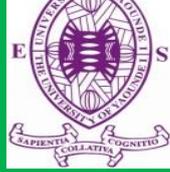


\*\*\*\*\*  
Paix-Travail-Patrie  
\*\*\*\*\*  
UNIVERSITÉ DE YAOUNDE I  
\*\*\*\*\*  
LE NORMALE SUPERIEURE  
\*\*\*\*\*  
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE  
\*\*\*\*\*  
LABORATOIRE DES SCIENCES ET  
TECHNOLOGIES DU BOIS  
\*\*\*\*\*  
B. P. 47 Yaoundé



\*\*\*\*\*  
Peace-Work-Fatherland  
\*\*\*\*\*  
UNIVERSITY OF YAOUNDE I  
\*\*\*\*\*  
HIGHER TEACHERS TRAINING COLLEGE  
\*\*\*\*\*  
DEPARTMENT OF PHYSICS  
\*\*\*\*\*  
LABORATORY OF WOOD SCIENCE AND  
TECHNOLOGY  
\*\*\*\*\*  
P. O. Box 47 Yaoundé

# ÉTUDE DE LA RÉSISTANCE A LA FLEXION DES PANNEAUX EN BOIS

*Mémoire présenté et soutenu en vue de l'obtention du Diplôme de Professeur des  
Lycées de l'Enseignement Secondaire deuxième grade (Di.P.E.S II).*

Par :

**BADUIDANA Marcial**

*Di.P.E.S I*

*Licence en physique*

*Matricule 11Y714*

**Sous la Direction du**

**Prof. MUKAM FOTSING Joseph Albert**

Maître des conférences, Université de Yaoundé I

*Année académique 2015-2016*

# **ÉTUDE DE LA RÉSISTANCE À LA FLEXION DES PANNEAUX EN BOIS**

**Mémoire présenté et soutenu en vue de l'obtention du  
Diplôme de Professeur des Enseignement Secondaires**

**Deuxième grade (DI.P.E.S.II)**

par

**BADUIDANA Marcial**

**11Y714**

**DI.P.E.S.I**

**Licence en Physique (UYI)**

Sous la direction du :

**Prof. MUKAM FOTSING Joseph Albert**

**Maitre de conférences (UYI)**

7 juillet 2016

---

# Dédicace

A mon feu père **NKAMA Thomas** qui nous a laissé il y a onze ans, que son âme repose en paix.

A ma maman **NGOMANDE ALAKA** qui m'a élevé sans réserve à sa manière

A toute ma famille.

---

# Remerciements

Avant tout développement sur cette expérience professionnelle, je tiens d'abord à remercier Dieu le Tout Puissant pour avoir donné le courage et la volonté d'accomplir ce modeste travail et parce que c'est à lui seul qui retourne le soin de l'achèvement de ce mémoire.

Au terme de ce travail, nous souhaitons adresser nos sincères remerciements à toutes les personnes qui ont participé à sa réalisation et ont permis par leur soutien et leurs conseils, de le mener à bien.

Je souhaite remercier tout particulièrement notre encadreur **Prof. MUKAM FOTSING Joseph Albert** pour son inestimable soutien tout au long de ce projet. Non seulement son expertise et son soutien, mais faut-il souligner sa confiance et son ouverture d'esprit. C'est avec plaisir que nous avons travaillé avec vous.

Un grand merci à tous les camarades du laboratoire des sciences et technologie du bois (LSTB) pour leur coopération dans le partage d'information et de l'outillage qui peut parfois s'avérer très ardu.

Mes sincères remerciements s'adressent à Mesdames et Messieurs les Membres du Jury qui nous font l'honneur de juger ce mémoire ainsi qu'à leurs précieux conseils prodigués.

Je remercie également tous les enseignants et les étudiants du département de physique. Particulièrement le **prof. BEGUIDE BONOMA** et l'étudiant **NYAPA Landry** pour leur participation à ce travail.

Je remercie le Directeur de l'ENS le **Pr Gabriel Nicolas ANDJIGA** et tout le personnel Administratif pour le bon suivi des étudiants.

C'est avec une infinie reconnaissance que j'adresse mes sincères remerciements à **MBANG EYEZO'O Christelle** pour sa participation active et le soutien apporté à ce travail. Trouve ici ma profonde reconnaissance et mon estime profond.

Je tiens à remercier mes frères et sœurs : **GUIEGOU NKAMA Felicité ; BEFIEGUE NKAMA Stephanie ; NKAMA Rodrigue ; ABIDINA NKAMA Dorine** et mon oncle **BIDIAS Eyaga** pour leur support reconfortant.

Je remercie en fin ma bien aimé mère **NGOMANDE ALAKA** épouse **NKAMA** pour son soutien moral, matériel et financier qui a contribué grandieusement à l'aboutissement de ce travail.

---

# Table des matières

Dédicaces	i
Remerciements	ii
Résumé	vii
Abstract	viii
Introduction générale	1
<b>1 REVUE DE LA LITTÉRATURE</b>	<b>2</b>
1.1 Aperçu sur le Bois et sa Structure . . . . .	2
1.1.1 Éléments principaux de la structure du bois . . . . .	2
1.1.2 La composition cellulaire . . . . .	5
1.1.3 L'aubier et le bois parfait . . . . .	6
1.1.4 Etat hygrométrique du bois . . . . .	8
1.2 Quelques essences de bois servant de fabrication des panneaux en bois	9
1.2.1 Bois d'Ayous . . . . .	9
1.2.2 Bois de Sapelli . . . . .	10
1.3 Collage du bois . . . . .	11
1.3.1 Préparation des bois à coller . . . . .	11

1.3.2	Les principaux types de colles à bois . . . . .	11
1.4	Aperçu sur les panneaux en bois . . . . .	12
1.4.1	Historique des panneaux en bois . . . . .	12
1.4.2	Production des placages pour la fabrication des panneaux . . . . .	13
1.4.3	Les panneaux lattés . . . . .	15
1.4.4	Les panneaux contre-plaqués . . . . .	15
1.4.5	Le panneau de particules . . . . .	17
1.4.6	Les panneaux de fibres MDF flexibles . . . . .	17
1.5	Aperçu sur la flexion . . . . .	18
1.5.1	Définition et description de la flexion . . . . .	18
1.5.2	Les différents types de flexion . . . . .	19
1.5.3	Torseurs de cohésion dans $(G ; x ; y ; z)$ . . . . .	20
1.5.4	Contraintes dans une section . . . . .	20
<b>2</b>	<b>MATÉRIEL ET MÉTHODES</b>	<b>22</b>
2.1	Approche théorique du problème . . . . .	23
2.1.1	Equation de la déformée d'un échantillon de panneau de dimension $(L \times l \times e)$ soumis à la flexion . . . . .	24
2.1.2	Déflexion au centre d'une éprouvette en état de flexion . . . . .	27
2.2	Approche expérimentale . . . . .	29
2.2.1	Caractéristiques physiques . . . . .	29
2.2.2	Caractéristiques mécaniques . . . . .	32
2.3	Confection des éprouvettes . . . . .	36
<b>3</b>	<b>RÉSULTATS ET DISCUSSION</b>	<b>38</b>
3.1	Caractérisation physiques . . . . .	38

---

3.1.1	La densité . . . . .	38
3.1.2	Taux d'humidité . . . . .	39
3.2	Caractérisation mécanique . . . . .	40
3.2.1	Déflexion au centre des éprouvettes : courbe effort-flèche . . . .	41
3.2.2	Interprétation des graphes obtenus . . . . .	44
3.2.3	Tableaux des valeurs du module E de YOUNG et diagramme de distribution . . . . .	45
3.2.4	Analyse et interprétation des résultats sur le module de Young	46
3.2.5	Tableau des valeurs des contraintes de rupture et diagramme de distribution . . . . .	48
3.2.6	Analyse et interprétation des résultats sur la contrainte de rupture . . . . .	51
3.3	Influence du taux d'humidité sur les caractéristiques mécaniques . . .	52
4	IMPLICATION SUR LE SYSTÈME ÉDUCATIF DU SUJET	53
4.1	Intérêt didactique . . . . .	53
4.2	fiche pédagogique sur essai de flexion . . . . .	54
4.2.1	Dossier technique . . . . .	54
4.2.2	Dossier pédagogique . . . . .	55
	Conclusion générale	59
	ANNEXE 1	61
	ANNEXE 2	62
	Bibliographie	67

---

# Résumé

Le but de ce travail était d'étudier les propriétés de flexion des panneaux en bois. Cette étude consistait à déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques des panneaux en bois disponibles sur le marché camerounais. Ces propriétés sont entre autre la densité ; le taux d'humidité ; le module de Young et la contrainte de rupture. Pour parvenir à cette fin, deux variétés de panneaux ont été utilisées pour la confection des éprouvettes. Après la pesée des éprouvettes et séchage à l'étuve les résultats obtenus sur la densité et le taux d'humidité ont montré que le sapelli ( $653\text{Kg}/m^3$ ) à 10,11% d'humidité est plus dense que l'Ayous ( $355\text{ Kg}/m^3$ ) à 11,98% d'humidité. L'enregistrement de la courbe effort-flèche nous a permis de déterminer le module de Young et la charge de rupture a permis à partir des grandeurs du problème de déterminer la contrainte de rupture.

**Mots clés** : Panneaux, Flexion, Bois, Module de Young, Contrainte.

---

# Abstract

The goal of this work was to study the bending properties of wood panels. The physical and mechanical characteristics of wood panels available on the Cameronian market by were determined. These properties are amongst other thing the density ; the moisture content ; three point bending Young modulus and the failure stress. To reach for this purpose, two varieties of panels were used. After the weighing of the specimen and drying in and oven the results obtained on the density and the content moisture showed that the sapelli ( $653\text{Kg}/\text{m}^3$ ) at 10,11% moisture contents denser than Ayous ( $355\text{ Kg}/\text{m}^3$ )at 11,98% moisture contents. The recording of the load-deflection curve enabled us to determine the Young modulus and the the failure load was used to determine the failure stress.

**Key words** : Panels, Inflection, Wood, Modulus Young, Constraint.

---

# Liste des abréviations

E1 : éprouvette 1 (Ayous) , E1-1 éprouvette 1 numero 1, E1-2 éprouvette 1 numero 2,...

E2 : éprouvette 2 (Ayous), E2-1 éprouvette 2 numero 1, E2-2 éprouvette 2 numero 2,....

E3 : éprouvette 3 (Sapelli) , E3-1 éprouvette 3 numero 1, E3-2 éprouvette 3 numero 2,...

$D_0; D_1; D_2; D_3; D_4$  et  $D_5$  les déplacements du centre de l'éprouvette correspondant aux efforts  $F_0; F_1; F_2; F_3; F_4$  et  $F_5$ .

$\Delta C_1$  : Déplacement moyen du centre des éprouvettes pour un effort parallèle à la direction des fibres.

$\Delta C_2$  : Déplacement moyen du centre des éprouvettes pour un effort sécante à la direction des fibres.

$\Delta C_3$  : Déplacement moyen du centre des éprouvettes pour un effort perpendiculaire à la direction des fibres.

$\Delta C_4$  : Déplacement moyen du centre des éprouvettes pour un effort perpendiculaire à la direction des fibres après séchage.

---

# Table des figures

1.1	Structure du bois [1]. . . . .	3
1.2	Représentation schématique de la croissance primaire et secondaire d'un arbre par la superposition successive des couches en forme de cône [1]. . . . .	4
1.3	Aspect microscopique du bois [1] . . . . .	5
1.4	coupe transversale de chêne [1] . . . . .	6
1.5	Coupe transversale de merisier chêne [1].(photo CTBA) . . . . .	6
1.6	photo d'une partie du bois et de l'écorce dans une coupe transversale d'un tronc d'arbre de feuillu [1] (photo : Hager) . . . . .	7
1.7	Coupe transversale de sapin [1](photo CTBA) . . . . .	8
1.8	Aspect du bois [16] . . . . .	10
1.9	Coupe transversale de Sapelli [16] . . . . .	11
1.10	panneaux lattés [5] . . . . .	15
1.11	Panneaux contre-plaqués [5] . . . . .	16
1.12	Panneaux de particules . . . . .	17
1.13	MDF flexible [12] . . . . .	18
1.14	Echantillon en état de flexion [8]. . . . .	19
1.15	Les types de flexions [4] . . . . .	19
1.16	répartition des contraintes dans une section . . . . .	20

1.17	diagramme de répartition des contraintes . . . . .	21
2.1	Allure de la déformée [4] . . . . .	24
2.2	Tronçon d'échantillon [8] . . . . .	25
2.3	Déflexion au centre d'une éprouvette [8] . . . . .	27
2.4	éprouvettes pour la mesure de la densité et la teneur en eau . . . . .	30
2.5	pied à coulisse à 0,01mm de précision . . . . .	30
2.6	Balance de précision 0,01g . . . . .	31
2.7	Etuve ventilée . . . . .	32
2.8	Dispositif experimental . . . . .	33
2.9	Figure presse manuelle du laboratoire géotechnique de polytechnique Yaoundé . . . . .	34
2.10	Principe de l'essai à 3 points à réaliser . . . . .	34
2.11	essai de flexion à 3 points . . . . .	35
2.12	courbe Effort-Flèche . . . . .	36
2.13	Eprouvette en bois de SAPELI et AYOUS. . . . .	37
3.1	Distribution du taux d'humidité . . . . .	40
3.2	Courbes Effort-flèche (éprouvette E1) . . . . .	42
3.3	Courbes Effort-flèche (éprouvette E2) . . . . .	43
3.4	Courbes Effort-flèche (éprouvette E3) . . . . .	44
3.5	Distribution des valeurs du module de Young) . . . . .	46
3.6	Distribution des valeurs des contraintes . . . . .	49
3.7	Distribution des valeurs des contraintes . . . . .	50
3.8	Distribution des valeurs des contraintes . . . . .	51
4.1	Banc de flexion . . . . .	55
4.2	Modélisation . . . . .	56

---

# Liste des tableaux

3.1	Eprouvette de panneau en bois d'AYOUS . . . . .	38
3.2	Eprouvette de panneau en bois de SAPELLI . . . . .	39
3.3	Tableau récapitulatif des taux d'humidités . . . . .	39
3.4	Résultats des essais sur l'éprouvettes E1 . . . . .	41
3.5	Résultats des essais sur l'éprouvettes E2 . . . . .	42
3.6	Résultats des essais sur l'éprouvettes E3 . . . . .	43
3.7	Effort parallèle à la direction des fibres ( $0^\circ$ ) . . . . .	45
3.8	Effort sécant à la direction des fibres ( $45^\circ$ ) . . . . .	45
3.9	Effort perpendiculaire à la direction des fibres ( $90^\circ$ ) . . . . .	46
3.10	Effort perpendiculaire à la direction des fibres ( $90^\circ$ )après sèchage . . . . .	46
3.11	Résultats Contrainte et Effort de rupture :Eprouvette E1 . . . . .	48
3.12	Résultats Contrainte et Effort de rupture :Eprouvette E2 . . . . .	49
3.13	Résultats Contrainte et Effort de rupture :Eprouvette E3 . . . . .	50
4.1	Expression des moments quadratiques . . . . .	58
4.2	Résultat sur la mesure de la densité . . . . .	62
4.3	Résultat sur la mesure du taux d'humidité . . . . .	63
4.4	Résultat sur la mesure du module de Young . . . . .	64
4.5	Suite résultats sur module de Young . . . . .	65

---

4.6 Résultats sur la charge et la contrainte de rupture . . . . . 66

---

# Introduction générale

Le bois est un matériau naturel et biodégradable. Il peut durer plus longtemps comme le prouvent les structures en bois parfaitement intactes retrouvées dans des tombeaux égyptiens vieux de plus de 3 500 ans. Pour simplifier, il est possible d'affirmer que le bois est pratiquement éternel pour autant qu'il ait été séché et maintenu à l'abri de l'humidité. Plus proche de nous, de nombreux bâtiments en bois parfaitement conservés, datant de plusieurs centaines d'années, apportent la preuve de l'excellente longévité de la construction en bois.

Pour leur part les panneaux en bois grâce à leur larges surfaces ouvrent de nombreux horizons en matière de travaux, aménagement et décoration notamment dans la construction des bâtiments, l'ameublement et des ouvrages en bois.

L'étude de la flexion des panneaux en bois permet au constructeur d'adapter ceux-ci à des besoins bien précis et aussi de limiter les déformations pouvant compromettre une tâche pendant leurs utilisations. C'est ainsi que les panneaux adaptés aux planchers doivent se fléchir moins que ceux servant de cloison.

## **Objectif du mémoire**

Le but principal de ce mémoire est de déterminer expérimentalement les caractéristiques physiques et mécaniques des panneaux en bois par essai de flexion sur des échantillons de panneau en bois.

Les objectifs secondaires de ce sujet sont :

- Avoir une idée sur la structure du bois.
- Connaitre les techniques d'obtention des panneaux en bois
- Maitriser un essai en laboratoire
- Apprendre comment traiter, analyser et interpréter des résultats expérimentaux.

D'abord, en première partie nous allons faire une étude bibliographique dans laquelle nous découvrons :

- Le bois et sa structure
- Les panneaux et leur mode d'emploi
- Un aperçu sur la notion de flexiom
- Le procédé de fabrication des panneaux

Puis, en deuxième partie dans l'étude expérimentale nous allons présenter le matériel et les méthodes utilisées pour caractériser physiquement et mécaniquement nos échantillons de panneaux en bois.

Par la suite, en troisième partie nous allons traiter, analyser et interpréter les résultats expérimentaux obtenus.

Enfin, nous allons présenter l'implication sur le système éducatif du sujet puis en conclure sur notre travail.

---

# Chapitre 1

## REVUE DE LA LITTÉRATURE

### Introduction

Dans ce chapitre nous découvrons le paysage réduit bois et panneaux en bois, leur usinage et leur assemblage à partir des colles à bois. La notion de flexion y est aussi définie.

## 1.1 Aperçu sur le Bois et sa Structure

Le bois est un matériau relativement complexe et hétérogène, ses caractéristiques étant pour partie liées à son appartenance à une espèce végétale donnée.

### 1.1.1 Éléments principaux de la structure du bois

Les éléments principaux sont ceux visibles à l'oeil nu ou avec une loupe tenue à la main. Des éléments tels que les accroissements, les différences entre le bois de coeur et l'aubier, les rayons ou la répartition des cellules peuvent être reconnus à ce stade. Les principales parties d'un morceau du tronc d'un arbre sont, depuis l'extérieur jusqu'à l'intérieur, l'écorce, le phloème, le cambium, l'aubier et le bois de coeur (fig.1). Le cambium est une partie vitale de l'arbre puisqu'il correspond à la zone où a lieu la production des couches de tissus cellulaires. Il y a

une production de bois sur sa face interne et de liber (transformé par la suite en écorce) sur sa face externe. L'aubier fait partie des tissus vivants de l'arbre. C'est dans cette zone que circule de manière ascendante la sève brute. Ce bois est situé en périphérie de l'arbre. En se déplaçant vers le centre de l'arbre, les parois cellulaires se transforment et les tissus meurent. C'est alors du bois parfait ou bois de coeur. Si le bois de coeur est facilement identifiable de l'aubier alors il est appelé duramen comme par exemple pour le chêne ou le sapin de Douglas[1].

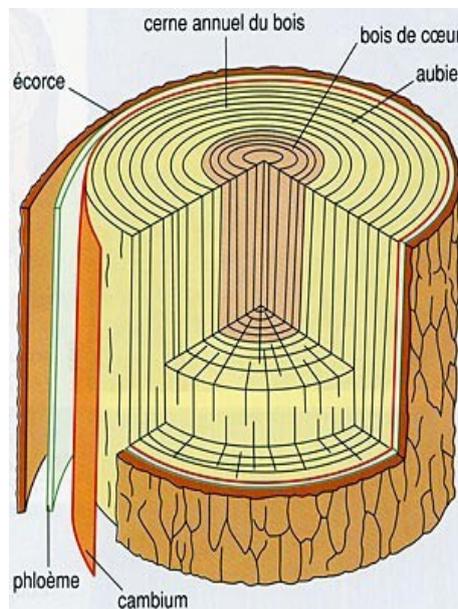


FIGURE 1.1 – Structure du bois [1].

D'autre part, des alternances de zones claires et sombres sont visibles. Ces dernières correspondent aux cernes annuels. Un cerne représente la production de cellules de bois au cours d'une année. C'est en comptant le nombre de cernes qu'il est possible de connaître l'âge des bois. Il est à noter que les cernes sont visibles pour les bois de régions tempérées et non pas pour des bois tropicaux. Au printemps, l'arbre a un grand besoin de sève et il produit donc du bois initial dit aussi bois de printemps qui favorise la fonction de conduction de cette dernière. En revanche, au fil des mois après la floraison et la production de fruits, le besoin en sève diminue

et se forme le bois final ou bois d'été. La fonction privilégiée est alors le rôle de soutien de l'arbre.

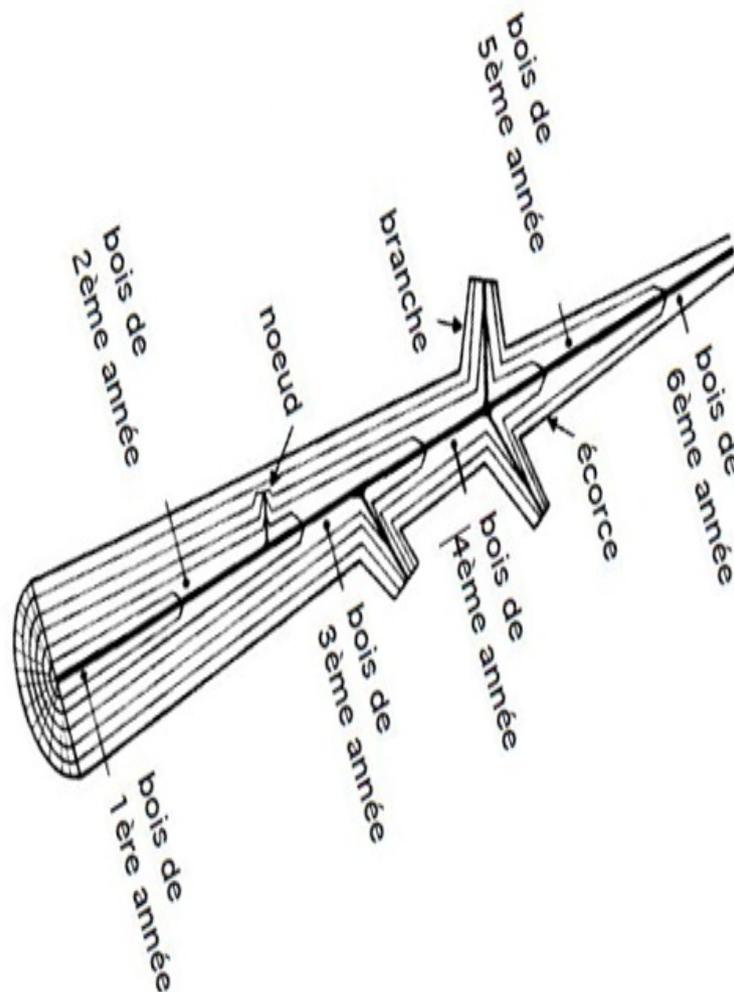


FIGURE 1.2 – Représentation schématique de la croissance primaire et secondaire d'un arbre par la superposition successive des couches en forme de cône [1].

### 1.1.2 La composition cellulaire

Un tronc d'arbre est composé de millions de cellules individuelles de bois. Ces cellules diffèrent de par leur taille et par leur forme, en fonction de leur rôle dans la physiologie de l'arbre. La plupart d'entre elles sont nettement plus longues que larges. Elles sont organisées entre elles en différents types de distribution à l'intérieur du bois, cette distribution variant selon les espèces. Les spécialistes distinguent les feuillus, où les cellules sont relativement spécialisées, des conifères où les choses sont plus simples.

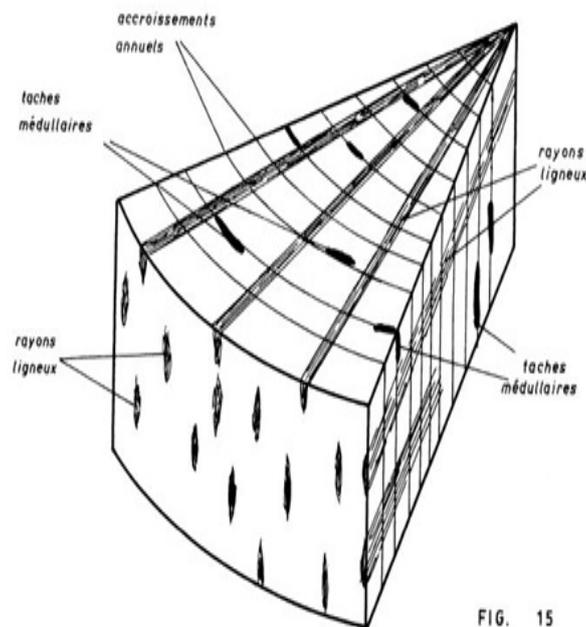


FIGURE 1.3 – Aspect microscopique du bois [1]

La photo ci-dessous, qui représente une coupe transversale de chêne, montre nettement les rayons et les cernes du bois [1]. :

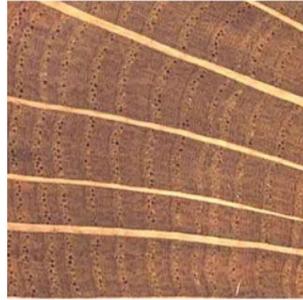


FIGURE 1.4 – coupe transversale de chêne [1]

Ces derniers sont constitués d'une alternance de zones poreuses (gros vaisseaux, bois de printemps) et de zones plus compactes (bois d'été). Les rayons sectionnés longitudinalement apparaissent en clair.

### 1.1.3 L'aubier et le bois parfait

Les couches successives de vaisseaux qui se forment sous le cambium constituent l'aubier qui correspond au bois physiologiquement actif [1]. Ces vaisseaux cessent peu à peu d'alimenter l'arbre après quelques années. Ils se bouchent et s'imprègnent de différentes substances :

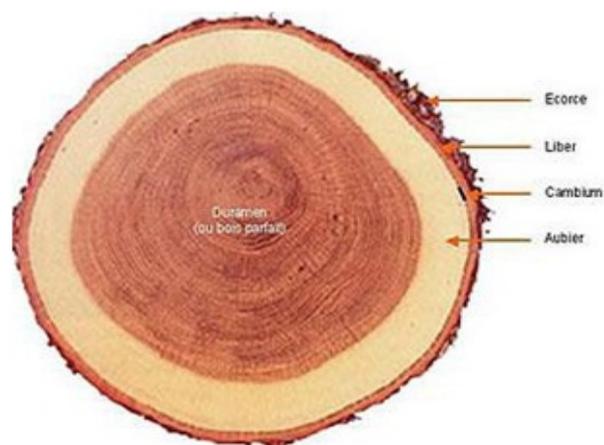


FIGURE 1.5 – Coupe transversale de merisier chêne [1].(photo CTBA)

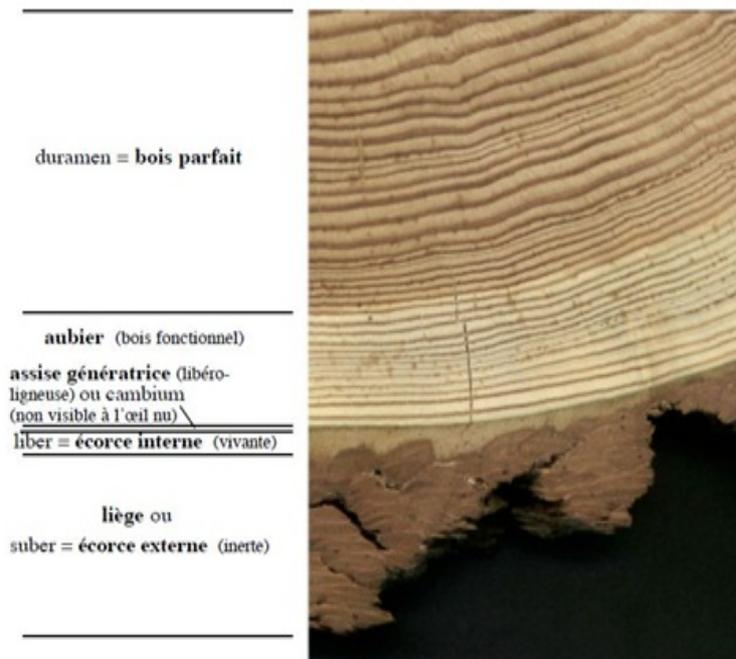


FIGURE 1.6 – photo d'une partie du bois et de l'écorce dans une coupe transversale d'un tronc d'arbre de feuillu [1] (photo : Hager)

Cette transformation progressive en bois parfait, ou duramen, est appelée duraminisation. Chez certaines essences (chêne, châtaignier, pins, douglas, mélèze...) à bois parfait distinct, l'aubier est en général plus clair que le duramen (improprement appelé "bois de coeur"), on dit alors qu'il est différencié. Il est plus ou moins imprégnable et ne résiste jamais aux champignons lignivores et aux larves xylophages. Le duramen (ou bois parfait), au contraire, possède une durabilité naturelle qui varie selon les essences ; il est, en général, peu ou pas imprégnable. Pour d'autres essences (sapin, épicéa, peuplier, érable...), il n'y a pas de différence de coloration entre le centre et l'extérieur de la grume, et l'aubier ne se distingue pas visuellement du duramen. Sur ces essences à aubier non différencié, les différences de porosité, qui cependant se manifestent entre aubier et bois parfait, génèrent des facultés d'absorption distinctes. L'aubier, plus poreux, offre une capacité d'absorption plus élevée que celle du duramen. Coupe transversale de sapin.



FIGURE 1.7 – Coupe transversale de sapin [1](photo CTBA)

#### 1.1.4 Etat hygrométrique du bois

Le bois est un matériau hygroscopique qui a la capacité d'absorber ou de restituer une certaine quantité d'eau, en fonction de l'humidité relative de l'air. Pour des taux d'humidité de bois inférieurs à 30 % cela s'accompagne de variations dimensionnelles : le bois gonfle ou se rétracte et peut alors subir des déformations. D'où le séchage du bois. Le séchage du bois d'oeuvre a un impact :

- sur la durabilité du bois,
- sur sa stabilité dimensionnelle structurelle
- sur sa résistance aux attaques fongiques et aux insectes. Ainsi, en dessous de 20 % d'humidité le risque de développement fongique est moindre.

Le processus de séchage peut être naturel : stockage sous abri ventilé, artificiel en cellule de séchage. Il est fréquemment contrôlé, à fin d'obtenir un taux d'humidité idéal en fonction des essences et de la mise en oeuvre qui en sera faite (extérieur ou intérieur). Le séchage prépare aussi aux opérations de collage et d'application de traitement.

## 1.2 Quelques essences de bois servant de fabrication des panneaux en bois

### 1.2.1 Bois d'Ayous

#### a ) Caractéristiques

L'Ayous est un bois de couleur blanche à jaune clair avec un aubier non différencié et un cœur parfois légèrement plus sombre. Le grain est moyen à grossier. Le fil est droit et le contrefil léger est occasionnel. La maillure est fine et peu distincte.

L'Ayous est un bois tendre et léger avec une masse volumique moyenne de 380 kg/m<sup>3</sup> (à 12% d'humidité). Sa transformation s'effectue sans difficulté [16].

Il sèche rapidement et facilement. Les coefficients de retrait sont faibles ; il s'agit d'un bois stable à moyennement stable. Le collage demande une attention particulière du fait de son pouvoir absorbant important. Les finitions (peintures, vernis et lasures) ne présentent pas de difficulté particulière mais l'application d'un bouche-porage est recommandée.

L'Ayous est très peu durable (classe de durabilité 5) tant vis-à-vis des champignons que des insectes, et peu imprégnable. Il est particulièrement sensible aux attaques de *Lyctus* et *Bostryches* ainsi qu'au bleuissement et à l'échauffure.

#### b ) Applications

Les principales utilisations de l'Ayous, sont : la menuiserie intérieure, les moulures, les structures de saunas et nautisme, l'emballage et le contreplaqué.



FIGURE 1.8 – Aspect du bois [16]

### 1.2.2 Bois de Sapelli

#### a ) Caractéristiques :

Brun rouge à brun violet, le Sapelli est un bois pouvant présenter un léger contrefil. Son aubier différencié est gris rosâtre à blanchâtre d'environ 7 à 10 cm d'épaisseur. Son grain varie de fin à moyen et la maille bien visible est en structure étagée. Le bois prend un aspect rubané sur quartier avec des reflets dorés

Le Sapelli est un bois dur et mi-lourd avec une masse volumique moyenne de 680 kg/m<sup>3</sup> (à 12% d'humidité). Sa mise en oeuvre peut présenter un problème si le bois n'a pas libéré ses tensions (risque d'éclatement de la grume)[16].

Séchage moyennement rapide avec risque élevé de déformations. Peu imprégnable ; il s'agit d'un bois moyennement stable. Classe de durabilité : n°3 (moyennement durable).

#### b ) Applications

Les principales utilisations du Sapelli, sont : la menuiserie intérieure, les moulures, les structures de saunas et nautisme, l'emballage et le contreplaqué.



FIGURE 1.9 – Coupe transversale de Sapelli [16]

## 1.3 Collage du bois

### 1.3.1 Préparation des bois à coller

- Les surfaces doivent être usinées de telle sorte que la colle pénètre les pores du bois et adhère sans difficulté.
- Certains bois peuvent nécessiter un dégraissage. Il s'agit de bois naturellement gras comme le teck ou de pièces présentant des traces de cire ou d'encaustique.
- La température ambiante devra se situer entre 10 et 30 °C.
- Ne pas utiliser la colle sur bois trop humide (8 à 12%) d'hygrométrie)

### 1.3.2 Les principaux types de colles à bois

colles naturelles[11] :

- **colle d'os** : Chaude, cette colle à l'avantage d'être fluide et de mieux pénétrer dans les assemblages. Par contre cette colle est cassante. Elle servira plus pour les assemblages en bois massif.
- **colle de nerfs** : Colle plus filandreuse, très adhésive, offrant l'avantage de suivre l'hygrométrie du bois. Elle est utilisée généralement pour le collage du placage au marteau ou la restauration de placages. La colle d'OS est gélatineuse et la colle de Nerf est cassante. En

mélange, on utilise la colle de nerf comme durcisseur. La colle d'ébénisterie doit être plus résistante pour le maintien des assemblages et comporte plus de Nerf. Proportions conseillées :  
Ébénisterie : 2 mesures d'OS - 1 mesure de Nerf.

- **colle forte toute prête** : Cette colle est à base du mélange ci-dessus (Nerf-OS) avec des additifs la rendant plus facile à utiliser et à conserver.

#### **Colles thermodurcissable[10] :**

Colles utilisées pour collage du bois du fait de leurs performances et prix.

- **AMINOPLASTES urée-formaldéhyde (UF) - mélanine-formaldéhyde (MF).**

**Applications** : fabrication contre-plaqué à usage intérieur, panneaux lattés, portes isolantes, charpentes lamellées collées à usage intérieur à joints épais, assemblages en menuiserie sur bois denses et huileux, stratifiés, carton ondulé.

- **PHENOPLASTES Phénol-Formaldéhyde (PF)-Résorcine-Formaldéhyde**

Applications [12] : fabrication contre-plaqués à usage extérieur et stratifiés décoratifs (Formica), liants dans abrasifs, meules et laine de verre. Complexe résines phénoliques plus caoutchouc synthétique (néoprène) adhésifs structuraux utilisés dans placage garnitures sabots de freins.

Avantages : excellente résistant à eau (même bouillante) et aux agents chimiques, longs délais d'assemblage, résistance mécanique élevée, absence d'attaque microbienne. Inconvénients : durcissement à température (120 à 140 °C) et pression élevées, risque de tacher Substrats, prix supérieure aux colles UF.

## **1.4 Aperçu sur les panneaux en bois**

### **1.4.1 Historique des panneaux en bois**

Bien que les feuilles de bois soient utilisées depuis l'antiquité par les pharaons d'Égypte,

l'année 1905 a marqué le départ des plaques en bois avec l'exploitation des premiers panneaux en bois. Le panneau est convoité à cause de sa largeur et de sa stabilité dimensionnelle. De ce fait plusieurs structures étaient créées dans le monde ayant pour but de vulgariser l'utilisation des panneaux. Ils trouvent de nombreuses applications dans leur utilisation tel que les constructions résidentielles et commerciales, le meublage des maisons. Avec la création de l'adhésif synthétique en 1934, l'utilisation de celui-ci avait rendu les panneaux nouvellement fabriqués résistants face à l'humidité, l'eau qui provoquent le plus souvent le décollage. Ces adhésifs synthétiques ont facilité l'utilisation des panneaux dans la construction des avions et des navires pendant la seconde guerre mondiale.

#### 1.4.2 Production des placages pour la fabrication des panneaux

La production des placages se fait soit par sciage, soit par déroulage, soit par tranchage [5].

Le sciage est la méthode la plus traditionnelle, il s'agit du sciage de long et il n'est, plus pratiqué au niveau industriel.

Le déroulage, comme le tranchage, sont des opérations d'usinage du bois dites sans enlèvement de copeau. Le produit généré par la coupe est le produit fini, le placage. Dans le cas de déroulage la machine utilisée est une dérouleuse. La bille de bois est positionnée entre deux griffes et entraînée en rotation par celles-ci. Un couteau, au contact de la bille, enlève le placage de bois. Tant que la bille n'est pas terminée ou que, mécaniquement il est possible d'enlever du bois, l'opération se continue.

L'opération de déroulage est en elle-même relativement simple. Elle nécessite de la part du conducteur de la machine : une bonne connaissance de sa machine, une bonne connaissance du bois et des produits à obtenir.

Les dérouleuses sont des machines qui actuellement sont de plus en plus sophistiquées. En effet les paramètres de coupe (l'opération de déroulage) tels que vitesse de rotation, position-

nement du couteau et de la barre de pression, etc., sont définis par ordinateur.

Une opération très importante dans le déroulage est le centrage du bois. Dans les débuts du déroulage, il se faisait manuellement, aujourd'hui des systèmes informatisés permettent de calculer le centrage idéal de la bille considérée et ainsi, d'optimiser le rendement volumétrique utile.

Dans le cas de tranchage, la machine utilisée procède par coupes successives qui peuvent être soit curviligne. La bille de bois, suivant le type de machine est soit immobile, soit en mouvement.

Dans les trancheuses les plus anciennes, la bille de bois est immobile et c'est l'ensemble de coupe qui se déplace. Dans les machines modernes, l'ensemble de coupe est immobile et le bois se déplace. En fonction de l'orientation du mouvement, on distingue des trancheuses horizontales et des trancheuses verticales. L'opération de tranchage est simple, il s'agit d'une opération de coupe. Elle nécessite de la part du conducteur de machine une bonne connaissance du bois et de sa machine pour les réglages (dans les trancheuses horizontales, le réglage se fait en aveugle). Il est nécessaire d'obtenir des placages ayant des qualités décoratives ainsi qu'une régularité d'épaisseur et une qualité de surface, les bois tranchés étant des bois dits précieux avec une valeur commerciale importante.

Les placages ainsi obtenus sont séchés, soit à l'air soit plus généralement dans des séchoirs à tapis ou à rouleaux. Le vecteur de la chaleur est l'air chaud. On chauffe à température relativement élevée (150 à 200°C) et l'épaisseur du produit à sécher étant faible, les temps de séchage sont courts et la productivité bonne. Pour les bois fragiles et précieux (en général les placages tranchés), une technologie de séchoir à tapis lourd, faisant office de fer à repasser a été développée. Ce système permet de sécher les placages en les gardant plans. Après l'opération de séchage, les placages sont triés, certains peuvent être réparés ou aboutés ou jointés.

Il existe une très grande variété de panneaux en bois mais nous retiendrons notre attention

sur les panneaux présentés ci-dessous.

### 1.4.3 Les panneaux lattés

Ils sont constitués de lattes de bois obtenues par sciage, séchage, calibrage en épaisseur et ensuite assemblées à plat-joint. Ces lattes sont très souvent découpées dans les noyaux de déroulage provenant des industries du contreplaqué. Ces panneaux, ayant des qualités de résistance mécanique limitées, sont, le plus souvent, recouverts avec des placages déroulés. Ce sont des panneaux conçus pour l'ébénisterie mais il leur est reproché d'avoir du "télégraphing", c'est à dire de laisser apparaître le dessin des lattes au travers du placage. Les lattes ont généralement des sections comprises entre 25 x 25 mm et 40 x 40 mm.

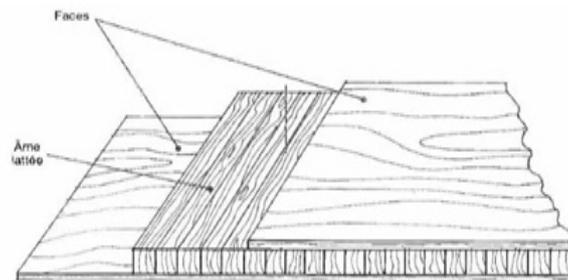


FIGURE 1.10 – panneaux lattés [5]

### 1.4.4 Les panneaux contre-plaqués

Ils sont constitués de placages assemblés à fils croisés. Les panneaux de contreplaqué sont, dans le type de panneaux de ce chapitre, les plus fabriqués dans le monde. Par le croisement des fils du bois, ils sont quasi isotropes dans deux directions pour les propriétés mécaniques et la stabilité dimensionnelle. Leurs caractéristiques mécaniques associées à une certaine légèreté en font des panneaux à usages multiples et variés (on en trouve jusque dans le TGV français). En fonction des usages, les colles utilisées sont en général, soit des aminoplastes (UF ou MUF), soit des phénoplastes (PF ou RF). 90 % de la production de ce type de panneaux et 79% de

leur utilisation sont concentrées dans le bassin Asie Pacifique. Il se fabrique environ 48 millions de m<sup>3</sup> par an de contreplaqués [11].

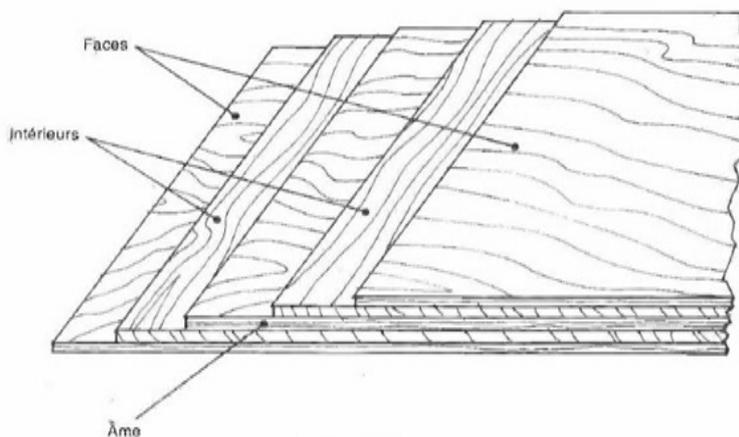


FIGURE 1.11 – Panneaux contre-plaqués [5]

La différence entre les contreplaqués est surtout marquée par le nombre et l'épaisseur des plis, la qualité de la colle employée et les bois utilisés. On peut utiliser tous les bois pour le contreplaqué à condition qu'ils soient, déroulables (certains bois trop durs ne sont pas déroulables dans des conditions économiquement rentables). La première caractéristique retenue pour les contreplaqués est le type de collage. On distingue quatre types de collages :

- Collage de type 1 : panneaux pour emploi intérieur, à collage non résistant à l'humidité ;
- Collage de type 2 : panneaux à collage résistant à l'humidité ;
- Collage de type 3 : panneaux à collage résistant à l'eau ;
- Collage de type 4 : panneaux à collage résistant l'humidité, l'eau et les intempéries.

Les autres caractéristiques sont des caractéristiques physiques et mécaniques.

Elles dépendent beaucoup des caractéristiques des bois utilisés et des collages réalisés. Le module d'élasticité est, pour des fabrications classiques, de l'ordre de 4 000 à 8 000 MPa. Il existe un certain nombre de marques de qualité de contreplaqué dont les plus connues sont :

WBP, NF-Extérieur CTB-X, AX-100.

Matériau léger avec de bonnes propriétés mécaniques et physiques, le contreplaqué, de 3 à 22 mm d'épaisseur, pour milieu sec ou humide, est un matériau tous usages. Il est surtout utilisé comme matériau de structure (entre 40 et 60 % de ses utilisations). Il est aussi très employé dans le meuble (20 % de ses utilisations). Le choix du contreplaqué et du type de collage est fonction de l'usage qui est fait du panneau.

### 1.4.5 Le panneau de particules

Ces panneaux communément appelés "aggloméré" sont fabriqués sous pression, essentiellement à partir de particules de bois fibreux et autres matières type amas de lin, bagasse, chanvre. Constitué de trois couches de ces copeaux provenant du façonnage du bois, il est d'une bonne stabilité dimensionnelle et d'un coût modéré. Parfait pour des aménagements et des rayonnages devant accueillir des charges légères comme des vêtements ou des verres (une tablette de 60 x 30 cm et 18 mm d'épaisseur supporte une charge d'environ 30 kg), il existe en divers formats (panneaux grand format, panneaux prédécoupés ou dalles de plancher) et diverses épaisseurs (de 8 à 28 mm)[9].



FIGURE 1.12 – Panneaux de particules

### 1.4.6 Les panneaux de fibres MDF flexibles

Les panneaux de fibres MDF flexibles permettent de réaliser des formes inattendues, tout en rondeurs. Doté de rainures permettant la courbure, il s'utilise de deux façons : seul, il se visse

sur une structure pour épouser ses formes (habillages de voûtes, piliers, murs, comptoirs) ; ou doublé, pour obtenir une surface courbe rigide qui conservera sa forme sans support extérieur. Il suffit alors de contrecoller deux panneaux avec de la colle à bois : solution idéale pour construire des petits meubles originaux, des bars, des placards[11].



FIGURE 1.13 – MDF flexible [12]

Ce panneau se travaille comme un panneau de bois classique : il se coupe, se scie, se vernit, se peint ou se tapisse. D'une épaisseur de 6 mm et d'un rayon de courbure minimum de 150 mm, il s'utilise à l'intérieur (en milieu sec uniquement). Il existe en finition brute et en deux versions. Long, il se pose verticalement (habillage de murs, façonnage de placards). Large, il se positionne horizontalement (fabrication de bar, pieds de table, etc.).

## 1.5 Aperçu sur la flexion

### 1.5.1 Définition et description de la flexion

La flexion provoque une distribution de contraintes présentant à la fois un gradient et une répartition de contraintes de traction et de compression de part et d'autre de la fibre neutre. L'essai de flexion détermine l'aptitude à la déformation d'un matériau sur deux appuis avec une application de l'effort à mi-distance. On impose à une éprouvette normalisée une déformation, ou flèche, à vitesse de déformation constante, et on mesure la force qu'oppose l'éprouvette à cette déformation.

La figure ci-dessous représente un échantillon de bois reposant sur deux appuis soumis à une charge concentrée verticale [8]. Après déformation, cet échantillon accuse une flèche (déplacement vertical des différents points d'où le nom de flexion) et on constate que les fibres situées en partie supérieure sont sollicitées en compression tandis que celles situées en partie inférieure sont sollicitées en traction. Entre ces deux régions il existe une fibre qui n'est ni tendue ni comprimée c'est la fibre neutre.

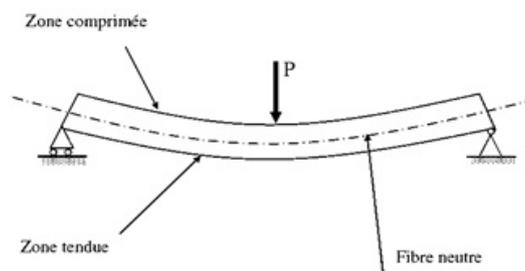


FIGURE 1.14 – Echantillon en état de flexion [8].

### 1.5.2 Les différents types de flexion

Une poutre est soumise à une sollicitation de flexion chaque fois qu'il y a fléchissement de la ligne moyenne. On distingue trois types de flexion [4]

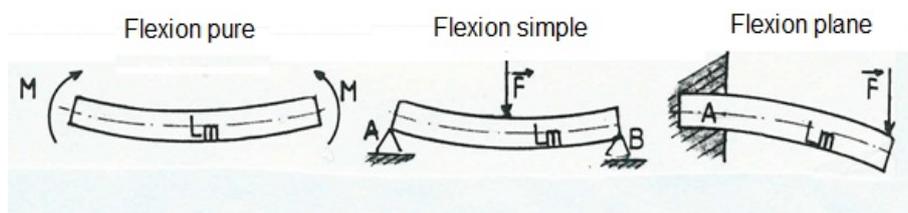


FIGURE 1.15 – Les types de flexions [4]

1.5.3 Torseurs de cohésion dans (G ;x ;y ;z)

$$\{T_{gcoh}\}_G = \left\{ \begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & M_{fZ} \end{array} \right\}_G \quad \text{Flexion pure}$$

$$\{T_{gcoh}\}_G = \left\{ \begin{array}{cc} 0 & 0 \\ T_y & 0 \\ 0 & M_{fZ} \end{array} \right\}_G \quad \text{Flexion simple}$$

$$\{T_{gcoh}\}_G = \left\{ \begin{array}{cc} N & 0 \\ T_y & 0 \\ 0 & M_{fZ} \end{array} \right\}_G \quad \text{Flexion plane}$$

N : Effort normal ; Ty : Effort tranchant et Mfz : Moment fléchissant [4]

1.5.4 Contraintes dans une section

Répartition des contraintes dans la section :

- La contrainte normale en un point M d’une section droite est proportionnelle à la distance y entre ce point et le plan moyen passant par G.
- Toutes les fibres situées à la distance y du plan moyen ont même contrainte.
- Si la fibre est tendue, la contrainte est positive. Si la fibre est comprimée, la contrainte est négative. La fibre la plus sollicitée est également la plus éloignée du plan moyen.

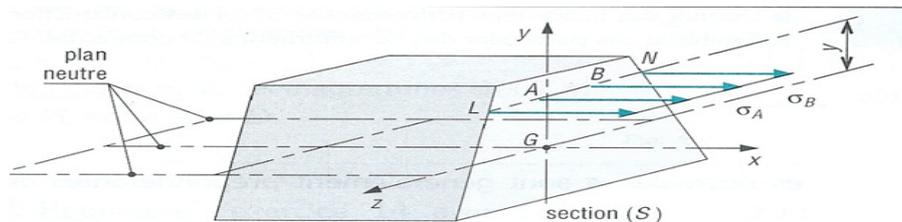


FIGURE 1.16 – répartition des contraintes dans une section

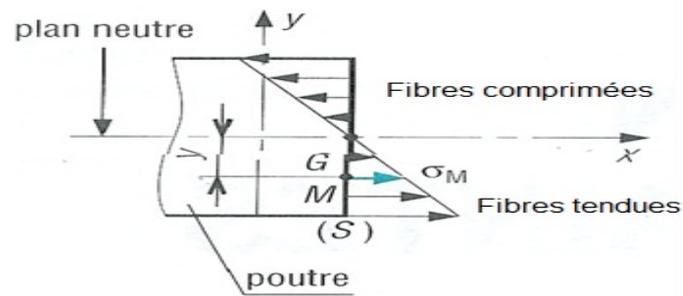


FIGURE 1.17 – diagramme de répartition des contraintes

### Conclusion

La présente étude nous a permis de découvrir les différentes parties du bois et sa composition cellulaire. L'ensemble des parties du bois constitue la structure du bois. Il est possible de déterminer l'âge d'un arbre à partir des cernes annuelles. Les propriétés d'un tronc d'arbre varient suivant la coupe. De décrire une éprouvette en état de flexion.

---

# Chapitre 2

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Introduction

Cette partie a pour but l'étude des caractéristiques mécaniques et physique de quelques panneaux en matériau bois grâce aux essais de Flexion trois points en tenant compte de l'anisotropie du bois. Le bois est un matériau anisotrope : ses propriétés varient selon la direction considérée (parallèle au fil du bois, perpendiculaire,...). Les paramètres influençant la résistance à la flexion sont :

- Type de bois
- Humidité
- Direction de sollicitation
- Densité du bois
- Vitesse de sollicitations

Dans cet essai on ne va pas tenir compte de la vitesse de sollicitation mais on va en tenir compte dans l'analyse des résultats. L'approche expérimentale du comportement élastique du matériau bois implique la détermination d'un nombre important de constantes élastique ce qui implique la mise en place de différents systèmes de chargement (traction, compression, flexion)

appliqués à plusieurs échantillons d'orientations privilégiées par rapport au repère naturel. Les principales étapes de la démarche expérimentale sont :

- Définition du principe de la méthode et du protocole expérimental
- Prélèvement des échantillons (Taille et usinage des éprouvettes)
- Enregistrement des charges appliquées
- Détermination expérimentale des caractéristiques des différents échantillons ou éprouvettes.

## 2.1 Approche théorique du problème

**Hypothèse de travail [3].**

- On considère dans cette étude des panneaux à plan moyen, c'est-à-dire pour lequel  $y$  est axe de symétrie de la section droite. En outre toutes les forces sont appliquées dans le plan  $(xoy)$ . (les couples et moments sont portés par  $z$ )
- Les matériaux sont supposés homogènes. La fibre neutre est donc confondue à la ligne moyenne (C'est-à-dire que la fibre neutre passe par le centre de gravité de toutes les sections droites)
- hypothèse de Bernoulli : au cours de la déformation, les sections droites restent perpendiculaires à la courbe moyenne ;
- les sections droites restent planes selon Navier-Bernoulli (pas de gauchissement).
- Les déplacements et les déformations sont petits devant les dimensions de l'éprouvette.

L'hypothèse de Bernoulli permet de négliger le cisaillement dans le cas de la flexion : le risque de rupture est alors dû à l'extension des fibres situées à l'extérieur de la flexion, et la flèche est due au moment fléchissant.

### 2.1.1 Equation de la déformée d'un échantillon de panneau de dimension (L x l x e) soumis à la flexion

On appelle déformée, l'équation  $y(x)$  de la courbure de la ligne moyenne (fibre neutre) comme la présente la figure ci-dessous.

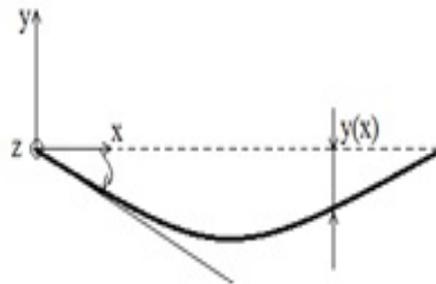


FIGURE 2.1 – Allure de la déformée [4]

La valeur de la déformée en un point du panneau est appelée flèche et celle de la rotation en un point est appelée pente.

Considérons un tronçon d'échantillon de section  $\sum_{(x_0)}$  de longueur avant et après déformation [8].

Considérons une fibre  $\overline{m_1 m_2}$  située à la distance  $y$  de la fibre neutre.

Après déformation cette fibre est représentée par  $\overline{m_1' m_2'}$ .

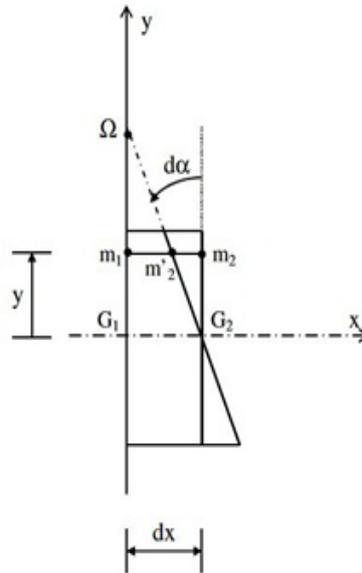


FIGURE 2.2 – Tronçon d'échantillon [8]

La déformation relative s'écrit :

$$\varepsilon = \frac{\overline{m'_2 m_2}}{\overline{m_1 m_2}} \quad (2.1)$$

Les déformations étant petits c'est-à-dire flexion faible dans les limites d'élasticité, on peut écrire :

$$\overline{m'_2 m_2} = y d\alpha \quad (2.2)$$

La déformation s'écrit donc [8] :

$$\varepsilon = y \frac{d\alpha}{dx} \quad (2.3)$$

D'après la loi de Hooke [14], la contrainte a pour expression :

$$\sigma = E\varepsilon = Ey \frac{d\alpha}{dx} \quad (2.4)$$

Exprimons à présent le rayon de courbure de la fibre neutre [8] :

$$R = \Omega G_2 \approx \frac{dx}{d\alpha} \quad (2.5)$$

En remplaçant dans l'expression de la contrainte (relation 2.4 ), il vient :

$$\sigma = \frac{E}{R}y \quad (2.6)$$

La contrainte normale en un point de la section s'écrit [6] :  $\sum_{(x_0)}$  s'écrit :

$$\sigma(x_0, y) = -\frac{M(x_0)}{I_z}y \quad (2.7)$$

Puis en égalant à la contrainte normale en flexion pure (relation 2.6) on obtient une relation entre la courbure (qui est l'inverse du rayon de courbure) et le moment fléchissant [8] :

$$\chi = \frac{1}{R} = \frac{M(x)}{EI_z} \quad (2.8)$$

Le terme  $\frac{1}{EI_z}$  est appelé flexibilité de l'échantillon de la rigidité en flexion  $E.I_z$  .

Notons que la courbure représente en outre la rotation de la section  $\chi = \frac{d\alpha}{dx}$ .

On montre en géométrie analytique, que le rayon de courbure d'une courbe d'équation s'écrit [8] :

$$R = \frac{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}}{\frac{d^2y}{dx^2}} \quad (2.9)$$

La déformation étant faible,  $\left(\frac{dy}{dx}\right)^2$  est négligeable devant 1, on peut donc exprimer  $R$  sous la forme

$$R = \frac{1}{\frac{d^2y}{dx^2}} \quad (2.10)$$

Si  $y = f(x)$  est l'équation de l'allure de la déformée de l'échantillon et  $\theta(x)$  sa pente en tout point de l'axe  $\vec{x}$ , nous pouvons écrire [8] :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI_z} \quad (2.11)$$

: C'est l'équation différentielle de la déformée .

$$\chi = \frac{d\theta}{dx} = \frac{dy}{dx} \Rightarrow \theta = \frac{dy}{dx} \quad (2.12)$$

: C'est l'équation différentielle de la pente (angle de rotation).

**Remarque :**

Il existe plusieurs méthodes de détermination de la déformée  $y(x)$  :

-La méthode du moment des aires :

La méthode du moment des aires sert à déterminer les rotations et les flèches en des points particuliers du panneau (échantillon).

-La méthode par double intégration :

Elle consiste à intégrer l'équation différentielle suivante  $\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M(x)}{E.I_z}$  : qui caractérisent la génératrice neutre  $y(x)$  représentant la flexion d'un point de l'axe  $x$ .

Nous adoptons dans la suite la méthode par double intégration.

### 2.1.2 Déflexion au centre d'une éprouvette en état de flexion

Considérons un échantillon de panneau droit rectiligne de section constante reposant sans frottement sur deux appuis simple A et B et soumis à une charge  $F$  centrée en C milieu du segment  $[AB]$ .

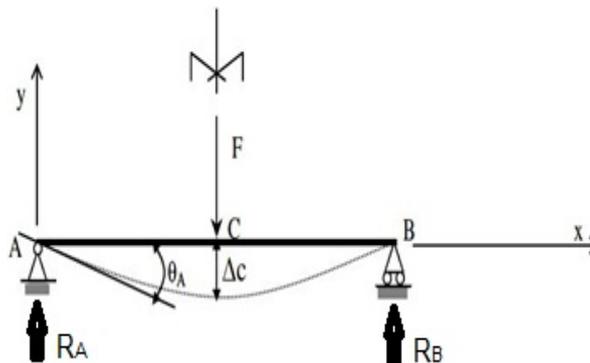


FIGURE 2.3 – Déflexion au centre d'une éprouvette [8]

La théorie de la Résistance Des Matériaux (RDM) permet d'évaluer le moment fléchissant  $M_z(x)$  autour de l'axe  $z$ , agissant sur la section droite de centre d'inertie  $G$  située à l'abscisse

x. L'équilibre du système permet d'écrire en projetant sur l'axe  $\vec{y}$  [8] :

$$R_A = R_B = \frac{F}{2} \quad (2.13)$$

Et pour  $0 \leq x \leq \frac{L}{2}$  :

$$M(x) = R_A \cdot x = (F/2) x \quad (2.14)$$

Pour  $\frac{L}{2} \leq x \leq L$  :

$$M(x) = R_B \cdot (L - x) = (F/2) (L - x) \quad (2.15)$$

. Des équations (2.11) et (2.14) on a :

Pour  $0 \leq x \leq \frac{L}{2}$  :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI_z} = \frac{1}{EI_z} \left( \frac{F}{2} x \right) \quad (2.16)$$

. En intégrant une première fois, on a :

$$EI_z \frac{dy}{dx} = EI_z \theta = \frac{F}{4} x^2 + c_1 \quad (2.17)$$

. En intégrant une seconde fois, on a :

$$EI_z \cdot y = \frac{F}{12} x^3 + c_1 x + c_2 \quad (2.18)$$

. On détermine les constante d'intégration par les conditions aux limites, aux points A et C.

- En A, pour  $x = 0$ ;  $y_A = y(0) = 0$  donc  $c_2 = 0$
- En C, la déflexion est maximale pour  $x = L/2$ ;  $\frac{dy}{dx} \Big|_{x=L/2} = 0$  d'où

$$\frac{F}{4} \left( \frac{L}{2} \right)^2 + c_1 = 0 \Rightarrow c_1 = -\frac{FL}{16}$$

Donc :

$$y(x) = \frac{1}{EI_z} \left( \frac{F}{12} x^3 - \frac{FL}{16} x \right) \quad (2.19)$$

.

$$\theta(x) = \frac{1}{EI_z} \left( \frac{F}{4} x - \frac{FL}{16} \right). \quad (2.20)$$

Pour  $x = L/2$  on a la déflexion en  $c$  :

$$\Delta c = y\left(\frac{L}{2}\right) = -\frac{FL^3}{48EI_z} \quad (2.21)$$

Pour un échantillon de largeur  $l$ , de longueur  $L$  et d'épaisseur  $e$  nous avons [8] :

$$|\Delta c| = \frac{FL^3}{4Ele^3} \quad (2.22)$$

Pour  $x = 0$  on a la pente au point A :

$$\theta_A = -\frac{FL}{16EI_z} = -\frac{3FL}{4Ele^3} \quad (2.23)$$

$E$  : module d'élasticité selon la direction  $x$ .

$I = \frac{le^3}{12}$  : Moment quadratique

$\Delta C$  : La flèche à l'abscisse  $x=L/2$

## 2.2 Approche expérimentale

### Objectif et principe

Détermination de la densité, la contrainte de rupture et le module de Young par flexion sous une charge progressivement croissante, exercée perpendiculairement ; parallèlement ou de manière sécante aux fils du bois.

### 2.2.1 Caractéristiques physiques

#### a) Densité

La densité d'un corps ou densité relative d'un corps est le rapport de sa masse volumique à la masse volumique d'un corps pris comme référence.

Pour les liquides et les solides, le corps est l'eau pure à 4°C.

**Expression de la densité.** La densité, notée  $d$  s'exprime de la sorte :

$$d = \frac{\rho_{corps}}{\rho_{eau}}$$

$\rho_{corps}$  est la masse volumique du corps considéré et  $\rho_{eau}$  la masse volumique de l'eau ( $1000\text{Kg}/\text{m}^3$ ).

S'agissant d'un rapport entre deux mesures de même unité, la densité s'exprime par un ratio et donc n'a pas d'unité.

### Eprouvettes utilisés

Pour la détermination de la densité anhydre de nos échenillons on a fait usiner 10 échantillons par essence au total 20 éprouvettes de dimensions (21,3 x 5,8 x 0,4) cm.



FIGURE 2.4 – éprouvettes pour la mesure de la densité et la teneur en eau

La mesure des dimensions des éprouvettes est effectuée en utilisant un pied à coulisse à 0,01mm de précision



FIGURE 2.5 – pied à coulisse à 0,01mm de précision

Par la suite, toutes les éprouvettes sont pesées avec une balance à précision de 0,01g avant et après séchage.



FIGURE 2.6 – Balance de précision 0,01g

## b) Taux d'humidité

La mesure du taux d'humidité est effectuée sur les mêmes éprouvettes de la densité mais en considérant cette fois si 10 éprouvettes de dimension (21,8 x 5,8 x 1,2)cm.

### b-1) Définition et procédé de mesure

On appelle taux d'humidité dans un matériau, le pourcentage en masse d'eau contenu dans ce matériau.

Le procédé de mesure consiste à peser les échantillons et à relever les valeurs des masses à l'état humide ; en suite les éprouvettes sont placées dans l'étuve où elles seront soumises à une température de 105°C et abandonnées pendant 24 heures.

Après avoir sorti les éprouvettes de l'étuve, il faudra isoler dans une enceinte adiabatique pour qu'elles retrouvent la température ambiante sans absorber la vapeur d'eau, car le bois s'humidifie très rapidement et l'absorption de la vapeur d'eau peut modifier la valeur attendue de la masse du matériau à sec.

Une fois les éprouvettes sorties de l'enceinte, elles sont pesées de nouveau avec une balance électronique sensible pour mieux apprécier la différence de masse correspondant aux états secs et humides.



FIGURE 2.7 – Etuve ventilée

### b-2) Formule de calcul du taux d'humidité

$$H = \frac{M_h - M_o}{M_o} \times 100$$

**H** : Taux d'humidité de la masse anhydre

$M_h$  : masse de l'éprouvette à l'humidité

$M_o$  : masse anhydre (séchage à 105°C jusqu'à masse constante)

## 2.2.2 Caractéristiques mécaniques

### a) Machine d'essai

Machine d'essai DY25 :

Machine d'essai assurant une vitesse de chargement constante : 2mm/mn et qui permet de mesurer la charge exercée avec une précision de 1% au moins.

Dans le laboratoire où on va effectuer les essais la machine d'essai est une machine universelle elle est constituée d'un bâti rigide qui comprend une traverse fixe à laquelle est fixée la base du montage de flexion sur laquelle repose l'éprouvette. La pane du complément du montage qui va appuyer sur l'éprouvette est fixée à une traverse mobile.

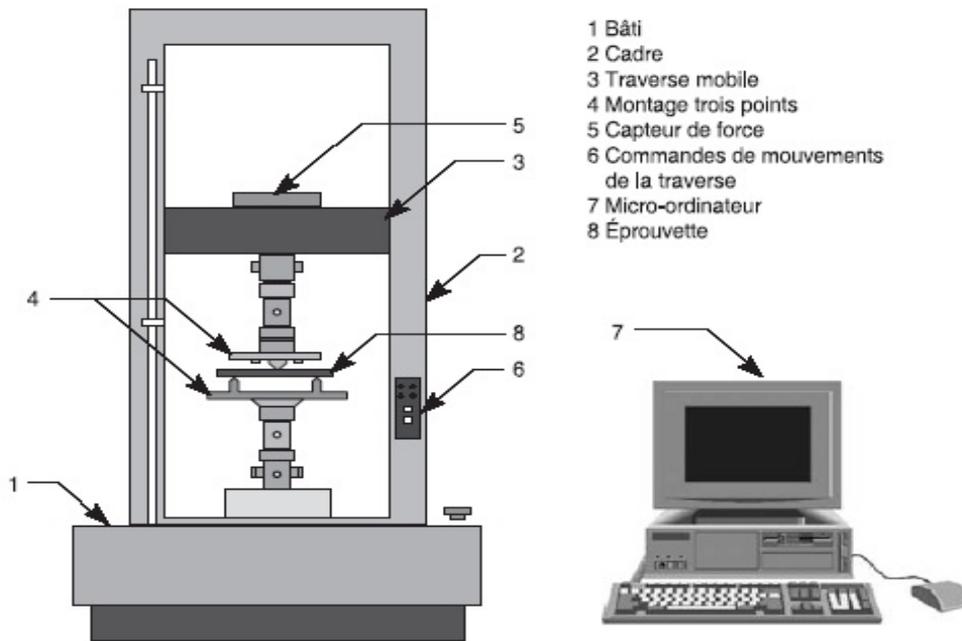


FIGURE 2.8 – Dispositif expérimental

Dispositif assurant la flexion de l'éprouvette par application de la charge, il est composé :

- d'un banc de flexion constitué de deux appuis cylindriques horizontaux libre de rotation
- d'un diamètre de 60 mm et distants entre axes d'une valeur  $L$ ,
- d'une traverse avec rotule en centre et comportant une tête cylindrique horizontale de même diamètre que les appuis et placée au milieu de l'éprouvette, elle est libre de rotation.

Compte tenue de l'absence de cette machine nous avons adaptés sur une autre presse nous permettant de lire les valeurs de l'effort en fonction des déplacements au centre des éprouvettes, un système permettant de réaliser ces essais (figure ci-dessous).



FIGURE 2.9 – Figure presse manuelle du laboratoire géotechnique de polytechnique Yaoundé

## b) Résistance à la flexion

### b-1) Objet et domaine d'application

L'essai de la flexion est décrit dans la norme NF B.51-008 (annexe). C'est essai de flexion ou de trois points qui a pour l'objet de déterminer de la résistance de la flexion dans une direction privilégiée aux fils, les éprouvettes du bois de droite fil, sans nœud ni défaut.

### b-2) Principe

C'est la détermination de la résistance à la flexion et la charge maximale à la rupture d'un bois sur deux appuis à vitesse constante

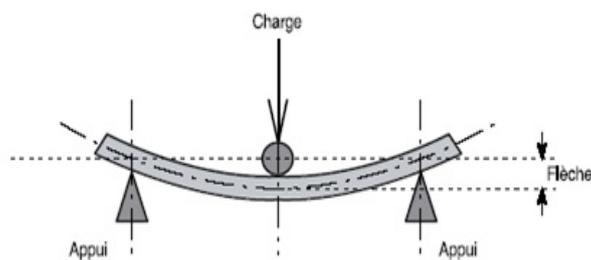


FIGURE 2.10 – Principe de l'essai à 3 points à réaliser

Cet essai permet de connaître :

- Le comportement mécanique du matériau ;

- Les propriétés du matériau ;
- Les valeurs des caractéristiques du matériau.

### b-3) Mesure du déplacement au centre de l'éprouvette

On mesure à mi-longueur de l'éprouvette, les dimensions de la section transversale et la longueur avec une précision de  $\pm 0,05$  mm.

Nous plaçons en suite l'éprouvette sur les 2 appuis fixes de la machine distante de 12 cm de façon que la charge soit appliquée parallèlement ou perpendiculairement aux cernes selon les indications de la figure ci-dessous.

A l'aide d'une presse placée à mi travée entre les appuis et contrôlée par l'opérateur de la machine, nous effectuons des salves d'une certaine valeur en fonction des éprouvettes, puis nous lisons la flèche.

Ces données, recueillis dans des tableaux nous permettrons de dessiner un graphique qualitatif de la force en fonction de la flèche : Les dimensions sont en millimètres

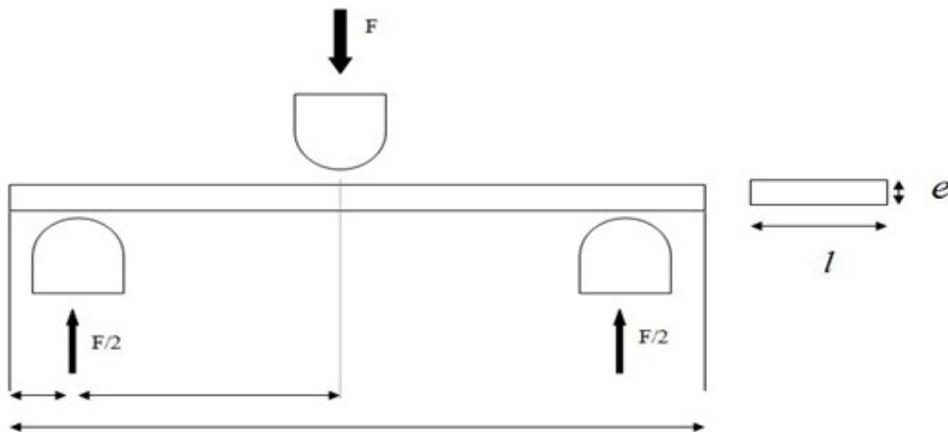


FIGURE 2.11 – essai de flexion à 3 points

### c -) Détermination du module de YOUNG

L'enregistrement de la courbe Effort- Flèche permet de calculer à l'intérieur de la zone linéaire, la rigidité à la flexion  $K$ .

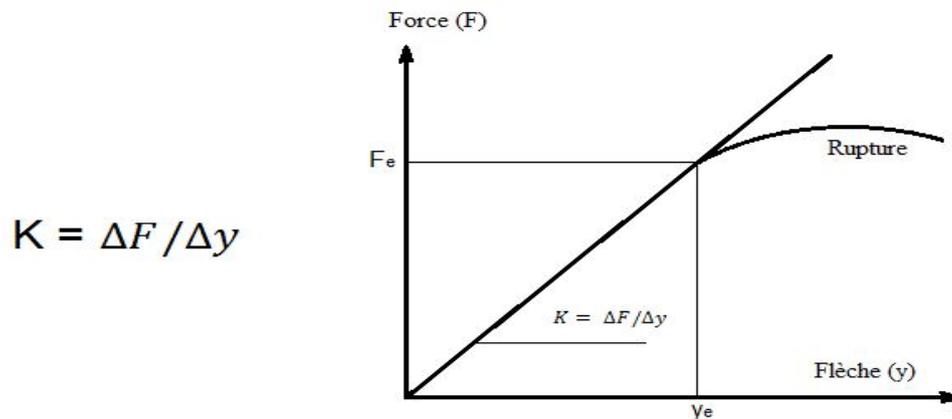


FIGURE 2.12 – courbe Effort-Flèche

Soit  $y_e$ , la flèche maximale, en  $x=L/2$ . La connaissance de l'expression  $K = \frac{L^3}{4El e^3}$  permettra de déterminer la valeur approchée de la grandeur **E** qui est le module de Young de l'échantillon de panneau correspondant à la direction d'application de l'effort, soit  $E = \frac{L^3}{4l e^3} \frac{\Delta F}{\Delta y} = \frac{1}{4l} \left(\frac{L}{e}\right)^3 K$ .

#### d -) Détermination de la contrainte de rupture

La connaissance de la charge de rupture  $F$  permettra de déterminer à partir de la formule,  $\sigma = \frac{3FL}{2le}$  la contrainte de rupture.

## 2.3 Confection des éprouvettes

Vu l'anisotropie du bois nous allons effectuer l'essai suivant trois directions ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ) car l'orientation des fibres influe sur la valeur des contraintes de rupture et sur le module de Young. Le nombre d'éprouvettes est 5 par direction et par épaisseur plus 5 par éprouvette séchée c'est-à-dire 80 éprouvette au total pour cette essai. Nous nous sommes limités à deux types de bois : Le SAPELLI et L'AYOUS.

Les éprouvettes ont été confection dans une menuiserie de la place au quartier MELEN, dans les dimensions en centimètre (21,3 x 5,8 x 0,4) pour l'échantillon 1 ; (21,3 x 5,8 x 1,2)

pour l'échantillon 2 tous en bois d'AYOUS et (21,3 x 5,8 x 0,4) pour l'échantillon 3 en bois de SAPELLI.

Les panneaux en AYOUS ont été achetés dans une quincaillerie du marché MOKOLO ; le reste pris au laboratoire de géotechnique ( ENSP )



FIGURE 2.13 – Epreuve en bois de SAPELLI et AYOUS.

### Conclusion

La présente étude expérimentale nous permet d'obtenir des résultats sur les caractéristiques physiques et mécaniques des éprouvettes utilisées. Les résultats obtenus sont rangés dans les tableaux (voir annexe 2). Dans le chapitre qui suit nous analyserons ces résultats puis en tirer des conclusions sur les propriétés des échantillons de bois utilisés.

---

# Chapitre 3

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

### Introduction

Cette partie consiste à présenter les résultats obtenus lors des expériences effectuées sur des éprouvettes de panneau en bois d'Ayous et en bois de Sapelli. Faire une interprétation et analyse des résultats obtenus et enfin tirer des conclusions.

### 3.1 Caractérisation physiques

#### 3.1.1 La densité

Nous présentons ici qu'un récapitulatif des résultats. L'ensemble est porté à la fin du mémoire sous Annexe 2.

TABLE 3.1 – Eprouvette de panneau en bois d'AYOUS

<i>Caracteristique</i>	Nombre	Moyenne	Ecar-type	Médiane
<i>Densite</i>	10	0,355	0,01	0,35

TABLE 3.2 – Epreuve de panneau en bois de SAPELLI

<i>Caractéristique</i>	Nombre	Moyenne	Ecar-type	Médiane
<i>Densité</i>	10	0,653	0,01	0,65

La valeur moyenne obtenue (0,355) pour panneau en bois d'Ayouss et (0,653) pour panneau en bois de Sapelli est acceptable comparé à celle trouvée dans la littérature [15].

### 3.1.2 Taux d'humidité

Le tableau ci-dessous indique un récapitulatif des masses humides et sèches des éprouvettes ainsi que les masses d'eau et le taux d'humidité. L'ensemble est porté à la fin du mémoire sous Annexe 2.

TABLE 3.3 – Tableau récapitulatif des taux d'humidités

<i>Éprouvettes</i>	Masse humide (g)	Masse sèche (g)	Masse d'eau (g)	Taux d'humidité %
<i>E1</i>	17,22	15,16	2,06	11,98
<i>E2</i>	47,26	45,48	1,72	3,76
<i>E2</i>	31,96	28,75	3,21	10,05

Le tableau ci-dessus nous a permis d'obtenir le graphe représentant la distribution des valeurs du taux d'humidité.

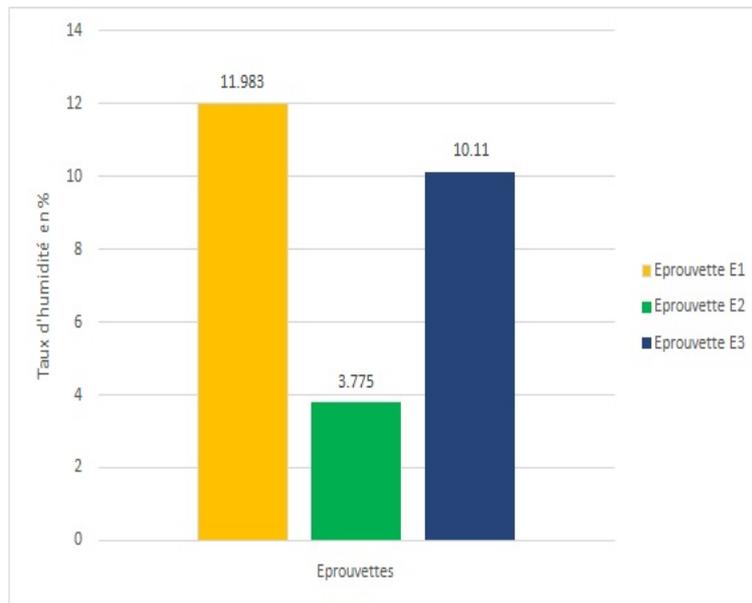


FIGURE 3.1 – Distribution du taux d'humidité

Cet histogramme permet de comparer l'état d'humidité relative entre les éprouvettes. Il est donc facile de constater que l'éprouvette E1 est dans un état plus humide que les autres et l'éprouvette E2 est dans un état d'humidité plus bas certainement due au séchage incomplet de l'éprouvettes E2.

## 3.2 Caractérisation mécanique

Après avoir exécuté les tests des cas étudiés, nous extrayons les résultats. Ces résultats sont classés comme suite.

- Les déplacements au centre des éprouvettes
- Les modules de Young
- Les contraintes de rupture

On signale que les résultats obtenus sont numériques.

En suite nous faisons une étude de comparaison.

### 3.2.1 Déflexion au centre des éprouvettes : courbe effort-flèche

Les valeurs de la déflexion au centre des éprouvettes en fonction de l'effort de charge en flexion sont consignées dans les tableaux récapitulatifs ci-dessous suivit des courbes Effort-flèche correspondant à chaque tableau. L'ensemble du tableau est porté à la fin du mémoire sous Annexe 2.

#### – Eprouvettes de panneau en bois d'AYOUSS

Tableau récapitulatif des essais sur éprouvette E1

TABLE 3.4 – Résultats des essais sur l'éprouvettes E1

$F_{en}(N)$	0	21	42	63	84	105
$\Delta C_1(mm)$	0	3,00	6,10	9,00	11,9	15,00
$\Delta C_2(mm)$	0	2,25	4,50	6,76	9,10	11,25
$\Delta C_3(mm)$	0	0,80	1,61	2,41	3,20	4,00
$\Delta C_4(mm)$	0	0,72	1,44	2,16	2,88	3,60

La figure ci-dessous représente l'ensemble des Courbes Effort-flèche obtenues à partir des résultats du tableau ci-dessus.

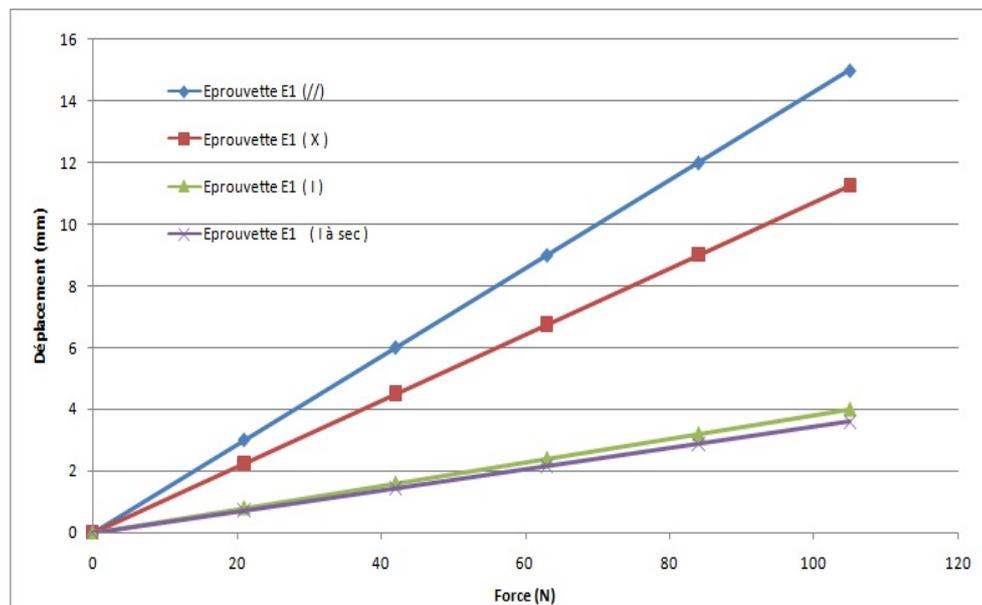


FIGURE 3.2 – Courbes Effort-flèche (épreuve E1)

Tableau récapitulatif des essais sur éprouvette E2

TABLE 3.5 – Résultats des essais sur l'éprouvettes E2

$F_{en}(N)$	0	63	126	189	252	315
$\Delta C_1(mm)$	0	1,80	3,60	5,41	7,20	9,00
$\Delta C_2(mm)$	0	0,94	1,88	2,82	3,76	4,70
$\Delta C_3(mm)$	0	0,54	1,08	1,62	2,16	2,70
$\Delta C_4(mm)$	0	0,52	1,04	1,56	2,08	2,60

La figure ci-dessous représente l'ensemble des Courbes Effort-flèche obtenues à partir des résultats du tableau ci-dessus.

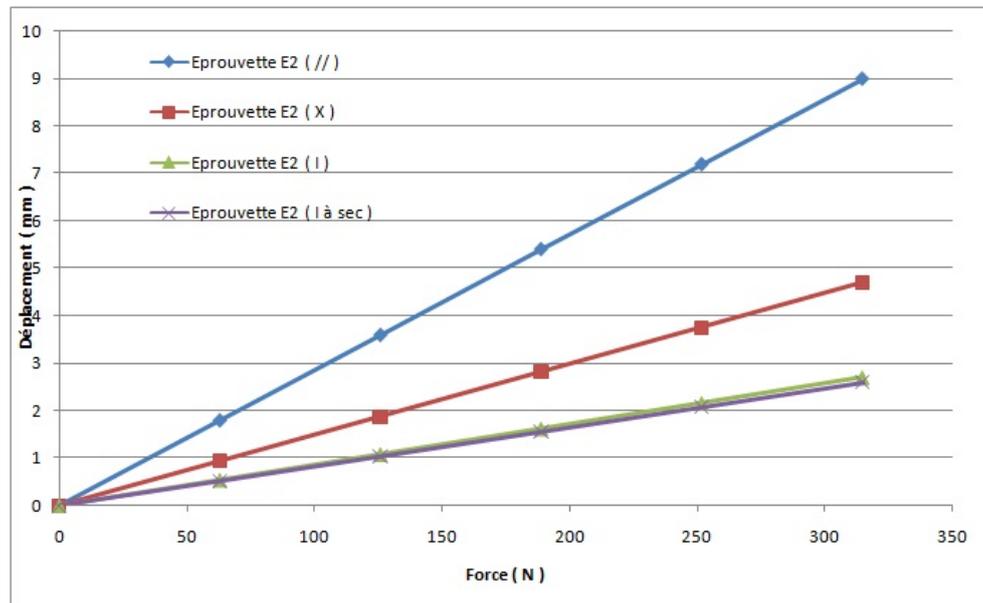


FIGURE 3.3 – Courbes Effort-flèche (épreuve E2)

## – Échantillons de panneau en bois de SAPELLI

Tableau récapitulatif des essais sur échantillon E3

TABLE 3.6 – Résultats des essais sur l'échantillon E3

$F_{en}(N)$	0	21	42	63	84	105
$\Delta C_1(mm)$	0	2,00	4,00	6,10	8,00	10,00
$\Delta C_2(mm)$	0	1,50	3,00	4,51	6,10	7,50
$\Delta C_3(mm)$	0	0,53	1,07	1,61	2,13	2,67
$\Delta C_4(mm)$	0	0,48	0,96	1,44	1,92	2,40

La figure ci-dessous représente l'ensemble des Courbes Effort-flèche obtenues à partir des résultats du tableau ci-dessus.

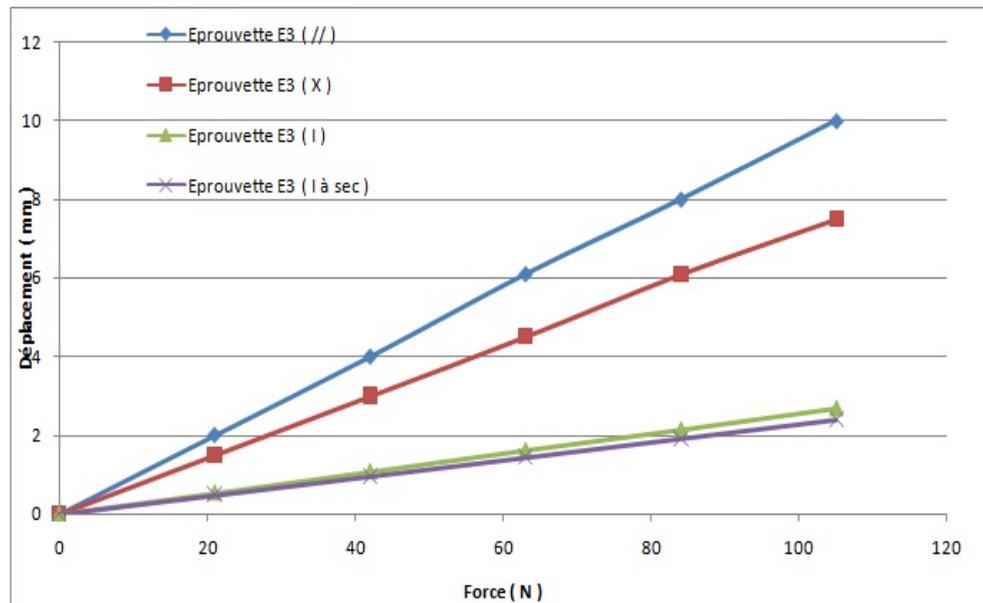


FIGURE 3.4 – Courbes Effort-flèche (épreuve E3)

### 3.2.2 Interprétation des graphes obtenus

Les courbes I1 ; I2 ; I3 et I4 présentées par la figure 3.2 : sont obtenues à partir des essais effectués sur l'éprouvette E1 ;

les courbes II1 ; II2 ; II3 et II4 présentées par la figure 3.3 : sont obtenues à partir des essais effectués sur l'éprouvette E2 ;

les courbes III1 ; III2 ; III3 et III4 présentées par la figure 3.4 : sont obtenues à partir des essais effectués sur l'éprouvette E3.

L'examen des figures 3.2 ; 3.3 et 3.4 nous permet de constater que chaque éprouvette présente une zone linéaire qui commence à partir de la valeur nulle de l'effort ; la zone linéaire est suivie de la zone non linéaire mais cette zone n'est pas représentée sur ces figures car elle n'intervient pas dans nos travaux.

Les courbes indiquant les déplacements  $\Delta C_3$  du centre de l'éprouvette pour les efforts perpendiculaires à la direction des fibres de la surface externe présentent une zone linéaire moins

étendue que celle des déplacements  $\Delta C_1$  et  $\Delta C_2$  correspondant à des efforts parallèles et sécantes à la direction des fibres de la surface externe de l'éprouvette.

Les courbes des déplacements  $\Delta C_4$  pour des éprouvette sèches présentent un domaine linéaire moins étendu que les précédents.

Les valeurs de la déflexion au centre des éprouvettes varient donc avec la direction des fibres par rapport à l'effort de charge et la nature du bois des éprouvettes utilisées.

### 3.2.3 Tableaux des valeurs du module E de YOUNG et diagramme de distribution

Rappelons que les échantillons ou éprouvettes E1 et E2 ont été confection à partir des contre-plaqués en bois d'AYOUS et l'éprouvette E3 à partir des contre-plaqués en bois de SAPELLI.

Les valeurs du module de Young de chaque éprouvette dans le cas de chaque direction de sollicitation, sont consignées dans les tableaux récapitulatifs ci-dessous.

TABLE 3.7 – Effort parallèle à la direction des fibres ( $0^\circ$ )

<i>Eprouvette</i>	E1	E2	E3
<i>Module de Young E (MPa)</i>	783,30	143,44	1161,90

TABLE 3.8 – Effort sécant à la direction des fibres ( $45^\circ$ )

<i>Eprouvette</i>	E1	E2	E3
<i>Module de Young E (MPa)</i>	1017,70	274,68	1515,52

TABLE 3.9 – Effort perpendiculaire à la direction des fibres (90°)

<i>Eprouvette</i>	E1	E2	E3
<i>Module de Young E (MPa)</i>	2904,70	478,15	4357,11

TABLE 3.10 – Effort perpendiculaire à la direction des fibres (90°) après sèchage

<i>Eprouvette</i>	E1	E2	E3
<i>Module de Young E (MPa)</i>	3227,50	496,54	4841,23

Les tableaux récapitulatifs ci-dessus nous ont permis d'obtenir l'histogramme ci-dessous :

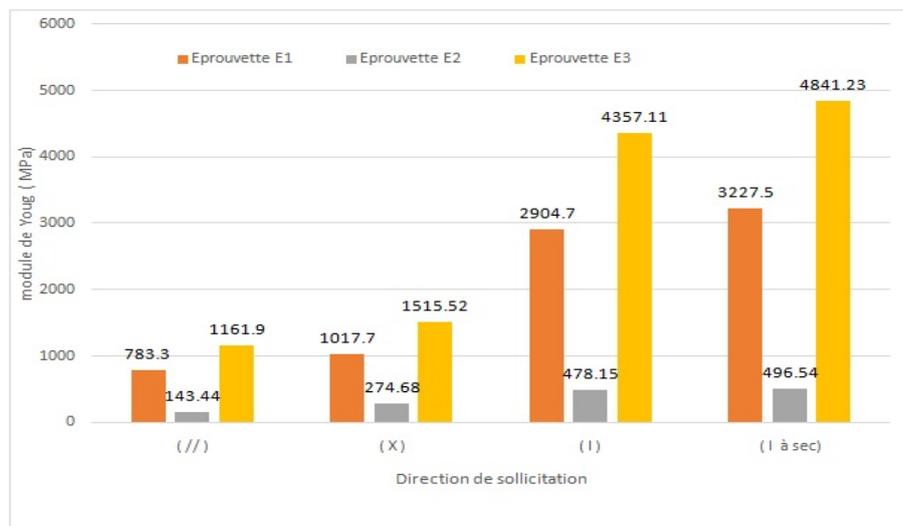


FIGURE 3.5 – Distribution des valeurs du module de Young)

### 3.2.4 Analyse et interprétation des résultats sur le module de Young

#### a )Analyse des résultats.

A partir du diagramme en bande ci-dessus (figure 3.5), on remarque que pour une éprouvette de panneau donné, la valeur du module E de Young dans le cas où l'effort est perpendiculaire

à la direction des fibres à l'état sec est supérieure à celle qui correspond à l'état humide pour un effort perpendiculaire, parallèle ou sécant à la direction des fibres.

Dans le même état humide, la valeur du module E pour un effort perpendiculaire à la direction des fibres est supérieure à celle qui correspond à un effort parallèle ou sécant à la direction des fibres. l'éprouvette E3 (en bois de SAPELLI), dans tous les cas de figure a un module E supérieure aux éprouvettes E1 et E2 tous en bois d'AYOUS.

### **b )Interprétation**

De ce qui précède nous pouvons donc dire que la valeur du module E est plus élevée lorsque les contre-plaqués consécutifs du panneau en bois ont des fibres disposées perpendiculairement.

Les caractéristiques mécaniques des panneaux en contre-plaqués dépendent beaucoup plus des bois utilisés.

Le module d'élasticité étant pour des fabrication classiques de l'ordre de 4000 à 8000 MPa [5], nous constatons que les résultats obtenus sur l'éprouvette E3 (en bois de SAPELLI) dans le cas de l'effort perpendiculaire à la direction des fibres ( sec et humide) a un module d'élasticité E compris dans cet ordre et les résultats obtenus sur l'éprouvette E1 en bois d'AYOUS dans le cas de l'effort perpendiculaire à la direction des fibres n'est pas très loin de cet ordre. Cela peut être expliqué par le fait que dans notre essai, on ne mesure pas directement la flèche de l'éprouvette, mais on a pris le déplacement de la traverse donné par la machine qui est pratiquement plus importante que la flèche car elle comporte aussi l'écrasement du bois au niveau de l'appuis central.

### 3.2.5 Tableau des valeurs des contraintes de rupture et diagramme de distribution

Sont consignées dans les tableaux récapitulatifs ci-dessus, les valeurs des contraintes de rupture en fonction de la charge de rupture pour une direction de sollicitation donnée suivit des diagrammes de distribution des contraintes en fonction de la charge de rupture.

#### Légende des histogrammes :

Effort parallèle à la direction des fibres (**en vert**)

Effort sécante à la direction des fibres (**en rouge**)

Effort perpendiculaire à la direction des fibres (**en jaune**)

Effort perpendiculaire à la direction des fibres à sec (**en bleu**)

TABLE 3.11 – Résultats Contrainte et Effort de rupture :Eprouvette E1

<i>Direction de charge</i>	(  )	(×)	(⊥)	(⊥ sec)
<i>Charge de rupture</i>	113,07	125,73	243,02	269,11
<i>Contrainte de rupture</i>	21,57	23,98	46,35	51,33

Le tableau ci-dessus nous permet d'obtenir l'historgramme ci-dessous :

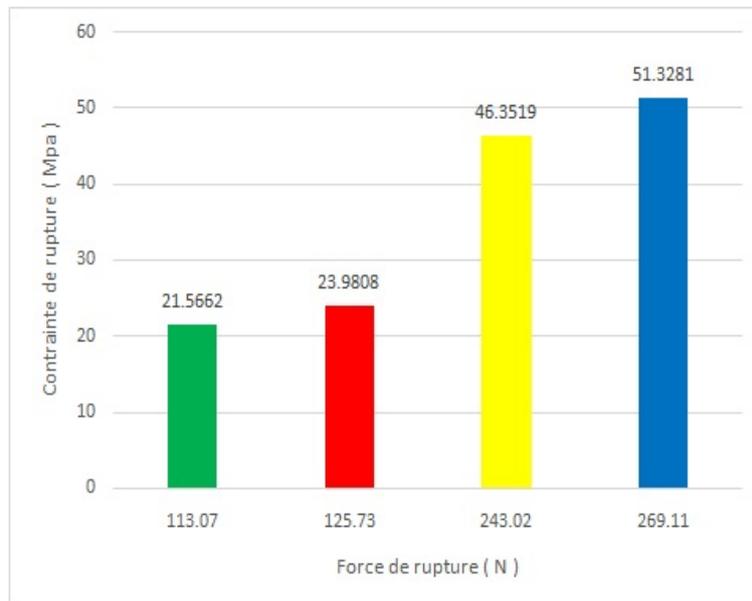


FIGURE 3.6 – Distribution des valeurs des contraintes

TABLE 3.12 – Résultats Contrainte et Effort de rupture :Eprouvette E2

<i>Direction de charge</i>	(  )	(×)	(⊥)	(⊥ <sub>sec</sub> )
<i>Charge de rupture</i>	364,53	473,58	783,68	812,71
<i>Contrainte de rupture</i>	7,73	10,04	16,61	17,22

Le tableau ci-dessus nous permet d'obtenir l'histogramme ci-dessous :

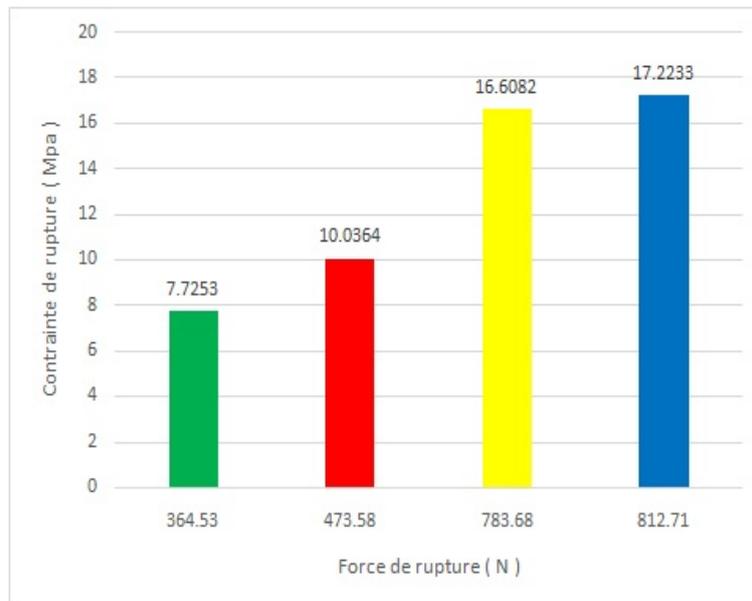


FIGURE 3.7 – Distribution des valeurs des contraintes

TABLE 3.13 – Résultats Contrainte et Effort de rupture :Eprouvette E3

<i>Direction de charge</i>	(  )	(×)	(⊥)	(⊥ <sub>sec</sub> )
<i>Charge de rupture</i>	150,76	167,64	324,02	358,80
<i>Contrainte de rupture</i>	28,75	31,97	61,80	68,43

Le tableau ci-dessus nous permet d'obtenir l'histogramme ci-dessous :

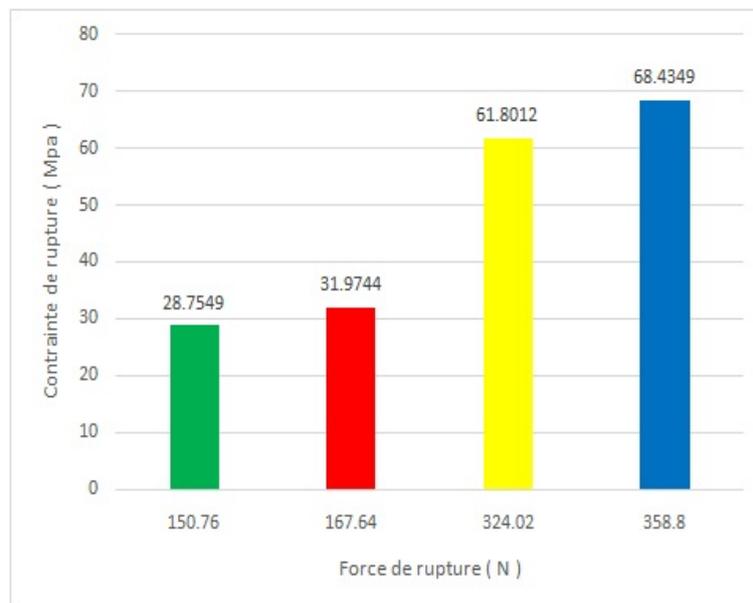


FIGURE 3.8 – Distribution des valeurs des contraintes

### 3.2.6 Analyse et interprétation des résultats sur la contrainte de rupture

#### a ) Analyse des résultats

L'examen des histogrammes (figures, 3.6 ; 3.7 et 3.8), montre que pour un échantillon de panneau donné, la valeur de la charge de rupture augmente avec la direction de sollicitation par conséquent les valeurs de la contrainte de rupture augmentent aussi. Les valeurs des contraintes de rupture sont plus élevées dans le cas de l'éprouvette E3.

#### b ) Interprétation des résultats

De ce qui précède nous pouvons donc dire que la valeur de la contrainte de rupture  $\sigma_{max}$  est plus élevée lorsque les contre-plaqués consécutifs du panneau en bois ont des fibres disposées perpendiculairement.

Les caractéristiques mécaniques des panneaux en contre-plaqués dépendent beaucoup plus

des bois utilisés.

### 3.3 Influence du taux d'humidité sur les caractéristiques mécaniques

La comparaison des courbes I3 et I4 ( figure 3.2 ); II3 et II4 ( figure 3.3 ); III3 et III4 ( figure 3.4 ) fait constaté que le décalage entre les courbes I3 et I4; II3 et II4; III3 et III4 est de plus en plus remarquable lorsque le taux d'humidité dans les éprouvette est élevé : cas des courbes I3 et I4; III3 et III4. Pour un très faible taux d'humidité, ces courbes sont presque confondues : cas des courbes II3 et II4.

Ceci étant dit nous pouvons conclure que le module de Young varie aussi avec le taux d'humidité et donc la contrainte (d'après la loi de HOOKE [15]) par conséquent les caractéristiques mécaniques dependent du taux d'humidité dans le matériau.

#### Conclusion

Parvenu au terme de ce chapitre, dont il était question de présenter, d'analyser et d'interpréter les caractéristiques physiques et mécaniques obtenus des éprouvettes en panneaux de bois de sapelli et d'ayous. Nous constatons d'après les résultats obtenus que les caractéristiques physiques et la nature du bois du matériau influencent sur ses caractéristiques mécaniques. .

L'intérêt pédagogique de ce travail sera présenté dans le chapitre suivant.

---

## Chapitre 4

# IMPLICATION SUR LE SYSTÈME ÉDUCATIF DU SUJET

### 4.1 Intérêt didactique

En tant qu'adjectif, le mot "didactique" qualifie ce qui concerne les méthodes et les pratiques de l'enseignement, ou l'enseignement à proprement parler. On emploie souvent l'adjectif didactique pour préciser qu'une technique ou qu'un matériel est utilisé à des fins d'enseignement.

Le travail réalisé dans ce mémoire est un travail purement pratique c'est-à-dire expérimental. Ce travail expérimental, constitue un type d'enseignement fondé sur l'apprentissage pratique avec en particulier la réalisation d'expériences permettant de vérifier et compléter les connaissances dispensées dans les cours théoriques.

La réalisation d'un tel travail pratique concerne généralement les sciences expérimentales, et nécessitent un matériel spécifique : (machine d'essai et éprouvettes, étuve, règle et pied à coulisse...). La salle de classe, de type laboratoire, affectée à ces travaux est généralement appelée Salle de travaux pratiques ou salle de TP.

Ce travail est une mise en application (et une mesure de la maîtrise par les étudiants) de la

méthode scientifique, basée sur la pose d'hypothèse, la conception d'un protocole expérimental, l'expérimentation, l'interprétation des résultats et le raffinement des hypothèses initiales.

En fin ce travail expérimental permet de mettre en évidence les transferts et les techniques mis en œuvre dans les ateliers d'application et d'adapter les supports pédagogiques en fonction des techniques étudiées.

## 4.2 fiche pédagogique sur essai de flexion

### Objectifs :

- Mettre en évidence l'influence de la disposition de la poutre sur les effets de déformations.
- Etudier d'une charge concentrée sur la déformée d'une poutre sur 2 appuis.

### Condition de Réalisation :

- Fascicule du TP
- Salle de TP mécanique générale et RDM
- Banc d'essai de Flexion EX150.

### Mots Clés :

- Flexion
- Élasticité
- Contrainte, Déformation, Charge, Déplacement.

### Pré - requis :

- Cours de flexion.
- Notion sur l'élasticité.

### 4.2.1 Dossier technique

#### Présentation du matériel :

**Banc de flexion :**

Le banc étant posé sur une table horizontale de façon à ce que le volant de manœuvre soit facilement accessible, voir figure ci-dessous.

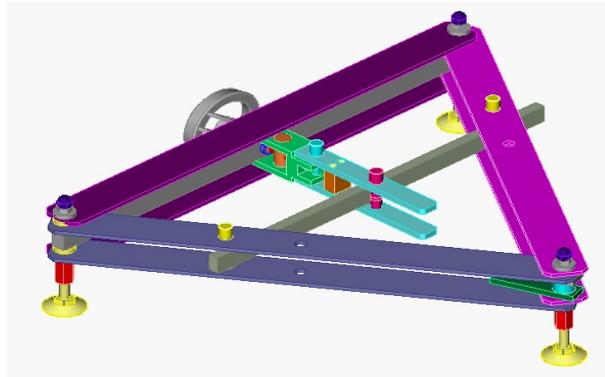


FIGURE 4.1 – Banc de flexion

Pour changer la position des appuis, il faut être à charge nulle et faire subir des mouvements de translations aux deux pignes - appuis avec leurs rondelles, à la pigne étagée et à la poutre après avoir pris la précaution de relever les deux comparateurs. Pour changer, après avoir annulé la charge, il suffit de dégager l'éprouvette des appuis en glissant parallèlement à la base du cadre et de replacer la nouvelle éprouvette par un autre mouvement inverse.

#### 4.2.2 Dossier pédagogique

**A - Mode opératoire :**

- Choisir le montage et définir les conditions d'essai (matériaux, portée, position).
- Monter l'éprouvette.
- Monter les comparateurs et les éléments de chargement.
- Appliquer par l'intermédiaire du volant un chargement incrémental par un pas de 20 daN jusqu'à 200 daN.
- Noter à chaque pas le déplacement correspondant.

N.B : Prendre le soin de charger les éprouvettes dans leurs plans de symétrie.

**A - 1- Etude Expérimentale :**

**a) Manipulations :**

On considère le montage suivant :

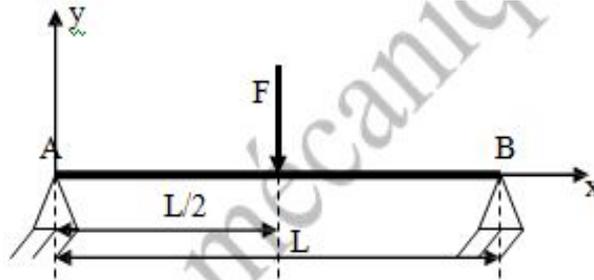


FIGURE 4.2 – Modélisation

\* Remplir les fiches compte rendu ci-dessus :

Tableau à remplir :

<i>Materiau....</i>		<i>Porte : L = ...mm</i>
<i>F (daN)</i>	<i>dp<sub>th</sub> (mm)</i>	<i>dp<sub>exp</sub> (mm)</i>
0		
20		
40		
60		
80		
100		

**A - 2 : Exploitation des résultats :**

1. Comparer les déplacements théoriques et expérimentaux dans le cas d'un chargement concentré.

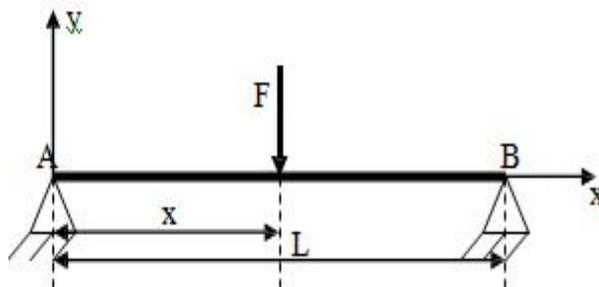
2. Pour un chargement donné (même valeur de chargement), comparer les déplacements expérimentaux.

3. Conclusion

**B) Formulaire :**

B.1 : Equation de la déformée :

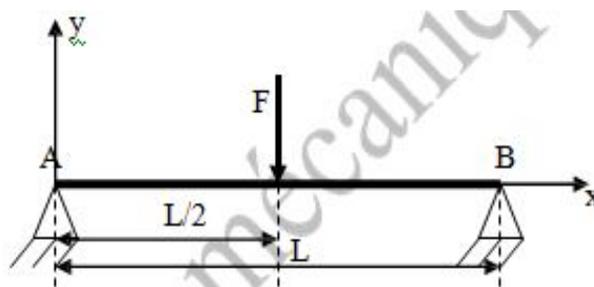
$$M_f = -E.I.y''$$



Pour calculer les constantes d'intégrations, on utilise les conditions aux limites.

**B.2 : Formulaire de la déformée :**

Modélisation du problème

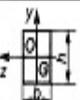
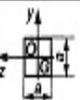
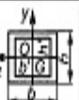
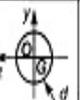
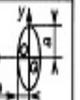


Équation de la déformation en des points de la poutre

$$y = -\frac{1}{48.E.I}F.L^3$$

B-3 Moment quadratique des section représentant une symétrie centale

TABLE 4.1 – Expression des moments quadratiques

VALEURS DE MOMENTS QUADRATIQUES PARTICULIERS						
SECTIONS PRÉSENTANT UNE SYMÉTRIE CENTRALE						
Sections (S) Caractéristiques						
$I_{Gy}$	$\frac{hb^3}{12}$	$\frac{a^4}{12}$	$\frac{hb^3 - hb^3}{12}$	$\frac{\pi d^4}{64}$	$\frac{\pi}{64}(D^4 - d^4)$	$0,784 ab^3$
$I_{Gz}$	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{a^4}{12}$	$\frac{hb^3 - bh^3}{12}$	$\frac{\pi d^4}{64}$	$\frac{\pi}{64}(D^4 - d^4)$	$0,784 a^3 b$
$I_G, I_G$	$\frac{bh}{12}(b^2 + h^2)$	$\frac{a^4}{6}$	$I_{Gy} + I_{Gz}$	$\frac{\pi d^4}{32}$	$\frac{\pi}{32}(D^4 - d^4)$	$\frac{\pi ab(a^2 + b^2)}{4}$
Module de flexion * $W_{Gy}$	$\frac{bh^2}{6}$	$\frac{a^3}{3}$	$\frac{bh^3 - bh^3}{6b}$	$\frac{\pi d^3}{16}$	$\frac{\pi}{16D}(D^4 - d^4)$	$0,784 ab^2$
Module de flexion * $W_{Gz}$	$\frac{bh^2}{6}$	$\frac{a^3}{3}$	$\frac{bh^3 - bh^3}{6h}$	$\frac{\pi d^3}{16}$	$\frac{\pi}{16D}(D^4 - d^4)$	$0,784 ba^2$

---

# Conclusion générale

Le travail qui nous a été proposé nous a ouvert d'une part, la porte à la manipulation des essais en laboratoire avec tout ce qui suit comme préparation des éprouvettes, manipulation des machines, traitement et interprétation des résultats, et d'autre part, ce travail entre dans le cadre d'un projet de recherche de valorisation des produits panneaux en bois fabriqué au Cameroun. Ces produits sont utilisés en construction car ils présentent des avantages par leur grande dimensions et aussi par leur grandes résistances au gauchissement.

Le but principal de ce mémoire était de déterminé les caractéristiques physique et mécanique des panneaux en bois en Ayous et Sapelli par un essai de flexiom 3 points.

La présente étude nous a permis dans un premier temps de découvrir le metériau bois et panneaux en bois.

Dans un deuxième temps d'évaluer les caractéristiques mécaniques et physiques des panneaux en bois :

Après la pesée des éprouvettes et séchage à l'étuve les résultats obtenus sur la densité et le taux d'humidité ont montré que le sapelli ( $653\text{Kg}/\text{m}^3$ ) à 10,11% d'humidité est plus dense que l'Ayous ( $355\text{ Kg}/\text{m}^3$ ) à 11,98% d'humidité.

L'enregistrement de la courbe effort-flèche nous a permis de déterminer le module de Young et la charge de rupture a permis à partir des grandeurs du problème de déterminer la contrainte de rupture. Ces résultats nous ont donc permis de constater que les panneaux en bois de Sapelli

ont un module d'Young plus élevé que ceux en bois Ayous donc sont plus résistants.

IL ressort donc de cette étude que les panneaux en bois sont des matériaux ayant des caractéristiques physique et mécaniques très appréciables et comparables à ceux des autres matériaux utilisés en construction.

Nous nous proposons dans le future d'étudier la structure interne des panneaux en bois c'est à dire d'étudier l'influence des colles à bois, sur les propriétés mécaniques des panneaux en bois.

---

# ANNEXE 1

**La norme NF B 51-008** novembre 1987 détermination de la résistance à la flexion statique de petites éprouvettes sans défaut.

**Référence normative :** Aucune.

**Symboles :**

(||) : Charge parallèle à la direction des fibres

(×) : Charge sécante à la direction des fibres

(⊥) : Charge perpendiculaire à la direction des fibres

(⊥ *sec*) : Charge perpendiculaire à la direction des fibres après séchage.

## ANNEXE 2

TABLE 4.2 – Résultat sur la mesure de la densité

PANNEAU EN BOIS D'AYOUS							
Eprovettes	L (mm)	l (mm)	e (mm)	m(g)	V (mm <sup>3</sup> )	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	d
E1-1	213,13	58,03	4	17,43	49471,7356	352,32	0,35
E1-2	213,21	56,21	4	17,36	47938,1364	362,13	0,36
E1-3	213,07	53,3	4	17,29	45426,524	380,61	0,38
E1-4	212,86	58,27	4	17,32	49613,4088	349,10	0,35
E1-5	212,99	57,08	4	17,18	48629,8768	353,28	0,35
E1-6	213,06	56,01	4	16,97	47733,9624	355,51	0,36
E1-7	213,01	58,03	4	17,47	49443,8812	353,33	0,35
E1-8	212,30	55,14	4	16,92	46824,888	361,35	0,36
E1-9	212,19	58,17	4	16,98	49605,0492	342,30	0,34
E1-10	213,28	57,34	4	17,31	48917,9008	353,8	0,35
PANNEAU EN BOIS SAPELLU							
Eprovettes	L (mm)	l (mm)	e (mm)	m(g)	V (mm <sup>3</sup> )	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	d
E3-1	213,23	58,01	4	32,15	49477,892	649,78	0,65
E3-2	213,1	57,03	4	31,95	48612,372	657,24	0,66
E3-3	213,17	58,21	4	32,17	49634,028	648,14	0,65
E3-4	212,84	58,3	4	31,65	49634,228	637,66	0,64
E3-5	212,97	56,27	4	31,85	47935,287	664,44	0,66
E3-6	213,16	57,08	4	32,13	48668,691	660,18	0,66
E3-7	213,12	56,01	4	32,19	47747,404	674,17	0,67
E3-8	212,31	58,03	4	32,2	49281,972	653,38	0,65
E3-9	212,59	58,14	4	31,16	49439,930	630,26	0,63
E3-10	213,28	57,17	4	32,17	48772,870	659,59	0,66

TABLE 4.3 – Résultat sur la mesure du taux d'humidité

PANNEAU EN BOIS D'AYOUS				
Eprouvette de dimension (118 x 58 x 4) mm				
Eprouvettes	masse humide (g)	masse sèche (g)	masse d'eau (g)	Taux d'humidité %
E1-1	17,43	15,31	2,125	12,19
E1-2	17,36	15,26	2,104	12,12
E1-3	17,29	15,21	2,083	12,05
E1-4	17,32	15,23	2,092	12,08
E1-5	17,18	15,13	2,051	11,94
E1-6	16,97	14,98	1,991	11,73
E1-7	17,47	15,33	2,136	12,23
E1-8	16,92	14,94	1,976	11,68
E1-9	16,98	14,99	1,993	11,74
E1-10	17,31	15,22	2,089	12,07
Eprouvette de dimension (118 x 58 x 12) mm				
E2-1	47,72	45,93	1,789	3,75
E2-2	47,66	45,78	1,883	3,95
E2-3	47,42	45,63	1,787	3,77
E2-4	47,46	45,68	1,779	3,75
E2-5	47,16	45,39	1,768	3,75
E2-6	46,70	44,94	1,756	3,76
E2-7	47,78	45,99	1,793	3,75
E2-8	46,58	44,82	1,756	3,77
E2-9	46,72	44,97	1,752	3,75
E2-10	47,44	45,66	1,778	3,75
PANNEAU EN BOIS SAPELU				
Eprouvette de dimension (118 x 58 x 4) mm				
Eprouvettes	masse humide (g)	masse sèche (g)	masse d'eau (g)	Taux d'humidité %
E3-1	32,15	28,90	3,25	10,11
E3-2	31,95	28,74	3,21	10,05
E3-3	32,17	28,91	3,26	10,12
E3-4	31,65	28,50	3,15	9,95
E3-5	31,85	28,66	3,19	10,02
E3-6	32,13	28,88	3,25	10,10
E3-7	32,19	28,93	3,26	10,12
E3-8	32,20	28,94	3,26	10,13
E3-9	31,16	28,11	3,05	9,80
E3-10	32,17	28,91	3,26	10,12

TABLE 4.4 – Résultat sur la mesure du module de Young

PANNEAU EN BOIS DE SAPELLI												
Essai sur éprouvette de dimension (118 x 58 x 4) mm												
Direction parallèle aux fibres (0°)												
Eprouvette	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>0</sub> (mm)	F <sub>1</sub> (N)	D <sub>1</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)	F <sub>4</sub> (N)	D <sub>4</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)
E1-1	0	0	21	0,28	42	5,91	63	9	84	11,9	105	14,9
E1-2	0	0	21	0,32	42	6,11	63	9,1	84	11,92	105	14,8
E1-3	0	0	21	0,29	42	6,3	63	8,98	84	12,1	105	15,3
E1-4	0	0	21	0,27	42	6,1	63	9,2	84	11,98	105	15,1
E1-5	0	0	21	0,34	42	5,94	63	8,88	84	12,15	105	14,85
Direction sécante aux fibres (45°)												
Eprouvette	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>0</sub> (mm)	F <sub>1</sub> (N)	D <sub>1</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)	F <sub>4</sub> (N)	D <sub>4</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)
E1-1	0	0	21	2,26	42	4,51	63	6,76	84	8,96	105	11,26
E1-2	0	0	21	2,23	42	4,49	63	6,69	84	8,98	105	11,23
E1-3	0	0	21	2,28	42	4,36	63	6,72	84	9,12	105	11,28
E1-4	0	0	21	2,25	42	4,59	63	6,81	84	9,1	105	11,25
E1-5	0	0	21	2,24	42	4,56	63	6,77	84	8,92	105	11,24
Direction perpendiculaire aux fibres (90°)												
Eprouvette	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>0</sub> (mm)	F <sub>1</sub> (N)	D <sub>1</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)	F <sub>4</sub> (N)	D <sub>4</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)
E1-1	0	0	21	0,81	42	1,62	63	2,42	84	3,21	105	4,1
E1-2	0	0	21	0,84	42	1,58	63	2,38	84	3,19	105	4
E1-3	0	0	21	0,80	42	1,64	63	2,44	84	3,26	105	3,98
E1-4	0	0	21	0,79	42	1,61	63	2,41	84	3,16	105	4,1
E1-5	0	0	21	0,78	42	1,60	63	2,39	84	3,20	105	3,99
Direction perpendiculaire aux fibres (90°) après séchage												
Eprouvette	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>0</sub> (mm)	F <sub>1</sub> (N)	D <sub>1</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)	F <sub>4</sub> (N)	D <sub>4</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)
E1-1	0	0	21	0,72	42	1,45	63	2,16	84	2,88	105	3,7
E1-2	0	0	21	0,76	42	1,43	63	2,20	84	2,89	105	3,6
E1-3	0	0	21	0,72	42	1,41	63	2,12	84	2,77	105	3,9
E1-4	0	0	21	0,71	42	1,46	63	2,15	84	2,91	105	3,6
E1-5	0	0	21	0,67	42	1,45	63	2,17	84	2,86	105	3,2

Essai sur éprouvette de dimension (118 x 58 x 12) mm												
Direction parallèle aux fibres (0°)												
Eprouvette	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>0</sub> (mm)	F <sub>1</sub> (N)	D <sub>1</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)	F <sub>4</sub> (N)	D <sub>4</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)
E2-1	0	0	63	1,8	126	3,6	189	5,41	252	7,20	315	9
E2-2	0	0	63	1,79	126	3,9	189	5,39	252	7,17	315	9,1
E2-3	0	0	63	1,86	126	3,7	189	5,45	252	7,19	315	8,92
E2-4	0	0	63	1,81	126	3,4	189	5,41	252	7,23	315	8,97
E2-5	0	0	63	1,74	126	3,5	189	5,41	252	7,22	315	9
Direction sécante aux fibres (45°)												
Eprouvette	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>0</sub> (mm)	F <sub>1</sub> (N)	D <sub>1</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)	F <sub>4</sub> (N)	D <sub>4</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)
E2-1	0	0	63	0,94	126	1,88	189	2,82	252	3,76	315	4,71
E2-2	0	0	63	0,96	126	1,93	189	2,87	252	3,76	315	4,67
E2-3	0	0	63	1	126	1,83	189	2,79	252	3,77	315	4,72
E2-4	0	0	63	0,91	126	1,89	189	2,82	252	3,76	315	4,73
E2-5	0	0	63	0,91	126	1,87	189	2,81	252	3,78	315	4,69
Direction perpendiculaire aux fibres (90°)												
Eprouvette	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>0</sub> (mm)	F <sub>1</sub> (N)	D <sub>1</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)	F <sub>4</sub> (N)	D <sub>4</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)
E2-1	0	0	63	0,54	126	1,08	189	1,63	252	2,16	315	2,7
E2-2	0	0	63	0,57	126	1,05	189	1,62	252	2,17	315	2,9
E2-3	0	0	63	0,51	126	1,1	189	1,62	252	2,21	315	2,7
E2-4	0	0	63	0,54	126	1,09	189	1,62	252	2,13	315	2,7
E2-5	0	0	63	0,54	126	1,08	189	1,65	252	2,13	315	2,8
Direction perpendiculaire aux fibres (90°) après séchage												
Eprouvette	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>0</sub> (mm)	F <sub>1</sub> (N)	D <sub>1</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)	F <sub>4</sub> (N)	D <sub>4</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)
E2-1	0	0	63	0,52	126	1,04	189	1,56	252	2,08	315	2,61
E2-2	0	0	63	0,52	126	1,04	189	1,57	252	2,07	315	2,60
E2-3	0	0	63	0,53	126	1,031	189	1,51	252	2,08	315	2,63
E2-4	0	0	63	0,54	126	1,07	189	1,55	252	2,04	315	2,60
E2-5	0	0	63	0,51	126	1,03	189	1,61	252	2,12	315	2,59

TABLE 4.5 – Suite résultats sur module de Young

PANNEAU EN BOIS DE SAPELLI												
Essai sur éprouvette de dimension (118 x 58 x 4) mm												
Direction parallèle aux fibres (0°)												
Eprouvette	F <sub>0</sub> (N)	D <sub>0</sub> (mm)	F <sub>1</sub> (N)	D <sub>1</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)	F <sub>3</sub> (N)	D <sub>3</sub> (mm)	F <sub>4</sub> (N)	D <sub>4</sub> (mm)	F <sub>5</sub> (N)	D <sub>5</sub> (mm)
E3-1	0	0	21	2,01	42	4,03	63	6,10	84	8,04	105	10
E3-2	0	0	21	2,03	42	4,07	63	6,10	84	8,01	105	10
E3-3	0	0	21	2,01	42	4	63	5,99	84	8	105	10,01
E3-4	0	0	21	2	42	4	63	5,98	84	8	105	10
E3-5	0	0	21	2	42	4	63	6,13	84	8	105	10,03
Direction sécante aux fibres (45°)												
Eprouvette	F <sub>0</sub> (N)	D <sub>0</sub> (mm)	F <sub>1</sub> (N)	D <sub>1</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)	F <sub>3</sub> (N)	D <sub>3</sub> (mm)	F <sub>4</sub> (N)	D <sub>4</sub> (mm)	F <sub>5</sub> (N)	D <sub>5</sub> (mm)
E3-1	0	0	21	1,5	42	3,01	63	4,5	84	6,1	105	7,51
E3-2	0	0	21	1,6	42	3,01	63	4,7	84	6,12	105	7,5
E3-3	0	0	21	1,5	42	3	63	4,5	84	5,99	105	7,45
E3-4	0	0	21	1,4	42	3	63	4,3	84	5,98	105	7,59
E3-5	0	0	21	1,7	42	3,01	63	4,5	84	6,13	105	7,5
Direction perpendiculaire aux fibres (90°)												
Eprouvette	F <sub>0</sub> (N)	D <sub>0</sub> (mm)	F <sub>1</sub> (N)	D <sub>1</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)	F <sub>3</sub> (N)	D <sub>3</sub> (mm)	F <sub>4</sub> (N)	D <sub>4</sub> (mm)	F <sub>5</sub> (N)	D <sub>5</sub> (mm)
E3-1	0	0	21	0,53	42	1,07	63	1,61	84	2,13	105	2,67
E3-2	0	0	21	0,52	42	1,09	63	1,63	84	2,17	105	2,59
E3-3	0	0	21	0,51	42	1,1	63	1,59	84	2,9	105	2,63
E3-4	0	0	21	0,54	42	1,04	63	1,65	84	2,13	105	2,67
E3-5	0	0	21	0,55	42	1,06	63	1,58	84	2,15	105	2,69
Direction perpendiculaire aux fibres (90°) après séchage												
Eprouvette	F <sub>0</sub> (N)	D <sub>0</sub> (mm)	F <sub>1</sub> (N)	D <sub>1</sub> (mm)	F <sub>2</sub> (N)	D <sub>2</sub> (mm)	F <sub>3</sub> (N)	D <sub>3</sub> (mm)	F <sub>4</sub> (N)	D <sub>4</sub> (mm)	F <sub>5</sub> (N)	D <sub>5</sub> (mm)
E3-1	0	0	21	0,48	42	0,96	63	1,44	84	1,92	105	2,41
E3-2	0	0	21	0,51	42	0,97	63	1,43	84	1,98	105	2,4
E3-3	0	0	21	0,43	42	0,97	63	1,47	84	1,91	105	2,37
E3-4	0	0	21	0,52	42	0,95	63	1,39	84	1,88	105	2,4
E3-5	0	0	21	0,46	42	0,96	63	1,49	84	1,93	105	2,43

TABLE 4.6 – Résultats sur la charge et la contrainte de rupture

PANNEAU EN BOIS D'AYOUS			
Eprouvette de dimension (118 x58 x 4) mm			
Direction de charge parallèle aux fibres (0°)			
Eprouvette	E1-1	E1-2	E1-3
Charge de rupture F (N)	113,03	112,97	113,21
Contrainte de rupture (MPa)	21,5586	21,5471	21,5929
Direction de charge sécante aux fibres (45°)			
Eprouvette	E1-1	E1-2	E1-3
Charge de rupture F (N)	124,79	126,73	125,67
Contrainte de rupture (MPa)	23,8015	24,1715	23,9694
Direction de charge perpendiculaire aux fibres (90°)			
Eprouvette	E1-1	E1-2	E1-3
Charge de rupture F (N)	242,87	242,18	244,01
Contrainte de rupture (MPa)	46,3233	46,1917	46,5426
Direction de charge perpendiculaire aux fibres (90°) après séchage			
Eprouvette	E1-1	E1-2	E1-3
Charge de rupture F (N)	269,13	269,31	268,89
Contrainte de rupture (MPa)	51,3319	51,3662	51,2861
Eprouvette de dimension (118 x58 x 12) mm			
Direction de charge parallèle aux fibres (0°)			
Eprouvette	E2-1	E2-2	E2-3
Charge de rupture F (N)	364,89	364,17	364,53
Contrainte de rupture (MPa)	7,7329	7,71587	7,7253
Direction de charge sécante aux fibres (45°)			
Eprouvette	E2-1	E2-2	E2-3
Charge de rupture F (N)	473,72	473,81	473,21
Contrainte de rupture (MPa)	10,0394	10,0412	10,0286
Direction de charge perpendiculaire aux fibres (90°)			
Eprouvette	E2-1	E2-2	E2-3
Charge de rupture F (N)	783,47	781,87	785,7
Contrainte de rupture (MPa)	16,6037	16,5698	16,6510
Direction de charge perpendiculaire aux fibres (90°) après séchage			
Eprouvette	E2-1	E2-2	E2-3
Charge de rupture F (N)	812,33	813,01	812,79
Contrainte de rupture (MPa)	17,2152	17,22967	17,2299

PANNEAU EN BOIS DE SAPELI			
Eprouvette de dimension (118 x58 x 4) mm			
Direction de charge parallèle aux fibres (0°)			
Eprouvette	E3-1	E3-2	E3-3
Charge de rupture F (N)	150,67	151,03	150,58
Contrainte de rupture (MPa)	28,7377	28,8064	28,7206
Direction de charge sécante aux fibres (45°)			
Eprouvette	E3-1	E3-2	E3-3
Charge de rupture F (N)	167,82	167,93	167,17
Contrainte de rupture (MPa)	32,0087	32,0297	31,8846
Direction de charge perpendiculaire aux fibres (90°)			
Eprouvette	E3-1	E3-2	E3-3
Charge de rupture F (N)	323,96	324,12	323,98
Contrainte de rupture (MPa)	61,7906	61,8203	61,7936
Direction de charge perpendiculaire aux fibres (90°) après séchage			
Eprouvette	E3-1	E3-2	E3-3
Charge de rupture F (N)	359,6	358,7	358,1
Contrainte de rupture (MPa)	68,5875	68,4158	68,3014

---

# Bibliographie

- [1] :Anatomie des bois (2001). Disponible sur :<http://www.crpf-limousin.com>
- [2] : Arnaud D.et al. (2008).Aide-mémoire, Paris
- [3] : Badel P. (2012). Cours de résistance des matériaux
- [4] : Cours de Résistance des matériaux, disponible sur : <http://membres.Lycos.fr/rdmestp>
- [5] : Coutrut D. (1984). Evaluation des modèles de contreplaqué. FAO : WPP/84/5, FAO, Rome
- [6] : Cartraud P. (2011). Mécanique des Structures
- [7] :Forest S. et al. (2008). Mécanique des Milieux Continus, École des Mines de Paris
- [8] :Ghenia K.(2011). Cours de résistance des matériaux
- [9] :Goulet J., Boutin J.-P. (2004). Résistance des matériaux, Dunod
- [10] : Lamure A. (2007). Adhésion et Adhérence des Matériaux
- [11] : Le Bois et ses Dérivés. Disponible sur <http://www.crit.archi.fr>
- [12] :Le panneau de particule CTB-H, Matériau du bois,1992
- [13] :Les Colles à Bois. Disponible sur <http://www.hmdifusion>
- [14] :Mukam fotsing J.A. (2014). Cours de Mécanique des Milieux Continus, ENS Yaoundé
- [15] :Patrick Le T. (2007). Mécanique des Milieux Continus, École Polytechnique, Département de Mécanique, Notes de Cours de MEC431.
- [16] : Vivien J. et. Faure J.J. (2008). Arbres des forets denses d’Afrique central