



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT SCIENCE DES MATERIAUX
ET METALLURGIE

OPTION SCIENCE ET INGENIERIE DES
MATERIAUX



*Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du
diplôme d'Ingénieur-matériau*

“ ESSAI DE CONCEPTION DE TUILE COMPOSITE À RENFORT FIBRES DE BAMBOU ”

Présenté par : BINGUIRA Djack Kelly Henderson Wang

Rapporteur : Docteur RANARIVELO Michel

Soutenu le 25 Avril 2014

Promotion 2012



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT SCIENCE DES MATERIAUX
ET METALLURGIE

OPTION SCIENCE ET INGENIERIE DES
MATERIAUX



Polytechnique,
Premier partenaire
des Professionnels



*Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du
diplôme d'Ingénieur-matériau*

“ ESSAI DE CONCEPTION DE TUILE COMPOSITE À RENFORT FIBRES DE BAMBOU ”

Présenté par : BINGUIRA Djack Kelly Henderson Wang

Membres de Jury :

Président : Professeur Titulaire ANDRIANARY Philippe

Rapporteur : Docteur RANARIVELO Michel

Examineurs : Professeur Titulaire RANAIVONIARIVO Gabriely Velomanantsoa

Docteur RANDRIANARIVELO Frédéric

Docteur ANDRIANAIVORAVELONA Jaconnet Oliva

Soutenu le 25 Avril 2014

Promotion : 2012

A mes défuntés Grand-mère et Tante,

REMERCIEMENTS

Ce mémoire n'aurait pu avoir lieu sans l'Amour et la Grâce de DIEU. Je tiens donc à remercier DIEU qui m'a donné la santé et la force pour aller au bout de ce travail.

J'adresse également mes vifs et profonds remerciements aux personnes suivantes :

- ✪ **Monsieur ANDRIANARY Philippz**, Professeur Titulaire et Directeur de l'École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, qui m'a autorisé à étudier au sein de l'École et qui a accepté de siéger parmi les examinateurs en tant que Président du jury ;
- ✪ **Monsieur RANDRIANARIVELO Frédéric**, Docteur-Ingénieur, Maître de conférences à l'E.S.P.A. et Chef de Département Science des Matériaux et Métallurgie, qui a bien voulu m'autoriser à soutenir ce présent mémoire ;
- ✪ **Monsieur RANDRIANARIVELO Michel**, Docteur-Ingénieur, Maître de conférences et Encadreur de ce présent mémoire, qui n'a pas ménagé son temps pour la réalisation de ce travail par ses précieux conseils et ses critiques constructives malgré ses diverses fonctions.

Je tiens aussi adresser mes profondes reconnaissances aux membres du Jury :

- ✪ **Monsieur RANDRIANARIVO Velomanantsoa Gabrielly**, Professeur Titulaire et Responsable de la formation en 3e cycle au sein du département Science des Matériaux et Métallurgie ;
- ✪ **Monsieur ANDRIANARIVORAVELONJA Jaconnet Oliva**, Docteur-Ingénieur, Maître de conférences et Enseignant Chercheur à l'École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo ;

Mes profondes gratitude à tout le Corps Enseignant de l'E.S.P.A., surtout celui du département S.M.M. ; ainsi qu'au personnel du laboratoire du Génie Chimique et du

Bloc technique Ankatso et Vontovorona ; plus particulièrement à Monsieur Landry ainsi qu'à Madame Baofiza de la C.N.R.I.T.

Un grand merci à mes parents qui m'a soutenu financièrement et moralement durant mes années d'étude et surtout pour l'accomplissement de ce travail.

Enfin, je ne saurais oublier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

MERCI !

SOMMAIRE

ACRONYMES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES PHOTOS

LISTE DES COURBES

LISTE DES DIAGRAMMES

LISTE DES ANNEXES

PREAMBULE

PARTIE I: CONTEXTE GENERAL ET ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1: PRESENTATION DE LA PROBLEMATIQUE

CHAPITRE 2: BAMBOU

CHAPITRE 3: MATERIAUX COMPOSITES

CHAPITRE 4: FIBRES DE BAMBOU

CHAPITRE 5: APPROCHE POUR LA CONSTRUCTION DE BATIMENT

PARTIE II: ÉTUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE 6: EXTRACTION DE FIBRE DE BAMBOU :

CHAPITRE 7: CONCEPTION DE L'ÉLÉMENT DE TOITURE COMPOSITE

CHAPITRE 8: CONCEPTION DE LA PRESSE POUR LE COMPOSITE

CHAPITRE 9: MISE EN ŒUVRE DE LA TUILE COMPOSITE :

CHAPITRE 10: CARACTERISATIONS DES MATIERES PREMIERES ET DES COMPOSITES MIS EN ŒUVRE

CHAPITRE 11: ÉTUDE SOCIO-ECONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE

CONCLUSION GENERALE

BIBLIOGRAPHIE

WEBOGRAPHIE

ANNEXE

TABLE DES MATIERES

Acronymes

C.s : Cuillère à soupe

CMC : Composite à Matrice Céramique

CMM : Composite à Matrice Métallique

CMO : Composite à Matrice Organique

DIN : Deutsches Institut für Normung

EPI : Equipement de Protection Individuelle

FB : Fibres de Bambou

GEMIS : Global Emission Model for Integrated Systems

H Pc : HydroPeroxyde de cumène

MCI : Madagascar Chimie Industries

P Bbt : PerBenzoate de Butyle tertiaire

P Be : Peroxyde de Benzoyle

P Obt : PerOctoate de butyle tertiaire

P Mec : Peroxyde de Methyléthyle-cétone

P Mic : Meroxyde de Methylisobutyl-cétone

Pc : Peroxyde de cyclohexanone

RMN : Résonance Magnétique Nucléaire

SS : Sable Siliceux

T.D : Thermodurcissable

T.P : Thermoplastique

UP : Polyester insaturé

UV: Ultraviolet

VE : Vinylesters

VE.S : Vinylesters Styrène

Liste des tableaux

- Tableau 1. Répartition des espèces et genres des bambous naturels en Afrique, à Madagascar*
- Tableau 2. Classification du bambou en fonction de leur taille*
- Tableau 3. Critère de choix pour une matrice*
- Tableau 4. Exemples de polyester insaturé*
- Tableau 5. Quelques principaux catalyseurs*
- Tableau 6. Quelques exemples de charges et d'additifs courants*
- Tableau 7. Classification de la pièce réalisée suivant sa surface*
- Tableau 8. Principaux matériaux de couverture utilisés à Madagascar*
- Tableau 9. Dimensions de tuile plate*
- Tableau 10. Comparaison pour l'utilisation de différentes pentes*
- Tableau 11. Quelques cyclones ayant touché Madagascar*
- Tableau 12. Fonctions des matériels et outils pour pré-test*
- Tableau 13. Caractéristiques des solutions avec les produits courants*
- Tableau 14. Résultats obtenus en fonction de la durée d'immersion*
- Tableau 15. Dimension des lamelles de bambou pour l'expérience 1*
- Tableau 16. Résultats de l'expérience 1*
- Tableau 17. Préparation des lamelles de bambou pour l'expérience 2*
- Tableau 18. Résultats de l'immersion en fonction de l'imprégnation*
- Tableau 19. Caractéristiques des lattes choisies*
- Tableau 20. Exemples de vitesse de référence*
- Tableau 21. Nombre de tuile au m² en fonction de la dimension des tuiles*
- Tableau 22. Caractéristiques de la tuile*
- Tableau 23. Présentation des matières premières et leurs lieux d'approvisionnement*
- Tableau 24. Matériels pour la mise en œuvre du composite*
- Tableau 25. Orientation particulière de renfort*
- Tableau 27. Résultats de la flexion 3 pannes de l'essai 2*

- Tableau 28. Les conséquences liées aux paramètres de moulage*
- Tableau 29. Résolution des problèmes de moulage*
- Tableau 30. Masse volumique du polyester*
- Tableau 31. Propriétés mécaniques du polyester*
- Tableau 32. Masse volumique du catalyseur*
- Tableau 33. Composition chimique du sable d'Antsarimasina*
- Tableau 34. Masse volumique apparente de la charge*
- Tableau 35. Masse spécifique de la charge*
- Tableau 36. Masse d'un brin de fibre de bambou*
- Tableau 37. Poids spécifiques de la fibre de bambou*
- Tableau 38. Rendement des fibres de bambou*
- Tableau 39. Résultats de l'essai de flexion pour l'essai 1*
- Tableau 40. Résultats de l'essai de flexion de l'essai 2*
- Tableau 41. Résultats de l'essai de flexion pour l'essai 3*
- Tableau 42. Formulations optimales*
- Tableau 43. Résultats de l'essai de résilience*
- Tableau 44. Recherche de la vitesse et de la masse pour la rupture au choc dans les conditions cycloniques*
- Tableau 45. Masse volumique pour C118/25*
- Tableau 46. Masse volumique pour C215/20*
- Tableau 47. Possibilité de coloration*
- Tableau 48. Résultats de l'immersion dans des produits chimiques*
- Tableau 49. Récapitulatif des différents devis*
- Tableau 50. Devis pour la mise en œuvre d'une tuile composite*
- Tableau 51. Évaluation des coûts temporels pour l'extraction de 125 g de fibre*
- Tableau 52. Système de produits pour la fabrication de tuile composite*
- Tableau 53. Masse de refus*

Liste des figures

- Figure 1. Coupe d'un chaume*
- Figure 2. Caractéristique du chaume et feuilles*
- Figure 3. Graines de bambou*
- Figure 4. Bambou pachymorphe et sympodial*
- Figure 5. Bambou leptomorphe et monopodial*
- Figure 6. Les différentes familles de matériau*
- Figure 7. Structure polylamelée d'une fibre de bambou*
- Figure 8. Structure moléculaire de la cellulose*
- Figure 9. Structure de la lignine*
- Figure 10. Formules des unités monomériques de l'hémicellulose*
- Figure 11. Tuile plate munie de trous de fixation*
- Figure 12. Tuile à emboîtement mécanique exempte de trous de fixation*
- Figure 13. Dimensionnement correct des différents éléments de la charpente*
- Figure 14. Assemblage incorrect de la charpente*
- Figure 15. Représentation schématique de la lamelle externe et interne*
- Figure 16. Les différentes étapes pour le moulage*
- Figure 17. Présentation de la dimension de la tuile*
- Figure 18. Les différents domaines pour le calcul de la fixation*
- Figure 19. Vue 3D de la tuile composite*
- Figure 20. Positions de la presse*
- Figure 21. Levier de compression*
- Figure 22. Représentation du tube de compression*
- Figure 23. Représentation schématique des forces appliquées au levier de compression*
- Figure 24. Représentation schématique de la rainure*
- Figure 25. Élaboration de la tuile composite*
- Figure 26. Moule supérieur*

Figure 27. Moule inférieur

Figure 28. Processus de préparation du sable siliceux

Figure 29. Processus illustrant la méthodologie par ordre chronologique

Liste des photos

Photo 1. Produits débouchants

Photo 2. Touffe de Dendrocalamus giganteus

Photo 3. Structure de la chair de bambou

Photo 4. Chaume non mature

Photo 5. Chaume mature

Photo 6. Coupe antérieure d'une tige de bambou

Photo 7. Technique pour la coupe de bambou

Photo 8. Ramuscule de bambou

Photo 9. Coupe de la partie non utilisée

Photo 10. Bambou coupé dans le sens longitudinal

Photo 11. Bambou en fagot

Photo 12. Nœuds avec leurs diaphragmes

Photo 13. Chaume à nœuds enlevés

Photo 14. Chaume à épiderme enlevé

Photo 15. Bambou sous forme de bâtonnets

Photo 16. Refus constitués d'écorce externe et interne

Photo 17. Rinçage des fibres

Photo 18. Fibres en séchage

Photo 19. Bambou sous forme de bâtonnets

Photo 20. Échantillon N° 4 à 15 h 30 d'immersion

Photo 21. Échantillon N° 3 à 15 h 30 d'immersion

Photo 22. Échantillons immergés dans des solutions à 3 %

Photo 23. Peignage des lamelles broyées

Photo 24. Moulage au contact de fibre de bambou

Photo 25. Moulage d'un mât de fibre au contact

Photo 26. Béton de résine

Photo 27. Cadre

Liste des courbes

Courbe 1. Influence du taux de renfort sur la moyenne des contraintes à la rupture

Courbe 2. Influence de la durée de la pression sur la contrainte à la rupture

Courbe 3. Influence du taux de charge sur la contrainte à la rupture

Liste des diagrammes

Diagramme 1. Principales matrices organiques utilisées

Diagramme 2. Différentes sortes de renfort selon leur nature

Diagramme 3. Mise en œuvre des matériaux composites selon la nature de la matrice

Diagramme 4. Classification des fibres naturelles selon DIN 60 001,1990

Liste des annexes

Annexe 1. Dessins

Annexe 2. Mode de culture du bambou

Annexe 3. Quelques considérations sur la coupe du bambou

Annexe 4. Calcul de la masse de soluté pour la préparation d'une solution de concentration C_m

Annexe 5. Données des vents de la région de Toamasina

Annexe 6. Calcul de la pression dynamique

Annexe 7. Calcul pour la conception de la presse

Annexe 8. Détermination de la contrainte à la rupture en flexion

Annexe 9. Détails des prix pour la réalisation de la presse

Préambule

Ces dernières années, l'environnement est situé au centre d'un débat mondial. En effet, on a constaté un important changement climatique qui se caractérise par la hausse de température en période chaude, la température extrême en période hivernale, la montée du niveau de la mer, et l'apparition graduelle de nouvelles perturbations atmosphériques de plus en plus puissante.

Dans les pays tropicaux, une des perturbations les plus dévastatrices est le cyclone tropical. D'autant plus que les bilans que causent ces perturbations sont souvent très lourds se caractérisant par des dégâts matériels et surtout des pertes humaines entraînant d'énormes pertes pour les sinistrés et même l'État. Les exemples concernant les dégâts matériels sont nombreux comme la destruction des maisons, des cultures, des ponts, etc. En soulignant que dans le cas des constructions, leurs destructions commencent par celle du matériau de couverture.

Et pour faire face à ce changement climatique, des mesures austères ont été prises par les différents pays du monde lors des conférences mondiales sur l'environnement réglementant notamment les émissions de gaz à effet de serre et la coupe des arbres. C'est pourquoi les recherches ont été orientées vers les bioressources ou encore les ressources durables, c'est-à-dire des matériaux dont la régénération est rapide et dont les différentes transformations ne nécessitent que peu d'énergie. Une de ces ressources est le bambou dont l'utilisation excelle dans plusieurs domaines. En soulignant particulièrement que le bambou se régénère au bout de quelques années seulement.

Pour répondre à ces divers critères, il est alors opportun de concevoir une toiture résistant aux cyclones dans le respect de l'environnement. D'où l'objet de ce présent mémoire. En effet, on a essayé de fabriquer une tuile composite dont les principaux attraits sont l'utilisation de matière renouvelable pour sa conception, mais aussi de laquelle la forme et la fixation répondent au profil paracyclonique. Alors pour se faire, on a défini deux grandes parties pour sa réalisation.

D'abord, la première partie traitant le contexte général et l'étude bibliographique va présenter succinctement les objectifs et les résultats attendus à la fin de ce travail, le bambou ainsi que le matériau composite en passant par les fibres de bambou. Et pour terminer cette partie, on essaiera de voir aussi les toitures existantes, ainsi qu'une présentation des cyclones.

Pour terminer, c'est l'étude expérimentale proprement dite qui va occuper une place prépondérante dans la deuxième partie. En effet, une étude concernant les impacts socio-économiques et environnementaux a été nécessaire pour la parfaire.

L'étude expérimentale va regrouper l'extraction des fibres des bambous, la conception de l'élément de la toiture, et les fixations correspondantes qui vont permettre de concevoir la presse, de mettre en œuvre la tuile composite et d'effectuer les différentes caractérisations.

*Partie I: Contexte
général et étude
bibliographique*

Chapitre 1: Présentation de la problématique

1. Contexte économique :

Premièrement, le bambou est utilisé couramment par les Malgaches dans la vie courante comme adduction d'eau, panier, etc. Peu d'entreprises exploitent l'immense potentialité qu'offre le bambou dans le domaine du bâtiment. La plupart sont des micro-entreprises se spécialisant surtout dans la confection des meubles et des produits d'artisanat en bambou. Mais on peut citer la société « Madagascar Bamboo » qui transforme des lamelles de bambou en madrier de 2,50 m de long. Une grande partie des produits transformés est exportée vers la Réunion, les États-Unis, l'Europe et la Chine [A].

En 2010, une politique de développement de la filière bambou a été mise en place notamment par la culture de 4000 plants venant d'Inde dans la région d'Antananarivo et de Toamasina [B].

Deuxièmement, le domaine de la toiture constitue d'une manière générale une dépense conséquente lors de la construction d'un bâtiment.

Finalement, à titre d'indication, la population malgache vit au seuil de la pauvreté parce que plus de 90 % de la population a un revenu journalier inférieur à 4000 Ariary. Et, d'après l'IDH, Madagascar se trouverait dans les 50 pays les plus pauvres du monde [C].

2. Les objectifs et perspectives :

Le présent mémoire vise particulièrement à promouvoir le bambou pour la fabrication d'un matériau composite afin d'être utilisé comme :

- ✧ Fabrication d'un matériau de couverture résistant aux cyclones et utilisant des espèces de bambou abondantes sur la région Atsinanana ;
- ✧ Établissement d'une entreprise créant ainsi de nouveaux emplois.

3. Limites :

Dans ce travail, nous n'aborderons pas les différents phénomènes suivants :

- ✧ Vieillessement du matériau composite ;
- ✧ Rhéologie de la résine lors de son moulage ;
- ✧ La conception des charpentes.

4. *Astreintes et résultats attendus :*

4.1. *Astreintes :*

Pour atteindre les différents objectifs fixés ci-dessus, il est nécessaire de définir les différentes astreintes :

- ❖ Extraction de fibre de bambou par de simples procédés ;
- ❖ Tuile résistant aux rafales cycloniques ;
- ❖ Processus d'élaboration relativement court et simple ;

4.2. *Résultats attendus*

Les résultats ainsi attendus concernent surtout les propriétés et le prix de revient pour la fabrication de ce matériau de couverture.

- ❖ Tuiles ayant de bonnes propriétés mécaniques et physiques ; avec un bon état de surface ;
- ❖ Coût relativement faible comparé aux matériaux de couvertures courantes.

Chapitre 2: Bambou

1. Historique du bambou :

Peu d'ouvrages parlent de l'origine exacte du bambou. Mais on estime qu'il est apparu à l'ère de l'Éocène et de l'Oligocène en même temps que la plupart des herbes primitives environ il y a 60 millions d'années.

2. Généralité sur le bambou

2.1. Taxonomie ou systématique du bambou : [D] [1] [E]

- ❖ Règne : *Plantae* ;
- ❖ Sous-embranchement : Angiosperme ;
- ❖ Classe : *Liliopsida* ;
- ❖ Sous-classe : *Commelinidae* ;
- ❖ Ordre : *Cyperales* ;
- ❖ Famille : *Poaceae* (*Gramineae*) ;
- ❖ Sous-famille : *Bambusoidea* ;
- ❖ Tribu : *Bambusae* ;
- ❖ Sous-tribus : *Thamnocalaminae*, *Hickelinae* ;
- ❖ Genres : 60 à 90 genres
Exemples : *Arundinaria*, *Bambusa*, *Nastus*,...
- ❖ Espèces : 2000 espèces
Exemples dans le genre *Bambusa* : *Bambusa nutans*,
Bambusa vulgaris,...

2.2. Répartition des espèces de bambou :

Le bambou se répartit principalement entre les deux tropiques surtout en Asie du Sud-Est. Il peut se trouver à des altitudes allant du niveau de la mer jusqu'à 4000 m, à des températures variant de -28 °C à 50 °C.

On recense 2000 espèces de bambous regroupées en 60 à 90 genres [2].

Madagascar compte plus d'espèces locales de bambous que l'Afrique entière. [3] Des données chiffrées ont estimé à 33, le nombre de ces espèces. D'autant plus que 32 de ces 33 espèces sont endémiques à la Grande Île. Particulièrement, dans la région Atsinanana, on peut citer *Dendrocalamus giganteus*,

Dendrocalamus asper, *Bambusa vulgaris constrictinoda*, *Bambusa vulgaris striata*, *Valiha diffusa* et *Cephalostachyum madagascariensis* [F] [4].

À part ces espèces citées, voici la répartition des autres espèces :

Tableau 1. Répartition des espèces et genres des bambous naturels en Afrique, à Madagascar [5]

Sous-tribu (Subtribu)	Genre	Nombre d'espèces dans Ohrnberger, 1999	Distribution
<i>Thamnocalaminae</i>	<i>Thamnocalamus</i>	2	Afrique du Sud et Madagascar
	<i>Yushania</i>	6	Afrique Tropical et Madagascar
<i>Bambusinae</i>	<i>Bambusa</i>	1	Madagascar
	<i>Oreobambos</i>	1	Afrique Tropical
	<i>Oxytenanthera</i>	1	Afrique Tropical
<i>Melocanninae</i>	<i>Cephalostachyum</i>	5	Madagascar
	<i>Ochlandra</i>	2	Madagascar
	<i>Schizostachyum</i>	3	Madagascar
<i>Hickelinae</i>	<i>Decaryochloa</i>	1	Madagascar
	<i>Hickelia</i>	4	Afrique Tropical et Madagascar
	<i>Hitchcockella</i>	1	Madagascar
	<i>Nastus</i>	12	Madagascar
	<i>Perrierbambus</i>	2	Madagascar

2.3. Particularité du bambou :

Contrairement au bois, le bambou a une surface dure à l'extérieure et tendre à l'intérieure. Et à la différence des autres plantes, le bambou possède une vitesse de croissance exceptionnelle. La majorité des espèces peut croître à une vitesse de 8 à 40 cm par jour. Le *Phyllostachys edulis* du Japon, est une espèce remarquable avec une vitesse de croissance de 120cm en 24 h [6].

La durée de vie d'une touffe de bambou peut atteindre les 100ans.

3. Morphologie du bambou : [7] [3]

Le bambou est connu pour partager certains traits caractéristiques avec les autres familles des herbacés. Mais il présente des particularités par la morphologie externe des organes végétatives, la structure des organes reproductifs telle que les fleurs et les fruits et aussi les réglementations de la croissance et du développement.

Le bambou comprend :

- ✧ Le chaume ;
- ✧ Le feuillage et la gaine ;
- ✧ Le rhizome ;
- ✧ Le ramuscule ;
- ✧ La fleur et l'inflorescence ;
- ✧ La graine.

3.1. Chaume :

Il constitue la tige du bambou. Constituant la plus importante partie du bambou, il est divisé de haut en bas en trois sections :

- ❖ La canne ;
- ❖ Le turion ;
- ❖ Le cou de rhizome

Le chaume est d'aspect tubulaire et creux à l'intérieur. Les chaumes issus d'un même rhizome seront de plus en plus gros et de plus en plus hauts jusqu'à ce que le rhizome atteigne sa maturité. Il est aussi constitué de différents caissons séparés par des diaphragmes appelés nœuds.

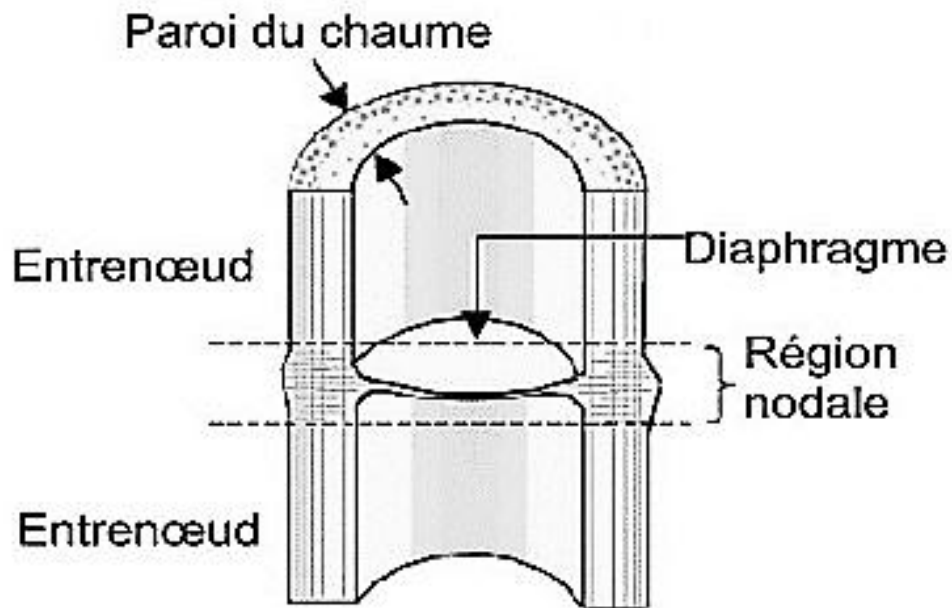


Figure 1. Coupe d'un chaume [2]

3.2. Le feuillage et la gaine :

Le feuillage se développe au niveau des nœuds. Les feuilles sont de dimensions variables, de quelques mm à 30 cm.

Les bambous possèdent deux types de feuilles :

- ❖ Les vraies feuilles ;
- ❖ Les gaines.

Une feuille est composée de limbes, de pseudopetioles, de gaines, de ligules et d'oreillettes. Du côté intérieur de la gaine se trouve normalement une membrane connue comme étant la ligule. Mais cette dernière peut être absente ou bien remplacer par des cils. Sur l'un des deux côtés du bout de la gaine et à la base du limbe peuvent se trouver deux oreillettes.

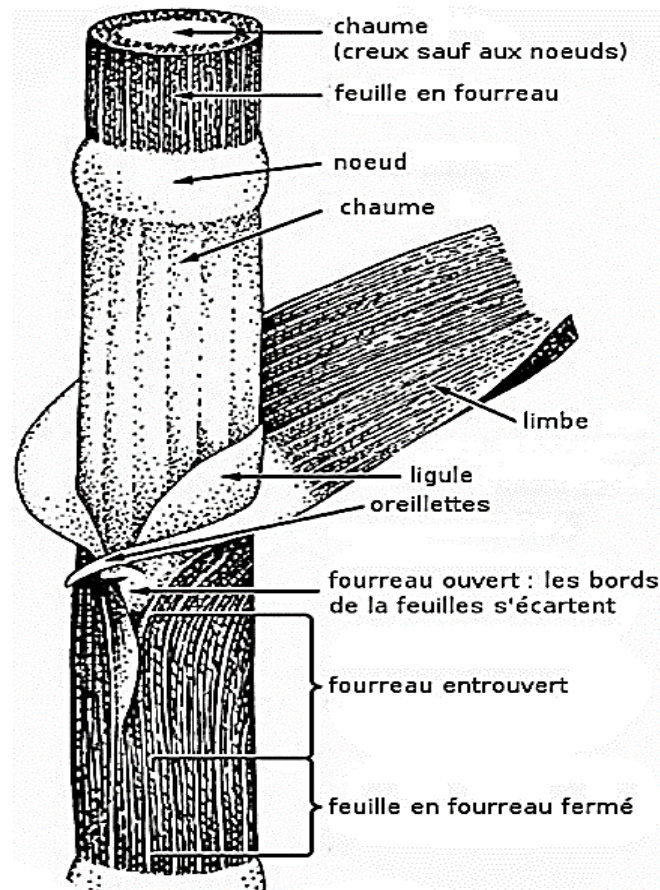


Figure 2. Caractéristique du chaume et feuilles [2]

3.3. Le Rhizome :

Ce sont les tiges souterraines qui vont produire soit des racines, soit de nouveaux chaumes en affleurant le sol.

Le rhizome constitue l'organe principal par lequel le bambou assure sa reproduction ainsi que son expansion. On peut considérer le rhizome comme la principale tige et les chaumes, ses branches.

3.4. Le ramuscule :

Vu que le bambou n'est pas un arbre, on parle de rameaux feuilletés divisés en ramuscules au lieu de branche.

Les ramuscules émergent des bourgeons situés sur les chaumes de bambou et portent les feuilles. Le chaume d'un bambou, comme il a été mentionné

plus haut, peut être considéré comme la branche principale des rhizomes. Alors, les ramuscules sont des branches secondaires.

3.5. La fleur et l'inflorescence :

Il y a deux types de floraison pour le bambou : la floraison grégaire et la floraison sporadique. [8] Pour le premier type, le bambou survit après la floraison et la production de graines. Pour le deuxième, le bambou ne fleurit qu'une fois dans leur vie et meurt après avoir donné des graines. Durant la période de floraison, les chaumes perdent leurs feuilles et après, aucune nouvelle feuille ne se forme.

L'intervalle de floraison varie largement de dix ans et plus voire même plus de 100ans et les bambous d'une même espèce fleurissent simultanément indépendamment de l'âge du bambou, des conditions extérieures ou de la position géographique [2].

3.6. La graine :

Le fruit du bambou est souvent un caryopse, avec seulement un fruit interne dans le cas du *Phyllostachys* et du *Dendrocalamus*. Le péricarpe est mince et coalescent avec un épisperme ; la forme d'un grain agrandi est identique à celle d'un grain de blé allongé, l'endosperme est féculent, l'embryon dans la partie inférieure de l'endosperme et du prolongement avant du bord opposé est le hile cannelé.



Figure 3. Graines de bambou [3]

4. Détermination de l'âge du bambou :

L'âge est un des paramètres essentiels pour l'utilisation du bambou, qui influence les propriétés physiques, chimiques et mécaniques [9]. En effet, les jeunes pousses âgées de 30 jours sont comestibles ; de 6 mois à 2 ans, le bambou est facilement mis en lamelles ; et âgé de 3 à 6 ans, il est utilisé dans la construction. C'est pourquoi sa détermination est primordiale.

On présentera les détails de la détermination dans la partie expérimentale.

5. Classification des bambous :

On peut regrouper les espèces de bambou suivant plusieurs facteurs et dans notre cas, on va s'intéresser plus particulièrement à la classification en utilisant :

- ✧ La taille ;
- ✧ Le rhizome.

5.1. Classification selon la taille :

Une des classifications courantes de bambous se fait par leur taille et est illustrée par le tableau suivant :

Tableau 2. Classification du bambou en fonction de leur taille [7]

Dénomination	Hauteur (h)
Nains	$h < 1,50 \text{ m}$
Petit	$1,5 \text{ m} < h < 3 \text{ m}$
Moyen	$3 \text{ m} < h < 9 \text{ m}$
Géant	$9 \text{ m} < h < 40 \text{ m}$

5.2. Classification selon les rhizomes : [8] [3]

Ce mode de classement est encore une classification horticole, qui s'établit par le mode de croissance des rhizomes. Alors, on regroupe les bambous en 2 genres :

- ✧ Cespiteux ;
- ✧ Traçants.

5.2.1. Bambous cespiteux :

Ses rhizomes sont courts et dirigés plus ou moins verticalement, les nœuds sont très rapprochés [10]. Ces bambous possèdent des rhizomes pachymorphes. Ils ont un branchement du rhizome de type sympodial. Ces rhizomes sont considérés comme ayant subi une plus ancienne évolution. Généralement, ces rhizomes ne s'enfoncent pas profondément dans le sol.

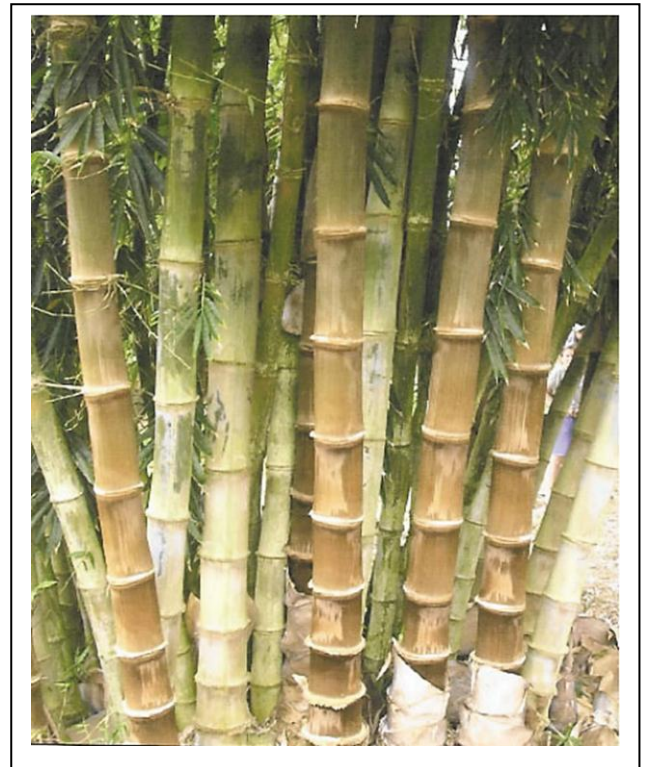
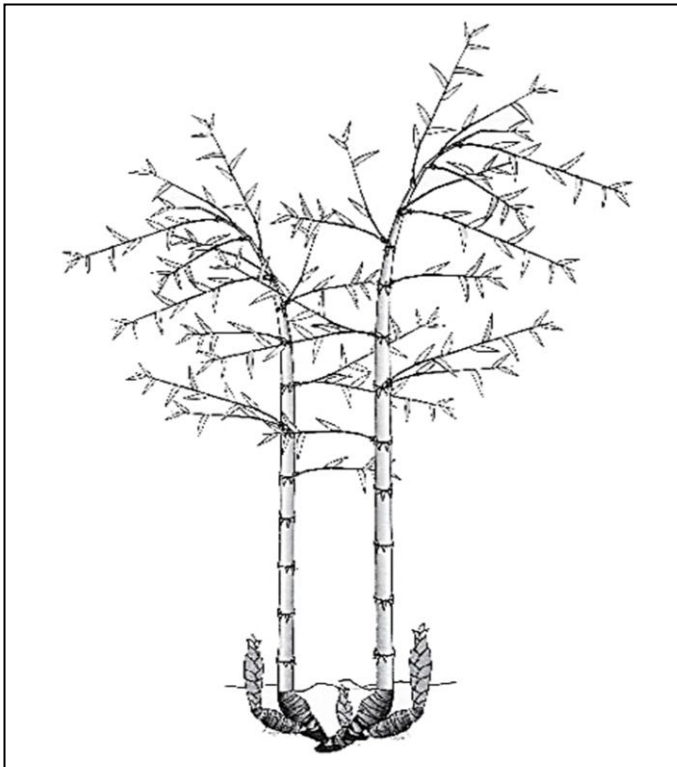


Figure 4. *Bambou pachymorphe et sympodial* [8]

5.2.2. Bambous traçants :

Leurs rhizomes sont plus ou moins longuement traçants à des profondeurs pouvant atteindre 80cm. Ils ont ordinairement une direction rectiligne assez régulière qui n'est déviée que par des obstacles qui sont alors contournés.

Les racines ou plus précisément les rhizomes de ces bambous sont de type leptomorphe. Ils ont subi des évolutions récentes.

Les bambous traçants ou bambous (monopodiales) se propagent horizontalement sur une large distance. Ces espèces de bambou peuvent se rencontrer dans les régions subtropicales à climat tempéré [11].

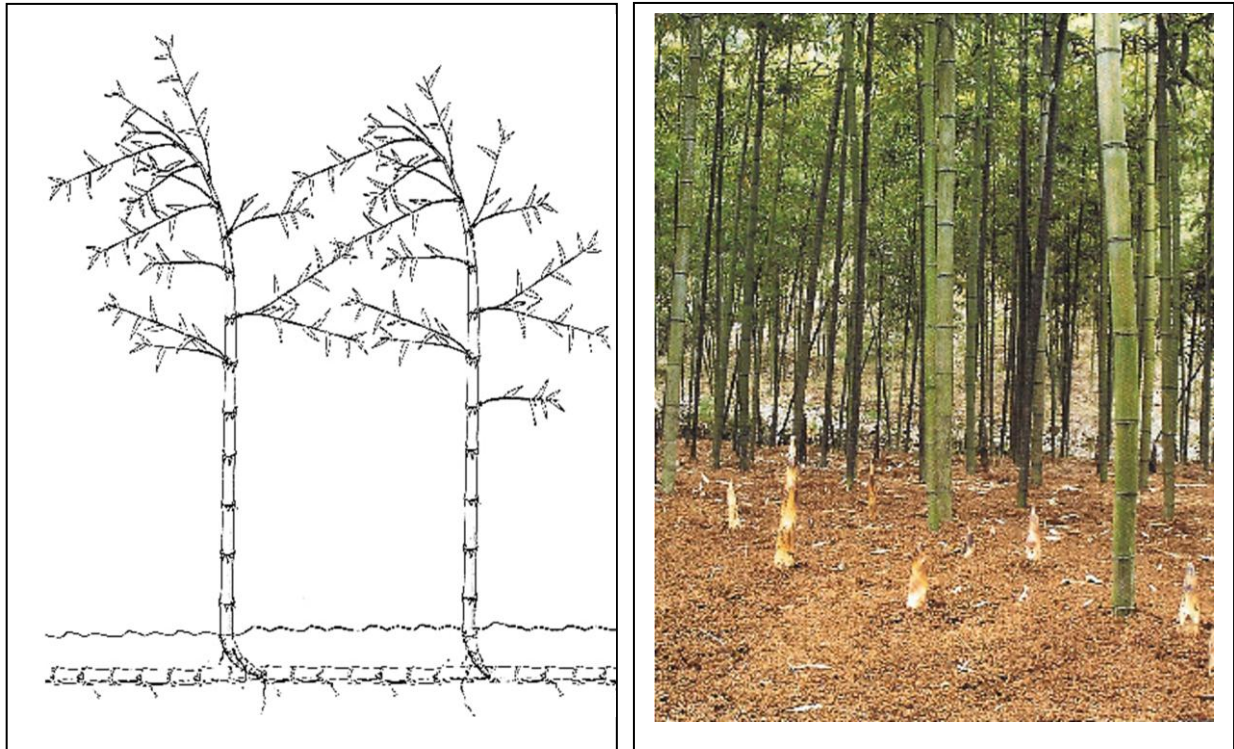


Figure 5. *Bambou leptomorphe et monopodial* [8]

REMARQUE :

Il existe également une propagation intermédiaire alliant les caractéristiques monopodiales et sympodiales : elle est dite amphipodiale [2].

6. Mode de culture du bambou :

6.1. Mode de croissance du bambou :

Pour quelques espèces, c'est durant la nuit que leur croissance est la plus prononcée, deux à trois fois comparée à celle du jour. Et pour d'autres espèces, c'est l'inverse. Les bambous sympodiaux complètent leur croissance entre 80 et 120 jours tandis que les bambous monopodiaux atteignent 93 % de leur hauteur en un mois.

La croissance du bambou dépend de plusieurs facteurs : l'espèce, la fertilité du sol, les conditions climatiques [6].

Les bourgeons sur les rhizomes peuvent se développer et émerger de la terre. Ces bourgeons, sous forme de turions, sortent de terre avec un diamètre définitif [2]. La nouvelle pousse croît verticalement en un chaume jusqu'à sa taille définitive. Attaché à chaque nœud, les gaines vont protéger le nouveau chaume

développant graduellement des branches et des feuilles. Quand le chaume mûrit, il se lignifie. Pendant que le système de rhizome se développe et mûrit, les nouvelles et plus grandes pousses émergent annuellement jusqu'à ce que la taille maximum des espèces ait été atteinte. La durée de vie d'un chaume varie d'espèce en espèce. Un chaume atteint sa maturité au bout de 3 à 4ans. Pendant leur vieillissement, le chaume se détériore, meurt et se décompose [8].

Le rendement lors de la culture du bambou varie entre 200 à 400 tonnes par hectare [B].

6.2. Expansion du bambou :

Évidemment, la culture du bambou est possible. Et l'on compte 4 modes de multiplication du bambou :

- ❖ Multiplication par les organes végétatifs ;
- ❖ Multiplication par les rejets ;
- ❖ Multiplication par les jeunes pousses ;
- ❖ Multiplication par les graines.

La première mode de culture est la plus employée. Une fois plantés, les matériaux végétatifs issus des chaumes coupés se développent beaucoup plus rapidement que les rejets et même les jeunes plants. D'autant plus que le bambou ne produit des graines qu'après la floraison. Floraison qui ne survient qu'après plusieurs dizaines d'années [8].

Des détails de la multiplication du bambou sont présentés dans l'annexe 2.

6.3. Quelques considérations sur la récolte du bambou : [G]

Plusieurs facteurs conditionnent la coupe du bambou. Il y a la saison de la coupe, les méthodes, le transport et le mode de séchage. Ceci étant développé dans l'annexe 3.

7. Structure anatomique du bambou :

Du point de vue anatomique, le bambou ou plus précisément le chaume de bambou est composé par divers constituants qui peuvent être regroupés en trois catégories [12] :

- ✧ Les fibres ;
- ✧ Les tissus ;
- ✧ La paroi cellulaire et les cellules.

7.1. Les fibres :

La paroi de la fibre a une structure polylamellée (alternance de lamelles larges et de lamelles étroites), particulièrement à la périphérie des chaumes. La partie fibreuse est plus grande à la périphérie qu'à l'intérieur où c'est le parenchyme qui domine. Il en est de même pour la longueur des fibres où le maximum se trouve au milieu de la paroi cellulaire. Les fibres sur la partie interne sont plus courtes à raison de 20 à 40 % [H]. De même, la quantité de fibres augmente de la base au sommet de la tige, et parallèlement, une diminution de la quantité de parenchymes. En se rapprochant du sommet de la tige, on constate une diminution progressive de la longueur et du degré de maturité des fibres ainsi que l'épaisseur de la paroi cellulaire [10].

Les fibres représentent 40 % de la masse de chaume. Il varie considérablement entre les espèces. Aussi, le contenu et la longueur des fibres influencent grandement la densité. La longueur de fibre est fortement corrélée avec le diamètre de fibre, l'épaisseur de la paroi cellulaire, aussi bien avec le module d'élasticité qu'avec la force de compression. La partie externe du chaume possède une densité plus élevée que la partie interne [13].

7.2. Tissus :

Globalement, il y a plusieurs parties qui forment le tissu des hautes plantes ; mais celui du bambou se compose de la manière suivante :

- ✧ Sclérenchyme ;
- ✧ Parenchyme ;
- ✧ Système vasculaire ;
- ✧ Tissu parenchymateux [12].

7.3. La paroi cellulaire et les cellules :

Un amas de cellules forme la couche limite appelée « la lamelle moyenne ». Les différentes couches de la paroi cellulaire sont disposées sur le côté

intérieur de cette lamelle, c'est-à-dire la paroi primaire due au développement des cellules, suivie par la seconde.

8. Les faiblesses du bambou :

Le bambou est vulnérable aux attaques d'insectes comme les termites, les aphidiens, en plus de plusieurs organismes vivants comme les *Estigmene sinensis*, *Cyrtotrachelus longipes*, les *Asterolecanium miliaris*, les *Dinoderus brevis*... Ils s'attaquent surtout au bourgeon terminal, aux graines et aux tiges [1].

Chapitre 3: Matériaux composites

1. Généralités sur les matériaux :

Généralement, on distingue cinq familles de matériaux : les matériaux minéraux, les métaux et alliages, les polymères, les matériaux naturels et les matériaux composites.

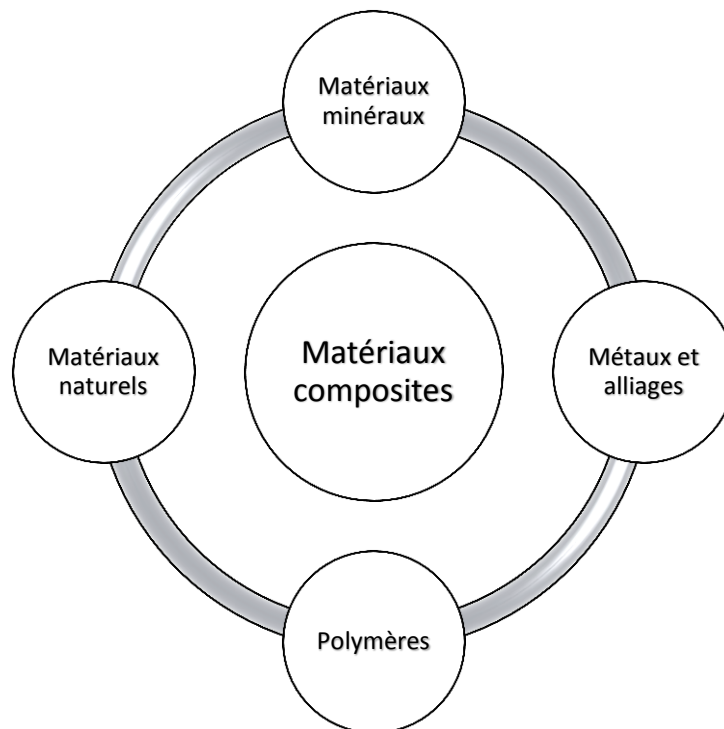


Figure 6. Les différentes familles de matériau

2. Définitions d'un matériau composite :

Un matériau composite peut être défini comme un assemblage de plusieurs matériaux de nature ou d'origines différentes dont les propriétés sont supérieures à celles des matériaux constitutifs [14]. C'est un matériau formé par des arrangements de fibres, les renforts, qui sont noyés dans une matrice ayant une propriété mécanique plus faible.

D'autres éléments entrent dans la fabrication d'un composite comme les charges et les additifs ; et d'une manière générale, on peut écrire :

$$\text{Matériau composite} = \text{Matrice} + \text{Renfort} + \text{Charges} + \text{additifs}$$

3. Types de composites :

Selon la nature de la matrice, on distingue 4 groupes de composites :

- ❖ Les composites à matrice organique (CMO) : ils constituent de loin les plus importants à l'échelle industrielle ;
- ❖ Les composites à matrice céramique (CMC) : ils sont réservés aux applications de très hautes technicités et travaillant à haute température ;
- ❖ Les composites à matrice métallique (CMM) ;
- ❖ Les composites hybrides : ils utilisent deux types de renfort incorporé dans une matrice [15].

Selon la structure, il y a 4 sortes de composites [14] :

- ❖ Composites à fibres courtes : fibres dispersées dans une matrice isotrope, sans orientation préférentielle à comportement macroscopique isotrope ;
- ❖ Composites à fibres longues : fibres longues noyées dans une matrice isotrope avec orientation définie ayant un comportement macroscopique anisotrope ;
- ❖ Stratifiés : superposition de plis en composite à orientation multiple ;
- ❖ Sandwiches : panneaux ou coques conçus pour des sollicitations de flexion.

Dans notre cas et dans ce qui suit, on s'intéressera plus particulièrement aux CMO en utilisant surtout des renforts à fibre longue.

4. Les constituants d'un matériau composite :

4.1. La Matrice :

Pour un matériau composite, la matrice est principalement une résine qui peut être de deux natures possibles et cela suivant son origine : naturelle et synthétique. Elle a pour principaux rôles de lier les fibres entre elles en préservant leur orientation dans le matériau composite, d'assurer le transfert des sollicitations vers les fibres, de protéger les renforts contre les agressions mécaniques et le milieu extérieur au composite [15].

4.1.1. Les différents types de matrice :

Comme précédemment, on peut classer les matrices 2 sortes :

4.1.1.1. Résine d'origine naturelle : [J]

Dans cette catégorie, on distingue :

- Les résines : ils désignent des composés insolubles à l'eau, mais solubles dans les hydrocarbures, des alcools ou des huiles ;
- Les oléorésines : ce sont des mélanges variés d'essences et de résines, de consistance molle ou semi-liquide, partiellement volatils et entraînés par la vapeur d'eau ;
- Les gommés-résines.

4.1.1.2. Résines d'origine synthétique :

Les résines d'origine synthétique ou encore les résines synthétiques constituent les matrices organiques et englobent surtout le domaine des polymères. Elles sont constituées par les résines thermoplastiques, les résines thermodurcissables et les résines élastomères.

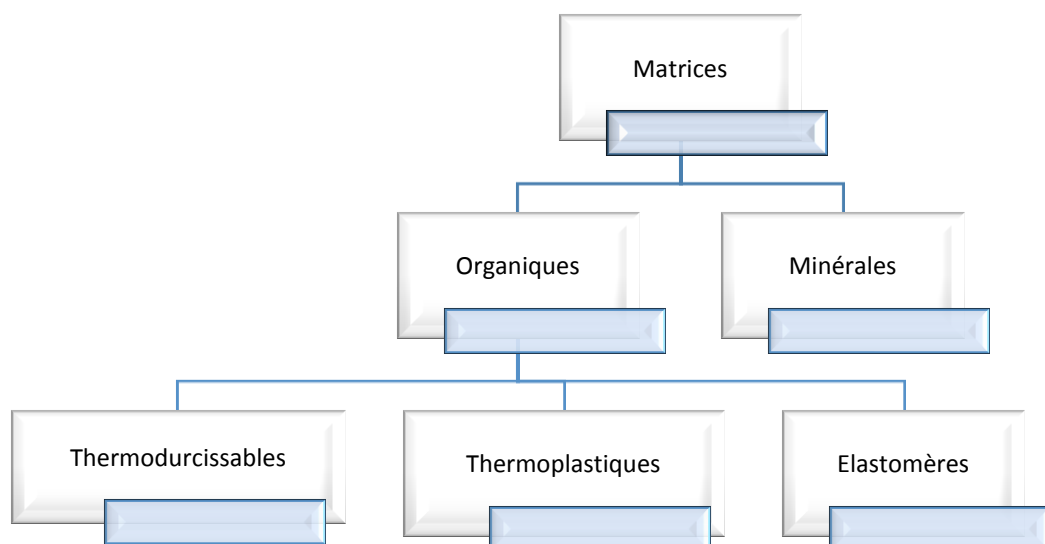


Diagramme 1. Principales matrices organiques utilisées [16]

4.1.2. Critères de choix pour la sélection d'une matrice :

Trois caractéristiques conditionnent le choix d'une matrice, ce sont :

- ✿ L'accessibilité ;
- ✿ Des propriétés cibles ;
- ✿ La durabilité.

Tableau 3. Critère de choix pour une matrice [17]

Critère	Définitions
Accessibilité	Prix matières
	Polyvalence aux méthodes de transformation
	Cadence de production
	Coût des investissements
Propriété	Physique
	Mécanique
	Électrique
	Thermomécanique
	Tolérance
Durabilité	Résistance au vieillissement
	Résistance à la fatigue
	Résistance au feu
	Résistance aux agressions chimiques
	Résistance au frottement
	Résistance à l'usure

4.1.3. Les polyesters insaturés : [18] [17]

Les polyesters insaturés sont des thermodurcissables. Généralement, le produit commercial est mélangé avec du styrène jouant un rôle de fluidifiant. Ils contiennent plusieurs doubles liaisons.

4.1.3.1. Obtention des polyesters :

Ils sont obtenus par :

- Réaction de condensation (diacides + dialcools) : à la suite de la réaction, on obtient des polyesters et de l'eau.
- Réaction d'addition (résine époxyde + acide acrylique ou acide méthacrylique) : il en résulte des vinylesters.

Tableau 4. Exemples de polyester insaturé [17]

Polymères		Désignation normalisée	Produits de base	Réaction d'obtention
Résines polyesters insaturées condensées		UP	Polyols, acides dicarboxyliques insaturés	Polycondensation
Vinylesters	Copolymère avec le styrène 1	VE.S.	Résines époxydes, acides acryliques et méthacryliques	Polyaddition
	Homopolymère 2	VE.		
Polyesters allyliques		P.DAP pour l'orthophatalate de diallyle	Alcool allylique, acides phtaliques	Estérification

4.1.3.2. Copolymérisation de la résine polyester :

La résine polyester est rarement utilisée telle qu'elle, mais exige l'ajout de certaines substances chimiques. On parle alors de copolymérisation :

- La catalyse classique : les ingrédients catalytiques sont employés à faible proportion ; généralement, ce sont les peroxydes qui sont les plus utilisés ;
- Les résines préaccélérées et promotorisées : ce sont les fabricants qui conditionnent la résine sous forme préaccélérée ou promotorisée pour éviter d'éventuelles erreurs de l'opérateur. La polymérisation se fait à température ambiante et ne nécessite aucune cuisson du fait de sa forte exothermie ;
- Durcissement maximum : dans de nombreux cas, pour limiter le taux de styrène libre qui pourrait influencer grandement les propriétés du produit final, on a

fréquemment besoin de recourir à une cuisson supplémentaire.

4.1.3.3. Les catalyseurs et accélérateurs pour la résine polyester :

Les catalyseurs sont très nombreux et classés par divers critères comme la classe chimique, la méthode de préparation, la teneur en peroxyde, la présentation, etc.

Tableau 5. Quelques principaux catalyseurs [17]

Catalyseur	Abréviation
Peroxyde de méthyléthyle-cétone	P Mec
Peroxyde de méthylisobutyl-cétone	P Mic
Peroxyde de cyclohexanone	Pc
Hydroperoxyde de cumène	H Pc
Peroxyde de benzoyle	P Be
Peroctoate de butyle tertiaire	P Obt
Perbenzoate de butyle tertiaire	P Bbt

L'emploi de catalyseur n'est pas obligatoire pour la résine promotorisée. Pour les autres résines, l'emploi du catalyseur dans la résine varie de 1 à 4 % en masse. [K] En fait, le dosage de catalyseur peut être ambigu parce que dans la plupart des ouvrages, on ne précise pas s'il s'agit d'un dosage massique ou volumique. On peut expliquer cela par le fait que la masse volumique de ce dernier est de l'ordre de $1,1\text{g/cm}^3$. Ce qui indique, en approximation, que pour un catalyseur, 1g équivalent à 1mL.

Le taux en accélérateur se limite à 3 % en masse dans la résine. En notant bien sûr que les polyesters insaturés vendus commercialement contiennent déjà de l'octoate de cobalt à raison de 0,1 % à 0,5 %.

4.1.3.4. Les différentes familles de polyester :

On relève quatre sortes de résine polyester :

- Orthophtaliques : À un prix plus bas, ils se prêtent moins bien aux intempéries ;
- Isophtaliques : le prix est plus élevé que les orthophtaliques, mais ils ont une bonne tenue aux intempéries notamment à l'humidité ainsi qu'à divers réactifs ;
- Chlorés : responsable de l'autoextinguibilité ;
- Bisphénols : bonnes caractéristiques chimiques et thermiques.

4.1.3.5. Avantages de l'utilisation du polyester :

Le polyester figure parmi les polymères les plus produits commercialement grâce à :

- Une rapidité et une facilité de polymérisation qui peut se faire même à basse température ;
- Une diversité des techniques de mise en œuvre du type artisanal au type industriel ;
- De bonnes propriétés (mécaniques, électriques, résistance à la chaleur courte durée et résistance chimique aux acides faibles, bonne rigidité et stabilité dimensionnelle), isolant thermique et électrique ;
- Un prix peu élevé.

C'est à cause de tous ces avantages qu'on a choisi le polyester insaturé isophtalique comme matrice dans l'élaboration de notre futur matériau composite.

4.2. Les Renforts :

Ils constituent un des principaux composants du matériau composite. Ils jouent principalement le rôle d'armature. Ils font également qu'un matériau composite possède une propriété mécanique élevée.

D'ailleurs, un bon renfort doit posséder les caractéristiques suivantes :

- ❖ Bonnes caractéristiques mécaniques ;
- ❖ Légèreté ;
- ❖ Compatibilité avec les résines ;
- ❖ Adaptabilité aux procédés de mise en œuvre ;
- ❖ Faible prix [17].

4.2.1. Différentes catégories de fibre :

Il y a de nombreuses sortes de renfort. Le diagramme suivant les présente en fonction de leur nature.

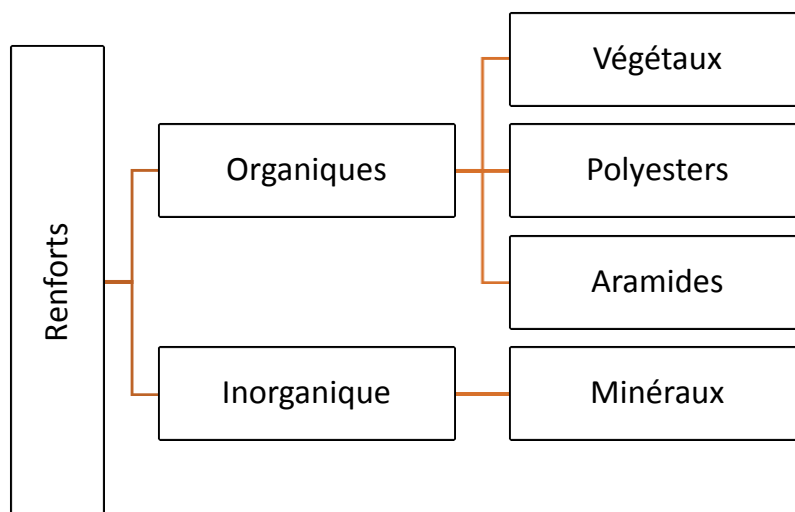


Diagramme 2. Différentes sortes de renfort selon leur nature

4.2.2. Architecture des fibres : [17]

Les fibres sont incorporées dans le composite sous forme de renforts. L'architecture de ces renforts conditionne les propriétés du produit final [15]. L'architecture désigne un ensemble de fibres. Elle représente souvent l'aspect des fibres dans le domaine commercial.

Sous forme commerciale, les fibres se présentent sous trois formes :

- ✿ Ensembles linéaires ;
- ✿ Ensembles surfaciques ;
- ✿ Ensembles multidirectionnels.

4.2.2.1. Ensembles linéaires :

Par linéaire, on fait référence à un fil ou à une mèche. Effectivement, pour pouvoir constituer un ensemble linéaire, il est nécessaire de les regrouper parce qu'une fibre de verre, par exemple, a un diamètre de quelques microns.

Ces différents fils possèdent plusieurs formes : fil de base, fil simple, fil retors, fil câblé, mèche, stratifil, whiskers ou fibres courtes.

4.2.2.2. Ensembles surfaciques :

Ils peuvent être obtenus par des ensembles linéaires continus. Il existe deux types d'ensembles surfaciques : les mats et les tissus

a) Les mats :

Ce sont des nappes de filaments, de fils discontinus ou de fils de base, coupés ou continus, présentées sous forme d'une bande enroulée.

b) Les tissus : [3]

Ils sont obtenus par tissage de fils, stratifils ou mèches ; réalisés manuellement ou sur un métier à tisser. Un tissu est composé d'une chaîne et d'une trame. Une chaîne se définit comme un ensemble de plan de fils parallèles dans le sens de la longueur du tissu alors qu'une trame, un ensemble de fils s'entrecroisant avec les fils de chaîne.

4.2.2.3. Ensembles multidirectionnels :

Pour les multidirectionnels, on distingue la tresse et les autres tissages (forme conique, ogivale, etc.).

4.3. Les autres composants utilisés pour la mise en œuvre :

4.3.1. Le gel-coat :

Le gel-coat joue des rôles internes et externes. Il est à noter en particulier sa faculté à fournir la teinte et l'aspect et à isoler le stratifié du milieu extérieur.

Une large gamme de gel-coat existe se distinguant par leur couleur et leur rôle. Suivant les différents rôles qu'ils peuvent remplir, il y a le gel-coat époxyde, le gel-coat polyester de finition, le top-coat, le web-coat, le gel-coat autodémoulant et le gel-coat floqué.

Après ajout de catalyseur à raison de 1 à 3 % au catalyseur, son application peut se faire au pinceau ou au pistolet [K].

L'épaisseur optimale de gel-coat se situe entre 250 à 650 μm [19].

4.3.2. Les agents de démoulage :

Ils constituent premièrement une surface intermédiaire entre le matériau composite et le moule, pour éviter que le gel-coat n'adhère directement au moule ; et deuxièmement, ils contribuent aussi à améliorer l'état de surface de la pièce.

Comme agent de démoulage, on peut citer l'utilisation de :

- ✿ Cires : les plus utilisées sont les cires de synthèse, les cires d'abeille et les cires de Carnauba. Pour un moule neuf, l'application de la cire de 3 à 6 couche à chaque pièce à mouler et pour un moule fréquemment utilisé, leurs applications peuvent se faire toutes les 5 à 10 pièces réalisées. Ce qui est important dans leur utilisation est d'obtenir une surface parfaitement brillante après des cycles répétés d'application et de lustrage [K] ;
- ✿ Films : appliqués entre le moule et le gel-coat, ils peuvent être enlevés une fois la pièce réalisée.

D'autres agents peuvent être signalés comme les huiles que ce soit de vidange ou de cuisine, la colle de bureau, etc.

4.3.3. Les charges et additifs :

Ce sont des produits ajoutés aux deux constituants de base dans des proportions de quelques dizaines de pourcentages dans le cas des charges et seulement quelques pour cent pour les additifs. Ils sont employés pour :

- ✿ Modifier la couleur ;
- ✿ Modifier sensiblement les propriétés mécaniques, électriques ou thermiques ;
- ✿ Réduire le coût ;
- ✿ Améliorer la résistance à la flamme et au vieillissement ;
- ✿ Diminuer le retrait ;
- ✿ Faciliter le démoulage ;
- ✿ Modifier la densité du matériau [L].

Parmi les nombreuses charges, on peut citer le mica, la craie, la calcite, la dolomite, le kaolin, la silice, le wollastonite. La granulométrie des charges utilisée varie dans la plupart des cas entre $5\mu\text{m}$ et $40\mu\text{m}$ [17].

La silice se présente principalement sous forme cristalline à l'état naturel et amorphe pour les silices synthétiques. Généralement, on utilise la silice synthétique du fait de sa surface spécifique importante. Pour les composites chargés de silice synthétique, on constate une amélioration des propriétés d'abrasion, de la résistance chimique, de la résistance à l'abrasion et à la rayure [20].

Tableau 6. Quelques exemples de charges et d'additifs courants [17]

Nature	Fonction		Exemple
Charge	Renfort mécanique		Verre, alumine, carbure, silicium
	Abaissement de coût		Carbonates, silicates, silices, cendres volantes
	Ignifugeante		Hydrate d'alumine, oxyde d'antimoine, phosphate d'ammonium
	Conductrice et antistatique		Poudres : aluminium, cuivre, nickel Microfibrille : verre métallisé recouvert de cuivre ou d'argent
Additif	Lubrifiant		Esters d'alcool, ester de glycérol, stéarates métalliques
	Anti UV		Benzophénone, benzotriazole, oxyde de zinc
	Pigment	Minéraux	Blanc : dioxyde de titane, oxyde de zinc
			Rouge : manganèse, oxyde de fer
			Jaune : chrome, sulfure de cadmium
			Bleu vert : oxyde de chrome, sels de titane
		Organiques	Rouge : naphtol, perylène
			Jaune : hansa, isoindoline
			Bleu vert : phtalocyanine
			Noir : noir de carbone
Colorants		Nigrosine	

5. Mise en œuvre des matériaux composites :

Comme on le sait, il y a divers techniques pour la mise en œuvre de composite. Cependant, indépendamment de la technique, le séchage constitue une étape fondamentale avant cette mise en œuvre.

5.1. Le séchage : [21]

L'humidité peut influencer essentiellement les propriétés mécaniques du composite. Effectivement, la présence d'eau à la surface des fibres peut altérer l'adhérence entre fibres/matrice.

5.2. Choix du type de moulage :

Plusieurs facteurs conditionnent le type de moulage utilisé pour la mise en œuvre des matériaux composites.

5.2.1. Suivant la taille des pièces : [17]

Voici une classification suivant la surface à réaliser.

Tableau 7. Classification de la pièce réalisée suivant sa surface

Pièce	Description	Types de moulage
Grande dimension	$> 5m^2$	Au contact, par projection, enroulement filamenteux
Moyenne dimension	$1 \leq surface \leq 5m^2$	Nécessité de fabriquer des presses et des moules
Petite dimension	$< 1m^2$	

5.2.2. Suivant la nature de la matrice : [M]

Nous essaierons de voir dans ce diagramme ci-après les différents types de moulage en fonction de la nature de la matière à mouler.

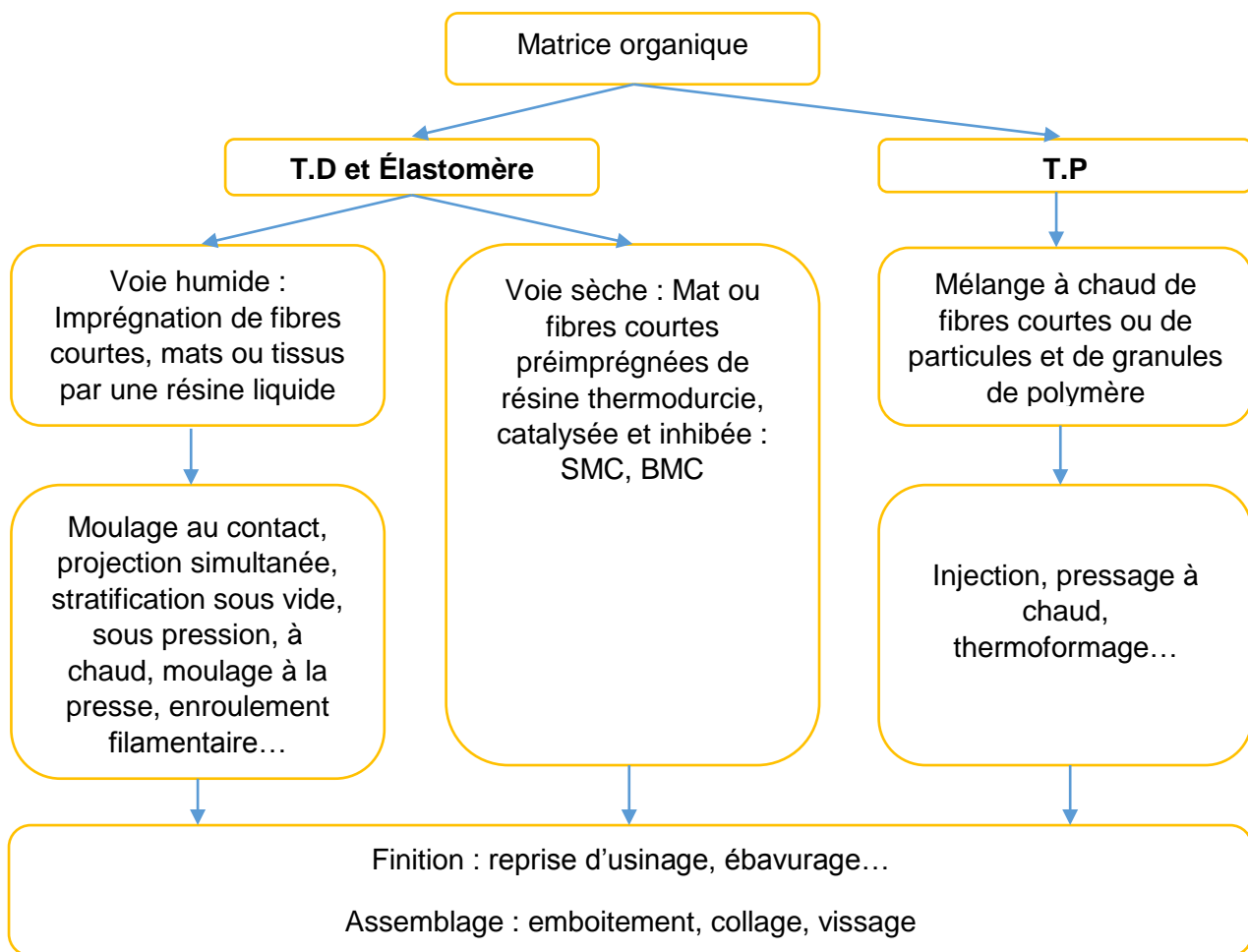


Diagramme 3. Mise en œuvre des matériaux composites selon la nature de la matrice [22]

6. Le béton de résine :

On dénomme ainsi les bétons formés de granulats et de résine. C'est-à-dire qu'à la place du ciment, on utilise une résine.

Pour concevoir un tel béton, il est utile de s'assurer que les granulats sont parfaitement secs pour ne pas altérer le matériau ainsi obtenu [N].

Chapitre 4: Fibres de bambou

1. Généralités sur les fibres naturelles :

Suivant leur origine, les fibres sont classées en fibres naturelles et en fibres synthétiques. Les fibres naturelles sont classées en 3 groupes : les fibres végétales, les fibres animales et les fibres minérales [21].

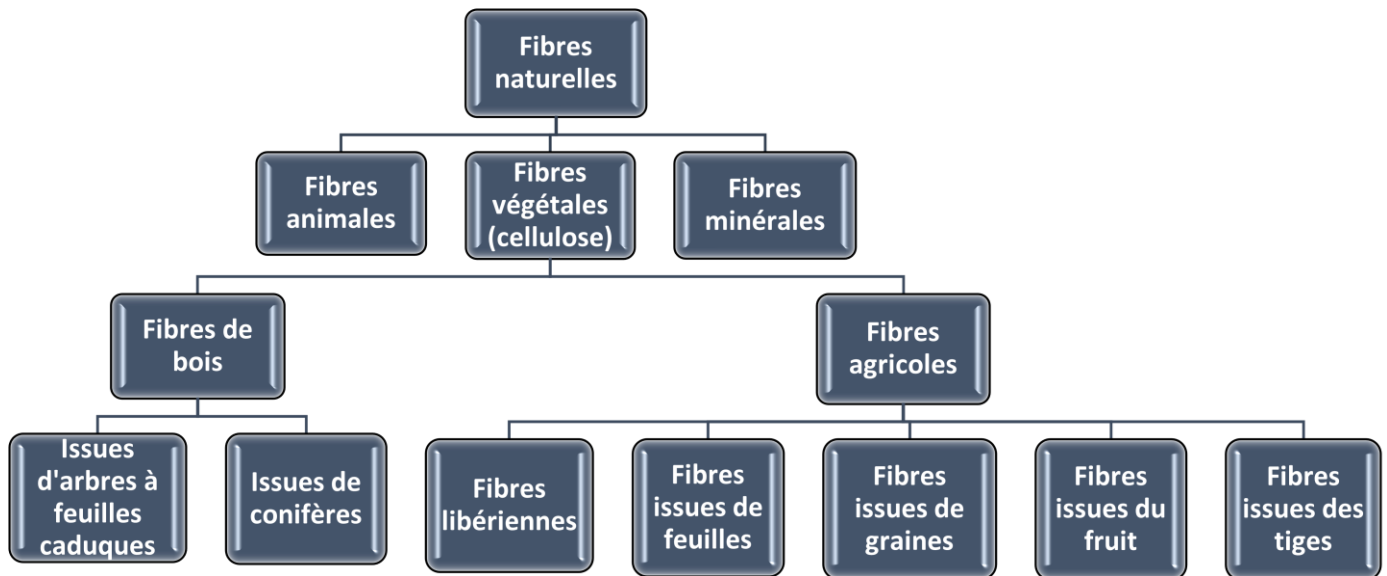


Diagramme 4. Classification des fibres naturelles selon DIN 60 001, 1990 [21]

En voyant ce classement, on pourrait classer les fibres de bambou comme étant extraites des tiges.

2. Morphologie et Compositions chimiques des fibres de bambou :

2.1. Morphologie des fibres de bambou :

Comme il a été déjà cité plus haut, les fibres possèdent une structure polylamellée. Cette structure consiste en une alternance d'une épaisse et d'une mince couche de microfibrilles orientées [H].

Les cellules d'un brin de fibre se composent de 3 à 4 couches épaisses et entre chaque couche se trouve une couche mince. La paroi cellulaire de la gaine se compose seulement d'une ou 2 couches fines. Une fibre de la gaine présente un taux de lignification plus élevé qu'un brin de fibre et les couches minces plus que les

couches épaisses. L'angle des microfibrilles varie de 3 à 10°. Comme les couches épaisses ne possèdent pas la même épaisseur, donc elles sont identifiées non pas par l'épaisseur, mais par l'angle des microfibrilles.

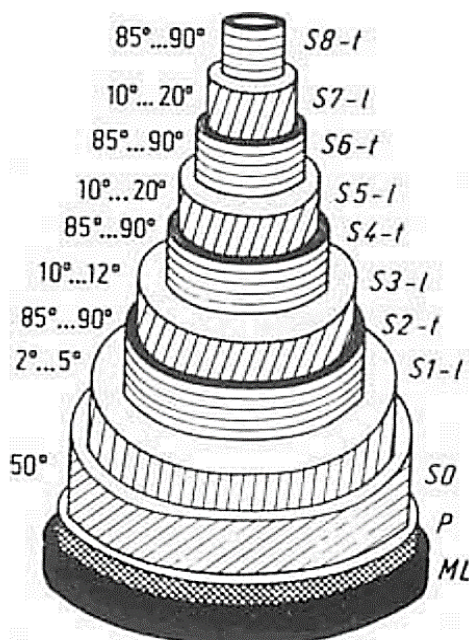


Figure 7. Structure polylamellée d'une fibre de bambou [H]

2.2. Composition chimique des fibres : [12] [28] [29]

La plupart des plantes à fibres sont formées par des composants majoritaires et des composants minoritaires. Dans le premier, on retrouve la cellulose, l'hémicellulose et la lignine cires ; dans le second, la protéine, l'amidon, les extractibles par solvants organiques et d'autres éléments inorganiques [23]. La teneur de ces différents éléments dépend du type de fibres. D'une manière générale, la fibre contient 60-80 % de cellulose, 5-20 % de lignine et une humidité supérieure à 20 % [24].

2.2.1. La cellulose :

La cellulose est le composant principal de toutes les plantes à fibres. La cellulose est un carbohydrate, formant l'élément principal de toute plante. Elle forme un polymère qui est construit à partir des monomères de $C_6H_{10}O_5$ ayant un poids moléculaire de l'ordre de 162 et $0,5 \cdot 10^{-9}m$ de long. Ces monomères sont des D-glucose reliés par des liaisons β -(1→4) [23]. Suivant la plante, le degré de polymérisation est très différent moyennant la valeur de 10 000 pour le bambou et le

bois. Le polymère possède un poids moléculaire de $1,6 \cdot 10^6$, une longueur de $5 \cdot 10^{-6}$ m et $0,8 \cdot 10^{-9}$ m de largeur.

Plusieurs formes de cellulose ont été découvertes par des études RMN, infrarouge et diffraction au rayon X. On recense les formes I $_{\alpha}$, I $_{\beta}$, II, III $_I$, III $_{II}$, IV $_I$, IV $_{II}$. Fréquemment, on rencontre surtout la cellulose I et la cellulose II [25].

On recense deux formes courantes de cellulose :

- ✿ La cellulose I : forme naturelle de la cellulose, la plus courante ;
- ✿ La cellulose II : forme obtenue par mercerisation ou régénération à partir d'une solution [26].

Son degré de polymérisation peut engendrer des molécules de quelques centaines à plusieurs milliers de monomères, en moyenne, il est de 8000 [27].

La cellulose conditionne les différentes propriétés du bambou et du bois notamment les propriétés mécaniques. Les 40 chaînes de cellulose sont groupées pour former une fibrille élémentaire de $3,5 \cdot 10^{-9}$ m de diamètre. Les faisceaux de fibrilles élémentaires vont composer les microfibrilles avec un diamètre de 10 à $30 \cdot 10^{-9}$ m ; et les microfibrilles à leur tour les microfibrilles constituant la lamelle des différentes couches de la paroi cellulaire.

La cellulose résiste aux bases fortes et est facilement hydrolysée par les acides.

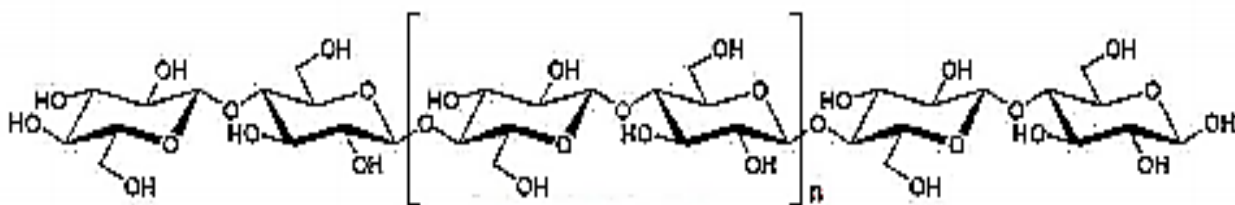


Figure 8. Structure moléculaire de la cellulose [27]

2.2.2. La lignine :

La lignine est constituée de polymères phénoliques tridimensionnels, amorphes possédant trois unités différentes de type phénylpropane, qui sont des monolignils : l'alcool p-coumarylique, l'alcool coniférylique et l'alcool sinapylique. C'est la matière incrustante de la cellulose. La structure de la lignine est peu connue du fait de la complexité de sa structure chimique. C'est également un polymère tridimensionnel, amorphe avec un poids moléculaire élevé.

Elle assure la rigidité de la plante sans quoi cette dernière n'atteindrait pas une hauteur conséquente et aussi sa protection contre l'attaque des organismes pathogènes [O].

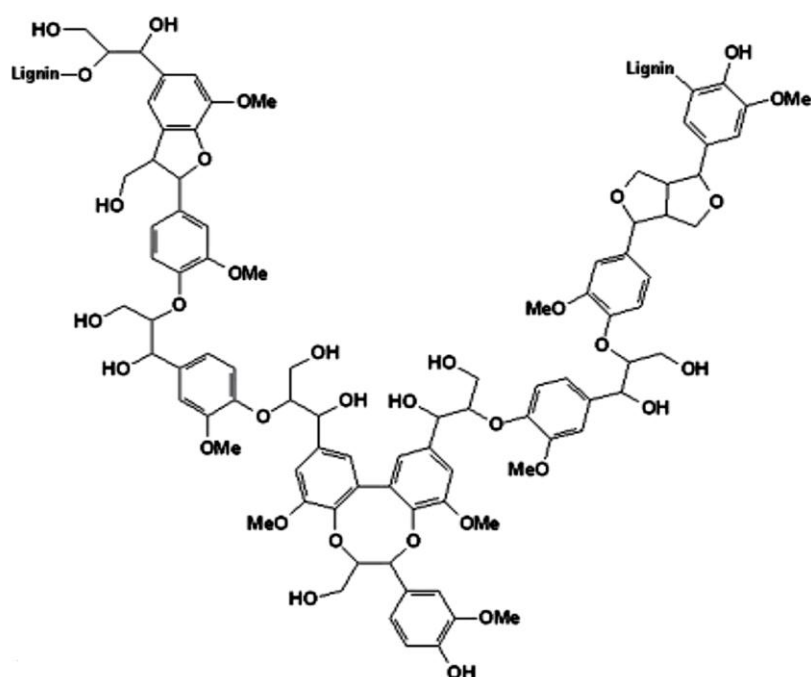


Figure 9. Structure de la lignine [28]

Une des particularités de la lignine réside dans sa structure amorphe et hydrophobe. Elle n'est pas hydrolysée par les acides, mais soluble à chaud dans la soude.

2.2.3. Hémicellulose :

L'hémicellulose est un polysaccharide composé de 150 à 200 molécules de sucre. Dans le cas du bambou, 90 % de l'hémicellulose est composée de xylanes, polymères linéaires, formés d'acide 4-O-méthyl-D-glucuronique, L-arabinose, et D-xylose suivant la proportion 1,0 : 1,3 : 25 [H].

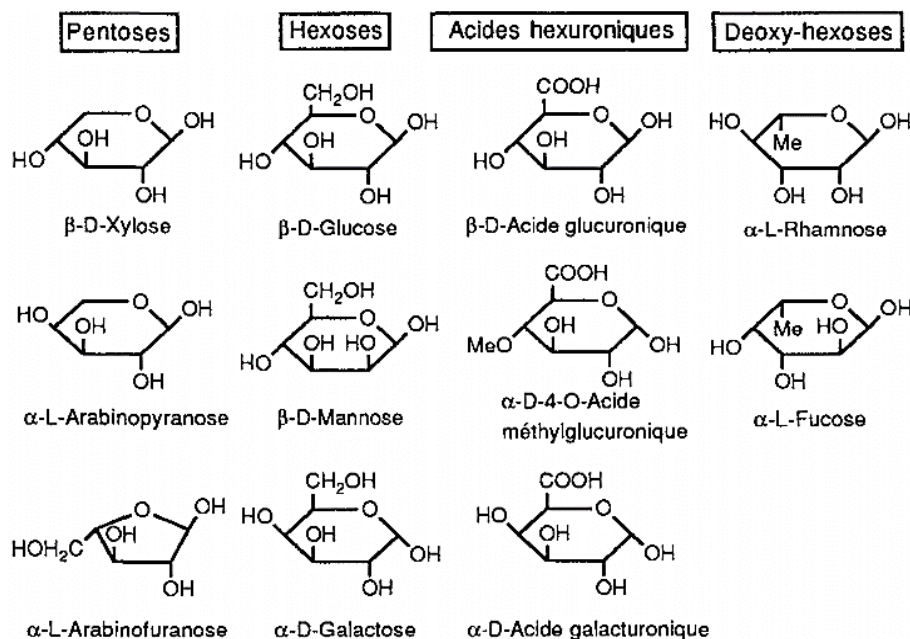


Figure 10. Formules des unités monomériques de l'hémicellulose [29]

Les hémicelluloses, hydrophiles, sont liées intimement avec les microfibrilles, emprisonnant alors les celluloses dans une matrice. Les hémicelluloses comprennent un grand nombre de fonctions hydroxyles. En plus d'être hydrophile, l'hémicellulose est soluble en milieu alcalin et est facilement hydrolysée par les acides.

3. Extraction des fibres de bambou :

Une étape est nécessaire au préalable avant toute transformation des fibres. Il s'agit de la préparation du chaume de bambou. Ensuite, il y a deux choix possibles : le tissage ou bien le défibrage proprement dit. Un aperçu de ces différentes étapes est présenté dans ce qui suit d'autant que nous les aborderons plus en détail dans la partie expérimentale.

3.1. Préparation du chaume :

Elle touche toutes les étapes précédant l'extraction. Elle commence par le choix de l'espèce du bambou à utiliser. Et dans la plupart des cas, c'est la base et le milieu du bambou qui sont les plus utilisés [13].

Elle sera longuement détaillée dans la partie expérimentale.

3.2. Extraction de fibre de bambou : [28]

Divers ouvrages montrent l'extraction des fibres de bambou. Et d'une manière générale, on peut classer l'extraction des fibres en 4 groupes :

- ❖ L'extraction par voie manuelle ;
- ❖ L'extraction par voie mécanique ;
- ❖ L'extraction par voie chimique ;
- ❖ L'extraction par explosion vapeur.

3.2.1. Extraction par voie manuelle :

Après avoir enlevé les zones contenant les nœuds et une très fine couche d'exoderme du bambou, on débite des lamelles de 0,5 à 1,5 mm d'épaisseur et 10 mm de largeur. Une immersion des fibres dans l'eau pendant 3 jours permet de faciliter leurs extractions. Alors, de légères frappes permettent de séparer les fibres. Les amas de fibre ainsi obtenus sont séparés à l'aide d'un couteau aiguisé. Ce processus peut être répété.

3.2.2. Extraction par voie mécanique :

Le défibrage se fait surtout par des machines spécifiques en exploitant la structure des fibres qui est en lamelle. Deux techniques sont particulièrement utilisées :

- ✿ Le pressage : les lamelles de bambou obtenues précédemment sont pressées pendant un temps déterminé ;
- ✿ Le laminage : les lamelles sont laminées plusieurs fois entre deux rouleaux écartés d'une certaine distance pour une vitesse de rotation bien spécifique.

Des progrès ont donné d'autres machines pour l'extraction de fibres de bambou notamment les machines centrifuges [P].

3.2.3. Extraction par voie chimique :

Plusieurs travaux ont été déjà réalisés pour le défibrage du bambou en utilisant des produits chimiques. Cependant, ils sont moins précis et ont besoin d'être vérifiés par des expériences. Un produit est presque commun à tous ces travaux, il s'agit de l'hydroxyde de sodium.

Récemment, un journal a publié qu'un traitement à l'hydroxyde de sodium NaOH à 1 %, 2 %, 3 % pouvait extraire les fibres de bambou [30].

D'autres produits chimiques sont aussi utilisés comme le HNO₃ et le KClO₃ couplés avec d'autres appareils plus sophistiqués (régénérateur de cellulose). Le processus est plus complexe que celui énoncé ci-dessus [31].

3.2.4. Extraction par explosion vapeur :

Pour cette extraction, on exploite surtout la vapeur surchauffée et la pression du milieu expérimental. En effet, des cycles répétés de détente de la vapeur de 0,7-0,8 MPa à la pression atmosphérique vont assurer la séparation entre les composants de la paroi cellulaire [24].

3.3. Traitement des fibres de bambou : [21] [28]

Les fibres de bambou qui sont des fibres cellulosiques fortement polaires et hydrophiles sont incompatibles avec les matrices polymères non polaires et hydrophobes.

C'est pourquoi, l'adhésion entre la matrice et le renfort doit être améliorée, les fibres sont traitées de diverses manières.

3.3.1. Alcalisation :

L'alcalisation consiste principalement en un traitement à la soude de formule chimique NaOH. On l'appelle encore le mercerisage. Elle est régie par la norme ASTM D1965 qui la définit comme un procédé utilisant une solution aqueuse de base concentrée appliqué sur une fibre végétale pour provoquer un gonflement important touchant la structure, les dimensions, la morphologie et les propriétés

mécaniques. La lignine et l'hémicellulose conduisent à une résistance en traction plus faible. Le traitement à la soude contribue à une diminution des liaisons hydrogène entre la cellulose, l'hémicellulose et la lignine.

Ce traitement alcalin consiste à immerger les fibres dans une solution de soude plus ou moins concentrée à température ambiante ou à reflux pendant plusieurs dizaines de minutes [26].

À part la soude $NaOH$, on utilise aussi le KOH et le $LiOH$. La concentration agit beaucoup sur le degré de gonflement des fibres.

Quand les fibres de bambou sont traitées avec une solution de soude à une concentration inférieure à 5 %, la densité de la fibre de bambou augmente à cause de l'élimination d'une grande partie de l'hémicellulose et de la lignine. Une concentration supérieure à 5 % va au contraire diminuer la densité parce qu'il va se former des microvides à la place des matières sensibles aux alcalins. L'alcalisation augmente également la rugosité de surface des fibres.

3.3.2. Couplage à l'aide des organo-silanes :

Ce sont des composés hydrophiles possédant divers groupements associés au silicium. Ces composés chimiques sont surtout utilisés pour les matériaux composites renforcés de fibres de verre. Mais le couplage peut convenir pour tout renfort.

Ils agissent de manière à ce qu'une extrémité aille interagir avec la matrice et l'autre avec la fibre hydrophile.

3.3.3. Acétylation des fibres naturelles :

L'hydrophilie des fibres naturelles est essentiellement due à la cohésion des molécules d'hydrogène aux groupements hydroxyles des parois cellulaires. Comme précédemment l'introduction d'un composé réagissant avec les groupements hydroxyles des parois cellulaires de la cellulose, de l'hémicellulose et de la lignine peut constituer une solution, d'où l'acétylation.

L'acétylation consiste à introduire un groupement hydroxyle dans des combinaisons contenant les groupements OH —, SN —, ou NH_2 . Les groupements

hydroxyles des fibres de bambou peuvent être remplacés par des groupements acétyles en réduisant ainsi leurs hydrophilies.

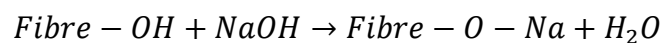
3.4. Alkali-cellulose :

D'une manière générale, on dénomme ainsi la transformation de la cellulose après un bain de solution de soude. Effectivement, la cellulose native ayant un réseau cristallin monoclinique de cellulose-I peut être transformée par des espèces chimiques de type alcalin en cellulose II. Dans le cas où l'on utilise l'hydroxyde de sodium, on aboutit au Na-cellulose I du fait de la transformation des groupes – OH en – ONa. On obtient alors la cellulose II après lavage à l'eau [28].

La cellulose II étant obtenue après transformation irréversible de la cellulose I est plus stable que cette dernière [26].

On peut appeler cette transformation de la cellulose I en cellulose II, la « mercerisation ».

Nous obtenons l'alcali-cellulose à partir de la réaction suivante :



Chapitre 5: Approche pour la construction de bâtiment

1. Toiture :

Pour aboutir à une construction paracyclonique, il est utile de considérer à la fois la couverture et la charpente.

Dans cet ouvrage, nous allons aborder de manière plus détaillée la couverture et succinctement la charpente. Nous ne parlerons pas dans ce travail de l'isolation thermique de la toiture.

1.1. Terminologie des toitures :

- ❖ **Chevron** : longue pièce verticale appliquée sur les pannes de la charpente et servant d'assise aux éléments d'appui de couverture ;
- ❖ **Emboitement** : dispositif permettant de minimiser les fixations et d'améliorer l'étanchéité surtout à l'eau
- ❖ **Liteau ou latte** : Généralement en bois, ce sont des baguettes de bois de diverses sections sur lesquelles repose directement la tuile. Elles sont fixées sur le chevron ;
- ❖ **Panne** : Pièce de bois appliquée à la perpendiculaire des arbalétriers et portant les chevrons
- ❖ **Pureau** : Partie de tuile qui reste visible après la pose ;
- ❖ **Tenon** : petit ergot assurant le maintien de la tuile sur les liteaux ;

1.2. Toiture existante :

Actuellement, la toiture utilisée à Madagascar se regroupe en deux groupes :

- ❖ La couverture artisanale ;
- ❖ La couverture moderne.

Des exemples non exhaustifs respectifs à chacun de ces matériaux de couverture sont récapitulés dans le tableau suivant.

Tableau 8. Principaux matériaux de couverture utilisés à Madagascar

Couverture		Exemples
Artisanale		Ravenala (<i>Ravenala madagascariensis</i>), paille, tuile en argile cuite
Moderne	Feuille	Tôle galvanisée, tôle plastique
	Tuile	Argile cuite, béton, fibrociment

1.3. Couverture en tuile :

1.3.1. Aperçu général sur la tuile :

La tuile en argile cuite est le principal matériau de couverture de la région du Haut Plateau. Elle ne nécessite aucune fixation particulière, mais généralement un simple fil à recuit suffit.

Sinon les autres tuiles comme le béton et le fibrociment n'utilisent pas de fixation, mais la toiture utilise uniquement l'emboîtement des différents éléments et sa masse propre ou sa masse au m².

1.3.2. Les différentes sortes de tuile :

Généralement, on observe une large gamme de tuile :

- ✿ La tuile plate ;
- ✿ La tuile écaille ;
- ✿ La tuile canal ;
- ✿ La tuile à emboîtement ou tuile mécanique ;
- ✿ La tuile à glissement ;
- ✿ La tuile à douille ;
- ✿ La tuile chatière ;
- ✿ La tuile de ventilation.

1.3.3. Différents éléments de la tuile :

La tuile est constituée de simples éléments. On peut distinguer :

- ✿ Des cannelures et nervures ;
- ✿ Des trous de fixation ;
- ✿ Des tenons.

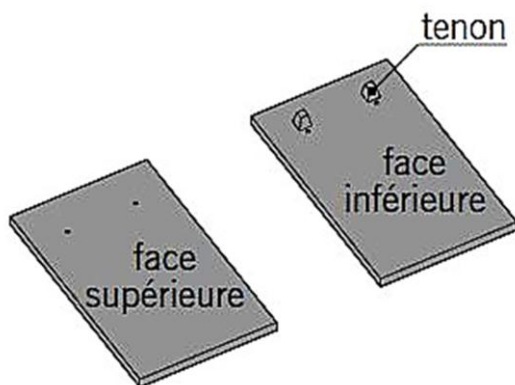


Figure 11. Tuile plate munie de trous de fixation

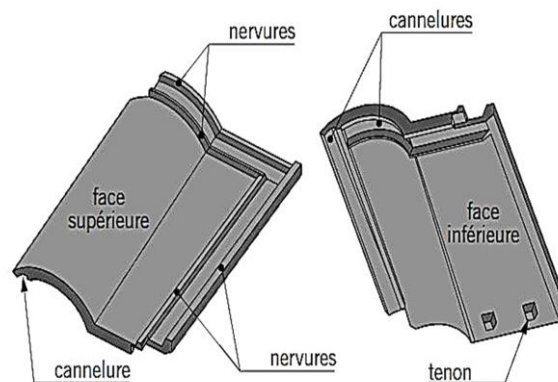


Figure 12. Tuile à emboîtement mécanique
exempte de trous de fixation

1.3.4. Fixation des tuiles :

Se reposant directement sur les liteaux, les tuiles peuvent y être fixées à l'aide de mortier, de colle et adhésifs, de clous et agrafes.

1.3.5. Dimensions de tuiles plates conventionnelles :

Les tuiles plates conviennent surtout pour les zones à risque, zones où il y a forte fluctuation du vent. Selon la dimension de la tuile, il y a deux sortes de tuiles plates :

- ✿ La tuile plate petit moule ;
- ✿ La tuile plate grand moule.

Tableau 9. Dimensions de tuile plate

Tuile plate	Dimensions [mm]
Petit moule	170 x 280
Grand moule	280 x 370

On optera pour la conception de tuile à emboîtement basée sur une tuile plate.

1.3.6. Pente et la forme de toiture : [Q]

La pente d'une toiture est un paramètre très important, car elle conditionne l'écoulement des eaux et l'effet du vent. En effet, une couverture à faible pente subit une dépression considérable.

La pente à adopter dépend de la nature du matériau de couverture et de la fixation. En effet, une fois fixée, on peut prendre comme valeur de la pente, pour la couverture, des pentes supérieures à 45°.

Tableau 10. Comparaison pour l'utilisation de différentes pentes [Q]

Faible pente	Forte pente
<ul style="list-style-type: none"> • Coût réduit ; • Mauvaise étanchéité ; • Succion élevée. 	<ul style="list-style-type: none"> • Meilleure étanchéité ; • Succion plus faible ; • Plus onéreux.

La forme de la toiture assure aussi un rôle essentiel pour la construction d'une toiture. On en distingue 7 types :

- ✿ Toiture à deux versants ou toiture en bâtière ;
- ✿ Toiture à versant unique ou toiture monopan ;
- ✿ Toiture à quatre versants ou toiture en croupe ;
- ✿ Toiture en pyramide ;
- ✿ Toiture en shed ;
- ✿ Toiture à versants coupés ;
- ✿ Appentis.

Pour les zones exposées, les 4 pans constituent un choix adéquat par rapport à la toiture de deux pentes.

N.B :

Il serait complètement erroné de penser que la résistance d'un bâtiment aux intempéries dépend seulement de la qualité du matériau de couverture ou même de la toiture ou de la charpente ou de la fondation ou l'orientation de la toiture face au vent dominant ou encore du site pour la construction ; mais, c'est l'ensemble de ces éléments qui assure sa rigidité.

1.3.7. Charpente : [R]

Pour les bâtiments de faible hauteur à un ou deux niveaux, il convient d'adopter comme charpente le type panne.

Le dimensionnement de la charpente doit se faire par ASCE 7. Mais d'une manière générale, les dimensions ne doivent pas excéder 3 m pour la portée, 0,6 m pour l'espacement entre les pannes. Il est aussi préférable de lier deux pannes sur un appui.

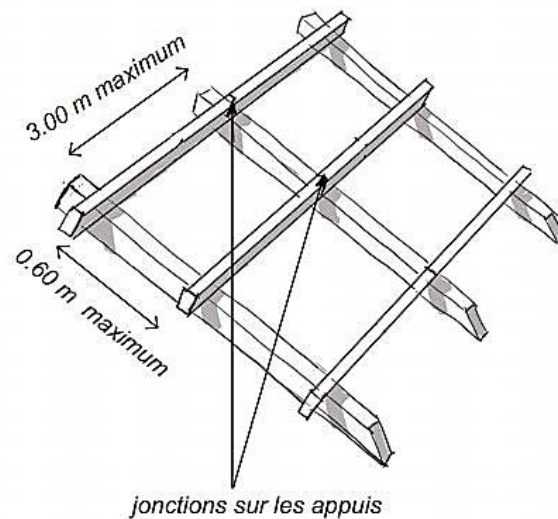


Figure 13. Dimensionnement correct des différents éléments de la charpente [R]

1.4. Problèmes rencontrés dans la toiture malgache :

- ❖ Utilisation de clou ordinaire comme éléments de liaison de la charpente et de la toiture ;

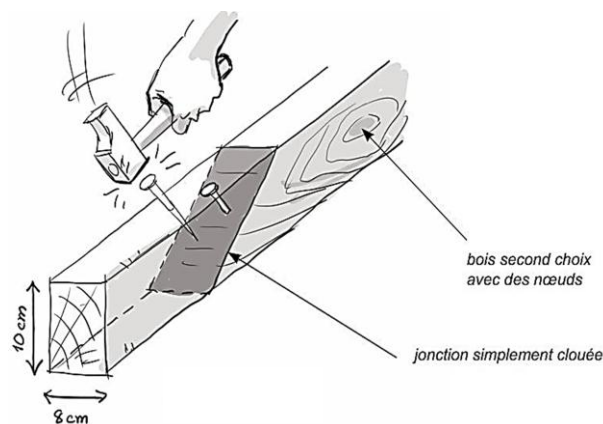


Figure 14. Assemblage incorrect de la charpente

- ❖ Le choix des types de toiture adoptée : deux pans avec les aux vents qui vont favoriser la dépression ;
- ❖ L'orientation de la toiture vis-à-vis des vents dominants ;
- ❖ Manque des nombres des éléments d'assemblage.

2. Les cyclones :

2.1. Généralité sur les cyclones :

Suivant les régions où ils apparaissent, on désigne le cyclone par diverses appellations : ouragan dans l'océan Atlantique, typhon dans l'océan Pacifique et cyclone dans l'Océan Indien.

2.2. Classification des cyclones :

On compte 3 classes et 6 divisions de perturbation tropicale. Concernant les classes, on distingue : la dépression tropicale, la tempête tropicale et le cyclone.

Les 06 divisions sont les suivantes :

- ❖ Dépression tropicale ;
- ❖ Tempête tropicale modérée ;
- ❖ Tempête tropicale forte ;
- ❖ Cyclone tropical ;
- ❖ Cyclone tropical intense ;
- ❖ Cyclone tropical très intense.

2.3. Quelques données cycloniques de Madagascar :

Le tableau suivant illustre les différents cyclones très intenses qui ont touché Madagascar durant ces 27 dernières années.

Tableau 11. Quelques cyclones ayant touché Madagascar

Année	Cyclone	Vitesse des rafales [km/h]	Référence bibliographique
Mars 1986	Honorine	300	[S]
Février 1994	Geralda	250 à 300	[T]
Mars 2004	Gafilo	326	[S]
Février 2008	Ivan	264	[U]
Février 2011	Bingiza	80	[V]
Février 2012	Giovanna	212	[W]

*Partie II: Étude
expérimentale*

Chapitre 6: Extraction de fibre de bambou :

1. Matériels et produits utilisés pour pré-test :

1.1. Matériels :

Voici ci-contre les différents matériels ainsi que leurs fonctions respectives récapitulées sous forme de tableaux :

Tableau 12. Fonctions des matériels et outils pour pré-test ;

Catégories	Matériels/outils	Fonction
Outils	Scie électrique	Découpe du chaume
	Balance de précision $\pm 0,1$ g	Pesage de la masse de soude à utiliser et des renforts
	Balance de précision ± 1 g	
	Hache	Abattage de la tige de bambou
	Machette	Conditionnement pour le transport et préparation des lamelles pour l'immersion ; Découpe du bambou en bâtonnets
	Cuvette	Immersion des bâtonnets
	Seau	
	Marteau	Broyage des bâtonnets
Montre	Mesure de la durée des différentes opérations	
E.P.I.	Masque	Protection contre l'inhalation de gaz et poussière
	Gant jetable en latex	Protection des mains durant la manipulation de la soude
	Paire de lunettes	Protection contre la poussière et projection éventuelle de produits chimiques

1.2. Produits utilisés pour l'extraction des fibres de bambou ;

Les études effectuées ont montré que la soude ou l'hydroxyde de sodium peut extraire les fibres. Les premiers essais concernant l'extraction des fibres ont été faits à Toamasina. Dans la région, la recherche de la soude a été la principale difficulté. C'est pourquoi on s'est tourné vers des produits contenant essentiellement de la soude ou de l'hydroxyde de sodium. L'inconvénient de l'utilisation de ces produits est que l'on ne possède aucune information concernant la quantité de soude qu'ils contiennent. Plus tard, les autres essais étant réalisés à Antananarivo, on a pu utiliser d'autre produit comme la soude caustique pure.

On cite alors les trois types de produit suivants :

- ❖ Prop'or déboucheur (solide) ;
- ❖ Vicli déboucheur (liquide) ;
- ❖ Soude caustique en perlée à 99 %.

Les deux premiers produits se retrouvent couramment dans les grandes surfaces et les quincailleries ; tandis que la soude en perlée dans les distributeurs de produits chimiques.



Photo 1. Produits débouchants

Source : Auteur

2. Matière bambou utilisée :

2.1. Choix de l'espèce :

L'espèce est choisie plus particulièrement du fait du diamètre du chaume présentant alors un taux de fibres élevé. Pour ce faire, on a choisi le *Dendrocalamus giganteus* ou encore connu sous le nom vernaculaire de « volo be mavo » dont le diamètre intérieur peut atteindre 10cm pour une paroi d'épaisseur 1,5 cm. Cette espèce fait partie des bambous géants parce que sa longueur peut atteindre 15 m. On a choisi des chaumes matures dont l'âge est estimé à 3ans. Comme on l'a déjà vu précédemment, la hauteur que nous avons utilisée est de l'ordre de 8 m à partir de la base qui correspond à la base et au milieu du bambou.



Photo 2. Touffe de Dendrocalamus giganteus

Source : Auteur

2.2. Détermination de l'état de maturité du bambou :

La détermination de la maturité du bambou se distingue par 3 caractéristiques :

- ❖ La position du chaume par rapport à la touffe ;
- ❖ Le son ;
- ❖ La structure interne du chaume ;
- ❖ Les gaines.

2.2.1. La position du chaume par rapport à la touffe :

Étant donné que l'espèce est du genre cespiteux, les tiges se trouvant à la périphérie sont alors plus jeunes que celles se trouvant à l'intérieur de la touffe.

2.2.2. Le son :

En tapant le chaume du bambou avec une machette, on entend différents bruits. On utilise alors l'effet de percussion. Classifier le bambou par cette méthode requiert de l'expérience. En effet, divers classements peuvent être établis, mais on peut définir deux états extrêmes.

Le premier sonne comme un corps creux ce qui indique que le bambou n'est pas encore mature. On peut l'estimer à un an d'âge.

La deuxième donne un bruit assez aigu traduisant un état de maturité supérieur à la précédente.

Plus le son obtenu est aigu, plus le bambou est mur.

2.2.3. La structure interne du chaume :

Pour distinguer la chair afin d'en déterminer la structure, on enlève l'épiderme avec une machette ou une hache. Un bambou âgé est caractérisé par des fibres bien évidentes de couleur rouge ; tandis qu'un bambou peu âgé présente une couleur claire, blanche dont les fibres sont jaunes.



Photo 3. Structure de la chair de bambou

Source : Auteur

2.2.4. Gaine :

Extérieurement, un bambou mature ne présente plus de gaines à l'extérieure, c'est-à-dire sur l'entre-nœud. Il reste seulement la trace de gaine.



Photo 4. Chaume non mature

Source : Auteur



Photo 5. Chaume mature

Source : Auteur

2.3. Récolte du bambou :

2.3.1. Coupe :

La coupe du bambou exige quelques techniques et aussi quelques matériels. La coupe est réalisée à une certaine distance du sol environ 3 à 4 chaumes.

Pour couper le bambou, on a employé une hache.

Avec une hache, on coupe une tige de bambou. La coupe de la tige de bambou doit se faire suivant une direction particulière dans le sens du fléchissement.

Elle ne doit pas se faire perpendiculairement aux fibres, mais doit être inclinée d'un certain angle pour plus d'efficacité et pour éviter aux fibres de se fendre. On entaille le bambou sur la partie concave, le reste de la coupe se fait dans la direction opposée. L'entaille est réalisée à cet emplacement pour éviter qu'il ne se fende.



Photo 6. Coupe antérieure d'une tige de bambou

Source : Auteur



Photo 7. Technique pour la coupe de bambou

Source : Auteur

2.3.2. Préparation du chaume de bambou pour le transport :

- ✿ On enlève les ramuscules comme suivant la direction de la croissance ;
- ✿ On enlève également la partie haute où le diamètre du chaume est assez petit traduisant une densité de fibre peu élevé ;
- ✿ On coupe la tige transversalement pour avoir une longueur d'environ 1,50 m ;
- ✿ On fend le bambou maintenant dans le sens de la longueur pour faciliter le transport, car on peut ainsi le mettre en fagot.



Photo 8. Ramuscule de bambou

Source : Auteur



Photo 9. Coupe de la partie non utilisée

Source : Auteur



Photo 10. Bambou coupé dans le sens longitudinal

Source : Auteur



Photo 11. Bambou en fagot

Source : Auteur

2.3.3. Transport :

On a transporté le bambou de Fanandrana à Toamasina.

3. Différents processus pour l'extraction de fibres :

Pour extraire les fibres, les processus suivants ont été suivis :

- ✧ Préparation de l'entre-nœud et immersion des lamelles ou bâtonnets dans la solution de soude ;
- ✧ Prélèvement des bâtonnets immergés ;
- ✧ Rinçage ;
- ✧ Broyage ;
- ✧ Extraction manuelle des fibres ;
- ✧ Rinçage abondant des fibres ;
- ✧ Séchage.

3.1. Préparation l'entre-nœud et immersion des lamelles dans la solution de soude :

3.1.1. Préparation de l'entre-nœud :

✂ On enlève le nœud avec une scie électrique :



Photo 12. Nœuds avec leurs diaphragmes

Source : Auteur

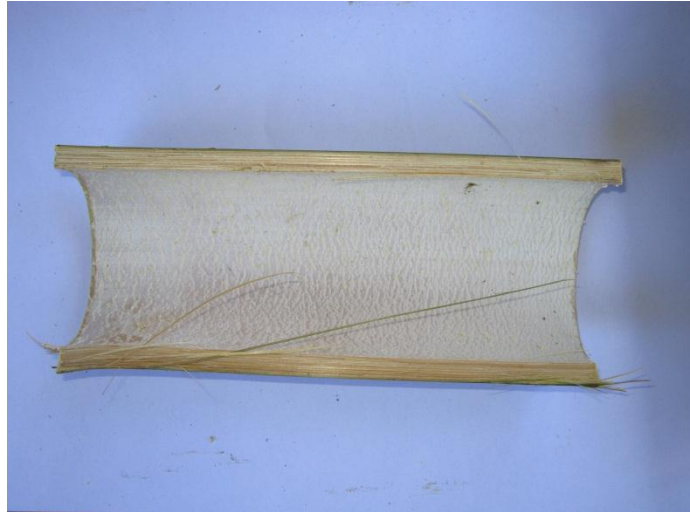


Photo 13. Chaume à nœuds enlevés

Source : Auteur

- ✿ Enlever l'épiderme du bambou, puis couper pour obtenir des lamelles ou plutôt bâtonnets de dimensions choisies aléatoirement, qu'on expliquera plus bas, les deux opérations peuvent être interverties ;



Photo 14. Chaume à épiderme enlevé

Source : Auteur



Photo 15. Bambou sous forme de bâtonnets

Source : Auteur



Photo 16. Refus constitués d'écorce externe et interne

Source : Auteur

3.1.2. Immersion des lamelles :

Après avoir préparé la solution de soude d'une concentration spécifique, les bâtonnets y sont ensuite immergés durant un temps bien déterminé. Ceci dans le but d'éliminer une certaine quantité de la lignine et de l'hémicellulose.

3.2. Prélèvement des bâtonnets :

Les alcalis-celluloses, produits de l'immersion des fibres, sont ainsi prélevés de la solution. On peut encore verser la solution de soude et récupérer les

bâtonnets ensuite. Durant toute la manipulation, on veillera à porter une paire de gants parce que la soude est corrosive sur les mains mêmes à faible concentration.

3.3. Rinçage :

Cette opération est effectuée pour éliminer partiellement les excès de soude et pour minimiser l'impact de l'hydroxyde de sodium sur les matériels métalliques et sur l'opérateur surtout.

3.4. Broyage des bâtonnets :

Le broyage par un marteau permet d'une part d'éliminer la soude résiduelle n'ayant pas réagi et d'autre part de séparer les différents composants. Effectivement, une fois pressés, la cellulose se présente sous forme de brins orangés et les autres éléments en jaune. Et cela facilite beaucoup l'extraction.

3.5. Extraction manuelle des fibres :

En combinant l'effet de la soude et en exploitant la structure fibrillaire du bambou, on arrive facilement à en extraire les fibres.

3.6. Rinçage des fibres :

Un second rinçage est nécessaire pour optimiser l'incorporation des fibres dans une matrice polymère. Les fibres fraîchement extraites sont encore très basiques parce qu'à leur immersion dans l'eau, on palpe encore un certain aspect indiquant la présence de soude. Et l'élimination de la soude ou du moins la réduction de sa teneur s'avère être primordiale.



Photo 17. Rinçage des fibres

Source : Auteur

3.7. Séchage des fibres :

L'eau au même titre que la soude peut altérer la cohésion entre fibres et matrice. C'est pourquoi un séchage soigné doit suivre le rinçage des fibres. Le séchage s'est fait à l'air libre. Généralement, 36 heures suffisent pour sécher complètement les fibres.



Photo 18. Fibres en séchage

Source : Auteur

Ces étapes énoncées plus haut sont communes à toutes les expériences réalisées.

4. Étude de l'extraction des fibres avec des produits courants :

4.1. Le but :

On cherchera effectivement à déterminer les possibilités concernant l'utilisation de produits courants pour l'extraction de fibre de bambou. On utilise pour cela des processus simples.

4.2. Les processus utilisés :

4.2.1. Préparation du chaume :

On a utilisé pour se faire des bambous fraîchement coupés c'est-à-dire après 2 jours de récolte. Les différentes étapes énoncées plus haut sont suivies jusqu'à l'obtention des bâtonnets en ne prenant garde aux dimensions.



Photo 19. Bambou sous forme de bâtonnets

Source : Auteur

4.2.2. Préparation de solution et immersion des fibres :

Le tableau récapitule les diverses solutions utilisées dans lesquelles sont immergées les lamelles de bambou.

Des mesures ont montré qu'une cuillère à soupe des produits débouchant équivalait environ à 15g.

Tableau 13. Caractéristiques des solutions avec les produits courants

Caractéristique	Masse de soude [g]	Dénomination
Eau du JIRAMA	-	Solution 1
25mL de la solution de Vicli dissout dans 3 L d'eau	-	Solution 2
4c.s de prop'or dissout dans 3 L d'eau	60 g	Solution 3
9c.s de prop'or dissout dans 3 L d'eau	135 g	Solution 4

Source : Auteur

Les lamelles sont mises dans les diverses solutions. On nomme ainsi les échantillons :

- ✿ Échantillon 1 : Lamelles de bambou immergées dans solution 1 ;

- ✿ Échantillon 2 : Lamelles de bambou immergées dans solution 2 ;
- ✿ Échantillon 3 : Lamelles de bambou immergées dans solution 3 ;
- ✿ Échantillon 4 : Lamelles de bambou immergées dans solution 4.

4.3. Résultats obtenus :

On notera dans le tableau suivant les résultats de l'expérience.

Tableau 14. Résultats obtenus en fonction de la durée d'immersion

Durée d'immersion	Échantillon	Couleur des bâtonnets	Observation
15 h 30	N° 1	Inchangé	Broyage difficile, séparation à la main des fibres impossible
	N° 2	Jaune	Broyage assez facile, extraction des fibres possible
	N° 3	Rouge	Broyage facile, séparation à la main des fibres faciles
	N° 4	Rouge	Broyage facile, teillage très facile
24 h			Aucun changement notable

Source : Auteur

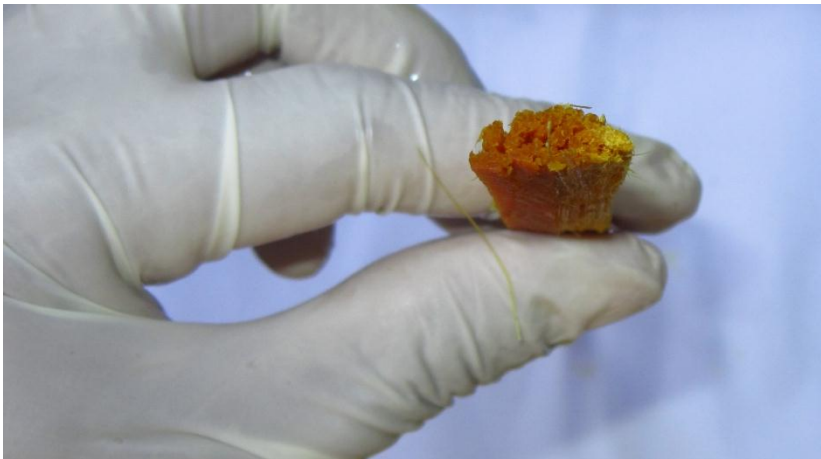


Photo 20. Échantillon N° 4 après 15 h 30 d'immersion

Source : Auteur

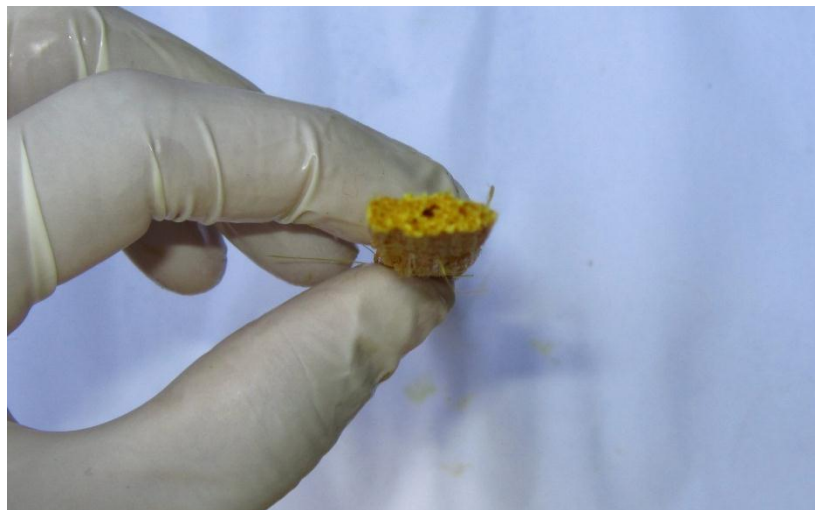


Photo 21. Échantillon N° 3 après 15 h 30 d'immersion

Source : Auteur

4.4. Interprétation :

A priori, le prop'or déboucheur présente une efficience plus marquée comparée aux autres solutions.

Immergées dans la soude, la lignine et l'hémicellulose vont réagir avec cette dernière. La liaison entre les trois composants de la fibre à savoir la cellulose, la lignine et l'hémicellulose va alors se fragiliser.

Le prop'or déboucheur présente un taux en soude plus élevé que Vicli. La concentration en soude influence beaucoup l'extraction de la fibre.

La réaction n'est pas instantanée, c'est pourquoi la solution va virer progressivement de couleur. Sa vitesse dépend de trois paramètres : la concentration, la température et la durée d'immersion.

4.5. Conclusion :

L'expérience a ainsi montré qu'effectivement on peut extraire les fibres de bambou par l'utilisation de la solution de soude ; et que cette extraction peut se faire par voie manuelle.

Comme on n'a utilisé que des bambous relativement encore humides, on peut prévoir que leur eau de constitution vont induire sur la durée d'immersion et même sur l'extraction. C'est pourquoi la réalisation d'autres expériences utilisant cette fois des bambous parfaitement secs s'avère être nécessaire.

Mais, l'emploi de ces produits a comme principal méfait que l'on ne dispose d'aucune information sur sa pureté. Alors on a opté pour l'utilisation d'un autre produit dont on connaît la pureté.

5. Extraction des fibres avec de la soude caustique pure :

Deux expériences ont été réalisées et la durée maximum est fixée à 20 heures en s'intéressant au temps supérieur à 8 heures et les prélèvements ont été effectués toutes les 4 heures. Les buts principaux de ces expériences sont :

- ✧ L'étude pour l'extraction des fibres de la paroi externe et interne ;
- ✧ L'influence de la dimension des lamelles sur l'extraction ;
- ✧ La détermination de la concentration minimale et du temps optimum pour l'extraction des fibres ;

Les perlées de soude ont été pesées à l'aide de la balance de précision $\pm 0,1$ g.

5.1. Expérience 1 :

Les concentrations de soude utilisées sont de 1 %, 3 % et 6 %. L'application de la formule A3 dans l'annexe 4 donne la masse des solutés pour la réalisation de ces solutions. On utilise alors les masses de 2,2 g, 6,6 g et 13,2 g pour l'obtention de solutions respectives de 200mL à 1 %, 3 % et 6 %.

Tableau 15. Dimension des lamelles de bambou pour l'expérience 1

L	L	e
6-8cm	1 cm	Paroi du chaume

Source : Auteur

5.1.1. Résultats :

Le tableau 16 illustre la dimension des différents échantillons.

Tableau 16. Résultats de l'expérience 1

Durée d'immersion	C_m	Pressage des lamelles après immersion	Extraction totale	Imprégnation en totalité des lamelles
8 h	1 %	-	-	X
	3 %	-	-	X
	6 %	-	-	X
12 h	1 %	-	-	X
	3 %	-	+	O
	6 %	+	+	O
16 h	1 %	-	-	X
	3 %	-	+	O
	6 %	+	+	O
20 h	1 %	-	-	X
	3 %	-	+	O
	6 %	+	+	O

Source : Auteur

+ : favorable
- : défavorable

o : oui
x : non

5.1.2. Interprétation :

Le résultat pour 12 h montre l'efficacité de la solution à 3 %. Mais on a constaté que le broyage de la partie externe des lamelles est assez difficile. Ce qui montre que la liaison entre les fibres de la paroi externe est plus conséquente que celles de la paroi interne. Évidemment, si l'imprégnation est totale, le pressage sera alors facile et l'extraction possible.

La différence de structures entre les fibres externes et internes induit des phénomènes non négligeables sur l'imprégnation des fibres. La zone extérieure s'imprègne difficilement rendant alors le broyage difficile et l'impossibilité d'en extraire la totalité des fibres.

5.1.3. Conclusion :

La concentration à laquelle il est possible d'extraire les fibres est de 3 %, mais avec un broyage assez ardue. On va donc fixer cette concentration, séparer le processus de l'extraction de la paroi externe et interne ; et essayer d'uniformiser les dimensions des lamelles pour qu'elles soient les plus petites possible afin d'en faciliter l'imprégnation et par conséquent l'extraction des fibres. Le temps optimal pour l'extraction s'en déduira facilement.

5.2. Expérience 2 :

On prendra seulement comme critère l'imprégnation des différents échantillons. On n'utilisera que la concentration de 3 %.

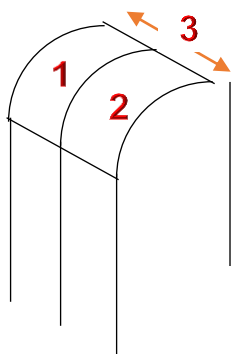


Figure 15. Représentation schématique de la lamelle externe et interne

La zone 1 correspond à la paroi externe, la zone 2 à la paroi interne et la zone 3 formée par l'ensemble des deux zones.

Dans le tableau suivant, toutes les dimensions sont exprimées en cm.

Tableau 17. Préparation des lamelles de bambou pour l'expérience 2

Zone 1			Zone 2			Zone 3		
L	I	E	L	L	e	L	L	e
70	0,8	0,5	70	0,8	0,5	70	0,8	1

Source : Auteur



Photo 22. Échantillons immergés dans des solutions à 3 %

Source : Auteur

5.2.1. Résultats :

Le tableau 18 nous renseigne sur l'expérience 2 à savoir les échantillons et les résultats.

Tableau 18. Résultats de l'immersion en fonction de l'imprégnation

Durée	Imprégnation en totalité des lamelles		
	Zone 1	Zone 2	Zone 3
8 h	X	O	X
12 h	X	O	X
16 h	O	O	X
20 h	O	O	O

Source : Auteur

O : oui

X : non

5.2.2. Interprétation :

Nous obtenons les résultats souhaités pour la zone 1 à 16 h, pour la zone 2 dès 8 h et 20h pour la zone 3. La diminution de l'épaisseur des lamelles améliore grandement leur imprégnation. Comme il a été déjà dit plus haut,

l'imprégnation complète des fibres facilite le broyage, et enfin l'extraction. En effet, le broyage énergique des fibres abimera la qualité de ces dernières.

5.2.3. Conclusion :

Des résultats satisfaisants ont été obtenus à l'issue de l'expérience. On peut prendre comme durée d'immersion des lamelles pour la production en quantité de fibres, 16 h pour la zone 1 et 8 h pour la zone 2 ; avec une concentration de 3 %. L'utilisation de la dimension de la zone 3 présente peu d'intérêt pratique. Mais on peut encore réduire la dimension des lamelles pour diminuer encore la durée de l'immersion.

5.3. Amélioration du processus de l'extraction des fibres :

Après broyage des bâtonnets, on a constaté que l'utilisation d'un peigne à cheveux facilitait grandement la séparation des fibres avec les autres composantes.



Photo 23. Peignage des lamelles broyées

Source : Auteur

REMARQUES GENERALES :

- Toutes les manipulations sont effectuées à température ambiante.

- L'extraction avec les produits courants ont été effectués à Toamasina, c'est-à-dire avec une température variant de 28 °C à 32 °C.
- Les autres expériences ont été faites à Antananarivo avec des températures se situant entre 20 °C à 28 °C.

6. Test de compatibilité :

6.1. Essai 1 :

Cette étude a été faite dans le but de déterminer la compatibilité des fibres de bambou extraites avec la résine qui est dans notre cas le polyester insaturé isophtalique.

6.1.1. Préparation au moulage :

6.1.1.1. Préparation du moule :

On a choisi pour la mise en œuvre le moulage au contact. Le moule est en bois. L'aspect de surface du moule est très lisse. Néanmoins, pour le démoulage, on a recouvert la surface du moule de colle. Identique aux colles de bureau, elle se dissout au contact de l'eau. Une propriété qui sera bien utile pour la séparer de la pièce obtenue par lavage abondant à l'eau.

Elle est appliquée en fine couche à l'aide d'un simple pinceau.

6.1.1.2. Préparation du gel-coat et de la résine :

Avec une seringue de 5mL, on a prélevé 4 mL de catalyseur et qu'on a mélangé 250g de gel-coat.

6.1.2. Moulage :

La figure ci-dessous résume les étapes suivies pour étudier la compatibilité des fibres de bambou avec la résine polyester.

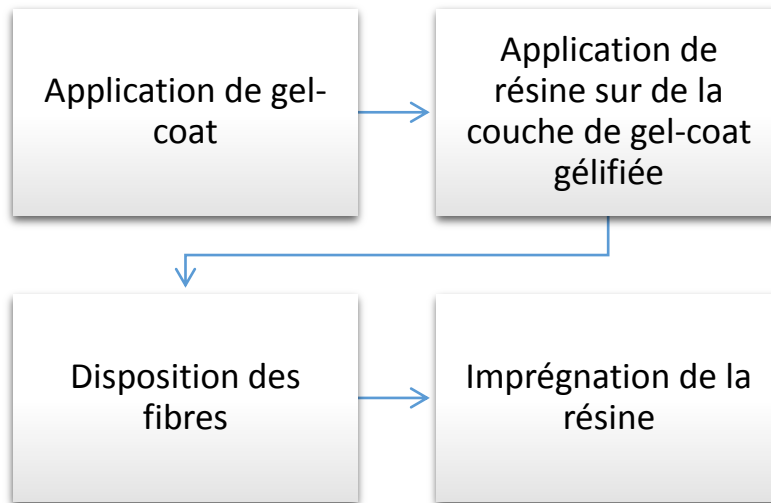


Figure 16. Les différentes étapes pour le moulage

Elle se fait par un pinceau et en couche la plus fine possible. Une technique particulière consiste à appliquer le gel-coat suivant un angle incliné. On veillera à nettoyer le pinceau avec de l'acétone.

Après que le gel-coat se gélifie ou encore poissant c'est-à-dire lorsqu'il ne colle au doigt, mais ne marque plus. On applique au rouleau la résine polyester déjà catalysée.

Les fibres utilisées sont de deux sortes longues et courtes. Aucune orientation particulière n'a été adoptée quant à leurs dispositions.

6.1.3. Démoulage :

Après gélification de l'ensemble, on procède au démoulage. Il se fait manuellement.

6.1.4. Résultats :

On a constaté surtout deux résultats. Le premier est que les fibres de bambou s'imprègnent difficilement de la résine. Le second concerne le taux de renfort qui est relativement élevé. C'est pourquoi on note la présence de fibre non imprégnée.

On a également remarqué lors de l'application de résine au rouleau que les fibres sèches adhèrent au rouleau.



Photo 24. Moulage au contact de fibre de bambou

Source : Auteur

6.1.5. Conclusion :

Les fibres sont compatibles avec la résine polyester.

On peut conclure que pour optimiser l'imprégnation des fibres, il convient de chercher d'autres moyens de mise en œuvre. On peut considérer pour cela deux solutions :

- ✿ Essayer de fabriquer un mat de fibres de bambou ;
- ✿ Adopter un autre type de moulage comme la compression à froid.

6.2. Essai 2 :

On s'intéressera dans cette partie à la fabrication de mat de fibres. Pour y arriver, il convient alors de projeter la résine. La viscosité de cette dernière faisant obstacle, on la diminue par l'acétone.

On a utilisé 2mL de catalyseur pour 125 g de polyester. Dans notre cas, la quantité d'acétone est ajustée en fonction de la viscosité du mélange.

On a projeté la résine à l'aide d'un pulvérisateur manuel.

Le résultat obtenu est satisfaisant comparé à l'essai initial.

Après gélification, on pourra utiliser le mat comme renfort. À l'issu de l'essai, on distingue deux états limites pour le mat. Une quantité insuffisante en résine n'arrive pas à lier les fibres tandis qu'un excès rend le mat peu déformable du fait de sa rigidité. Solution à n'utiliser qu'en dernier recours vu qu'elle utilise presque deux fois la quantité de résine pour une utilisation directe.



Photo 25. Moulage d'un mat de fibre au contact

Source : Auteur

Remarque :

La réaction de polymérisation du polyester est exothermique, c'est-à-dire qu'elle dégage une certaine quantité de chaleur.

La quantité en acétone pour diminuer la viscosité de la résine doit être ajustée au minimum parce que l'acétone détruit une partie de la structure du polyester par la destruction de ces liaisons.

7. Conclusion du chapitre :

À l'issu de ce chapitre, on a constaté qu'effectivement on peut extraire les fibres de bambou par mercerisage. Aussi, pour optimiser l'adhésion des fibres à la résine, le choix d'une autre mode de mise en œuvre s'avère être nécessaire qui est le moulage par presse froid.

Chapitre 7: Conception de l'élément de toiture composite

1. Choix du dimensionnement des lattes :

Deux choix sont proposés concernant les dimensions des lattes que nous récapitulons dans le tableau suivant.

Tableau 19. Caractéristiques des lattes choisies

Types de latte	Dimensions	
	b [mm]	h [mm]
Latte 1	52	20
Latte 2	33	25

On va choisir comme dimensions de référence 33 x 25mm. Dimensions qui seront surtout utiles pour positionner les tenons et les trous d'assemblage.

2. Choix du dimensionnement des tuiles et des vis de fixations :

2.1. Contrainte s'exerçant sur les éléments de couverture :

Pour évaluer les contraintes dues au vent, on a tenté de faire une approche par l'intermédiaire de la mécanique des fluides. On a constaté que la résolution des équations liées à l'écoulement des fluides est complexe, et que les paramètres à l'écoulement sont nombreux (masse volumique, état de surface, type d'écoulement, pente, vitesse...).

C'est pourquoi on a eu recours à une méthode plus pratique notamment l'Eurocode 1 portant sur les actions du vent sur les structures Norme NF EN 1991-1-4. [Z]

2.2. Classe de bâtiment :

On distingue 5 classes de hauteur de bâtiment :

❖ $H \leq 9\text{m}$;

❖ $9 < H \leq 18\text{ m}$;

❖ $18 < H \leq 28\text{ m}$;

- ❖ $28 < H \leq 50m$;
- ❖ $50 < H \leq 100m$.

2.3. Calcul de la pression dynamique du vent sur les éléments de couverture :

Vu que Madagascar ne possède pas encore de vitesse de référence du vent, on considèrera alors la vitesse moyenne du vent. On cherchera la valeur des forces ou encore les contraintes dues au vent dans les conditions extrêmes. Les règles paracycloniques de Madagascar indiquent que la valeur extrême de la vitesse pour la zone 1 correspondant à la région de Diana, Sava, Analanjirofo, Atsinanana, Alaotra Mangoro, Sofia, Boeny est de 350km/h. On prendra cette valeur comme valeur de référence du vent V_b . [X]

De plus, les données sur le vent de Toamasina enregistrées pendant une période de 18ans, en annexe N°5, indiquent que la valeur maximale du vent est de 216km/h.

Le tableau suivant récapitule les différentes valeurs de la vitesse de référence pour différents pays.

Tableau 20. Exemples de vitesse de référence [R]

Pays	$V_{b,0}$ [m/s]
Guadeloupe	36
Guyane	17
Martinique	32
Réunion	34

Source : Anonyme

HYPOTHESE :

On s'intéressera surtout pour les bâtiments de classe $H \leq 9m$. Soit $z = 8m$

On prendra $V_b = 360km/h = 100m/s$ pour faciliter le calcul.

Nous présenterons ci-contre les différents résultats du calcul détaillé dans l'annexe N°6 :

❖ Vitesse moyenne du vent $V_m(z)$:

$$V_m(z) = 119,5m/s \quad (1)$$

❖ Pression dynamique de pointe $q_p(z)$:

$$q_p(z) = 17074N/m^2$$

❖ Pression dynamique sur les surfaces :

$$W = -34\,148N/m^2$$

Pour une surface de $1m^2$, la force du vent est alors :

$$F_{vent} = -34\,148N$$

REMARQUE :

Le signe – dans \widehat{C}_{pe} indique seulement qu'il s'agit d'une dépression. Dans le cas de signe +, on parle de pression.

2.4. Calcul du nombre de tuiles et des fixations correspondantes au m^2 :

2.4.1. Nombre de tuile au m^2 :

Soit les dimensions d'une tuile :

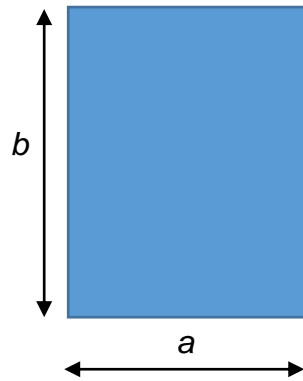


Figure 17. Présentation de la dimension de la tuile

Soit m le nombre de tuiles pour avoir 1 m dans la direction x et n le nombre de tuile pour avoir 1 m dans la direction y .

Pour être plus pratique, on va utiliser comme unité le millimètre.

Suivant Ox :

$$a \cdot m = 1000$$

$$m = \frac{1000}{a}$$

Suivant Oy :

$$b + p \cdot n = 1000$$

$$n = \frac{1000 - b}{p}$$

Tableau 21. Nombre de tuile au m^2 en fonction de la dimension des tuiles

Tuile plate	Dimension [mm]		Pureau [mm]	Nombre de tuile		Nombre de tuile au m^2
	a	b	P	M	n	
Petit moule	170	280	150	6	5	30
Grand moule	280	370	200	4	4	16

Source : Auteur

2.4.2. Calcul de la section et du nombre de vis :

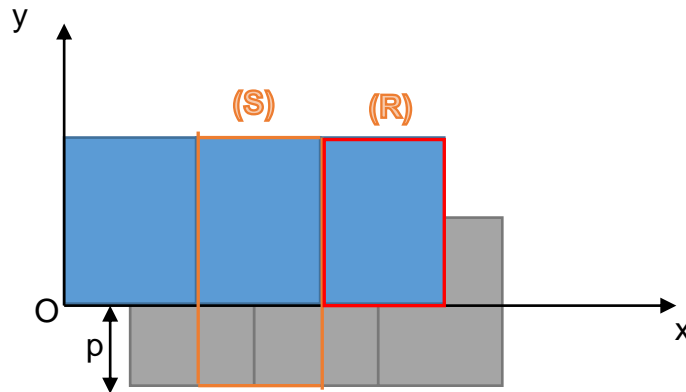


Figure 18. Les différents domaines pour le calcul de la fixation

En considérant que les 3 tuiles soient correctement fixées, on peut le considérer comme un seul élément d'où le domaine (S). Il convient alors de chercher la fixation de (S). Dans ce cadre, les éléments d'assemblage sont soumis à des forces de traction puisque les principales forces s'appliquant à une toiture sont des dépressions.

On a pour une vis :

$$|\sigma_N| \leq R_e \text{ et } |\sigma_N| = \frac{N}{S_{min}}$$

Avec :

$$R_e = 100MPa = 10^8 Pa$$

Donc :

$$S_{min} \geq \frac{N}{R_e}$$

Or la pression dynamique a pour valeur :

$$W = -34\,148 N/m^2$$

En considérant une seule tuile, le calcul serait erroné, car la tuile en question est solidaire à ses éléments assemblés. C'est-à-dire qu'il faut considérer entièrement les tuiles assemblées à la tuile étudiée. On aurait donc :

$$\text{Force sur la tuile (R)} = \text{force propre} + 2 \text{ forces dues aux autres tuiles}$$

Force sur la tuile (R) = 3force propre

Pour le petit moule :

$$A = a * b$$

$$A = 0,17 * 0,28$$

$$A = 0,0476m^2$$

La force N s'appliquant sur une tuile :

$$N = 0,0476 * 34148$$

$$N = 1625N$$

$$N_R = 4875N$$

Alors :

$$S_{min} \geq \frac{4875}{10^8}$$

$$S_{min} \geq 4,875 \cdot 10^{-5} m^2$$

$$S_{min} \geq 48,75 mm^2$$

De plus :

$$S = \pi \frac{d^2}{4}$$

Pour une vis :

$$d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}$$

$$d = 7,9mm$$

Pour deux vis :

$$d = \sqrt{\frac{2S}{\pi}}$$

$$d = 5,6mm$$

Pour le grand moule :

$$A = 0,1036m^2$$

$$N_R = 10614N$$

$$S_{min} \geq 106,14 \text{ mm}^2$$

Pour une vis :

$$d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}$$

$$d = 11,6\text{mm}$$

Pour deux vis :

$$d = \sqrt{\frac{2S}{\pi}}$$

$$d = 8,2\text{mm}$$

2.4.3. Choix adopté pour les tuiles et les vis :

On a vu que :

Si A augmente, alors N_R augmente aussi

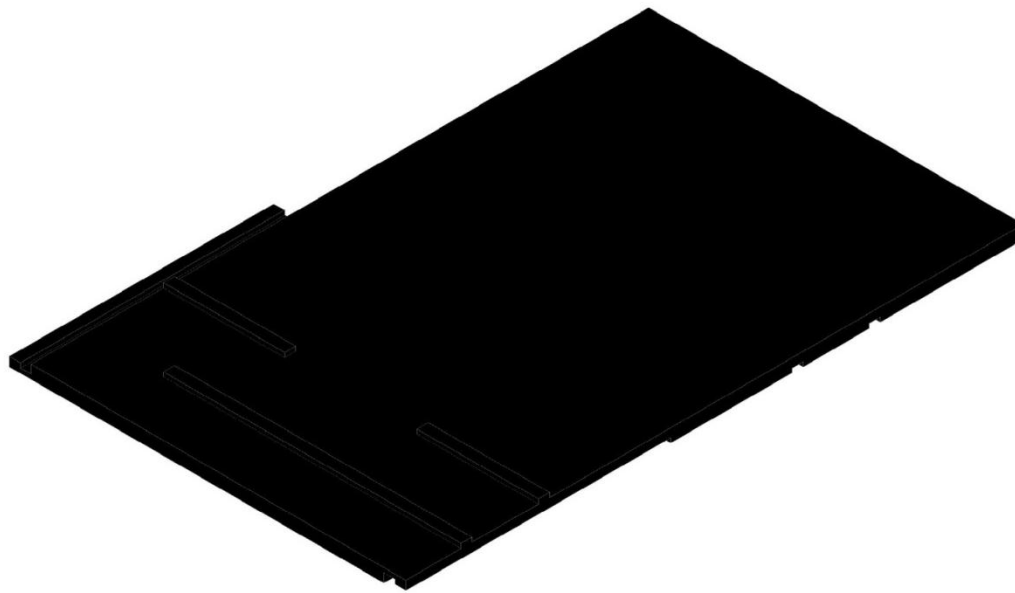
C'est pourquoi on préfère de choisir les dimensions de la tuile plate à petit moule. Soit les dimensions de 0,17m x 0,28m. Et pour les vis, puisque les lattes pourraient ne pas supporter des vis de Ø8mm, on optera pour des vis de Ø6mm.

3. Forme définitive de la tuile composite :

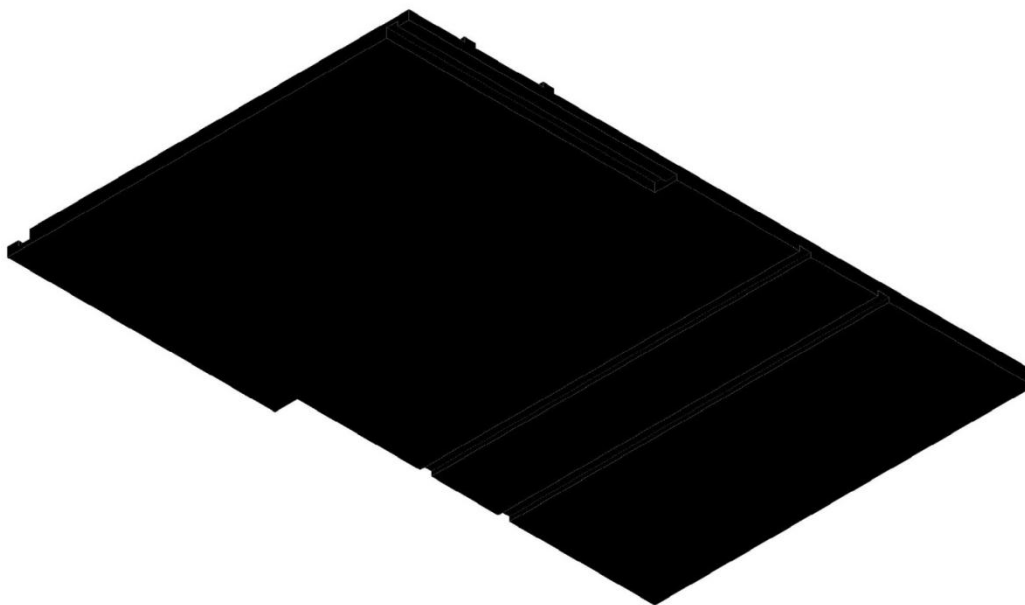
En plus de ces considérations concernant la fixation de la tuile, il a été déjà mentionné dans le chapitre 5 que la tuile comporte des nervures et des cannelures. Pour réaliser ces différents éléments, on a opté pour une épaisseur minimale de 6mm.

Tableau 22. Caractéristiques de la tuile

Dimension [mm]	6 x 180 x 280
Forme	Plate
Type	Tuile à emboîtement



(a)



(b)

Figure 19. Vue 3D de la tuile composite

(a) Vue de dessus

(b) Vue de dessous

4. Choix de la pente :

Comme les tuiles sont fixées aux lattes par l'intermédiaire de vis, alors on peut choisir la tuile pour n'importe quelle valeur de la pente.

Chapitre 8: Conception de la presse pour le composite

1. Calcul du système manivelle-rainure :

1.1. La fente minimale du levier de compression L_{fente} :

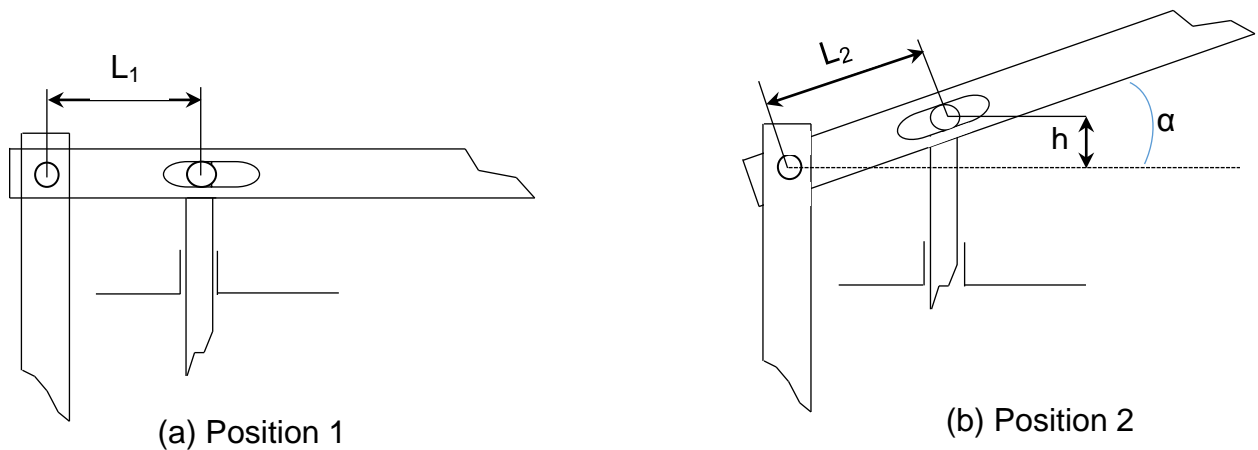


Figure 20. Positions de la presse

(a) Position 1 : En compression

(b) Position 2 : Au repos

On a :

❖ Longueur du tube de compression :

$$l_{tube} = 125mm$$

❖ Hauteur nécessaire à dégager h_{deg} :

$$h_{deg} = 133mm$$

❖ Angle de dégagement α :

$$\alpha = 36^\circ$$

❖ Longueur L_{2max} :

$$L_{2max} \sim 229mm$$

❖ Longueur de la rainure L_{fente} :

$$L_{fente} = 44mm$$

1.2. Calcul de la force de compression :

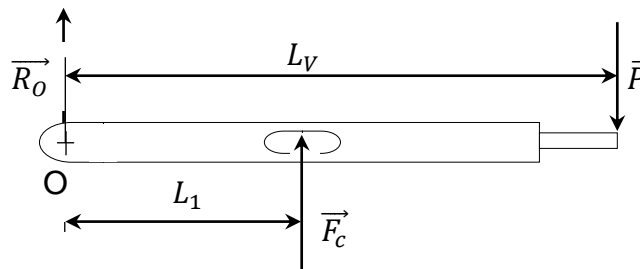


Figure 21. Levier de compression

Supposons que la masse qu'un opérateur peut appliquer est de :

$$m = 50kg$$

Nous obtenons la force appliquée par l'opérateur :

$$P = m \cdot g \quad \text{avec } g = 9,8m \cdot s^{-2}$$

$$P = 490N$$

$$P \sim 500N$$

Le moment par rapport à O donne :

$$P \cdot L_V - F_c \cdot L_1 = 0$$

$$F_c = \frac{P \cdot L_V}{L_1} \quad \text{avec } L_V = 1,78m$$

P : force de l'opérateur ;

L_V : longueur du levier

$$F_c = \frac{500 \cdot 1,78}{0,185}$$

$$F_c = 4810N$$

La réaction en O :

$$R_0 = 4810 - 500$$

$$R_0 = 4310N$$

La pression exercée par la presse :

On a :

$$P_0 = \frac{F_0}{S}$$

$$P_0 = \frac{4810}{0,396.0,296}$$

$$P_0 = 41035Pa$$

$$P_0 \sim 41000Pa$$

$$P_0 = 0,4bar$$

2. Dimensionnement du système de compression :

2.1. Calcul de l'épaisseur du tube de compression :

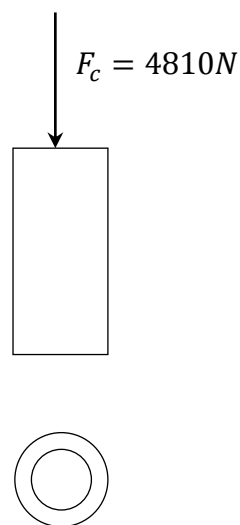


Figure 22. Représentation du tube de compression

Les différents calculs, détaillés en annexe 7 nous donne :

$$e = [0,4 \text{ mm}; 41,6\text{mm}]$$

Sur le marché, on ne trouve que des tubes de 33/42, 42/50 signifiant que le diamètre intérieur est de 33mm et l'extérieur 42mm.

$$e_{adopté} = \frac{d_{ext} - d_{int}}{2}$$

$$e_{adopté} = \frac{42 - 33}{2}$$

$$e_{adopté} = 4,5\text{mm}$$

2.2. Calcul de l'épaisseur du plateau de compression :

Hypothèse :

Charge appliquée par le tube de compression en charge ponctuelle concentrée ;

On transforme la charge uniformément répartie sur toute la surface en charge linéaire uniformément répartie.

2.2.1. Le Diamètre du pivot d_o :

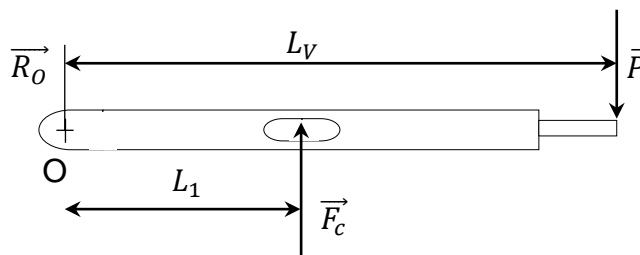


Figure 23. Représentation schématique des forces appliquées au levier de compression

Le calcul a donné :

$$d_o = 7,3\text{mm}$$

Pour notre part, on a utilisé un diamètre de $d_o = 20\text{mm}$

2.2.2. La rainure du levier de compression d:

Le calcul en annexe a déjà donné L_{fente} :

$$L_{fente} = 44mm$$

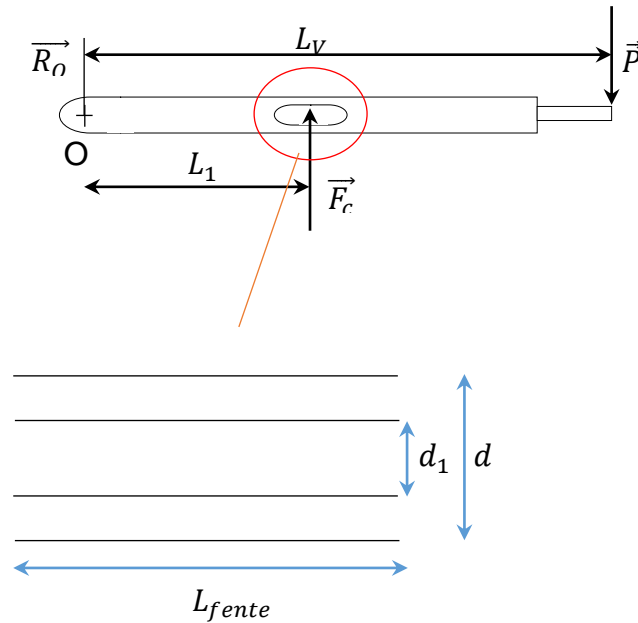


Figure 24. Représentation schématique de la rainure

Et de même, on trouve :

$$d = 33mm$$

On a adopté $d = 50mm$ parce qu'il est commercialement disponible.

3. Spécificité de la presse :

La presse est munie de deux modes de pression :

- ✧ Pression fixe et provisoire par le bras de levier ;
- ✧ Pression variable et permanente par la vis sans fin.

Chapitre 9: Mise en œuvre de la tuile composite :

1. Matériaux utilisés :

Ils sont récapitulés par le graphique suivant :

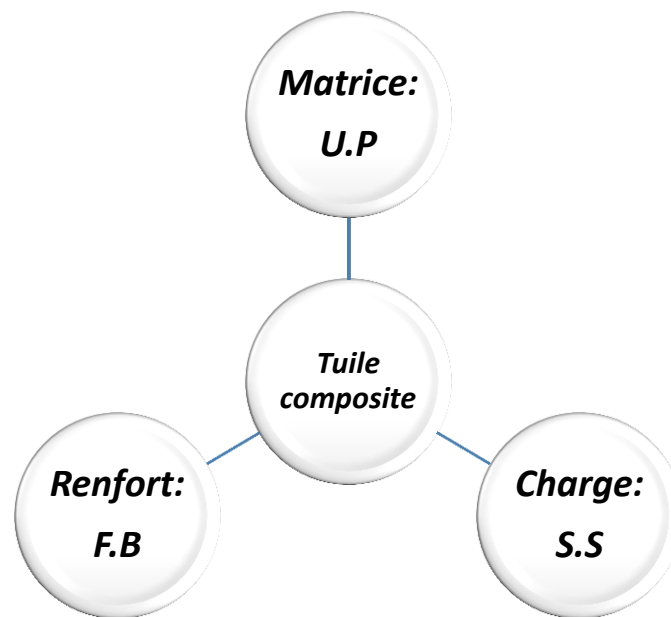


Figure 25. Élaboration de la tuile composite

Tableau 23. Présentation des matières premières et leurs lieux d'approvisionnement

Désignation	Origine	Rôle dans le composite
Polyester insaturé isophtalique transparent	MCI – Tanjombato Forello Antananarivo	Matrice
Fibre de bambou	Bambou de Fanandrana	Renfort
Sable siliceux	Antsarimasina - Toamasina	Charge

2. Matériaux utilisés :

Les matériels pour la mise en œuvre du composite sont détaillés dans le tableau suivant.

Tableau 24. Matériels pour la mise en œuvre du composite

Opération	Matériels	Fonction
Confection du moule	Scie à bois	Coupe des différentes parties du moule en bois
	Meule portative	Ébarbage de la surface surtout les parties soudées
	Ponceuse	Ponçage des moules inférieurs et supérieurs
	Perceuse	Trou pour emplacement des vis
	Foret Ø3mm	
	Vis mécanique Ø3,15mm	Fixation entre les différentes parties du moule aux supports inférieurs et supérieurs
	Vis à bois Ø3mm	Fixation des cornières aux bois
	Papier abrasif P100, P240, P 360	Finition pour améliorer définitivement la surface du moule
	Scie à métaux	Confection des cannelures
Mise en œuvre du composite	Résine	Matrice du matériau
	Catalyseur	Initiation de la réaction de polymérisation entre matrice et renfort
	Acétone	Nettoyage des matériels utilisés

3. Confection du moule intérieur :

Il a été conçu de façon à pouvoir réaliser à chaque moulage, deux pièces.

Le moule comprend 3 parties principales :

- ✧ La partie supérieure ;
- ✧ La partie inférieure ;
- ✧ Le cadre.

3.1. La partie supérieure :

On l'appelle encore poinçon. Et le dessin suivant indique que la partie supérieure du moule est composée de deux parties. La partie en vert sur le schéma est fixée aux tôles de 3mm par des vis mécaniques.

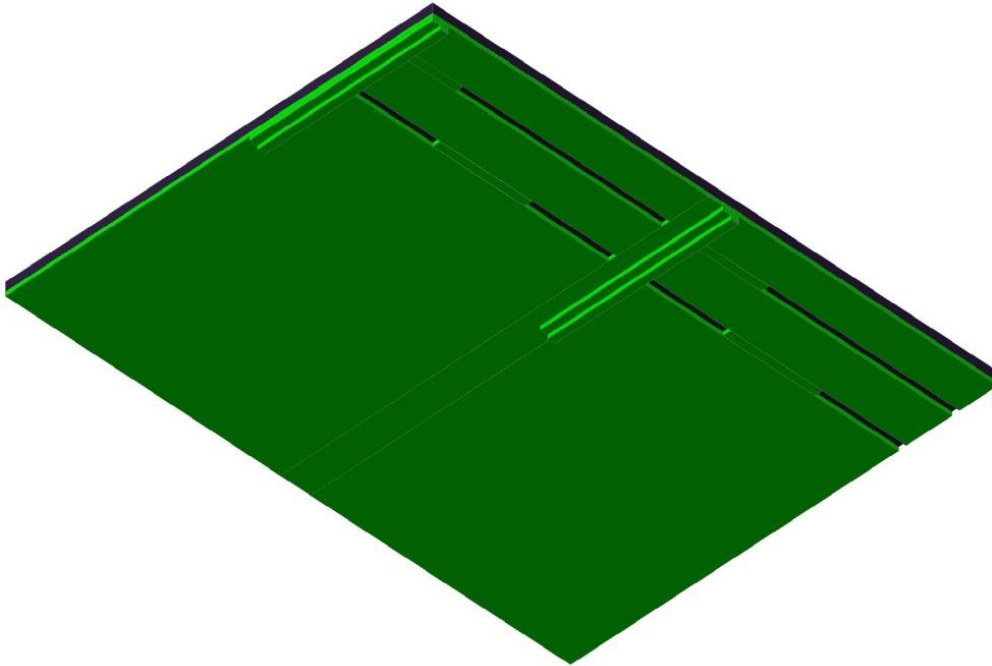


Figure 26. Moule supérieur

Comme le moule doit être fixé au plateau de compression, on a mis en place un système permettant de répartir la charge :

- ❖ Soudage de vis de 8 mm de diamètre ;
- ❖ Coulage d'un béton de résine au-dessus du moule supérieur.



Photo 26. Béton de résine

Source : Auteur

3.2. La partie inférieure :

Les parties en rouge sur le schéma suivant sont fixées par des vis mécaniques comme précédemment et vont constituer les cannelures et les nervures.

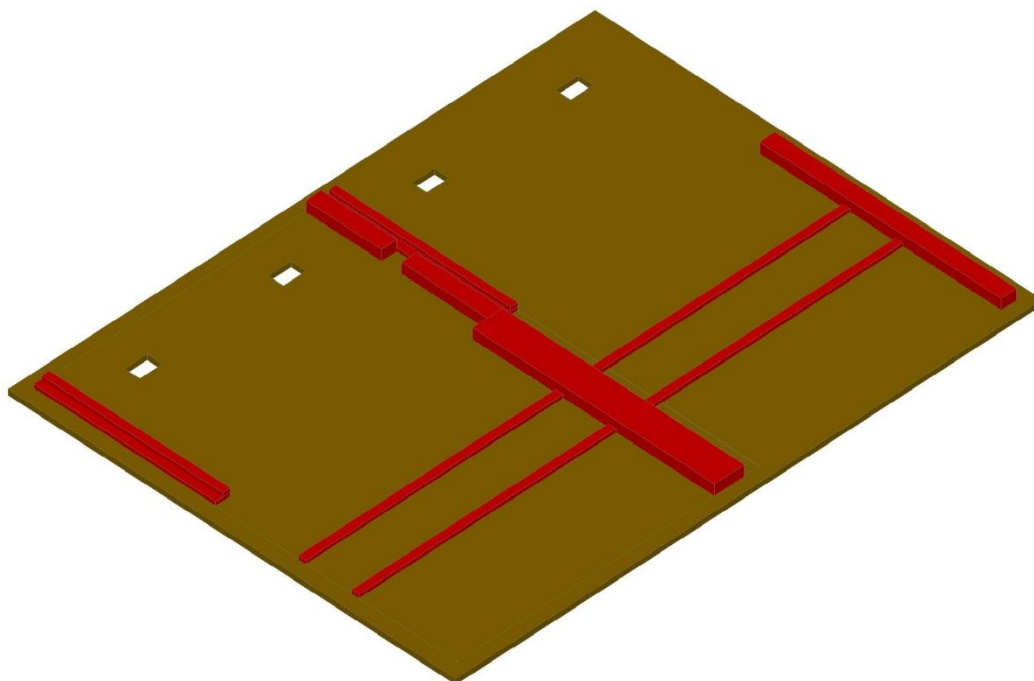


Figure 27. Moule inférieur

3.3. Le cadre :

Il a été établi dans le but de remplir deux rôles principaux :

- ❖ Guider le poinçon ;
- ❖ Limiter autant que possible les pertes de résine sur les côtés latérales.



Photo 27. Cadre

Source : Auteur

4. Mise en œuvre du matériau composite :

4.1. Les différentes étapes ou cycles de moulage pour la mise en œuvre du composite :

Pour le moulage à presse froid, les différentes étapes sont les suivantes :

- ❖ Préparation des différentes matières premières ;
- ❖ Dépôt d'agent de démoulage ;
- ❖ Mise en place des constituants principaux dans le moule ;
- ❖ Pressage du renfort et de la matrice ;
- ❖ Gélification du matériau composite ;
- ❖ Démoulage.

Ces processus définissent un cycle de moulage.

4.1.1. Préparation des différentes matières premières :

Elle consiste surtout à mélanger le polyester insaturé, préaccélééré avec le catalyseur, la charge, le pigment et éventuellement l'accélérateur.

4.1.1.1. Le renfort :

Avant leur incorporation dans la matrice, les fibres constituant le renfort doivent être teillées pour améliorer l'aspect physique du produit final.

4.1.1.2. La matrice :

Concernant le polyester et le catalyseur, aucune préparation supplémentaire n'est à signaler contrairement à la charge et au pigment.

4.1.1.3. La charge :

L'utilisation du sable siliceux comme charge nécessite quelques étapes de préparation. À défaut de tamis 50 μm , on s'est contenté d'utiliser un tamis à 100 μm d'ouverture.

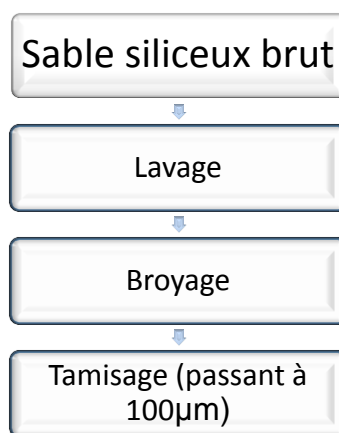


Figure 28. *Processus de préparation du sable siliceux*

Une fois le diamètre de 100 μm atteint, on incorpore la charge à la résine polyester.

L'un est à mélangé avec le catalyseur avec une teneur de 1 à 3% tandis que l'autre avec l'accélérateur, en soulignant que dans le cas des résines préaccéléérées, son taux ne doit dépasser les 4%.

La quantité de charge et de pigment à ajouter est encore à déterminer expérimentalement.

4.1.2. Dépôt d'agent de démoulage :

Parmi une large gamme d'agents de démoulages, on choisira l'huile végétale pour l'ensemble du moule. Mais pour certaines parties du moule, et surtout la partie supérieure, une couche supplémentaire d'adhésif est nécessaire avant l'application de l'huile.

4.1.3. Mise en place des constituants principaux dans le moule :

4.1.3.1. Le renfort :

Pour mieux uniformiser les propriétés du matériau final, on s'est convenu d'élaborer un stratifié formé par des plis unidirectionnels.

a) *Élaboration de l'architecture du renfort :*

Pour se faire, on a procédé en deux étapes :

- ⤴ Adaptation de la longueur des fibres suivant les dimensions du moule pour éprouvette ;
- ⤴ Établissement des différentes couches de fibre constituant le stratifié.

b) *Structure du stratifié :*

Des études bibliographiques ont montré que les stratifiés particuliers s'obtiennent avec les orientations suivantes :

Tableau 25. Orientation particulière de renfort [Y]

	Cross-ply	Angle-ply	Équilibrés	Quasi isotropes
Couches du stratifié	$[0^\circ/90^\circ]$	$[\pm\alpha]_n$	$[\pm\alpha_1 \pm \alpha_2 \pm \alpha_n]_n$	$[0^\circ/\pm 45^\circ/90^\circ]$

Source : P. Vannucci

Parmi ces orientations, on a choisi l'orientation $[0^\circ/90^\circ]$ du fait de leur facilité de mise en place.

4.1.3.2. La matrice :

La résine initialement préparée constitue la matrice. Par préparée, on entend chargée et catalysée.

La matrice est étalée dans toutes parties du moule et au-dessus du renfort.

4.1.4. Pressage de renfort-matrice :

Une fois le renfort et la matrice mis en place, il est nécessaire d'une part de laisser un certain temps avant le pressage, le temps que la résine se répartit dans le moule sous l'effet de la pesanteur ; et d'autre part de procéder à d'éventuelles vibrations. L'ensemble de l'opération doit être complété au bout de 15min après l'ajout de catalyseur au maximum. En effet, un pressage immédiat causerait des problèmes de fuite et de bulle. La pression maximale est de l'ordre de 0,4bar pour une force de 4810N.

On étudiera plus bas l'impact que pourra avoir la variation du temps de la pression sur le produit final.

4.1.5. Gélification du matériau composite :

A priori dans ce type de moulage, il est impossible d'évaluer théoriquement le temps de gel du matériau composite. Il ne peut être qu'estimé ou déterminé expérimentalement.

Il est très important de mentionner que pour un stratifié, à température ambiante, les propriétés maximales s'obtiennent après 3 à 7jours après durcissement.

4.1.6. Démoulage :

Il se fait manuellement par l'utilisation de coins métalliques ou en bois.

4.2. La durée du cycle de moulage :

Elle sera très importante pour la reproduction de la tuile à grande échelle, car on aura estimé le temps pour la production d'une unité. Elle est estimée au maximum à 3 h 30

5. Formulation :

Le but de la formulation est de déterminer le rapport de résine et de renfort donnant d'excellentes propriétés surtout mécaniques. Après avoir trouvé l'optimum, on s'intéressera ensuite au rapport entre résine, renfort et charge après en prenant les mêmes critères que précédemment.

Pour la formulation, nous avons utilisé le taux volumique, car à partir des dimensions de la pièce (la longueur, la largeur et l'épaisseur) et des masses spécifiques, on peut calculer le volume de composite à mettre en œuvre et aussi les quantités de matière première à utiliser.

Dans la pratique, par contre, on préfère utiliser la masse ou encore le taux massique pour le dosage des constituants du composite. On cherchera donc une relation entre le taux massique et le taux volumique.

5.1. Taux de renfort volumique, taux de renfort massique et leur relation :

5.1.1. Taux de renfort volumique :

En supposant que le composite est exempt de vide ou encore de porosité, on définit le taux de renfort volumique et le taux de renfort massique.

$$v_f + v_m + v_{char} = 1$$

Où :

$$v_f = \frac{V_f}{V_{comp}}$$

Mais encore :

$$v_f = \frac{\frac{m_f}{\rho_f}}{\frac{m_f}{\rho_f} + \frac{m_m}{\rho_m} + \frac{m_{char}}{\rho_{char}}}$$

v_i : teneur volumique de l'élément i ;

ρ_i : masse volumique de l'élément i ;

m_i : masse de l'élément i ;

V_i : volume de l'élément i ;

f pour fibre, m pour matrice, $comp$ pour composite et $char$ pour charge.

Avec :

$$V_{comp} = V_f + V_m + V_{char}$$

$$m_{comp} = m_f + m_m + m_{char}$$

5.1.2. Taux de renfort massique :

On le définit comme suit :

$$x_f = \frac{V_f \cdot \rho_f}{\rho_f \cdot V_f + \rho_m \cdot V_m + \rho_{char} \cdot V_{char}}$$

x_i : teneur massique de l'élément i ;

Et :

$$x_f + x_m + x_{char} = 1$$

5.1.3. Relation entre taux de renfort volumique et massique :

En partant de la définition :

$$v_f = \frac{\frac{m_f}{\rho_f}}{\frac{m_f}{\rho_f} + \frac{m_m}{\rho_m} + \frac{m_{char}}{\rho_{char}}}$$

On arrive à :

$$v_f = \frac{\rho_{comp}}{\rho_f} \cdot x_f$$

5.2. Essais par flexion en 3 pannes :

5.2.1. Essai 1 :

5.2.1.1. But :

Nous avons réalisé cet essai dans le but de déterminer le taux de renfort maximal que l'on peut incorporer à la matrice pour un même volume et vérifier par la même occasion si les fibres respectent bien les orientations imposées.

5.2.1.2. Dimension de l'éprouvette :

La dimension du composite est la suivante 0,6cm x 5cm x 20cm. Soit alors le volume de 60cm³ ou 60mL.

5.2.1.3. Taux volumique de fibres :

Nous avons opté pour le choix les taux volumiques suivants que nous allons noter par v_f et que nous présentons sous forme d'intervalle :

- $C_{14/11}$: $4 < v_f \leq 11$;
- $C_{11/18}$: $11 < v_f \leq 18$;
- $C_{18/25}$: $18 < v_f < 25$

5.2.1.4. Renfort :

Nous avons coupé les fibres en 5cm et 20cm. Le renfort est constitué de 3 couches de fibre ayant la masse.

La première couche est disposée suivant la longueur.

5.2.1.5. Résultat :

Le résultat ci-dessous nous renseigne sur l'aspect physique et qualitatif de l'essai. Il est quantifié plus bas.

Tableau 26. Constatation visuelle des éprouvettes après moulage de l'essai 1

Éprouvette	Résultat
$C_{14/11}$	Imprégnation totale des fibres
$C_{111/18}$	
$C_{118/25}$	

Les essais réalisés que le taux volumique maximal de fibres se situe entre 18% et 25%.

Dans la suite, on va surtout s'intéresser à l'utilisation de la formulation $C_{118/25}$ par ajout de charge. Un choix qu'on vérifiera par l'essai de flexion à 3 pannes.

5.2.2. Essai 2 :

Une fois le taux optimal en charge trouvé, on réalisera un essai supplémentaire pour déterminer le temps de pression adéquat. On étudiera surtout la durée de 1h, 2h et 3h.

5.2.3. Essai 3 :

5.2.3.1. But :

L'essai a été fait pour connaître le taux de charge maximale que l'on peut incorporer sans pour autant négliger les propriétés mécaniques de la pièce. D'autant plus que la charge rappelons-le a pour rôle d'une part diminuer le coût de fabrication de la pièce et d'autre part améliorer certaines propriétés.

5.2.3.2. Dimension de l'éprouvette :

La dimension de l'éprouvette est identique à celle de dessus.

5.2.3.3. Taux volumique de charge :

Trois intervalles ont été surtout étudiés une fois le taux volumique de fibres a été défini à savoir :

- $C_{25/10}$: $5 < v_c \leq 10$;
- $C_{210/15}$: $10 < v_c \leq 15$;
- $C_{215/20}$: $15 < v_c < 20$.

Au-delà de ces 3 intervalles, l'addition de charge ne présente aucun intérêt pratique puisqu'une quantité moindre en charge ne va présenter de changement significatif du point de vue propriété ; tandis qu'un taux élevé en charge va augmenter fortement la viscosité de la résine et ne va plus permettre à la résine de passer à travers les couches 0° et 90° .

5.2.3.4. Résultats :

Ils sont récapitulés dans le tableau ci-contre en utilisant Les appréciations visuelles concernant l'imprégnation de la totalité des fibres comme principal paramètre.

Tableau 27. Résultats de la flexion 3 pannes de l'essai 2

Éprouvette	Résultat
$C_{25/10}$	Imprégnation totale des fibres
$C_{210/15}$	
$C_{215/20}$	Existence de zone non imprégnée sur la surface inférieure

Pour les essais de flexion à 3 pannes, on ne s'intéressera qu'à l'éprouvette $C_{215/20}$.

6. Paramètres de moulage :

Les essais réalisés ont indiqué les paramètres suivants pour la mise en œuvre de la tuile composite :

- ✧ Le diamètre des fibres ;
- ✧ La couche constituant le composite ;
- ✧ L'orientation des fibres ;
- ✧ Le taux de compression ;
- ✧ Le taux volumique de catalyseur ;
- ✧ L'intervalle de temps entre l'ajout de catalyseur et le début de la pression ;
- ✧ La répartition de la résine sur le renfort ;
- ✧ La vitesse de la fermeture ;
- ✧ La pression ;
- ✧ La durée de pression ;
- ✧ Le temps nécessaire avant le démoulage.

Tableau 28. Les conséquences liées aux paramètres de moulage

Paramètres de moulage	Conséquences sur le composite et le moulage	Mesures adoptées
Diamètre des fibres	Effet sur l'épaisseur du composite	3 couches de fibres de même masse
Couche constituant le composite		
Orientation des fibres	Effet sur les propriétés mécaniques du composite	Renfort constitué de fibres orienté de 0° et 90°
Taux volumiques de catalyseur	Effet sur le temps de gélification	Taux de catalyseur à 2% en volume
Intervalle de temps entre l'ajout de catalyseur et le début de la pression	Problème d'étanchéité	Adopté par défaut l'intervalle de temps entre 10 à 30min
Pression	Effet sur l'épaisseur et les propriétés mécaniques du composite	Fixée
Durée de pression	Imprégnation incomplète	Variable
Temps avant le démoulage	Effet sur la forme de la pièce	2 h après le début de la pression

7. Résolutions partielles des problèmes de moulage :

Nous présentons ci-contre les différents problèmes rencontrés et les mesures prises pour leurs atténuations.

Tableau 29. Résolution des problèmes de moulage

Problèmes	Causes	Solutions proposées
Imprégnation incomplète des fibres sur la partie inférieure	Viscosité de la résine trop élevée	Abaisser le taux de charge
	Mauvaise répartition de la résine	<ul style="list-style-type: none"> • Bonne répartition de la résine par application croisée ; • Vibration en surface ; • Bien séparer les fibres entre elles.
	Pression insuffisante.	Contrôle de la pression
Bordure mal moulée	Mauvaise répartition de la résine	-
	Moule	Nettoyage minutieux de la partie latérale du moule
Imprégnation incomplète des fibres sur la partie supérieure	Gélification	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle de l'intervalle de temps entre l'ajout de catalyseur et le début de la pression ; • Abaisser le taux de catalyseur ;
Mauvais état de surface de la pièce	Moule	<ul style="list-style-type: none"> • Nettoyage soigné du moule inférieur et supérieur ; • Utilisation de surface bien plane.
Collage de la pièce au moule	Agent de démoulage	Application soignée d'agent de démoulage.

8. Méthodologie de recherche :

Nous récapitulons ci-contre la méthodologie ou les différentes étapes pour la réalisation de ce travail.

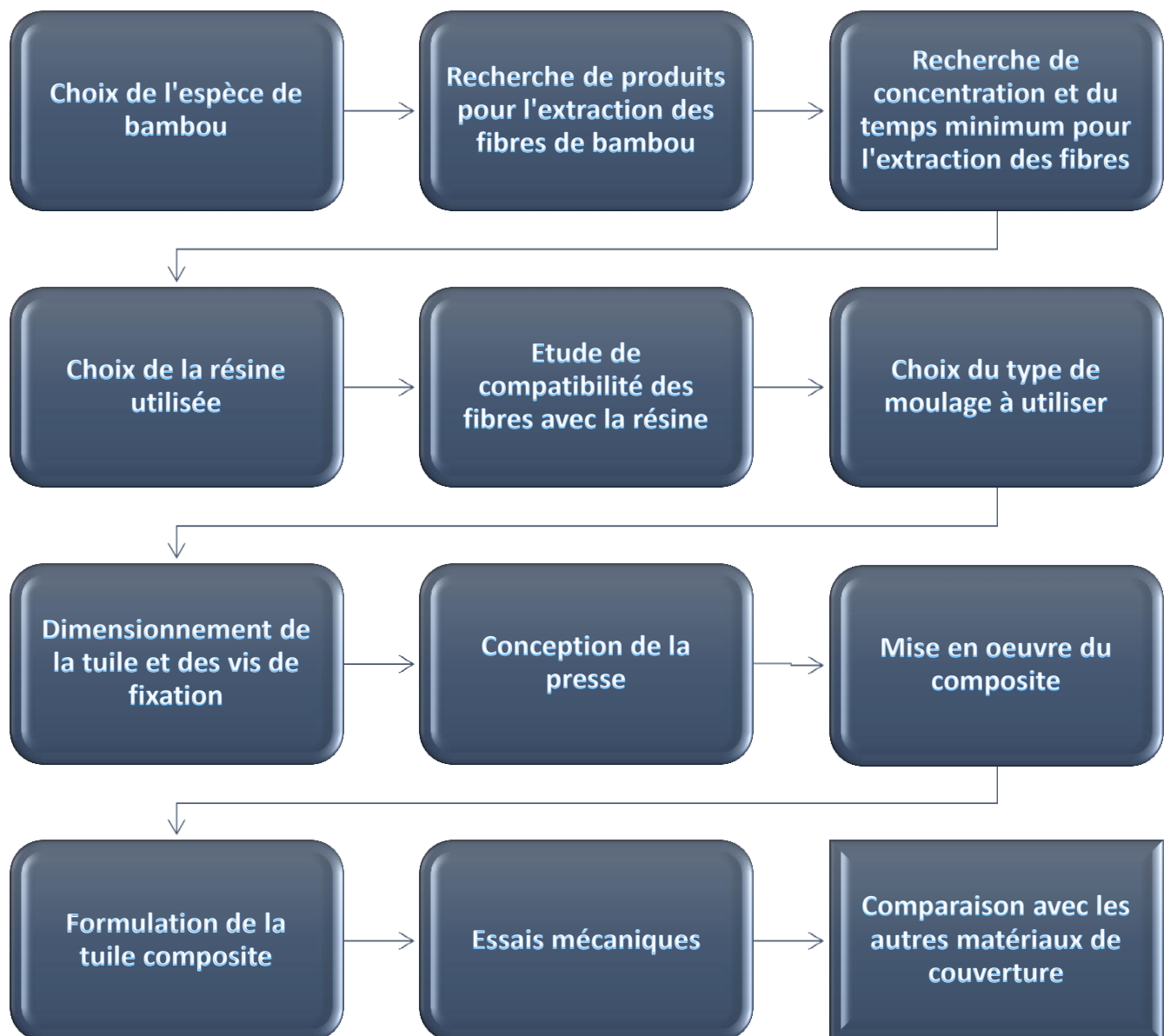


Figure 29. Processus illustrant la méthodologie par ordre chronologique

La méthodologie concerne 3 grandes catégories :

- ✧ L'extraction de la fibre de bambou ;
- ✧ La mise en œuvre ;
- ✧ La tuile composite.

8.1. Extraction de la fibre de bambou

- ✧ Choix de l'espèce : On a choisi comme critère de sélection la teneur en fibre et la résistance aux insectes et champignons.
- ✧ Recherche de produits pour l'extraction des fibres de bambou ;
- ✧ Recherche de la concentration et du temps minimum pour l'extraction ;

8.2. Mise en œuvre :

- ✧ Choix de la résine utilisée ;
- ✧ Étude de compatibilité des fibres avec la résine ;
- ✧ Choix du type de moulage à utiliser ;

8.3. Tuile composite :

- ✧ Conception de la forme de la tuile : forme plate résistant au cyclone, modélisation 3D d'Autocad pour visualiser l'emboîtement des tuiles ;
- ✧ Dimensionnement des fixations des tuiles ;
- ✧ Conception de la presse ;
- ✧ Conception des moules métalliques ;
- ✧ Formulations de la tuile : quantité de résine, fibre, charge ;
- ✧ Essais pour déterminer les différentes propriétés de la tuile.

Chapitre 10: Caractérisations des matières premières et des composites mis en œuvre

1. Caractérisations des matières premières :

1.1. Résine polyester insaturé isophtalique :

1.1.1. Caractéristique physique :

1.1.1.1. Couleur :

Sous sa forme commerciale, elle se présente une couleur rose. Et après ajout de catalyseur, elle vire jaune pour devenir finalement transparent.

1.1.1.2. Odeur :

La résine polyester dégage une forte odeur caractéristique indiquant la présence du styrène.

1.1.1.3. Masse volumique :

Comme aucune donnée n'a pu être fournie lors de l'achat de la résine, on a alors fait des mesures expérimentales pour déterminer la masse volumique de la résine polyester.

Les démarches ont été les suivantes :

- Avec une seringue, on a prélevé un volume V de 4mL ;
- Dans un récipient, initialement taré sur la balance de $\pm 0,1g$, on verse le volume de catalyseur ;
- On relève la valeur de m_i sur la balance.
- D'après la formule :

$$\rho = \frac{m_i}{V}$$

m : masse de la résine ;

V : volume de la résine prélevé.

Les mesures expérimentales ont donné les valeurs suivantes.

Tableau 30. Masse volumique du polyester

Essai	Masse volumique [g/cm ³]
N° 1	1,02
N° 2	1,08
N° 3	1,07

La valeur moyenne de ces trois essais qu'on prendra comme la masse volumique de la résine :

$$\rho = 1,06g/cm^3$$

1.1.2. Caractéristiques mécaniques :

Pour optimiser la comparaison ultérieure, on présentera ci-contre quelques propriétés de la résine polyester à l'état pur ou encore non renforcée.

Tableau 31. Propriétés mécaniques du polyester [N]

Densité		-	1,13 à 1,50
Résistance en flexion		MPa	0,4 à 1,7
Allongement à la rupture	Résine courante	%	1 à 3
	Résine flexible		10 à 15
Module d'Young en flexion		MPa	1,4 à 60

Source : Canard

1.2. Catalyseur :

1.2.1. Couleur :

La couleur du catalyseur est incolore. À première vue, le catalyseur est semblable à l'eau.

1.2.2. Masse volumique :

Théoriquement, la masse volumique des catalyseurs se situe au voisinage de $1,1g/cm^3$.

Comme dans le cas de la résine, 3 essais ont permis de trouver la valeur de la masse volumique utilisée.

Tableau 32. Masse volumique du catalyseur

Essai	Masse volumique [g/cm ³]
N° 1	1,15
N° 2	1,17
N° 3	1,14

On a alors pris :

$$\rho_{cata_{exp}} = 1,15g/cm^3$$

1.3. Charge :

La charge que nous évoquerons dans ce qui suit est le sable siliceux broyé puis tamisé à 100 μ m.

1.3.1. Composition chimique :

On s'intéresse surtout à la teneur en silice que le sable siliceux contient afin de l'utiliser comme charge dans l'élaboration du matériau composite.

Tableau 33. Composition chimique du sable d'Antsarimasina [32]

Composition	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Na ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O
Teneur [%]	98,1	0,6	0,3	Trace	0,6	Trace	0,1	0,3

Source : RAKOTOMANANTSOA Delphin 2011

1.3.2. Caractéristique physique :

1.3.2.1. Couleur :

La couleur de la charge avant incorporation à la résine varie du blanc au gris. Et une fois mélangée au polyester, la couleur de l'ensemble devient presque noir brillant.

1.3.2.2. Masse volumique :

Pour la charge, on distingue la masse volumique apparente et la masse volumique absolue.

a) Masse volumique apparente :

Les processus expérimentaux pour sa détermination sont les suivantes :

- ♣ Prendre un bécher de 250mL ;
- ♣ Peser le récipient $(m_0)_i$;
- ♣ Remplir ce dernier d'eau jusqu'au rebord ;
- ♣ Peser ensuite la masse d'eau m_e afin d'obtenir la contenance ou le volume du récipient V_{recip} ;
- ♣ Remplir alors le bécher de l'élément i ;
- ♣ Araser le rebord du récipient V_i puis peser $(m_1)_i$.
- ♣ Calculer ensuite les masses volumiques correspondantes à chaque manipulation par les formules :

$$m_i = (m_1)_i - (m_0)_i$$

$$m_e = V_{recip}$$

$$V_i = V_{recip}$$

$$\rho_i = \frac{m_i}{V_i}$$

Les valeurs des essais expérimentaux pour sa détermination sont récapitulées dans le tableau ci-contre.

Tableau 34. Masse volumique apparente de la charge

Essai	Masse du bécher [g]	Contenance du bécher [mL]	Masse totale [g]	Masse de l'échantillon [g]	Masse volumique apparente [g/cm^3]
N° 1	112,9	406,1	416,3	303,4	0,75
N° 2			416,0	303,1	0,75
N° 3			414,9	302	0,74

La masse volumique apparente de la charge est alors :

$$\rho_{Char} = 0,75g/cm^3$$

b) Masse volumique absolue ou masse spécifique :

Les protocoles pour les essais ont été les suivantes :

- ♣ Prendre une éprouvette graduée d'une contenance de 50mL ;
- ♣ Peser l'éprouvette m_{ep} ;
- ♣ Ajouter une certaine quantité de l'espèce à analyser (fibre ou charge) ;
- ♣ Peser à nouveau m_{ep+i} ;
- ♣ Ajouter de l'eau de quantité suffisante, de façon à immerger complètement l'espèce à analyser ;
- ♣ Peser le tout m_{totale} ;
- ♣ Repérer alors la hauteur d'eau V_{total} .
- ♣ Secouer énergiquement pour évacuer les gaz éventuels pouvant fausser la lecture du volume.

On utilise alors les formules :

$$\gamma_c = \frac{m_c}{V_c}$$

Avec :

$$m_c = m_{ep+c} - m_{ep}$$

$$V_{eau} = m_{eau} = m_{totale} - m_{ep+c}$$

$$V_c = V_{totale} - V_{eau}$$

Les 3 essais réalisés au laboratoire du Génie chimique de Vontovorona ont donné les résultats suivants. Toutes les masses sont en gramme et tous volumes en millilitre.

Tableau 35. Masse spécifique de la charge

Essai	Masse de l'éprouvette	Masse éprouvette + charge	Masse totale	Volume total	Masse charge	Volume charge	Masse volumique absolue [g/cm^3]
N° 1	77,9	87,8	107,9	23,5	9,9	3,4	2,91
N° 2	77,9	87,8	116,8	32,5	9,9	3,5	2,83
N° 3	77,9	87,9	123,8	39,5	10	3,6	2,78

Source : Auteur

Pour la valeur pratique de la masse volumique, on va adopter la moyenne de ces valeurs trouvées.

Soit :

$$\gamma_c = 2,84g/cm^3$$

1.4. Propriétés des fibres pour renforcement :

1.4.1. Masse d'un brin de fibre :

On a effectué des pesées pour avoir une idée sur la masse d'un brin de fibre. Les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 36. Masse d'un brin de fibre de bambou

Échantillon	Masse [mg]
1	32,5
2	14,4
3	22,7
4	25,6
5	50,3

Source : Auteur

Ceci démontre que la masse des fibres extraites est non uniforme s'expliquant par des diamètres variables vu que leurs longueurs sont pratiquement le même.

1.4.2. Poids spécifique :

Évaluer la masse volumique directement est ardue du fait du diamètre des fibres et des vides. Ces configurations ne donneraient guère aux fibres une forme géométrique bien définie afin de calculer le volume.

Pour chercher le volume, on a utilisé au laboratoire l'essai concernant le poids volumique se basant sur le volume d'eau déplacé. Les détails de l'expérience sont déjà énoncés plus haut, car ils sont identiques à ceux de la charge. Mais on utilisera les formules suivantes en soulignant déjà que les masses sont exprimées en gramme et les volumes en millilitre :

$$\gamma_f = \frac{m_f}{V_f}$$

Avec :

$$m_f = m_{ep+ fibre} - m_{ep}$$

$$V_{eau} = m_{eau} = m_{totale} - m_{ep+ fibre}$$

$$V_f = V_{totale} - V_{eau}$$

Tableau 37. Poids spécifiques de la fibre de bambou

Essai	Masse de l'éprouvette	Masse éprouvette + fibre	Masse totale	Volume total	Masse fibre	Volume fibre	Masse volumique [g/cm ³]
N° 1	78	78,4	127,5	49,5	0,4	0,4	1
N° 2	78	79,6	127,3	49	1,6	1,3	1,23
N° 3	77,8	79,6	127,9	50	1,8	1,7	1,06

La valeur moyenne nous donne :

$$\gamma = 1,10g/cm^3$$

1.4.3. Rendement des fibres de bambou :

Le rendement des fibres varie comme suit :

Tableau 38. Rendement des fibres de bambou

Masse initiale sans épiderme interne et externe [g]	Masse sèche après l'extraction [g]	Rendement [%]
100	65	65
150	75	50

2. Propriétés du composite :

2.1. Résultats des essais de la flexion en 3 pannes :

La distance entre les appuis, qui est aussi la distance entre les lattes, est de l'ordre 12 cm. De plus amples de détails sur la détermination de la contrainte en flexion sont donnés en annexe 8.

2.1.1. Résultats de l'essai 1, de l'essai 2 et de l'essai 3 :

2.1.1.1. Essai 1 :

Nous présentons les résultats de l'essai de flexion à 3 pannes dans le tableau suivant pour la recherche du taux de renfort maximal.

Tableau 39. Résultats de l'essai de flexion pour l'essai 1

Éprouvette	Essai	Charge de rupture [N]	Contrainte à la rupture en flexion [MPa]	Flèche [mm]
C _{14/11}	N°1	70	7	-
	N°2	30	3	-
	N°3	120	12	-
	Moyenne	73	7,3	-
C _{111/18}	N°1	90	9	12
	N°2	90	9	12
	N°3	90	9	13
	Moyenne	90	9	12,3
C _{118/25}	N°1	140	14	13,5
	N°2	130	13	14
	N°3	120	12	13
	Moyenne	130	13	13,5

2.1.1.2. Essai 2 :

On essaiera de déterminer le temps optimum pour la pression.

Tableau 40. Résultats de l'essai de flexion de l'essai 2

Durée	Essai	Charge de rupture [N]	Contrainte à la rupture en flexion [MPa]	Flèche [mm]
1h	Min	100	10	12
	Max	120	12	12
	Moyenne	110	11	12
2h	Min	125	12,5	14
	Max	135	13,5	15
	Moyenne	130	13	14,5
3h	Min	120	12	16
	Max	125	12,5	14
	Moyenne	122,5	12,3	15

2.1.1.3. Essai 3 :

Nous obtenons le tableau suivant illustrant les résultats de l'essai

3 :

Tableau 41. Résultats de l'essai de flexion pour l'essai 3

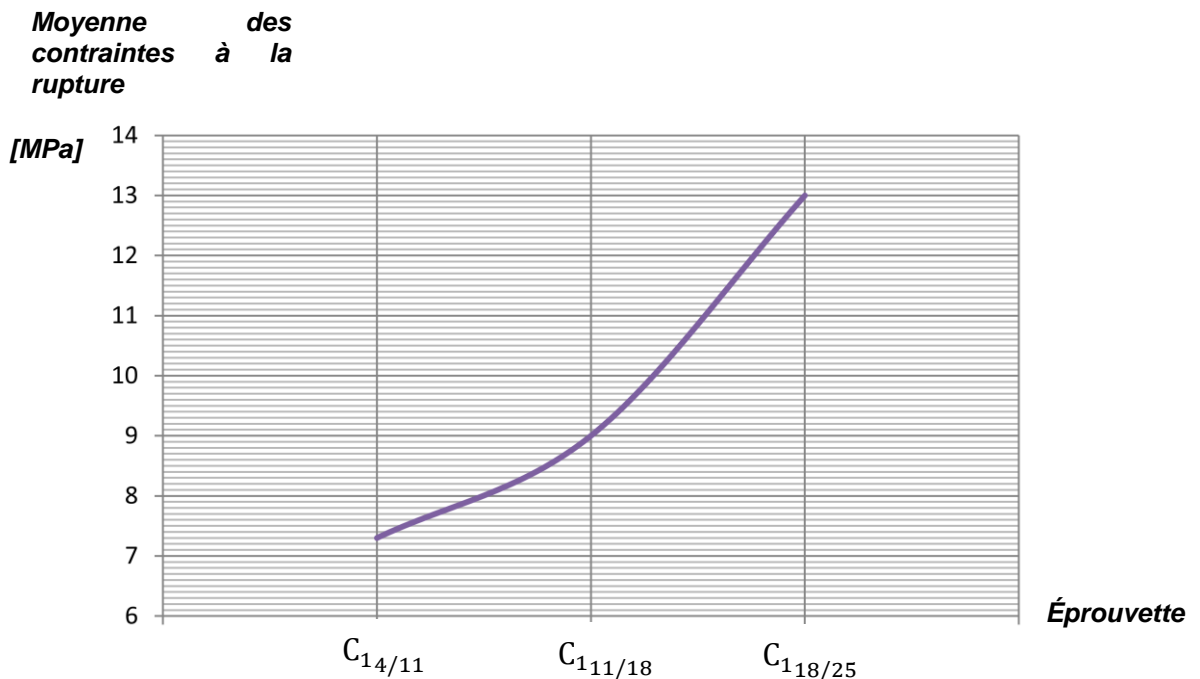
Éprouvette	Essai	Charge de rupture [N]	Contrainte à la rupture en flexion [MPa]	Flèche maximale [mm]
C _{25/10}	N°1	100	10	11
	N°2	115	11,5	11
	N°3	120	12	12
	Moyenne	111,7	11,2	11,3
C _{210/15}	N°1	105	10,5	12
	N°2	130	13	10
	N°3	145	14,5	9
	Moyenne	126,7	12,8	10,3

2.1.2. Interprétation des résultats :

Pour mieux expliciter les résultats, on commencera par tracer des courbes exprimant la moyenne des contraintes à la rupture pour les essais 1 et les essais 3 et les contraintes à la rupture minimale pour les essais 2.

2.1.2.1. Essai 1 :

La courbe d'influence du taux de renfort nous donne :



Courbe 1. Influence du taux de renfort sur la moyenne des contraintes à la rupture

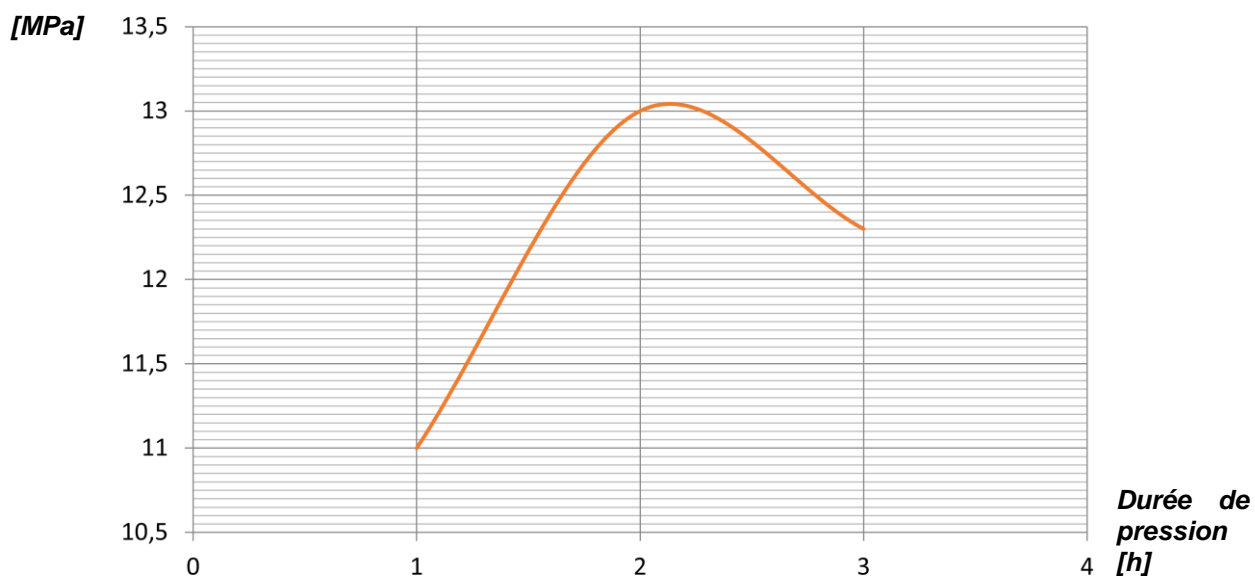
La présente courbe nous indique que l'augmentation de la contrainte de flexion est proportionnelle au taux de renfort. En effet, l'essai de flexion à 3 pannes, qui est encore un essai de traction par flexion, soumet les fibres en traction. Fibres qui possèdent une résistance en traction élevée.

Ce qui nous montre que l'éprouvette C_{18/25} présente le meilleur résultat pour un taux de charge compris entre 18 et 25 % en volume.

2.1.2.2. Essai 2 :

À partir des valeurs ci-dessus, nous obtenons la courbe :

Moyenne des contraintes à la rupture



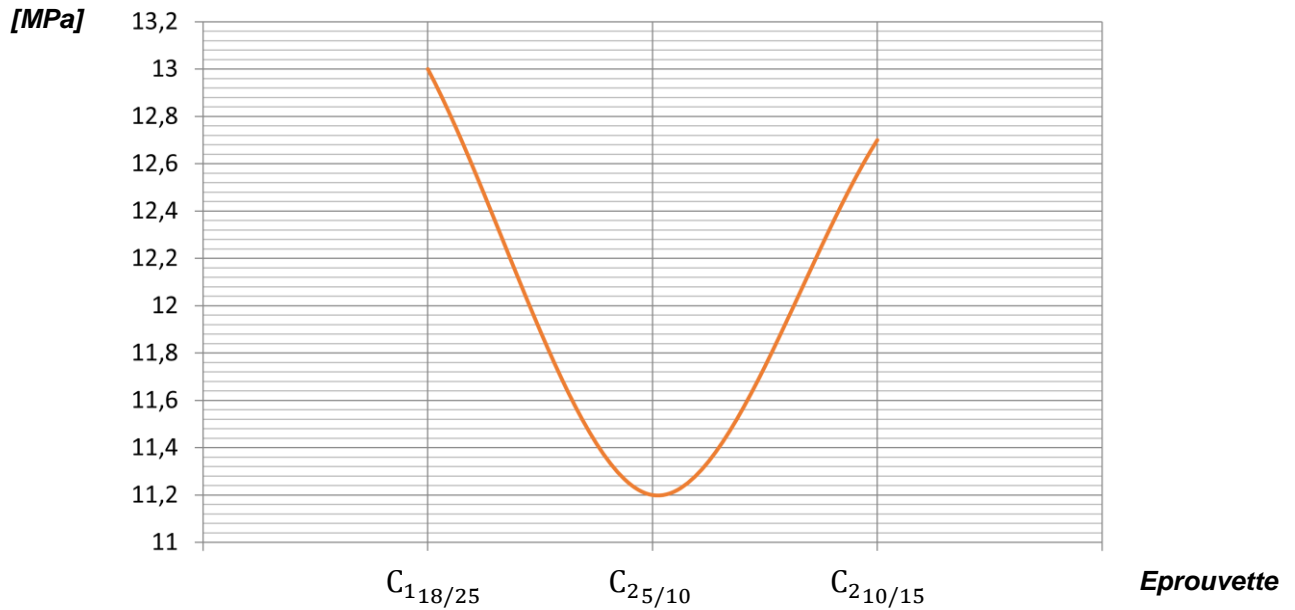
Courbe 2. Influence de la durée de la pression sur la contrainte à la rupture

La courbe présente une valeur maximale pour 2 heures de pression. Comme on le sait, la réaction de polymérisation de la résine polyester se traduit par une forte exothermie. Et des essais menés ont montré que c'est environ au bout de ces 2 heures que le composite achève sa gélification caractérisée par la fin de l'exothermie.

2.1.2.3. Essai 3 :

Étudions maintenant l'effet de l'ajout charge sur le comportement du composite en flexion.

Moyenne des contraintes à la rupture



Courbe 3. Influence du taux de charge sur la contrainte à la rupture

D'un point de vue général, l'ajout de charge diminue un peu la contrainte à la rupture en flexion. On pourrait expliquer cela par la substitution d'une certaine quantité de la résine par la charge à savoir le sable siliceux. En prenant par exemple, le cas C_{20/15}, la différence, du point de vue de la contrainte, entre le composite non chargé et chargé est assez faible puisqu'elle est de l'ordre de 2 %.

2.1.3. Choix de la formulation pour la réalisation de la tuile composite :

Les essais 1 et 3 nous amènent donc à conclure que les formulations optimales pour la mise en œuvre de la tuile composite sont C_{18/25} et C_{20/15} à savoir :

Tableau 42. Formulations optimales

Formulation	Taux volumiques en fibre [%]	Taux volumiques en charge [%]
C _{18/25}	18 à 25	0
C _{20/15}	18 à 25	10 à 15

2.2. Essais mécaniques supplémentaires pour les formulations optimales :

2.2.1. Essais au choc par méthode de Charpy :

La dimension des éprouvettes pour les essais a été de 6 cm x 3 cm x 0,6 cm. On a réalisé 3 essais pour chaque formulation. On obtient alors les résultats suivants :

Tableau 43. Résultats de l'essai de résilience

Formulation	Résilience K $10^4 [J/m^2]$
$C_{18/25}$	4,44
	3,88
	4,44
$C_{215/20}$	4,44
	3,33
	4,44

En utilisant les valeurs minimales de la résilience, soit $3,88 J/m^2$ pour $C_{18/25}$ et $3,33 J/m^2$ pour $C_{215/20}$, on a essayé de rechercher des correspondances entre ces valeurs et d'éventuels projectiles durant les périodes cycloniques en utilisant le théorème de l'énergie cinétique :

$$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

On a posé deux hypothèses :

- ✿ Une masse $m = 0,5 kg$ et l'on cherchera la vitesse correspondante ;
- ✿ Une vitesse de $v = 100 m/s$ en recherchant cette fois la masse.

Tableau 44. Recherche de la vitesse et de la masse pour la rupture au choc dans les conditions cycloniques

	$C_{118/25}$	$C_{215/20}$
Section d'une tuile S_0 [m^2]	0,0476	
Travail pour la rupture [J]	1847	1585
Vitesse sous hypothèse 1 [m/s]	85	79
Masse sous hypothèse 2 [kg]	0,369	0,317

2.2.2. Tests d'usinabilité :

Les tests réalisés ont montré que les composites à formulation $C_{118/25}$ et $C_{215/20}$ sont usinables. L'usinabilité concerne le perçage, l'ébavurage et le sciage.

2.3. Caractéristiques physiques de la tuile :

2.3.1. Masse volumique :

Elle s'obtient par l'application de la formule suivante :

$$\rho_{comp} = \frac{m_{comp}}{V_{comp}}$$

Pour déterminer la masse volumique, on utilisera alors les éprouvettes $C_{118/25}$ et $C_{215/20}$.

Notons que le volume des éprouvettes pour les 2 éprouvettes est de :

$$V_{comp} = 60mL$$

Nous obtenons alors les 2 tableaux suivants :

Tableau 45. Masse volumique pour $C_{118/25}$

Échantillon	Masse [g]	Masse volumique [g/cm ³]
N° 1	74	1,23
N° 2	69	1,15
N° 3	71	1,18

La masse volumique pour $C_{118/25}$ est de :

$$\rho_{comp} = 1,19 \text{ g/cm}^3$$

Tableau 46. Masse volumique pour $C_{215/20}$

Échantillon	Masse [g]	Masse volumique [g/cm ³]
N° 1	83	1,38
N° 2	92	1,53
N° 3	95	1,58

Pour $C_{215/20}$, la masse volumique est :

$$\rho_{comp} = 1,50 \text{ g/cm}^3$$

2.3.2. État de surface :

Les surfaces sont brillantes et leurs états de rugosité dépendent entièrement de l'état du moule.

2.3.3. Possibilité de coloration :

Pour les deux formulations, on constate :

Tableau 47. Possibilité de coloration

Formulation	Coloration	
	En masse	En surface
$C_{118/25}$	Possible	Possible
$C_{215/20}$	Impossible	Possible

2.3.4. Test à la flamme :

Les essais réalisés ont montré que le matériau composite obtenu par ces deux formulations prend feu lorsqu'il est mis au contact de la flamme pendant un certain temps.

2.4. Propriété électrique :

Les deux formulations $C_{118/25}$ et $C_{215/20}$ sont des isolants électriques.

2.5. Propriétés chimiques :

Les impacts de l'immersion des plaquettes à formulation $C_{118/25}$ et $C_{215/20}$ pendant une durée de 1 heure sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 48. Résultats de l'immersion dans des produits chimiques

Formulation	Solution de soude à 3 %	Solution d'acide sulfurique à 3 %
$C_{118/25}$	Surface mate	Aucun changement
$C_{215/20}$		

Chapitre 11: Étude socio-économique et environnementale

1. Estimation de devis :

Nous résumerons ci-dessous les différentes estimations pour la fabrication de la presse composite. Pour plus de détails, on se référera à l'annexe 9.

Tableau 49. Récapitulatif des différents devis

N°	Désignation	Montant [Ar]
1- PRESSE		
1-01	Chemise	48 800
1-02	Moule extérieur	14 000
1-03	Levier de compression	46 857,5
1-04	Tube et plateau de compression	20 928,13
1-05	Opération d'usinage	64 800
1-06	Moule intérieur	51 000
1-07	Support	32 500
1-08	Bâti	74 500
1-09	Accessoires	80 600
Main d'œuvre		174 714,25
TOTAL PRESSE		611 499,88
2- EXTRACTION DE FIBRES POUR LA CONFETION D'UNE TUILE		
2-01	Produits	271,5
2-02	Accessoires	500
TOTAL EXTRACTION DE FIBRES		771,5

Tableau 50. Devis pour la confection d'une tuile composite de 18cm x 28cm

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire [Ar]	Montant [Ar]
Résine	Kg	0,3	13 038	3 911,4
Fibre	g	70	-	771,5
Catalyseur	Kg	0,003	25 217	75,65
Total				4758,55

Tableau 51. Évaluation des coûts temporels pour l'extraction de 125 g de fibre

Opération	Durée
Obtention des bâtonnets	1 h
Préparation de la solution	15 min
Immersion	16 h
Extraction manuelle par une personne	4 h
Sous-total	21 h 15

2. Étude sociale :

On va essayer de définir les principaux avantages et méfaits de l'utilisation de la tuile composite par la population.

2.1. Avantages :

On peut citer les avantages suivants pour l'utilisation des tuiles composites :

- ❖ Légèreté du matériau de la couverture réduisant la quantité de matière pour la réalisation de fondation ;
- ❖ Matériaux de couverture paracycloniques.

2.2. Inconvénients :

- ❖ Tuiles relativement onéreuses du fait du coût de la résine ;
- ❖ Utilisation de produits chimiques pour l'extraction ;

3. Impacts positifs et négatifs du projet :

Faire l'Analyse de Cycle de Vie d'une tuile composite renforcée de fibre de bambou est délicate voire impossible pour le moment, puisqu'on ne dispose d'aucune donnée concernant les émissions depuis la fabrication du produit, en passant par son utilisation et se terminant par sa fin de vie, lors du recyclage. C'est pourquoi nous allons nous contenter de faire une étude qualitative sur le sujet.

Et pour se faire, on va se référer aux résultats fournis par GEMIS pour la fabrication d'un panneau de particule et qu'on essaiera d'adapter dans notre cas présent.

Processus utilisé : wood manufacturing\particle board-industrial-wood-DE-2010

Frontière de l'étude : du berceau au portail

On va surtout s'intéresser sur les différents impacts que peut avoir la fabrication du matériau composite durant sa fabrication.

Établissement du système de produits :

On a essayé d'établir le système de produit dans le tableau suivant :

Tableau 52. Système de produits pour la fabrication de tuile composite

INPUT	PROCESSUS DE 2 nd PLAN	PROCESSUS DE 1 ^{er} PLAN	OUTPUT
<p>Ressources naturelles : Bambou, pétrole, sable siliceux, oxyde de fer, cobalt, lac, sel</p> <p>Ressources énergétiques : Pétrole brut</p>	<p>Conversion du pétrole en carburant</p> <p>Fabrication des machines utilisées, équipements de protections, emballages, des produits chimiques</p>	<p>Acquisition de la fibre bambou</p> <p>Transport</p> <p>Fabrication de la tuile composite</p>	<p>Rejets gazeux : CO₂, NO_x, poussières...</p> <p>Rejet liquide : eau usée provenant de l'extraction des fibres</p> <p>Déchets solides : refus de bambou et de matériau composite</p>

Ici, on va s'intéresser principalement aux processus du premier plan, c'est-à-dire aux transformations directes touchant le bambou. On va donc essayer de déterminer les différents effets sur l'environnement. On distingue :

- ✧ Les effets sur le milieu physique et sur l'écosystème ;
- ✧ Les effets sur le milieu vivant.

3.1. Effets sur le milieu physique et sur l'écosystème :

3.1.1. Épuisement de ressources naturelles :

Quoique le bambou provienne de la sylviculture, une mauvaise gestion peut nuire à la population de bambou. Et de plus, comme il a été dit plus haut que la majeure partie des espèces sont endémiques.

3.1.2. Eutrophisation :

Le rejet de la solution de soude dans l'environnement va alcaliniser d'une part les ressources en eau et d'autre part le sol.

3.1.3. Effet de serre :

Le rejet de certains gaz comme le CO₂, CH₄, N₂O dans l'atmosphère va intensifier l'effet de serre naturel consistant à un échauffement de la surface de la Terre. Ces gaz proviennent essentiellement des gaz d'échappement des voitures pour le transport.

3.1.4. Changement climatique :

À la suite à l'effet de la fonte des glaces des deux pôles peut provoquer le changement climatique.

3.1.5. Émissions aériennes :

Ce sont les SO₂, NO_x, HCl, H₂S, NH₃, Pb, styrène provenant surtout des constituants principaux du composite et les poussières de sciage du bambou.

3.2. Effets sur le milieu vivant :

3.2.1. Santé :

Quelques produits vont être si nocifs pour l'homme qu'ils vont toucher directement l'opérateur ou encore les personnes environnantes. Divers modes de contamination peuvent être observés :

✿ Par inhalation : styrène, poussière, soude caustique

On peut citer l'irritation des voies respiratoires.

✿ Par ingestion : soude caustique, polyester, catalyseur, À l'ingestion de ces produits, des problèmes gastro-intestinaux peuvent apparaître.

✿ Par contact :

Les plus sensibles par contact aux produits chimiques sont la peau et les yeux, dont le risque est souvent l'irritation.

3.2.2. Impact visuel :

Il s'agit surtout de l'encombrement provoqué par le stockage des tiges de bambou avant leur utilisation et de la pollution visuelle générée par les refus de bambou et de composite.

Nous obtenons les données suivantes pour un demi-chaume :

Tableau 53. Masse de refus

Masse [g]	Masse de refus [g]
481	131

3.3. Propositions pour l'atténuation des impacts négatifs pour la fabrication de la tuile composite :

3.3.4. Gestion des ressources de bambou :

L'épuisement des ressources bambous peut facilement éviter par une gestion durable d'une sylviculture. En effet, le bambou se génère rapidement parce qu'au bout de 3ans seulement, il est déjà à maturité vu que ces propriétés mécaniques sont optimales.

3.3.5. Gestions des rejets liquides :

Couramment, ces déchets alcalins présentent un moindre risque comparé aux acides. Toutefois, tout déchet doit être neutralisé avant d'être rejeté dans l'environnement. Et en dernier, le lieu de rejet doit être une décharge spécialement conçue.

3.3.6. Gestions des rejets atmosphériques :

Vu qu'on n'a pas à recourir à la combustion, ces produits cités proviennent surtout de la résine, du gel-coat et du catalyseur. Aucune mesure d'atténuation n'est à préconiser si ce n'est la réduction des quantités utilisées pour la mise en œuvre de la tuile.

3.3.7. Gestions des déchets solides :

Deux orientations peuvent être adoptées concernant les déchets solides. Pour l'écorce, vu qu'elle contient majoritairement de la silice, l'emploi comme pouzzolane peut être envisageable. Pour le reste des déchets, ils peuvent être broyés pour constituer des charges organiques dans un matériau composite. Mais des études approfondies doivent être entreprises dans ce sens pour obtenir des résultats conséquents.

3.3.8. Gestions des risques encourus :

Pour parer à tout risque, il convient de porter les Équipements de Protection Individuelle comme le masque, la blouse, la chaussure fermée, la visière, les gants en latex.

4. Rentabilité :

L'utilisation de *Dendrocalamus giganteus* n'est pas bénéfique du fait de la faible compétitivité qu'offre l'espèce. En effet, la culture de ce genre de bambou est difficile parce qu'elle exige quelques conditions pour leurs cultures.

C'est pourquoi des recherches doivent être entreprises dans ce sens afin d'utiliser d'autres espèces nécessitant peu d'exigences pour leur culture.

Conclusion générale

Arrivé au terme de ce travail, on peut conclure que non seulement on peut parfaitement fabriquer une tuile composite dont la matrice est la résine polyester isophthalique et le renfort les fibres de bambou ; mais également que l'on peut incorporer une charge à base de sables siliceux pour abaisser le prix de revient du produit final. Les deux parties sont complémentaires, mais le grand axe de ce mémoire concerne l'étude expérimentale.

Nous avons vu, dans la première partie, les différents outils pour l'élaboration de la tuile composite en passant par la structure du bambou et les moyens pour en extraire les fibres. D'où, on a tiré que le seul moyen dont nous disposons, pour l'extraction a été la voie chimique qui donnerait alors des celluloses II. Nous y avons aussi défini les constituants principaux d'un matériau composite qui est la matrice, le renfort, les charges et les additifs ; ainsi que leurs rôles respectifs. On a aussi établi les différents types de moulage qui dépendait de la nature de la matrice et de la taille des pièces à élaborer. Ensuite, un aperçu sur les toitures a présenté les divers matériaux de couverture en prenant une attention particulière sur les tuiles et ses éléments constitutifs. Enfin, à la fin de cette partie, on a essayé de voir les caractéristiques des cyclones tropicaux en définissant leurs caractéristiques qui sont les rafales.

La deuxième partie traite d'une manière générale des différents éléments utiles à la conception de la tuile. Premièrement, pour le cas des constituants du composite, on a pu voir leurs différents traitements notamment pour les fibres, on a déterminé qu'on pouvait les extraire par des produits à base de soude caustique dont la concentration minimale est de 3 % en masse pour une durée variant entre 8 h et 16 h en fonction de la nature de la paroi qui peut être interne ou externe ; et pour les charges, un broyage plus poussé pour l'obtention d'une granulométrie inférieure à 100µm. Et les essais réalisés ont permis de conclure que c'est le moulage à presse froid qui conviendrait mieux à la mise en œuvre de tel composite. On a alors conçu une presse dont la pression maximale a été estimée à 0,4bar. Dès lors que les

dimensions de la tuile composite et des fixations ont été trouvées par le calcul de la pression dynamique, on a alors procédé à la mise en œuvre pour la recherche des formulations optimales par les essais de flexion à 3 pannes. Essais qui nous ont permis de connaître que le taux de renfort volumique optimal varie entre 18 à 25 % et le taux de charge volumique entre 10 à 15 %. Finalement, l'étude socio-économique et environnementale a montré que l'utilisation de la tuile composite offrirait une multitude d'avantages surtout grâce à ses caractéristiques anticycloniques, mais seulement que le prix pour la mise en œuvre s'est avéré être au-dessus de ceux des matériaux courantes, à raison de 4758,60 Ar l'unité.

Les contraintes et les résultats dans le premier chapitre sont pratiquement escomptés mis à part le coût de fabrication qui est onéreux du fait du prix de la résine. C'est pourquoi d'autres recherches doivent être orientées vers ce sens pour la recherche d'autres liants. Et pour l'industrialisation de la filière, tuile composite renforcée de fibres de bambou, d'autres conceptions ou acquisitions seraient primordiales comme une défibreuse à bambou, une machine à tisser pour faciliter la mise en place du renfort et un broyeur pour la charge.

Bibliographie

[1] RANDRIANARISOA RIJANIAINA Jean Michel

« Viabilité socio-économique et écologique », Mémoire pour l'obtention du DEA, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Département Agro-Management, 2007-2008, 54p

[2] GONDA Louise

« Intensification de la consommation du bambou : solution écologique ou exploitation inquiétante ? L'exemple des matériaux de construction, Mémoire de fin d'étude, Master en Science et Gestion de l'Environnement Finalité Gestion de l'Environnement, 2011-2012, 81p

[3] Hui, Chamao, Yuming, Du, Fan

« China's bambou : Culture/resources/cultivation/utilization », Technical Report N°33, Publication de International Network for Bamboo and Rattan (INBAR), 2010, 156p

[4] RAJAONALISON Fanajamalala ;

« Caractérisation des propriétés physiques des bambous dans la région Antsinanana », Mémoire de fin d'études, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Juillet 2012, 66 p,

[5] Nadia Bystriakova, Valerie Kapos, Igor Lysenko

« Bamboo diversity Africa, Madagascar and the Americas », Publication de International Network for Bamboo and Rattan (INBAR), 2004, 90p

[6] David Farrelly

« The Book of Bamboo », Sierra Club Books. San Francisco, 1984, 354p

[7] Philippe Casanova

« Le bambou : du développement durable à la création d'objets », Eyrolles, 2010, 127p

[8] Bernard N. Kigomo

« Guidelines for Growing Bamboo », KEFRI Guideline Series: No. 4, Kenya Forestry Research Institute, 2007, 58p,

[9] Xiaobo Li

« Physical, chemical, and mechanical properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing », Thèse, The School of Renewable Natural Resources, 2004, 76p,

[10] Hidalgo O., Langlais G.

« Construire en bambou dans les pays en développement », Programme interministériel ; Ministère de l'équipement, du logement, de l'aménagement du territoire et des transports ; Ministère des affaires étrangères-Ministère de la recherche et de l'enseignement supérieure

[11] Anonyme

« Bamboo as a building material », 2002, 16p,

[12] Julius Joseph Antonius Janssen

« Bambou in building structures », 1981, 235p

[13] Anonyme

« Proceedings of International Workshop on Bamboo Industrial Utilization », International Network for Bamboo and Rattan, 2003, 179p,

[14] A. RASKIN

« Les résines composites », Société Francophone de Biomatériaux Dentaires, 2009-2010, 37p

[15] Bryan Harris

« Engineering Composite Materials », The Institute of Materials, London, 1999, 195p

[16] Stéphanie Gaston

« Les Matériaux composites dans tous leurs états », Revue, Technologie 165, 2010, 8-14p

[17] WEISS Jean

« Les Matériaux composites : Structure - Constituants - Fabrication », Volume 1, Paris CETIM, 1991, 596p

[18] R. Bourgeois, H. Chauvel, J. Kessler

« Memotech génie des matériaux : fonderie, forge, plastique, composites, céramiques, verre », EL educalivre, 2001, 528p

[19] CÔTE Christian

« Les matériaux composites : La chimie des plastiques », L'institut Maritime du Québec, Département de l'Architecture Navale, Mars 2003, 26p
Pdf : La-Chimie-Des Plastiques

[20] FATOME Emilie

« Formulations de nanocomposites hautes performances pour revêtements coil-coating : optimisation des interactions nanocharges-matrices », Thèse, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Mai 2007, 269p

[21] NTENGA Richard

« Modélisation multi-échelles et caractérisation de l'anisotropie élastique de fibres végétales pour le renforcement de matériaux composites », Thèse en cotutelle, Université de Yaoundé I (UYI) – Ecole Nationale Supérieure Polytechnique (ENSP), 2007, 172p

[22] Michel Dupeux

« Aide-Mémoire Science des Matériaux », Dunod, IUT 1^{er} cycle/Licence 2^e cycle/Master Ecoles d'ingénieurs, 2005, 331p

[23] Jordi Reguant, Marguerite Rinaudo

« Étude bibliographique sur les matériaux issus de la biomasse végétale », Centre National de la Recherche Scientifique, 1998-1999, 151p

[24] Saira Taj, Manuwar Ali Manuwar, and Shafiullah Khan

« Natural fiber-reinforced polymer composites », Review, 2007, 129-144p

[25] Boumerdassi Karima

« Élaboration et Caractérisation d'un composite Biodégradable à Matrice Thermoplastique et Renfort Polyssaccharides », Mémoire pour l'obtention de titre de magister, Université M'hamed BOUGARA de BOUMERDES, Algérie, 2007/2008, 93p

[26] LE DIGABEL Fédérique– HOULIER

« Incorporation de co-produits de paille de blé dans des matrices thermoplastiques : approche de la compatibilité charge-matrice et propriétés des composites », Thèse de Doctorat, Université de Reims Champagne-Ardenne, 2004, 171p

[27] ROUDIER Agnès

« Analyse multi-échelle du comportement hygro-mécanique des fibres de lin », Thèse de Doctorat, Université BLAISE PASCAL-Clermont II Ecole Doctorale Sciences pour l'Ingénieur de Clermont-Ferrand, 2012, 189p,

[28] DO THI Vi Vi

« Matériaux composites fibres naturelles/polymère biodégradables ou non », Thèse de Doctorat, Matériaux Polymères et Composites, Université de Grenoble et de l'Université des Sciences de Hochiminh Ville, 2011, 182p,

[29] THIEBAUD Sophie

« Valorisation chimique de composés lignocellulosiques : obtention de nouveaux matériaux », Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, Sciences des Agroressources, 1995, 198p,

[30] Nguyen Tien Phong

« Study on How to Effectively Extract Bamboo Fibers from Raw Bamboo and Wastewater Treatment », Journal of Materials Science Research, 2012, 144–155p

[31] Dagang Liu, Tuhua Zhong, Peter R. Chang, Kaifu Li, Qinglin Wu

« Starch composites reinforced by bamboo cellulosic crystals », Bioresource Technology, 2009, 8p

[32] RAKOTOMANANTSOA Mamy Delphin

« Étude pratique pour la production artisanale du verre à Madagascar », Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur Matériaux, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Avril 2011, 114p

Webographie

[A] <http://www.madagascar-tribune.com/Des-madriers-en-bambou,2290.html>

Date de consultation : 27 Août 2013

[B] http://bamboo-project.net/index.php?p=actu_det&id_actu=7&idcat=14

Date de consultation : 26 Août 2013

[C] Radio RFI

Date : 20 Décembre 2013

[D] <http://fr.scribd.com/doc/118966917/Systematique-des-Angiospermes>

Date de consultation : 16 Novembre 2013

[E] <http://bamboo.org/bamboo-info.php>

Date de consultation : 2 Août 2013

[F] <http://agir.avec.madagascar.over-blog.com/article-filiere-bambou-bientot-une-grande-exposition-110116725.html>

Date de consultation : 27 Août 2013

[G]

http://www.sheltercentre.org/sites/default/files/CON_BambooSchoolBuilding_INBAR.pdf

Date de consultation: 16 Novembre 2013

[H] [www.inbar.int/downloads/inbar pr 03 1.pdf](http://www.inbar.int/downloads/inbar_pr_03_1.pdf)

Date de consultation: 16 Novembre 2013

[I] <http://www.fao.org/docrep/x5390f/x5390f05.htm>

Date de consultation : 17 Juillet 2013

[J] <http://librarii.org/spip.php?article35>

Date de consultation : 26 Août 2013

[K] http://voile.cvpa.free.fr/ressources/construction_opti/42_moulage_polyester.pdf

Date de consultation : 20 Novembre 2013

[L] **Prof. Rafic YOUNES**

« Matériaux Composites », Master Mécanique 3M, 20p

Type : pdf

[M]

http://starpsi.free.fr/TIPE/ressources_tipe/Bo%E%Ete%20%E0%20id%E9e/Mat%E9riaux/composites/cours%20%20mat%20comp%20nadia%20bahouli.pdf

Date de consultation : 16 Novembre 2013

[N] **CANARD Pierre**

« Polyesters insaturés », Technique de l'ingénieur, A 3 445, 17p

Type : pdf

[O]

http://www.researchgate.net/publication/252916893_PERSPECTIVES_ON_THE_PERFORMANCE_OF_NATURAL_PLANT_FIBRES

Date de consultation: 22 Novembre 2013

[P] [http://mechatronics.ptwit.ac.th/seksan/5thLEM21/data/pdf/\[D25\]031_21-02_Taniguchi.pdf](http://mechatronics.ptwit.ac.th/seksan/5thLEM21/data/pdf/[D25]031_21-02_Taniguchi.pdf)

Date de consultation: 03 Décembre 2013

[Q] http://www.parcosanrosso.org/sites/default/files/progetto-bambou-itt/Outil24_La_Charpente.pdf

Date de consultation : 17 Novembre 2013

[R] <http://mtptc.gouv.ht/media/upload/doc/publications/GUIDE-RENFORCEMENT.pdf>

Date de consultation : 23 Novembre 2013

[S] http://french.news.cn/afrique/2012-02/18/c_131418117.htm

Date de consultation : 24 Octobre 2013

[T] <http://www.refer.mg/cop/refmada/cyclone.html>

Date de consultation : 27 Septembre 2013

[U] <http://www.firinga.com/systeme-ivan.html>

Date de consultation : 03 Novembre 2013

[V] Donnée Météorologique de la Station d'Ampanomby

Acquis le : 24 Octobre 2013

[W] <http://www.madagate.com/madagascar-informations-politiques-malagasy-photos-madagascar/a-la-une-de-madagascar/madagate-video-et-affiche/2219-meteorologie-ocean-indien-kuena-sevapore-au-nord-de-madagascar.html>

Date de consultation : 24 Octobre 2013

[X] Règles pour constructions paracycloniques

http://www.arm.mg/arm/textes_et_lois/normes_para_cycloniques/Regles%20paracyclonique%20Madagascar.pdf

Date de consultation : 07 Octobre 2013

[Y] http://paolo.vannucci.free.fr/optimisation_composites.pdf

Date de consultation :

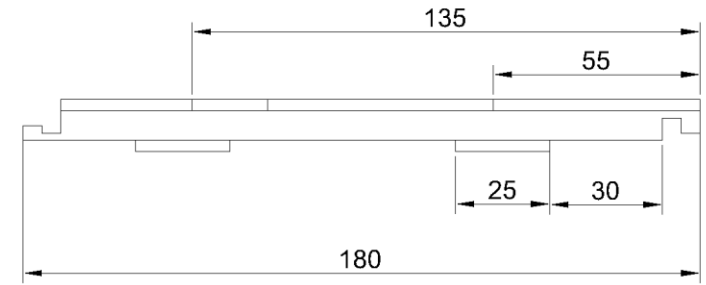
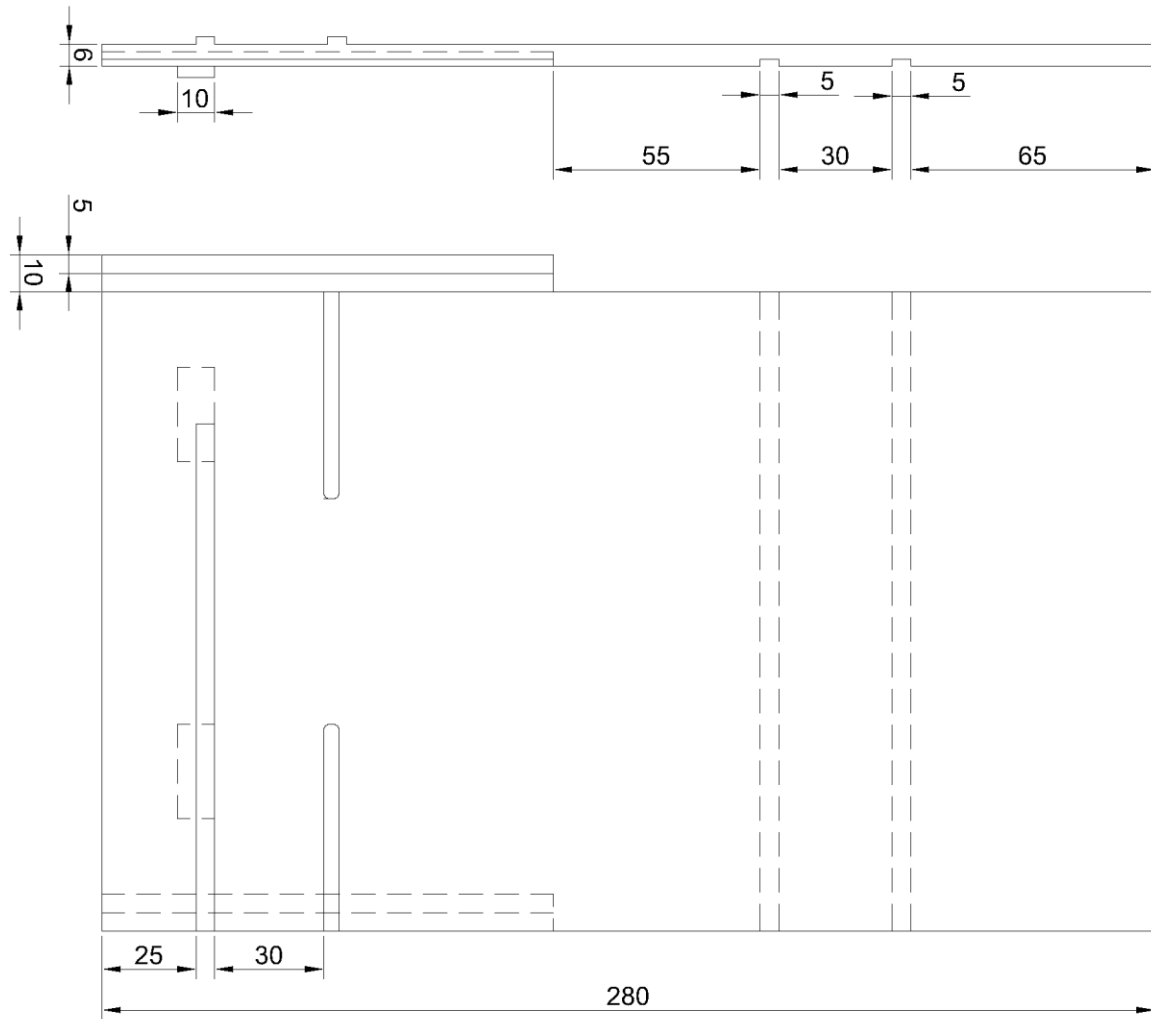
[Z] **Anonyme**

« Eurocode 1 : Actions sur les structures, partie 1-4 : Actions du vent », page

Type : Pdf

Annexe

Annexe 1. Dessins



TUILE COMPOSITE

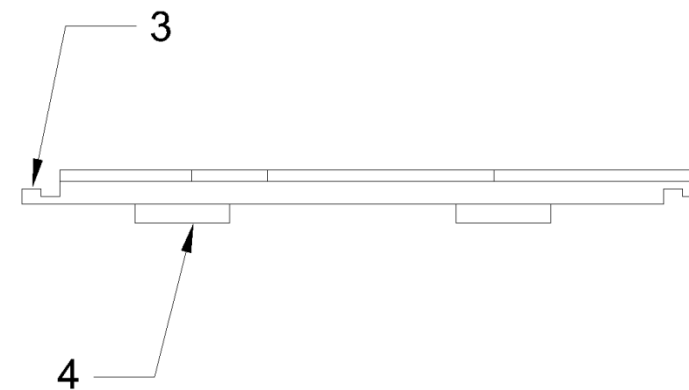
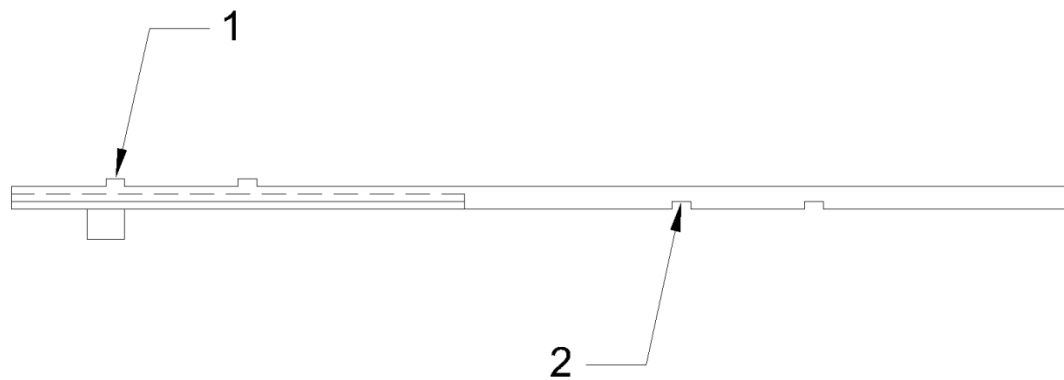
Echelle: 1:2

E.S.P.A

Kelly



07/04/2014



4	Tenon
3	Nervure
2	Cannelure
1	Nervure
Repère	Désignation

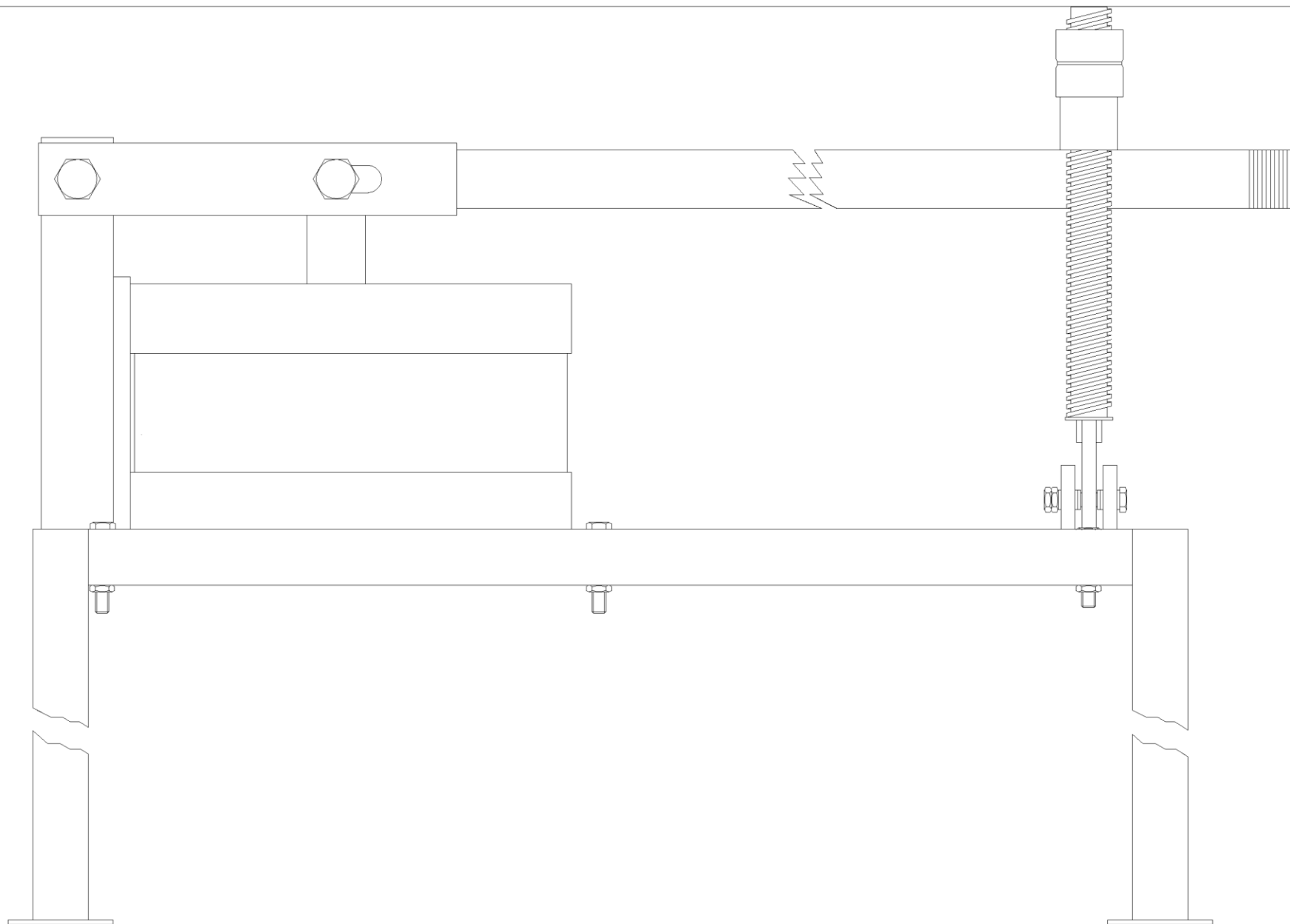
ELEMENTS DE LA TUILE COMPOSITE

Echelle: 1:2 E.S.P.A

Kelly



06/03/2014



PRESSE A BRAS DE LEVIER

Echelle: 1:4

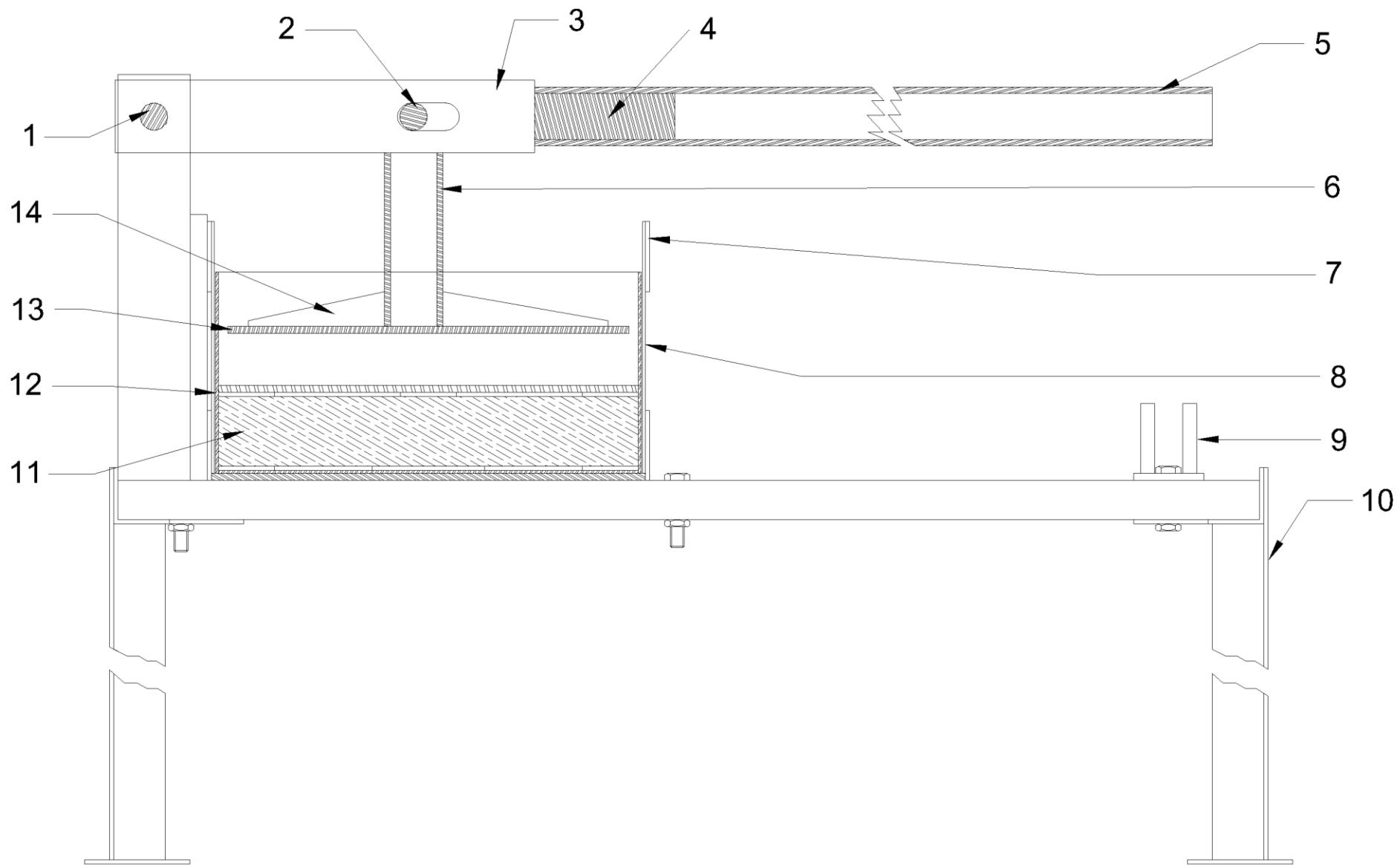
E.S.P.A

Kelly



07/04/2014

P.01



ELEMENTS DE LA PRESSE A BRAS DE LEVIER

Echelle: 1:4

E.S.P.A

Kelly



07/04/2014

P.02

1	Pivot
2	Axe du tube de compression
3	Levier de compression
4	Renfort de la rallonge
5	Rallonge du levier
6	Tube de compression
7	Renfort de la chemise
8	Chemise
9	Support pour le blocage
10	Table
11	Support moule intérieur
12	Moule extérieur
13	Plateau de compression
14	Nervure
Repère	Désignation

DESIGNATION DE LA PRESSE

Echelle: 1:4

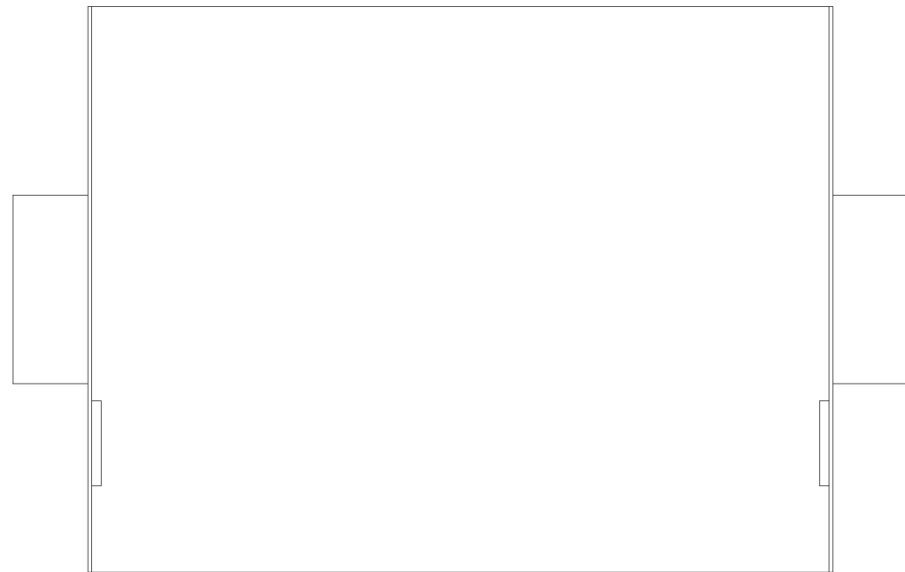
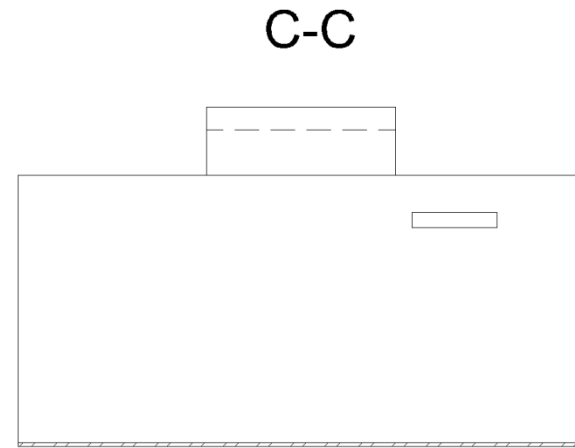
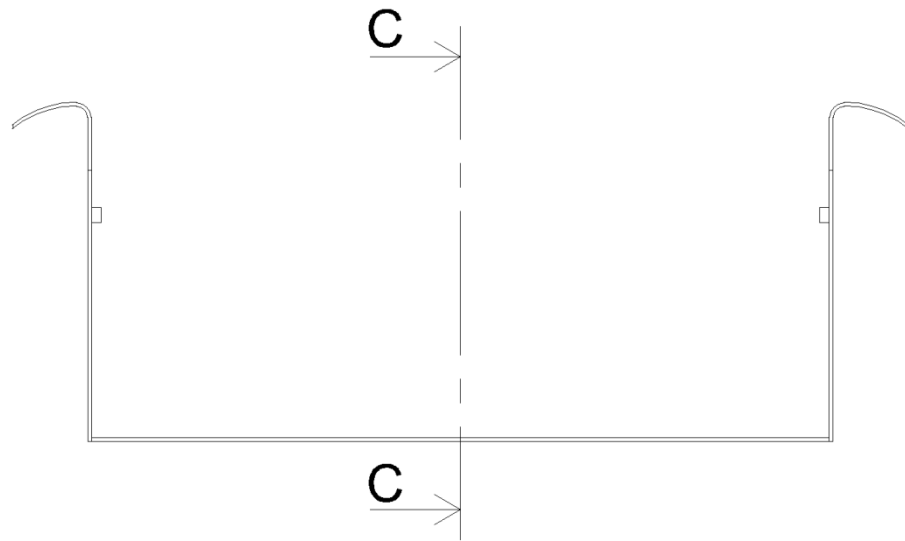
E.S.P.A

Kelly



07/04/2014

P.03



MOULE EXTERIEUR

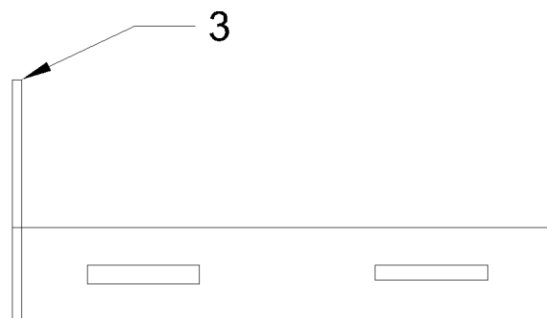
Echelle: 1:4 E.S.P.A

Kelly

07/04/2014

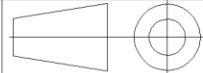


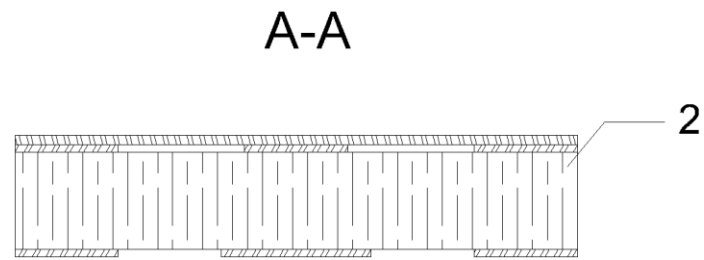
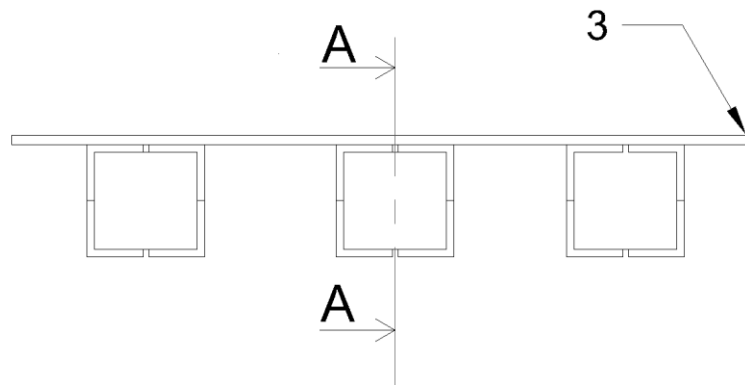
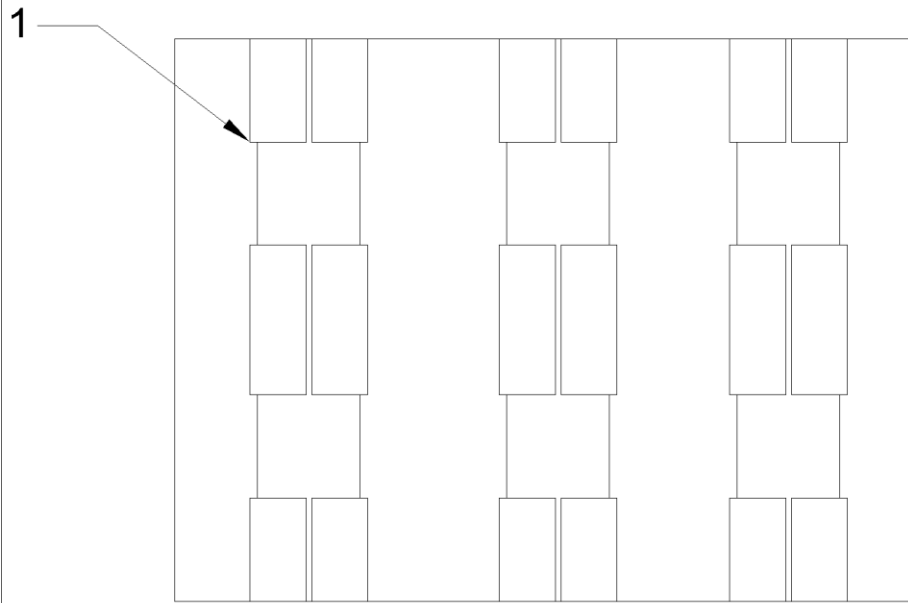
B-B



3	Guide
2	Cale 2
1	Cale 1
Repère	Désignation

CADRE DU MOULE INTERIEUR

Echelle: 1:4	E.S.P.A
Kelly	
07/04/2014	P.01



3	Plateau
2	Bois carré
1	Cornière
Repère	Désignation

SUPPORT DU MOULE INTERIEUR

Echelle: 1:4 E.S.P.A

Kelly



07/04/2014

Annexe 2. Mode de culture du bambou

Propagation par des organes végétatifs :

- ✦ De bonnes boutures sont obtenues sur des chaumes âgés de 2 à 3ans ;
- ✦ Deux nœuds ou trois nœuds sont alors préparés à partir des chaumes coupés. Les coupes devraient être faites en laissant un espace de 5-7cm à partir des nœuds. Un couteau de coupe ou une scie est nécessaire pour les bambous à paroi mince ;
- ✦ Les meilleures boutures sont généralement celles qui sont obtenues à partir de la partie inférieure qui est plus épaisse et a la capacité de produire des racines et des pousses. Donc, il est difficile de réaliser l'enracinement ainsi que la croissance, en utilisant des boutures issues de la partie supérieure qui ont une paroi mince ;
- ✦ Il est essentiel que les coupes aient des bourgeons sur les nœuds de chaume ou des bourgeons sur les ramuscules. Toutes les branches et feuilles de la coupe devraient être découpées vers le bas au premier ou deuxième nœud de branche ;
- ✦ Les parties coupées devraient alors être enterrées horizontalement à 6-10cm sur une pépinière contenant un mélange de sol et de sable. Les bourgeons sur les nœuds devraient toujours être placés vers le haut ou latéralement, mais jamais vers le bas ;

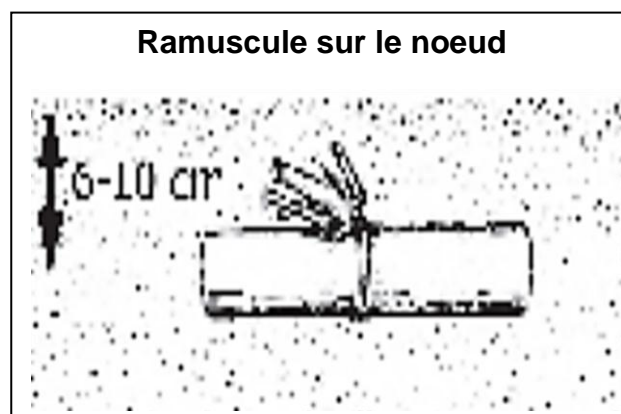
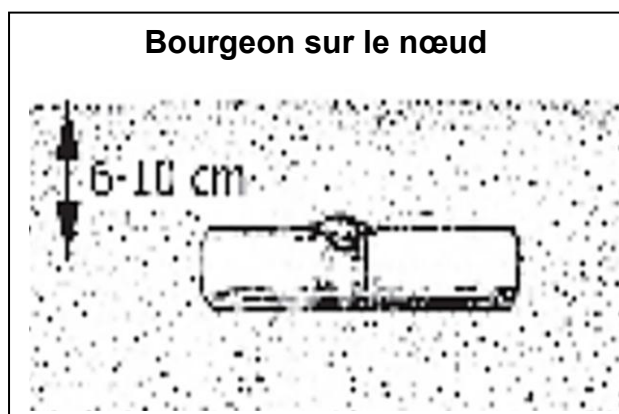


Figure. Bouture à deux nœuds

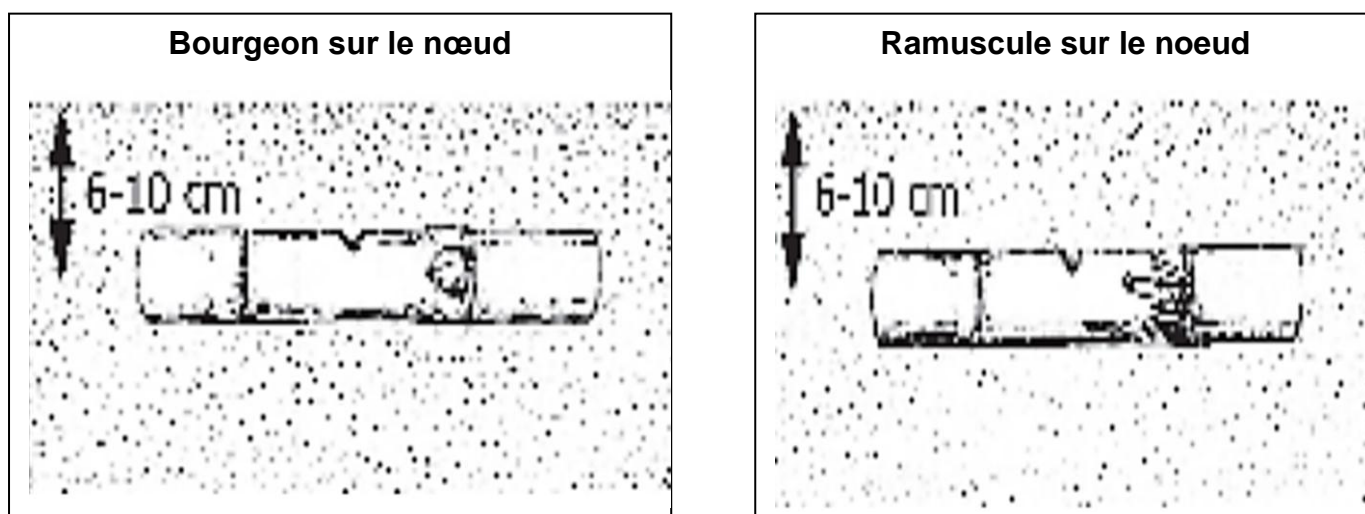
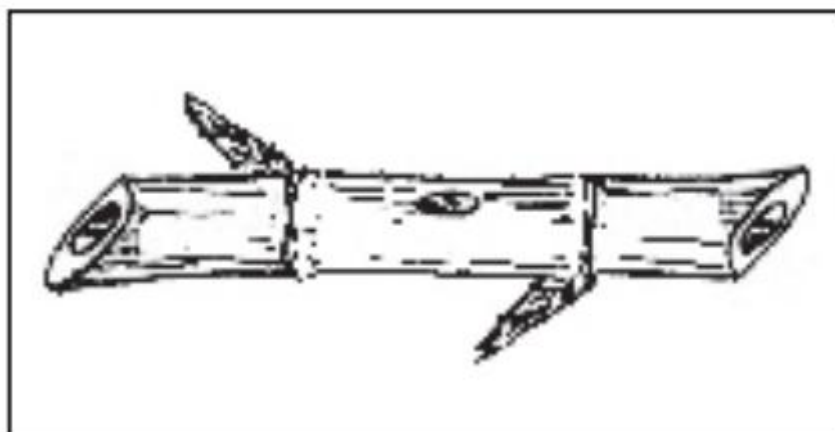


Figure. Bouture à trois nœuds

- ⤴ Il est difficile de multiplier le *Dendrocalamus giganteus* et le *Dendrocalamus brandisii* par les boutures.
- ⤴ Par contre, le bouturage par des chaumes coupés convient parfaitement à quelques espèces comme le *Dendrocalamus hamiltonii* et le *Bambusa vulgaris*. Les boutures sont partiellement enterrées avec un nœud dans le sol dans une position inclinée ;
- ⤴ L'aptitude à l'enracinement et la germination peuvent être grandement améliorées par des traitements. Pour se faire, une ouverture de 2cm de long et 1cm de profondeur est pratiquée au centre de l'entre-nœud ;



- ✧ Le traitement le plus recommandé pour l'induction des racines est l'emploi de l'acide acétique 1-Naphtalène. Ce dernier est préparé en dissolvant 10g d'acide acétique 1-Naphtalène dans 250ml d'alcool éthyle à 95% contenu dans un récipient et en remuant le tout lentement. La solution est versée dans un récipient propre et de l'eau est ajoutée jusqu'à obtenir un volume de 100litres. Remuer parfaitement pour optimiser le mélange. La concentration finale sera de 100mg/L ou 100ppm. Le volume indiqué suffira largement à traiter 1000boutures ;
- ✧ Verser 100mL de la solution dans l'ouverture pratiquée sur la bouture en utilisant une bouteille propre. Le traitement doit être réalisé le plus tôt possible, le même jour serait le plus indiqué. Mais dans le cas où les conditions ne le permettraient pas, les boutures peuvent être placées dans des sciures humides pour une durée n'excédant pas 3 jours ;
- ✧ Refermer le trou par enveloppement et ficelage à l'aide d'une bande en polyéthylène ;
- ✧ Les boutures traitées sont placées à 1m de profondeur dans une pépinière remplie d'un mélange de sol et de sable. Il est conseillé de les disposer horizontalement et le trou orienté vers le haut ;
- ✧ Une semaine avant la plantation, la pépinière doit être traitée par un insecticide et un fongicide pour prévenir l'action des termites et des champignons.

Marcottage :

- ✧ Faire fléchir un chaume d'un an d'âge, on veillera particulièrement à tailler les branches à une longueur de 2,5cm et à ne pas endommager les jeunes bourgeons ;
- ✧ Les préparations sont les suivantes :
 - le sol pour le marcottage est constitué de la terre et des feuilles ;
 - chaque nœud est enveloppé de fibres de coco ou autres.

Annexe 3. Quelques considérations sur la coupe du bambou

Saison de coupe :

- ✦ Il est préférable de procéder à la récolte du bambou durant la saison sèche, moment où la faible teneur en humidité limite l'attaque des champignons ;
- ✦ La saison des pluies est peu recommandable pour la coupe contrairement à l'hiver ;

Méthodes :

- ✦ Coupez les chaumes 20 à 30cm au-dessus du sol ou après le premier nœud ;
- ✦ Après la coupe, laissez le chaume dans la même position, c'est-à-dire verticale pendant environ 2 à 3 semaines à l'aide d'arbre, de pierre ou encore le bambou voisin ; contribuant ainsi à la diminution la teneur en amidon ;
- ✦ Utilisez des outils bien aiguisés pour éviter les dommages sur la peau du bambou ;

Transport :

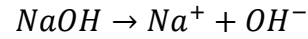
- ✦ Coupez le bambou en morceaux de 4m de longueur pour faciliter le transport ; mais la longueur peut varier en fonction des conditions ;
- ✦ Faire un paquet de 10 morceaux ;
- ✦ Attachez-les en utilisant la latte de corde ou de bambou ;

Séchage :

- ✦ Nettoyez le sol où les chaumes vont être entreposés ;
- ✦ Si possible, pulvérisez la terre avec l'eau de chaux ou d'autres pesticides ;
- ✦ Abritez le lieu d'entreposage pour protéger les chaumes contre la pluie et d'autres humidités atmosphériques ;
- ✦ Maintenez le bambou pendant 2 à 3 semaines dans la position verticale avec le soutien des arbres ou d'autres appuis.

*Annexe 4. Calcul de la masse de soluté pour la préparation d'une
solution de concentration C_m :*

Soit la réaction :



On a la formule suivante :

$$C_m = \frac{m_{NaOH}}{V}$$

$$m_{NaOH} = C_m \cdot V$$

Comme la soude utilisée est pure à 99%, la masse de soude à verser doit être
alors :

$$m_{réel} = m_{NaOH} * 1,1$$

$$m_{réel} = 1,1C_m \cdot V \text{ [A3]}$$

Annexe 5. Données des vents de la région de Toamasina

Tableau. Vitesses maximales des vents en km/h de Toamasina

		JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC
1991	Vitesse	65	61	43	40	43	50	50	36	25	29	29	54
	Date	4	15	27	15	6	17	17	12	4	2	24	6
1992	Vitesse	32	58	36	36	36	43	43	40	32	43	47	47
	Date	2	11	1	5	9	8	14	4	2	30	27	26
1993	Vitesse	54	47	43	50	86	61	61	54	58	58	43	40
	Date	19	8	14	14	19	26	15	24	1	3	9	16
1994	Vitesse	58	119	79	47	58	50	54	47	47	32	54	47
	Date	7	2	15	26	16	11	30	24	3	2	3	3
1995	Vitesse	61	40	50	54	43	43	50	54	43	32	47	50
	Date	6	24	5	7	2	13	12	15	29	6	27	9
1996	Vitesse	216	90	50	50	43	47		47	54	43	43	47
	Date	11	6	30	5	14	22		5	17	16	30	7
1997	Vitesse	58	54	47	50	47	40	61	50	47	54	40	36
	Date	5	9	7	15	17	30	7	10	27	29	2	15
1998	Vitesse					36	72	40	47	50	32	43	32
	Date					28	30	1	27	12	11	20	6
1999	Vitesse	40	32	47	47	36	50	65	43	43	40	36	29
	Date	9	11	10	2	18	27	24	15	4	5	22	31
2000	Vitesse	61	50	97	54	40	43	86	50	65	43	40	
	Date	29	29	2	2	1	3	1	16	16	30	20	
2001	Vitesse	79	58	108	90	83	65	108	83	94	68	86	76
	Date	1	2	13	5	29	24	31	1	15	15	28	13
2002	Vitesse	216	58	72	65	72	58	76	72	83	72	68	79
	Date	2	7	24	8	15	3	31	8	14	9	27	1
2003	Vitesse	86	40	47	58	47	50	50	65	90	72	76	90
	Date	1	13	10	25	6	21	5	22	14	11	13	19
2004	Vitesse	47	58	79	40	43	47	43	40	40	36	43	43
	Date	21	4	7	25	1	3	15	30	14	9	4	11
2005	Vitesse	54	58	65	47	47	36	43	47	47	36	43	47
	Date	7	13	21	8	22	12	10	30	15	14	11	31
2006	Vitesse	50	43	43	36	40	50	43	14	43	40	36	40
	Date	22	19	4	4	2	27	12	19	8	8	17	25
2007	Vitesse	54	76	65	47	40	32	40	43	36	36	32	43
	Date	15	26	16	2	2	3	4	6	27	27	8	4
2008	Vitesse	32	61	61	47	58	58	50	43		36	40	
	Date	5	17	24	11	24	16	14	19		10	19	

Annexe 6. Calcul de la pression dynamique

1. Vitesse moyenne du vent : $V_m(z)$

On a :

$$V_m(z) = C_r(z) \cdot C_0(z) \cdot V_b \quad [F1]$$

$$C_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad [F2] \quad \text{pour } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0II}}\right)^{0,07} \quad [F3]$$

Où :

$C_r(z)$: coefficient de rugosité ;

$C_0(z)$: coefficient d'orographie ;

V_b : vitesse de référence du vent.

z : hauteur au-dessus du sol ;

z_0 : longueur de rugosité fonction de la catégorie du terrain ;

z_{0II} : longueur de rugosité pour terrain de catégorie II ;

z_{min} : hauteur minimale fonction de la catégorie du terrain ;

k_r : facteur de terrain

On classe la mer ou zone côtière exposée aux vents de la mer comme un terrain de catégorie 0,

$$z_0 = 0,005m \text{ et } z_{min} = 1m \text{ et } z_{0II} = 0,05m$$

Et :

$$C_0(z) = 1$$

Application numérique :

$$k_r = 0,162$$

$$C_r(z) = 1,195$$

Donc :

$$V_m(z) = 119,5m/s \quad (1)$$

2. Pression dynamique de pointe : $q_p(z)$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_V(z)] \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_m^2 \quad [F4]$$

$$I_V(z) = \frac{k_1}{C_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad [F5] \quad \text{pour } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

Site plat ou orographie constituée d'obstacles bien individualisés

$$k_1 = 1 - 2 \cdot 10^{-4} (\log(z_0) + 3)^6 \quad [F6]$$

En portant [F6] dans [F7] :

$$I_V(z) = \frac{1 - 2 \cdot 10^{-4} (\log(z_0) + 3)^6}{C_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad [F7] \quad \text{pour } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

ρ : masse volumique de l'air ; $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$;

$I_V(z)$: intensité de la turbulence ;

k_1 : coefficient de turbulence ;

A.N :

$$I_V(z) = 0,136$$

$$q_p(z) = 17074 \text{ N/m}^2$$

3. Pression dynamique sur les surfaces :

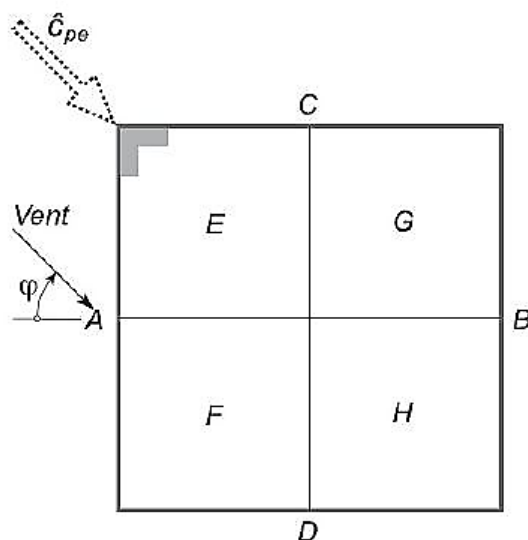


Figure. Surfaces des toitures sous l'action de vent

$$W = q_p(z) \cdot \widehat{C}_{pe}$$

\widehat{C}_{pe} : Coefficients pour le calcul des pressions maximales qui peuvent agir pendant une courte durée sur des zones sensibles d'une construction (tuiles et leur fixation)

On a : [VII]

$$\widehat{C}_{pe} = -2$$

A.N :

$$W = -34\,148\text{N/m}^2$$

Pour une surface de 1m^2 , la force du vent est alors :

$$F_{vent} = -34\,148\text{N}$$

Annexe 7. Calcul pour la conception de la presse

On connaît :

$$F_O = 4810N$$

$$R = 4310N$$

1. Calcul de la fente du levier de compression l_{fente} :

On a :

$$l_{moule_{int}} - l_{moule} = 44$$

$$l_{moule_{ext}} - l_{moule_{int}} = 46$$

$$l_{moule_{ext}} - rainure = 39$$

$l_{moule_{ext}} - l_{moule_{int}}$: distance entre le moule extérieur et le moule intérieur

$l_{chem} - l_{moule_{ext}}$: distance entre le haut de la chemise et le moule extérieur

$l_{chem} - rainure$: distance entre le haut de la chemise et de la rainure

⤴ La longueur du tube de compression :

$$l_{tube} = 44 + 46 + 39$$

$$l_{tube} = 125mm$$

⤴ Hauteur nécessaire à dégager h_{deg} :

$$l_{moule_{int}} - l_{moule} = 44$$

$$l_{moule_{ext}} - l_{moule_{int}} = 46$$

De plus :

$$l_{moule_{ut}} = e_{plateau} + e_{béton} + e_{moule_{inférieur}}$$

$$l_{moule_{ut}} = e_{plateau} + e_{béton} + e_{moule_{inférieur}}$$

$l_{moule_{ut}}$: longueur du moule à dégager

$$l_{moule_{ut}} = 28 + 15$$

$$l_{moule_{ut}} = 43mm$$

Donc :

$$h_{deg} = 44 + 46 + 43$$

$$h_{deg} = 133mm$$

$$L_1 = 185mm$$

♣ Angle de dégagement α :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h_{deg}}{L_1}$$

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{133}{185} \right)$$

$$\alpha = 36^\circ$$

♣ Longueur L_{2max} :

$$\cos \alpha = \frac{185}{L_2}$$

$$L_{2max} = \frac{185}{\cos \alpha}$$

$$L_{2max} = \frac{185}{\cos 36}$$

$$L_{2max} = 228,6mm$$

$$L_{2max} \sim 229mm$$

♣ Longueur de la rainure L_{fente} :

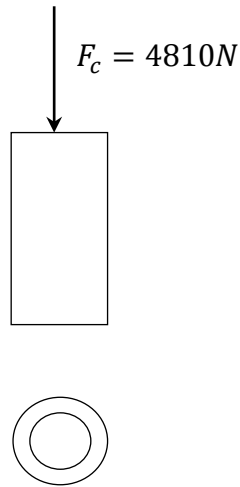
$$L_{fente} = L_{2max} - L_1$$

$$L_{fente} = 229 - 185$$

$$L_{fente} = 44mm$$

2. Dimensionnement du système de compression :

✦ Calcul de l'épaisseur du tube de compression e :



En adoptant les valeurs suivantes :

$$d_{ext} = 0,042m$$

$$\sigma_{adm} = 10^8 Pa$$

$$\sigma \leq \sigma_{adm}$$

$$\frac{F_c}{S} \leq 10^8 \quad (1)$$

La section S s'exprime encore :

$$S = \frac{\pi}{4} d_{ext}^2 - \frac{\pi}{4} (d_{ext} - 2e)^2$$

$$S = \frac{\pi}{4} (d_{ext}^2 - d_{ext}^2 + 4e \cdot d_{ext} - 4e^2)$$

$$S = \pi \cdot (e \cdot d_{ext} - e^2) \quad (2)$$

σ_{adm} : contrainte admissible

d_{ext} : diamètre extérieur du tube de compression

e : épaisseur du tube du tube de compression

En portant (2) dans (1) :

$$\frac{F_c}{\pi \cdot (e \cdot d_{ext} - e^2)} \leq 10^8$$

$$\frac{F_c}{\pi \cdot 10^8} \leq e \cdot d_{ext} - e^2$$

$$-e^2 + e \cdot d_{ext} - \frac{F_c}{\pi \cdot 10^8} \geq 0$$

$$e^2 - 0,042e + \frac{4810}{\pi \cdot 10^8} \leq 0$$

$$e^2 - 0,042e + 1,53 \cdot 10^{-5} \leq 0$$

En résolvant l'équation $e^2 - 0,042e + 1,53 \cdot 10^{-5} = 0$, on trouve :

$$e = 0,36mm \text{ ou } e = 41,6mm$$

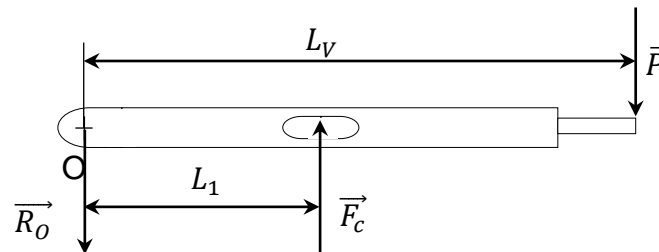
$f(e)$	0,4		41,		
$e^2 - 0,042e + 1,53 \cdot 10^{-5}$	+	⊙	-	⊙	+

Soit la solution :

$$e = [0,4 \text{ mm}; 41,6mm]$$

▲ Le diamètre du pivot d_0 :

Calculons maintenant le diamètre du pivot en O :



L_V : longueur du levier de compression ;

R_O : réaction du pivot ;

F_c : force de compression ;

P : force de l'opérateur ;

R_{eg} : limite d'élasticité au glissement ;

L'axe en O est soumis à un cisaillement avec deux sections cisillées.

$$\tau \leq R_{eg}$$

$$\frac{R_0}{2 \cdot \pi \cdot \frac{d_0^2}{4}} \leq R_{eg}$$

$$\frac{R_0}{2 \cdot \pi \cdot \frac{d_0^2}{4}} \leq R_{eg}$$

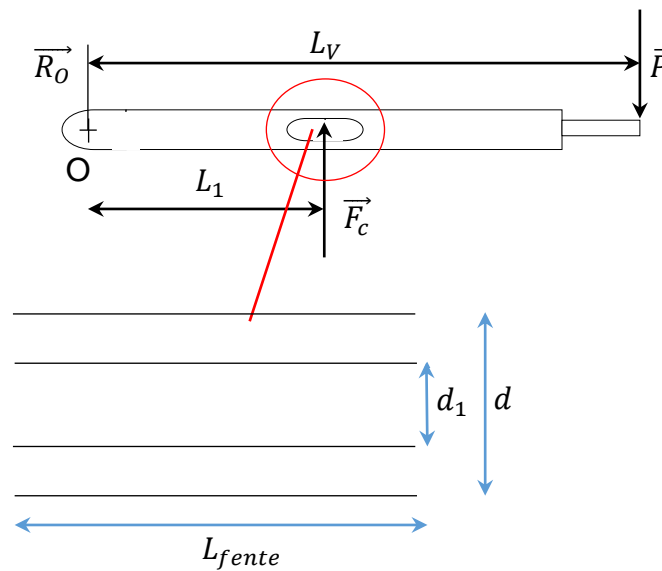
$$\pi \cdot \frac{d_0^2}{2} \geq \frac{R_0}{R_{eg}} \quad \text{avec } R_{eg} = \frac{R_e}{2} = \frac{\sigma_{adm}}{2}$$

$$d_0 \geq \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{R_0}{\sigma_{adm}}}$$

$$d_0 \geq \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{4300}{10^8}}$$

$$d_0 \geq 7,3mm$$

⤴ La rainure du levier de compression d :



$$L_{fente} = 44mm$$

d_1 : diamètre de l'axe du tube de compression

d : épaisseur de la rainure

- Calcul du moment maximal M_{max} :

$$M_{max} = 500. (1,78 - 0,185)$$

$$M_{max} = 797,5N.m$$

- Calcul de la dimension d :

$$\sigma = \frac{M \cdot \frac{d}{2}}{\frac{L_{fente}}{12} \cdot (d^3 - d_1^3)}$$

$$\sigma = \frac{6M \cdot d}{L_{fente} \cdot (d^3 - d_1^3)}$$

$$d^3 - \frac{6M \cdot d}{L_{fente} \cdot \sigma} = d_1^3$$

$$d^3 - \frac{6 \cdot 797,5}{0,044 \cdot 10^8} d = 0,02^3$$

$$d^3 - 1,08 \cdot 10^{-3} d = 8 \cdot 10^{-6}$$

$$d(d^2 - 1,08 \cdot 10^{-3}) = 8 \cdot 10^{-6}$$

$$d = 8 \cdot 10^{-6} mm \quad \text{ou} \quad d^2 - 1,08 \cdot 10^{-3} = 8 \cdot 10^{-6}$$

$$d^2 = 8 \cdot 10^{-6} + 1,08 \cdot 10^{-3}$$

$$d = 0,033m$$

$$d = 33mm$$

$d = 33mm$ constitue une solution de l'équation, car $d > d_1$.

Annexe 8. Détermination de la contrainte à la rupture en flexion

On a l'expression de la contrainte à la rupture :

$$\sigma = \frac{M_z \cdot y_{max}}{I_z}$$

Or :

$$M_z(x = L/2) = \frac{F}{2}x \text{ et } y_{max} = \frac{h}{2} \text{ et } I_z = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$M_z(x)$: moment fléchissant autour de l'axe z ;

I_z : moment d'inertie ;

b : largeur de l'éprouvette ;

h : épaisseur de l'éprouvette ;

L : distance entre les deux appuis ;

F : charge

Donc :

$$\sigma = \frac{3}{2} \cdot \frac{F \cdot L}{b \cdot h^2}$$

Annexe 9. Détails des prix pour la réalisation de la presse

Tableau. Devis pour la réalisation de la presse

Désignation	Caractéristique	Unité	Quantité utilisée	Quantité adoptée	Prix unitaire [Ar]	Montant [Ar]
01-CHEMISE						
<ul style="list-style-type: none"> • Frontale : nombre 2 de 180 x 400 • Latérale : nombre 2 de 180 x 300 	Tôle 20/10 ^e de dimensions 200 x 300	U	2,4 1,8	4,5	4 000	18 000
• Fond : Nombre 1 de 300 x 400	Tôle 50/10 ^e de dimensions 300 x 400	U	-	1	16 000	16 000
<ul style="list-style-type: none"> • Renfort frontal : <ul style="list-style-type: none"> ➤ Nombre 2 de 40 x 400 ➤ Nombre 2 de 40 x 100 • Renfort latéral : <ul style="list-style-type: none"> ➤ Nombre 2 de 40 x 300 ➤ Nombre 2 de 40 x 100 	Tôle 20/10 ^e de dimensions 200 x 300	U	0,53 0,13 0,4 0,13	1,2	4 000	4 800
<ul style="list-style-type: none"> • Pivot : nombre 2 de 50 x 280 • Renfort pivot : nombre 1 de 50 x 180 	Tôle 120/10 ^e de dimensions 50 x 300	U	1,86 0,6	2,5	4 000	10 000
TOTAL CHEMISE						48 800
02-MOULE EXTÉRIEUR						
<ul style="list-style-type: none"> • Fond : Nombre 1 de 300 x 400 • Latérale : nombre 2 de 140 x 300 	Tôle 20/10 ^e de dimensions 200 x 300	U	2 1,4	3,5	4 000	14 000
TOTAL MOULE EXTÉRIEUR						14 000
03-LEVIER DE COMPRESSION						
<ul style="list-style-type: none"> • Rainure : Nombre 2 de 50 x 320 • Renfort du levier de compression : Nombre 3 de 25 x 50 	Tôle 120/10 ^e de dimensions 50 x 320	U	2 0,23	2,23	4 000	8 920
• Rallonge du levier : Nombre 1 de 1500 de longueur	Tube 33/42	m	-	1,5	10 625	15 937,5
• Renfort extérieur de la rallonge :	Tube 42/50	U	-	1	4 000	4 000

*Essai de conception de tuile composite
renforcée de fibres de bambou*

Nombre 1 de 440						
• Renfort intérieur de la rallonge : Nombre 1 de 470	Fer rond de \varnothing 30 de	U	-	1	18 000	18 000
TOTAL LEVIER						46 857,5
04-TUBE ET PLATEAU DE COMPRESSION						
• Tube de compression : 125 de longueur	Tube 33/42	m	-	1	10 625	1 328,13
• Plateau de compression : Nombre 2 de 200 x 300	Tôle 50/10 ^e de dimensions 200 x 300	U	-	2	8 000	16 000
• Nervure : Nombre 4 de 25 x 165	Tôle 50/10 ^e de dimensions 300 x 400	U	0,14	0,2	16 000	3 200
• Renfort tube : Nombre 1 de 35 x 35	Tôle 120/10 ^e de dimensions 50 x 300	U	0,08	0,1	4 000	400
TOTAL TUBE ET PLATEAU DE COMPRESSION						20928,13
05-OPÉRATION D'USINAGE						
• Alésage	-	U	-	6	3 300	19 800
• Fraisage	-		-	2	15 000	30 000
• Ébarbage	-		-	5	3 000	15 000
TOTAL USINAGE						64 800
06-MOULE INTÉRIEUR						
• Support supérieur • Support inférieur	Tôle 30/10 ^e de dimensions 200 x 300	U	-	4	7 000	28 000
• Cadre latéral	Tôle 50/10 ^e de dimensions 200 x 300	U	-	1	8 000	8 000
• Pour nervure supérieure, nervure inférieure et cannelure	Tôle 20/10 ^e de dimensions 200 x 300	U	-	3	5 000	15 000
TOTAL MOULE INTÉRIEUR						51 000
07-SUPPORT						
• Bois carré	Carré de 50 de 2 m de long	U	-	1	2 500	2 500
• Renfort	Cornière à ailes égales 30/4	U	-	7	2 000	14 000
• Plan horizontal inférieur	Tôle 50/10 ^e de dimensions 200 x 300	U	-	2	8 000	16 000
TOTAL SUPPORT						32 500

*Essai de conception de tuile composite
renforcée de fibres de bambou*

08-BÂTI						
• Planche	Épaisseur 30 de 2 m de long	U	-	1	5 000	5 000
• Cornière à ailes égales	40 /3 de 5m80 de longs	U	-	1	44 000	44 000
• Vis sans fin + écrou	Pas carré	U	-	1	15 000	15 000
• Manivelle	Fer rond de \varnothing 15	U	-	1	2 000	2 000
• Axe vis sans fin	\varnothing 10	U	-	1	1 500	1 500
• Support vis sans fin	Tôle de 100/10 ^e de dimensions 50 x 300	U	-	2	3 500	7 000
TOTAL BÂTI						74 500
09-ACCESSOIRES						
• Vis	\varnothing 20	U	-	2	3 000	6 000
	\varnothing 10		-	12	300	3 600
	\varnothing 08		-	2	200	400
	Mécanique \varnothing 03	U	-	80	40	1 600
	À bois \varnothing 03	U	-	40	20	800
• Écrous	\varnothing 20	U	-	4	1 000	4 000
	\varnothing 10		-	12	200	2 400
	\varnothing 08		-	2	100	200
• Rondelle	Moyenne \varnothing 20	U	-	5	300	1 500
• Électrode	SAFER \varnothing 3,15	U	-	60	150	9 000
	SAFER \varnothing 2,5		-	50	70	3 500
• Disque ébarbeuse	\varnothing 180	U	-	2	3 500	7 000
	\varnothing 150		-	1	2 500	2 500
• Porte-scie	-	U	-	1	7 000	7 000
• Scie à métaux	Stanley 12D	U	-	6	2 000	12 000
• Paire de lunettes pour soudure		U		1	2 900	2 900
• Cache-oreille	-	U	-	1	5 000	5 000
• Colle bleue pour étanchéité	-	U	-	1	8 000	8 000
• Colle araldite	-	U	-	2	1 600	3 200
TOTAL ACCESSOIRES						80 600
SOUS TOTAL						419 985,63
MAIN D'ŒUVRE À 40 %						167 994,25
MONTANT TOTAL						587 979,88

Tableau. Devis estimatif pour l'extraction de fibres nécessaires pour la confection d'une tuile composite

Désignation	Caractéristique	Unité	Quantité	Prix unitaire [Ar]	Montant [Ar]
PRODUITS					
Bambou	Chaume	U	0,02	1 000	20
Soude caustique	Perlée 99 %	kg	0,07	3593,4	251,5
TOTAL PRODUITS					271,5
ACCESSOIRES					
Paire de gants jetables	En latex	U	01	500	500
TOTAL ACCESSOIRE					500

Table des matières

SOMMAIRE	I
ACRONYMES	II
LISTE DES TABLEAUX	III
LISTE DES FIGURES	V
LISTE DES PHOTOS	VI
LISTE DES COURBES	VII
LISTE DES DIAGRAMMES	VII
LISTE DES ANNEXES	VIII
PREAMBULE	1
PARTIE I: CONTEXTE GENERAL ET ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	3
CHAPITRE 1: PRESENTATION DE LA PROBLEMATIQUE	4
1. <i>Contexte économique</i> :.....	4
2. <i>Les objectifs et perspectives</i> :.....	4
3. <i>Limites</i> :.....	4
4. <i>Astreintes et résultats attendus</i> :.....	5
4.1. <i>Astreintes</i> :.....	5
4.2. <i>Résultats attendus</i>	5
CHAPITRE 2: BAMBOU	6
1. <i>Historique du bambou</i> :.....	6
2. <i>Généralité sur le bambou</i>	6
2.1. <i>Taxonomie ou systématique du bambou</i> : [D] [1] [E].....	6
2.2. <i>Répartition des espèces de bambou</i> :.....	6
2.3. <i>Particularité du bambou</i> :.....	7
3. <i>Morphologie du bambou</i> : [7] [3].....	8
3.1. <i>Chaume</i> :.....	8
3.2. <i>Le feuillage et la gaine</i> :.....	9
3.3. <i>Le Rhizome</i> :.....	10
3.4. <i>Le ramuscule</i> :.....	10
3.5. <i>La fleur et l'inflorescence</i> :.....	11
3.6. <i>La graine</i> :.....	11
4. <i>Détermination de l'âge du bambou</i> :.....	12
5. <i>Classification des bambous</i> :.....	12
5.1. <i>Classification selon la taille</i> :.....	12
5.2. <i>Classification selon les rhizomes</i> : [8] [3].....	12

5.2.1. Bambous cespiteux :	13
5.2.2. Bambous traçants :	13
6. <i>Mode de culture du bambou</i> :	14
6.1. Mode de croissance du bambou :	14
6.2. Expansion du bambou :	15
6.3. Quelques considérations sur la récolte du bambou : [G]	15
7. <i>Structure anatomique du bambou</i> :	15
7.1. Les fibres :	16
7.2. Tissus :	16
7.3. La paroi cellulaire et les cellules :	16
8. <i>Les faiblesses du bambou</i> :	17
CHAPITRE 3: MATERIAUX COMPOSITES	18
1. <i>Généralités sur les matériaux</i> :	18
2. <i>Définitions d'un matériau composite</i> :	18
3. <i>Types de composites</i> :	19
4. <i>Les constituants d'un matériau composite</i> :	19
4.1. La Matrice :	19
4.1.1. Les différents types de matrice :	20
4.1.1.1. Résine d'origine naturelle : [J]	20
4.1.1.2. Résines d'origine synthétique :	20
4.1.2. Critères de choix pour la sélection d'une matrice :	21
4.1.3. Les polyesters insaturés : [18] [17]	21
4.1.3.1. Obtention des polyesters :	21
4.1.3.2. Copolymérisation de la résine polyester :	22
4.1.3.3. Les catalyseurs et accélérateurs pour la résine polyester :	23
4.1.3.4. Les différentes familles de polyester :	24
4.1.3.5. Avantages de l'utilisation du polyester :	24
4.2. Les Renforts :	25
4.2.1. Différentes catégories de fibre :	25
4.2.2. Architecture des fibres : [17]	25
4.2.2.1. Ensembles linéaires :	26
4.2.2.2. Ensembles surfaciques :	26
a) Les mats :	26
b) Les tissus : [3]	26
4.2.2.3. Ensembles multidirectionnels :	26
4.3. Les autres composants utilisés pour la mise en œuvre :	27
4.3.1. Le gel-coat :	27
4.3.2. Les agents de démoulage :	27
4.3.3. Les charges et additifs :	28
5. <i>Mise en œuvre des matériaux composites</i> :	29
5.1. Le séchage : [21]	29
5.2. Choix du type de moulage :	29
5.2.1. Suivant la taille des pièces : [17]	30
5.2.2. Suivant la nature de la matrice : [M]	30

6. <i>Le béton de résine</i> :.....	31
CHAPITRE 4: FIBRES DE BAMBOU	32
1. <i>Généralités sur les fibres naturelles</i> :	32
2. <i>Morphologie et Compositions chimiques des fibres de bambou</i> :	32
2.1. Morphologie des fibres de bambou :.....	32
2.2. Composition chimique des fibres : [12] [28] [29].....	33
2.2.1. La cellulose :	33
2.2.2. La lignine :.....	35
2.2.3. Hémicellulose :	36
3. <i>Extraction des fibres de bambou</i> :.....	36
3.1. Préparation du chaume :.....	37
3.2. Extraction de fibre de bambou : [28]	37
3.2.1. Extraction par voie manuelle :	37
3.2.2. Extraction par voie mécanique :	37
3.2.3. Extraction par voie chimique :	38
3.2.4. Extraction par explosion vapeur :	38
3.3. Traitement des fibres de bambou : [21] [28].....	38
3.4. Alkali-cellulose :.....	40
CHAPITRE 5: APPROCHE POUR LA CONSTRUCTION DE BATIMENT	41
1. <i>Toiture</i> :	41
1.1. Terminologie des toitures :	41
1.2. Toiture existante :	41
1.3. Couverture en tuile :	42
1.3.1. Aperçu général sur la tuile :	42
1.3.2. Les différentes sortes de tuile :.....	42
1.3.3. Différents éléments de la tuile :	43
1.3.4. Fixation des tuiles :.....	43
1.3.5. Dimensions de tuiles plates conventionnelles :.....	44
1.3.6. Pente et la forme de toiture : [Q]	44
1.3.7. Charpente : [R]	45
1.4. Problèmes rencontrés dans la toiture malgache :.....	46
2. <i>Les cyclones</i> :	47
2.1. Généralité sur les cyclones :.....	47
2.2. Classification des cyclones :	47
2.3. Quelques données cycloniques de Madagascar :	47
PARTIE II: ÉTUDE EXPERIMENTALE	48
CHAPITRE 6: EXTRACTION DE FIBRE DE BAMBOU :.....	49
1. Matériels et produits utilisés pour pré-test :.....	49
1.1. Matériels :	49
1.2. Produits utilisés pour l'extraction des fibres de bambou ;	50
2. Matière bambou utilisée :	51
2.1. Choix de l'espèce :.....	51
2.2. Détermination de l'état de maturité du bambou :.....	52

2.2.1.	La position du chaume par rapport à la touffe :	52
2.2.2.	Le son :	52
2.2.3.	La structure interne du chaume :	52
2.2.4.	Gaine :	53
2.3.	Récolte du bambou :	54
2.3.1.	Coupe :	54
2.3.2.	Préparation du chaume de bambou pour le transport :	56
2.3.3.	Transport :	58
3.	<i>Différents processus pour l'extraction de fibres :</i>	58
3.1.	Préparation l'entre-nœud et immersion des lamelles dans la solution de soude :59	
3.1.1.	Préparation de l'entre-nœud :	59
3.1.2.	Immersion des lamelles :	61
3.2.	Prélèvement des bâtonnets :	61
3.3.	Rinçage :	62
3.4.	Broyage des bâtonnets :	62
3.5.	Extraction manuelle des fibres :	62
3.6.	Rinçage des fibres :	62
3.7.	Séchage des fibres :	63
4.	<i>Étude de l'extraction des fibres avec des produits courants :</i>	64
4.1.	Le but :	64
4.2.	Les processus utilisés :	64
4.2.1.	Préparation du chaume :	64
4.2.2.	Préparation de solution et immersion des fibres :	65
4.3.	Résultats obtenus :	66
4.4.	Interprétation :	67
4.5.	Conclusion :	68
5.	<i>Extraction des fibres avec de la soude caustique pure :</i>	68
5.1.	Expérience 1 :	69
5.1.1.	Résultats :	69
5.1.2.	Interprétation :	70
5.1.3.	Conclusion :	71
5.2.	Expérience 2 :	71
5.2.1.	Résultats :	72
5.2.2.	Interprétation :	72
5.2.3.	Conclusion :	73
5.3.	Amélioration du processus de l'extraction des fibres :	73
6.	<i>Test de compatibilité :</i>	74
6.1.	Essai 1 :	74
6.1.1.	Préparation au moulage :	74
6.1.1.1.	Préparation du moule :	74
6.1.1.2.	Préparation du gel-coat et de la résine :	74
6.1.2.	Moulage :	74
6.1.3.	Démoulage :	75

6.1.4. Résultats :	75
6.1.5. Conclusion :	76
6.2. Essai 2 :	76
7. Conclusion du chapitre :	77
CHAPITRE 7: CONCEPTION DE L'ÉLÉMENT DE TOITURE COMPOSITE	78
1. Choix du dimensionnement des lattes :	78
2. Choix du dimensionnement des tuiles et des vis de fixations :	78
2.1. Contrainte s'exerçant sur les éléments de couverture :	78
2.2. Classe de bâtiment :	78
2.3. Calcul de la pression dynamique du vent sur les éléments de couverture : ...	79
2.4. Calcul du nombre de tuiles et des fixations correspondantes au m ² :	80
2.4.1. Nombre de tuile au m ² :	80
2.4.2. Calcul de la section et du nombre de vis :	82
2.4.3. Choix adopté pour les tuiles et les vis :	84
3. Forme définitive de la tuile composite :	84
4. Choix de la pente :	85
CHAPITRE 8: CONCEPTION DE LA PRESSE POUR LE COMPOSITE	86
1. Calcul du système manivelle-rainure :	86
1.1. La fente minimale du levier de compression <i>L_{fente}</i> :	86
1.2. Calcul de la force de compression :	87
2. Dimensionnement du système de compression :	88
2.1. Calcul de l'épaisseur du tube de compression :	88
2.2. Calcul de l'épaisseur du plateau de compression :	89
2.2.1. Le Diamètre du pivot <i>d₀</i> :	89
2.2.2. La rainure du levier de compression d:	90
3. Spécificité de la presse :	90
CHAPITRE 9: MISE EN ŒUVRE DE LA TUILE COMPOSITE	91
1. Matériaux utilisés :	91
2. Matériels utilisés :	91
3. Confection du moule intérieur :	92
3.1. La partie supérieure :	93
3.2. La partie inférieure :	94
3.3. Le cadre :	95
4. Mise en œuvre du matériau composite :	95
4.1. Les différentes étapes ou cycles de moulage pour la mise en œuvre du composite :	95
4.1.1. Préparation des différentes matières premières :	96
4.1.1.1. Le renfort :	96
4.1.1.2. La matrice :	96
4.1.1.3. La charge :	96
4.1.2. Dépôt d'agent de démoulage :	97
4.1.3. Mise en place des constituants principaux dans le moule :	97
4.1.3.1. Le renfort :	97
a) Élaboration de l'architecture du renfort :	97

b) Structure du stratifié :	97
4.1.3.2. La matrice :	98
4.1.4. Pressage de renfort-matrice :	98
4.1.5. Gélification du matériau composite :	98
4.1.6. Démoulage :	98
4.2. La durée du cycle de moulage :	99
5. Formulation :	99
5.1. Taux de renfort volumique, taux de renfort massique et leur relation :	99
5.1.1. Taux de renfort volumique :	99
5.1.2. Taux de renfort massique :	100
5.1.3. Relation entre taux de renfort volumique et massique :	100
5.2. Essais par flexion en 3 pannes :	101
5.2.1. Essai 1 :	101
5.2.1.1. But :	101
5.2.1.2. Dimension de l'éprouvette :	101
5.2.1.3. Taux volumique de fibres :	101
5.2.1.4. Renfort :	101
5.2.1.5. Résultat :	102
5.2.2. Essai 2 :	102
5.2.3. Essai 3 :	102
5.2.3.1. But :	102
5.2.3.2. Dimension de l'éprouvette :	102
5.2.3.3. Taux volumique de charge :	103
5.2.3.4. Résultats :	103
6. Paramètres de moulage :	103
7. Résolutions partielles des problèmes de moulage :	105
8. Méthodologie de recherche :	106
CHAPITRE 10: CARACTERISATIONS DES MATIERES PREMIERES ET DES COMPOSITES MIS EN ŒUVRE	108
1. Caractérisations des matières premières :	108
1.1. Résine polyester insaturé isophtalique :	108
1.1.1. Caractéristique physique :	108
1.1.1.1. Couleur :	108
1.1.1.2. Odeur :	108
1.1.1.3. Masse volumique :	108
1.1.2. Caractéristiques mécaniques :	109
1.2. Catalyseur :	109
1.2.1. Couleur :	109
1.2.2. Masse volumique :	110
1.3. Charge :	110
1.3.1. Composition chimique :	110
1.3.2. Caractéristique physique :	111
1.3.2.1. Couleur :	111
1.3.2.2. Masse volumique :	111
a) Masse volumique apparente :	111

b) Masse volumique absolue ou masse spécifique :.....	112
1.4. Propriétés des fibres pour renforcement :	113
1.4.1. Masse d'un brin de fibre :	113
1.4.2. Poids spécifique :.....	114
1.4.3. Rendement des fibres de bambou :.....	115
2. Propriétés du composite :.....	115
2.1. Résultats des essais de la flexion en 3 pannes :.....	115
2.1.1. Résultats de l'essai 1, de l'essai 2 et de l'essai 3 :.....	115
2.1.1.1. Essai 1 :	115
2.1.1.2. Essai 2 :	116
2.1.1.3. Essai 3 :	116
2.1.2. Interprétation des résultats :	117
2.1.2.1. Essai 1 :	117
2.1.2.2. Essai 2 :	118
2.1.2.3. Essai 3 :	118
2.1.3. Choix de la formulation pour la réalisation de la tuile composite :.....	119
2.2. Essais mécaniques supplémentaires pour les formulations optimales :	120
2.2.1. Essais au choc par méthode de Charpy :	120
2.2.2. Tests d'usinabilité :	121
2.3. Caractéristiques physiques de la tuile :	121
2.3.1. Masse volumique :	121
2.3.2. État de surface :	122
2.3.3. Possibilité de coloration :	122
2.3.4. Test à la flamme :	123
2.4. Propriété électrique :	123
2.5. Propriétés chimiques :.....	123
CHAPITRE 11: ÉTUDE SOCIO-ECONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE	124
1. Estimation de devis :.....	124
2. Étude sociale :	125
2.1. Avantages :	125
2.2. Inconvénients :	125
3. Impacts positifs et négatifs du projet :	126
3.1. Effets sur le milieu physique et sur l'écosystème :	127
3.1.1. Épuisement de ressources naturelles :	127
3.1.2. Eutrophisation :.....	127
3.1.3. Effet de serre :	127
3.1.4. Changement climatique :	127
3.1.5. Émissions aériennes :	127
3.2. Effets sur le milieu vivant :	128
3.2.1. Santé :.....	128
3.2.2. Impact visuel :	128
3.3. Propositions pour l'atténuation des impacts négatifs pour la fabrication de la tuile composite :.....	129
4. Rentabilité :.....	130

CONCLUSION GENERALE	131
BIBLIOGRAPHIE.....	133
WEBOGRAPHIE	138
ANNEXE.....	A1

Auteur : BINGUIRA Djack Kelly Henderson Wang

Titre du mémoire : « *ESSAI DE CONCEPTION DE TUILE COMPOSITE À RENFORT FIBRES DE BAMBOU* »

Nombre de pages : 140

Nombre de tableaux : 53

Nombre de figures : 29

Nombre de photos : 27

Nombres des courbes : 03

Nombres des diagrammes : 04

RESUME

Le présent mémoire montre la possibilité de concevoir une tuile composite dont les renforts sont les fibres de bambou. Pour y arriver, l'extraction de ces fibres à partir du chaume du bambou a été nécessaire en utilisant des produits alcalins ; pour ensuite, les incorporer à la matrice, qui est le polyester insaturé, chargée avec du sable siliceux. D'autant plus que la tuile composite possède un profil pouvant résister aux cyclones tropicaux. Mais l'étude économique a montré que la tuile serait peu accessible à cause du prix du polyester et exigerait par conséquent l'utilisation de liant moins onéreux.

Mots-clés : Bambou, fibres de bambou, tuile, composite

Title : « *TEST OF COMPOSITE DESIGN OF TILE WITH REINFORCEMENT BAMBOO FIBERS* »

SUMMARY

The present report shows the possibility of designing a composite tile whose reinforcements are the bamboo fiber. To arrive there, the extraction of these fibers starting from the thatch of the bamboo was necessary by using alkaline products; for then, to incorporate in the matrix, which is the unsaturated polyester, charged with siliceous sand. More especially as the composite tile has a profile which can resist the tropical cyclones. But the economic survey showed that the tile would be not very accessible because of price from polyester and would require consequently the use of binder cheaper.

Keys words : Bamboo, bamboo fiber, tile, composite

Rapporteur du mémoire : Docteur RANARIVELO Michel

Adresse de l'auteur : Lot 2547 pcellle 21/11 Morarano Toamasina 501

Contact : 033 08 628 93