace. **[20]**

En choisissant une écoconstruction, on travaille sur le long terme et on valorise le patrimoine y compris dans le cas d'une revente. Mais on prévient également l'augmentation des factures en divisant au moins par deux la consommation d'énergie. Une écoconstruction utilise des matériaux propres comme le bois et permet de faire baisser la consommation d'énergie jusqu'à 80 % tout en augmentant le confort de ses habitants.

En se basant sur le patrimoine mondial des traditions de construction en terre crue, on recense un grand nombre de techniques de construction en terre crue, avec de nombreuses variantes selon les propriétés géotechniques de la terre. **[21]**

- La bauge,
- Le torchis,
- Terre-paille,
- Les adobes,
- Les adobes,
- Le pisé.

## 4. Stabilisation des sols :

La stabilisation des sols regroupe l'ensemble des techniques permettant d'améliorer les caractéristiques physicochimiques, mécaniques et hydriques des sols. Elle doit permettre : **[22]**

- La réduction de la porosité ;
- La diminution du retrait et gonflement ;
- L'obtention d'une meilleure cohésion ;
- L'obtention de meilleures résistances à la compression sèche et humide, à la traction et au cisaillement.

### 4.1. Stabilisation mécanique :

La stabilisation mécanique est pratiquée lorsqu'on procède à la densification d'un sol par compactage. Elle a pour effet la diminution de la porosité de la terre. Le compactage permet d'obtenir un matériau aux caractéristiques mécaniques élevées, malgré ça, c'est un moyen de stabilisation généralement associé à d'autres méthodes telles que la stabilisation chimique. Il est le plus souvent influencé par trois caractéristiques : le mode, l'énergie et la granularité de la terre. **[23]**

### 4.2. Stabilisation physique [24]

On distingue deux manières de procéder à une stabilisation physique :

- Modification des propriétés des sols pour une amélioration des caractéristiques du matériau par correction de la granularité par l'ajout de sable, ou l'ajout des Fines.

- Ajout de fibres végétales a des terres argileuses. Cela renforce la structure du matériau en l'empêchant de se fissurer au moment du retrait de l'argile lors du séchage.

### 4.3. Stabilisation chimique

La stabilisation chimique modifie les caractéristiques de la terre à l'aide de certains ajouts, on a souvent recours à l'adjonction de liants hydrauliques (ciment, chaux et bitume) ou de produits chimiques, rendant les sols traités moins hydrophiles. De nombreux stabilisants chimiques existent et apportent diverses améliorations à la terre selon leur propriété. **[25]**

## 5. Brique de terre compressée (BTC) :

Les blocs de terre comprimée sont produits par la compression de terre crue dans une presse mécanique. La terre est compressée entre deux plateaux qui se rapprochent lentement. Cette compression permet de soustraire l'air dans le bloc afin de l'imperméabiliser et d'augmenter sa résistance. Selon l'universitaire algérienne Ouahiba Mostefaï, spécialiste de la construction de terre, la brique de terre compressée est une brique qui consomme moins d'énergie que le béton armé et n'est autre que la dérivée de l'adobe, l'un des premiers matériaux utilisés par l'être humain et si répandue en Algérie. Fabriquée à partir d'argile tamisée, comprimée alors qu'elle est encore humide puis démoulée, elle sèche naturellement au soleil. Présente sur les cinq continents, elle coûte peu et son bilan énergétique est excellent. Le retour à ce patrimoine permet sa préservation et des économies d'énergie car offrant une très faible déperdition thermique. **[26]**



**Fig. I.6 :** Brique de terre comprimée

# 6. Les fibres végétales :

## 6.1. INTRODUCTION :

Les fibres végétales sont des matériaux filamenteux issus de la biomasse. Elles peuvent être extraites du fruit, de la tige ou de la feuille d'une plante cultivée, des arbustes et des herbes. Susceptibles d'être filées pour fabriqués des fils et des cordes, elles sont tissées, tricotées ou tressées pour confectionner des textiles. La fibre végétale présente une variabilité importante en fonction de leur origine.

En effet, les dimensions des filaments végétales dépendent de l'état de maturité et aussi des condit ions environnementales de croissance de la plante. La variabilité du diamètre peut-être très importante le long de la même fibre végétale. **[27]**

Les fibres végétales sont également caractérisées par la diversité de l'épaisseur de leur paroi cellulaire résultant de la porosité fibreuse **[28].** La forme morphologique de la fibre végétale peut également être un facteur important dans la compréhension du transfert de contrainte aux interfaces fibre-matrice **[29].**

## 6.2. Composition :

La fibre végétale est un composite en elle-même. Le renfort est constitué par les couches de micro-fibrilles cellulosiques en partie cristalline. Ce dernier est enrobé d'une matrice polysaccharidique amorphe (hémicellulose et pectine) qui est associée par liaison hydrogène et covalentes à la lignine. La fibre végétale est composée de plusieurs parois parallèles à l'axe de la fibre et disposée en couche superposée dans le sens radiale. Ces différentes couches qui forment la lamelle mitoyenne, la paroi primaire et la paroi secondaire. Ces dernières bordent un lumen de diamètre variable suivant l'espèce. La paroi secondaire est composée de trois couches de micro-fibrilles. **[30]**

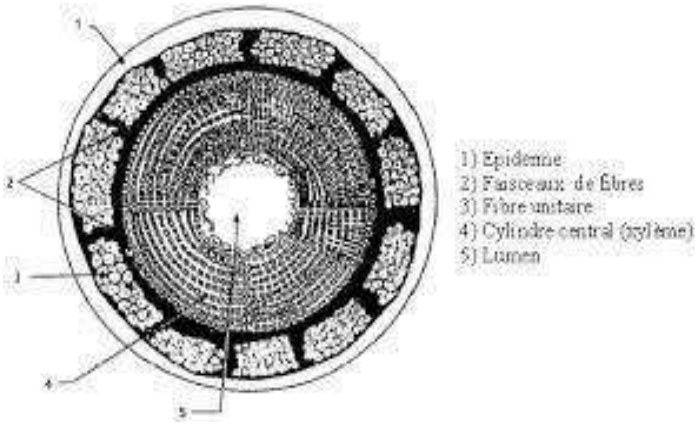



**Fig. I.7 :** Composition d'une de la fibre végétale

## 6.3. Diffèrent type de fibre végétale :

### a. ***Fibres de jute :***

Le jute sont des arbustes de 2 à 4 m de haut, à tige rigide et fibreuse de 2 cm de diamètre environ, et ramifiée seulement dans la partie supérieure. Les feuilles, longuement pétiolées, à limbe triangulaire font 10 à 15 cm de long sur 5 cm de large. Le Jute se situe en sud-est asiatique. Les principaux producteurs sont l'inde, le Bangladesh et la chine. Les composites à matrice thermoplastique renforcée par des fibres de jute ont été utilisés dans l'industrie en Allemagne pour fabriquer les portes en panneaux composites **[31]**



**Fig. I.8 :** fibre de jute

La fibre de jute est utilisée par les tireurs d'élite pour créer un filet de la forme d'un vêtement. Ce type de vêtement de camouflage est appelé une Ghillie. Diverses recherches ont été réalisées sur ces composites, ces

études ont porté notamment sur la stabilité thermique, la cristallinité, la durabilité, l'orientation des fibres, le frottement à l'usure, et l'éco conception des composants automobiles.

***b. Fibres de chanvre :***

Le chanvre est une variété de plante cultivée. C'est une plante annuelle de la famille Cannabis. Les principaux producteurs sont la France et l'Italie.




**Fig. I.7 :** Fibres de chanvre

Cependant les fibres de Chanvre sont très recherchées comme renfort dans les composites à matrice thermoplastique à cause de sa grande rigidité et de son intérêt économique. Elles sont appliquées dans les structures internes, les pièces automobiles et les matériaux de construction. **[32]**

**c. Fibres de sisal : [33]**

Le sisal est le nom de la fibre extraite des feuilles d'une plante appelée l'Agave Constituée par une rosette de grandes feuilles à section triangulaire allant jusqu'à 2m de Long **(Figure I.9).** L'originaire de l'est du Mexique, cette fibre sert à la fabrication de Cordage, de tissus grossiers et de tapis.



**Fig. I.9 :** Fibres de sisal

**d. Fibres de lin :**

Le lin est une plante cultivée dans les régions tempérées. Il se présente sous l'aspect d'une tige unique pouvant atteindre une hauteur voisine de 1m pour un diamètre de l'ordre de 2 mm. Sur cette tige se répartissent 80 à 100 feuilles simples.



**Fig. I.10 :** Fibres de lin

La fibre de lin est la plus ancienne au monde, elle est trouvée dans la grotte de Géorgie, les pays Asiatique centrale et l'Egypte (**Figure I.9**).La fibre de lin est parmi l'une les fibres naturelles utilisée comme renfort dans les composites à matrice thermoplastiques pour les structures internes dans l'industrie automobile. En 1941, ces composites ont été utilisés pour fabriquer les carrosseries des Voitures Henry Ford, pour avoir une résistance 10 fois plus élevée que l'acier sous l'impact **[34].**

**e .Fibres de ramie :**

Le nom scientifique de la Ramie est Boehmerianivea. C'est une plante vivace herbacée de 1m à 2,5 m de haut, avec des feuilles de forme de cœur, de 7 à 15 cm de longueur et de 6 à 12 cm de large et de couleur blanches sur la face inférieure avec des petits poils denses.




**Fig. I.11 :** Fibres de ramie

Aujourd'hui, la ramie est principalement cultivée en Chine, Brésil, Philippines, Inde, Corée Du Sud, Thaïlande et États-Unis d'Amérique. Les fibres de ramie ont une longueur moyenne comprise entre 40 et 250 mm, un diamètre moyen de 45µm. Ces fibres sont utilisées comme renforts dans les composites à matrice polyester, époxy et polypropylène.

## F. 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 notamment dans les milieux arides et semi arides, elle délimite le désert, là où l'Alfas 'arrête. **[35]**

La fibre d'alfa est généralement employée dans la fabrication du Papier de haute qualité mais aussi utilisée pour la fabrication de cordages, d'espadrilles, de Tissus grossier, tapis et panier. Les principaux producteurs sont :



**Fig. I.12 :** Fibres d'alfa

- Algérie (4.000.000 ha),
- Maroc (3.186.000 ha),
- Tunisie (600.000 ha),
- Lybie (350.000 ha),
- Espagne (300.000 ha).

## g.La Récolte De l'Alfa :

L'Alfa se récolte après la maturation des graines, c'est-à-dire, à partir de juillet-août. La récolte commence par l'enlèvement des feuilles uniquement à la main, par arrachage, suivant la pratique adoptée depuis toujours, soit en enroulant les feuilles autour d'un bâton court, soit en se garnissant la main d'une tige de métal.




**Fig. I.13 :** Récolte d'alfa

Le javeleur saisit une poignée d'Alfa, l'enroule autour d'une tige métallique pour assurer sa prise et tire brusquement. Avec son pied il retient les racines pour les empêcher d'être arrachées en même temps

que les feuilles. Celles-ci sont liées en petites balles avec une tresse d'Alfa. Puis ces petites balles sont pressées pour constituer les grosses balles qui seront envoyées au centre de collecte. Ensuite, l'Alfa pesée sera stockée dans ces centres avant d'être transférée à l'usine, pour en extraire la pâte à papier en particulier

Aujourd'hui, il serait possible de mécaniser la récolte d'alfa, cependant, la voie de la mécanisation n'a pas été suivie, car d'un côté, la récolte manuelle fournit un revenu à quelques milliers de cueilleurs, et d'autre part, comme c'est une activité saisonnière, cela ne serait pas économiquement rentable, en plus de la difficulté d'accès et la topographie particulière des nappes alfatières. **[36]**

## 5. Sarments de vigne :

Deux tonnes par hectare. C'est en moyenne la quantité de bois taillé chaque année dans les vignes. S'ils peuvent être valorisés en dehors de la parcelle, les sarments ont avant tout un intérêt agronomique, lorsqu'ils sont restitués au sol**.** « Contrairement à ce que l'on pourrait croire, les bois ne sont pas essentiellement constitués de lignine mais de cellulose et d'hémicellulose, introduit **[37]** spécialiste du sol et directeur du laboratoire d'analyses biochimiques **[38]**. Ce point est intéressant lorsque l'on sait que ces deux macromolécules sont facilement dégradables. Elles vont servir de "nourriture" à des sols viticoles qui, bien souvent, manquent de matières organiques actives.



**Fig. I.14 :** Sarments de vigne

Dans l'année, 60 % de la matière constituant les bois de taille vont être minéralisés et consommés par **les** organismes du sol**.** Le reste va se transformer en humus, stocké dans le sol. Plus le sol est vivant, plus la dégradation des sarments sera rapide, car un sol riche en organismes divers consomme de la matière organique. » **[39]** les 2 tonnes de sarments restitués seraient même un minimum pour entretenir la vie du sol, surtout lorsque la parcelle n'est pas enherbée. « Et même sur une parcelle qui présente un enherbement permanent et poussant, je ne conseille pas d'exporter les bois de taille. Car si le couvert apporte de la matière organique facilement dégradable, il n'a qu'un faible impact sur le stockage d'humus. Laisser les bois de taille au sol tous les ans est une stratégie gagnante quelle que soit la situation**. »**

## 6.4. Influence des fibres végétales sur propriétés mécaniques des BTC :

La stabilisation des BTC, il a été confirmé maintenant que l'emploi des liants minéraux (ciment) et le bitume comme stabilisants améliore la résistance mécanique et l'insensibilité à l'eau des BTC **[40]** Mais la stabilisation des BTC par des fibres et en particulier les fibres végétales n'a pas eu le consensus de tous les chercheurs. Dans ce qui suit, on va passer en revue l'influence de la présence des fibres en générale et les fibres végétales en particulier, sur les propriétés mécaniques BTC.

### *a. Résistance à la compression :*

D'après la recherche publiée en **[41],** les auteurs se sont intéressés à la stabilisation d'un sol latéritique par des fibres d'hibiscus cannabiques (Kénaf), pour fabriquer des blocs de terre comprimée sans aucun stabilisant chimique. Les BTC ont été renforcés avec des teneurs en fibres de 0,2 à 0,8 % en poids et avec deux longueurs de fibres 30 mm et 60 mm. Les résultats montrent que la présence des fibres d'hibiscus cannabinus a amélioré les caractéristiques physiques et mécaniques des blocs. L'important effet a été observé avec le cas de 30 mm de longueur de fibre.

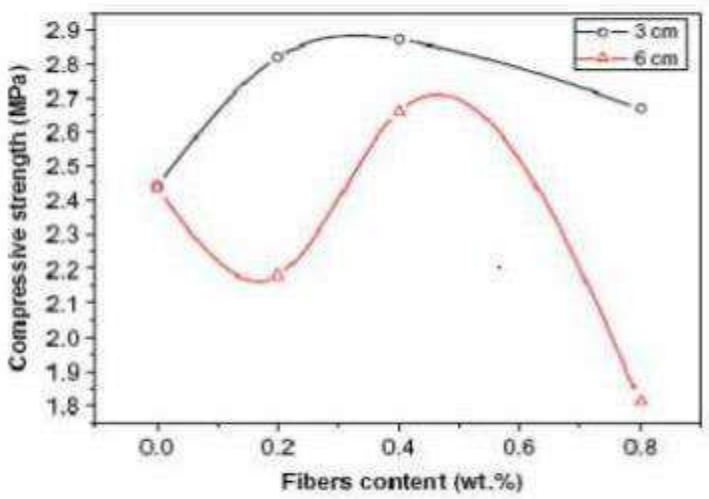



**Fig. I.15 :** Les courbes de la résistance à la compression en fonction de la teneur et la longueur des fibres

### *b. Résistance à la traction par flexion :*

Des études apparues depuis plusieurs années sur le BTC ont montré que l'addition des fibres naturelles réduit la taille des fissures causées par le retrait et améliore la durabilité et la résistance à la traction **[42].** Les auteurs ont justifié l'augmentation des propriétés mécaniques au non propagation de fissures, due à la présence des fibres dans la matrice d'argile. D'après les auteurs, l'impact de ces fibres sur la résistance à la flexion est positif en raison de leur résistance à la traction élevée et de leur adhérence à la matrice d'argile.

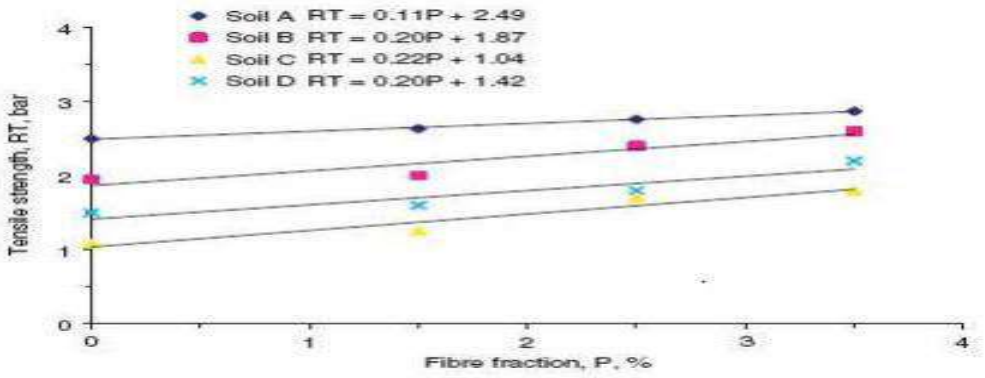



Fig. I.16. Variation de la résistance à la flexion en fonction de la teneur en paille d'orge hachée [67].

### 6.5. Influence des fibres d'alfa sur les propriétés thermique :

Les fibres végétales présentent des propriétés thermiques faibles. La plupart des fibres naturelles perdent de leur rigidité dès 160°C. La lignine se dégrade aux alentours de 200°C et une diminution du degré de polymérisation de la cellulose est observée, d'autant plus importante que les temps de chauffage ou les températures sont élevés. A noter que l'augmentation du degré de cristallinité permet de ralentir la dégradation. La destruction de l'ordre cristallin n'apparaît qu'au-dessus de 320°C par rupture des liaisons intramoléculaires de la cellulose.

L'élaboration et la mise en œuvre des matériaux composites nécessitent la fusion des polymères sous l'effet de cisaillement lié aux machines et à l'apport de la chaleur, conduisant des fois à la dégradation des fibres ou charges végétales et menant ainsi entre autres à la détérioration de leurs propriétés mécaniques et à celles du composite final **[43]**

## 7. Traitements des fibres végétales :

Afin de stabiliser la fibre végétale, trois classes de traitements peuvent être répertoriées dans la bibliographie ; physique, chimique et thermique : **[44]**

### 7.1. Traitement physique :

Les produits les plus utilisés dans ce type de traitement sont : les huiles, les paraffines et les résines. Ont montré que le polyéthylène glycol (PEG) permet de diminuer le retrait d'un facteur 10 avec des résistances mécaniques inchangées. Des échantillons traités avec 15 à 20% de PEG présentent un retrait définitif de 0.1% à 56 jours **[45].**

### 7.2. Traitement chimique :

Les traitements chimiques ont certainement été les plus étudiés dans le monde, Certain nombre d'études ont mis en évidence que la technique de traitement par des solutions chimiques des fibres végétales peut jouer un rôle plus important sur les propriétés mécaniques des composites avec ce type de fibres et augmente l'adhérence entre les fibres et la matrice. Broker et al ont comparé l'effet de l'immersion de fibre de sisal et de coco dans l'eau à PH=8.3,

dans une solution de chaux Ca(OH) 2à PH=12 et dans la soude NaOH à PH=11 pour distingue, d'une part l'effet du PH et d'autre part celui de la présence des ions calcium sur la surface des fibres végétales après l'immersion **[46].**

Baley et all ont à leurs tour étudié l'influence de différents traitements chimiques (soude, acide formique, anhydride acétique) sur la liaison (fibres de lin - résine polyester), et ont comparé avec le système (verre-polyester) et la caractérisation inter faciale a été réalisée par déchaussement d'une fibre unitaire d'une microgoutte de matrice pour déterminer la contrainte apparente de cisaillement inter faciale et l'énergie critique de rupture. Les résultats obtenus montrent qu'il y a une augmentation très importante de la liaison (fibre de lin-résine) après les traitements **[47].**

Claire et all ont étudié l'impact de différents traitements chimiques (NaOH, EDTA, eau saturée en chaux et une solution de polyéthylène) sur des fibres de chanvre, et ont trouvé que le traitement par la soude augmente l'indice de cristallinité des fibres, diminue le temps de prise et augmente la rigidité expérimentale des composites. Le traitement par EDTA, qui augmente également la contrainte à la rupture des composites, et les deux autres traitements ont peu d'influence sur les propriétés mécaniques **[48].**

Bahloul et all. Ont procédé à un traitement par la soude NaOH des fibres d'alfa à des pourcentages différents (20%-25%) pendant 48H, et ont trouvé que les résultats finaux sont meilleurs par rapport aux mélanges avec des fibres non traitées **[49].**

Troëdec a renforcé les composites par les fibres de chanvre, et ces fibres ont été soumis à des traitements chimiques alcalins :

- Le premier traitement avec l'hydroxyde de sodium NaOH avec un PH=12.8.
- Le deuxième traitement avec un agent complexant, il s'agit de l'acide éthylène-diamine-tétra étique (EDTA) à un PH=11.
- Le troisième traitement avec l'eau de chaux $Ca(OH)_2$ à un PH=12.8.

Ces traitements alcalins ont donné des meilleurs résultats pour les composites renforcés par ce type de fibres **[50].**

Rokbi et all. Ont traité aussi les fibres d'alfa par la soude NAOH avec différentes concentrations (1, 5 et 10%) durant 0h, 24h et 48h, et les résultats obtenus montrent que la résistance et le module de flexion des composites renforcés par des fibres traitées à 10% de NaOH durant 24h s'améliorent de l'ordre de 62% comparés à des composites renforcés par des fibres non traitées **[51].**

### 7.3. Traitement thermique :

Le traitement consiste à chauffer les fibres de bois, sous atmosphères inerte jusqu'à 280°c et de le maintenir suffisamment longtemps pour que sa structure soit modifiée et cette méthode appelée (la torréfaction). Donc le procédé a été adapté, il consiste à traiter thermiquement du bois sous atmosphère inerte à des températures inferieurs à 280°c.La durée du traitement permet l'obtention de propriétés souhaitées. Il présente l'avantage de moins dégrader la fibre et permet de conserver au maximum ses propriétés mécaniques **[52].**

## 8. Synthèse :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une synthèse bibliographique concernant les constructions en terre ainsi que les BTC renforcées de fibres végétales. Cette présentation servira à définir les différents types des fibres végétales, leurs structures et leur composition chimique. Aussi, les caractéristiques physico-chimiques de différents types des fibres végétales et spécialement les fibres d'Alfa et de sarments de vigne, qui ont une influence importante sur leurs propriétés macroscopiques. Il est très important de prendre en compte ces propriétés avant de les utiliser dans le renforcement des matériaux composites biodégradable.

## II.1. Introduction :

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents matériaux utilisés et les techniques expérimentales réalisées dans notre étude. On présente en première partie les caractéristiques physico-mécaniques et les propriétés des matériaux utilisés dans la composition des briques de terre comprimées BTC renforcées avec les fibres végétales. **[53]**

## II.2. Matériaux utilisés :

### II.2.1. Le sol :

Les essais sont effectués sur un sol prélevé de la région de **Médéa.**



**Fig. II.1.** Sol utilisé

Les Caractérisation du sol utilisé sont les suivants :

**a. La Teneur En Eau [54] :**

Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux par étuvage. Elle consiste à calculer le rapport du poids d'eau que le sol contient au poids de ses éléments secs, après dessiccation à l'étuve à 105° C (50°C dans le cas des sols contenant des éléments organique).

**b. La masse volumique [55] :**

La masse volumique d'un sol p est le quotient de la masse (m) du sol par le volume (V) qu'il occupe (y compris les fluides qu'il contient).selon la norme **NF P94- 053 [2]** :

$$\rho = m/V$$

Pour déterminer la densité, nous avons utilisé la méthode du pycnomètre. Nous utilisons un pycnomètre eau préalablement bien nettoyé et essuyé. Ce pycnomètre est rempli jusqu'au repère avec de l'eau permutée a 20 °C et la masse de l'ensemble du pycnomètre rempli d'eau est notée M1. Nous vidons environ la moitié de l'eau contenue dans le pycnomètre. Une masse de 5 g de la poudre d'argile notée M2 a été introduite dans le pycnomètre. Nous complétons le volume du pycnomètre (contenant la poudre d'argile) avec daleau permutée jusqu'au repère en ajustant à l'aide d'une seringue. Apres avoir remis la balance à zéro, nous pesons l'ensemble et note la masse M3.

- La masse volumique apparente : **ρ = m/V**

  La valeur de masse volumique apparente du sol utilisé

  **ρ = 1124,333333 g/cm3**

- la masse volumique absolue

  $$\rho = M_2 / (M_2 + M_1 - M_3)$$

  La valeur de masse volumique absolue du sol utilisé

  **ρ =2,146464646 g/cm3**

- La relation suivante permet d'accédera la valeur de la densité

$$d = \rho_{eau} \times \frac{M_2}{M_1 + M_2 - M_3}$$

- La valeur de la densité du sol :
  - Densité apparent d**=1124**
  - densité absolue **d=2.146**

Avec : $\rho eau = 1 g/cm3$

### c. Analyse granulométrique [56] :

***L'analyse granulométrique par tamisage :***



**Fig. II.2.** Tamiseuse

On appelle (analyse granulométrique) l'opération permettant de déterminer la granulométrie : c'est-à-dire la détermination de la grosseur des grains et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles des grains constituant les échantillons. Elle se fait sur la fraction du sol ayant un diamètre supérieur à 0.08mm.

***L'analyse granulométrique par sédimentométrie:***

L'analyse granulométrique par sédimentométrie permet de déterminer la distribution en poids des particules fines (de diamètre inférieur à 80u) d'un sol en fonction de leurs dimensions. Elle complète l'analyse par tamisage. La séparation par décantation consiste à déterminer les diamètres équivalents des particules sphériques en fonction de leur vitesse de chute dans un environnement visqueux afin d'obtenir le tracé d'une courbe granulométrique pour des particules inférieur à 0,08 mm.



**Fig. II.3.** L'analyse granulométrique par sédimentométrie

### d. Limites d'Atterberg [57] :

Cet essai s'applique généralement sur les sols composant un pourcentage des fines (80 µm) supérieur à 35%.Basé sur la détermination des deux limites d'Atterberg (Limite de Liquidité à la coupelle et Limite de Plasticité au rouleau) s'applique aux sols dont les éléments passent à travers le tamis de dimension nominale d'ouverture de maille 400µm.

Pour les besoins du présent essai, les définitions suivantes s'appliquent:

- **Limite de liquidité $W_l$ :** teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états liquide et plastique.
- **Limite de plasticité $W_p$ :** teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états plastique et solide.
- **Indice de plasticité $I_P$ :** différence entre les limites de liquidité et de plasticité .Cet indice définit l'étendue du domaine plastique $I_p=W_l-W_P$
- **L'indice de consistance : $I_c$**=$(W_l-W_{nat})/(W_l-W_p)$. Il permet de caractériser la consistance d'un sol.

- $I_c$ inférieur à une valeur de l'ordre de 0,7 : sols peu consistants avec lesquels on risque d'avoir des problèmes de traficabilité.
- $I_c$ supérieur à une valeur de l'ordre de 1,3 : sols de consistance élevée avec lesquels on risque d'être confronté à des problèmes d'extraction

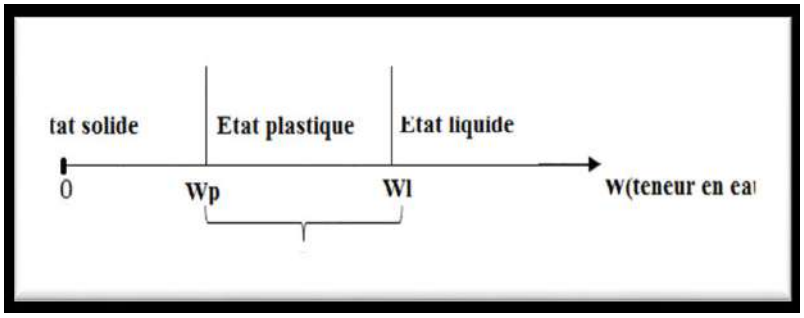



**Fig. II.4.** Limites d'Atterberg

L'essai effet s'effectue en deux phases :

- Recherche de la teneur en eau pour laquelle une rainure pratiquée dans un sol placé dans une coupelle de caractéristiques imposées se ferme lorsque cette dernière et son contenu sont soumis à des chocs répétés.
- Recherche de la teneur en eau pour laquelle un rouleau de sol, de dimension fixée confectionné manuellement, se fissure.



**Fig. II.5.** Boite de Casa grande et la plaque de verre.

Les limites d'Atterberg sont résumées dans le tableau suivant :

**Tableau II.1** : Limites d'Atterberg du sol utilisé

| | |
|---|---|
| Limite de liquidité | 37% |
| Limite de plasticité | 18 % |
| Indice de plasticité | 19 % |

## II.2.2. Le Sable :

Le sable utilisé est un sable moyen de couleur jaunâtre, de provenance de la région de Hassi Bahbah de wilaya de Djelfa. Pour les essais physiques sur le sable nous avons utilisé trois échantillons pour chaque type d'essai :

### a. Equivalent sable :

Selon la norme NFP 18-598 STANDARD **[3],** le sable est un grain métallique d'un diamètre inférieur à 5 mm. Il est utilisé dans le béton pour combler les vides entre les graviers à l'état naturel. Mais il est aussi composé de grains minéraux comme les grains organiques (argile). Ces grains organiques ont un diamètre inférieur à 0,08 mm. Le sable brut est entièrement constitué de grains minéraux et de sable tel qu'il se trouve dans la nature et consiste en un mélange de sable brut et d'argile.

### b. Masse Volumique [58]:

***Masse Volumique Apparente :*** Cet essai est régi par la norme **[4],** elle est définie comme étant la masse de l'unité de volume apparente du corps, c'est-à-dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient **.**

On détermine la masse volumique apparente par :

$$\rho d = \frac{\text{Masse des granulats secs}}{\text{Volume du récipient}} = \frac{M1 - M0}{V}$$

ρ : Masse volumique absolue

M: Masse des grains solides

M: Masse des grains solides

V2: Volume total (grains solide + eau).

L'essai de La Masse Volumique Apparente doit être réalisé selon la norme **[5].**

***Masse volumique absolue*** **:** La masse volumique absolue $\rho_S$ est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains. Il ne faut pas confondre $\rho_s$ avec la masse volumique ρ qui la masse de matériau par unité de volume, celui- ci intégrant à la fois les grains et les vides. L'essai de La Masse Volumique absolue doit être réalisé selon la norme **[6].** Les masses volumiques s'expriment en $t/m^3$, en $kg/m^3$, ou en $g/cm^3$.

### c. Analyse granulométrique du sable [59] :

L'analyse granulométrique est régie par les normes **[7].** Les granulats sont désignés par d et D, ou d et D représentent la plus petite et la plus grande des dimensions demandées**.** L'analyse granulométrique consiste à fractionner le matériau en différentes coupures au moyen de tamis **.** Les masses des différents refus sont rapportées à la masse initiale sèche du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique) . Une bonne continuité de la courbe granulométrique est nécessaire pour obtenir un mortier maniable



**Fig. II.6.** Tamiseuse électrique

Le tamisage est l'opération qui consiste à séparer un matériau en différentes fractions au moyen d'une série de tamis de caractéristique connues



**Fig. II.7.** L'analyse granulométrique par tamisage

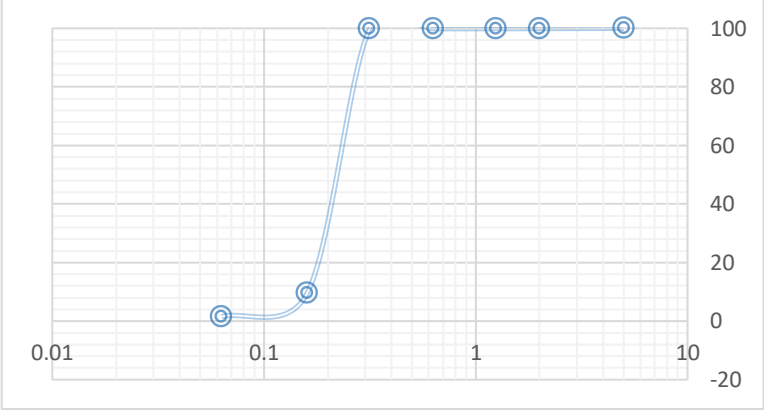



**Fig. II.8.** Analyse granulométrique du sable utilisé

### d. Module de finesse d'un sable (MF) [60] :

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat. Le module de finesse est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis . Le Tableau II.1 présente la série des tamis employés pour la caractérisation du module de finesse selon la norme prise en compte **[8]** et **[9].**

Le Module de finesse d'un sable donne par la formule :

$$MF = \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis}$$

**Tableau II.1 :** Séries de tamis employés pour la détermination du module de finesse du sable.

| | |
|---|---|
| 01 Tamis | 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 et 5 mm |
| 02 Tamis | 0,125 - 0,25 - 0,5 - 1 - 2 et 4 mm |

Les caractéristiques physiques du sable utilisé sont résumées dans le tableau suivant :

**Tableau II.2** : Caractéristiques physiques du sable utilisé

| Caractéristique | | | Normes |
|---|---|---|---|
| Type | roulé | | Norme NFP 18-598 |
| Classe granulaire | 0/3 | | |
| Masse volumique absolue | 2470 Kg/m$^3$ | | Norme : EN 1097-3<br>Norme : NF EN 1097- 6 |
| Masse volumique apparente | 1430 Kg/m$^3$ | | |
| Equivalent de sable (%) | à vue | 78.82 | Norme NFP 18-598 |
| | à piston | 74.04 | |

## II.2.4. Ciment :

### a. Définition

Le ciment est sous forme d'une poudre très fine, composée d'oxydes minéraux dont les deux principaux sont la chaux (CaO) et la silice (SiO2).Il réagit avec l'eau en donnant des hydrates stables qui lui confèrent une résistance mécanique. Les réactions d'hydratation du ciment conduisent à la formation d'une pâte durcissant progressivement à l'air ou dans l'eau. **[63]**

### b. Constituants [61]:

Le ciment portland artificiel (**CPA**) se compose principalement de clinker. Ce dernier est obtenu par mélange de matières premières naturelles de composition chimique adéquate. La préparation du cru consiste à mélanger de manière homogène du calcaire **(80%)** et l'argile **(20%)**. Le cru

est calciné à 1450°c pour former le clinker. Les granules de clinker, dont la taille varie de 5 à 40 mm de diamètre, sont finement broyés avec addition de gypse (3 à 5%) pour réguler la prise. En général, le ciment est composé de quatre phases principales **; C3S, C2S, C3A, C4AF.** Les phases C3A et C2 (A.F), plus couramment dénommée C4AF, se situent généralement entre les grains de C3S et C2S. Le clinker contient aussi des éléments mineurs tels que Na2O, K2OMgO, CaO libre, TiO2, SO3, P2O5 et Cr2O3.

**c. Hydratation du ciment portland [62] :**

Le contact du ciment avec l'eau déclenche un mécanisme d'hydratation comprenant (dans l'ordre ou elles s'effectuent) les réactions d'adsorption, d'hydrolyse, de dissolution, de solvatation, de précipitation, cristallisation, de germination, de migration et de diffusion. Ce mécanisme doit être considéré dans toute sa complexité, en tenant compte des différentes interactions mutuelles de ses différentes réactions :

- L'adsorption physique et chimique de l'eau par les grains de ciment.
- La dissolution ou solvatation, correspondant à un changement d'état du solide ionique (ciment) en présence de solvant (eau).
- La cristallisation, qui débute par la germination et se poursuit par la croissance de cristaux **(Figure II .9)**

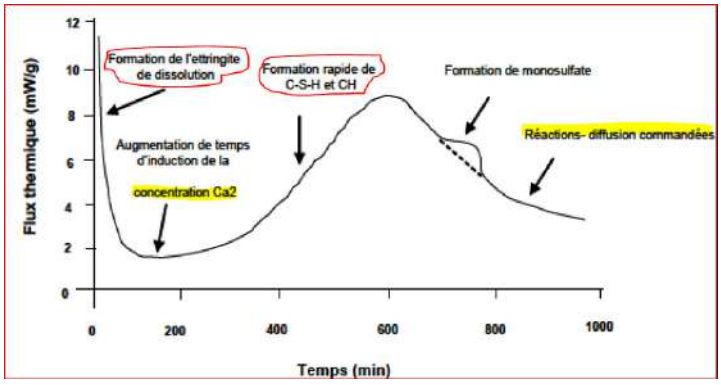



**Fig. II.9.** Différentes réactions du ciment avec l'eau

Le ciment utilisé dans notre composite est de type **CPJ / CEM II A 42.5 (Mâtine)** conforme à la norme NEF 15-301**[10]** est un ciment Portland artificiel dont la résistance minimale à la compression à 28 jours est de 42,5 MPa, produit par la cimenterie de LAFARGE.

**d. Prise du ciment norme EN 196-3[11]** :

L'objectif de l'essai est nécessaire de connaître les début et fin de prise des pâtes de ciment ( des liants hydrauliques ) afin de pouvoir évaluer le temps disponible pour la mise en place correcte des mortiers et des bétons qui seront ensuite confectionnés Les essais se font à l'aide de l'aiguille de Vicat qui donne deux repères pratiques: Le début de prise et la fin de prise. **[63]**

**e. Consistance normale :**

Cet essai est réalisé selon la norme NF EN 196-3 **[12]**, l'appareil utilisé est le même que pour l'essai de prise sauf que l'aiguille est remplacée par une sonde, au bout duquel la distance entre l'extrémité de la sonde et le fond du moule est de 6 ± 1mm. **[64]**

f. **Finesse de mouture : norme NF EN 196-6 [13]**

La caractérisée par la surface spécifique des grains de ciment, exprimée en pourcentage (%), plus la finesse de mouture est grande, plus la vitesse des réactions d'hydratation est élevée et plus ses résistances mécaniques à jeune âge sont grandes. En outre, la finesse de mouture influe sur la plasticité et la cohésion de la pâte de ciment à l'état frais, ainsi que son pouvoir de rétention d'eau et la ressuée. **[65]**

### g. Caractéristiques Chimiques du ciment :

**Tableau II.3** : Caractéristiques chimiques du CPJ CEM II/A 42.

| *Caractéristiques Chimiques* | |
|---|---|
| ***Norme NA 442*** | ***Ciment ECD*** |
| Sulfates SO3 ≤ 3.5 % | SO3 ≤ 2.00 % |
| Chlorures Cl- ≤ 0.1 % | Cl- ≤ 0.08 % |

### h. Les caractéristiques physiques du ciment :

**Tableau II.4** : Caractéristiques physiques du CPJ CEM II/A 42.5.

| *Caractéristiques physiques :* | |
|---|---|
| ***Norme NA 442*** | ***Ciment ECD*** |
| Début de prise ≥ 60 mn | Début de prise> 60 mn |
| Stabilité à chaud ≤ 10mm Retrait 28j ≤ 1000 µm/m | Stabilité à chaud < 7mm Retrait 28j < 650 µm/m |

### i. Résistance réelle :

La résistance réelle d'un ciment est la résistance mécanique à la compression déterminée conformément à la norme NF EN 196-1**[14]**, après 28 jours.

## II.2.5. Eau de gâchage [66]:

L'eau utilisée dans l'expérience de l'eau du robinet pour l'état de Médéa, sur laquelle plusieurs expériences ont été menées par les laboratoires spécialisés sur le suivi technique et la confirmation de l'aptitude à son utilisation dans divers travaux.

## II.2.6. Fibres végétales[67] :

### 1. La fibre d'alfa

Parmi les études dans le domaine de l'ingénierie des matériaux de construction et autres, nous parlons de ce qu'on appelle composition de

ciment à l'aide de fibres végétales, parmi lesquelles se trouve la plante alfa, que nous trouvons souvent abondante dans le désert et l'Algérie au sud, où nous avons fait une étude sur la plante alfa de Bouaiche à Médéa, ainsi que le contrôle, en termes de propriétés physiques, chimiques, mécaniques et biologiques **(Figure II.10).**



**Fig. II.10.** Les fibres d'alfa

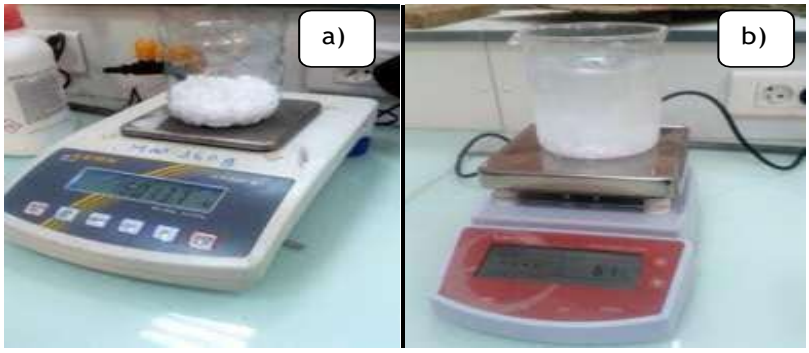
## 2. Les fibres de vigne [68] :

***Origine :***

Les fibres végétales utilisées dans notre recherche sont les fibres de **tige de vigne,** de provenance de la région de wilaya de Médéa.

***Extraction des fibres :***

Les fibres de la tige de vigne sont découpées manuellement à 4 cm de longueur et sont bien lavées à l'eau de javel pour éliminer la poussière. Elles sont ensuite séchées dans l'étuve à 60°C pendant 24h afin de garantir une teneur en humidité constante. A ce stade, les fibres séchées sont désignées sous le nom de fibres brutes. Les traitements de surface à l'aide de NAOH sont ensuite appliqués sur les fibres sèches Les tiges de vigne sont traitées avec une solution de NaOH concentration de 2% durant une 48h.




a ) NaOH b) NaOH dilué l'eau distillée.

**Fig. II.11.** Préparation de solution

## 3. Traitement des fibres [69] :

***Traitement chimique des fibres :***

Le traitement à l'hydroxyde de sodium des fibres de la tige de vigne et de vigne consiste à tremper dans une solution contenant du NaOH à une concentration donnée pendant une durée de temps. Deux paramètres sont prédominants pour ce type de traitement : la concentration de la soude et la durée d'exposition des fibres. Etant donné le volume important de ce travail, on a choisi de prendre en considération uniquement le facteur de la concentration en maintenant fixe la durée d'immersion des fibres de la tige de vigne dans la solution alcaline.

En ce qui concerne la concentration du NaOH a été à 10%. Après immersion pendant 2 heures, les fibres sont lavées à l'eau distillée à plusieurs reprises pour enlever les dernières traces de soude qui restent collées à la surface des fibres. Enfin, elles sont séchées à l'étuve à 60°C pendant 24 heures. Ensuite les fibres subissent un traitement à la résine.

***Traitement à la résine des fibres :***

Le but est d'isoler les fibres végétales de l'humidité, et la solution consiste à les introduire dans la résine.



**Fig. II.12.** Traitement à la résine des fibres de tige de vigne et de vigne

## II.3. Formulation des BTC :

### II.3.1. Malaxage et Compactage des BTC (NF94-093) [15] :

Le compactage de sol vise à améliore les propriétés géotechnique des sols Il est fonction de quatre principales variables :

- La masse volumique de sol sec.
- La teneur en eau.
- L'énergie de compactage.
- Le type de sol (étalement granulométrique, présence de minéraux argileux.

### II.3.2. Confection et conservation des éprouvettes :

#### a. Préparation des éprouvettes :

Le malaxage est effectué au moyen d'un malaxeur spécifié est muni d'un axe vertical, à trois vitesses et de capacité de cinq (5) litre.



**Fig. II.13.** Malaxeur

Les mélanges sont préparés selon le protocole suivant :

1. On verse le sol passé au tamis de 5mm au préalable ;
2. On ajoute par la suite le ciment ;
3. Puis en ajoute le sable après on malaxe pendant 30 sec vitesse lente ;
4. On ajoute ensuite l'eau, et sans plus tarder les fibres ;
5. On malaxe 30 sec encore en vitesse rapide ;
6. On remplit les moules avec le mélange molle en 3 couches et chaque fois on essaye de bien rétablir les moules avec un poids.



**Fig. II.14.** Préparation des éprouvettes

7. Ensuit e on pose les moules sur la table vibrante et on laisse tomber en-dessus une charge d'environs de 20 Kg et on vibre pendant une minute.



**Fig. II.15.** Compacte des éprouvettes

### *b.* Composition des BTC

Les fibres de tiges de vigne sont incorporées dans les BTC par substitution volumiques du sol avec des pourcentages de (0.5 à 3%).

| BTC | Sol (Kg/m3) | sable (Kg/m3) | Ciment (Kg/m3) | Eau (l/m3) | Fibres de tige de vigne | | Fibres d'alfa | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | (Kg/m3) | (%) | (Kg/m3) | (%) |
| ***BTCT*** | *915* | *450* | *135* | *270* | *0* | *0* | - | - |
| ***BTC0.5H*** | *907.5* | *450* | *135* | *270* | *7.5* | *0.5* | - | - |
| ***BTC1H*** | *900* | *450* | *135* | *270* | *15* | *1* | - | - |
| ***BTC1.5H*** | *892.5* | *450* | *135* | *270* | *22.5* | *1.5* | - | - |
| ***BTC2H*** | *885* | *450* | *135* | *270* | *30* | *2* | - | - |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***BTC2.5H*** | *877.5* | *450* | *135* | *270* | *37.5* | *2.5* | *-* | *-* |
| ***BTC3H*** | *870* | *450* | *135* | *270* | *45* | *3* | *-* | *-* |
| ***BTC0.5V*** | *907.5* | *450* | *135* | *270* | *-* | *-* | *7.5* | *0.5* |
| ***BTC1V*** | *900* | *450* | *135* | *270* | *-* | *-* | *15* | *1* |
| ***BTC1.5V*** | *892.5* | *450* | *135* | *270* | *-* | *-* | *22.5* | *1.5* |
| ***BTC2V*** | *885* | *450* | *135* | *270* | *-* | *-* | *30* | *2* |
| ***BTC2.5V*** | *877.5* | *450* | *135* | *270* | *-* | *-* | *37.5* | *2.5* |
| ***BTC3V*** | *870* | *450* | *135* | *270* | *-* | *-* | *45* | *3* |

**Tableau II.5 :** Composition des BTC à base de fibres de tiges de vigne

### c. Démoulage et conservation des éprouvettes:

Les éprouvettes sont décoffrées après 24 heures du coulage, Elles sont ensuite couvertes avec du film plastique pendant 28 jours, après elles sont séchées à l'étuve à 40 °C, jusqu'à poids constant et enfin elles sont prêtes à subir les différents essais programmés.



**Fig. II.16.** Conservation des

## II.4. Protocol expérimental :

### II.4.1. Résistance mécanique à la compression (NF P 15-471) [16] :

L'essai de compression est exécuté selon la norme NF P 15-471, sur une presse pour matériaux durs, sur les demi- éprouvettes provenant de l'essai de flexion. Chaque demi prisme est soumis à une charge de compression sur ses faces de moulage, sous une section de 40 × 40 mm.




Fig. II.17. Essai de compression

### I.4.2. Essai traction par flexion (Norme NF P 18 – 407) [17] :

L'essai a été effectué selon la norme NF P 18 – 407 et à la norme EN 196-1 [18] .Les éprouvettes repose sur deux appuis simples distants de l =100 mm et la charge F est appliquée au centre de l'échantillon, symétriquement par rapport aux appuis. Les composites de section (b x h) étant supposés homogènes, la contrainte normale de traction est appliquée sur la section de la poutre prismatique (Figure II.17).



**Figure II .18:** Essai traction par flexion.

### II.4.2. Essais de durabilité :

Ces essais sont effectués sur deux séries d'éprouvettes :

- La première série d'éprouvettes (BTCT, BTC1.5VT, BTCT2.5HT) couvertes d'enduit 1 composé de chaux, de plâtre, de sable et d'eau.
- La deuxième série d'éprouvettes (BTCT, BTC1.5VT, BTCT2.5HT) couvertes d'enduit 2 composé de chaux, de sable et d'eau.



Enduit 1 Enduit 2

Figure II .19: Dispositif d'érosion

### II.4.3. Essai d'érosion :

L'essai d'érosion est effectué selon les normes propres aux BTC [70] En effet c'est un test indicatif qui est calculé sur un bloc de terre placé verticalement sur une grille, 17cm devant un jet d'eau horizontal. Celui-ci arrose le bloc avec un jet horizontal d'une pression de 1,6 kg/m² durant deux heures. On mesure alors la perte de poids de l'échantillon ainsi que la profondeur des trous.




**Figure II .20:** Dispositif d'érosion

### II.4.4. Essai de vieillissement (gonflement)

Cet essai est effectué conformément à la norme NBN B 15-216 [19] sur des éprouvettes prismatiques (40 x 40 x160 mm). Les éprouvettes sont placées directement dans deux bacs :

- Le premier de solution de sulfate de sodium ($Na_2SO_4$ - 5%).
- Le deuxième de solution d'acide sulfurique ($H_2SO_4$ – 3%)

Durant la période d'essai (3, 6 et 12 mois) la solution doit être renouvelés une fois par mois et les bacs de conservation sont recouvertes et conservés à 20°C.



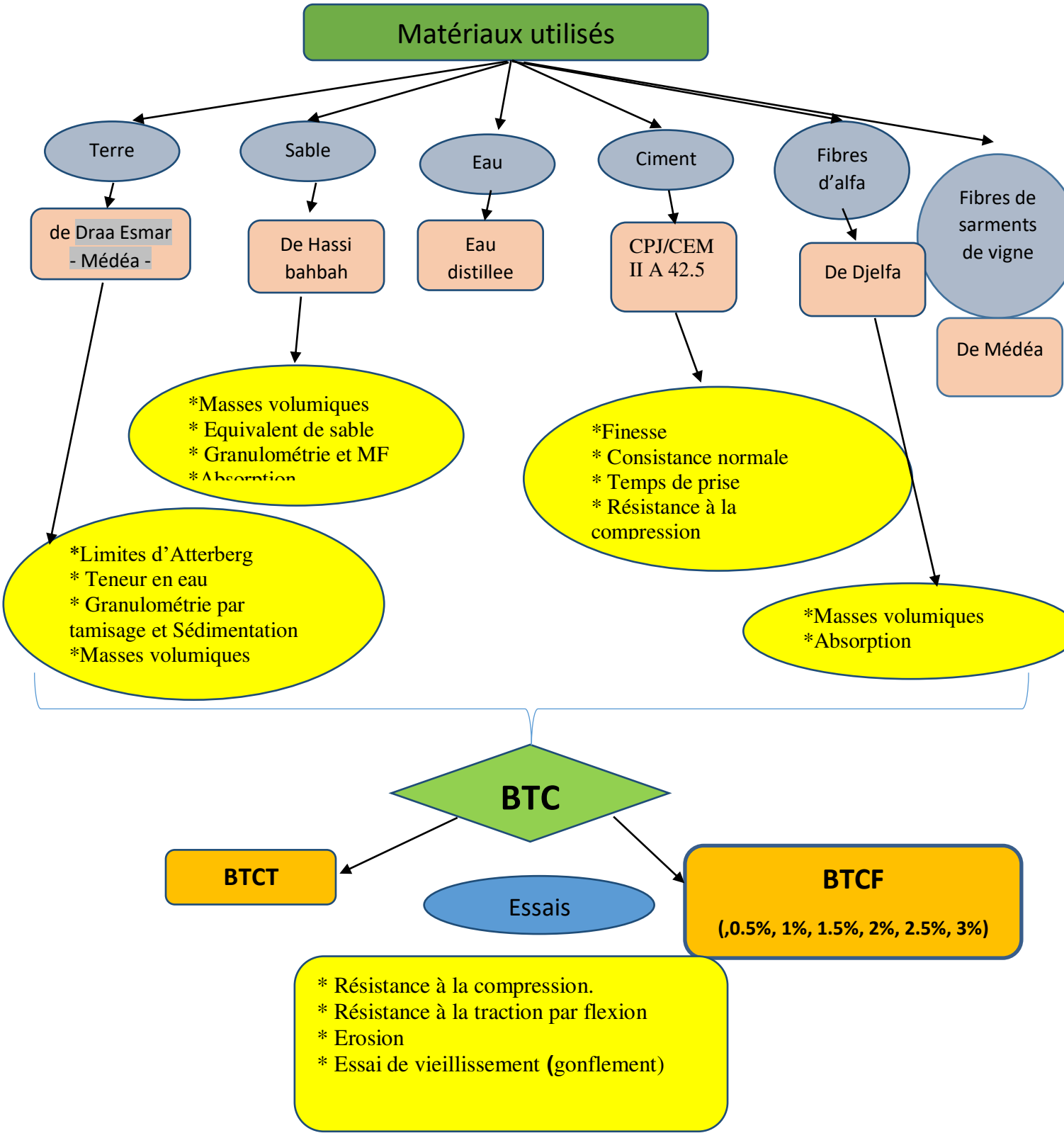
Bain 1 Bain 2

**Figure II .21:** Dispositif d'érosion

## II.5. Conclusion

La valorisation des fibres d'alfa et de sarments de vigne dans la masse des BTC constituent une alternative économique et écologique importante dans certains pays qui encouragent la construction en terre. Cette étude présente une contribution à l'étude de l'effet des déchets d'alfa et de sarments de vigne sur les propriétés mécaniques et sur la durabilité des BTC, en traitant les points suivants :

- Caractérisation des matériaux utilisés ;
- La méthode de fabrication ;
- La procédure expérimentale et les essais réalisés sur BTC renforcés de fibres végétales.


Matériaux utilisés
Terre
Sable
Eau
Ciment
Fibres d'alfa
Fibres de sarments de vigne
de Draa Esmar - Médéa -
De Hassi bahbah
Eau distillee
CPJ/CEM II A 42.5
De Djelfa
De Médéa
*Masses volumiques
* Equivalent de sable
* Granulométrie et MF
*Absorption
*Finesse
* Consistance normale
* Temps de prise
* Résistance à la compression
*Limites d'Atterberg
* Teneur en eau
* Granulométrie par tamisage et Sédimentation
*Masses volumiques
*Masses volumiques
*Absorption
BTC
BTCT
BTCF
(,0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 2.5%, 3%)
Essais
* Résistance à la compression.
* Résistance à la traction par flexion
* Erosion
* Essai de vieillissement (gonflement)

# 1 Introduction

Dans ce dernier chapitre, on présente les résultats obtenus pour les différents essais réalisés sur les BTC renforcées avec les fibres d'alfa et de fibres de sarments de vigne. Les résultats de chaque essai et la moyenne arithmétique des trois résultats d'essais.

## 1.1 Influence fibres d'alfa et de sarments de vigne sur les propriétés mécaniques des BTC :

### 1.1.1 Résistance à la compression :

Les résultats présentés sur un histogramme **(Figure III.1)**, nous permet de comparer les valeurs des résistances à la compression des différentes compositions des BTC réalisées.

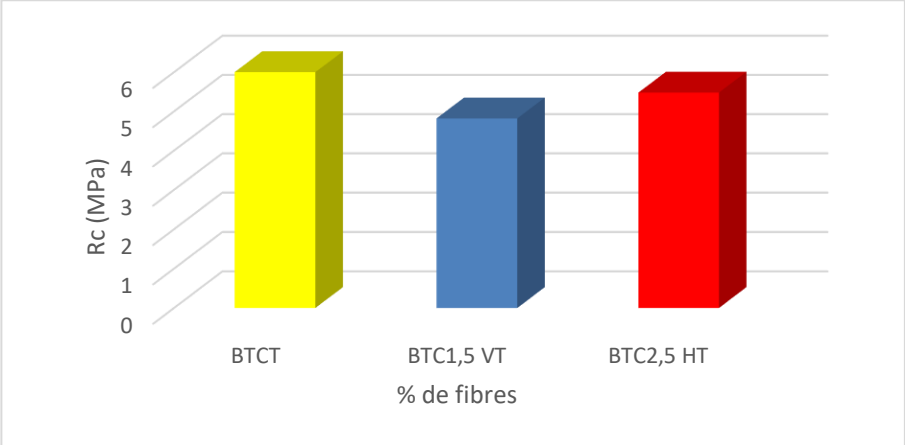



**Fig. III.1 :** Résistance à la compression des BTC à base de fibres d'alfa et de sarment de vigne

***NB :***

**BTCT :** Briques de terre comprimées

**BTC1.5VT :** Briques de terre comprimées avec 1.5 % de fibres de sarments de vigne.

**BTC2.5HT :** Briques de terre comprimées avec 2.5 % de fibres d'alfa.

D'après ces résultats obtenus, on remarque que la résistance à la compression des BTC varie entre et diminue entre 4 Mpa et 6 Mpa qui est

acceptable pour ce type de matériau qui est destiné pour la séparation dans le bâtiment. La résistance diminue en général avec l'incorporation des fibres végétales, que ce soit d'alfa ou de sarments de vigne. On remarque ainsi que la résistance des BTC avec 1.5 % de fibres de sarment de vigne est inférieure à celle des BTC avec 2.5 % de fibres d'alfa, mais les deux sont inférieures par rapport aux BTCT sans fibres.

Ceci a été constaté par Danso et al. , qui ont utilisé les fibres de palmier, fibres de noix de coco et fibres de bagasse pour renforcer les blocs de terre. Ils ont constaté que la résistance à la compression commence à augmenter puis elle est suivie par une baisse **[71].**

D'après Laibi, la résistance à la compression des BTC renforcées de fibres de kénaf diminue avec l'ajout des fibres quel que soit le taux d'incorporation considère. Il a noté une légère augmentation de la résistance à la compression pour des fibres de longueur 30 mm **[72].**

### 1.1.2 Résistance à la traction par flexion

La Résistance à la traction par flexion aux trois points, des BTC en fonction des différents pourcentages des fibres d'alfa sont illustrées sur la **(Figure III.2).**

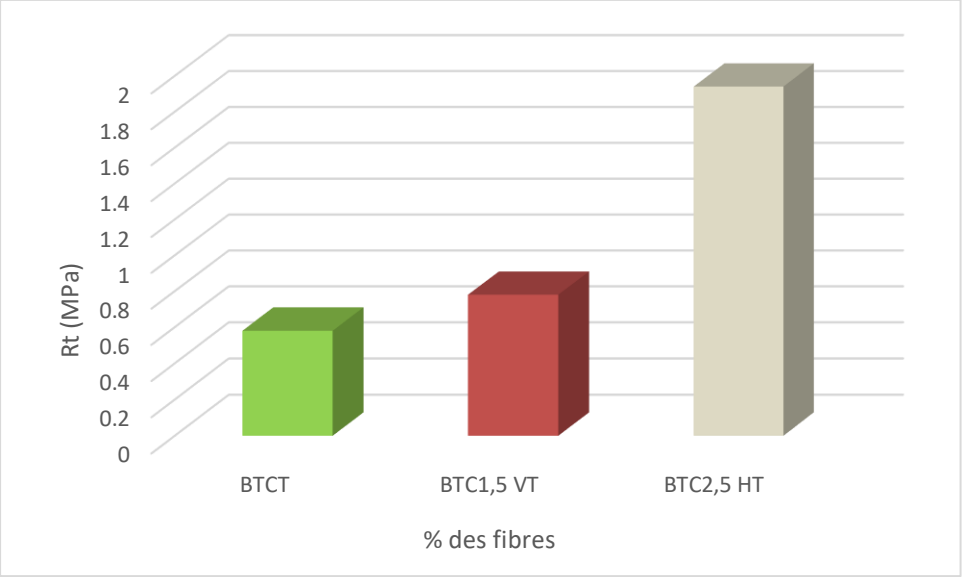



**Fig. III.2 :** Résistance à la traction des BTC à base de fibres d'alfa et de sarment de vigne

D'après les résultats obtenus, on remarque que la résistance à la traction des BTC varie entre entre 0.58 Mpa et 1.94 Mpa. Ceci est acceptable pour ce type de matériau destiné à la séparation dans le bâtiment. La résistance à la traction augmente avec la présence des fibres végétales par rapport aux blocs de terre sans fibres. Ceci est dû à la bonne adhésion entre les fibres d'alfa et des fibres de sarments de vigne et la matrice des BTC constitué principalement par la terre et le sable. Cette adhésion qui est probablement due à la nature et la morphologie des fibres, et qui nécessite une vue microscopique de la structure intérieure des fibres.

Aussi, Tran a observé que l'inclusion des fibres de maïs contribue à l'amélioration de la résistance à la rupture par traction des blocs de terre cimentée **[73].**

Millogo, à son tour, a remarqué que pour toutes les formulations des adobes renforcés de fibres de kénaf ont présenté des résistances à la flexion supérieures à celles des adobes non renforcés. Cette augmentation est principalement due à la haute résistance à la traction des fibres de Kénaf **[74].**

## 1.2 Influence fibres d'alfa et de sarments de vigne sur la durabilité des BTC :

### 1.2.1 Essai d'érosion « Essai de douche » :

D'après la **figure III.3** On constate que l'enduit 1 « chaux –plâtre – sable » semble conduire à la plus faible absorption d'eau par érosion, par rapport que l'enduit 2 « chaux-sable ». On constate aussi que l'absorption des BTCT sans fibres est faible par rapport aux BTC fibrées. D'autre part la profondeur du trou résultant de cet essai, est de :

- 2 mm pour les BTC avec l'enduit 1 ;
- 3 mm pour les BTC avec l'enduit 2.

De ce fait, pour cet essai, on conclut que l'enduit ***chaux –plâtre – sable*** est plus résistant que l'enduit ***chaux-sable***, et avec l'enduit 1 les BTC sont moins absorbant à l'eau, surtout en ce qui concerne les BCT composant les murs extérieurs exposées aux intempéries et à l'humidité.

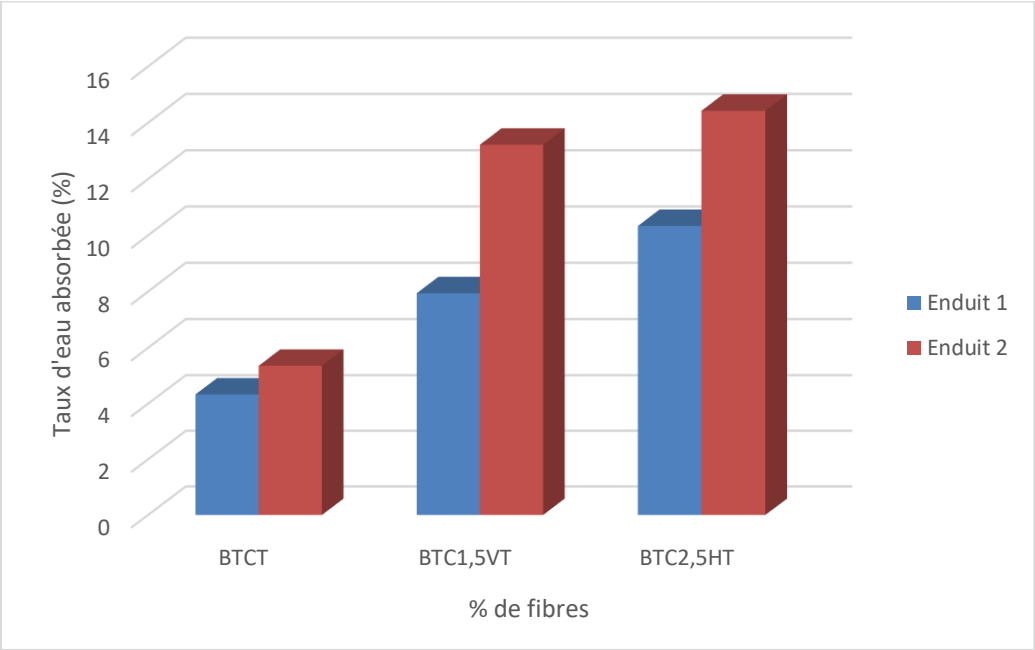



**Fig. III.3 :** Taux d'absorption d'eau BTC à base de fibres d'alfa et de sarments de vigne

Bouhicha et al. , ont constaté que l'enduit de ciment avec des polymères était le plus durable car il semble conduire à la plus faible absorption d'eau mieux que les enduits à la chaux et les enduits de terre **[75].**

### 1.2.2 Essai de vieillissement (gonflement) :

1. ***Avec le premier bain « l'acide sulfurique » :***

D'après la **figure III.4** et **figure III.5**, on remarque qu'en ce qui concerne le premier bain «solution d'acide sulfurique», le gain de masse des BTC couvertes d'enduit 1 « ***chaux –plâtre – sable »*** est presque deux fois plus que les BTC couvertes d'enduit 2 « ***chaux-sable*** ». Aussi le gonflement est important pendant le premier jour puis on a une

**Fig. III.4 :** Gain de masse des BTC couvertes de l'enduit 1 pendant le gonflement dans l'acide sulfurique

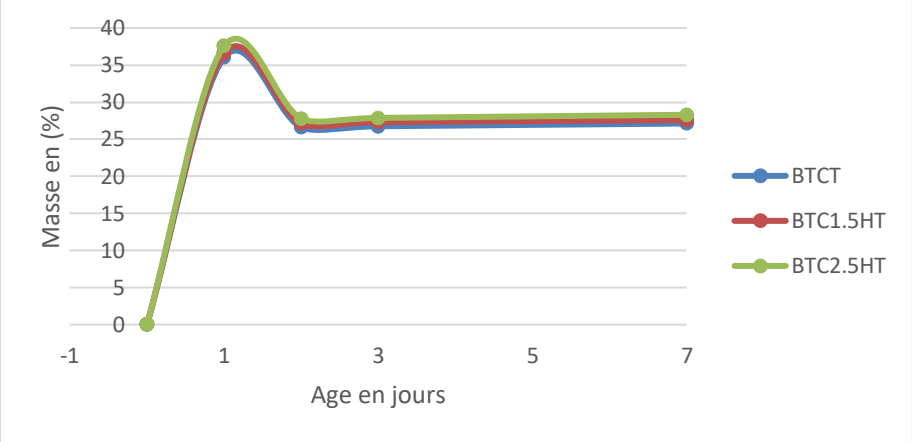



**Fig. III.4 :** Gain de masse des BTC couvertes de l'enduit 1 pendant le gonflement dans l'acide sulfurique

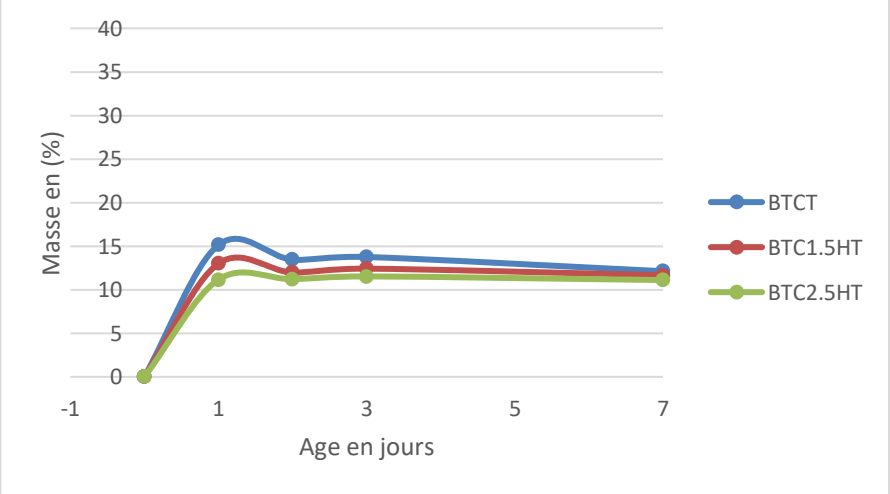



**Fig. III.5 :** Gain de masse des BTC couvertes de l'enduit 2 pendant le gonflement dans l'acide sulfurique

D'après la **figure III.6,** on constate que les BTC couvertes de l'enduit 1 « ***chaux –plâtre – sable »*** ont bien résistées aux attaques des acides sulfuriques par rapport aux BTC couvertes de l'enduit 2 « ***chaux-sable*** » qui ont été fissurées et détériorées. Bien qu'avec l'enduit 1, on a eu un gain de masse supérieur que celui avec l'enduit 2.



Avant Apres

**Fig. III.6 :** Aspect visuel des BTC couvertes de l'enduit 1 et l'enduit 2 pendant le gonflement dans l'acide sulfurique

## 2. ***Avec le deuxième bain « le sulfate de sodium» :***

D'après la **figure III.7**, on remarque qu'en ce qui concerne le deuxième bain «solution de sulfate de sodium», on a une faible perte de masse des BTC témoin « sans fibres » et une stabilisation pour les BTC fibrées. La **figure III.8** montre que les BTC couvertes de l'enduit 2 ont subi un petit gonflement le premier jour puis une stabilisation de la masse. A part les BTC renforcées avec les fibres d'alfa ont subi une importante perte de masse.

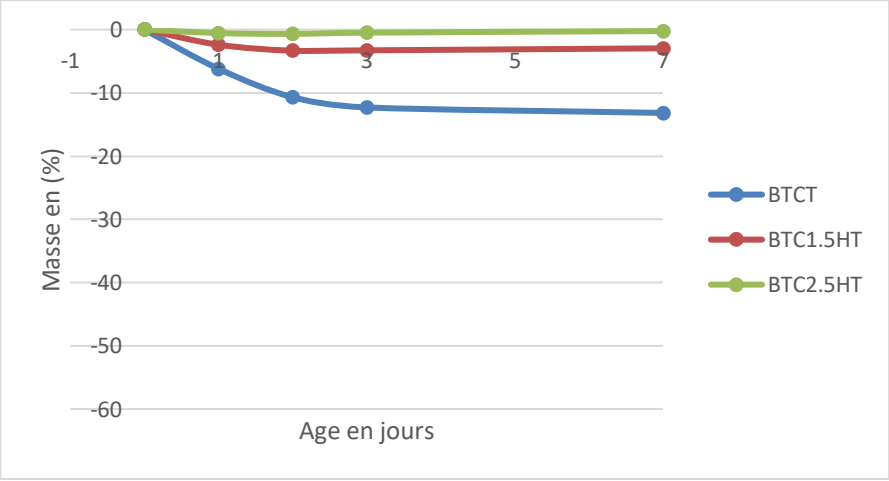



**Fig. III.7 :** Gain de masse des BTC couvertes de l'enduit 1 pendant le gonflement dans le sulfate de sodium

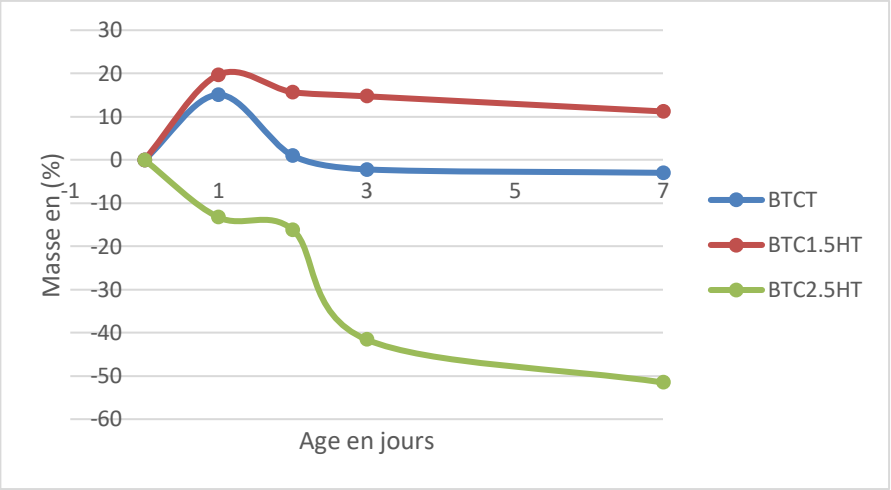



**Fig. III.8 :** Gain de masse des BTC couvertes de l'enduit 2 pendant le gonflement dans le sulfate de sodium

D'après la **figure III.9,** on constate que les BTC couvertes de l'enduit 1 « ***chaux –plâtre – sable »*** ont bien résistées aussi aux attaques des sulfate de sodium par rapport aux BTC couvertes de l'enduit 2 « ***chaux-sable*** » qui ont été fissurées et détériorées.



Avant Après

**Fig. III.9 :** Aspect visuel des BTC couvertes de l'enduit 1 et l'enduit 2 pendant le gonflement dans le sulfate de sodium

# *CONCLUSION GENERALE*

# *CONCLUSION GENERAL*

L'objectif de ce travail était la préparation et la caractérisation de nouveaux matériaux composé de principalement de terre et de ciment renforcées par des fibres végétales « Alfa et Sarments de vigne » et d'étudier leurs influence sur les caractéristique mécaniques et sur la durabilité des briques de terre comprimées BTC et faire des comparaisons avec des BTC témoin qui nous a permis de confirmer un certain nombre de résultats conformes à la bibliographie.

L'analyse des résultats expérimentaux nous ont permet de conclure que :

- Les fibres d'alfa et de sarments de vigne influent négativement sur la résistance à la compression des BTC; mais les valeurs obtenus sont acceptables pour ce genres de briques soit destinées à la séparation dans le bâtiment;
- La résistance à la traction par flexion augmente en fonction d'incorporation de défibres d'alfa et de sarments de vigne dans les BTC.
- Après avoir couvert les BTC avec deux types d'enduit, le premier « chaux-plâtre-sable » et le deuxième « chaux-sable », il s'est avéré que le premier été le plus résistant et le plus convenable pour la durabilité de ce genre de brique, qui est sensible à l'humidité et aux milieux agressifs.

Vu toutes ces conclusions obtenus dans cette étude, on peut dire que l'utilisation des fibres d'alfa et de sarments de vigne joue un rôle très important dans la fabrication des BTC et ceci constitue une alternative économique et technologique importante dans certains pays en voie de développement. On recommande finalement l'utilisation de ces types de matériaux

dans les éléments de séparation, tout en appliquant l'enduit magique « chaux-plâtre-sable » surtout dans la partie extérieur du bâtit.

# Références Bibliographiques


***[1]*** *http://www.cotita.fr/IMG/pdf/1-Principales_agressions_et_attaques_des_betons.pdf*

***[2]http://193.194.93.154:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/320/16%20rehioui%20mohamed%20lamine%2B%20oulad%20mansour%20ahmed%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y***

***[3]****https://aluminium.ca/uploader/publications/possibilites_utilisation_aluminium_ponts_viaducs.pdf*

***[4]*** *https://www.isba.fr/wp-content/uploads/2018/09/EN-1992-1-1.pdf*

***[5]*** *https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00652477/document*

***[6]****https://www.expertim.ch/wp-content/uploads/SUVA-Amiante-et-autresmat%C3%A9riaux-fibreux-Risques-pour-la-sant%C3%A9-et-mesures-de-protection-66080_F.pdf*

***[7]*** *https://patents.google.com/patent/WO1999019268A1/fr*

***[8]*** *https://www.inrs.fr/dms/inrs/CataloguePapier/ED/TI-ED-638/ed638.pdf*

***[9]*** ***http://thesesups.ups-tlse.fr/980/1/Magniont_Camille.pdf***

***[10][11]****http://www.guyane.developpementdurable.gouv.fr/IMG/pdf/Guyane_Le_materiau_terre.p*

***[12]*** ***https://reporterre.net/DECOUVRIR-LE-MATERIAU-TERRE***

***[13][14]****:http://middleeastrevised.com/2014/03/12/shibam-the-mud-brick-beauty-of-yemen/).*

***[15]*** ***[16]*** *Mémoire de Fin D'études En vue de L'obtention du diplôme master de Composite cimentaires renforcées avec des fibres naturelles*

***[17]****https://int.search.myway.com/web?q=types&go=relatedSearchNarrow&o=1471972&l=dir&p2=%5EBNH%5Expt453%5ETTAB02%5ETN&n=78489346*

***[18] [19]*** *mémoire fin d'etude de Matériaux destinés aux éléments structuraux et Matériaux destinés aux éléments non structuraux*

***[20][21]****https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjAmrjZLDxAhVNzIUKHZbGBBoQFjACegQIAxAD&url=https%3A%2F%2Fwww.archipill.tn%2Farchimag%2Fles-7-avantages-de-la-construction-en-terre-lexpertise-de-thierry-wallraf%2F&usg=AOvVaw1iQLewyrCcfTfrEUIJuddT*

# Références Bibliographiques


***[22][23] [24][25]*** *ANGER, R. & FONTAINE, L. (2009). Bâtir en terre. Du grain de sable àl'architecture. Paris : Belin, Cité des sciences et de l'industrie*

***[26]****https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjYuru4_LDxAhWGBsAKHeknBGcQFjAAegQIAhAD&url=https%3A%2F%2Fwww.futura-sciences.com%2Fmaison%2Fdefinitions%2Fconstruction-maison-brique-btc-17851%2F&usg=AOvVaw3DXPkpGRVGSXjJJbIREB_5*

***[27] [28][29] [30][31] [32][33] [34][35] [36][37] [38][39]*** *Romildo D. Tol^edo Filho [a], Khosrow Ghavami [b,*], George L. England [c],Karen Scrivener de Les fibres végétales*

***[40] [41] [42] [43]*** *L'alfa : Importance écologique et socio-économique », Portail de l'agriculture marocaine, Terre et Vie, N°61-62, (Novembre 2002)*

***[44] [45] [46] [47] [48] [49]*** *O. Bahloul, A. Bourzam, A. Bahloul, "Utilisation des fibres végétales dans le renforcement de mortiers de ciment" . SBEIDCO, 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria) - October 12-14, 2009*

***[50] [51] [52]*** *Salehan I, Yaacob Z. Properties of laterite brick reinforced with oil palm empty fruit bunch fibers. Pertanika J Sci Technol;19(1):33–43, 2011*

***[53] [54] [55]*** *Ciment matine, Fiche Technique, Lafarge Algérie, Réf : DC/FT MT.v03.*

***[56] :*** *https://www.archipill.tn/archimag/les-7-avantages-de-la-construction-en-terre-lexpertise-de-thierry-wallraf/*

***[57] [58] [59] :*** *Mémoire de fin d'études de Master de Etude de propriétés thermo-mécaniques d'une matrice cimentaire renforcée par des fibres végétales*

***[60]*** *G.G.Giménez « Aportaciones a la química Del esparto español ». Anales de l'Universidad de Murcia. Vol 13, Nº 1.Curso 1954-55*

***[61] [62] [63] [64] [65]*** *D. Sedan, "Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment: influence sur les propriétés mécaniques du composite," Thèse de Doctorat, Limoges, 2007.*

***[66]*** *Mémoire de fin d'études de Master Étude des propriétés thermo mécanique d'un matériau à Matrice cimentaire renforcé de fibres cellulosique*

***[67] [68] [69]*** *Development of vegetable fibre–mortar composites of improved durability Romildo D. Tol^edo Filho a, Khosrow Ghavami b,*, George L. England*

***[70]*** *[P'kla, 2002 ; Jiménez et Guerrero, 2007).*

***[ 71]:*** *Danso, H., et al., Physical, mechanical and durability properties of soil building blocks reinforced with natural fibres. Construction and Building Materials, 2015.* ***101****: p. 797-809.*

***[ 72 ] :*** *Laibi, B., Comportement hygro-thermo-mécanique de matériaux structuraux pour la construction associant des fibres de kénaf à des terres argileuses, 2017, Normandie.*

***[ 73 ] :****Tran, K.Q., T. Satomi, and H. Takahashi, Improvement of mechanical behavior of cemented soil reinforced with waste cornsilk fibers.*

***[ 74 ]*** *:Millogo, Y., et al., Experimental analysis of Pressed Adobe Blocks reinforced with Hibiscus cannabinus fibers.*

***[ 75] :****Bouhicha, M., F. Aouissi, and S. Kenai, Performance of composite soil reinforced with barley straw. Cement and Concrete Composites, 2005.* ***27****(5): p. 617-621.*

# Références Bibliographiques


***[1] :*** *Ciment matine, Fiche Technique, Lafarge Algérie, Réf : DC/FT MT.v03.*

***[2] :*** *norme* ***NF P94- 053*** *-d0é5t3er mination de la masse volumique des sols fins en laboratoire- Méthodes de la trousse coupante, du moule et de l'immersion dans l'eau*

***[3] :*** *la norme* ***NFP 18-598*** *STANDARD Équivalent de sable, Paris, Association Française de Normalisation*

***[4] [5] [6] : EN 1097-3*** *: granulat, Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 3 : Méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité inter granulaire, indice de classement : P 18-650-3, ver*

***[7] :*** *la norme* ***NF P 18-560*** *Norme française, « Analyse granulométrique par tamisage», NF P 18-560, Septembre 1990).*

***[8] [9] :*** *Norme Française* ***XP P 18-540*** *: Granulats - Définitions, conformité, spécifications, indice de classement: P 15-540, 1997.*

***[10 :]*** *norme* ***NEF 15-301*** *La norme NF P 15-301 de 1994 donne la définition suivante : « Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et*

***[11] [12] : EN 196-3****+A1 Janvier 2009 Méthodes d'essais des ciments - Partie 3 : détermination du*
*temps de prise et de la stabilité*

***[13] : NF EN 196-6*** *Avril 2012, Méthodes d'essai des ciments - détermination de la finesse*

***[14] :*** *norme* ***NF EN 196-1*** *Détermination des résistances*

***[15] : NF94-093 :*** *Compactage (Proctor normal-Proctor modifié).*

***[16] : NF P 15-471 :*** *Résistance mécanique à la compression****.***

***[17] : NF P 18 – 407 :*** *Essai de traction par flexion.*

***[18] :*** *norme* ***EN 196-1*** *Détermination des résistances*

***[19] :NBN B 15-216*** *: Essais des bétons - Retrait et gonflement*

# Références Bibliographiques