



**UNIVERSITE D'ANTANANARIVO**  
**FACULTE DES SCIENCES**



**DOMAINE SCIENCES ET TECHNOLOGIES**

**MENTION: CHIMIE**

**DEPARTEMENT DE CHIMIE MINERALE ET CHIMIE PHYSIQUE**

**PARCOURS : CHIMIE DES MATERIAUX**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MASTER II**

**VALORISATION DU BAMBOU : PRODUCTION D'UN  
PANNEAU DE FIBRE A DENSITE MOYENNE (MDF)**



**Présenté par : RAVAOHARIJAONA Nambinina**

Soutenu le : 22 Juillet 2015

Président : Madame RAHARIMALALA Laurence

Professeur Titulaire à la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo

Rapporteur : Monsieur RAVELONANDRO Pierre Hervé

Professeur à la Faculté des Sciences d'Antananarivo

Examineur : Monsieur ANDRIANAINARIVELO Mahandrimanana

Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo

**UNIVERSITE D'ANTANANARIVO**

**FACULTE DES SCIENCES**

**DOMAINE SCIENCES ET TECHNOLOGIES**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE**

**MASTER II**

**DEPARTEMENT: CHIMIE MINERALE ET CHIMIE PHYSIQUE**

**PARCOURS: CHIMIE DES MATERIAUX**

**Présenté par : RAVAOHARIJAONA Nambinina**

# **VALORISATION DU BAMBOU : PRODUCTION D'UN PANNEAU DE FIBRE A DENSITE MOYENNE (MDF)**

Président : Madame RAHARIMALALA Laurence

Professeur Titulaire à la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo

Rapporteur : Monsieur RAVELONANDRO Pierre Hervé

Professeur à la Faculté des Sciences d'Antananarivo

Examineur : Monsieur ANDRIANAINARIVELO Mahandrimanana

Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo

## REMERCIEMENTS

*“Ne crains rien, car Je suis avec toi, ne promène pas des regards inquiets car Je suis ton Dieu, Je te fortifie, Je viens à ton secours, Je te soutiens de ma droite triomphante” Esaie 41:10*

*Sans ta parole, je ne serai jamais arrivée à bout de ce parcours. Merci.*

Ce travail a été effectué au sein du Laboratoire de l'Unité de Recherche en Génie des Procédés et Génie de l'Environnement (URGPGE) et au Laboratoire National des Travaux Public et du Bâtiment (LNTPB).

Je remercie sincèrement Monsieur Pierre Hervé RAVELONANDRO, Professeur à la Faculté des Sciences d'Antananarivo et Responsable du Master Chimie, Spécialité Génie de l'Eau et Génie de l'Environnement (2GE) pour la proposition de sujet de mémoire en tant que rapporteur, son soutien et ses conseils au cours de la rédaction.

Je tiens à remercier Madame Laurence Eliane RAHARIMALALA, Professeur Titulaire à la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo pour avoir fait l'honneur de présider ma soutenance malgré ses nombreuses responsabilités.

Je remercie également Monsieur Mahandrimanana ANDRIANAINARIVELO, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo, Responsable du Parcours Chimie des Matériaux, d'avoir accepté de siéger parmi les membres de jury aussi d'examiner ce travail et de ses remarques éclairées et ses commentaires constructifs à l'endroit de ce mémoire.

J'adresse mes vifs remerciements au Laboratoire National des Travaux Public et du Bâtiment (LNTPB), particulièrement à Monsieur RABEMANANJARA Victor, Chef de Laboratoire des Matériaux au sein du LNTPB, pour la caractérisation du matériau malgré son temps, alors je ne saurais oublier ses conseils judicieux, son encouragement et ses précieuses aides qu'il m'a mis à disposition.

En ce sens, je voudrais aussi particulièrement remercier Monsieur RAJAONA FIHAVANANA Andrianaivoravelona, Chercheur à l'URGPGE pour ses aides tout au long de ce travail.

Mes vifs remerciements à toute ma famille pour leur soutien et leurs affections autant moral que financier. Et à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

## SOMMAIRE

Remerciement.....	i
Sommaire .....	ii
Listes des figures .....	iv
Liste des tableaux .....	v

<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>1</b>
------------------------------------	----------

### **PARTIE A : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....**

<b>I. Généralités sur le matériau .....</b>	<b>2</b>
I. 1- Définition.....	2
I. 2- Types de composites.....	2
I.3- Les constituants d'un matériau de type panneau MDF.....	4
<b>II. La matière première : bambou .....</b>	<b>10</b>
II-1. Historique .....	10
II- 2. Généralité .....	10
II-2.1. Morphologie .....	10
II-2.2. Physiologie .....	14
II-2.3. Les maladies et parasites .....	14
II-2.4. Classifications .....	15
II-3. La répartition .....	15
II-3.1. Répartition mondiale .....	15
II-3.2. Quelques exemples d'espèces de bambou .....	16
II-4. Raison du choix du bambou.....	16
II-4.1. La filière bois à Madagascar .....	16
II-4.2. Justification du choix du bambou.....	18
II-5. Valorisation du bambou .....	22
II-5.1. Construction .....	22
II-5.2. En menuiserie .....	23
II-5.3. En agriculture .....	24
II-5.4. En transport.....	24
II-5.5. En artisanat.....	25
II-5.6. Autres .....	25
<b>III. Fabrication d'un matériau composite .....</b>	<b>25</b>
III- 1. Procédé par lamellé collé .....	26
III- 2. Panneaux de fibres à densité moyenne (MDF) .....	29

### **Partie B: MATERIELS ET METHODES.....**

Introduction .....	32
<b>I. Elaboration du matériau .....</b>	<b>32</b>

I. 1. But.....	32
I. 2. Principe .....	32
I. 3. Les matières premières .....	32
I. 4. Expériences au laboratoire .....	32
<b>II. Processus de production de lamellé-collé.....</b>	<b>35</b>
II.1. Schéma de fabrication de lamellé-collé.....	36
II. 2. Coupe.....	36
II. 3. Dimensionnement .....	36
II. 4. Carbonisation et purification .....	36
II. 5. Séchage, pesage et trempage .....	37
II. 6. Collage, moulage et pressage .....	38
II. 7. Démoulage.....	38
<b>III. Processus de production du panneau MDF .....</b>	<b>38</b>
III.1. Schéma de la fabrication du panneau MDF .....	39
III. 2. Coupe .....	39
III. 3. Déchiquetage.....	39
III. 4. Traitement chimique et thermique .....	39
III. 5. Séchage et trempage.....	39
III. 6. Collage, moulage et pressage .....	40
III. 7. Démoulage .....	40

**Partie C: RESULTATS, INTERPRETATION ET DISCUSSIONS.....**

<b>I. Panneau MDF conforme à la norme NF EN 622-5.....</b>	<b>41</b>
<b>II. Caractéristique d'un panneau MDF au LNTPB .....</b>	<b>42</b>
II. 1. Dimension.....	42
II. 2. Propriété physique.....	42
a) Masse volumique.....	42
b) Taux d'humidité .....	43
c) Coefficient d'absorption d'eau.....	43
d) La résistance thermique... ..	43
II. 3. Propriété mécanique .....	44
II. 3. 1. Mesure du module d'élasticité MOE .....	44
II. 3. 2. Module de la résistance à la flexion MOR .....	44
II. 4. Tableau comparatif des résultats... ..	47
<b>III. Interprétations et discussions .....</b>	<b>48</b>
 CONCLUSION GENERALE.....	 49
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	50
 ANNEXE 1 .....	 I
ANNEXE 2 .....	III
ANNEXE 3 .....	V

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Les différentes familles de matériau.....	2
Figure 2: Principales matrices organiques utilisées.....	4
Figure 3: Réaction de synthèse d'une résine UF : phase de méthylation.....	6
Figure 4: Réaction de synthèse d'une résine UF: phase de condensation.....	6
Figure 5: Réseau tridimensionnel d'une résine UF durcie.....	6
Figure 6: Influence du pH sur les réactions d'addition et de condensation de l'urée et du formaldéhyde.....	7
Figure 7: Diagramme de synthèse d'une résine UF.....	7
Figure 8: Différentes sortes de renfort selon leur nature.....	10
Figure 9: Différentes parties du bambou.....	11
Figure 10: Rhizome du bambou traçant.....	11
Figure 11: Rhizome du bambou cespiteux.....	12
Figure 12: Chaume et Rhizome.....	12
Figure 13: Coupe longitudinale d'un chaume.....	12
Figure 14: Caractéristiques du chaume et des feuilles.....	13
Figure 15: Fleur du bambou.....	13
Figure 16: Fruit du bambou.....	13
Figure 17: Distribution des Bambous dans le monde.....	15
Figure 18: Flux de bois dans la filière Malgache.....	17
Figure 19: Structure polylamellée d'une fibre de bambou.....	18
Figure 20: Coupe transversale chaume.....	19
Figure 21: Structure moléculaire de la cellulose.....	19
Figure 22: Structure de la lignine.....	20
Figure 23: Formules des unités monométriques de l'hémicellulose.....	21
Figure 24: Bambou géant utilisé en tant que matériaux de construction après traitement chimique uniquement.....	22
Figure 25 : Case en bambou.....	22
Figure 26: Matériaux de construction en Bambou géant ayant subi un traitement complet.....	23
Figure 27: Lamelles de bambou.....	23
Figure 28: "plain pressed".....	23
Figure 29: "side pressed".....	23
Figure 30: Renfor.....	23
Figure 31: Renforcement dalle béton.....	23
Figure 32: Armatures en bambou.....	23
Figure 33 : Fauteuil en bambou.....	24
Figure 34 : Tiges de bambou soutenant des planches de légumes.....	24
Figure 35 : Mangeoire et abreuvoir en bambou.....	24
Figure 36 : Paniers en bambous.....	25
Figure 37: Tige de bambou portant 2 fagots de bois.....	25
Figure 38: Nattes de bambou (gauche) et BMB (droite).....	25

Figure 39: Valiha.....	25
Figure 40: Instrument de percussions.....	25
Figure 41: Pousses dans les marchés.....	25
Figure 42: Pousses préparées pour la cuisson .....	25
Figure 43: Récolte des chaumes de bambou.....	26
Figure 44: Découpe des lamelles.....	26
Figure 45: Rectification des lamelles.....	26
Figure 46: Traitement chimique des lamelles.....	27
Figure 47 : Traitement par autoclave.....	27
Figure 48: Chambre de séchage.....	27
Figure 49: "crushing" des lamelles.....	28
Figure 50: Pressage des lamelles.....	28
Figure 51: Sciage des poutres.....	28
Figure 52: Sciage des planches.....	29
Figure 53: Processus de production de MDF.....	29

### **LISTE DES PHOTOS**

Photo 1: Colle urée formaldéhyde.....	33
Photo 2: Carbonisation dans l'autoclave.....	37
Photo 3: Purification dans la solution d' H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	37
Photo 4: Séchage dans l'étuve.....	37
Photo 5: Pesage des lamelles.....	37
Photo 6: Raboteuse .....	39
Photo 7: Chaume du bambou déchiqueté.....	39
Photo 8: Séchage dans le four de 70 - 80°C.....	40
Photo 9: Trempage dans la colle.....	40
Photo 10: Moulage.....	40
Photo 11: Pressage et activation de la colle dans le four.....	40
Photo 12: Essai pour mesurer le MOE et MOR du panneau MDF.....	45

### **LISTE DES ILLUSTRATIONS**

Illustration 1: Organigramme du lamellé-collé.....	36
Illustration 2: Organigramme du panneau de type MDF.....	38

### **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1: Critère de choix pour une matrice.....	5
Tableau 2: Quelques exemples de charges et d'additifs courants.....	9
Tableau 3: Distribution mondiale du bambou.....	15
Tableau 4: Exemples de bambou par classement botanique et par type.....	16
Tableau 5 : Propriétés mécaniques du bambou.....	22
Tableau 6: Composition de la résine UF (F/U=1,6).....	33
Tableau 7: caractéristique conforme à la norme NF EN 622- 5.....	41
Tableau 8: Tableau comparatif suivant les normes.....	47

## **INTRODUCTION GENERALE**

Le bois est indispensable dans la vie humaine depuis des années jusqu'à nos jours. L'homme met en usage son savoir et son savoir-faire pour l'exploiter afin de satisfaire ses besoins. Ces derniers ne cessent de s'accroître grâce à l'évolution de la technologie, les aspirations de la population, puis, du choix politique de développement du pays. En revanche, l'exploitation du bois sans cesse produit la destruction de l'environnement malgré l'insuffisance de reboisement à Madagascar. En d'autre terme, il s'agit de rendre compétitive notre valorisation du bambou qui fait partie de la biomasse au risque de ne pas disparaître notre forêt.

La mise en œuvre des fibres naturelles cellulosiques de plantes annuelles ou de résidus agricoles ou agro-industriels dans l'élaboration de matériaux de structure composites pour diverses applications à valeur ajoutée, incluant notamment les industries du bâtiment et de l'automobile, est aujourd'hui un domaine de recherche d'intérêt croissant dans de nombreuses régions du monde. Les matériaux composites à matrice minérale et à renforts de fibres naturelles cellulosiques sont dignes d'intérêt mais ce sont les composites à renforts de fibres lignocellulosiques et à matrice organique qui vont retenir notre attention dans ce travail.

D'où la raison de la présente étude intitulée "Valorisation du bambou: production d'un panneau de fibre à densité moyenne MDF".

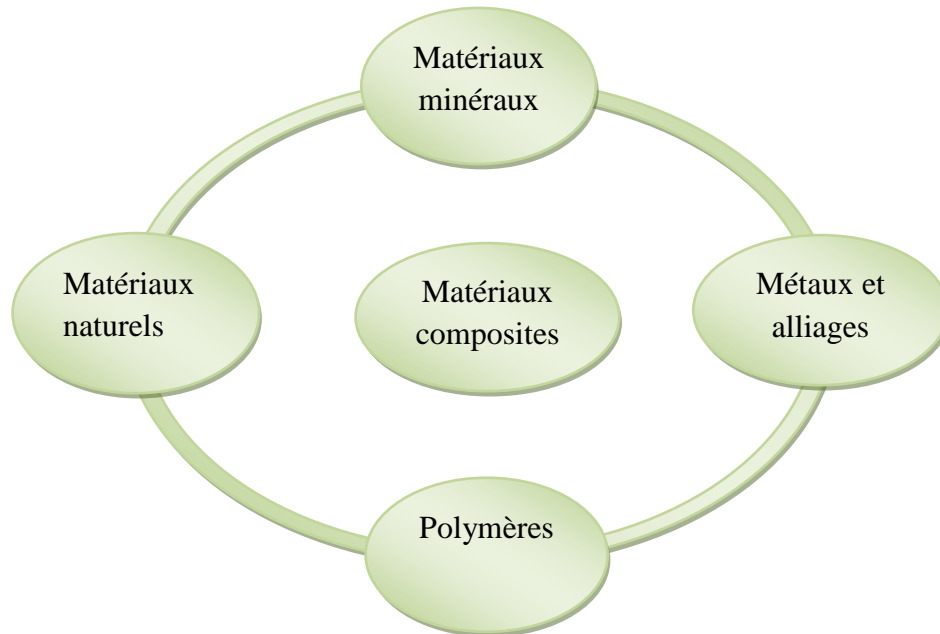
L'objectif de ce travail intitulé est de concevoir et de caractériser un matériau de type panneau de fibre à densité moyenne (MDF) à partir de matières premières locales pour la valorisation de la biomasse en grande quantité à Madagascar. Ce travail de mémoire comporte trois chapitres : le premier relate l'étude bibliographique à savoir la généralité sur le matériau, le bambou, fabrication d'un matériau composite et le second est axé sur l'expérimentation et développe les matériels et méthodes utilisées et enfin, la troisième partie concerne les résultats et les interprétations suivi d'une conclusion.



## **PARTIE I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

## **I- GENERALITES SUR LES MATERIAUX:**

Généralement, il y a 5 classes de matériaux telles que: les matériaux minéraux, les métaux et alliages, les polymères, les matériaux naturels et les matériaux composites. Parmi les matériaux existants, les composites présentent un attrait industriel indéniable.



*Figure 4: Les différentes familles de matériau*

### **1) DEFINITION D'UN MATERIAU COMPOSITE [1]**

Un matériau composite peut être défini comme un assemblage de deux ou plusieurs matériaux de nature ou d'origines différentes dont les propriétés sont supérieures à celles des matériaux constitutifs. 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:

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

### **2) 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.

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

- 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 courte, d'où l'élaboration du matériau de type panneau de fibre à densité moyenne (MDF) à l'aide de fibre de bambou.

## **2. 1. LE PANNEAU DE FIBRE A DENSITE MOYENNE (MDF) [2], [3]**

Le MDF a été développé aux Etats-Unis et est produit en Europe depuis 1973, mais ce n'est que dans les années 90 qu'il a connu une véritable percée. Pour ce type de panneaux, l'Europe et l'Amérique du Nord sont les grands producteurs et consommateurs. En Asie, avec le Japon comme consommateur, le MDF a un très fort développement. Il se fabrique environ 30 millions de m<sup>3</sup>/ an de panneaux de fibres dans le monde.

Le MDF est un composite formé à sec en mélangeant des fibres lignocellulosiques avec de résines aminoplastes (colles UF, MUF, PF, MDI) et d'autres additifs éventuellement (comme de la cire) consolidé sous l'action de la chaleur et de la pression exercée par une presse. Le MDF peut être usiné, peint et recouvert. C'est un produit apprécié dans la fabrication des meubles et des moulages.

## **2. 2. CARACTERISTIQUES D'UN PANNEAU DE FIBRE MDF [2], [3]**

La caractéristique principale du panneau de fibres à densité moyenne (MDF) est d'être très homogène. Son profil de densité a peu de variation entre intérieur et extérieur. Cela en fait un panneau pouvant se travailler et se sculpter sans problème. Aujourd'hui pour beaucoup d'usages, se substitue au bois massif. Les panneaux MDF sont sensibles à l'humidité et leur résistance à l'humidité est fonction de la qualité de la colle employée. Les panneaux de fibre qui est un matériau composite de type industriel utilisé pour faire des meubles, des coffres, des tables. En plus, il est un matériau industriel récent, nouvelle technologie en plein développement et dont le marché est en train de s'ouvrir. Il présente multiple avantages:

- panneau aux qualités esthétiques et polyvalente, il peut être comme décoration intérieure même l'aménagement;
- ignifuge, cintré, laqué ou mélaminé et dans une certaine mesure hydrofuge;
- quasiment isotrope, c'est-à-dire qu'il présente des propriétés physiques homogènes dans les trois dimensions ;
- esthétique du fait de sa texture fine;
- moins cher que le bois massif ;
- disponible en épaisseurs variables ;
- plus dur qu'un aggloméré;
- permettant un fraisage aisé et précis.

### 3) LES CONSTITUANTS D'UN MATERIAU DE TYPE PANNEAU MDF

#### 3. 1. La matrice [1]

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 renforts 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.

On peut classer les matrices en 2 sortes :

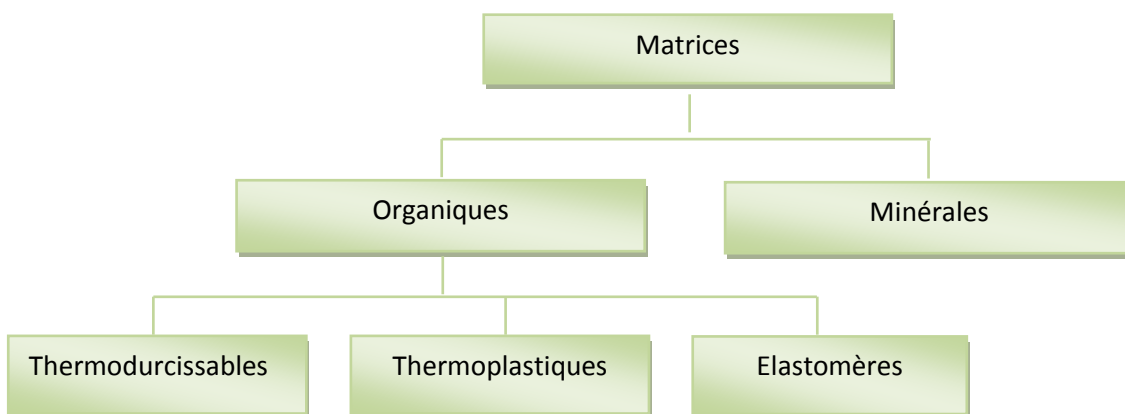
- Résine d'origine naturelle :

**Les résines**: qui indiquent des composés insolubles à l'eau, mais solubles dans les hydrocarbures, des alcools ou des huiles...

**Les oléorésines**: qui insistent à des mélanges variés d'essences et de résines, de consistance molle ou semi-liquide, souvent volatils et entraînés par la vapeur d'eau.

- Résines d'origine synthétique :

Les résines d'origine synthétique (ou les résines synthétiques) constituent les résines thermoplastiques, les résines thermodurcissables et les résines élastomères. C'est pourquoi qu'elles composent les matrices organiques et englobent surtout le domaine des polymères.



*Figure 5: Principales matrices organiques utilisées*

#### a) 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.

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

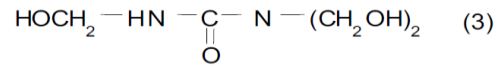
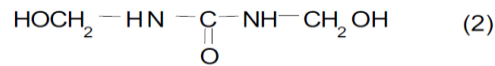
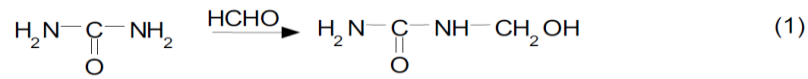
*Tableau 3: Critère de choix pour une matrice*

Selon notre cas, la résine thermodurcissable urée formol correspond à la réalisation du futur matériau composite.

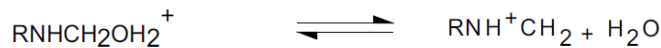
#### **b) Les résines urée-formaldéhyde [4]**

D'après Margosian (1995), environ 95 % des adhésifs utilisés par les industries des panneaux MDF sont l'urée-formaldéhyde de formulations UF. Ils sont obtenus par la réaction de condensation qui conduit au départ une molécule d'eau. La sensibilité des polymères à l'eau dépend des conditions et du polymère. De cette manière, les colles urée-formol seront aisément hydrolysables. Le fait d'hydrolyse de ces derniers permet son retour à l'état initial et continu par le dégagement de formaldéhyde. Par contre, la présence de mélamine dans les mélamines-urée-formol provoque la moindre sensibilité à l'eau.

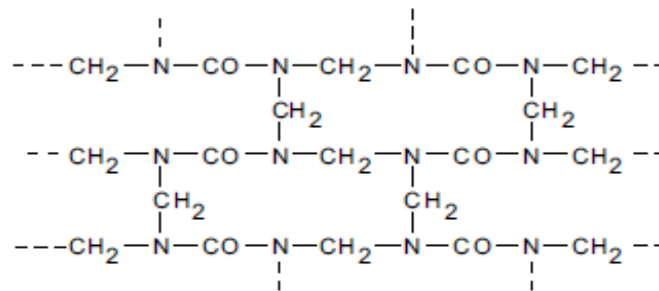
Selon la synthèse du sirop UF, elle est réalisée en deux phases dans la pratique industrielle: une étape alcaline de méthylation (la formation de monométhylolurée (1), diméthylolurée (2), triméthylolurée (3) et une étape acide de condensation. Sur la figure 39 est schématisée la phase d'addition. Les figures 4 et 5 représentent respectivement la phase de condensation et celle de formation du réseau tridimensionnel après durcissement de la résine UF. Avec un rapport molaire formaldéhyde : urée (F : U) compris entre 1,3 à 2, on obtient un mélange de mono, di ou triméthylolurée et, en théorie, de tétraméthylolurée. L'addition de chaque groupe méthylol sur l'urée ralentissant l'addition ultérieure d'autres groupes méthylol, la formation de tétraméthylolurée n'a jamais été observée.



**Figure 6: Réaction de synthèse d'une résine UF : phase de méthylation**

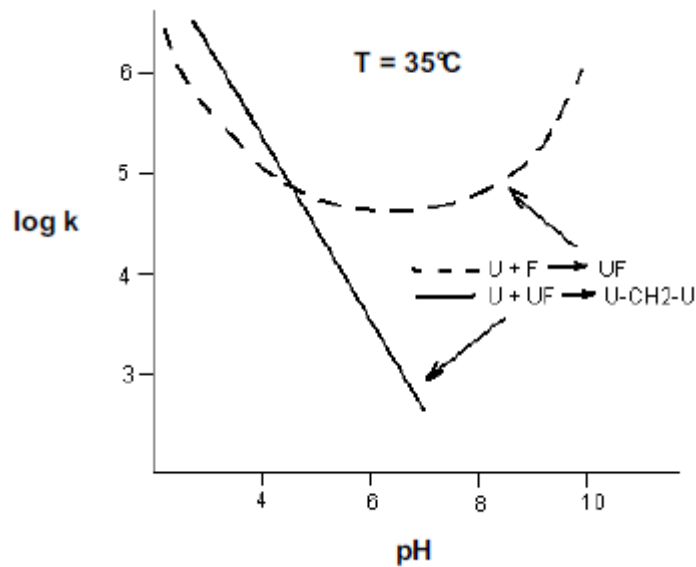


**Figure 4: Réaction de synthèse d'une résine UF: phase de condensation**



**Figure 5: Réseau tridimensionnel d'une résine UF durcie**

La première phase rapide est une réaction plus lente d'addition bimoléculaire réversible qui caractérise la formation de méthylolurée en milieu neutre ou alcalin. L'addition, une réaction bimoléculaire, a une énergie d'activation de 54,3 kJ mol<sup>-1</sup>. Ainsi, l'hydrolyse est une réaction monomoléculaire avec une énergie d'activation de 79,4 kJ mol<sup>-1</sup>. La vitesse de réaction est fonction du pH, avec une vitesse minimale dans l'intervalle de pH 5 - 8 pour un rapport molaire (U: F 1:1) et à pH 6,5 pour un rapport molaire (U: F 1: 2). La formation de plusieurs espèces de différents poids moléculaires est fonction du temps.

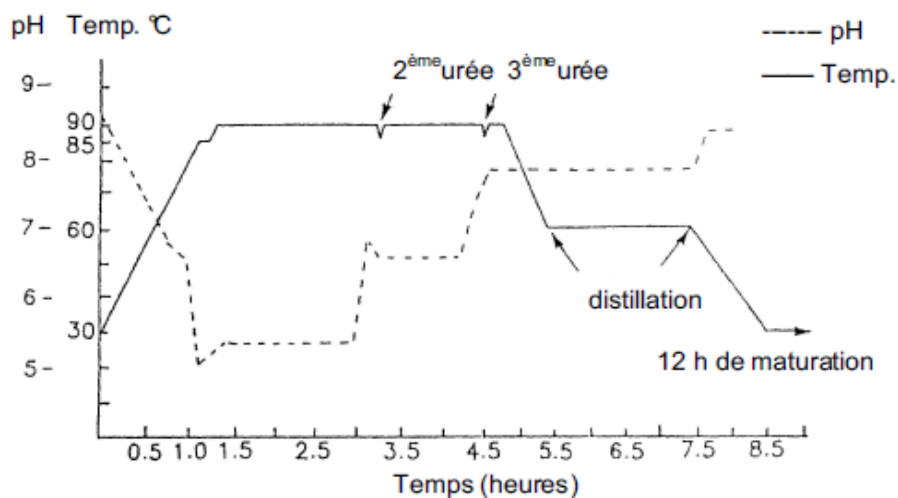


**Figure 6: Influence du pH sur les réactions d'addition et de condensation de l'urée et du formaldéhyde.**

La répartition des poids moléculaires influence les propriétés d'adhésion avec le bois. Puisque la valeur de l'énergie spécifique d'adhésion est importante, la fraction de résine méthylolée est plus élevée. La cellulose cristalline et amorphe se différencie par leur interaction.

La viscosité est toujours contrôlée à la synthèse de résine dans la pratique industrielle. Pourtant, la diffusion de la masse moléculaire a un effet sur le point de tolérance à l'eau et le temps de gel. Le rapport molaire  $F/U$  influe aussi sur les valeurs de traction perpendiculaire (fortes si ce rapport est élevé) et de même aux résultats de l'analyse thermomécanique (TMA) des systèmes adhésifs/bois, s'il est faible.

Sa préparation se fait en deux phases en addition et en condensation. L'addition est celle qui se fait à pH alcalin selon un précondensat ( $U:F=1:2$ ) ou une formurée, si dans la condensation, qui est fonction de viscosité et de pH, les méthylolurées sont mis en jeu avec l'urée pour l'acidification pour atteindre un rapport ( $U/F:1:1,2-1:1,4$ ) et diminuer la transmission de formaldéhyde libre, il suffit d'ajouter une deuxième quantité d'urée.



**Figure 7: Diagramme de synthèse d'une résine UF.**

Ainsi, la rétention de la synthèse par neutralisation permet l'obtention d'un mélange de molécule dont ses caractéristiques dépendent de la préparation et de l'usage de la résine. Un état stationnaire conduit par la réaction entre l'urée et le formaldéhyde est décrit par K tel que:

$$K = \frac{K_1}{K_2} = \frac{[UF]}{[U] \cdot [F]}$$

Pour les résines condensés, il existe le N-méthylolformaldéhyde et le résidu aminé (-NH<sub>2</sub>, -NH-, urée libre) grâce à son état stationnaire libre. Les ponts méthylène-éther (-CH<sub>2</sub>-O-CH<sub>2</sub>) qui, vont devenir des ponts méthylènes (-CH<sub>2</sub>-) plus stables, émancipant une molécule de formaldéhyde, forment les molécules longues. Il nécessite un durcisseur acide, dont les plus utilisés industriellement sont des solutions de sels d'acides organiques (NH<sub>4</sub>Cl ou (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) libérant leur acidité par hydrolyse de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, lors de sa mise en œuvre. Alors, la polycondensation des résines dépend du pH.

### c) Différentes familles des résines urées formol

Les adhésifs utilisés dans l'industrie des panneaux sont principalement :

- Urée-formaldéhyde (U.F.)
- Résorcine-formaldéhyde (R.F)
- Phénol-résorcine-formaldéhyde (R.P.F.)
- Mélamine-urée-formaldéhyde (M.U.F.)

### d) Caractéristique et avantages de l'utilisation du résine urée formol [5]

Nous choisissons ce résine grâce à:

- leurs performances
- prix de revient, durcissement à chaud ou à froid
- se dilue bien
- prête à l'emploi dès qu'elle est diluée avec l'eau
- bon comportement à l'application, très bon rendement
- la polymérisation rapide à chaud
- la facilité d'utilisation,
- la couleur blanche ou incolore,
- la résistance,
- l'adhésion durable et la disponibilité

C'est à cause de tous ces avantages qu'on a choisi la résine urée formol comme matrice dans l'élaboration de notre futur matériau composite.

### 3.2. Les charges et additifs : [6]

Ce sont des produits ajoutés aux deux constituants de base pour améliorer les propriétés de la matrice dans des proportions de quelques dizaines de pourcentages dans le cas des charges et seulement quelques pour cent pour les additifs. Il s'agit, de colorant, de stabilisateur, d'agents antistatiques, d'additifs à bas retrait et d'agents de réticulation...

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 ;

Les charges sont des substances solides, non miscibles ayant pour but d'améliorer le renforcement mécanique ou l'absorption du support. Les charges d'origine minérale sont sans risque lors de l'utilisation des colles. Les additifs apportent des propriétés spécifiques à la colle. Il peut s'agir de conservateurs, d'accélérateurs de séchage, de pesticides, d'épaississants... parfois très toxiques.

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 5µm et 40µm.

Nature	Fonction		Exemple
<b>Charge</b>	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
<b>Additif</b>	Lubrifiant		Esters d'alcool, ester de glycérol, stéarates métalliques
	Anti UV		Benzophénone, benzotriazole, oxyde de zinc
	<b>Pigment</b>	<b>Minéraux</b>	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
	<b>Organiques</b>	Rouge : naphthol, perylène	
		Jaune : hansa, isoindoline	
Bleu vert : phtalocyanine			
Noir : noir de carbone			
<b>Colorants</b>		Nigrosine	

*Tableau 4: Quelques exemples de charges et d'additifs courants*

### **3.3. Les Renforts :**

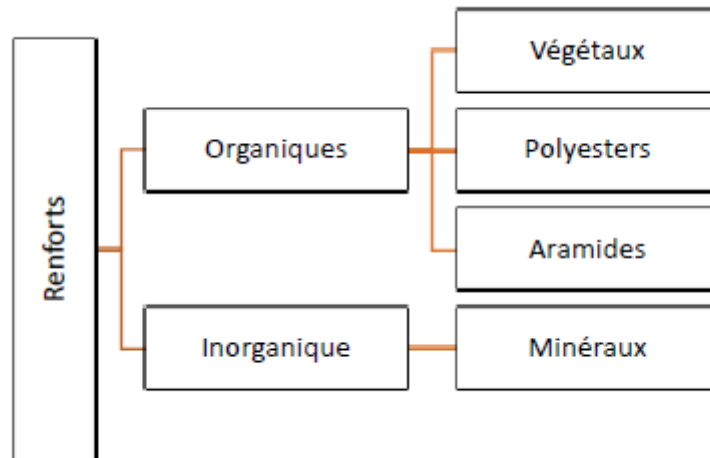
Ils constituent un des principaux composants du matériau composite. Ils jouent principalement le rôle d'armature. Ils font également qu'un matériau composite possède une propriété mécanique élevée.

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

### Différentes catégories de fibre :

Il y a de nombreuses sortes de renfort. L'organigramme suivant les présente en fonction de leur nature.



*Figure 8: Différentes sortes de renfort selon leur nature*

Selon notre cas, les renforts organiques végétaux conviennent à la réalisation de notre matériau. La fibre du bambou est notre choix pour la production d'un panneau de fibre MDF.

## II- LA MATIERE PREMIERE: LE BAMBOU

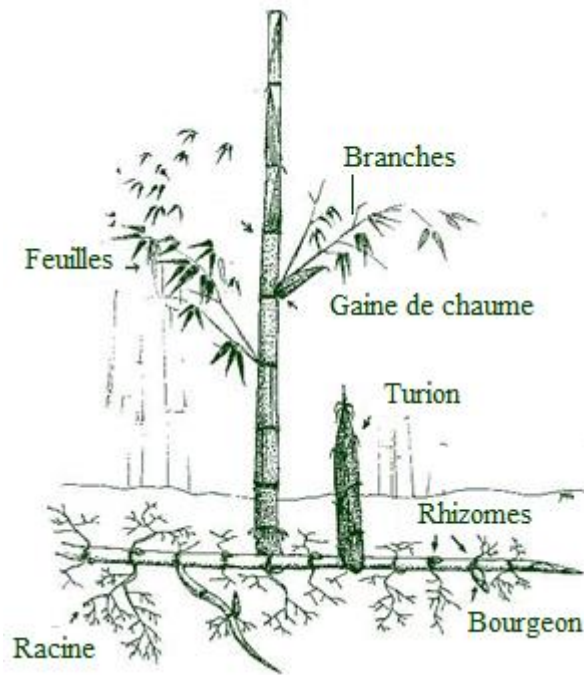
### II. 1- HISTORIQUE [7]

L'information sur l'origine exacte du bambou n'est pas suffisante dans les différents ouvrages. Mais on considère 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.

### II.2- GENERALITES

#### II-2.1. MORPHOLOGIE: [7], [8], [9], [10]

Le mot "bambou" provient du malais "mambu" qui signifie "bois indispensable". Il est une plante monocotylédone faisant partie de la famille des Poacées appelées aussi graminées, et de la sous-famille des Bambusoïdées qui compte environ 80 genres et plus de 1200 espèces. Ils ne sont ni des arbres ni des arbustes mais des herbes ligneux, ce qui signifie que les tiges sont dures comme du bois. Tous les bambous sont construits selon la même architecture. Il est constitué par un axe principal droit, cylindrique, creux appelé chaume, à partir duquel partent les ramifications qui portent les feuilles et parfois les fleurs. Les chaumes sont couverts de dur épiderme avec une couche de cire; ils sont insérés dans le sol par des tiges souterraines qui sont les rhizomes.



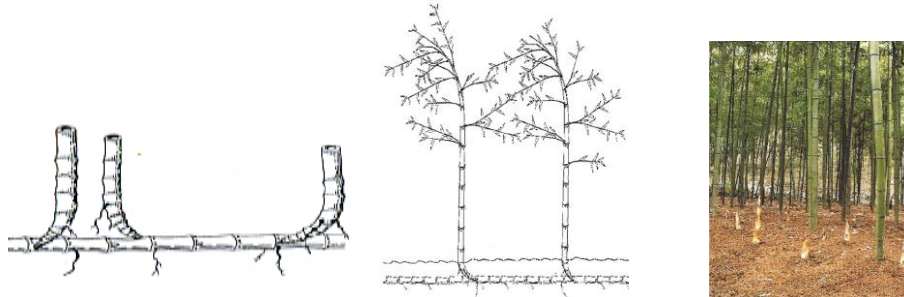
**Figure 9: Différentes parties du bambou**

• **Le rhizome**

Tous les bambous sont pourvus de rhizomes, qui sont un système racinaire se développant sous le chaume (à environ 30 cm). Il est souvent horizontal et sa propagation dans le sol lui permet de recueillir et stocker les nutriments nécessaires à la croissance de la plante. Il présente la même structure que le chaume, fistuleux, mais se différencie avec son canal plus rétréci, et porteur de bourgeon en principe solitaire au niveau du nœud.

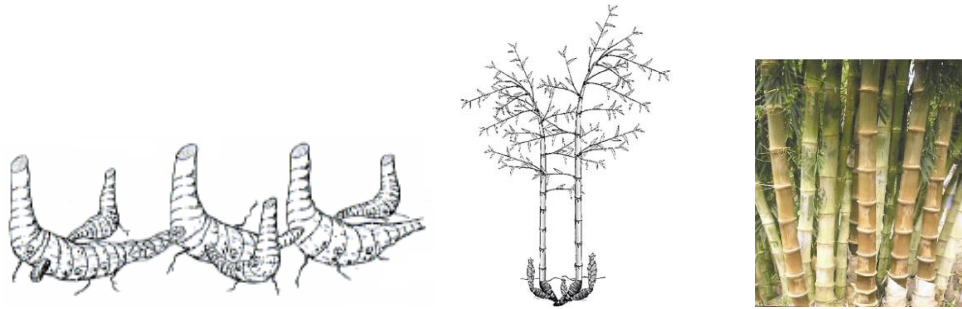
Il existe 2 types de rhizome dont:

- Le rhizome leptomorphe : les entre-nœuds sont longs et minces, la croissance se fait presque à l'horizontal. Les bambous pourvus de rhizomes leptomorphes sont dits traçants car ils ont tendance à s'étendre en surface.



**Figure 10: Rhizome du bambou traçant**

- Le rhizome pachymorphe : les entre-noeuds sont courts et plus ou moins épais. La croissance n'est horizontale que sur quelques centimètres. Très vite l'extrémité du rhizome se redresse vers la surface du sol qu'il ne tardera pas à percer pour donner un chaume. Les bambous pourvus de rhizomes pachymorphes restent contenus en touffe serrée, ils ne s'étendent pas en surface comme les traçants. On dit qu'ils sont "cespiteux".



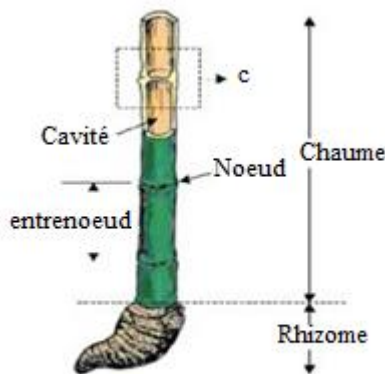
**Figure 11: Rhizome du bambou cespiteux**

• **Le chaume**

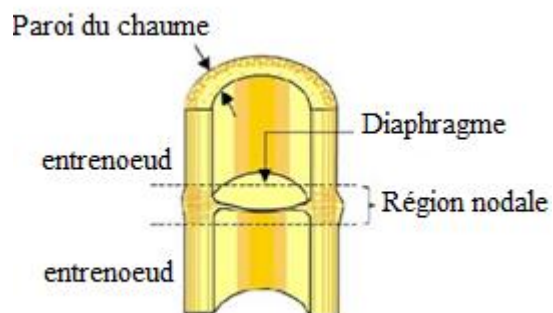
Le chaume est la tige principale des graminées dont font partie tous les bambous, au même titre que le blé, le maïs, ... Le chaume est une tige fistuleuse, et régulièrement cloisonnée par des membranes rigides en correspondance avec les nœuds.

Sa partie extérieure est lisse, très dure et très souple, contrairement à la partie interne de la paroi qui est plus tendre, plus rigide et qui casse plus facilement sous la flexion.

- Les nœuds : Ce sont des diaphragmes alternés sur le chaume. Chaque nœud protège un ou plusieurs bourgeons qui, en se développant, vont donner les branches.
- Les branches : Ce sont les ramifications secondaires qui se développent sur les chaumes à partir des nœuds.



**Figure 12: Chaume et Rhizome**



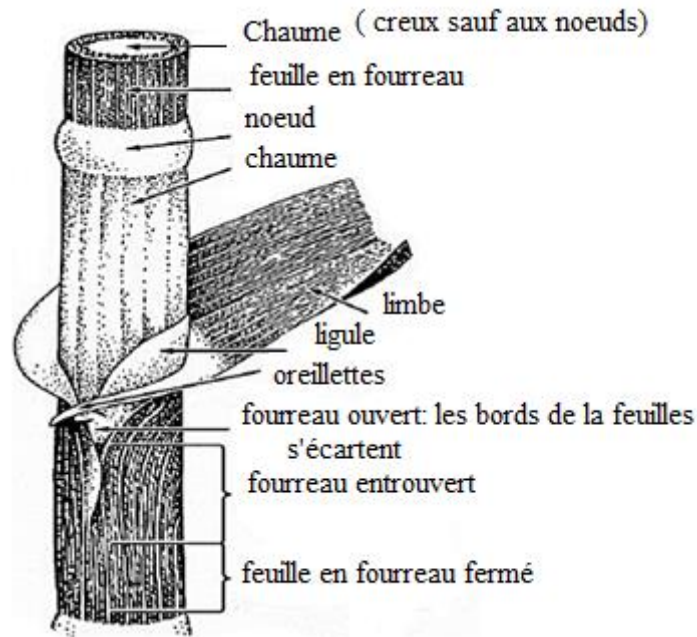
**Figure 13: Coupe longitudinale d'un chaume**

• **Les feuilles**

Elles ont une nervure principale très marquée et des nervures secondaires parallèles, de formes allongées, arrondies à la base et plus ou moins effilées à l'extrémité. Elles s'insèrent sur l'axe qui les porte au moyen d'un fourreau engainant.

- La gaine du chaume :

A chaque entre-nœud correspond une gaine, elle joue un rôle protecteur du chaume tout au long de sa croissance. En sortant de terre, le jeune chaume, nommé "Turion", est tendre et craquant comme une pomme de terre, c'est à ce stade d'ailleurs que les gourmets l'apprécient. Chez la plupart des espèces, les gaines des chaumes tombent lorsque ceux-ci ont terminé leur croissance.



**Figure 14: Caractéristiques du chaume et des feuilles**

**• Les fleurs**

Les bambous sont des plantes monoïques, c'est-à-dire que les organes mâles et femelles sont rencontrés sur la même fleur. Chez les bambous, les fleurs sont groupées en épis, il s'agit d'une "inflorescence". La floraison du bambou peut classer en deux: la floraison grégaire et la floraison sporadique. 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.



**Figure 15: Fleur du bambou.**

**• Les fruits/graines**

Les fruits du bambou sont généralement des caryopses. Semblables à des grains de blés, il existe cependant des différences dans la micromorphologie des graines. Des disparités existent également entre les espèces de bambou.



**Figure 16: Fruit du bambou**

## **II-2.2. PHYSIOLOGIE: [7], [8]**

### ***a. La croissance du bambou :***

Sa croissance dépend de sa réserve nutritionnelle provenant de feuille et de racine.

### ***b. L'âge du bambou [7]***

L'âge est un des paramètres essentiels pour l'utilisation du bambou, qui influence les propriétés physiques, chimiques et mécaniques. 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.

### ***c. La multiplication : [8]***

La multiplication se fait par voie végétative soit par bouturage de chaume (bambou tropical) soit par l'enracinement de rhizome (bambou traçant) ou division de touffes (bambou cespiteux).

### ***d. Le sol : [8]***

Le sol idéal pour le bambou est un sol légèrement acide ou neutre, riche en éléments nutritifs et matières organiques, frais et filtrant, dépourvu de cailloux. En outre, un sol argileux a un rôle essentiel dans la bonne croissance du bambou. Seulement une teneur excessive en argile entraîne une asphyxie des racines en période de pluie, et le sectionnement des racines superficielles en période de sécheresse à cause des fentes de retraits. Ces effets nocifs peuvent être contournés par l'apport des sables grossiers et selon le pH, la chaux peut rendre l'argile plus perméable.

### ***e. La pluie :***

Le développement des bambous est conditionné par la pluie. Son rôle devient moindre si les plantes disposent en permanence d'une réserve d'eau, ou bien sûr si l'arrosage vient suppléer son absence. Le bambou étant une plante à feuillage persistant, il n'y a pas de saison durant laquelle il puisse se passer l'eau. En revanche, lors de la sortie des nouvelles pousses ou lors des chaudes et sèches journées d'été, la demande sera bien supérieure.

## **II-2.3. LES MALADIES ET PARASITES : [8]**

On trouve quelques fois ces maladies :

### ***a. Les pucerons :***

Sur les plus jeunes pousses et les rameaux feuillés, plusieurs types de pucerons peuvent être rencontrés. Le principal inconvénient de leur présence réside dans le développement de la fumagine, un champignon qui se développe sur le miellat des pucerons et forme une pellicule noire inesthétique.

### ***b. Les acariens :***

Le *Schizotetranychus Celarius* est un acarien spécifique du bambou. D'autres acariens rouges et jaunes se rencontrent surtout si l'air est sec : les feuilles se décolorent et la plante cesse son développement. D'où l'utilisation d'un acaricide.

### ***c. Les maladies :***

D'ailleurs, on rencontre aussi des rouilles, fusarioses, helmintosporioses... mais les dégâts qu'elles provoquent sont négligeables.

## II.2.4. CLASSIFICATIONS: [7], [8]

### a. Classement botanique :

Cette classification se fait par des botanistes. Ce sont eux qui peuvent caractériser selon leur genre, espèce, variété... Non seulement elle est assez complexe chez les bambous, mais, en outre, les caprices de leur floraison font qu'il est difficile, voire impossible parfois de les observer.

Exemple : *Phyllostachys nigra 'Boryana'* : genre, espèce, variété ou cultivar ou même forme.

### b. Classement par types :

On peut distinguer par leur mode de développement:

- Les bambous cespiteux : Ils restent en touffes plus ou moins compacte.
- Les bambous traçants : Ils ont tendance à s'étendre en surface.

### c. Classement par taille :

Ce classement est purement horticole car il ne peut être rigoureux. On y distingue :

- Les bambous nains : < 1,50m,
- Les petits bambous : 1,50 – 3 m,
- Les bambous moyens : 3 - 9 m,
- Les bambous géants : > 9 m

## II.3. LA REPARTITION : [8]

### II.3.1. REPARTITION MONDIALE:



*Figure 17: Distribution des Bambous dans le monde*

Naturellement, on peut trouver les bambous sur tous les continents (Amériques, Asie, Afrique et Océanie) à l'exception de l'Europe et de l'Antarctique, et se sont adaptés à de nombreux climats (tropicaux, subtropicaux, et tempérés).

Leur aire de répartition possède une forte progression par la culture. Et a une distribution mondiale représentée comme suit :

Localisation	Sous-tribus	Genres	Espèces
Asie	6	44	Environ 650
Amériques	4	21	Environ 400
<b>Madagascar</b>	2	10	32
Afrique	2	3	5
Pacifique	2	2	4
Australie	2	2	3
<b>Total</b>	18	82	Environ 1100

*Tableau 5: Distribution mondiale du bambou [8]*

### **II-3.2. QUELQUES EXEMPLES D'ESPECES DE BAMBOUS :**

Bambous	Classe botanique	Hauteur (m)	Caractéristiques
NAINS	<i>Arundinaria auricoma</i>	0.03 - 1.5	<i>Phyllostachys viridis</i>
	<i>Arundinaria vagans</i>	<1	Feuillage vert clair
	<i>Arundinaria fortunei</i>	0.02 - 1	Feuille longue panaché longitudinalement de blanc crème.
PETITS	<i>Fargesia nitida</i>	2 - 4	cespiteux
	<i>Sasa tessellata</i>	1.5 - 2	Feuille longue : >50cm
	<i>Phyllosasa tranquillans</i>	2 - 3	Hybride de Phyllostachys et de Sasa
MOYENS	<i>Phyllostachys aurea</i>	6 - 9	Chaumes droit, feuillage vert clair
	<i>Phyllostachys nigra</i>	6 - 8	Chaume vert et noircit en vieillissant
	<i>Phyllostachys flexuosa</i>	6 - 8	Chaume vert et jaunisse au soleil
GEANTS	<i>Phyllostachys nigra</i> 'Boryana'	12 - 18	Feuillage vert foncé,
	<i>Phyllostachys pubescens</i>	15 - 25	Imposant, majestueux, petites feuilles et nombreuses,
	<i>Phyllostachys viridis</i>	5 - 12	chaume vert foncé brillant, très droit,

**Tableau 6: Exemples de bambou par classement botanique et par type [8]**

### **II-4. RAISON DU CHOIX DU BAMBOU [8]**

#### **II - 4.1. La filière bois à Madagascar : situation et constat**

Par définition, la filière bois c'est l'ensemble des activités de transformation ou de production du bois. On peut classer en général quatre l'activité concernés:

##### **a. La sylviculture**

Elle est une branche de l'agriculture consacrée à la culture et à l'exploitation des bois et des forêts. Elle se traduit par compartiment d'activité exclusivement dominé par l'Etat et les organismes nationaux ou internationaux.

La sylviculture Malgache n'a pas vraiment mis en place, elle n'a aucune activité précise. Elle reste toujours au stade primitif dans le domaine économique. En plus, on constate un important défrichement surtout à l'Est de notre île. Le défrichement est un phénomène lié à la démographie, mais il est avant tout un problème agricole.

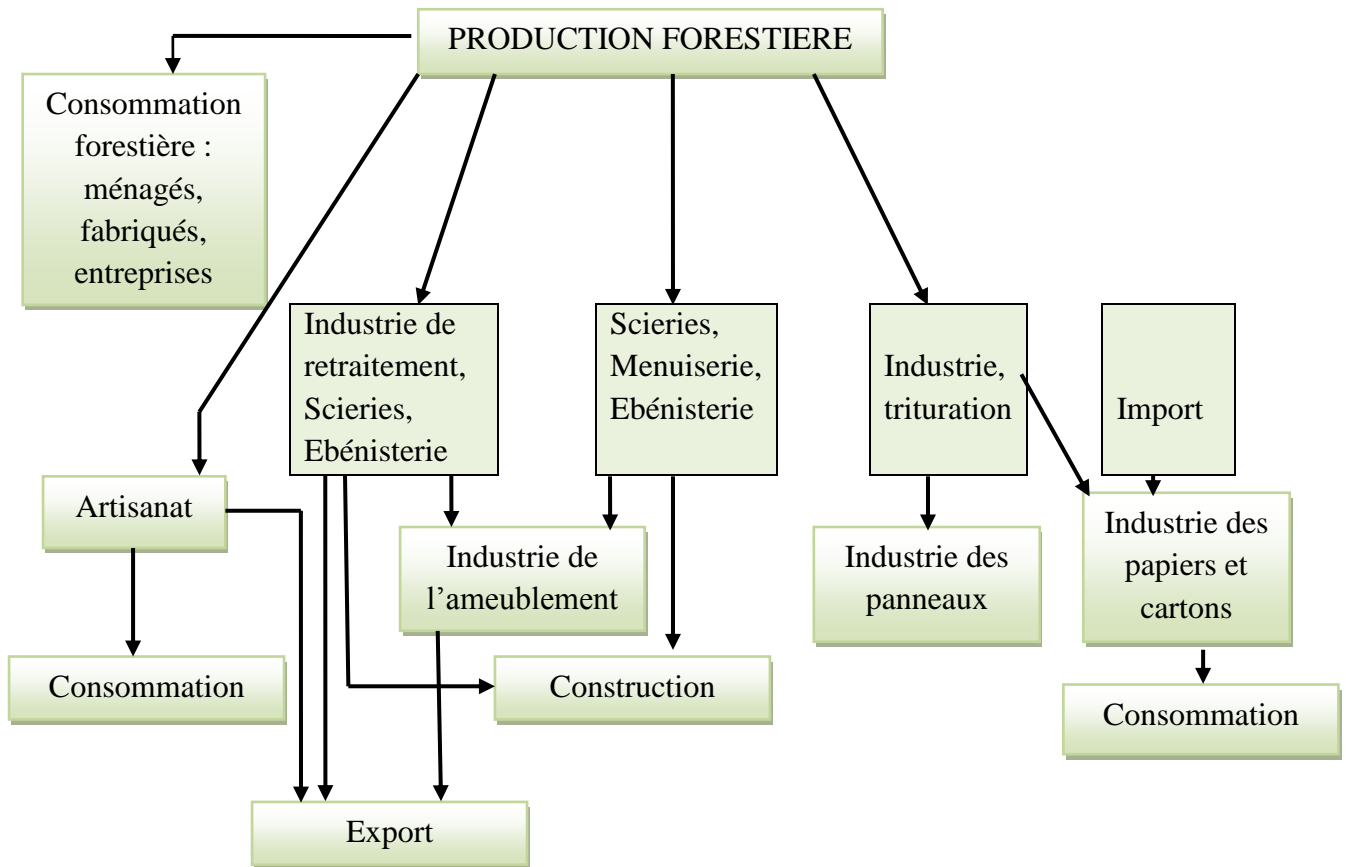
**b. L'exploitation forestière:** L'exploitation forestière constitue l'ensemble des activités qui contribuent au prélèvement du bois sur pied et donc à la production de bois façonnés, débardés et classés.

Il existe trois types de prélèvement : les permis de coupe à titre onéreux ou gratuit sur forêts domaniales, les permis de coupe non onéreux sur forêts privées et les permis d'exploiter qui se caractérisent par un débitage préliminaire en forêt.



### **c. La transformation du bois:**

Ce domaine est le plus mal connu de la filière même s'il y a des entreprises qui le transforment. L'organigramme suivant donne un aperçu de la complexité du secteur de la transformation du bois à Madagascar :



**Figure 18: Flux de bois dans la filière Malgache.**

Le secteur de la transformation du bois se divise probablement en trois ou quatre sous-filières distincts. Les sous filières grumes qui comprennent le circuit passant par l'industrie de trituration ou pressage et celui passant par l'industrie des sciages. Compte tenu de la production forestière recensée ces deux sous-filières ne sont probablement pas très importantes pour ne pas dire négligeable.

Les deux autres sous-filières sont constituées par les circuits passant par l'industrie de retraitement du bois et par ceux qui contournent cette industrie pour être utilisés directement par les artisans. Ces deux derniers sont assurément les plus importants tant en volume, en valeur ajoutée qu'en nombre d'agent économiques intervenant dans les filières.

Les industries du bois à Madagascar sont caractérisées par trois types bien distincts : les industries du sciage, les industries des panneaux et des contreplaqués, ainsi que l'industrie de la pâte du papier et des cartons.

#### **Industrie de retraitement du bois**

Elle peut être divisée en deux : les scieries non mécanisées et qui sont donc constituées par les débitages à la scie de long ou à la hache en forêt et les scieries mécanisées.

### **Industrie de panneaux de fibres (PANOMAD) [8]**

C'est la seule usine de panneaux de fibres à Madagascar située à Moramanga. Cette usine a été conçue pour satisfaire les besoins locaux relativement faibles et sa production est sur le marché local, sans aucune perspective d'exportation.

### **Industrie de la pâte du papier et du carton (PAPMAD) [8]**

La PAPMAD est l'unique industrie de pâte à papier à Madagascar qui ne constitue un débouché que pour le peuplement artificiel de Pins ou d'Eucalyptus. Elle produit quatre types bien distincts : la pâte mécanique, la pâte mi-chimique, le papier et le cahier.

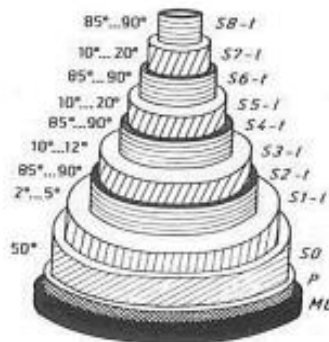
### **Entreprise de fabrication de planche: "MADAGASCAR BAMBOO" [8]**

Jusqu'ici, c'est la seule entreprise exploitant le bambou géant : "Dendrocalamus Giganteus" se trouvant à Madagascar. L'entreprise se situe à Toamasina. Elle produit des parquets en bambou fusionné, avec languette et rainure, des planches utilisées dans la construction comme les parois de maison, les toitures, les clôtures, les soutiens de construction,...

## **II.4.2. Justification du choix sur le bambou :**

### **a) Morphologie des fibres de bambou [7], [11]**

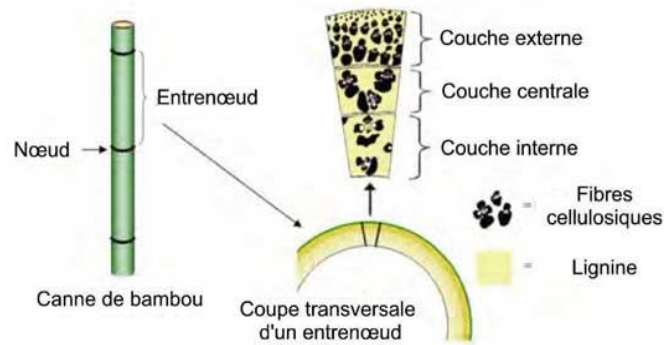
Ses fibres ont une structure polylamellée qui possède une alternance d'une épaisse et d'une mince couche de microfibrilles orientées. Les cellules d'un brin de fibre comprennent 3 à 4 couches épaisses avec une couche mince se trouvant entre eux. La paroi cellulaire de la gaine comporte seulement d'une ou 2 couches fines. Le taux de lignification devient important dans une fibre de gaine que dans un brin de fibre de même pour les couches minces que celles des épaisses. Les couches épaisses n'ont pas la même épaisseur, elles sont identifiées par l'angle des microfibrilles qui varie de 3 à 10°.



**Figure 19: Structure polylamellée d'une fibre de bambou**

### **b) Propriétés chimiques [10] [12]**

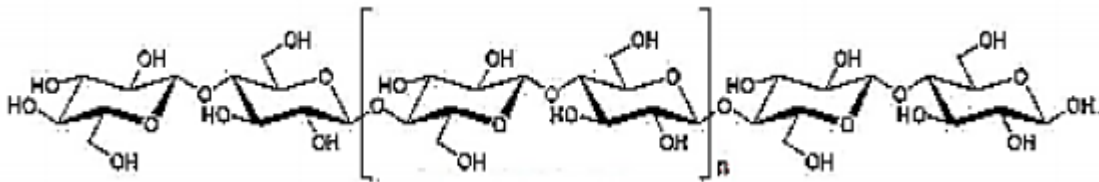
Le bambou dispose d'une même propriété à celle du bois. Le 90% de leur masse sont constitués par: la cellulose (60-80 %), l'hémicellulose et la lignine (5-20 %). Sa particularité au bois consiste à l'existence de cendres et de silice, plus d'extraits alcalins ainsi que des minéraux. Le bambou renferme également de l'amidon, des protéines et des glucides qui est la responsable de sa durabilité. La résistance du bambou contre les moisissures, les champignons et les insectes dépend à sa composition chimique. Les propriétés chimiques du bambou se modifient avec son âge et sont en rapport avec ses propriétés physiques et mécaniques.



**Figure 20: Coupe transversale chaume**

**La cellulose :**

La cellulose est une macromolécule constituée par la polymérisation d'une molécule élémentaire appelée glucose. Elle a pour formule brute  $(C_6H_{10}O_5)_n$  et de composition analogue à l'amidon, mais de poids moléculaire beaucoup plus élevé avec un degré de polymérisation élevé compris entre 5 000 et 10 000. Un degré de polymérisation de 10 000 correspond à une chaîne d'une longueur de 5  $\mu$ m. C'est un constituant majoritaire du bambou et celui presque unique du bois, coton et des fibres textiles du type lin, chanvre, jute et ramie.

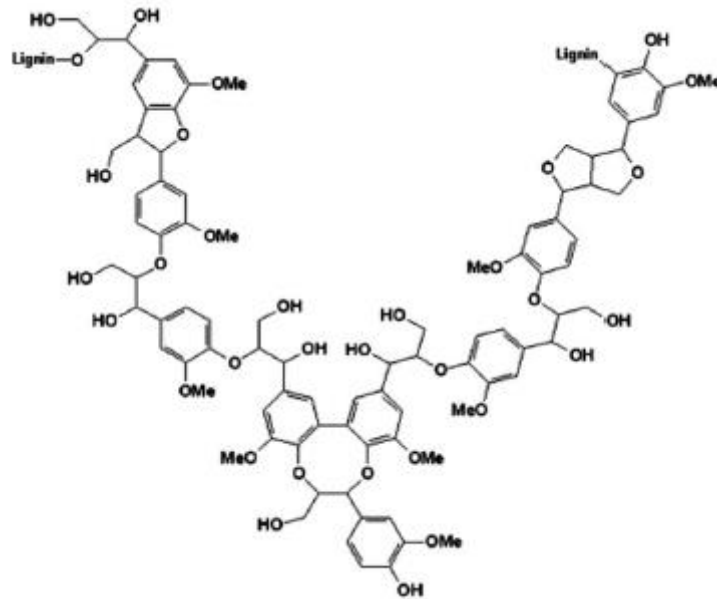


**Figure 21: Structure moléculaire de la cellulose**

**La lignine :**

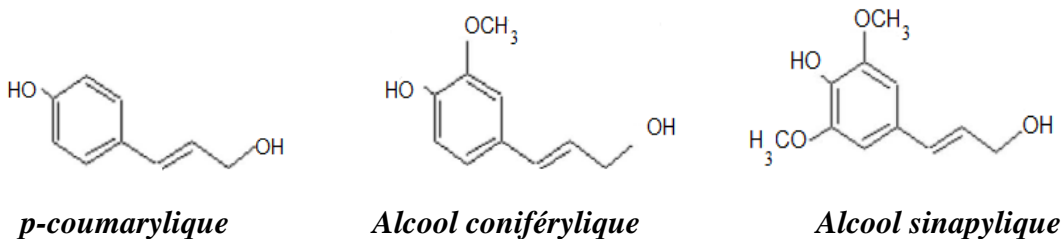
C'est un constituant majeur du bambou après la cellulose, un polymère complexe non linéaire et les motifs de base associés entre eux constituent un réseau qui s'interpénètre dans le réseau de la cellulose. La lignine donne au bambou de nouvelles propriétés et en particulier une grande hydrophobie.

C'est un polymère thermoplastique qui soude les fibres entre elles et confère aux plantes leur rigidité. Il faudra soit la dissoudre à l'aide de produits chimiques, soit l'assouplir par montée de température, afin d'extraire du bambou des fibres cellulosiques souples et individualisées.



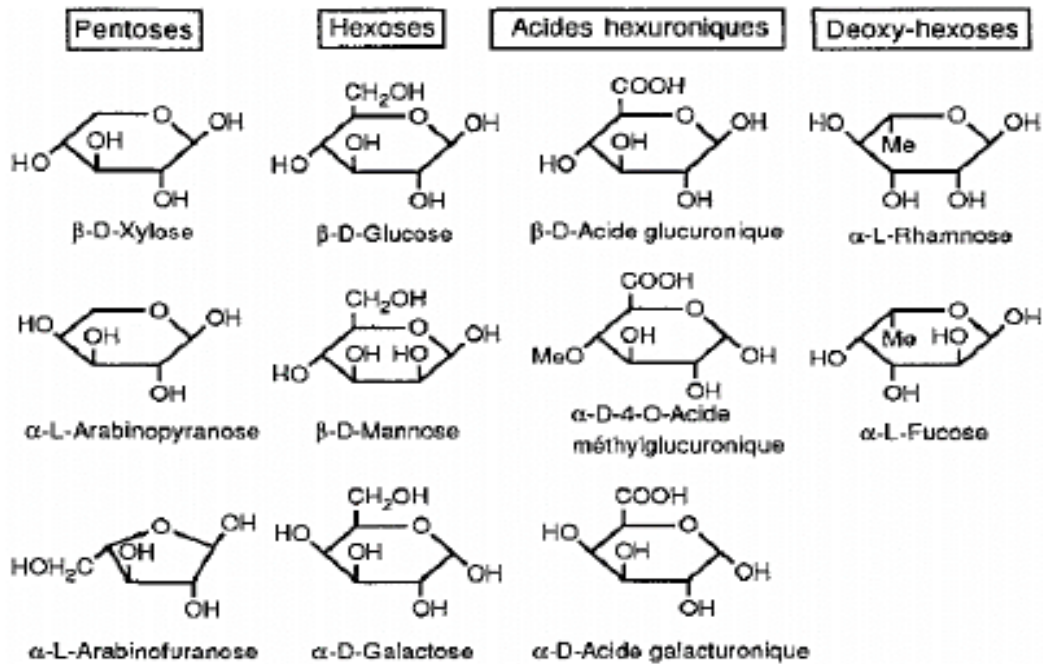
**Figure 22: Structure de la lignine**

La lignine est issue de la polymérisation des alcools p-coumarylique, coniférylique et sinapylique, qui sont des monolignols, ou 4-hydroxyphénylpropanoïdes, dérivés d'un acide aminé, la phénylalanine. La polymérisation s'effectue par une radicalisation oxydative des monolignols suivie d'un couplage radicalaire combinatoire.



**Hémicellulose :**

Les hémicelluloses sont les polysaccharides majeurs de la paroi des cellules du bambou, combinée à la cellulose et partiellement à la lignine. Les hémicelluloses sont facilement dissoutes dans des nombreux réactifs comme la soude dont les chaines ont un degré de polymérisation moyen de 50 ; elles sont plus courtes que celles de la cellulose et sont souvent ramifiées. L'hémicellulose permet d'unir les filaments micellaires de cellulose pour former les fibrilles.



**Figure 23: Formules des unités monomériques de l'hémicellulose**

**b) Propriétés physiques et mécaniques [10]**

Comme pour le bois, c'est la cellulose qui donne au bambou ses propriétés mécaniques. Sa structure moléculaire lui confère une résistance à la traction de l'ordre de 8000 N/mm<sup>2</sup>. Pour ce qui est de leur constitution physique, les chaumes de bambou sont composés pour environ 50% de parenchymes; 10, 40% de fibres (pour la résistance) et 10% de vaisseaux et de tissus conducteurs. Le bambou est donc en quelque sorte un matériau composite constitué de fibres cellulosiques dans une matrice ligneuse. En général, les fibres du bambou sont plus longues que celles du bois. Comme le montre la coupe transversale sur la figure 20, la quantité de fibres est plus importante dans le tiers extérieur afin d'assurer la résistance du chaume. Au niveau des nœuds, bien que la densité soit plus grande, les performances mécaniques sont moindres en raison de fibres plus courtes. Les nœuds constituent donc le point faible du chaume. Comme il a déjà été mentionné, les propriétés du bambou varient avec son âge : elles augmentent puis diminuent avec un maximum aux alentours de 3 - 4 ans. Des différences sont également observées entre espèces. Un tableau comparatif reprend les propriétés moyennes du bambou par rapport à celles du bois (Tableau 5).

Matériaux	Densité	$\sigma_c^{11}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_t^{12}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_m^{13}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$E^{14}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Bambou	0,7	64	194	117	14 000
Bois	0,4	38	95	42	10 000

**Tableau 7 : Propriétés mécaniques du bambou [10]**

D'une manière générale, les performances techniques atteintes par le bambou sont supérieures à celles du bois.

La particularité unique du chaume du bambou dans le monde végétal est intéressante. Leurs propres caractéristiques dépendent de l'endroit où il pousse, la nature du terrain, le climat, l'altitude, il peut être très différent de taille, de forme, voire la couleur. Ainsi, la filière bois à Madagascar est encore en phase de croissance. C'est pourquoi, la pratique de la transformation du bambou est prépondérante et attire l'attention.

## **II-5. VALORISATION DU BAMBOU**

L'extraordinaire rapidité de croissance et sa dureté de fibre si attirante du bambou nous incite à chercher de plusieurs applications comme dans :

### **II-5.1. Les constructions** : [9]

- Les parois, les clôtures, les chaumes des maisons sont constitués de tiges de bambou qui sont découpées en lamelles.
- Le bambou sert aussi à soutenir une construction, une maison en bois, un certains ponts.
- Le drainage de l'eau dans une source se fait grâce aux tiges de bambou.



***Figure 24: Bambou géant utilisé en tant que matériaux de construction après traitement chimique uniquement.***



***Figure 25 : Case en bambou***

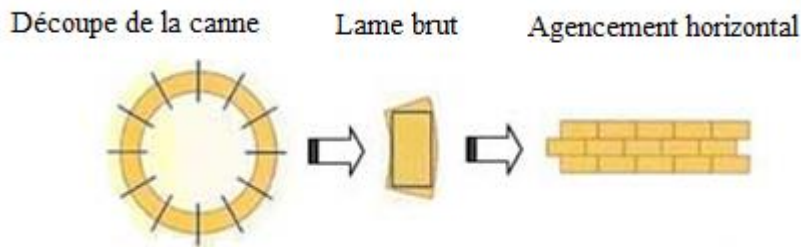
- ***Contreplaqué, panneau de fibre MDF, lamellé- collé*** [10]



***Figure 26: Matériaux de construction en Bambou géant ayant subi un traitement complet.***

Ils existent en différentes épaisseurs, couleurs et textures. Il est fabriqué à base des coupes de chaume des bambous. Sa couleur est en fonction du traitement appliqué aux lamelles de bambou lors de la fabrication. La texture dépend quant à elle de la méthode d'agencement des lamelles :

- A l'horizontale (« *plain pressed* » en anglais) : les lamelles sont placées à plat, collées ensemble sous haute pression. Les nœuds du bambou sont très visibles (zones plus foncées).

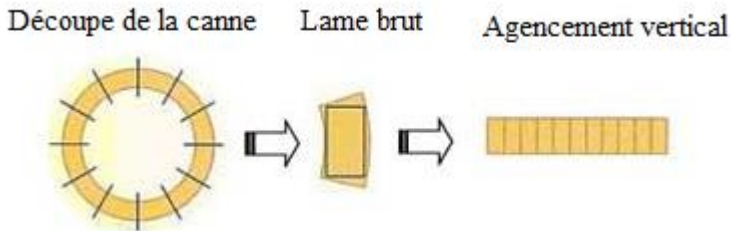


**Figure 27: Lamelles de bambou**



**Figure 28: "plain pressed"**

➤ A la verticale ("side pressed" en anglais) : les lamelles sont placées latéralement et collées ensemble sous haute pression. Les nœuds du bambou sont cette fois moins visibles.



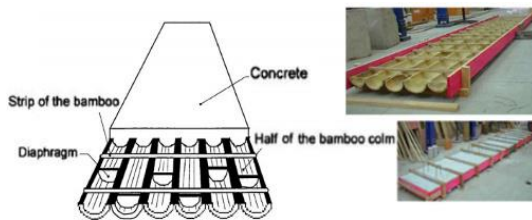
**Figure 29: "side pressed"**



**Figure30: Renfor**

**• Bambou et béton [10]**

Les chaumes de bambou sont également utilisés pour renforcer des dalles en association avec le béton. Il améliore la résistance de la dalle ainsi que l'armature.



**Figure 31: Renforcement dalle béton**



**Figure 32: Armatures en bambou**

**II-5.2. En menuiserie [9]**

- Le bambou sert à confectionner des bancs, des petits tabourets, des tables fixées au sol, des échelles, etc.
- Il y a aussi des meubles ou mobiliers plus élaborés à savoir des tables basses et des fauteuils.



**Figure 33 : Fauteuil en bambou**

**II-5.3. En agriculture : [9]**

- En production végétale
  - Les tiges de bambou découpées et vidées de l'intérieur servent à drainer l'eau dans les rizières.
  - Les tiges de bambou est utile à protéger quelques pépinières de culture (clôture et soutenir la terre), ils peuvent soutenir aussi les tiges qui ont besoin.



**Figure 34 : Tiges de bambou soutenant des planches de légumes**

➤ En élevage

- Le bambou sert à la construction aussi bien des enclos, mangeoires et d'abreuvoirs au sein de ses élevages.
- La compostière, aussi bien dans l'élevage piscicole que pour le maraîchage, est en bambou.
- Les tiges de bambou découpées et vidées de l'intérieur servent à drainer l'eau dans les élevages piscicoles (elles sont utilisées comme tuyau).



**Figure 35 : Mangeoire et abreuvoir en bambou**

**II-5.4. En transport [9]**

- Les produits agricoles sont acheminés vers les marchés dans des paniers confectionnés grâce aux tiges de bambou découpées.
- Il est courant de rencontrer en zone rural des personnes transportant divers produits grâce à une tige de bambou qui retient les deux éléments aux extrémités.
- Les volailles sont transportées et exposées dans les marchés urbains dans des cages en bambou.
- Les radeaux en bambou facilitent la traversée des petits cours d'eau.



**Figure 36 : Paniers en bambous**



**Figure 37: Tige de bambou portant 2 fagots de bois**

**II-2.5. En artisanat [10]**

• **Bamboo Mat Board (BMB)**

Le BMB est une sorte de contreplaqué fabriqué à partir de couches successives de nattes de bambou collées et pressées. Les nattes sont obtenues par tissage de fines lamelles de bambou, ce qui rend le procédé plus difficile à mécaniser.

- Le bambou peut valoriser aussi l'instrument traditionnel de musique typique malgache, comme le VALIHA. Il en est de même pour les cadres photos par exemple.





Figure 38: Nattes de bambou (gauche) et BMB (droite)



Figure 39: Valiha



Figure 40: Instrument de percussions

### II-2.6. Autres [9]

- **Alimentation** : Le bambou est découpé en tout petit morceau pour participer à la fabrication de glaces, des brochettes...
- Les bambous jouent également un rôle clé dans la conservation en abritant des espèces endémiques menacées d'extinction à très haute valeur de conservation telles que les lémuriens de bambou du genre *Hapalemur* et la tortue *Geochelone yniphora*.
- **Loisirs** : Le bambou est utilisé pour former les camps de but ou pour fabriquer des jouets pour les enfants.



Figure 41: Poussettes dans les marchés



Figure 42: Poussettes préparées pour la cuisson

## III- FABRICATION D'UN MATERIAU COMPOSITE

Nous décrivons les grandes utilisations du bambou et nous nous concentrerons sur le bambou lamellé-collé et le panneau de type MDF qui fait l'objet de ce travail.

### III-1. PROCEDE PAR LAMELLE COLLE : [8], [10]

Au niveau mondial, ce procédé est suffisamment en vogue pour la valorisation du bois et surtout pour le bambou. Le dénominateur lamellé-collé est un terme général regroupant différents types d'éléments obtenus suivant un même procédé de fabrication, à partir de lamelles de bois. Quant au bambou même, la grande différence au bois, ce n'est pas un produit brut qui est utilisé mais du SWB et dont le processus de fabrication est détaillé au point suivant.

#### a) STRAND WOVEN BAMBOO (SWB) [10]

Le SWB est un matériau d'aspect semblable au bois, fabriqué par encollage et compression de lamelles de bambou. Il sert à la fabrication des planches mais également de parquet. Nous verrons plus en détail son processus de fabrication dans la suite de travail. Voici donc les différentes étapes de production de ces planches.

#### • *Culture et récolte du bambou en plantation*

En général, on obtient 750 chaumes de bambous matures (3 à 5 ans) par hectares chaque année. L'âge des chaumes peut être déterminé grâce à leur couleur et à leur disparition des gaines. En effet, plus le chaume est vieux plus il sera mat.



**Figure 43: Récolte des chaumes de bambou**

• **Découpe des chaumes en lamelles**

Ils sont découpés en lame fine qui ne dépasse de 2500 x 25 x 10 mm à l'aide d'un outil appelées étoile. On a un total de 58 lamelles par chaume.



**Figure 44: Découpe des lamelles**

• **Rectification des lamelles (rabotage)**

Chaque lamelle subit un calibrage quatre faces. Les lamelles sont rabotées afin d'éliminer la peau et les parties trop peu fibreuses. Cette rectification rend les lamelles plus uniformes, ce qui facilite les procédés suivants.



**Figure 45: Rectification des lamelles**

• **Dédoublément des lamelles de plus grande épaisseur**

Les lamelles les plus épaisses (6 mm) sont dédoublées.

• **Traitement chimique:**

Le bambou est riche en amidon et sucre dont les insectes comme les mites sont friands. Une légère humidité fournirait un milieu propice pour la propagation de champignons. Le traitement chimique emploie les préservatifs hydrosolubles tels que la formaline 0.5%, le sulfate de cuivre de Phénol + 1 (1 de gamma : 2), chlorophénate 0.5% de penta de sodium et borax 1.5%. Les produits chimiques sont dissous dans l'eau. Les lamelles sont plongées dans ces solutions pendant 10 minutes.



**Figure 46: Traitement chimique des lamelles**

• **Traitement de préservation par autoclave**

Les lamelles subissent un traitement thermique à haute pression en autoclave en deux étapes durant chacune 2 h 30 m à 2 h 50 mn. Sous haute pression (0,21 à 0,25 MPa) et température (120 à 130°C), les sucres présents dans les lamelles vont fondre : c'est le processus de carbonisation. Après traitement, les lamelles résisteront mieux aux insectes (avides de sucre et d'amidon dont le bambou est composé) et ont une couleur caramel.



**Figure 47 : Traitement par autoclave**

• **Séchage**

Les lamelles sont ensuite envoyées en chambre de séchage à 50 - 80°C pour être amenées à un taux d'humidité de 5 à 9 %. Cette étape permet de garantir une bonne stabilité dimensionnelle des lamelles.



**Figure 48: Chambre de séchage**

• **Préparation lamelle pour encollage**

Pour permettre une meilleure adhésion de la colle et faciliter la compression des lamelles, ces dernières sont légèrement broyées (en anglais : crushing).



**Figure 49: "crushing" des lamelles**

- ***Encollage et pressage des lamelles***

Les lamelles sont trempées dans de la colle urée phénol formaldéhyde. La quantité de colle utilisée correspond à 15,1% en masse de la poutre pour les produits à utilisation intérieure et de 23% en masse pour une utilisation extérieure. Elles sont ensuite placées dans un moule qui est placé dans une presse froide de 2200 tonnes durant 5 minutes.



***Figure 50: Pressage des lamelles***

- ***Activation de la colle***

Après le pressage, les poutres (toujours dans leur moule) sont placées dans un four à 140-150°C pendant 8 heures pour que la colle prenne.

- ***Sciage poutre***

Une fois la prise de la colle terminée, les poutres sont sorties de leur moule. Afin d'éliminer les impuretés de moulage, elles sont sciées aux dimensions finales.



***Figure 51: Sciage des poutres***

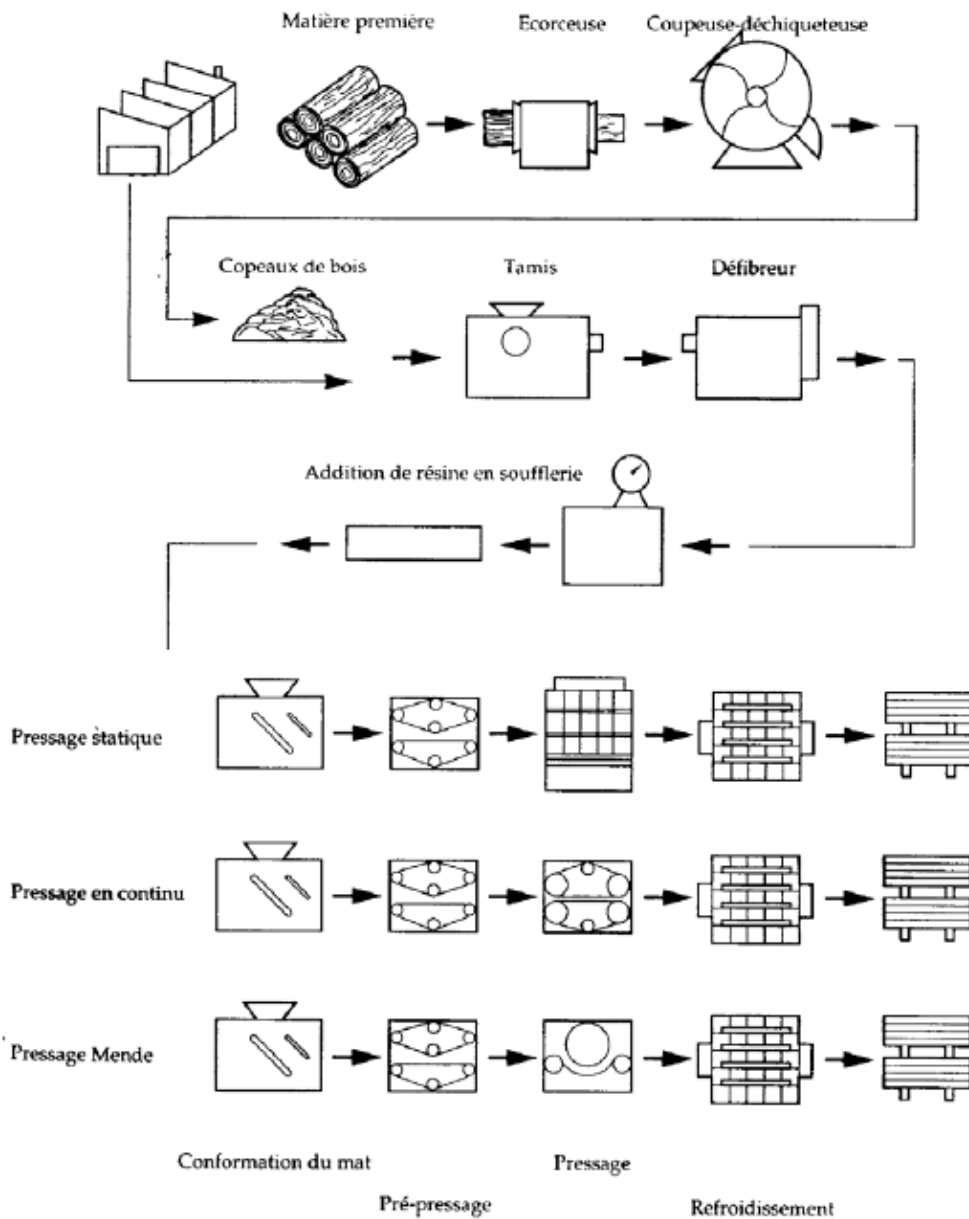
- ***Sciage et ponçage des planches***

Enfin, les planches sont sciées à partir des poutres et ponçées.



***Figure 52: Sciage des planches***

**III. 2. 3. PRINCIPE DE FABRICATION D'UN PANNEAU DE TYPE MDF** [2], [3], [13]



*Figure 53: Processus de production de MDF*

Pour l'ensemble des panneaux de fibres, la fabrication se fait pratiquement suivant le même schéma:

**BOIS => DEFIBRAGE => TRAITEMENT DES FIBRES => PREPARATION DU MAT  
=> OPERATIONS DE PRESSAGE => OPERATIONS DE FINITION**

La production des panneaux MDF à sec comprend 8 étapes depuis les matières premières jusqu'au produit fini.

**Fabrication de plaquettes, fibres:** Pour la production de MDF, on utilise des morceaux de bois rond écorcé et déchiqueté. La teneur en humidité des morceaux peut s'étendre de 40 à 70% sur une base de poids de séchage au four. Après écorçage, les rondins sont broyés en petites plaquettes tel que des petites particules (fines : 5 - 20 mm) et grands Particles/Peel (surdimensionnés :  $\leq 40$  mm) sont enlevées des morceaux pendant le criblage. Les retours de fines au processus et aux surdimensionnés sont vendus comme biomasse à un autre moulin. Seulement les morceaux classés appropriés sont alimentés au processus. Les autres morceaux sont lavés afin d'éliminer les éventuelles impuretés telles que minéraux ou métaux, puis les morceaux propres sont ramollis dans un digesteur vapeur-steam-pressurized et puis transportés dans une chambre pressurisée de raffineur (cuites à une température de 140 à 160 °C sous une pression de vapeur de 7 à 8 bars). Ensuite, elles passent dans un affineur qui les transforme en fibres et en faisceaux de fibres.

**Ajout du mélange de colle et séchage :** Les fibres et/ou les copeaux de bois sont encollés dans un "blowline", un tuyau dans lequel les fibres sont soufflées à haute vitesse, le frottement et le contact entre les fibres peuvent aider à distribuer la résine. La colle utilisée est de type UF (Urée Formol) ou MUF (Mélamine Urée Formol) pour les panneaux hydrofuges. En outre, d'autres agrégats peuvent être ajoutés en même temps que la colle pour améliorer par exemple les propriétés ignifuges du panneau.

Ensuite, les fibres sont séchées dans le dessiccateur de tube d'air chaud à des températures au-dessous de 180°C et stockées dans un petit silo tampon pour le pendistor ou formatrice du matelas.

**Formation du matelas :** Dans la station de formage, les fibres séchées (contenu d'humidité 7-9%) sont étalées sur un tapis ou l'air est aspire par le dessous de sorte que ces fibres forment un matelas appelé gâteau de presse. Le matelas de fibres étalées mesure près de 30 fois l'épaisseur du panneau en fin de chaîne de production. Pour la formation du matelas, l'industrie utilise surtout des conformatrices à aspiration mais aussi des conformatrices mécaniques. Les fibres sèches et encollées arrivent sur une toile métallique mobile où elles se déposent, formant le matelas (une fibre de natte).

**Le pressage:** Le tapis est pressé entre deux plateaux chauds. La chaleur est transférée des plateaux au tapis. Ce processus peut être très lent, car l'air reste emprisonné dans le tapis et l'humidité s'évapore pendant ce processus. Cela prend également beaucoup de temps à transférer la chaleur jusqu'au centre du tapis. L'air et la vapeur s'échappent à partir de la périphérie du tapis. La température à la surface du tapis est plus élevée qu'au centre pendant le cycle de pressage.

**Pressage du panneau :** Le pressage de panneaux MDF s'effectue en deux étapes. D'abord, le gâteau de presse passe dans une presse à bande où son épaisseur est réduite et où il acquiert une certaine robustesse. Ensuite, les bords sont équarris et le tapis est passé dans la presse principale en continu. La presse en continu comprend deux bandes en acier introduites dans la presse par un système de chaînes. Les panneaux sont ainsi comprimés à température et pression élevées. En sortie de presse, les panneaux sont sciés à longueur. En principe, les

panneaux peuvent être produits sur une longueur illimitée, mais la longueur du panneau MDF est limitée par les possibilités inhérentes à l'empilage et la suite du traitement (ponçage et sciage).

Après la formation, on soumet le matelas à un pré pressage pour lui donner la cohésion nécessaire au transfert de convoyeur et au chargement dans la presse. On passe ensuite au pressage à chaud environ 170 - 230°C où l'objectif est de compacter le matelas au niveau voulu de densité et d'épaisseur, de polymériser la résine pour lier les fibres et de stabiliser le panneau. Les usines modernes utilisent des presses à étages multiples, ou en continu. Les nouvelles usines tendent à choisir les presses en continu.

**Traitements finaux :** Lorsque les panneaux sortent de la presse et sont sciés une première fois à longueur, ils sont refroidis avec de l'air ambiant dans un carrousel de refroidissement. Ensuite, les panneaux sont stockés temporairement dans un local climatisé pour garantir la stabilisation complète des panneaux. Après l'acclimatation, les panneaux sont poncés avec une ponceuse à 4 têtes, de manière à calibrer et poncer les panneaux avec des grains de 60, 80, 100 et 150. Avant que les panneaux soient stockés pour l'expédition, ils sont sciés à mesure et conditionnés avec le plus grand soin.

Les panneaux sont ensuite transférés à une roue de refroidissement puis laissés quelque temps dans une aire de maturation. Suivent les étapes de finition où ils sont taillés, poncés, inspectés, laminés ou peints. La tendance est à l'automatisation complète de toutes ces opérations.

## **PARTIE II : MATERIELS ET METHODES**



## **INTRODUCTION**

Dès 1992, les pays asiatiques sont exclusivement utilisés le bambou comme matière première pour produire des matériaux de construction interne utile. Aujourd'hui, les technologies concernant les panneaux de fibre ne cessent d'évoluer, contribuant au développement de l'industrie, de la diffusion des connaissances, du conditionnement des produits de consommation. C'est pourquoi que nous choisissons dans cette étude alors le chaume du bambou, qui présente un matériel écologique performant, pour montrer qu'il peut fournir des matériaux adéquats à la construction.

## **I. PROCEDES D'ÉLABORATION**

### **I.1. But :**

Ce travail a pour but de valoriser les biomasses, chaume de bambou, ainsi que de réduire la déforestation à Madagascar.

### **I.2. Principe :**

Il consiste à offrir des matériaux de type panneau MDF et lamellé-collé, à base du bambou avec des propriétés extraordinaires, efficaces et durables.

### **I.3. Les matières premières :**

#### **a. Le bambou :**

C'est une espèce de bambou géant, de couleur jaune. Concernant ses dimensions, on a métré que son épaisseur est de 18 mm environ, alors que son diamètre est dans les 120 mm en moyenne.

#### **b. Les produits pour les traitements:**

Le préservant chimique utilisé est la solution de peroxyde d'hydrogène (0,65 % d' $H_2O_2$ ).

### **I.4. Expériences au laboratoire :**

Elle détermine les mesures selon le pesage, l'humidité, le pressage et aussi la carbonisation ainsi que les préparations des solutions, de colle urée formol et sa caractérisation.

#### **1) Préparation d ' $H_2O_2$ :**

##### ***Matériels utilisés :***

- éprouvette gradué
- bécher

##### ***Produits utilisés :***

- 156,6 mL d'eau distillé
- 43,4 mL d' $H_2O_2$  commercial

##### ***Mode opératoire :***

Dissoudre dans l'eau (contenue dans le bidon) l'eau oxygénée et bien agiter. Autrement dit, on fait la dilution.

#### **2) Préparation de colle**

##### **Matériels utilisés:**

pH-mètre, bécher, ballon, entonnoir, Balance, thermomètre, barreau, agitateur

### **Matières premières:**

Urée, formol, eau distillé, NaOH, Acide Acétique concentré.

### **Préparation de la colle UF [4]**

La résine UF de rapport molaire (U : F) = (1 : 1,6) a été synthétisée selon le protocole suivant :

Première phase : Dans un ballon de 1 litre surmonté d'un réfrigérant, 161,7 g de formurée (87, 32 g de formol, 37, 2 g d'urée, 32, 34 g d'eau) sont mélangés avec 38,22 g d'urée et 63g d'eau. Le pH est réglé à 8,5 avec une solution de soude à 33% puis la température est réglée à 92°C. Le pH diminue naturellement puis est maintenu entre 7,3 et 7,6 grâce à l'addition de quelques gouttes de soude à 33%. La température doit rester à 92°C. Après 15 min, le pH est réglé à 5 - 5,3 avec de l'acide acétique à 96%. Cette phase s'achève lorsque la tolérance à l'eau atteint 200%.

Deuxième phase : le pH est réglé à 8,7 par addition de soude à 33%. Puis 33,7 g d'urée sont ajoutés dans le ballon. Enfin la résine est refroidie en mettant dans le réfrigérateur à -5°C.

Dans ce tableau sont reportées les quantités en moles et en grammes des matières Premières utilisées pour la fabrication de la résine UF.

Composant	Gramme	Mole
Urée	109,11	1,82
Formaldéhyde	87,33	2,91
Eau	95,34	

***Tableau 6: Composition de la résine UF (F/U=1,6)***



***Photo 1: Matériels pour la fabrication de la colle urée formaldéhyde***

### **3) Caractérisation de la colle urée - formol [14]**

Il est important de caractériser les résines pour avoir une indication sur leur qualité. Autre que le rapport molaire, nous allons essayer de déterminer aussi telles que l'extrait sec, la viscosité, la tolérance à l'eau, le temps de gel et le pH de la résine.

#### **a) Détermination de l'extrait sec**

L'extrait sec d'une résine est la quantité de matière sèche restant après évaporation totale des composés volatils, calculée sur le produit liquide (NF EN 827) et exprimé en pourcentage. La

prise d'essai de 2 grammes près de la résine dans les trois béchers introduit dans l'étuve à 105°C pendant 2 à 3 heures. A la sortie de l'étuve, elles sont laissées à refroidir dans un dessiccateur puis il faut repeser.

L'extrait sec ES est alors défini en pourcentage par la formule suivante :

$$ES(\%) = \frac{(M_{pr} - M_{bv})}{M_{pi}} * 100$$

Où :

$M_{pr}$  = masse du becher + produit résiduel (g)

$M_{bv}$  = masse du becher vide (g)

$M_{pi}$  = masse du produit initial (g)

Une moyenne est effectuée sur les trois prises d'essai, on a 56 %.

### **b) Détermination de la viscosité ( $\eta$ )**

La viscosité est une propriété des fluides en mouvement que l'on peut définir par la force de frottement s'exerçant entre molécules et qui s'oppose à leur libre déplacement. Les propriétés du liquide dépendent de sa viscosité. S'ils sont très fluides ou mobiles et s'écoulent facilement (eau), leur viscosité est faible. D'autres, au contraire sont peu mobiles et s'écoulent lentement (huiles), leur viscosité est élevée. Une forte viscosité est le signe d'une certaine difficulté pour les molécules à se déplacer, à glisser les unes par rapport aux autres. Cette difficulté peut avoir deux origines :

- l'existence entre molécules d'interactions particulièrement fortes comme des liaisons Hydrogène ;
- la grosseur des molécules (ou des agrégats moléculaires): plus elles sont lourdes et grosses, donc de forme plus compliquée, plus elles se gênent les unes vis à vis des autres.

Nous distinguons deux types de viscosités :

a) La viscosité dynamique concerne les fluides newtoniens pour lesquels cette valeur est constante.

b) La viscosité cinématique concerne les fluides non newtoniens pour lesquels la valeur de la viscosité dépend de la température et de la pression et n'est plus constante. Les fluides non newtoniens peuvent être thixotropes : un cisaillement constant prolongé dans le temps réduit la viscosité du liquide, mais après un certain temps au repos, le liquide reprendra sa valeur initiale de viscosité.

Les résines UF sont thixotropes, donc la viscosité cinématique reste à déterminer. Dans ce cas alors, il faut toujours préciser :

- la température à laquelle on fait la mesure
- la taille du mobile avec lequel on provoque le cisaillement du liquide
- la vitesse de rotation du mobile.

Mais dans notre cas, la mesure de la viscosité ne peut plus réaliser à cause de l'absence de viscosimètre.

### c) Détermination de la tolérance à l'eau

La tolérance à l'eau peut mesurer pendant la synthèse d'une résine UF pour avoir une idée de l'état d'avancement de la polycondensation et la stabilité dans l'eau du polymère. A la fin de la synthèse, les résines UF ont un aspect clair mais elles deviennent troubles avec le temps. Le passage d'un état clair à un état trouble est le signe normal d'un « vieillissement » de la résine. La tolérance à l'eau qui peut être suivie au cours du temps décroît au cours du vieillissement. La mesure est réalisée de la façon suivante : dans un tube à essais, on met 1g de résine et on ajoute des quantités croissantes d'eau distillée en mélangeant la résine + eau, jusqu'à obtenir la formation d'un précipité blanc. La tolérance à l'eau (TE) de la résine est exprimée en pourcentage et calculée en utilisant la formule suivante :

$$TE (\%) = \frac{mg_{H_2O}}{mg_{résine}} * 100$$

Dans le cas de la résine UF (F/U=1,6) que nous avons préparée, la synthèse est terminée lorsque la tolérance à l'eau atteint 200%.

### d) Détermination du pH

Le pH est une mesure de l'acidité ou de la basicité d'une solution. Dans notre étude, le pH comprise entre 4 et 10, nous avons suivi les variations de pH pendant la synthèse des résines UF. Le pH de la résine UF (F/U) obtenu est 8,4 à 20°C.

### e) Détermination du temps de gel

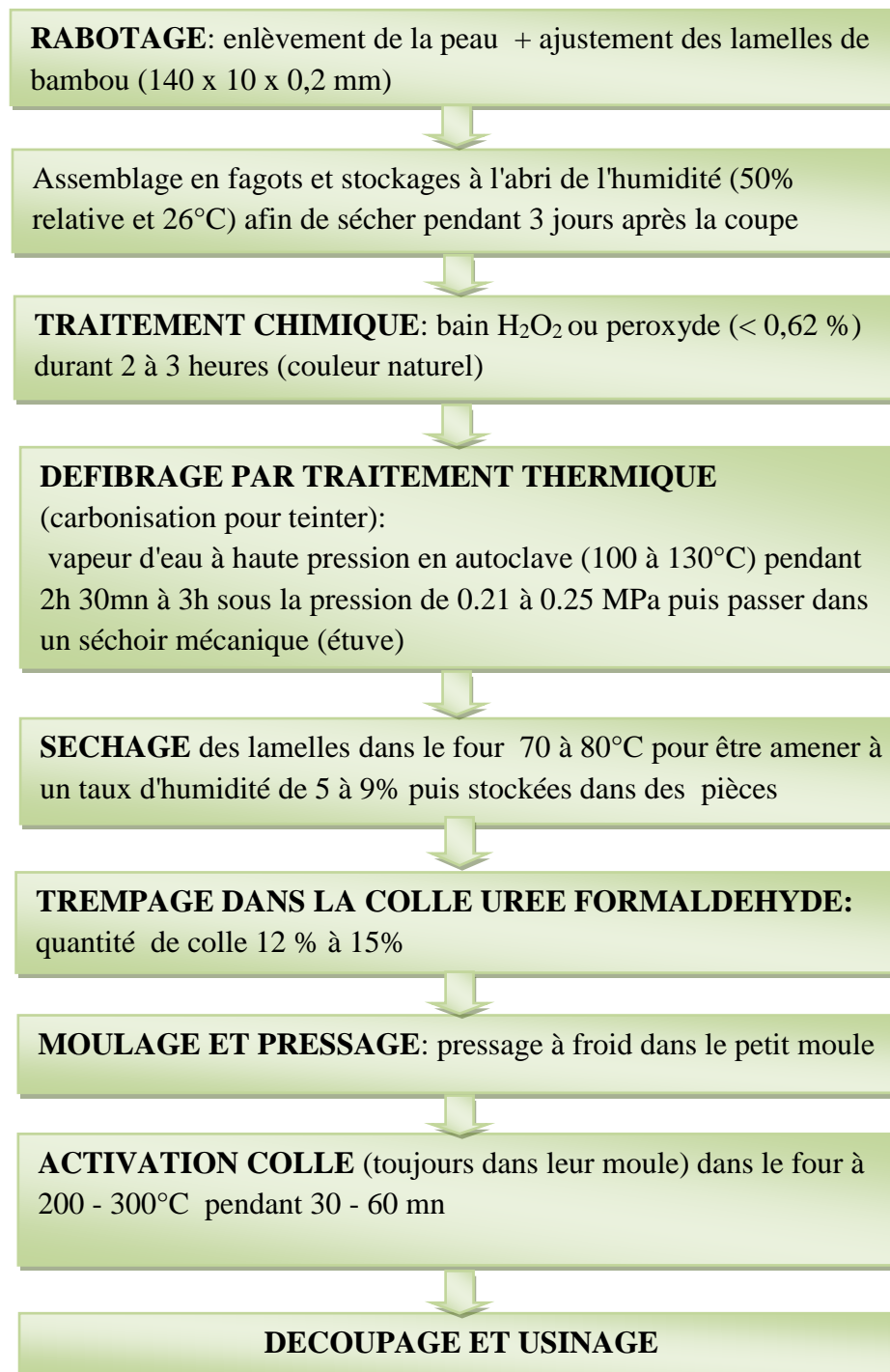
Pour déterminer les temps de gel d'un mélange collant, nous mettons 2 g de mélange dans un tube à essais, nous plongeons le tube dans un bécher contenant de l'eau bouillante (100°C) et nous le mélangeons avec une tige jusqu'à ce que l'on atteigne la gélification. Le temps de gel est chronométré à partir de l'immersion du tube dans le bécher jusqu'à la gélification.

Le temps de gel représente le temps nécessaire pour coller à compter du moment où l'ensemble a été placé dans le bain. Cette analyse se fait à pH donné, celui-ci peut être ajusté afin d'optimiser le temps de gel. Il est ajusté à l'aide d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 33 % et d'acide acétique à 96%. Pour chaque série, deux essais ont été effectués. Le but de l'étude était d'obtenir un temps de gel de moins de 5 minutes.

## II. PROCESSUS DE PRODUCTION DE LAMELLE-COLLE

Ce processus comprend une série de soins, soit d'opérations physiques soit chimiques, suivant l'ordre pour rendre un matériau de construction acceptable:

### II.1. Schéma de procédé de fabrication de lamellé-collé de bambou:



*Illustration 1: Organigramme du lamellé-collé*

## **II.2. Coupe :**

C'est l'âge qui détermine la dureté, la résistance physique et mécanique du bambou. Sa coupe se fait avec une hache au premier ou second nœud à partir du niveau du sol.

## **II.3. Dimensionnement:**

Suite à la coupe, les tiges de bambou géant âgés de trois à cinq ans minimum, après l'enlèvement des peaux, sont découpées et lamellées en fine lame de 140 x 10 x 0,5 mm.

#### **II.4. Carbonisation et purification:**

En tant que le bambou contient plus d'amidon, il faut savoir qu'on diminue les risques d'attaque par les insectes. Pour la couleur caramel, il y a le traitement thermique afin d'améliorer aussi la lutte contre les insectes d'où la carbonisation. Cette dernière peut être sautée si on souhaite une couleur naturelle et non caramélisée. D'ailleurs, la purification consiste à ôter toute impureté présente dans les lamelles à l'aide des solutions de peroxyde.



*Photo 2: Carbonisation dans l'autoclave*



*Photo 3: Purification dans la solution d'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

#### **II.5. Séchage, pesage et trempage:**

Le séchage se fait en deux étapes:

- Séchage à l'air : qui ôte 6 – 8% de l'humidité ;
- Séchage à l'étuve dans notre cas : qui ôte 28% de l'humidité.



*Photo 4: Séchage dans l'étuve*



*Photo 5: Pesage des lamelles*

#### **II.6. Collage, moulage et pressage :**

Dans notre travail, les bambous sont collés à l'aide d'une colle urée formol qui est une colle thermosable. Ensuite, un triage des lames s'effectue suivant leur coloration pour avoir un lamellé-collé de couleur uni. La mise en moule se fait juste après avoir corrigé la teneur colle-lamelle. Ce moule est une des pièces maitresses du dimensionnement des appareillages à

utiliser et dépend de celle du produit fini désiré, dans notre cas le moule est 14 / 12 / 3 cm. Au sujet de pressage, il se fait à froid avant de mettre dans le four 200 - 300°C pour l'activation de colle alternativement avec le pressage.

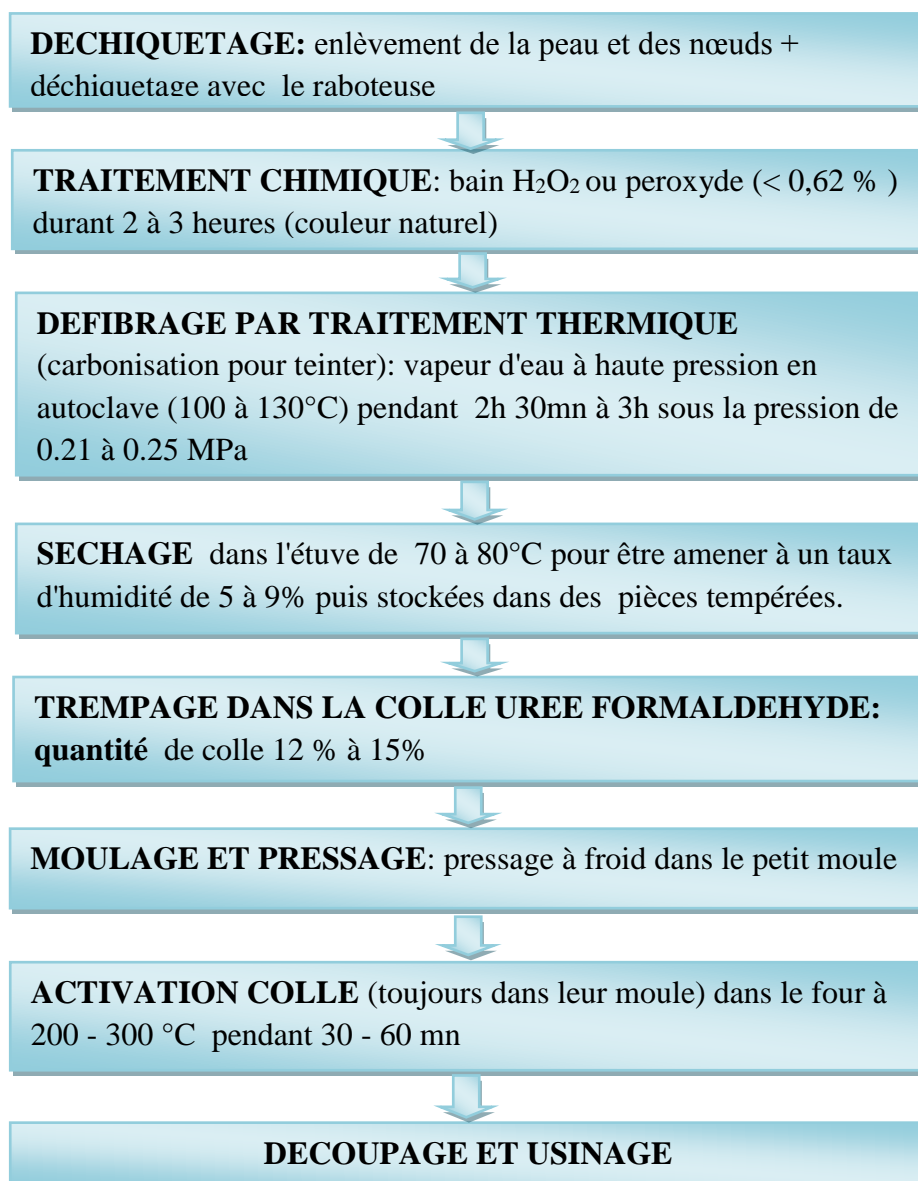
## **II.7. Démoulage**

L'opération démoulage consiste à enlever le panneau dans le moule.

## **III. PROCESSUS DE PRODUCTION DU PANNEAU MDF**

De toute façon, ce processus est la même que le lamellé-collé; elle différencie par le déchiquetage. Nous allons entamer son processus:

### **III.1. Schéma de procédé de fabrication du panneau MDF**



*Illustration 2: Organigramme du panneau de type MDF*

### **III.2. Abattage des bambous**

Cette opération consiste à couper les bambous au premier ou second nœud à partir du niveau du sol avec une hache.

### **III.3. Déchiquetage:**

Les peaux des tiges de bambou de 3 à 5 ans sont extraites afin de sécher 3 jours après la coupe (50 % relative et 26°C). Après son épluchage, il est nécessaire d'enlever ses nœuds soigneusement avec une scie, puis les tiges sont mêlées avec la raboteuse pour obtenir le chaume déchiqueté.



*Photo 6: Raboteuse*



*Photo 7: Chaume du bambou déchiqueté*

### **III.4. Traitement chimique et thermique:**

Du fait de sa constitution, et pour éviter toute détérioration due à une action extérieure, le chaume du bambou doit subir un traitement par des produits fongicides et insecticides. Le traitement peut être fait par une solution aqueuse (contenant les substances actives) ou un solvant organique. C'est pourquoi le traitement chimique des coupeaux de bambou convient à l'ajout du peroxyde dilué. Ils sont plongés dans le peroxyde d'hydrogène 0,65 %  $H_2O_2$  pour empêcher les insectes, c'est pour la couleur naturelle. Pour le traitement thermique ou carbonisation, c'est un traitement à la vapeur d'eau à haute pression en autoclave de 100 à 130 °C pendant 2h 30mn à 3h sous la pression de 0.21 à 0.25 MPa qui vise à améliorer d'une part sa durabilité (résistance plus importante face aux insectes et aux champignons) et d'autre part à réduire ses variations dimensionnelles; puis passer dans un séchoir mécanique mais dans notre cas, on remplace par l'étuve ce dernier.

### **III.5. Séchage**

Il se réalise dans le four 70 à 80 °C pour être amené à un taux d'humidité de 5 à 9 % puis stockées dans des pièces tempérées.



*Photo 8: Séchage dans le four de 70 - 80°C*



### **III. 6. Trempage, moulage et pressage**

Les bambous déchiquetés sont baignés dans l'urée formol après avoir été séché. La mise en moule se fait juste après le trempage. Ce moule est une des pièces maitresses du dimensionnement des appareillages à utiliser et dépend de celle du produit fini désiré, dans notre cas le moule est 14 12 3 cm. Au sujet de pressage, il se fait à l'aide de ces quatre boulons associés à ce moule et se réalise à froid avant de mettre dans le four 200 - 300° C pendant 30 - 60 mn pour l'activation de colle.

Moulage: Procédé manuel pour la réalisation de pièces à partir de résines thermodurcissables, à température ambiante et sans pression. Les renforts sont déposés sur le moule et imprégnés de résine liquide, accélérée et catalysée.



*Photo 9: Trempage dans la colle*

*Photo 10: Moulage*



*Photo 11: Pressage et activation de la colle dans le four*

### **III.7. Démoulage**

Le démoulage consiste à enlever le panneau dans le moule pour rafraichir. L'élaboration du matériau semble difficile malgré l'insuffisance des matériels adéquats au laboratoire.

## **PARTIE III: RESULTATS ET DISCUSSIONS**

## I. PANNEAU MDF CONFORME A LA NORME NF EN 622-5

Les essais sont réalisés selon les normes européennes et les caractéristiques retenues pour tous les types du panneau MDF sont :

- Epaisseur (NF EN 324-1)
- Equerrage et rectitude des bords (NF EN 324-2)
- Humidité (NF EN 322)
- Masse Volumique (NF EN 323)
- Gonflement en épaisseur après immersion 24 heures (NF EN 317)
- Cohésion interne (NF EN 319)
- Résistance à la rupture en flexion (NF EN 310)
- Module d'élasticité en flexion (NF EN 310)
- Teneur en formaldéhyde (NF EN 120)

Voici le tableau caractéristique qui nous indique les valeurs des essais mécaniques, des essais physiques suivant la norme NF EN 622 - 5.

Méthode d'essais	Caractéristiques par le panneau		Unités	GAMMES D'ÉPAISSEURS (mm)						
				4<e≤6	6<e≤9	9<e≤12	12<e≤19	19<e≤30	30<e≤45	e≥45
NF EN 324 - 1	Epaisseur nominale		mm	+ 0,2				+ 0,3		
	Longueur / Largeur			+ 2 mm / (maximum 5 mm)						
	Equerrage			Tolérance de 2 mm sur une base de 1000 mm						
NF EN 322	Humidité		%	4 à 11 %						
NF EN 323	Ecart masse volumique moyenne du panneau		Kg/m <sup>3</sup>	+ 7 %						
NF EN 317	Gonflement en épaisseur 24h		%	< 30 %	< 17 %	< 15 %	< 12 %	< 10 %	< 8 %	< 6 %
NF EN 319 NF EN 310	Cohésion interne	Etat normal	N/mm <sup>2</sup>	> 0,65	> 0,65	> 0,60	> 0,55		> 0,50	> 0,50
	Flexion	Contrainte de rupture		> 23		> 22	> 20	> 18	> 17	> 15
		Module d'élasticité		> 2700		> 2500	> 2200	> 2100	> 1900	> 1700
NF EN 120	Teneur en formaldéhyde		mg	Classe E <sub>1</sub> (< 8 mg)						

**Tableau 7: caractéristique conforme à la norme NF EN 622- 5 [15]**

Le panneau MDF peut avoir une vaste dimension selon leur utilisation. C'est un matériau relativement stable puisque son taux d'humidité reste un peu variable 4 à 11 %. Et entre autre,

sa masse volumique dépend de l'épaisseur, plus le panneau est épais plus son masse volumique diminue. Ils ont de bonnes caractéristiques mécaniques concernant les valeurs du tableau, son module de rupture (15 à 23 N/mm<sup>2</sup>), sa cohésion interne (0,5 à 0,65 N/mm<sup>2</sup>), son module d'élasticité (1700 à 2700 N/mm<sup>2</sup>) aussi sont en fonction de l'épaisseur. Mais comme tous les panneaux de bois comprimés, ils présentent un gonflement (24 heures) qui varie entre 6 à 30 % selon leur épaisseur. En effet, ce dernier est amélioré par l'utilisation de résines renforcées UF. Son grand intérêt et l'une des raisons de son succès est son homogénéité. En outre, les résines à base de formaldéhyde produisent des effets néfastes à l'environnement même à la santé. C'est la norme NF EN 120 qui détermine la teneur en formaldéhyde des panneaux. Dans notre cas, il appartient à la classe E<sub>1</sub> (8 mg).

## **II. CARACTERISATION D'UN PANNEAU DE FIBRE MDF AU LNTPB**

Les propriétés physiques et mécaniques des panneaux se déterminent au moyen d'essais de Laboratoire National des Travaux Public et du Bâtiment (LNTPB) sur la base de norme NF EN 12390-5 pour les propriétés mécaniques et P 18-554 pour les propriétés physiques.

### **II. 1. Dimensions**

Selon le panneau MDF, il peut avoir une très vaste dimension selon leur utilisation.

#### **Longueur / largeur / épaisseur**

- Epaisseur (mm) : 6, 8, 9, 10, 12, 15, 16, 18, 19, 22, 25, 28, 30, 38 (actuellement 2 à 60 mm)
- Dimensions de panneaux standards (mm) : 1220 x 3050, 1220 x 3050, 1830 x 2440
- Largeur de 2450 à 2550 mm
- Longueur de 3660 à 6310 mm

Pour notre étude, nous choisissons comme dimension du panneau 140 x 120 x 15 mm.

#### **Stabilité dimensionnelle**

Les panneaux à base de bois gonflent et rétrécissent en fonction des variations du taux d'humidité dans le matériau. En connaissant l'épaisseur de l'échantillon de panneau, le gonflement G (en pourcentage) est donné par la formule suivante:

$$G (\%) = \frac{ef - ei}{ei}$$

Où :

*ef* = épaisseur de l'échantillon après immersion dans l'eau (mouillé ou séché)

*ei* = épaisseur de l'échantillon avant immersion dans l'eau

### **II. 2. Propriété physique**

#### **a) Masse volumique**

La masse volumique (en tonnes par mètre cube) du panneau est déterminée selon la norme P18-554. Elle est définie comme le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume occupé par la matière solide, y compris les vides contenus dans les grains (volume réel).

$$\rho = \frac{M_s}{M_a M'_a}$$

$M_s$  : Masse réelle

$M_a M'_a$  : Volume réelle

**b) Taux d'humidité**

L'humidité du panneau est déterminée comme pour le bois. Le taux d'humidité d'un bois correspond à la masse d'eau contenue dans le bois pouvant être enlevée par dessiccation. C'est le rapport de la masse d'eau qu'un échantillon de bois contient à la masse anhydre. Ce paramètre est donné par :

$$H \% = \frac{M_h - M_o}{M_o} * 100 \%$$

Avec:

$M_h$  : Masse humide en kg, masse du bois au taux d'hygrométrie h.

$M_o$  : Masse anhydre en kg du bois obtenue après un séchage de l'échantillon dans une étuve à 105°C

**c) Coefficient d'absorption d'eau (en pourcentage)**

Le coefficient d'absorption est la propriété du panneau qui s'imprègne de l'eau suivant la norme P18-554; il est défini comme le rapport de l'augmentation de masse de l'échantillon entraînée par une imbibition partielle en eau, à la masse sèche de l'échantillon. Cette imbibition partielle est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24 h à 20°C à la pression atmosphérique. Sa formule indique:

$$T_a = \frac{(m_{hydraté} - m_{anhydre})}{m_{anhydre}} * 100$$

$T_a$  : Taux d'absorption (%)

$m_{anhydre}$  : Masse des échantillons à l'état anhydre (g)

$m_{hydraté}$  : Masse des échantillons à l'état hydraté (g)

**d) La résistance thermique**

C'est le rapport de l'épaisseur d'un matériau divisée par sa conductivité thermique.

Le pouvoir isolant d'un matériau est caractérisé par sa résistance thermique R, qui s'exprime en m<sup>2</sup>. °C / W (mètre carré degré Celsius par watt) : plus R est grand, plus le matériau est isolant.

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Avec:

**e** : épaisseur de l'isolant, s'exprime en mètre (m)

$\lambda$ : conductivité thermique. Elle s'exprime en W/m. °C (watts par mètre et par degré Celsius), Propriété d'un matériau à conduire la chaleur, en fonction de son épaisseur (1m) et pour un écart de température de 1°C.

Plus  $\lambda$  est petit, plus le matériau est isolant

### **II. 3. Propriété mécanique**

La résistance à la flexion détermine la valeur limite quant à la charge d'un panneau MDF, le module d'élasticité détermine la rigidité et ainsi la mesure de la flexion sous une charge. Dans notre étude, la détermination des propriétés mécaniques, que nous avons, est déterminé par la norme NF EN 12390 - 5.

#### **a) Mesure du module d'élasticité MOE**

Le module d'élasticité en flexion statique est une constante propre à chaque matériau. Il caractérise la proportionnalité entre la charge et la déformation (Gerard et al, 1998). C'est une propriété de première nécessité car elle constitue un indicateur de la rigidité du matériau. La méthode la plus simple pour le déterminer consiste à réaliser un essai de flexion 3 points.

L'essai de flexion statique 3 points est un test mécanique statique, qui fait partie de la famille des essais indépendants du temps. Il est facile de le mettre en œuvre (absence de système de fixation d'éprouvette, géométrie simple des échantillons). Le principe de l'essai de la flexion 3 points consiste à appliquer un effort  $F$  de vitesse généralement constante sur une éprouvette parallépipédique, posée sur deux appuis simples et à évaluer ensuite la déformation de l'éprouvette due à l'effort. La valeur du module d'élasticité est exprimée à partir de l'équation :

$$MOE = \frac{K.L^3}{4.b.h^3} \text{ (Module d'élasticité)}$$

Où  $K$  : le rapport entre l'accroissement de l'effort  $F$  appliqué au matériau et l'accroissement de l'allongement du matériau dû à l'effort (flèche),

$L$  est la portée de la flexion ou distance entre les appuis,

$h$  est l'épaisseur de l'éprouvette et

$b$  est largeur de l'éprouvette.

#### **b) Mesure de la résistance à la flexion MOR**

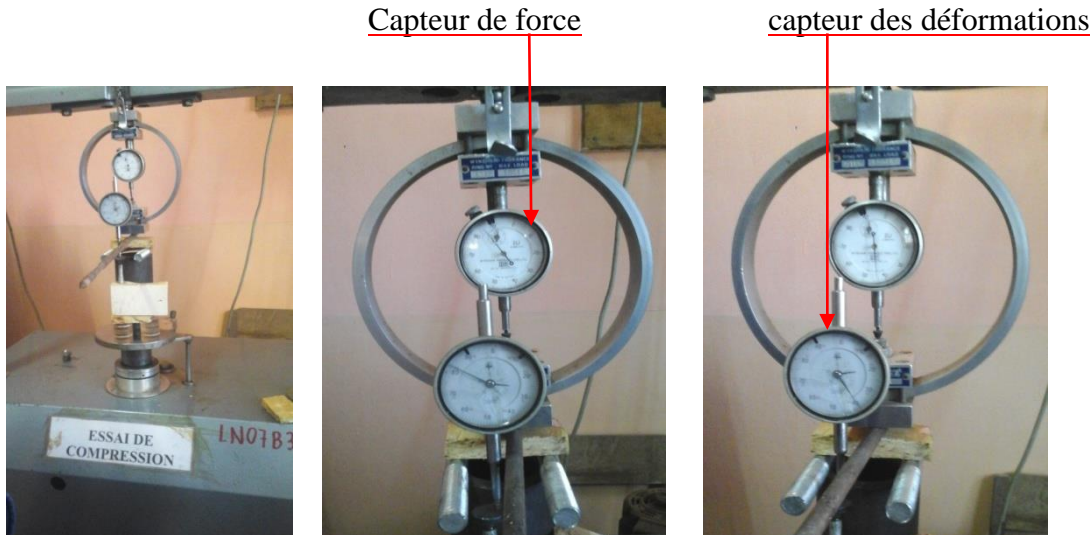
Le module de rupture en flexion statique (MOR) correspond à la contrainte qu'il est nécessaire d'appliquer au milieu d'une éprouvette reposant sur deux appuis pour arriver à sa rupture (Gérard et al, 1998). Il est important de caractériser ce paramètre car celui-ci détermine à quel point le matériau peut supporter la rupture. La valeur du module de rupture est exprimée à partir de la force maximale mesurée à l'aide de l'équation.

$$MOR = \frac{3F_{max}.L}{2.b.h^2} \text{ (Module de rupture)}$$

Où  $F_{max}$  : la force maximale de rupture,

$L$  : la portée de la flexion ou distance entre les deux appuis,  
 $h$  et  $b$  représentent respectivement, l'épaisseur et la largeur de l'éprouvette.

La caractérisation du module de rupture en flexion statique a été réalisée en même temps que la caractérisation du module d'élasticité. Le protocole de mesure est donc le même que celui utilisé pour la détermination du module d'élasticité, mais seul le capteur de force a été utilisé afin de déterminer  $F_{max}$ .



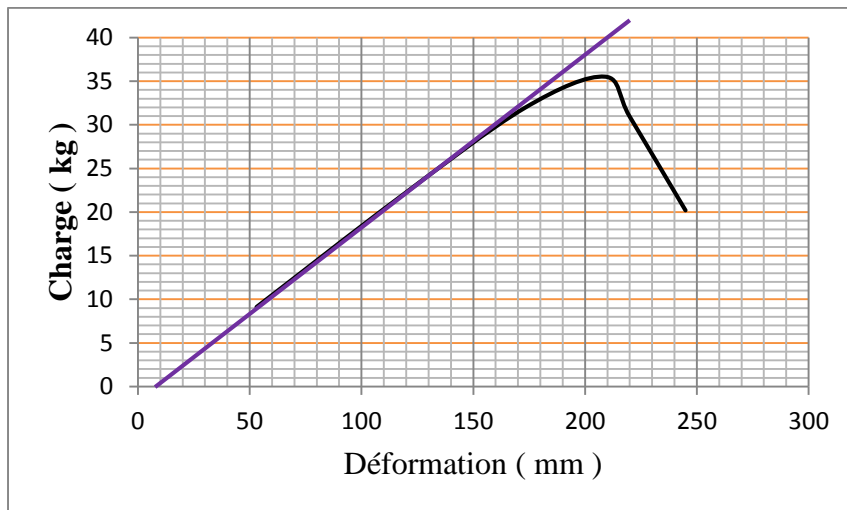
**Photo 12: Mesure de MOE et MOR du panneau MDF par la presse d'écrasement dynamométrique**

C'est à partir de cet appareil qu'on puisse capter les valeurs de charges exprimées en kg, dans le tableau en arrière, et l'autre tableau qui se trouve devant indique la déformation en millimètre. La déformation du panneau varie en fonction de la charge qu'on lui applique et elle se finira par l'écrasement total.

Les graphes suivantes montrent les variations de charges en fonction de la déformation;

Essaie N° 1:

x	53	116	173	209	220	245
y	9,128	21,516	31,948	35,534	30,97	20,212

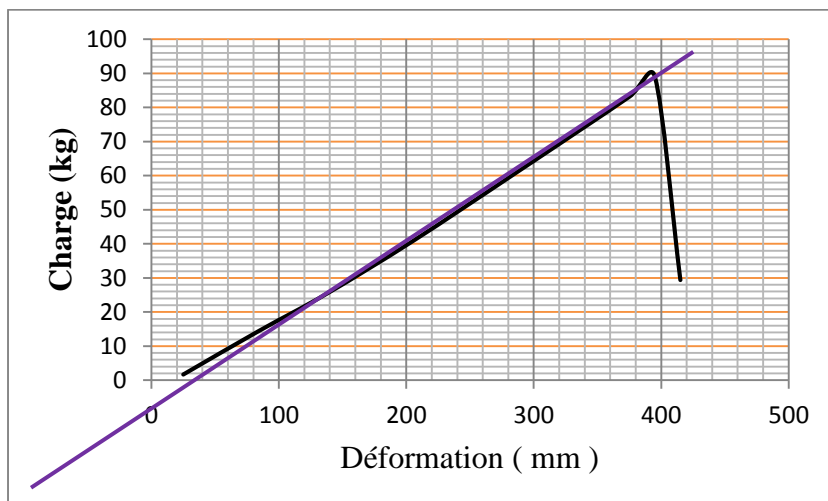


Dans cet essai, la vitesse d'écrasement d'un panneau MDF est de l'ordre de 0,5 mm / min.

- De **9,128 à 31,948 kg** : le panneau admet une déformation, plus la charge est augmentée plus la déformation rend remarquable: c'est la phase d'élasticité.
- De **31,948 kg** : début de la rupture jusqu'au 35,534 kg
- De **35,534 kg** : rupture totale d'un panneau. Et s'il arrive à 20,212 kg, on obtient deux morceaux de panneau.

Essaie N°2:

X	25	84	138	205	288	375	395	415
Y	1,63	14,344	25,428	40,75	61,288	83,13	88,998	29,34



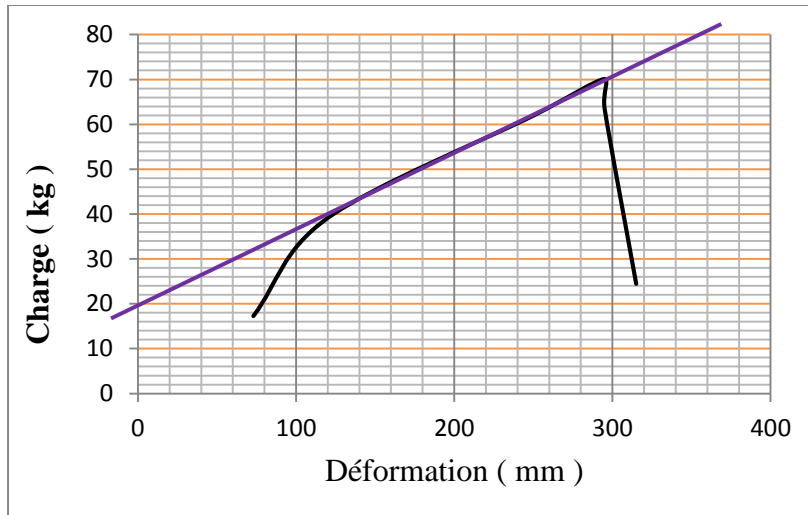
Dans ces deux derniers essais, sa vitesse d'écrasement est 0,4 mm/min. La déformation du panneau est toujours en fonction de la charge jusqu'à l'écrasement total.

- De **1,63 à 82 kg** : Le panneau commence à déformer, c'est la phase d'élasticité.
- De **82 kg** : début de la rupture
- De **88,534 kg** : rupture totale d'un panneau jusqu'à 29,34 kg
- De **29,34 kg** : obtention de deux morceaux de panneaux



**Essai N° 3:**

X	73	120	250	295	295	315
Y	17,278	39,12	61,94	70,09	63,57	24,45



- De 17,278 à 67 kg : la phase d'élasticité.
- De 67 kg : début de la rupture jusqu'au 70,09 kg
- De 70,09 kg : rupture totale d'un panneau jusqu'à 24,45kg
- De 24,45 kg : obtention de deux morceau de panneau

**II. 4. Tableau comparatif des résultats**

Le tableau suivant représente les valeurs caractéristiques du panneau:

	Panneau MDF suivant la norme NF EN 12390-5 et P 18-554 au LNTPB			MDF NF EN 622-5
	Echantillon 3	Echantillon 3	Echantillon 3	
Epaisseur (mm)	14	14	14	12 à 19
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	-	789	821	+ 7 %
Humidité (%)	-	5,5	6	4 à 11
Ta (%)	-	50,7	51,9	-
Gonflement (%)	-	11	11,5	12
MOE (N/mm <sup>2</sup> )	0,748	0,932	1,1	2200
MOR (N/mm <sup>2</sup> )	3,553	8,9	7,01	20

**Tableau 8: Tableau comparatif suivant les normes**

### **III. INTERPRETATIONS ET DISCUSSION**

Concernant les valeurs présent au LNTPB avec la norme NF EN 12390-5 pour les propriétés mécaniques et P 18-554 pour les propriétés physiques, les valeurs obtenues durant les essais sont presque faibles malgré la différence des caractéristiques entre les cailloux, le béton et le panneau en bois. Nous précisons ici que les normes au LNTPB tiennent compte des matériaux du type caillou et béton. Cela présente une différence notable sur notre matériau. En plus, l'insuffisance du pressage dans la petite moule voire le réarrangement aléatoire des fibres et l'insuffisance du durcisseur dans la résine sont des causes non négligeables. Le module d'élasticité obtenu est donc de  $0,748 \text{ N/mm}^2$  jusqu'à  $1,1 \text{ N/mm}^2$  qui est loin de la norme EN 622-5 ( $2200 \text{ N/mm}^2$ ). En outre, sa masse volumique  $789$  à  $821 \text{ kg/m}^3$  et le gonflement sont conforme à la norme du panneau MDF NF EN 622-5. Enfin, le taux d'absorption est de l'ordre de  $50,7$  à  $51,9 \%$ . Les valeurs obtenues au LNTPB et celles de la norme NF EN 622-5, on montre qu'une grande différence. Il se trouve que la comparaison de nos valeurs avec les normes présentent une incohérence dû à l'inexistence de cette norme à Madagascar. Il est aussi à noter que l'insuffisance des matériels comme le four par exemple a montré certaine difficultés dans la réalisation de notre travail.

Lors de l'utilisation de la résine thermodurcissable urée formol, il exige d'un four de  $200$  à  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  pour que la colle soit réussir. Pourtant, le dégagement sans cesse du formaldéhyde produit des conséquences néfastes pour l'environnement surtout sur le domaine sanitaire. Il nous faut mesurer la teneur en formaldéhyde du panneau afin de connaître sa classe. En outre, la réalisation du pressage à chaud dans le four est impossible.

## **CONCLUSION GENERALE**

Ce mémoire de fin d'études montre une application industrielle du bambou grâce à son abondance et son incroyable multiplication. Les essais effectués dans le cadre de ce travail, ont illustré que la valorisation des bambous par le panneau de fibre MDF est faisable sur les plans technique, économique et financier. Nous avons procédé à la fabrication d'un matériau composite. Ensuite, la partie matériel et méthode nous montre l'étude de procédé de fabrication d'un panneau de fibre MDF; le procédé a été réalisé à sec. Effectivement, l'utilisation de la colle thermodurcissable urée formol renforce le panneau mécaniquement et physiquement grâce à son unique caractéristique. La caractérisation du matériau montre ses propriétés spécifiques qui dépendent de la méthode de production, de la qualité des matières premières et de la composition de la colle.

Du point de vue environnemental, la réalisation de ce travail doit être accompagnée d'une analyse environnementale. Les adhésifs les plus utilisés dans l'industrie des panneaux sont des résines à base d'urée formol. Le formaldéhyde employé fait partie de "composés organiques volatils" (COV), susceptible de passer à l'état gazeux. Ainsi, les panneaux obtenus libèrent probablement de formaldéhyde dans l'atmosphère au moment de la fabrication des panneaux jusqu'à la fin de leur usage. Par conséquent, le formaldéhyde est classé à la substance du groupe A (probablement cancérigène aux humains) par l'Agence Internationale pour la Recherche sur le Cancer (IARC); de plus, il provoque aussi des irritations des yeux et des voies respiratoires supérieures.

En tout cas, le panneau de fibre MDF est une ressource motivante: c'est un véritable matériau écologique, biodégradable. Ainsi la valorisation du bambou constitue une solution écologique pour Madagascar pour ne pas s'attaquer aux autres types de bois entraînant parfois la déforestation et participant aux effets néfastes du changement climatique. En conclusion, le projet contribuera à lutter contre la pauvreté par la résorption du chômage, la lutte contre la déforestation. Il permettra aussi à la zone d'implantation de se développer rapidement.

## **BIBLIOGRAPHIE**

1. Centre d'animation régional en matériaux avancés (CARMA) (2006) "Glossaire des matériaux composites", 34 pages
2. C. N. Murray (1993) "Les panneaux à base de bois", Etude FAO forêts 116, Rome
3. Manuel MDF (2011) SPANOLUX Wood Based Solutions jet du dialogue social européen objet REF WOOD Projet du dialogue social européen
4. Hamid Reza MANSOURI, (2007) "Amélioration des résines Urée-Formaldéhyde et Phénol-Formaldéhyde pour le collage des panneaux à base de bois", Thèse à l'Université Henri Poincaré, Nancy 1, 261 pages
5. Alain LAMURE (2005) "Adhésion et adhérence des matériaux"; 57 pages
6. Rafik HALIMI (2010) "Contrôle des matériaux composites par ultrasons"; Université Saad Dahleb de Blinda; 119 pages
7. Djack Kelly Henderson Wang BINGUIRA (2014) "Essai de conception de tuile composite à renfort fibres de bambou", Mémoire d'Ingéniorat en matériau à l'Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure Polytechni, 191 pages
8. Sonnette Ruffine RAFALIMANJAKA (2011) "Valorisation du bambou géant de Madagascar". Mémoire de Fin d'Étude en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur en Génie chimique ; 139 pages
9. Marlène CAPO-CHICHI (2008) "La valorisation du bambou dans la région d'Analajirofo", Programme de Promotion des Revenus Ruraux (PPRR)
10. Gonda Louise (2012) "Intensification de la consommation du bambou : solution écologique ou exploitation inquiétante ? ", Master en sciences et gestion de l'environnement
11. Amen Yawo NENONENE (2009) "Elaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules de tige de kéraf et de bioadhésifs à base de colle d'os, de tannin ou de mucilage", Thèse en vue de l'obtention du doctorat de l'Université de Toulouse
12. Niandry Maminirina RAKOTOMANANA (2014) "Contribution à l'étude et à la valorisation de l'espèce du bambou "dendrocalamus giganteus" ou "volobe mavo "et de l'espèce "dendrocalamus asper" ou "volobe ambivahitra", Mémoire d'ingéniorat à l'ESPA, Université d'Antananarivo, 120 pages.

13. Nicole Goyer, Charles Beaudry, Denis Bégin, Michèle Bouchard, Sophie Buissonnet, Gaétan Carrier, Patrice Duguay, Olivia Gely, Michel Gérin, François Hébert, Jérôme Lavoué, Pierre Lefebvre, Nolwenn Noisel, Eddy Pellerin, Guy Perrault, Brigitte Roberge (2004) "Etudes et recherches- Impacts d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde", Industrie de la fabrication de panneaux agglomérés

14. Mijasoa Miandravola ANDRIAMAROVOLOLONA, (2005) "Evaluation de la Ressource «Bambou » en vue de son utilisation durable", DEA. Université d'Antananarivo, 76 pages,

15. Institut Technologique FCBA (2012) "Référentiel de certification CTB panneaux de process" Avenue de Saint-Mandé, 39 pages

## Annexe 1: PREPARATIONS DES REACTIFS

### ❖ PREPARATION DE 0,65 % $H_2O_2$

L' $H_2O_2$  commercial a un pourcentage massique de 3 %, pour déterminer 0,65 %  $H_2O_2$  ; on a:

- Pour 10 %  $H_2O_2$ , la densité  $d = 1,03$
- La masse de l' $H_2O_2$  dans la solution de 10 %  $H_2O_2$  est de:

$$m_{H_2O_2} = d_{H_2O_2} * \% \text{ massique}$$

Donc, pour préparer 10 %  $H_2O_2$  , il faut verser 10,3 g de  $H_2O_2$  dans 100 mL d'eau.

### Concentration molaire de 10 % $H_2O_2$

$$C = \frac{n}{v} = \frac{m}{Mv}$$

C: concentration molaire

M: masse molaire

$$10 \% \longrightarrow 3,03 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$3 \% \longrightarrow 9,09 \cdot 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$0,65\% \longrightarrow 1,97 \cdot 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$$

D'après le principe de la dilution,  $C_f V_f = C_i V_i$  où  $V_f = V_{eau} + V_i$

$$V_i = \frac{C_f V_f}{C_i}$$



Fixons  $V_f = 100\text{mL}$

$$V_i = \frac{1,97 \cdot 10^{-4} \times 100}{9,09 \cdot 10^{-4}}$$

Pour préparer 0,65 %  $H_2O_2$  à l'aide de 3%  $H_2O_2$ , il faut faire la dilution avec  $V_{H_2O} = 78,3\text{mL}$  et  $V_{H_2O_2}$  à 3% = 21,7 mL.

### ❖ PREPARATION DE 33 % $NaOH$

Le NaOH solide commercial a un pourcentage massique de 100 %, pour déterminer 33 % NaOH; on a:

- Pour 100 % NaOH, la densité  $d = 2,13$
- La masse de NaOH dans la solution de 100 % NaOH est de:

$$m_{NaOH} = d_{NaOH} * \% \text{ massique}$$

Donc, pour préparer 100 % NaOH, il faut verser 213g de NaOH dans 100 mL d'eau.

### Concentration molaire de 100 % $NaOH$

$$C = \frac{n}{v} = \frac{m}{Mv}$$

C: concentration molaire

M: masse molaire

$$C = 5,32 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

Pour déterminer la concentration de 33% NaOH, on a:

$$\begin{array}{ll} \text{pourcentage massique} & \text{concentration molaire} \\ 100 \% & \longrightarrow 5,32 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1} \end{array}$$

$$33 \% \quad \longrightarrow \quad 1,75 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$C = \frac{m}{Mv} \Rightarrow \quad m = C \cdot M \cdot V \\ = 1,75 \cdot 40 \cdot 100$$

Pour préparer 33 % NaOH à l'aide de 100% NaOH, il faut verser 70g de NaOH solide dans 100mL d'eau.

❖ **DETERMINATION DE LA CONCENTRATION DE 37 % HCl**

L' $H_2O_2$  commercial a un pourcentage massique de 37 %. Pour déterminer sa concentration  $H_2O_2$ ; on a:

- Pour 37 % HCl, la densité  $d = 1,19$
- La masse de l' $HCl$  dans la solution de 37 % HCl est de:

$$m_{HCl} = d_{HCl} * \% \text{ massique}$$

Donc, pour préparer 37 % HCl, il faut verser 44,03 g de HCl dans 100 mL d'eau.

Concentration molaire de 37 % HCl

$$C = \frac{n}{v} = \frac{m}{Mv}$$

C: concentration molaire

M: masse molaire

$$C = 12,1 \text{ mol. L}^{-1}$$

❖ **DETERMINATION DE LA CONCENTRATION DE L'ACIDE ACETIQUE A PARTIR DE 33 % NaOH**

On dose l'acide acétique par la Soude de titre connue. A l'équivalence,

$$N_A V_A = N_B V_B$$

$$N_A = \frac{N_B V_B}{V_A}$$

$\Rightarrow$

$$N_A = 26,25 \cdot 10^{-3}$$

## Annexe 2: CALCUL DU MOE ET MOR

- **MOE (Module d'élasticité)**

D'après la formule,

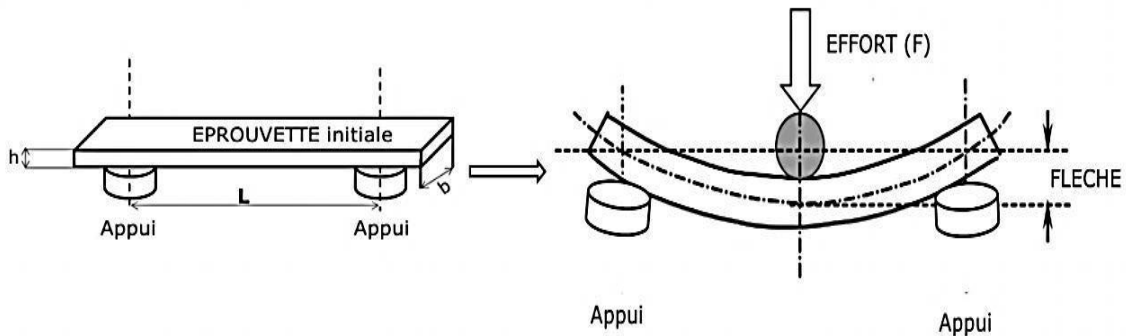
$$MOE = \frac{K.L^3}{4.b.h^3} \text{ (Module d'élasticité)}$$

Où **K** est le rapport entre l'accroissement de l'effort F appliqué au matériau et l'accroissement de l'allongement du matériau dû à l'effort (flèche),

**L** est la portée de la flexion ou distance entre les appuis,

**h** est l'épaisseur de l'éprouvette et

**b** est largeur de l'éprouvette



### *Essai de flexion statique*

Pour l'essai N°1,

$$K = \frac{\Delta F}{\Delta \text{déf}} \quad \Rightarrow \quad K = \frac{(31-9,128)*10}{(170-53)} = 1,87 \text{ N.mm}^{-1}$$

$$MOE = \frac{1,87 * (60)^3}{4*40*(15)^3}$$

$$MOE = 0,748 \text{ N.mm}^{-2}$$

Pour l'essai N°2,

$$K = \frac{(82-1,63)*10}{(370-25)} = 2,33$$

$$MOE = \frac{2,33 * 60^3}{4*40*15^3}$$

$$MOE = 0,932 \text{ N. mm}^{-2}$$

Pour l'essai N°3:

$$K = \frac{(67-17,278)*10}{(290-73)} = 2,75$$

$$MOE = \frac{2,75*63^3}{4*40*15^3}$$

$$MOE = 1,1 \text{ N. mm}^{-2}$$



La moyenne MOE est  $0,926 \text{ N. mm}^{-2}$

- **MOR (Module de rupture)**

La formule nous informe que

$$\text{MOR} = \frac{3F_{max}.L}{2.b.h^2} \text{ (Module de rupture moyen)}$$

Où ***F<sub>max</sub>*** : la force maximale de rupture,

***L*** : la portée de la flexion ou distance entre les deux appuis,

***h*** et ***b*** représentent respectivement, l'épaisseur et la largeur de l'éprouvette.

Pour l'essai 1,  $\text{MOR} = \frac{3*35,534*10*60}{2*40*15^2}$

$$\text{MOR} = 3,553 \text{ N.}$$

Pour l'essai 2,  $\text{MOR} = \frac{3*88,998*10*60}{2*40*15^2}$

$$\text{MOR} = 8,9 \text{ N. mm}^{-2}$$

Pour l'essai 3,  $\text{MOR} = \frac{3*70,09*10*60}{2*40*15^2}$

$$\text{MOR} = 7,01 \text{ N. mm}^{-2}$$

La moyenne nous donne la valeur du MOR,  $6,487 \text{ N. mm}^{-2}$ .

---

# normalisation française

---

**P 18-554**  
Décembre 1990

Granulats

## **Mesures des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des gravillons et cailloux**

- E: Aggregates — Measurement of densities, porosity, absorption coefficient and water content of fine gravel and pebbles  
D: Granulate — Bestimmung der Dichte, Porosität, des Absorptionkoeffizienten und des Wassergehaltes von Feinkies und Grobkies

---

**Norme expérimentale** publiée par l'afnor en décembre 1990.

Les observations relatives à la présente norme expérimentale doivent être adressées à l'afnor avant le 31 décembre 1992.

Remplace la norme enregistrée de même indice, de décembre 1979.

---

**correspondance** La présente norme est équivalente à la norme internationale ISO 6783 : 1982.

---

**analyse** Dans la série des normes P 18-... qui concerne les granulats, la présente norme définit le mode de mesure des masses volumiques, porosité, absorption et teneur en eau des gravillons par pesée hydrostatique.

**descripteurs** **Thésaurus International Technique** : granulats, gravillon, caillou, masse volumique, porosité, absorption, teneur en eau.

## 4 GÉNÉRALITÉS

**4.1** La masse volumique réelle est définie comme le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume occupé par la matière solide, y compris les vides contenus dans les grains (volume réel).

**4.2** Le coefficient d'absorption d'eau est défini comme le rapport de l'augmentation de masse de l'échantillon entraînée par une imbibition partielle en eau, à la masse sèche de l'échantillon. Cette imbibition partielle est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24 h à 20 °C à la pression atmosphérique.

**4.3** La masse volumique réelle imbibée est définie comme le quotient de la masse de l'échantillon imbibé dans les conditions du paragraphe 4.2 par le volume qu'il occupe (volume réel).

**4.4** La porosité est définie comme le rapport du volume des vides contenus dans les grains et accessibles à l'eau, au volume réel de l'échantillon.

**4.5** La teneur en eau est définie comme le rapport de la différence entre la masse de l'échantillon à sa teneur en eau en l'état et sa masse sèche, à la masse sèche de l'échantillon.

## 5 APPAREILLAGE

**Appareillage d'usage courant** nécessaire à la préparation d'un échantillon pour essai (voir la norme P 18-553) :

**Étuve** ventilée réglée à 105 °C ± 5 °C.

**Balance** dont la portée limite est compatible avec les masses à peser et permettant de faire toutes les pesées avec une précision relative de 0,1 %.

**Panier** en toile métallique à mailles ≤ 3 mm ou récipient en tôle perforée à perforations ≤ 3 mm de dimensions adéquates, muni d'anses métalliques servant à le suspendre au fléau de la balance.

**Récipient** dans lequel on peut suspendre librement le panier ou le récipient en tôle perforée.

**Tamis** de 4 mm.

**Chiffons** absorbants de dimensions adéquates.

## 6 MATÉRIAU SOUMIS À L'ESSAI

L'échantillon pour essai doit être préparé suivant les prescriptions de la norme P 18-553.

La masse de l'échantillon pour essai doit avoir une masse  $M$  supérieure à 0,2  $D$ , avec  $M$  exprimé en kilogrammes et  $D$  en millimètres.

## 7 EXÉCUTION DE L'ESSAI

### 7.1 Détermination de la masse de l'échantillon à sa teneur en eau en l'état

Peser l'échantillon, soit  $M$  sa masse.

Noter ensuite la masse  $M'_s$  de cet échantillon, séché sans lavage préalable.

## 7.2 Détermination dans l'air de la masse sèche de l'échantillon.

Laver l'échantillon sur le tamis de 4 mm.

Le sécher à l'étuve à  $105 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$  jusqu'à masse constante c'est-à-dire jusqu'à ce que deux pesées successives de l'échantillon, séparées d'une heure, ne diffèrent pas de plus de 0,1 %.

Le laisser refroidir et le peser ; soit  $M_s$  sa masse.

## 7.3 Détermination dans l'air de la masse de l'échantillon imbibé.

Immerger l'échantillon dans l'eau pendant 24 h à  $20 \text{ °C}$  à la pression atmosphérique.

Peser ensuite l'échantillon après l'avoir épongé soigneusement avec un chiffon absorbant, les gros éléments étant essuyés individuellement, soit  $M_a$  sa masse.

## 7.4 Détermination dans l'eau de la masse de l'échantillon imbibé

Après la pesée précédente, placer l'échantillon imbibé dans le panier en toile métallique, le suspendre au fléau de la balance, l'immerger dans l'eau à  $20 \text{ °C}$  à l'aide du récipient prévu à cet effet, agiter le panier afin d'éliminer toute présence de bulles d'air avant la pesée.

Peser ensuite l'échantillon soit  $M'_a$  sa masse.

## 7.5 Détermination dans l'air de la masse de l'échantillon saturé en eau

Obtenir la saturation en eau complète de l'échantillon par une désorption sous vide (trompe à eau) pendant 2 h suivie d'une immersion dans l'eau pendant 24 h à  $20 \text{ °C}$  à la pression atmosphérique. Si la porosité est inférieure à 3 %, il y a lieu de laisser les échantillons immergés dans l'eau une semaine entière à la pression atmosphérique ou 24 h à une pression supérieure à 2 MPa.

Peser ensuite l'échantillon après l'avoir épongé soigneusement avec un chiffon absorbant, les gros éléments étant essuyés individuellement : soit  $M_w$  sa masse.

## 7.6 Détermination dans l'eau de la masse de l'échantillon saturé en eau.

Après la pesée précédente, placer l'échantillon saturé en eau dans le panier en toile métallique, le suspendre au fléau de la balance, l'immerger dans l'eau à  $20 \text{ °C}$  à l'aide du récipient prévu à cet effet, agiter le panier afin d'éviter toute présence de bulles d'air avant la pesée.

Peser l'échantillon soit  $M'_w$  sa masse.

# 8 EXPRESSION DES RÉSULTATS

## 8.1 Masse volumique réelle (en tonnes par mètre cube) :

$$\rho_r = \frac{M_s}{M_a - M'_a}$$

## 8.2 Coefficient d'absorption d'eau (en pourcentage) :

$$A_b = 100 \frac{M_a - M_s}{M_s}$$

**8.3 Masse volumique réelle imbibée** (en tonnes par mètre cube) :

$$p_{ri} = \frac{M_a}{M_a - M'_a}$$

**8.4 Porosité** (en pourcentage) :

$$n = 100 \frac{M_w - M_s}{M_w - M'_w}$$

**8.5 Teneur en eau** (en pourcentage) :

$$w = 100 \frac{M - M'_s}{M_s}$$

## 9 PRÉCISION

La répétabilité (*r*) et la reproductibilité (*R*) ont été déterminées à partir de deux répétitions d'essais effectués sur chaque matériau dans dix-huit laboratoires. L'interprétation a été effectuée conformément à la norme NF ISO 5725.

Valeurs obtenues sur le 10/14 mm :

Masse volumique réelle = 2,62 t/m<sup>3</sup>,  
répétabilité *r* = 0,025,  
reproductibilité *R* = 0,028.

Masse volumique réelle = 2,84 t/m<sup>3</sup>,  
répétabilité *r* = 0,017,  
reproductibilité *R* = 0,056.

Porosité = 3 %  
répétabilité *r* = 0,31,  
reproductibilité *R* = 0,7.

Porosité = 4 %  
répétabilité *r* = 0,58,  
reproductibilité *R* = 1,85.

Coefficient d'absorption d'eau = 1,  
répétabilité *r* = 0,084,  
reproductibilité *R* = 0,75.

Coefficient d'absorption d'eau = 1,4,  
répétabilité *r* = 0,25,  
reproductibilité *R* = 0,61.

La dispersion constatée sur les granularités inférieures à 6,3 mm est très forte.

---

**norme européenne**

**NF EN 12390-5**

Octobre 2001

norme française

Indice de classement : P 18-433

ICS : 91.100.30

---

## **Essai pour béton durci**

### **Partie 5 : Résistance à la flexion sur éprouvettes**

E : Testing hardened concrete — Part 5: Flexural strength of test specimens

D : Prüfung von Festbeton — Teil 5: Biegezugfestigkeit von Probekörpern

---

### ***Norme française homologuée***

par décision du Directeur Général d'AFNOR le 20 septembre 2001 pour prendre effet le 20 octobre 2001.

---

***Correspondance*** La Norme européenne EN 12390-5:2000 a le statut d'une norme française.

---

***Analyse*** Le présent document décrit une méthode de détermination de la résistance à la flexion d'éprouvettes. Il spécifie l'application d'un moment constant dans la zone centrale (charge en deux points). Il constitue la méthode de référence.

---

***Descripteurs*** Thésaurus International Technique : béton, essai, essai de flexion, détermination, résistance à la flexion, mode opératoire.

## 1 Domaine d'application

La présente norme spécifie une méthode de détermination de la résistance en flexion des éprouvettes de béton durci.

## 2 Références normatives

Cette norme européenne comporte par référence datée ou non datée des dispositions d'autres publications. Ces références normatives sont citées aux endroits appropriés dans le texte et les publications sont énumérées ci-après. Pour les références datées, les amendements ou révisions ultérieurs de l'une quelconque de ces publications ne s'appliquent à cette norme que s'ils y ont été incorporés par amendement ou révision. Pour les références non datées, la dernière édition de la publication à laquelle il est fait référence s'applique (y compris les amendements).

EN 12350-1, *Essai pour béton frais — Partie 1 : Échantillonnage.*

EN 12390-1, *Essai pour béton durci — Partie 1 : Forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules.*

EN 12390-2, *Essai pour béton durci — Partie 2 : Confection et conservation des éprouvettes pour essais de résistance.*

EN 12390-4, *Essai pour béton durci — Partie 4 : Résistance en compression — Caractéristiques des machines d'essai.*

## 3 Principe

Des éprouvettes prismatiques sont soumises jusqu'à rupture à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs. La charge maximale atteinte au cours de l'essai est enregistrée, et la résistance en flexion est calculée.

## 4 Appareillage

### 4.1 Machine d'essais

L'essai doit être réalisé au moyen d'une machine d'essais conforme à l'EN 12390-4.

### 4.2 Application de la charge

4.2.1 L'appareil de chargement (voir Figure 1) doit être équipé de :

- deux rouleaux d'appui ;
- deux rouleaux supérieurs maintenus par un support articulé, qui répartit également entre les deux rouleaux la charge appliquée.

Tous les rouleaux doivent être en acier, de section circulaire, et d'un diamètre compris entre 20 mm et 40 mm. Leur longueur doit être au moins de 10 mm supérieure à la largeur de l'éprouvette.

Trois des rouleaux, parmi lesquels les deux rouleaux supérieurs, doivent pouvoir pivoter librement autour de leur axe et osciller dans le plan orthogonal à l'axe longitudinal de l'éprouvette d'essai.

La distance  $l$  (la portée) entre les rouleaux extérieurs doit être égale à  $3d$ ,  $d$  représentant la largeur de l'éprouvette. La distance entre les deux rouleaux intérieurs doit être égale à  $d$ . Ces rouleaux intérieurs doivent être placés à égale distance des rouleaux extérieurs, comme l'illustre la Figure 1. Tous les rouleaux doivent être réglés en position, comme le montre la Figure 1, avec une précision égale à  $\pm 2,0$  mm.

## 5 Éprouvettes

### 5.1 Généralités

Les éprouvettes d'essai doivent être des éprouvettes prismatiques, conformes à l'EN 12390-1. Les éprouvettes confectionnées dans des moules doivent être conformes à l'EN 12350-1 et à l'EN 12390-2. La direction de coulage doit faire l'objet d'un marquage sur l'éprouvette.

Les éprouvettes sciées peuvent également être essayées sous réserve d'être conformes à l'EN 12390-1.

Les éprouvettes doivent être examinées visuellement, et toute anomalie observée doit être consignée dans le rapport d'essai.

### 5.2 Rectification des éprouvettes

Les éprouvettes dont les dimensions ou la forme ne sont pas conformes aux prescriptions du 4.3 de l'EN 12390-1 en raison d'écarts supérieurs aux tolérances doivent être rejetées ou préparées comme suit :

- les surfaces irrégulières doivent être aplanies par meulage ;
- les écarts sur l'orthogonalité doivent être corrigés par découpe et/ou meulage.

## 6 Mode opératoire

### 6.1 Préparation et positionnement des éprouvettes

Si l'éprouvette a été conservée dans l'eau, l'essuyer pour en ôter l'humidité en excès avant de la placer sur la machine d'essais.

Essuyer soigneusement toutes les surfaces d'appui de la machine et éliminer toute particule ou corps étranger des surfaces de l'éprouvette, qui seront en contact avec les rouleaux.

Placer l'éprouvette d'essai sur la machine, en vérifiant qu'elle est convenablement centrée et que son axe longitudinal est orthogonal par rapport à l'axe longitudinal des rouleaux supérieurs et inférieurs.

Vérifier que la direction de chargement de référence est perpendiculaire à la direction de coulage de l'éprouvette.

NOTE Le non-respect de cette prescription peut avoir une incidence sur le résultat de l'essai.

### 6.2 Mise en charge

Ne pas appliquer la charge avant que les rouleaux de chargement et les rouleaux d'appui soient bien en contact avec l'éprouvette.

Sélectionner une vitesse de chargement constante dans la plage 0,04 MPa/s ( $N/mm^2.s$ ) à 0,06 MPa/s ( $N/mm^2.s$ ). Appliquer la charge sans choc et l'accroître de façon continue, à la vitesse constante sélectionnée  $\pm 1$  %, jusqu'à la rupture de l'éprouvette.

NOTE La vitesse de chargement requise est donnée par la formule suivante :

$$R = \frac{s \cdot d_1 \cdot d_2^2}{l}$$

où :

$R$  est la vitesse de chargement requise, en newtons par seconde ;

$s$  est la vitesse d'accroissement de la charge, en mégapascals par seconde (newtons par millimètre carré par seconde) ;

$d_1$  et  $d_2$  sont les dimensions latérales de l'éprouvette, en millimètres ;

$l$  est l'écartement entre les deux rouleaux inférieurs, en millimètres.



En cas d'utilisation d'une machine d'essais à commandes manuelles, corriger, par un réglage approprié, toute tendance à la diminution de la vitesse de chargement sélectionnée qui se manifeste à l'approche de la rupture de l'éprouvette.

Noter la charge maximale enregistrée au cours de l'essai.

Si la rupture de l'éprouvette se produit à l'extérieur de la zone délimitée par les deux rouleaux de chargement, consigner cette information dans le rapport d'essai (voir Figure 1).

## 7 Expression des résultats

La résistance en flexion est donnée par l'équation suivante :

$$f_{cf} = \frac{F \cdot l}{d_1 \cdot d_2^2}$$

où :

$f_{cf}$  est la résistance en flexion, en mégapascals (newtons par millimètre carré) ;

$F$  est la charge maximale, en newtons ;

$l$  est l'écartement entre les rouleaux d'appui, en millimètres ;

$d_1$  et  $d_2$  sont les dimensions latérales de l'éprouvette, en millimètres (voir Figure 1).

Exprimer la résistance en flexion au 0,1 MPa (N/mm<sup>2</sup>) le plus voisin.

## 8 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit contenir les informations suivantes :

- a) identification de l'éprouvette d'essai ;
- b) dimensions déclarées de l'éprouvette ;
- c) indications détaillées sur la rectification par meulage (si nécessaire) ;
- d) type de l'appareil de chargement : charge en deux points ou charge centrale en un point ;
- e) état d'humidité constaté à la surface de l'éprouvette au moment de l'essai (saturé/humide) ;
- f) date de réalisation de l'essai ;
- g) charge de rupture, en kilonewtons ;
- h) résistance en flexion de l'éprouvette au 0,1 MPa (N/mm<sup>2</sup>) le plus voisin ;
- i) emplacement de la rupture (si elle est survenue en dehors de la zone comprise entre les deux rouleaux supérieurs) ;
- j) aspect du béton dans la surface de rupture (s'il présente des particularités) ;
- k) tout écart par rapport à la méthode d'essai normalisée ;
- l) déclaration du responsable technique de l'essai précisant que celui-ci a été réalisé conformément à la présente norme, à l'exception de ce qui est noté en k).

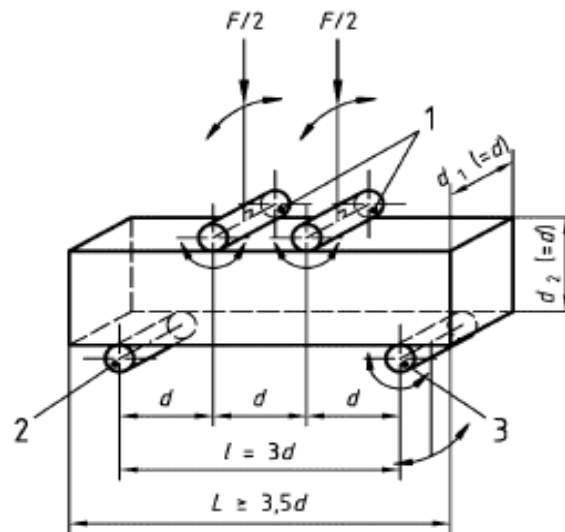
Le rapport d'essai peut préciser :

Le rapport d'essai peut préciser :

- a) l'état de l'éprouvette à la réception ;
- b) l'âge de l'éprouvette au moment de la réalisation de l'essai ;
- c) l'aspect du béton (s'il présente des particularités).

## 9 Fidélité

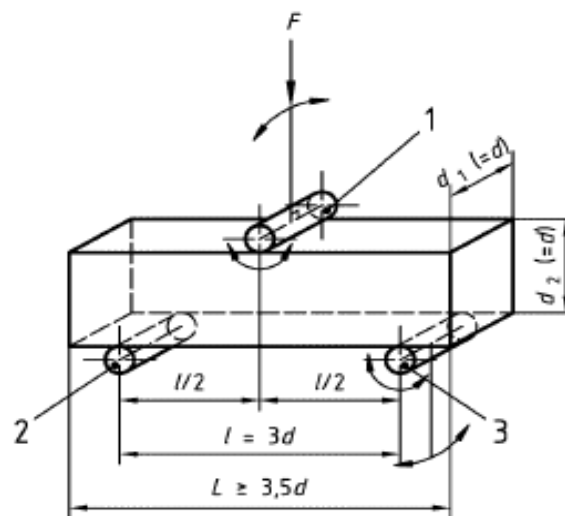
À l'heure actuelle, il n'existe pas pour cet essai, ni pour l'essai décrit à l'annexe A, de données relatives à la fidélité.



### Légende

- 1 Rouleau de chargement (rotatif, inclinable)
- 2 Rouleau d'appui
- 3 Rouleau d'appui (rotatif, inclinable)

Figure 1 — Appareil de chargement  
(charge en deux points)



### Légende

- 1 Rouleau de chargement (rotatif, inclinable)
- 2 Rouleau d'appui
- 3 Rouleau d'appui (rotatif, inclinable)

Figure 2 — Appareil de chargement  
(charge centrée en un point)

## Annexe A (normative)

### Mise en charge avec application par chargement centré

#### A.1 Généralités

La présente annexe spécifie les modifications qu'on doit apporter au mode opératoire en cas d'utilisation d'un appareil de chargement centré.

NOTE Cette méthode produit des valeurs de résistance en flexion plus élevées que la méthode à deux rouleaux de chargement. Une comparaison des résultats d'essais produits par les deux méthodes a été effectuée dans le cadre du Programme de Mesurages et d'Essais (contrat MAT I-CT94-0043). Il est apparu que la méthode de chargement à un rouleau produisait régulièrement des valeurs de résistance en flexion de 13 % supérieures à celles obtenues par la méthode de chargement à deux rouleaux.

#### A.2 Application de la charge

L'appareil de chargement doit comporter un rouleau de chargement centré par rapport aux rouleaux inférieurs, comme l'indique la Figure 2.

Il doit permettre la libre rotation du rouleau de chargement.

#### A.3 Mise en charge

La charge doit être appliquée comme il est décrit en 6.2, la vitesse de chargement requise devant toutefois être calculée au moyen de la formule ci-dessous :

$$R = \frac{2 \cdot d_1 \cdot d_2^2 \cdot s}{3 \cdot l}$$

où :

$R$  est la vitesse de chargement requise, en newtons par seconde ;

$s$  est la vitesse d'accroissement de la charge, en mégapascals par seconde (newtons par millimètre carré par seconde) ;

$d_1$  et  $d_2$  sont les dimensions latérales de l'éprouvette, en millimètres (voir Figure 2) ;

#### A.4 Expression des résultats

La résistance en flexion est donnée par l'équation suivante :

$$f_{cf} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot d_1 \cdot d_2^2}$$

où :

$f_{cf}$  est la résistance en flexion, en mégapascals (newtons par millimètre carré) ;

$F$  est la charge maximale, en newtons ;

#### A.4 Expression des résultats

La résistance en flexion est donnée par l'équation suivante :

$$f_{cf} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot d_1 \cdot d_2^2}$$

où :

$f_{cf}$  est la résistance en flexion, en mégapascals (newtons par millimètre carré) ;

$F$  est la charge maximale, en newtons ;

$l$  est l'écartement entre les deux rouleaux d'appui, en millimètres ;

$d_1$  et  $d_2$  sont les dimensions de la section transversale de l'éprouvette, en millimètres.

Exprimer la résistance en flexion au 0,1 MPa (N/mm<sup>2</sup>) près.

#### A.5 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit explicitement mentionner que l'essai a été réalisé avec un appareil de chargement dont la tête de flexion ne comporte qu'un seul rouleau central.



**Titre : VALORISATION DU BAMBOU : PRODUCTION D'UN PANNEAU DE FIBRE A DENSITE MOYENNE (MDF)**

**Nombre de pages : 52**

**Nombre de figures : 53**

**Nombre de tableaux : 8**

**NOM et PRENOMS : RAVAOHARIJAONA Nambinina**

**ADRESSE: LOT VC 54 Faliarivo Ambanidia, Antananarivo101**

**E-mail : naharynambinina@gmail.com**

**Tél: 034 70 001 46**



### **RÉSUMÉ**

En réalité, la production des matériaux à base de biomasse est très recommandée. Parmi cela, la fibre du bambou nous intéresse. En tant qu'une plante décorative, le bambou possède bien d'autres applications dans des domaines variés allant dans le domaine de la nourriture à la médecine traditionnelle jusqu'à la construction. Par ces caractéristiques extraordinaires (matériau fibreux, bonne résistance, croissance rapide, ...), le bambou semble être un candidat sérieux comme matériau durable, en rivalité avec le bois. C'est à partir de la fibre du bambou que nous avons conçu le matériau panneau de Fibre à Densité Moyenne (MDF). La résine urée formaldéhyde a été utilisée pour l'assemblage des lamelles ou des bambous déchiquetés. Les résultats de ses caractéristiques au LNTPB nous montrent que le panneau MDF est prometteur. Son module d'élasticité MOE est de 0,748 N/mm<sup>2</sup> jusqu'à 1,1 N/mm<sup>2</sup> qui reste une faible valeur par rapport à la propre caractéristique des cailloux et des bétons. En outre, sa masse volumique 789 à 821 kg/m<sup>3</sup> et le gonflement conforment à la norme du panneau MDF NF EN 622-5. De ce fait, le panneau de fibre à densité moyenne MDF est un produit qui pourrait avoir une grande place à la compétitivité dans l'industrie du bois à Madagascar.

**Mots clés** : Biomasse, matériau, Bambou, panneau MDF

### **ABSTRACT**

Actually, the production of materials containing biomass is much recommended. Among that, the fiber of the bamboo interests us. As a decorative plant, the bamboo has many other applications in varied fields going in the field of food to traditional medicine until construction. By these extraordinary characteristics (fibrous material, good resistance, fast growth...), the bamboo seems to be a serious candidate like durable material, in competition with wood. It is starting from fiber of the bamboo that we designed the material medium density fiberboard (MDF). The resin urea formaldehyde was used for the assembly of the plates or the jagged bamboos. The results of its characteristics to the LNTPB show us that panel MDF are promising. Its modulus of elasticity MOE is 0,748 N/mm<sup>2</sup> up to 1, 1 N/mm<sup>2</sup> which remains a low value compared to the proper characteristic of stones and concretes. Moreover, its density 789 to 821 kg/m<sup>3</sup> and swelling conform to the standard of panel MDF NF EN 622-5. So the fiberboard to average density MDF is a product which could have a great place with competitiveness in the industry of wood in Madagascar.

**Key words**: Biomass, material, Bamboo, panel MDF