



**UNIVERSITE D'ANTANANARIVO**  
**ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE**  
**MENTION SCIENCE ET INGENIERIE DES MATERIAUX**



*Premier Partenaire  
des Professionnels*

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Licence en Science et  
Ingénierie des Matériaux

**ESSAI DE FABRICATION D'UN ENDUIT DE  
TERRE INTERIEUR RENFORCE PAR DES  
FIBRES DE SISAL**

Présenté par : Monsieur **Assad El Had Abdoul Hamid**

Encadré par : **Docteur RAKOTOMALALA Zolimboahangy**

Date de soutenance : 12 Mai 2016

Année universitaire : 2014 - 2015



**UNIVERSITE D'ANTANANARIVO**  
**ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE**  
**MENTION : SCIENCE ET INGENIERIE DES MATERIAUX**



*Premier Partenaire  
des Professionnels*

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Licence en Science et  
Ingénierie des Matériaux

# ESSAI DE FABRICATION D'UN ENDUIT DE TERRE INTERIEUR RENFORCE PAR DES FIBRES DE SISAL

Présenté par : Monsieur **Assad El Had Abdoul Hamid**

Devant les membres du jury composé par :

Président de jury : Monsieur **RANAIVONIARIVO Velomanantsoa Gabriely**, Professeur titulaire

Encadreur : Madame **RAKOTOMALALA Zolimboahangy**, Maître de Conférences

Examineurs : Monsieur **RATSIMBAZAFY Hery Mikaela**, Maître de Conférences

Monsieur **RAZAFINJATOVO Charles**, Maître Assistant

Madame **RASOATAHINJANAHARY Harivola**, Maître Assistant

Date de soutenance : 12 Mai 2016

Année universitaire : 2014 - 2015

# REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous remercions Dieu de nous avoir donné la force et le courage de réaliser ce travail. Nous tenons aussi à remercier les plusieurs personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation du présent mémoire, en particulier :

- ❖ Monsieur **ANDRIANAHARISON Yvon**, Professeur Titulaire et Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo ;
- ❖ Monsieur **RANAIVONARIVO Velomanantsoa Gabriely**, Professeur titulaire et Enseignant à l'ESPA ;
- ❖ Madame **RAKOTOMALALA Zolimboahangy**, Maître de Conférences et Enseignante à l'ESPA, qui nous a dirigé tout au long de ce mémoire, vu son emploi du temps très chargé ;
- ❖ Tous les examinateurs, qui ont bien voulu évaluer notre projet, qui sont :
  - ❖ Monsieur **RATSIMBAZAFY Hery Mikaela**, Maître de Conférences et Enseignant à l'ESPA ;
  - ❖ Monsieur **RAZAFINJATOVO Charles**, Maître Assistant et Enseignant à l'ESPA ;
  - ❖ Madame **RASOATAHINJANAHARY Harivola**, Maître Assistant et Enseignant à l'ESPA ;
- ❖ Tous les enseignants au sein du Mention pour nous avoir donné les meilleures d'eux-mêmes afin d'honorer notre Ecole ;
- ❖ Nos parents et toute notre famille pour leur affection, le soutien moral indéfectible, le sacrifice qu'ils ont fait preuve tout au long de nos études ; et tous nos amis.

Nous vous remercions tous.

# **SOMMAIRE**

**REMERCIEMENTS**

**SOMMAIRE**

**LISTE DES TABLEAUX**

**LISTE DES FIGURES**

**LISTE DES PHOTOS**

**LISTE DES SCHEMAS**

**INTRODUCTION**

**PARTIE 1 : ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES**

- 1 CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LE MATERIAU TERRE
- 2 CHAPITRE 2 : GENERALITES SUR LES FIBRES VEGETALES
- 3 CHAPITRE 3 : GENERALITES SUR LES ENDUITS TERRE

**PARTIE 2 : ETUDES EXPERIMENTALES**

- 4 CHAPITRE 4 : CARACTERISATION ET CARACTERISTIQUES DES MATIERES PREMIERES
- 5 CHAPITRE 5 : ESSAI DE FABRICATION D'UN ENDUIT DE TERRE FIBRE
- 6 CHAPITRE 6: MISE EN ŒUVRE D'UN ENDUIT TERRE CRUE

**CONCLUSION**

**BIBLIOGRAPHIES ET WEBOGRAPHIE**

**TABLE DES MATIERES**

# LISTE DES TABLEAUX

<b>TABLEAU 1:</b> COMPOSITION ET PROPRIETES DE DIFFERENTES FIBRES VEGETALES .....	13
<b>TABLEAU 2:</b> PROPRIETES USUELLES DES FIBRES .....	19
<b>TABLEAU 3:</b> AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES FIBRES VEGETALES .....	20
<b>TABLEAU 4:</b> AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES ENDUITS TERRE .....	26
<b>TABLEAU 5:</b> ANALYSES GRANULOMETRIQUES DE LA LATERITE DE VONTOVORONA .....	31
<b>TABLEAU 6:</b> ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU SABLE DE RIVIERE DE VONTOVORONA .....	33
<b>TABLEAU 7:</b> VARIATION DU VOLUME DE SABLE DU MORTIER D'ENDUIT .....	40
<b>TABLEAU 8:</b> PROPORTION DE FIBRE DES EPROUVETTES .....	41
<b>TABLEAU 9:</b> PRESENCE DE FISSURATIONS/EFFRITEMENTS .....	43
<b>TABLEAU 10:</b> PERTE EN EAU APRES 15 JOURS .....	44
<b>TABLEAU 11:</b> RETRAIT LINEAIRE EN POURCENTAGE DES EPROUVETTES APRES 15 JOURS .....	45
<b>TABLEAU 12:</b> VALEURS DES RESISTANCES A LA TRACTION PAR FLEXION DES EPROUVETTES .....	45

# LISTE DES FIGURES

<b>FIGURE 1:</b> LE SOL .....	4
<b>FIGURE 2:</b> EXEMPLE DE PARTAGE DES COMPOSANTS PRINCIPAUX DANS UN SOL CULTIVE.....	7
<b>FIGURE 3:</b> MOLECULE DE LA CELLULOSE .....	13
<b>FIGURE 4:</b> COURBE GRANULOMETRIQUE DE LA LATERITE DE VONTOVORONA.....	31
<b>FIGURE 5:</b> COURBE GRANULOMETRIQUE DU SABLE DE RIVIERE DE VONTOVORONA.....	33

# LISTE DES PHOTOS

<b>PHOTO 1</b> : EXEMPLE DE SOL LATERITIQUE.....	6
<b>PHOTO 2</b> : KAOLINITE VUE EN MICROSCOPIE ELECTRONIQUE A BALAYAGE (MEB) (EN FORME DE FEUILLETS) .....	7
<b>PHOTO 3</b> : LA PLANTE ET LA FIBRE DE CHANVRE .....	14
<b>PHOTO 4</b> : LA PLANTE ET LA FIBRE DE LIN .....	15
<b>PHOTO 5</b> : LA PLANTE ET LA FIBRE DE COTON .....	16
<b>PHOTO 6</b> : LA PLANTE ET LA FIBRE D'ABACA .....	16
<b>PHOTO 7</b> : LA PLANTE ET LA FIBRE DE KENAF .....	17
<b>PHOTO 8</b> : LA PLANTE ET LA FIBRE DE JUTE .....	17
<b>PHOTO 9</b> : LA PLANTE ET LA FIBRE DE SISAL.....	18
<b>PHOTO 10</b> : LA PLANTE ET LA FIBRE DE RAMIE .....	18
<b>PHOTO 11</b> : LA PLANTE ET LA FIBRE DE COCO .....	19
<b>PHOTO 12</b> : LA LATERITE DE VONTOVORONA.....	30
<b>PHOTO 13</b> : SABLE DE RIVIERE DE VONTOVORONA.....	32
<b>PHOTO 14</b> : FIBRE DE SISAL SOUS FORME DE CORDE .....	34
<b>PHOTO 15</b> : MATERIELS UTILISES POUR LA PREPARATION DES MATIERES PREMIERES .....	35
<b>PHOTO 16</b> : ARGILE ET LATERITE SECHEES .....	35
<b>PHOTO 17</b> : ARGILE BROYEE.....	36
<b>PHOTO 18</b> : BROYAGE DE L'ARGILE .....	36
<b>PHOTO 19</b> : LATERITE TAMISEE (TAMISAT ET REFUSAT) .....	36
<b>PHOTO 20</b> : SABLE DE RIVIERE DE VONTOVORONA TAMISE .....	37
<b>PHOTO 21</b> : DECOUPAGE DES FIBRES A 1 CM .....	37
<b>PHOTO 22</b> : TRIAGE DES FIBRES .....	38
<b>PHOTO 23</b> : EXEMPLE D'ECHANTILLONS DE MORTIER D'ENDUIT FRAIS DONT LA PROPORTION DE SABLE VARIE .....	40
<b>PHOTO 24</b> : SCHEMA D'UNE EPROUVETTE 4x4x16 CM .....	41
<b>PHOTO 25</b> : SCHEMA D'UNE EPROUVETTE 2x4x6 CM .....	41
<b>PHOTO 26</b> : « MOULE 2 » AVEC ATTACHE .....	42
<b>PHOTO 27</b> : « MOULE 1 » AVEC DEMOULEUR .....	42
<b>PHOTO 28</b> : RESISTANCE AU CLOU.....	46
<b>PHOTO 29</b> : RESISTANCE AUX VIS .....	46
<b>PHOTO 30</b> : PREPARATION DU SUPPORT .....	47
<b>PHOTO 31</b> : LE GOBETIS .....	48
<b>PHOTO 32</b> : LE CORPS D'ENDUIT .....	48
<b>PHOTO 33</b> : LA FINITION .....	49

# LISTE DES SCHEMAS

<b>SCHEMA 1</b> : COMPOSITION DES MATIERES MINERALES.....	8
<b>SCHEMA 2</b> : CARACTERISTIQUES DIMENSIONNELLES .....	10
<b>SCHEMA 3</b> : LIMITES D'ATTERBERG.....	10



# INTRODUCTION

Actuellement, l'habitat est devenu une priorité, un besoin majeur de se protéger, de s'abriter et de se réfugier. Notamment pour être en sécurité, mais aussi pour avoir un chez soi, car le nombre de la population ne cesse d'augmenter au fur et à mesure que le temps avance.

Les produits utilisés dans le bâti de nos jours, commencent à épuiser leurs ressources, tandis que leur coût augmente. La transformation des matières premières nécessite beaucoup d'énergie. L'écosystème commence à se dégrader, du fait que la production industrielle suscite la propagation de CO<sub>2</sub> ou d'éléments nuisibles dans l'atmosphère.

La construction en terre est, de nos jours, valorisée dans le cadre écologique, économique et durable ; cela dans le monde entier. Mais dans les habitats en terre elle ne suit aucun protocole ni réglementation pour sa mise en œuvre. La fissuration, la fragilité, et l'absence de cohésion sont le résultat du manque de précisions, de références et de normalisations. Ces cas sont souvent rencontrés dans la construction de revêtement des murs par la terre crue.

Combiner en même temps la qualité, la durabilité et l'esthétique est l'effet recherché. C'est dans cette axe que nous nous proposons de réaliser un enduit en terre fibré, d'où l'idée de notre mémoire intitulé : « **Essai de fabrication d'un enduit de terre intérieur renforcé par des fibres de sisal** »

Notre travail se subdivise en deux (02) grandes parties :

La première est axée sur une ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE ;

La seconde partie est consacrée à l'ETUDE EXPERIMENTALE.

## **PARTIE 1 : ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES**

# 1 Chapitre 1 : Généralités sur le matériau terre

---

## 1.1 Présentation et historique : [1], [2], [3], [4]

Terre crue, banco ou adobe sont les termes utilisés pour désigner la terre, utilisée avec le moins de transformations possible en tant que matériau de construction. Le terme terre crue permet surtout de marquer la différence avec la terre cuite : en effet, dans la construction occidentale contemporaine, le matériau terre se trouve le plus couramment sous sa forme cuite (briques de terre cuite, tuiles). Plusieurs techniques de construction utilisant la terre crue comme matériau structurel existent : le pisé, la bauge, l'adobe, la brique de terre compressée.

La terre crue est un matériau économique : l'extraction ne nécessite pas de moyens technologiques importants ; l'utilisation est réalisée sans transformation ; l'acheminement est réduit. Tous ces facteurs limitent les coûts. Sur le plan technique c'est un matériau très isolant aussi bien phoniquement que thermiquement.

L'utilisation de la terre comme matériau de construction est une tradition très ancienne.

Depuis onze millénaires, l'humanité fait preuve d'une étonnante capacité à bâtir en terre crue, depuis les simples habitations jusqu'aux palais et aux villes entières. Aujourd'hui, dans des contextes et des territoires très variés, ce matériau de construction reste toujours le plus utilisé puisqu'un tiers de la population mondiale vit dans un habitat en pisé, briques d'adobe, torchis, bauge ou blocs comprimés. Modestes ou monumentales, ces architectures sont présentes dans 190 pays : elles témoignent d'une qualité de vie au quotidien et d'innovations techniques qui mêlent étroitement savoir-faire et audace, art et virtuosité. [3]

En raison de son abondance et la disponibilité de la main d'œuvre, il est très répandu dans de nombreuses régions du globe. Le matériau "terre crue" a vu son usage décroître par la perte des savoir-faire et parce que sa mise en œuvre était incompatible avec certains choix d'industrialisation.

La véritable provenance de la terre n'est autre que le sol, que l'on cultive, qui se trouve à nos pieds et que l'on trouve partout.

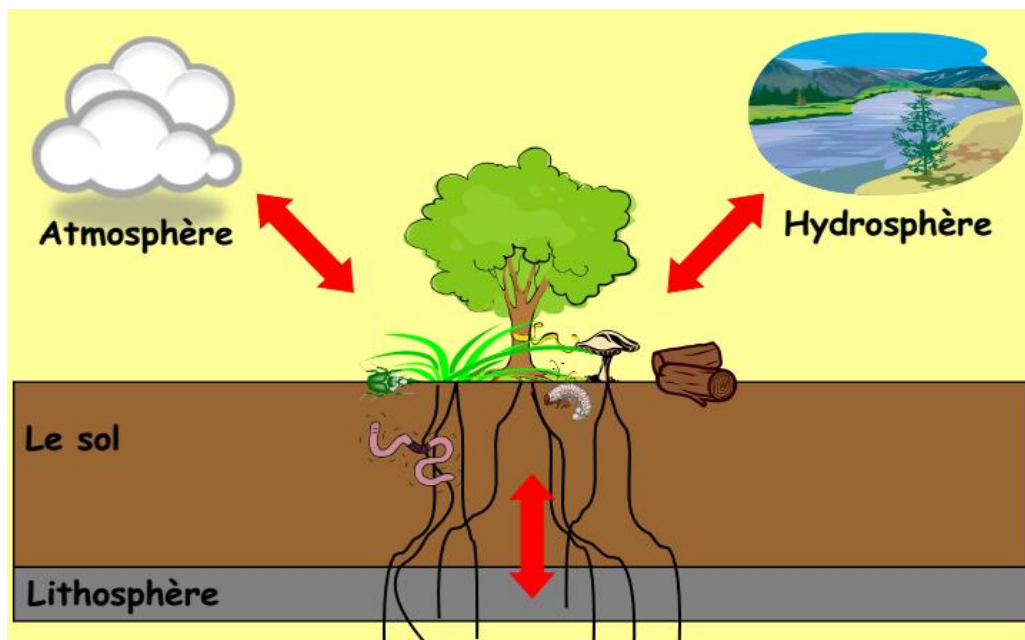
## 1.2 Définitions et généralités :

### 1.2.1 Sol : [5], [6], [7]

Le sol est à la croisée de l'atmosphère, de l'hydrosphère et de la lithosphère, le tout formant la biosphère. Il joue les rôles de producteur de nourriture, d'épurateur des eaux, de régulateur dans les échanges gazeux avec l'atmosphère et bien d'autres choses encore.

Un sol est une formation meuble qui se développe à partir d'une roche mère mise à l'affleurement et est de ce fait soumise à des conditions climatiques déstabilisantes.

C'est la transformation de la couche superficielle de la roche mère, la croûte terrestre, dégradée et enrichie en apports organiques par les processus vivants. Hors des milieux marins et aquatiques d'eau douce, il est ainsi à la fois le support et le produit du vivant. Le sol est une interface entre biosphère et lithosphère. La partie du sol spécialement riche en matière organique se nomme l'humus. On différencie le sol de la croûte terrestre par la présence significative de vie. Le sol est aussi un des puits de carbone planétaires, mais semble perdre une partie de son carbone, de manière accélérée depuis au moins 20 ans. Il peut contenir et conserver des fossiles, des vestiges historiques et les traces d'anciennes activités humaines (voir archéologie) ou d'évènements climatiques. Ces éléments influent à leur tour sur la composition floristique.



*Figure 1: Le sol*

## 1.2.2 Terre crue : [8]

En construction, elle désigne un matériau de base très semblable, constitué par une pâte ou une boue contenant plus ou moins d'argile ou de limon. Les anciens l'appelaient terre franche qui est :

- ❖ soit éventuellement dégraissée au sable,
- ❖ soit fibrée de foin ou de paille ou d'autres fibres végétales,
- ❖ soit additionnée de différents matériaux qui vont modifier ses propriétés (chaux, urine de bestiaux, etc.).

La terre crue est utilisée comme mortier ou appliquée comme enduit (le mortier de terre) en remplissage d'une ossature (torchis, hourdage, bousillage, etc.), empilée (bauge), coffrée (pisé, béton de terre, etc.), découpée ou modelée sous forme de briques crues (adobe, banco, brique de terre compressée, etc.) ou simplement foulée au sol (terre battue).

La terre crue a l'avantage d'être moins dispendieuse en énergie, moins polluante. Ayant tendance à se diluer dans l'eau, il y a lieu toutefois de la préserver des sources d'humidité.

La terre crue est d'autre part appréciée pour ses propriétés thermiques.

## 1.2.3 Latérite : [9], [10]

❖ La latérite (du latin *later*, brique) est un sol rouge ou brun, qui se forme par altération des roches sous les climats tropicaux. Le sens large désigne l'ensemble des matériaux, meubles ou indurés, riches en hydroxydes de fer ou en hydroxyde d'aluminium, constituant des sols, des horizons superficiels, des horizons profonds de profil d'altération. On trouve des latérites surtout en domaine intertropical. Les latérites recouvrent 33% des continents.

❖ La latérite désigne aussi un matériau induré, utilisé pour la construction d'édifices dans les régions tropicales.

❖ Les sols latéritiques sont aussi des sols maigres, lessivés et appauvris en silice et en éléments nutritifs fertilisants (Ca, Mg, K, Na). La végétation, comme les grandes forêts équatoriales, reste cependant abondante sur ces sols, bien que fragile.

Le fer oxydé donne la couleur rouge d'une latérite. La présence d'alumine  $Al_2O_3$  fait de certaines latérites appelées bauxite le principal minerai d'aluminium.



***Photo 1** : Exemple de sol latéritique*

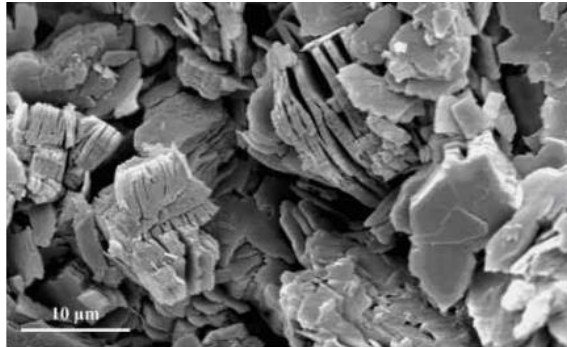
#### 1.2.4 L'argile : [11], [12]

Les argiles sont des matériaux sédimentaires de la couche superficielle de l'écorce terrestre, obtenues par dégradation physique (gel, cristallisation de sels,..) et altération par l'hydrolyse des minéraux des roches éruptives et magmatiques (granites et basaltes) sous l'action physique et chimique des eaux de surface. Ces résidus détritiques sont déplacés par voie glaciaire, fluviale ou éolienne et se déposent dans les bassins de sédimentation. Le terme argile vient du grec («Argos » = blanc), montrant que les potiers de l'Antiquité se sont d'abord intéressés à des glaises blanches ou à des argiles calcaires blanc. Ce terme est cependant mal défini techniquement car il possède différents sens qui ne se recouvrent que globalement. Il peut désigner :

- ❖ des minéraux de structures et propriétés particulières ;
- ❖ des roches argileuses composées pour l'essentiel de ces minéraux ;
- ❖ la partie la plus fine ( $< 2 \mu m$ ) d'une analyse granulométrique d'un sol meuble, bien

que des cristaux des minéraux argileux puissent être plus gros que 2  $\mu\text{m}$  et que ceux des autres éléments, comme le quartz, puissent être plus petits.

Les minéraux argileux sont fondamentalement constitués de silicium, d'aluminium, d'oxygène et d'ions hydroxyles. Ce sont des phyllosilicates d'alumine hydratés, le préfixe « phyllo » désignant des minéraux qui prennent des formes de feuillets.

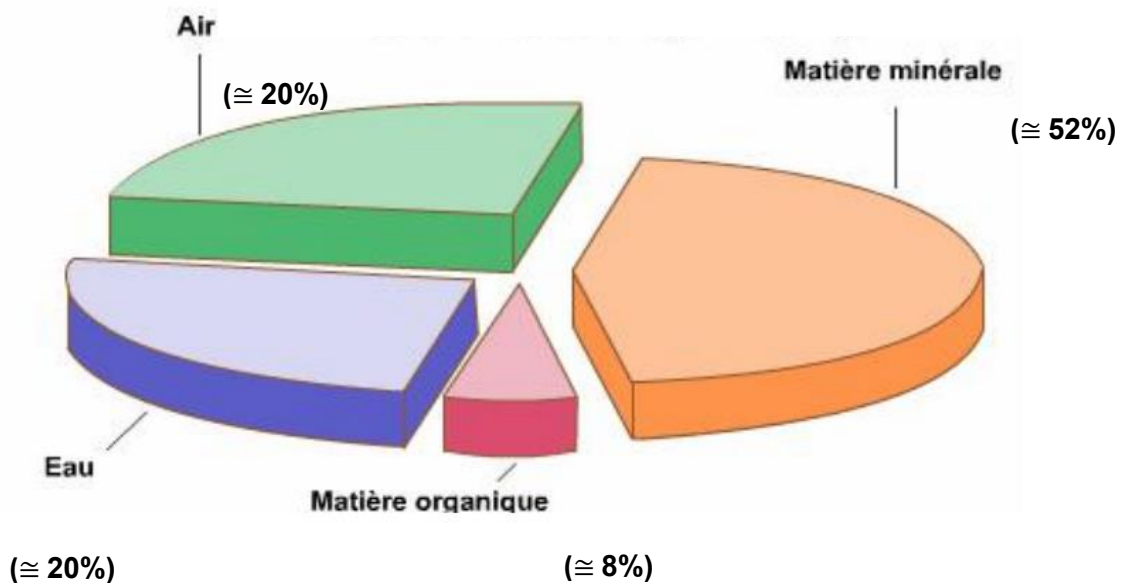


**Photo 2** : Kaolinite vue en Microscopie Electronique à Balayage (MEB) (en forme de feuillets)

### 1.3 Composition du matériau terre : [12], [13]

Le matériau terre est composé de :

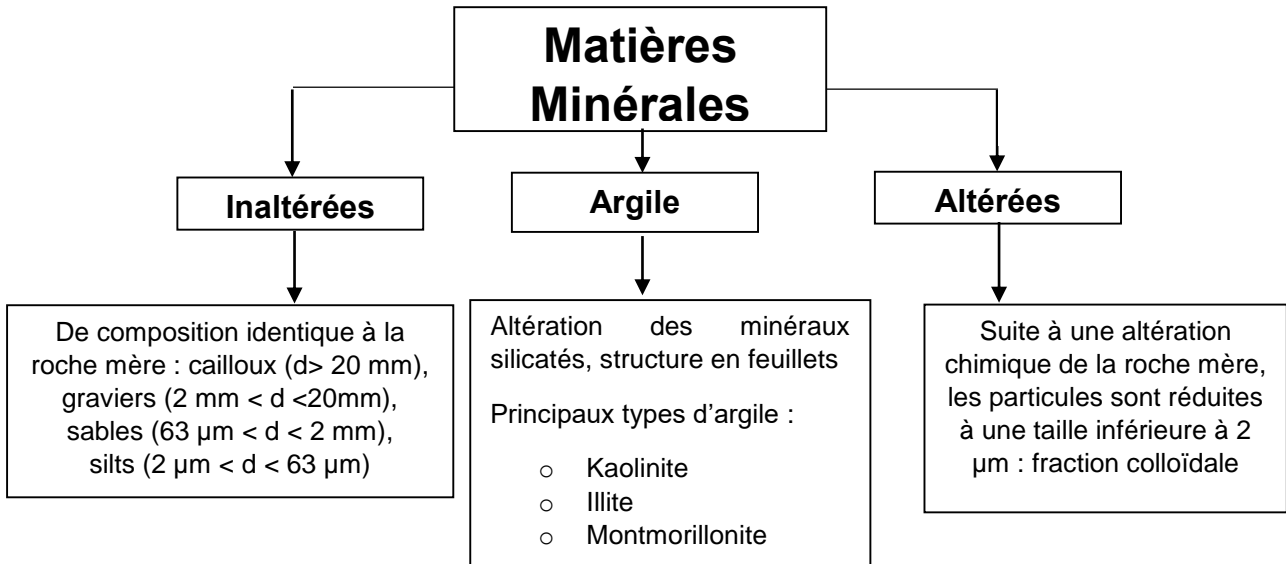
- ❖ Matières minérales ;
- ❖ Matières organiques ;
- ❖ Air ;
- ❖ Eau.



**Figure 2**: Exemple de partage des composants principaux dans un sol cultivé

## Les matières minérales :

Le schéma ci-dessous montre la composition des matières minérales :



***Schéma 1*** : Composition des matières minérales

### 1.3.1 Les matières organiques :

Elles sont de proportions variables dans le sol, on peut les répartir en quatre classes :

- ❖ Matière organique vivante (biomasse active) ;
- ❖ Matière organique fraîche (débris végétaux, cadavres, excréments ...) ;
- ❖ Composés en cours d'évolution dits transitoires ;
- ❖ Composés organiques stabilisés ou humus (fraction humine, acides humiques, acides fulviques).

### 1.3.2 L'eau :

Selon la proportion présente, la terre peut être compacte ou à l'état de boue. Ses propriétés sont dépendantes :

- ❖ Cohésion : liée aux forces à l'interface air/eau et aux interactions entre particules argileuses ;
- ❖ Succion : phénomène qui croît avec la réduction de la teneur en eau ;



- ❖ Gonflement : humidification de l'argile ;
- ❖ Retrait : phénomène lié à l'abaissement de la teneur en eau et à la présence d'argiles ;
- ❖ Plasticité : état pour lequel la terre est cohésive, se déforme sans se rompre.

### 1.3.3 L'air :

Sa proportion doit être réduite pour que le matériau soit résistant. Il forme avec l'eau (liquide ou gazeuse) les vides dans le sol.

- ❖ Indice des vides :

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Avec  $V_v$  : volume du vide

$V_s$  : volume de grains solides

- ❖ Porosité :

$$n = \frac{V_v}{V_t} \times 100$$

Avec  $V_t$  : volume totale

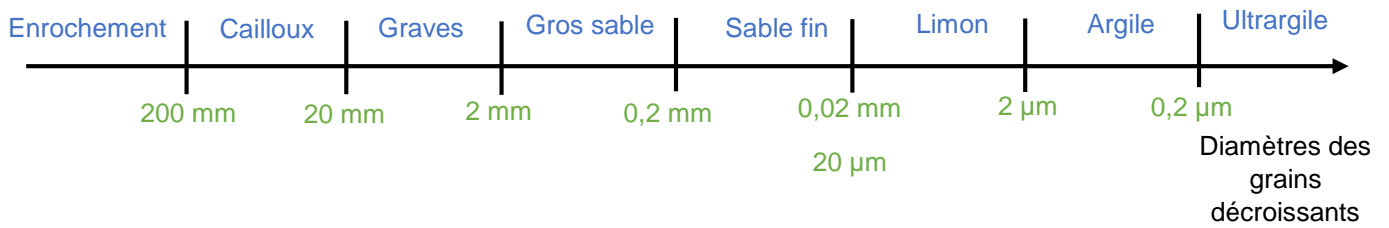
## 1.4 Caractéristiques du matériau terre :

Il est caractérisé par :

- ❖ La granularité
- ❖ La plasticité
- ❖ La compressibilité
- ❖ La cohésion

### 1.4.1 Granularité : [14]

Les grains solides sont répartis suivant leur taille et sont classés comme suit :



**Schéma 2 :** Caractéristiques dimensionnelles

### 1.4.2 Plasticité : [14]

On considère trois états caractérisant les sols du point de vue consistance.

Pour des teneurs en eau croissantes, on peut définir :

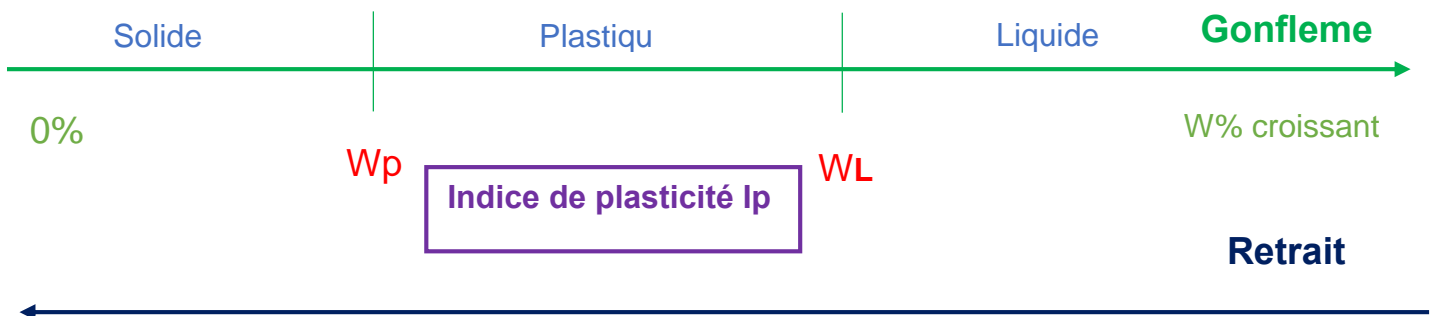
- ❖ un sol à l'état solide ;
- ❖ un sol à l'état plastique ;
- ❖ un sol à l'état liquide.

On utilise des limites définies par Atterberg (*Limites d'Atterberg*) pour séparer ces trois états. A partir de ces limites, on peut déterminer l'indice de plasticité  $I_p$  :

$$I_p = W_L - W_p$$

Avec  $W_L$  : limite de liquidité

$W_p$  : limite de plasticité



**Schéma 3 :** Limites d'Atterberg

### 1.4.3 Compressibilité : [14]

Elle définit la variation relative de volume, de densité, de la teneur en eau du sol sous l'effet d'une force/pression appliquée.

Elle vise à :

- ❖ Diminuer la déformation (augmenter le module d'Young) ;
- ❖ Diminuer la perméabilité des sols ;
- ❖ Diminuer les variations de volume indésirable.

## 2 Chapitre 2 : Généralités sur les fibres végétales

---

### 2.1 Définition : [15]

Une fibre végétale est une expansion cellulaire filiforme, principalement composée de cellulose, d'hémicelluloses, de lignines, et de pectines. Elle est isolée ou compose avec d'autres un faisceau. Dans une proportion beaucoup plus faible elles contiennent aussi des extractibles, des protéines et certains composés inorganiques.

Les fibres végétales peuvent permettre aux industriels des matériaux de réduire leur dépendance vis-à-vis du pétrole, grâce à leurs propriétés mécaniques, leur faible densité, leur résistance thermique, leur absorption phonique, leurs propriétés de surface, et leur biodégradabilité.

### 2.2 Présentation et structure des fibres végétales [16]:

#### 2.2.1 Présentation :

Les fibres végétales comprennent :

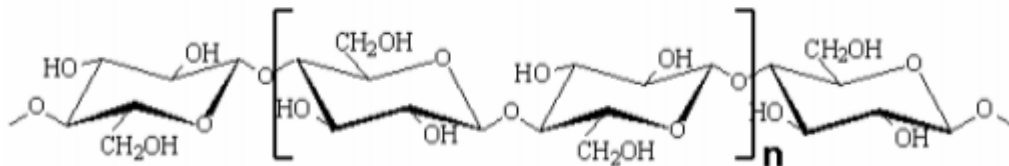
- ❖ les fibres provenant des poils séminaux de gaines (coton kapok) ;
- ❖ les fibres libériennes extraites de tiges de plantes (lin, chanvre, jute, ramie) ;
- ❖ les fibres dures extraites de feuilles (sisal), de troncs (chanvre de manille) ; d'enveloppes de fruits (noix de coco).

#### 2.2.2 Structure :

##### 2.2.2.1 La cellulose :

Elle possède une structure en grande partie cristalline. La cellulose cristalline est l'un des polymères ayant le module d'élasticité le plus élevé, soit environ 136 GPa à comparer au 75 GPa de la fibre de verre. Cette rigidité provient de la structure cristalline qui suit un agencement supramoléculaire hélicoïdal très ordonné. Il est important de noter que cette structure moléculaire particulière entraîne lors d'une elongation des fibres, un couplage torsion/traction qui peut avoir des conséquences sur l'interface, sur la déformation ou sur les mécanismes de rupture du composite. A l'intérieur de la fibre, les chaînes cellulosiques

sont réunies en micro fibrilles qui en s'agglomérant forment des fibrilles sur plusieurs couches. L'angle qui existe entre ces éléments très structurés et l'axe de la fibre conditionne la rigidité de la fibre. Les liaisons hydrogènes qui s'établissent le long et entre les chaînes cellulosiques sont à la base des bonnes propriétés des fibres cellulosiques. Ce sont ces différences, constitutives ainsi qu'anatomiques, qui vont donner la grande variabilité des propriétés physico-mécaniques des fibres naturelles.



**Figure 3:** Molécule de la cellulose

### 2.2.2.2 Fibrilles de cellulose :

Une fibre végétale est assimilable à un matériau composite renforcé par des fibrilles de cellulose. La matrice est principalement composée d'hémicellulose et de lignine. Les fibrilles de cellulose sont orientées en hélice suivant un angle nommé angle micro fibrillaire. Habituellement, dans un matériau composite, le taux de renfort et l'orientation des fibres conditionnent les caractéristiques élastiques et à rupture.

De même, dans une fibre végétale, les propriétés physiques des fibres naturelles sont principalement déterminées par la composition chimique et physique, la structure, le pourcentage de cellulose, l'angle micro fibrillaire, la section et le degré de polymérisation. En simplifiant, pour un pourcentage de cellulose donné, plus l'angle micro fibrillaire sera faible et plus la rigidité et la résistance de la fibre seront élevées ; plus l'angle micro fibrillaire sera important et plus l'allongement à la rupture sera important.

Le tableau suivant présente, pour différentes fibres, le pourcentage de la cellulose, l'angle micro fibrillaire, les dimensions des fibres et le rapport d'aspect L / d (longueur / diamètre), ce rapport étant un paramètre important pour permettre le transfert de charges entre fibre et matrice.

**Tableau 1:** Composition et propriétés de différentes fibres végétales

Nature des fibres	% de cellulose	Angle microfibrillaire (degrés)	Diamètre ( $\mu\text{m}$ )	Longueur (mm)	Rapport L / d
Lin	64 - 71	10	5 - 76	4 - 77	1687
Ramie	83	7,5	16 - 126	40 - 250	3500
Chanvre	78	6,2	10 - 51	5 - 55	960
Jute	61 - 71	8	25 - 200		110
Sisal	67 - 78	20	7 - 47	0,8 - 8	100
Noix de coco	43	45	12 - 24	0,3 - 1	35

## 2.3 Utilisation : [15]

Au XIXe siècle, les plantes à fibres (lin et chanvre) étaient largement cultivées car leurs fibres alimentaient l'industrie textile, l'industrie papetière, et la marine à voile. Les évolutions techniques (métier à tisser, machine à vapeur, techniques de récolte et de transformation du coton) ont fait chuter la demande en fibres végétales, entraînant une réduction importante des surfaces cultivées.

## 2.4 Les différentes fibres végétales [16]:

### 2.4.1 La fibre de chanvre :

Le chanvre est une fibre libérienne, tout comme le lin, le kenaf, le jute et la ramie. Les plantes de cette famille présentent toutes des fibres externes longues et étroites et des fibres internes ligneuses. Par ses possibilités techniques, la fibre de chanvre répond à des besoins textiles traditionnels tout en ouvrant la voie à une foule d'innovations. Cultivé dans les pays à climat tempéré, on en trouve dans l'est de l'Europe, en France et en Italie. A cause de sa grande solidité et de son intérêt économique, la fibre de chanvre est en effet très recherchée comme substitut de la fibre de verre et d'autres matériaux synthétiques utilisés dans divers composites agglomérés, par exemple des pièces automobiles, des matériaux de construction et divers biens de consommation. En milieu industriel, le chanvre comporte en fait de nombreux atouts. Ses caractéristiques physiques lui confèrent une grande force, ainsi qu'une excellente rentabilité dans le domaine des composites et du papier.



**Photo 3** : *La plante et la fibre de chanvre*

### 2.4.2 La fibre de lin :

Le lin est une plante annuelle qui pousse dans le monde entier. La fibre de lin vient des tiges de la plante mais aussi de l'huile extraite des graines. L'avantage de cette fibre est sa longueur élevée, en moyenne 25 mm et sa bonne résistance. Le lin peut être utilisé comme substitut au coton. De plus, le rendement de cette fibre est très nettement supérieur à la production de coton (jusqu'à 2 t/an/ha). Cette fibre est utilisée en papeterie pour des papiers fins comme les papiers à cigarette ou le papier Bible. En effet, sa bonne résistance et sa longueur confèrent à ses papiers les caractéristiques mécaniques essentielles pour cette production particulière. Ces fibres sont très raffinées afin d'avoir des longueurs inférieures à 4 mm.



***Photo 4** : La plante et la fibre de lin*

### 2.4.3 La fibre de coton :

Le cotonnier est un petit arbuste annuel de 1 à 1,50 m de haut. Il est cultivé dans les zones chaudes d'Amérique, d'Afrique, d'Asie et mêmes d'Europe (Espagne). Les fibres de coton proviennent des graines, et sont appelés linters. Le rendement en linters de coton est de seulement 0,05 t/ha/an. Cette fibre est utilisée pour ses bonnes caractéristiques physique et mécanique. En effet, les linters de coton mesurent 2 à 5 mm et ont une largeur de 18  $\mu\text{m}$ . Elle est utilisée pour des papiers dits de luxe. Elles sont également utilisées pour les papiers fiduciaires et principalement pour les billets de banques, papiers pour lesquels la

caractéristique essentielle est la résistance au pliage. Cette fibre est aussi beaucoup utilisée dans le domaine du textile.



**Photo 5** : *La plante et la fibre de coton*

#### 2.4.4 La fibre d'Abaca :

L'Abaca ou chanvre de Manille est un bananier textile (Musacées) qui pousse aux Philippines : les fibres dans les gaines foliaires forment un pseudo tronc très recherché pour la fabrication de cordages légers et insubmersibles, pour des rabanes, des nappes, des stores ou des vêtements. La fibre d'Abaca a une longueur de 6 mm pour un diamètre de 22  $\mu\text{m}$ . Elle est utilisée principalement dans la composition des papiers filtres, des sachets de thé. Ce sont des papiers poreux demandant une bonne résistance, en particulier au déchirement.



**Photo 6** : *La plante et la fibre d'Abaca*



### 2.4.5 La fibre de kénaf :

Le kénaf est une plante herbacée dont la tige peut atteindre 3 m de haut. Il se trouve principalement dans les régions tropicales et en Amérique du Sud. Elle est destinée uniquement pour le domaine papetier. Le rendement en fibre atteint près de 10 t/an/ha. La longueur moyenne des fibres (1,5 mm) est comprise entre celle des fibres de feuillus et celle des fibres de résineux.



***Photo 7 : La plante et la fibre de kénaf***

### 2.4.6 La fibre de jute :

Le jute est une plante buissonnante originaire du sud-est asiatique. Les principaux producteurs sont l'Inde et le Bangladesh. Le rendement en fibres est de 2 t/ha/an. Les fibres utilisées en papeterie sont les déchets de culture et de filature.

La longueur moyenne des fibres est de 2 mm, avec une largeur de 20  $\mu\text{m}$ . Les caractéristiques de ces fibres sont généralement assimilées à celles du kenaf.



***Photo 8 : La plante et la fibre de jute***

### 2.4.7 Le sisal :

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



***Photo 9*** : La plante et la fibre de sisal

### 2.4.8 La fibre de ramie :

La ramie est une plante arbustive. Originaires d'Asie de l'Est, la ramie a pour principaux producteurs la Chine, le Japon et l'Amérique. Le rendement en fibres est d'environ 2 t/ha/an. La ramie est une plante arbustive. Originaires d'Asie de l'Est, la ramie a pour principaux producteurs la Chine, le Japon et l'Amérique. Le rendement en fibres est d'environ 2 t/ha/an. La longueur moyenne des fibres est comprise entre 40 et 250 mm, pour un diamètre moyen de 45  $\mu\text{m}$ . Ces fibres ressemblent aux fibres de lin mais sont encore plus longues, plus solides et plus rigides.



***Photo 10*** : La plante et la fibre de ramie

## 2.4.9 La fibre de coco :

Les fibres de coco proviennent de la couche fibreuse qui entoure la noix de coco. Elles sont filées et tissées après avoir été assouplies dans l'eau. Le filage grossier et irrégulier donne au coco un aspect rustique. Le coco est très résistant, il est isolant, imputrescible et antibactérien. On utilise plutôt dans des pièces spacieuses et lorsqu'on veut mettre en avant son côté rustique.



***Photo 11*** : La plante et la fibre de coco

## 2.5 Propriétés usuelles [16]:

Le tableau ci-dessous présente les propriétés usuelles des fibres végétales :

***Tableau 2***: Propriétés usuelles des fibres

Propriétés	Type de fibres							
	lin	Chanvre	Jute	Ramie	Coco	Sisal	Abaca	Coton
Densité	1,4	1,48	1,46	1,5	1,25	1,33	1,5	1,51
Résistance à la traction (MPa)	800-1500	550-900	400-800	550	220	600 -700	980	400
Module d'élasticité (E) [GPa]	60-80	70	10-30	44	6	38		12
(E/densité) spécifique	26-46	47	7-21	29	5	29		8
Allongement à la rupture (%)	1,2-1,6	1,6	1,8	2	15-25	2-3		3-10
Absorption d'eau (%)	7	8	12	12-17	10	11		8-25

## 2.6 Avantages et inconvénients : [16]

Le tableau ci-dessous présente les avantages et inconvénients des fibres végétales :

**Tableau 3:** *Avantages et inconvénients des fibres végétales*

Avantages	Inconvénients
Faible coût	Absorption d'eau
Biodégradabilité	Faible stabilité dimensionnelle
Neutre pour l'émission de CO <sub>2</sub>	Mauvaise tenue en vieillissement
Pas d'irritation cutanée lors de la manipulation des fibres	Faible tenue thermique (200 à 300°C max)
Pas de résidus après incinération	Fibres anisotropes
Ressource renouvelable	Variation de qualité en fonction du lieu de croissance, de la météo...
Demande peu d'énergie pour être produite	Pour des applications industrielles, demande la gestion de stock
Propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité)	Renfort discontinu
Bonne isolation thermique et acoustique	
Non abrasif pour les outillages	

## 3 Chapitre 3 : Généralités sur les enduits terre

---

### 3.1 Présentation et historique : [17], [18], [19]

Les enduits en terre vivent une véritable renaissance ces dernières années. Dans le temps, on les utilisait pour des bâtiments simples ; l'argile était le seul matériau de construction disponible partout et pour tout le monde.

Aujourd'hui on a redécouvert cet ancien matériau surtout pour ses qualités climatiques en tant que régulateur hygrométrique, ainsi que pour son aspect esthétique. Les enduits en argile ou en terre présentent une structure de surface très belle et vivante. Ils permettent la diffusion, ils sont sains, naturels, sans additifs chimiques et sont capillaires. Ils peuvent absorber l'humidité et la rediffuser selon le taux d'humidité de la pièce. Ainsi, le taux d'humidité reste constant à  $\pm 50\%$ . Le climat et la chaleur du mélange ( $3^{\circ}\text{C}$  supérieur à la température d'une surface de plâtre) apporte un plus de confort pour les habitants. On peut utiliser les enduits en argile aussi bien pour des habitations de particuliers que pour des bâtiments industriels, ou des bureaux, dans toutes les pièces et sur tous les supports. Les enduits en terre se diluent à l'eau. Ils se solidifient uniquement par séchage et non par processus chimique. En ajoutant de l'eau, on peut les travailler sans contrainte de temps. Le fait que les enduits se diluent à l'eau permet de les utiliser et de les réutiliser à volonté, ils ne deviennent jamais un déchet. Ce composé réversible fait que l'argile est le matériau idéal dans la restauration de vieux bâtiments et de monuments historiques. L'argile ne nuit pas à la peau. Grâce à sa capacité d'adhésion et de plasticité, l'argile est un matériau très facile à former, modeler et à appliquer même en épaisseurs importantes. Les enduits en argile s'appliquent partout sauf dans les zones recevant de l'eau (par exemple au-dessus d'un évier de cuisine ou autour d'une baignoire). A ces endroits, il est opportun de carreler. Sur des murs qui sont fortement sollicités, impliquant une usure (couloirs d'une école par exemple), il est préférable de travailler avec des matières plus dures.

L'emploi fréquent de la terre dans les enduits vient du fait que c'est un matériau qu'on trouve facilement dans la nature, donc accessible à tout le monde. Sa technique de mise en œuvre ne demande pas trop de recherches ou de connaissance. Par ailleurs, outre sa qualité d'isolant thermique, la terre offre une bonne résistance dans la mesure où elle est protégée par une passée de toiture en élévation et un soubassement maçonné à la chaux.

L'enduit de terre est fréquemment armé de fibres végétales (blé, orge ou toutes sortes de pailles) ou animales (poils de chèvres ou de moutons). La dégradation de l'enduit de terre se manifeste par des fissures, des décollements ou par des pathologies de surface (efflorescences, algues, lichens, mousses, etc...) Ces anomalies sont dues à l'humidité et à l'infiltration des eaux dans la maçonnerie, ou aux mouvements structurels (tassement différentiel, séisme, etc...)

Pour assurer la protection du revêtement, il faut entretenir continuellement l'enduit de terre.

Les enduits en terre sont aujourd'hui l'utilisation la plus répandue de la terre crue. Des fibres sont ajoutées à la matière terre pour améliorer les propriétés mécaniques et thermiques du produit final. Il y a deux types d'usages des enduits en terre crue :

- ❖ L'enduit de masse thermique : épaisseur 2 à 4 cm. Il est mis en œuvre pour améliorer le climat intérieur (inertie thermique, régulation hygrothermique) et la qualité de l'air. Sans couche de finition, il confère un aspect brut.
- ❖ L'enduit décoratif : épaisseur 0,5 à 1 cm. Il est mis en œuvre pour ses qualités esthétiques : surface lisse, couleur au choix.

## 3.2 Définition et généralités : [20], [21]

Un enduit en construction consiste en une couche de mortier appliquée sur un mur ou en extérieur sur le manteau d'isolation de ce mur. Les couleurs obtenues sont très variées, dépendant des granulats employés et également des pigments que l'on peut y ajouter lorsque le sable utilisé est un sable lavé.

Les enduits intérieurs en terre sont constitués d'argiles, de sables, adjuvantés de fibres végétales et parfois de cellulose. Ils ne nécessitent aucune transformation chimique, ni cuisson à la fabrication ce qui en fait une solution écologique et saine pour vos finitions intérieures. Une fois appliquée, la terre a des propriétés particulières. Elle est perméable à la vapeur d'eau, l'argile absorbe et rend l'humidité régulant ainsi l'hygrométrie de la pièce. Elle atténue de cette façon l'impression de moiteur en absorbant l'excès d'humidité qu'elle rendra plus tard quand l'air sera trop sec. Bien entendu, ces phénomènes fonctionnent encore mieux avec des couches de terre plus épaisses, par exemple avec un enduit de base en terre sous la couche de finition. Les couleurs sont les teintes naturelles des argiles, qui sont liant et colorant à la fois. De nombreuses nuances peuvent être obtenues par le

mélange des enduits de différentes couleurs. Une fois appliqué la couleur de l'enduit ne s'altère pas car les argiles sont insensibles aux rayonnements UV.

La terre n'est pas uniquement un matériau esthétique, elle est également agréable au toucher. De plus, un enduit en terre ne se solidifie qu'en séchant, et non par réaction chimique irréversible. On peut donc le travailler à loisir, en le gardant humide ou en le réhumidifiant au besoin.

### 3.3 Composition : [20], [22]

Les enduits sont constitués d'un liant (chaux, plâtre, ciment Portland ou argile) et de charges minérales (agrégats, ou granulats, comme le sable ou la poussière de marbre) dans un rapport d'environ 1/3 de liant pour 2/3 de charges minérales. L'adjonction de pigments (charges colorantes) n'est pas indispensable, elle dépend de l'effet recherché.

Il est rare de tomber sur une terre que l'on puisse utiliser directement. Elle est souvent trop argileuse, il faudra la corriger avec du sable et/ou des fibres. La granulométrie des charges (sables et pailles) dépendra de l'épaisseur de la couche à mettre. Entre 1/3 et 1/2 de l'épaisseur de la couche à enduire.

La terre peut demander un tamisage au préalable si elle contient des cailloux ou graviers. Cette opération peut s'avérer délicate, surtout avec les terres très argileuses qui collent aux cailloux. Si le tamisage par voie sèche ne fonctionne pas, il faut le réaliser par voie humide. Cette opération est plus délicate, car il faut toujours utiliser la même quantité d'eau par volume de terre. Les essais devront être réalisés avec cette terre humide. Le mélange se fait au malaxeur ou à la bétonnière.

#### 3.3.1 L'argile : [23]

L'enduit d'argile est un enduit avec l'argile comme liant. L'argile présent dans l'enduit régule l'humidité de l'air et améliore l'effet de paroi chaude. Ces deux paramètres participent fortement à l'impression de confort d'une pièce. L'argile est un assainissant, un antiallergique, un anti-moisissures, un régulateur thermique, un régulateur d'humidité, un absorbeur d'odeurs.

### 3.3.2 Le sable [24]:

Il faut prêter attention à 3 éléments du sable :

#### 3.3.2.1 La granulométrie :

Un « bon » enduit appelle un sable de granulométrie hétérogène à doser selon les couches de l'enduit.

- ❖ pour le gobetis et le corps d'enduit : choisir du sable à maçonner relativement gros (0-4 ou 0-6, c'est-à-dire dont la grosseur des grains s'étage de 0mm à 4mm ou 6mm).
- ❖ pour la couche de finition : choisir un sable plus fin pour bien la serrer : 0,2 à 0-0.

#### 3.3.2.2 La couleur :

La teinte du sable varie selon la roche qui y prédomine. Les sables de rivière, roulés et lavés, sont plus clairs que les sables de carrière. Les sables de rivière sont habituellement de couleur grise ou jaune. Les sables de carrière sont plus colorés : du rouge (oxyde de fer) au noir (sable de basalte plus rare).

#### 3.3.2.3 Le dosage :

Comme pour les enduits à la chaux, le bon dosage pour les enduits à la terre obéit au principe de « maigre sur gras » : la part du liant doit diminuer de l'intérieur vers l'extérieur. La sous-couche (ou gobetis), en contact avec les maçonneries, doit être plus chargée en liant que le corps d'enduit lui-même plus chargé que la couche de finition. Pour 2 raisons : assurer une bonne accroche de l'enduit sur les maçonneries ; bloquer les entrées d'eau dans les maçonneries et faciliter leur évacuation par les couches superficielles.

## 3.4 Types d'enduits : [20]

Il existe deux grands types d'enduit, les enduits intérieurs et les enduits extérieurs. Parmi ces enduits, on trouve ceux préparés sur le chantier, et ceux industriels prêts à l'emploi. La finition d'argile est un enduit de finition intérieure coloré à base de terre. Le mélange peut s'effectuer à la bétonnière.



## 3.5 Mise en œuvre : [20]

### 3.5.1 Le gobetis :

Le gobetis est une couche semi- liquide jetée sur le mur, fortement dosée avec une charge de granulométrie importante (0/4 - 0/6) qui permet d'avoir une bonne accroche. Les sables à grains ronds (roulés naturels ou artificiels) sont moins sensibles à l'arrachement que les sables anguleux issus du concassage. L'épaisseur du gobetis est généralement la même que celle de la granulométrie du sable (5 ou 6mm) utilisé. Pour éviter la transmission des retraits, il est important d'attendre un délai de deux à trois jours avant l'application de la couche suivante.

### 3.5.2 Le dressage :

Le dressage, dit aussi dégrossi, corps d'enduit ou renformis, est une couche qui permet de rattraper les défauts de planéité. Le mortier utilisé doit être plastique à mou (granulométrie 0/4), il est jeté ou appliqué et tiré à la règle. On laisse volontairement la surface rugueuse pour favoriser l'accroche de la couche de finition. Cette couche fait généralement 8 à 12 mm d'épaisseur. Délai d'une semaine avant l'application de la couche de finition.

### 3.5.3 La finition :

La finition est la dernière couche. Le mortier, plastique à mou, est étalé à l'aide d'une liane, d'un platoir ou d'une lisseuse. Le sable ici doit être assez fin pour obtenir un lissé suffisant selon l'effet recherché. Les finitions sont innombrables : taloché (bois, éponge ou plastique), lissé, glacé, gratté, brossé etc. Cette couche ne fait pas plus de 4 à 7mm d'épaisseur.

### 3.6 Avantages et inconvénients [22]:

*Tableau 4: Avantages et inconvénients des enduits terre*

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénient</b>
<p>Très économique. Très écologique. Excellent régulateur d'humidité, se comporte comme un frein vapeur hygroréglable. Facile à réaliser. Il a une très bonne accroche sur presque tous les supports. Prise très lente, reprise possible parfois plusieurs jours après. Se répare facilement. Se mélange bien avec tous les autres liants (toutes les chaux, le plâtre, éventuellement le ciment) et charges (tous les sables et pailles diverses). Résiste relativement bien à la déformation du bâtiment. etc...</p>	<p>Plus fragile qu'un enduit chaux. Il faut faire des essais pour chaque nouvelle terre. Le retrait peut être important, il est sensible à la fissuration.</p>

## **PARTIE 2 : ETUDES EXPERIMENTALES**

# 4 Chapitre 4 : Caractérisation et caractéristiques des matières premières

---

## Introduction :

Pour la réalisation des enduits en terre fibrés, il est primordial de caractériser et de connaître les caractéristiques des matières premières. Tout commence par les matières premières.

## 4.1 Les matières premières :

Nous avons utilisé, pour la fabrication de nos enduits :

- ❖ La latérite de Vontovorona ;
- ❖ Le sable de rivière de Vontovorona ;
- ❖ Des fibres découpées en 1cm.

### 4.1.1 Caractérisations des matières premières :

#### 4.1.1.1 Teneur en eau :

##### a. Principe :

Dessèchement à l'étuve à 105°C pendant vingt-quatre heures (24 h).

##### b. Matériels :

- ❖ Balance de précision ;
- ❖ Etuve.

##### c. Protocole opératoire :

- ❖ Peser 100 g de sol humide (sans le poids de la terre) ( $W_1$ ) ;
- ❖ Placer l'ensemble à l'étuve réglé à 105°C pendant vingt-quatre heures (24 h) ;
- ❖ Peser le sol desséché ( $W_2$ ).

d. Expression des résultats :

La teneur en eau est obtenue par la formule :

$$\omega = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

4.1.1.2 Densité :

a. Principe :

Détermination du volume de sol par masse d'eau.

b. Matériels :

- ❖ Pycnomètre avec bouchon ;
- ❖ Eau distillée ;
- ❖ Balance de précision.

c. Protocole opératoire :

- ❖ Peser le pycnomètre (50 ml) propre et sec à l'air ( $W_a$ ) ;
- ❖ Ajouter environ 10 g de sol séché à l'air libre et tamisé (maille 2 mm) ;
- ❖ Bien nettoyer l'extérieur de la fiole de toute trace de sol ;
- ❖ Peser le pycnomètre (y compris le bouchon) et son contenu ( $W_s$ ) ;
- ❖ Remplir à moitié le pycnomètre avec de l'eau distillée ;
- ❖ Porter à ébullition pendant quelques minutes pour chasser l'air dissous (agiter modérément – éviter toute éclaboussure) ;
- ❖ Laisser se refroidir et ajuster avec de l'eau distillée bouillie froide, puis mettre avec précaution le bouchon. Bien essuyer ;
- ❖ Peser le pycnomètre et son contenu ( $W_{sw}$ ). Mesurer la température du contenu ;
- ❖ Enlever le contenu (eau + sol) et bien nettoyer ;
- ❖ Remplir le pycnomètre avec de l'eau distillée bouillie, froide (même température qu'auparavant). Boucher et bien essuyer ;
- ❖ Peser le pycnomètre et son contenu ( $W_w$ ).

d. Expression des résultats :

La densité réelle est obtenue par la formule ci-dessous :

$$d_{sol} = \frac{d_w(W_s - W_a)}{[(W_s - W_a) - (W_{sw} - W_w)]}$$

$d_{sol}$  : densité du sol (g.cm<sup>-3</sup>)

$d_w$  : densité de l'eau (g.cm<sup>-3</sup>) à la température observée

$W_s$  : masse du pycnomètre + échantillon de sol corrigé de la teneur en eau

$W_a$  : masse du pycnomètre vide

$W_{sw}$  : masse du pycnomètre + sol + eau

$W_w$  : masse du pycnomètre rempli d'eau distillée

#### 4.1.1.3 Analyse granulométrique :

Les analyses granulométriques de nos échantillons ont été faites par la méthode classique du tamisage. La méthode par tamisage consiste à faire passer une masse bien déterminée d'échantillon à travers une colonne de tamis de différents modules. Les refus sont pesés, on en déduit les tamisats, on peut alors tracer la courbe représentant les tamisats cumulés.

## 4.2 Caractéristiques des matières premières :

### 4.2.1 La Latérite :

La terre est un liant minéral ; il a pour rôle d'assurer la liaison entre les charges. En considérant les enduits terres comme étant des matériaux composites, ici l'argile est la matrice. Dans notre cas, comme la terre est à moindre coût et disponible à volonté, on a utilisé la latérite de Vontovorona.

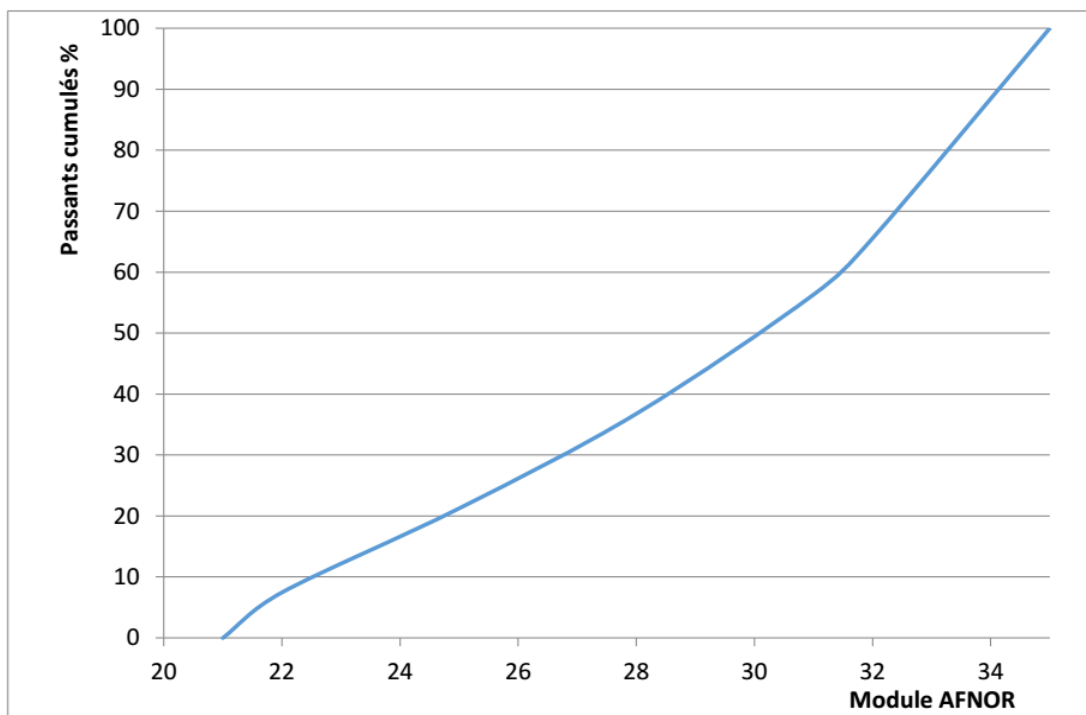


***Photo 12*** : La latérite de Vontovorona

**Tableau 5:** Analyses granulométriques de la latérite de Vontovorona

Ouverture des tamis (mm)	Module AFNOR	% Tamisâts cumulés
0,1	21	0
0,125	22	7,47
0,25	25	21,26
0,5	28	36,78
1	31	56,32
1,25	32	65,55
2,5	35	100

Le schéma ci-dessous montre la courbe de granularité de la latérite de Vontovorona :



**Figure 4 :** Courbe granulométrique de la latérite de Vontovorona

La latérite brute a une granulométrie assez grossière. Elle nécessite un broyage pour son utilisation comme enduit.

## 4.2.2 Le sable :

C'est un dégraissant, qui limite les fissurations lors des retraits ou des gonflements notamment en rapport avec l'argile qui peut éventuellement gonfler. Le sable ici, est la charge. Le sable de rivière est le plus couramment utilisé et se distingue largement du sable de carrière en raison de sa forme et de sa teneur en argile.

Pour des raisons méthodiques, on a utilisé du sable de rivière de Vontovorona qui se trouve à proximité.



***Photo 13*** : *Sable de rivière de Vontovorona*

Les caractéristiques du sable utilisé sont :

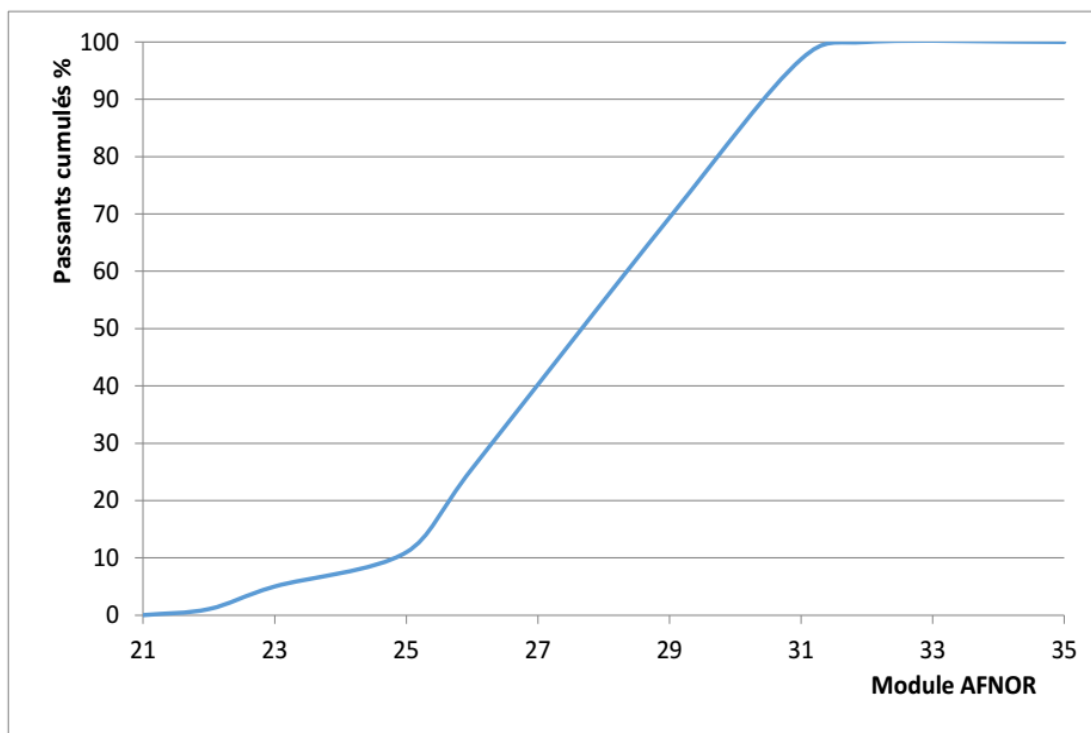
- ❖ Masse volumique apparente ( $\text{kg/m}^3$ ) = 1100 ;
- ❖ Masse spécifique ( $\text{kg/m}^3$ ) = 2430.



**Tableau 6** : analyse granulométrique du sable de rivière de Vontovorona

Ouverture des tamis (mm)	Module AFNOR	% Tamisâts cumulés
0,1	21	0
0,125	22	1,06
0,16	23	5
0,25	25	10,97
0,315	26	25,57
0,65	29	69,36
1	31	97
1,25	32	100
2,5	35	100

Le schéma ci-dessous illustre la courbe granulométrique du sable de rivière de Vontovorona.



**Figure 5** : Courbe granulométrique du sable de rivière de Vontovorona

Le sable est de classe granulaire 0/2,5. Il s'agit d'un sable moyen.

### 4.2.3 La fibre de sisal : [25]

Comme tous matériaux composites, ici le renfort est la fibre végétale. On a pris comme choix la fibre de sisal car elle est facile à trouver sur le marché, elle nous est familière puisqu'on s'en sert au quotidien et elle n'est pas trop coûteuse.

L'Agave sisalana, appelé communément sisal est une plante de la famille des Agavaceae originaire de l'est du Mexique, où on la trouve également sous l'appellation de henequén. Sisal est également le nom de la fibre extraite des feuilles de cette plante. Très résistante, cette fibre sert à la fabrication de cordage, de tissus grossiers et de tapis. Son nom provient de la ville portuaire de Sisal, située dans l'état mexicain du Yucatán, car à l'origine c'était à partir du port de Sisal qu'étaient expédiées les fibres dans le monde entier. Actuellement encore, les mouvements scouts et éclaireurs utilisent beaucoup ce type de ficelle pour assembler les constructions du mobilier de camp, assemblage selon la méthode Froissart où ni clous ni vis ne sont utilisés. Elle est également utilisée dans la fabrication des cibles traditionnelles de jeu de fléchettes ou de tir à l'arc. On l'utilise également pour fabriquer des disques de polissage.

Elle trouve aussi son utilité dans le bâtiment (construction), en effet les fibres de cette plante sont utilisées comment stabilisateurs (par armature) dans le béton de terre (terre crue).



***Photo 14*** : *Fibre de sisal sous forme de corde*

## 4.3 Préparation des matières premières :

### 4.3.1 Matériels :

Voici les matériels utilisés pour la préparation des matières premières :

- ❖ Un contre-plaqué ;
- ❖ Un pilon et un mortier ;
- ❖ Des tamis (environ 0/2 mm, 0/0,80mm) ;
- ❖ Un sceau ;
- ❖ Des ciseaux, ou une lame ;



***Photo 15** : Matériels utilisés pour la préparation des matières premières*

### 4.3.2 La terre :

La terre est prise à proximité, il faut la préparer au préalable en suivant les procédures suivantes :

#### 4.3.2.1 Le séchage :

Dans notre cas, on a comme terre de la latérite et de l'argile. Il est important de les sécher car cela facilite le dosage et la mise en forme.



***Photo 16** : Argile et latérite séchées*

#### 4.3.2.2 La mise en forme :

Après séchage, il faut réduire la terre en poudre, c'est-à-dire broyée pour réguler la granulométrie.



**Photo 18** : Broyage de l'argile



**Photo 17** : Argile broyée

#### 4.3.2.3 Le tamisage :

Tamiser la terre en poudre avec un tamis d'ouverture 0/2 mm



**Photo 19** : Latérite tamisée (tamisât et refusât)

#### 4.3.3 Le sable :

Le sable de rivière a des granulats arrondis ou de forme cubique en grande partie. Mais cela n'empêche pas qu'il peut y avoir des particules indésirables.

##### 4.3.3.1 Le lavage :

Il faut laver le sable car il peut contenir du limon.

#### 4.3.3.2 Le séchage :

Cela facilite le tamisage.



**Photo 20** : *Sable de rivière de Vontovorona tamisé*

#### 4.3.3.3 Le tamisage :

Lors de la mise en œuvre de l'enduit, pour chaque couche on a une granulométrie différente, mais aussi pour éviter les impuretés éventuelles. D'où le besoin de tamiser le sable.

#### 4.3.4 La fibre :

On s'est procuré des fibres de sisal dans les épicerie à proximité ; ceux qui sont commercialisées sous forme de corde tressée.

##### 4.3.4.1 Le découpage :

Cela évoque une certaine précision de la mesure des fibres.



**Photo 21** : *Découpage des fibres à 1 cm*

#### 4.3.4.2 Le triage :

Il faut défaire les tresses. Il n'est pas nécessaire de passer par le triage si on peut se trouver des fibres de sisal non tressées.



*Photo 22 : Triage des fibres*

# 5 Chapitre 5 : Essai de fabrication d'un enduit de terre fibré

---

## Introduction :

Les enduits terre sont réputés pour leur côté esthétique et décoratif. Mais pourtant un enduit est sensé aussi revêtir et protéger, garnir et faire en sorte de cacher les imperfections des surfaces d'un mur. Ce type de matériau qu'est la terre crue, est cependant très imprévisible, difficile à cerner car ses propriétés ne sont pas toujours les mêmes. Elles changent suivant le temps et l'espace.

## 5.1 Dosage :

A vue d'œil, la manipulation de la terre est facile ; mais il est néanmoins nécessaire de connaître ses caractéristiques. Il est rare de tomber sur de la terre parfaite pour concevoir un enduit avec, soit c'est trop argileux, trop sableux, etc... . De ce fait, il est impératif de savoir et de connaître les proportions les plus adéquats.

### 5.1.1 Terre/sable :

Pour savoir si le rapport terre sable est bon, on a varié la proportion en sable tandis que celle de la terre reste stationnaire. De ce fait, on a étalé, pour chaque cas, les différents mortiers à base de terre et de sable uniquement sur un support.

#### 5.1.1.1 But du dosage :

Le but est de trouver les limites de fissuration et d'effritement.

#### 5.1.1.2 Matériels utilisés :

- ❖ Truelle : pour étaler les mortiers.
- ❖ Récipients : contenant les mortiers.

### 5.1.1.3 Composition des mortiers :

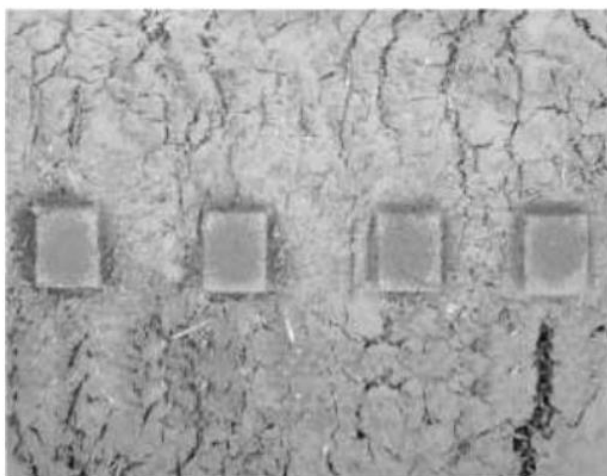
Nous avons étudié cinq (05) types de mortiers qui se différencient par la variation du pourcentage de terre et de sable les composant.

**Tableau 7:** *Variation du volume de sable du mortier d'enduit*

Mortiers \ Volume [%]	Terre	Sable
1	100	0
2	50	50
3	33,33	66,66
4	25	75
5	20	80

### 5.1.1.4 Mode opératoire :

- ❖ Préparer le support ;
- ❖ Préparer les mortiers un à un tout en variant la quantité de sable ;
- ❖ Etaler un à un les mortiers en tenant compte de tenir constant la même épaisseur et les mêmes dimensions ;
- ❖ Laisser sécher.



**Photo 23 :** *Exemple d'échantillons de mortier d'enduit frais dont la proportion de sable varie*



## 5.1.2 Terre-sable/fibres :

L'introduction de fibres pourra améliorer les propriétés mécaniques de l'enduit.

### 5.1.2.1 But des essais :

Le but est d'améliorer les propriétés mécaniques de l'enduit par adjonction de fibres.

### 5.1.2.2 Conception des éprouvettes :

#### a. Dosage :

Afin de mettre en place des procédures d'essai fiable, on a travaillé sur trois (03) types d'enduits. Le premier dit « Enduit B<sub>0</sub> », le second « Enduit B<sub>1</sub> » et le troisième « Enduit B<sub>2</sub> ». Ils se différencient par leur proportion en fibres uniquement mais leur composition sont les mêmes. Il est à noter que les fibres utilisées mesurent 1cm.

Le tableau ci-dessous nous montre la proportion en fibre de chacun des éprouvettes.

***Tableau 8: proportion de fibre des éprouvettes***

Eprouvettes	Proportion de fibre (%)
Enduit B <sub>0</sub>	0
Enduit B <sub>1</sub>	1
Enduit B <sub>2</sub>	2

#### b. Formulation :

Il faut tout d'abord préparer le mortier d'enduit, et y ajouter ensuite les fibres selon l'éprouvette qui convient. Puis mouler à l'aide d'un moule, démouler et laisser sécher.



***Photo 24 : Schéma d'une éprouvette 4x4x16 cm***

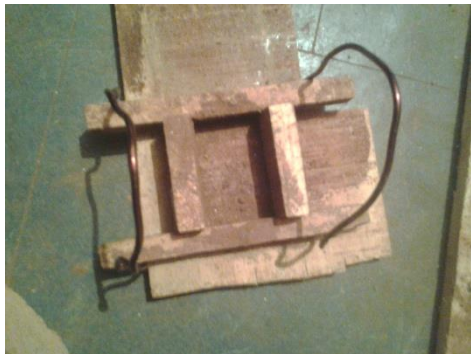


***Photo 25 : Schéma d'une éprouvette 2x4x6 cm***

On a utilisé deux types de moules, un pour l'essai de traction par flexion, de dimension intérieur 4x4x16 cm (Moule 1) ; et un autre pour la mesure de retrait linéaire, de dimension intérieur 2x4x6 cm (Moule 2). Cela est dû aux éventuelles imperfections lors du démoulage des éprouvettes du Moule 1, d'où la nécessité de concevoir un moule convenable.

c. Matériels :

- ❖ Les moules (Moule 1 et Moule 2) ;
- ❖ Un démouleur ;
- ❖ Des attaches.



**Photo 26** : « Moule 2 » avec attaches



**Photo 27** : « Moule 1 » avec démouleur

### 5.1.2.3 Caractérisation des enduits :

a. Retrait :

Le retrait est mesuré sur des échantillons d'enduits frais, et après un temps  $t$ , d'enduits sec.

- ❖ La perte en eau : les éprouvettes sont pesées à l'état frais et à l'état sec. On détermine ainsi leurs pertes en eau qui sont réalisées sur les éprouvettes de dimension 4x4x16 cm.
- ❖ Le retrait linéaire : les dimensions des échantillons sont mesurées lorsqu'ils sont encore frais, et lorsqu'ils sont secs. On détermine ainsi leurs retraits linéaires qui sont réalisés sur les échantillons de dimension 2x4x6 cm.

b. Traction par flexion :

L'essai est réalisé sur les enduits de dimension 4x4x16 cm, au moyen d'un bâti de flexion trois points. La flexion est réalisée à la presse jusqu'à la rupture. On détermine ainsi la résistance en traction par flexion  $R_{tf}$ .

c. Résistance au clou/vis :

On pratique la résistance au clou/vis directement sur l'enduit fini ou sur des échantillons d'enduits étalés sur le support.

NB : tous les essais ont été réalisés au bloc technique d'Ankatso.

## 5.2 Résultats et interprétations :

### 5.2.1 Rapport terre/sable :

Le tableau ci-dessous nous montre s'il y a fissuration ou effritement après étalage et séchage

**Tableau 9:** *Présence de fissurations/effritements*

Mortiers	Fissuration	Effritement
1	X	O
2	X	O
3	O	O
4	O	O
5	O	X

Interprétation : pour les Mortiers 1 et 2, on observe la présence de fissurations. Cela est dû à leur trop faible quantité de sable. Contrairement, le Mortier 5 s'effrite au touché ; ça signifie qu'il y a trop de sable. En revanche, les Mortiers 3 et 4 ne montre aucun signe de fissurations ni d'effritements ; car le rapport terre/sable est équilibré.

## 5.2.2 Rapport terre-sable/fibres

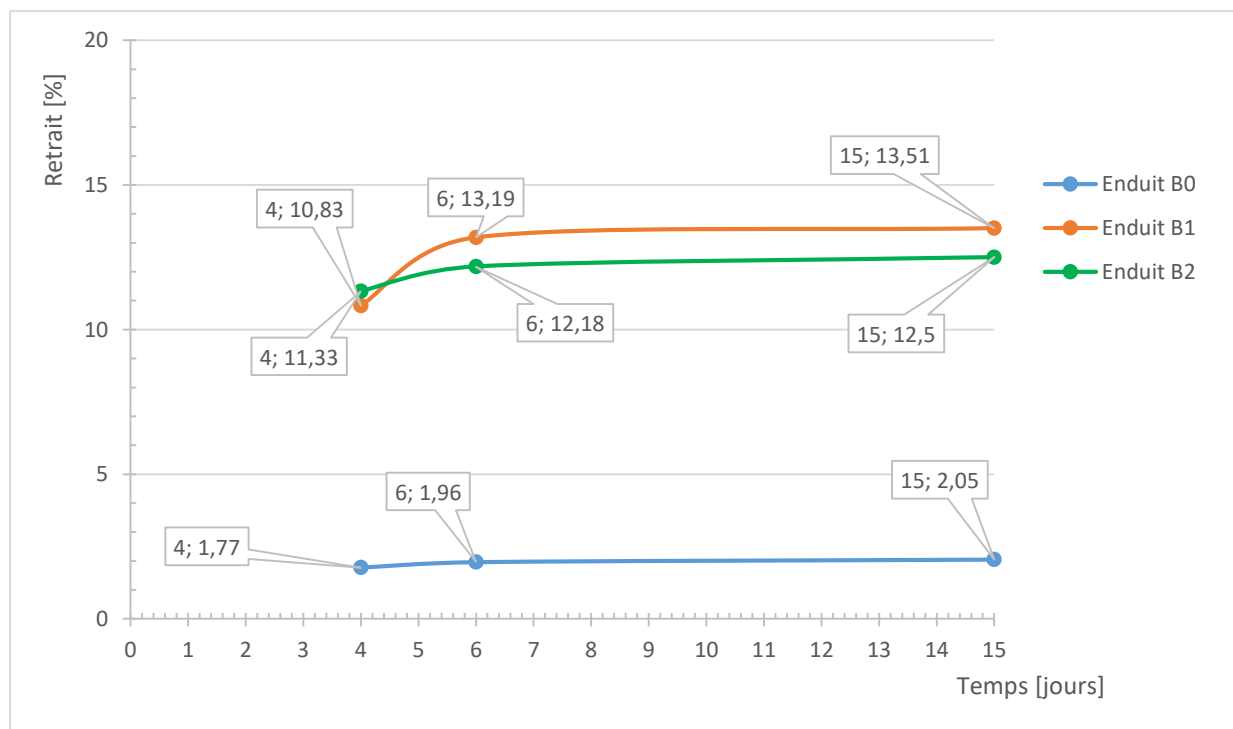
### 5.2.2.1 Le retrait :

#### a. Perte en eau :

**Tableau 10:** Perte en eau après 15 jours

Eprouvette	Perte en eau [%] (après 15 jours)
Enduit B0	2,05
Enduit B1	13,51
Enduit B2	12,50

Le graphique ci-après nous montre la perte en eau par jours.



**Figure 36:** Graphique de la perte en eau par jours

b. Retrait linéaire :

**Tableau 11:** Retrait linéaire en pourcentage des éprouvettes après 15 jours

Eprouvette	Retrait linéaire [%] (après 15 jours)		
	L	l	h
Enduit B0	1,5	1,4	1,1
Enduit B1	1,6	1,9	2,2
Enduit B2	1,6	2,2	2,8

**Interprétations** : ces résultats montrent que l'Enduit B0 à un faible retrait que ce soit en perte d'eau ou en retrait linéaire. L'adjonction de fibres, notamment pour les Enduits B1 et Enduits B2, à augmenter le retrait. Les fibres absorbent l'eau, ce qui explique la différence des courbes dans le graphique précédent, plus il y a de fibres plus on aura des retrait.

Néanmoins, les retraits mesurés sont assez petits et approximatifs. On peut dire que cela n'affecte pas totalement l'enduit.

### 5.2.2.2 Traction par flexion :

**Tableau 12:** Valeurs des résistances à la traction par flexion des éprouvettes

Eprouvettes	Résistances à la traction par flexion [MPa]
Enduit B0	0,014
Enduit B1	0,022
Enduit B2	0,021

**Interprétations** : les enduits renforcés en fibres se distinguent largement de l'échantillon non fibré. La différence de résistance entre les Enduits B1 et B2 est due à l'orientation spatiale préférentielle des fibres, sachant qu'elles mesurent 1cm et que dans l'éprouvette leur orientation est aléatoire. Si les fibres son parallèle à l'éprouvette suivant

la longueur, la résistance augmentera, mais si elles sont perpendiculaires, l'éprouvette sera sensible aux ruptures. Dans notre cas, même si la différence est approximativement moindre, cela s'explique par la quantité de fibres orienté, sensibilisant la rupture.

### 5.2.2.3 Essai au clou/vis :

Voici les schémas illustrant l'essai au clou et aux vis :



***Photo 28*** : Résistance au clou



***Photo 29*** : Résistance aux vis

Interprétation : les essais sont réussis. L'enduit ne fissure pas lors du choc au clou, mais se dégrade un peu lorsqu'on y applique une vis. Cela est dû à la quantité de sable supérieur à celle de la terre.

## 6 Chapitre 6: Mise en œuvre d'un enduit terre crue

---

### Introduction :

La réalisation d'un enduit en terre peut être, à vue d'œil, un travail assez facile. Mais pourtant cela nécessite quelques compétences. Il faut connaître les approches théoriques et techniques ; certes la mise en œuvre ne requiert pas beaucoup de connaissances, mais l'optimal est et sera toujours ce que l'on recherche.

### 6.1 Préparation de la pâte (mortier) :

Pour la pâte, nous avons opté pour une composition identique à celle de l'Enduit B1 suite aux résultats trouvés. Il est préférable de préparer le mortier en même temps que la préparation du support, car contrairement au ciment et à la chaux, la terre ne fait pas prise immédiatement, et si éventuellement c'est le cas, on peut la conserver en y ajoutant de l'eau qui la redonnera une certaine consistance. La consistance est réglée à vue d'œil et au choix, cela dépend de la personne qui prépare la pâte ou même de la température ambiante, du lieu.

### 6.2 Préparation du support :

La préparation du support se fait une journée à l'avance au minimum. Elle consiste à humecter le support d'eau jusqu'à saturation (c'est-à-dire lorsque le mur n'absorbe plus d'eau), le but de l'humidification est d'éviter que l'enduit prenne trop vite (ici on a un mur de brique) car le mur absorbe l'eau contenue dans l'enduit. Il est impératif que le support soit propre, rugueux et sec.



***Photo 30*** : Préparation du support

## 6.3 Application de l'enduit :

Notre enduit s'est fait en trois couches, c'est-à-dire le gobetis, le corps d'enduit et la finition.

### 6.3.1 Le gobetis :

Il a été appliqué un jour après la préparation du support. D'épaisseur allant de 4 à 6 mm avec du sable de granulométrie allant de 2 à 4 mm. On l'a projeté à l'aide de la truelle pour obtenir une bonne accroche.



***Photo 31 : Le gobetis***

### 6.3.2 Le corps d'enduit :

Deux ou trois jours après le gobetis, on applique le corps d'enduit. Mais avant il est important de ré-humidifier la couche précédente. Ce corps d'enduit d'épaisseur allant de 6 à 8 mm avec du sable de granulométrie allant de 0 à 2 mm, a été projeté comme la couche précédente.



***Photo 32 : Le corps d'enduit***



### 6.3.3 La finition :

Elle peut être appliquée une semaine après, ou lorsque le corps d'enduit est près à la recevoir. D'épaisseur d'environ 2 à 4mm avec du sable inférieur ou égale 0,80 mm, elle est étalée à la truelle puis lissée pour avoir un côté esthétique ou aussi frottée à l'éponge ce qui le plus courant.



***Photo 33 : La finition***

## CONCLUSION

Notre travail se rapporte à l'essai de fabrication d'un enduit en terre intérieur renforcé par des fibres de sisal. Nous avons obtenus des résultats satisfaisants que nous pourrions appliquer et en faire une référence.

Cependant, des études plus approfondies sont encore à entreprendre pour améliorer la performance de ces enduits. Notamment pour la fabrication d'enduits en terre extérieur, comme la tenue en eau par exemple, car ce sont les murs extérieur qui sont le plus exposés aux intempéries. Ou aussi la comparaison des rôles des autres fibres, puisqu'il y a une infinité de fibre végétale utilisable. Ou encore entrer plus en détail dans les effets de vibrations sur les enduits en terre fibrées ; d'où ces perspectives que nous pensons rendre meilleur la poursuite de ce mémoire.

La réalisation de ce travail nous a permis de comprendre et d'acquérir des procédés, des techniques, quelques compétences dans les matériaux de construction qui se complètent à celles que nous avons reçues à L'Ecole Supérieure Polytechnique d'Anatanarivo.

# Bibliographies et webographie

**1. GLOBAL ARCHICONSULT, Mieux connaître le matériau pour mieux l'adapter et l'utiliser**

« La terre crue en architecture »

13 pages

**2. Bahar R.**

« Durabilité du matériau terre stabilisé »

Séminaire International, INNOVATION & VALORISATION EN GENIE CIVIL & MATERIAUX DE CONSTRUCTION

6 pages

**3. AsTerre**

« La terre crue »

6 pages

**4. Les 8 CAUET de Midi-Pyrénées, technique et matériaux**

« Construire en terre crue »

4 pages

**5. « Partons à la découverte du sol au travers de 12 expériences à réaliser en classe »**

39 pages

**6. Françoise Elsass**

« Minéralogie des argiles de sols : structure, altération, réactivité. »

19 Août 2005

137 pages

**7. Wikipédia**

« sol (pédologie)

17 pages

**8. Wikipédia**

« Terre crue »

6 pages

**9. Wikipédia**

« Latérite »

6 pages

## **10. Zondjé Poanguy Bernadin Bohi**

« Caractérisation des sols latéritiques utilisés en construction routière : cas de la région de l'Agneby (Côté d'Ivoire) »

HAL archives-ouvertes

126 pages

## **11. Wikipédia**

« Notion sur les argiles »

11 pages

## **12. Vincent DUBOIS**

« Approche contemporaine de la construction en terre »

Forum département des Sciences

21 Octobre 2011

12 pages

## **13. UNIFA**

« Le sol et ses constituants »

UNIFA Edition 2005

6 pages

## **14. Cours de Madame RAKOTOMALALA Zolimboahangy**

« Introduction à la géotechnique »

## **15. Wikipédia**

« Fibre végétale »

3 pages

## **16. C.A.R.M.A**

« Glossaire des matériaux composites renforcés de fibres d'origine renouvelable »

Centre d'Animation Régional en matériaux Avancés

24 pages

**17. CLAYTEC**

« Enduits en argile »

10 pages

**18. « Préparer et appliquer un enduit de terre »**

2 pages

**19. Mathieu NEUVILLE, Michel PHILIPPO, Association LESA**

« Enduit en terre crue fibré projeté »

TOP MATERIAUX

2 pages

**20. Wikipédia**

« Enduit (bâtiment) »

4 pages

**21. [www.maison-naturel.fr](http://www.maison-naturel.fr)**

« La terre en enduit »

Généralités

17 Avril 2016

**22. [www.apte-asso.org](http://www.apte-asso.org)**

« Enduit terre »

Enduit terre

17 Avril 2016

**23. [www.olterre.com](http://www.olterre.com)**

« Enduit terre argile »

Enduit à l'argile teretia d'olterre blanc en sac 25 kg

17 Avril 2016

**24. Délégation de l'Yonne**

« Stage pratique sur la terre »

Maisons paysannes de France

8 pages

**25. Wikipédia**

« Agave sisalana »

3 pages

**26. Luc Floissac**

« Découverte du document-Aspects contractuels-Assurances »

Règles Professionnelles de Construction en Paille

27 pages

## Table des matières

<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>I</b>
<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>II</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>III</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>III</b>
<b>LISTE DES PHOTOS</b> .....	<b>IV</b>
<b>LISTE DES SCHEMAS</b> .....	<b>V</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>VI</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>PARTIE 1 : ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	<b>2</b>
1 CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LE MATERIAU TERRE.....	3
1.1 <i>Présentation et historique : [1], [2], [3], [4]</i> .....	3
1.2 <i>Définitions et généralités :</i> .....	4
1.2.1 Sol : [5], [6], [7] .....	4
1.2.2 Terre crue : [8].....	5
1.2.3 Latérite : [9], [10].....	5
1.2.4 L'argile : [11], [12].....	6
1.3 <i>Composition du matériau terre : [12], [13]</i> .....	7
Les matières minérales : .....	8
1.3.1 Les matières organiques : .....	8
1.3.2 L'eau : .....	8
1.3.3 L'air : .....	9
1.4 <i>Caractéristiques du matériau terre :</i> .....	9
1.4.1 Granularité : [14] .....	10
1.4.2 Plasticité : [14] .....	10
1.4.3 Compressibilité : [14] .....	11
2 CHAPITRE 2 : GENERALITES SUR LES FIBRES VEGETALES .....	12
2.1 <i>Définition : [15]</i> .....	12
2.2 <i>Présentation et structure des fibres végétales [16]:</i> .....	12
2.2.1 Présentation : .....	12
2.2.2 Structure : .....	12
2.2.2.1 La cellulose : .....	12
2.2.2.2 Fibrilles de cellulose : .....	13
2.3 <i>Utilisation : [15].</i> .....	14
2.4 <i>Les différentes fibres végétales [16]:</i> .....	14
2.4.1 La fibre de chanvre : .....	14
2.4.2 La fibre de lin : .....	15
2.4.3 La fibre de coton : .....	15
2.4.4 La fibre d'Abaca : .....	16
2.4.5 La fibre de kénaf : .....	17
2.4.6 La fibre de jute : .....	17
2.4.7 Le sisal : .....	18
2.4.8 La fibre de ramie : .....	18
2.4.9 La fibre de coco : .....	19

2.5	<i>Propriétés usuelles [16]:</i> .....	19
2.6	<i>Avantages et inconvénients : [16].</i> .....	20
<b>3</b>	<b>CHAPITRE 3 : GENERALITES SUR LES ENDUITS TERRE</b> .....	<b>21</b>
3.1	<i>Présentation et historique : [17], [18], [19]</i> .....	21
3.2	<i>Définition et généralités : [20], [21]</i> .....	22
3.3	<i>Composition : [20], [22].</i> .....	23
3.3.1	L'argile : [23].....	23
3.3.2	Le sable [24]: .....	24
3.3.2.1	La granulométrie :.....	24
3.3.2.2	La couleur :.....	24
3.3.2.3	Le dosage :.....	24
3.4	<i>Types d'enduits : [20]</i> .....	24
3.5	<i>Mise en œuvre : [20]</i> .....	25
3.5.1	Le gobetis :.....	25
3.5.2	Le dressage :.....	25
3.5.3	La finition :.....	25
3.6	<i>Avantages et inconvénients [22]:</i> .....	26
	<b>PARTIE 2 : ETUDES EXPERIMENTALES</b> .....	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>CHAPITRE 4 : CARACTERISATION ET CARACTERISTIQUES DES MATIERES PREMIERES</b> .....	<b>28</b>
	<i>Introduction :</i> .....	28
4.1	<i>Les matières premières :</i> .....	28
4.1.1	Caractérisations des matières premières :.....	28
4.1.1.1	Teneur en eau :.....	28
a.	Principe :.....	28
b.	Matériels :.....	28
c.	Protocole opératoire :.....	28
d.	Expression des résultats :.....	29
4.1.1.2	Densité :.....	29
a.	Principe :.....	29
b.	Matériels :.....	29
c.	Protocole opératoire :.....	29
d.	Expression des résultats :.....	30
4.1.1.3	Analyse granulométrique :.....	30
4.2	<i>Caractéristiques des matières premières :</i> .....	30
4.2.1	La Latérite :.....	30
4.2.2	Le sable :.....	32
4.2.3	La fibre de sisal : [25].....	34
4.3	<i>Préparation des matières premières :</i> .....	35
4.3.1	Matériels :.....	35
4.3.2	La terre :.....	35
4.3.2.1	Le séchage :.....	35
4.3.2.2	La mise en forme :.....	36
4.3.2.3	Le tamisage :.....	36
4.3.3	Le sable :.....	36
4.3.3.1	Le lavage :.....	36
4.3.3.2	Le séchage :.....	37



4.3.3.3	Le tamisage : .....	37
4.3.4	La fibre : .....	37
4.3.4.1	Le découpage : .....	37
4.3.4.2	Le triage : .....	38
5	CHAPITRE 5 : ESSAI DE FABRICATION D'UN ENDUIT DE TERRE FIBRE .....	39
	<i>Introduction</i> : .....	39
5.1	<i>Dosage</i> : .....	39
5.1.1	Terre/sable : .....	39
5.1.1.1	But du dosage : .....	39
5.1.1.2	Matériels utilisés : .....	39
5.1.1.3	Composition des mortiers : .....	40
5.1.1.4	Mode opératoire : .....	40
5.1.2	Terre-sable/fibres : .....	41
5.1.2.1	But des essais : .....	41
5.1.2.2	Conception des éprouvettes : .....	41
a.	Dosage : .....	41
b.	Formulation : .....	41
c.	Matériels : .....	42
5.1.2.3	Caractérisation des enduits : .....	42
a.	Retrait : .....	42
b.	Traction par flexion: .....	43
c.	Résistance au clou/vis : .....	43
5.2	<i>Résultats et interprétations</i> : .....	43
5.2.1	Rapport terre/sable : .....	43
5.2.2	Rapport terre-sable/fibres .....	44
5.2.2.1	Le retrait : .....	44
a.	Perte en eau : .....	44
b.	Retrait linéaire : .....	45
5.2.2.2	Traction par flexion : .....	45
5.2.2.3	Essai au clou/vis : .....	46
6	CHAPITRE 6: MISE EN ŒUVRE D'UN ENDUIT TERRE CRUE .....	47
	<i>Introduction</i> : .....	47
6.1	<i>Préparation de la pâte (mortier)</i> : .....	47
6.2	<i>Préparation du support</i> : .....	47
6.3	<i>Application de l'enduit</i> : .....	48
6.3.1	Le gobetis : .....	48
6.3.2	Le corps d'enduit : .....	48
6.3.3	La finition : .....	49
	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>50</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIES ET WEBOGRAPHIE</b> .....	<b>I</b>
	<b>TABLE DES MATIERES</b> .....	<b>V</b>

Auteur : Assad El Had Abdoul Hamid

Titre : « **Essai de fabrication d'un enduit de terre intérieur renforcé par des fibres de sisal** »

Nombre de pages : 50

Nombre de figures : 42

Nombre de tableaux : 12



#### RESUME

La terre crue a beaucoup de qualités exploitables, mais sa manipulation est plus complexe qu'elle n'en a l'air. Des essais sont réalisés dans cette étude afin de maîtriser ce type de matériau, et de fabriquer un enduit de terre intérieur renforcé par des fibres de sisal. Les matières premières locales sont utilisées telle que le sable et la latérite de Vontovorona. Les résultats obtenus affirment que l'ajout de fibres renforce les propriétés du matériau dans la construction en terre crue.

**Mots clés** : terre crue, enduit terre, fibres végétales

#### ABSTRACT

Raw soil has many workable qualities, but its experiment is more complicated than it seems. Some tests are realised in this study in order to master this type of material, and make an interior coat of reinforced soil by sisal fibres. Local raw materials are used such as Vontovorona's sand and laterite. The results obtained assert that the addition of fibres reinforces the properties of the material in raw soil construction.

**Key words** : raw soil, soil coat, vegetables fibres

Tel : +261 33 75 121 42 / +261 34 58 262 41

Mail : [assadelhad@yahoo.fr](mailto:assadelhad@yahoo.fr)

Adresse : Lot 854 67 ha Nord-Ouest

Directeur de mémoire : Docteur RAKOTOMALALA Zolimboahangy