

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : **Génie Civil**

Option : **STRUCTURES**

Présenté par : HADRI khaled

OULEDIEF walid

**Thème :COMPORTEMENT EN FLEXION D'UNE
POUTRE EN BOIS ABOUTÉ**

Sous la direction de : Dr. NAFA Zahreddine

Juin 2016

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : **Génie Civil**

Option : **STRUCTURES**

Présenté par : HADRI khaled

OULEDIEF walid

**Thème :COMPORTEMENT EN FLEXION D'UNE
POUTRE EN BOIS ABOUTÉ**

Sous la direction de : Dr. NAFA Zahreddine

Juin 2016



AVANT PROPOS



REMERCIEMENT

Avant tout développement sur cette expérience professionnelle, nous tenons d'abord à remercier DIEU le tout puissant pour nous 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 cette 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.

Nous souhaitons remercier tout particulièrement notre encadreur M. NAFA Z/Eddine 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. Ainsi que le directeur de la subdivision des forêts de Oued Zenati: Monsieur Berbach.

Nous renvoyons nos gratitude à l'ensemble des employés du LTP Est - ANNABA pour les conseils qu'ils ont pu nous prodiguer au cours du stage et pour leur esprit d'équipe.

Un grand merci à tous les doctorants du laboratoire LGCH de Guelma pour leur coopération dans le partage des infrastructures et de l'outillage qui peut parfois s'avérer très ardue.

Nos 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.

Nous remercions également tous les enseignants et les étudiants du département de Génie Civil et d'hydraulique.

Finalement, un Remerciement spécial à nos parents, qui nous ont soutenus pour atteindre nos buts.

Dédicace

Je dédie ce travail

A mes chers parents

Qui m'ont toujours encouragé et soutenu dans mes études

Jusqu'à la fin de ma formation.

A toute ma famille

A mes amis.

A toute la promotion 2016.

A tous les enseignants qui m'ont dirigé vers la porte de la réussite .

Sans oublier tous les personnes que j'aime.

HADRI KHALED.

Dédicace

En ce jour solennel, qui vient couronner mes efforts, je profite de l'occasion pour exprimer toutes mes gratitudees en vers ma famille.

Pour les deux êtres, qui m'ont vu grandir, qui m'ont transmis tout le savoir et qui étaient pour moi un cœur veillant pendant toute ma vie, les deux que je ne pourrais jamais assez remercier,

A mon père, mon premier encadrant depuis ma naissance.

A ma très chers mère : qu'elle trouve l'hommage de ma gratitude qui, si grande qu'elle puisse être ne sera a la hauteur de ces sacrifice et ces prières pour moi.

A mes sœurs et frère : Besma, Selwa et Hamza et surtout à ma nièce Mélina qui ont partagé mes joies et mes peines, qui tant aidé et soutenu à qui je souhait beaucoup de réussite et de bonheur.

Pour mon binôme Khaled et mes amis de toujours

Oulediafwalid.



RÉSUMÉ



RÉSUMÉ

Le but principal de ce mémoire est d'étudier expérimentalement l'aboutage du bois par un essai de flexion d'une poutre en bois abouté. Le bois traité est le pin d'Alep, c'est l'espèce la plus répandue en Afrique du nord et notamment en Algérie. Tout d'abord, une étude bibliographique nous a permis de connaître le matériau bois et les nouveaux visages du bois précisément le bois abouté et sa méthode d'obtention, et notamment la résistance de ce type de matériau. Puis une étude expérimentale qui aboutit par une discussion des résultats obtenu par un essai de flexion sur différentes éprouvettes selon les normes en vigueur.

Mots - clés: Bois, bois d'ingénierie, bois abouté, essai de flexion.

ABSTRACT

The purpose of this study is to experimentally investigate the jointing of wood by a bending test of a wooden beam of jointed wood. First, a literature review has allowed us to know the new faces of wood precisely finger jointed lumber and the method of production, including the resistance of this material. Then, an experimental study which ends by a discussion of the results obtained by a bending test on different specimens.

Keywords: Wood, engineered wood, jointed wood lumber, bending test.

ملخص

الغرض من هذه الدراسة هو التحقق تجريبيا من الوصل الخشبي تحت تأثير اختبار الانحناء لرافدة خشبية ملصقة. وقد سمحت لنا الدراسة المرجعية ان نتعرف على وجوه جديدة من الخشب الهندسي و طريقة انتاجه، وكذلك مقاومة هذه المادة ثمدراسة تجريبية التينتهي بمناقشة النتائج المتحصل عليها في اختبار الانحناء على عينات مختلفة.

الكلمات المفتاحية: الخشب، الخشب الهندسي، الخشب الملصق، اختبار الانحناء.



TABLE DES MATIÈRES

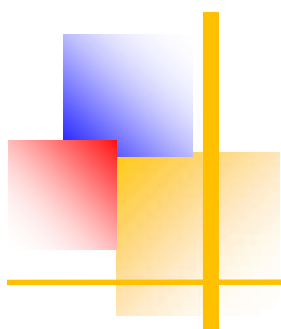


TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	ii
INTRODUCTION.....	2
<u>CHAPITRE 1.ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE</u>	
1.1. LE BOIS.....	5
1.1.1. LES ESSENCES DE BOIS.....	6
a. LES BOIS DE RESINEUX.....	7
b. LES BOIS DE FEUILLUS.....	7
c. LES ESSENCES DE BOIS SPECIFIÉES DANS LES NORMES.....	7
1.1.2. DOMAINES D'UTILISATION DU BOIS DANS LA CONSTRUCTION.....	8
1.1.3. STRUCTURE DU BOIS.....	10
a. MACROSTRUCTURE.....	10
b. MICROSTRUCTURE.....	11
c. COMPOSITION CHIMIQUE DU BOIS.....	13
1.1.4. LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES.....	13
a. L'ANISOTROPIE.....	14
b. L'HYGROSCOPIE.....	14
c. LA RETRACTIBILITE.....	16
d. RETRAIT ET GONFLEMENT.....	17
e. LA MASSE VOLUMIQUE ET LA DENSITE.....	17
f. L'HUMIDITÉ.....	19
1.1.5. DURETÉ DU BOIS.....	20
1.1.6. CLASSEMENT DU BOIS.....	20
1.1.7. LES DÉFAUTS DU BOIS.....	21
1.2. LES PRODUITS DU BOIS RECONSTITUÉS (LES NOUVEAUX VISAGES DU BOIS).....	24
1.2.1. BOIS MASSIFS STRUCTURAUX.....	24
a. BOIS SCIÉS.....	24
b. SCIAGES STRUCTURAUX.....	24
1.2.2. LA POUTRELLE EN I.....	26
1.2.3. LA FERME A CONNECTEURS METALLIQUES.....	27
1.2.4. LE LAMELLÉ-COLLÉ.....	29
1.2.5. BOIS DE PLACAGES STRATIFIÉS (LE LAMIBOIS LVL).....	30

TABLE DES MATIÈRES

1.2.6. LE PANNEAU MASSIF CONTRECOLLÉ.....	31
1.2.7. BOIS DE COPEAUX PARALLELES (PSL – PARALLEL STRAND LUMBER)...	32
1.2.8. LES BOIS DE COPEAUX LONGS LAMIFIÉS (LSL – LAMINATED STRAND LUMBER).....	32
1.3. LE BOIS ABOUTÉ.....	33
1.3.1. DEFINITION.....	33
1.3.2. LES CONSTITUANTS DE BASE.....	33
1.3.2.1. LE BOIS.....	33
1.3.2.2. LA COLLE.....	34
a. DÉFINITION.....	34
b. FONCTION DE LA COLLE.....	34
c. TYPES DE COLLE.....	34
1.3.3. LES ÉTAPES DE FABRICATION DU BOIS ABOUTÉ.....	34
1.3.4. LE PROCÉDÉ D'ASSOCIATION BOIS-COLLE (L'ABOUTAGE).....	35
1.3.4.1. DÉFINITION.....	35
1.3.4.2. PRÉSENTATION DES DIFFERENTS TYPES D'ABOUTAGE.....	36
a. HISTORIQUE.....	36
b. TYPE DE CONFIGURATION DES JOINTS.....	37
c. GÉOMÉTRIE DES JOINTS.....	38
d. LES CONTRAINTES DU PLAN DE COLLAGE ET LA SURFACE DE COLLAGE.....	39
e. POSITIONNEMENT DES ENTURES.....	40
1.3.4.3. LES FACTEURS INFLUENÇANT L'ABOUTAGE PAR ENTURES MULTIPLES.....	41
1.3.4.4. LES NORMES RÉGISSANT L'ABOUTAGE PAR ENTURES MULTIPLES.....	42
1.3.5. UTILISATION DU BOIS ABOUTÉ.....	44
1.3.6. CARACTÉRISTIQUES ET DIMENSIONNEMENT.....	44
1.4. CARACTERISTIQUES MÉCANIQUE.....	44
a. TRACTION LONGITUDINALE DU BOIS.....	45
b. TRACTION TRANSVERSALE DU BOIS.....	46
c. COMPRESSION LONGITUDINALE DU BOIS.....	46
d. COMPRESSION TRANSVERSALE DU BOIS.....	47
e. LES SOLLICITATIONS OBLIQUES.....	47

TABLE DES MATIÈRES

f. FLEXION DU BOIS.....	48
g. CISAILLEMENT DU BOIS.....	49

CHAPITRE 2.ÉTUDE EXPERIMENTALE

2.1. INTRODUCTION.....	53
2.2. CARACTÉRISATION PHYSIQUE.....	56
2.2.1. DENSITÉ.....	56
2.2.2. MESURE DE TAUX D’HUMIDITÉ.....	58
2.3. CARACTÉRISATION MÉCANIQUE.....	59
2.3.1. MACHINE D’ÉSSAI.....	59
2.3.2. RÉSISTANCE À LA FLEXION Axiale.....	59
2.3.2.1. PRÉSENTATION DES CAS TESTÉS.....	62
2.3.3. DÉTERMINATION DU MODULE DE YOUNG.....	64
2.3.4. DÉTERMINATION DE LA CONTRAINTE MAXIMALE (σ_{MAX}).....	64

CHAPITRE 3.PRÉSENTATION ET ANALYSE DES RÉSULTATS

3.1. CARACTÉRISATION PHYSIQUE.....	66
3.1.1. LA DENSITÉ.....	66
3.1.2. LE TAUX D’HUMIDITÉ.....	67
3.2. CARACTÉRISATION MÉCANIQUE.....	68
3.2.1. MODULE DE YOUNG.....	68
3.2.2.LA RESISTANCE EN FLEXION.....	69
3.2.3. MODE DE REPTURE.....	70

CONCLUSION.....	78
BIBLIOGRAPHIE.....	80
WEBOGRAPHIE.....	82
ANNEXE I.....	84
ANNEXE II.....	100



TABLE DES ILLUSTRATIONS



TABLE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 1.1 : les classes d'emploi des essences de bois en construction.....	8
Tableau1.2: Structure transversale de l'arbre.....	11
Tableau 1.3 : Composition chimique du bois.....	13
Tableau 1.4 : Valeur du coefficient de rétractibilité volumétrique des bois.....	16
Tableau 1.5 : densité des Résineux.....	19
Tableau 1.6: densité des Feuillus.....	19
Tableau1.7 : Classification des bois.....	21
Tableau 1.8: Facteurs influençant la performance mécanique.....	42
Tableau 1.9 : Valeurs usuelles des résistances du bois.....	51
Tableau 1.10 : Contraintes admissibles des bois en fonction de a.....	51
Tableau3.1: Récapitulatif des résultats de mesure de la densité.....	66
Tableau3.2: Récapitulatif des résultats de mesure de taux d'humidité.....	67
Tableau 3.3: Récapitulatif des résultats du module de YOUNG.....	68
Tableau3.4: Récapitulatif des résultats de la résistance en flexion.....	69

LISTE DES FIGURE :

Figure 1.1 : Différentes coupes du tronc d'un arbre.....	10
Figure 1.2 : Coupe transversale d'un arbre.....	10
Figure 1.3 : Fibre en coupe longitudinale.....	12
Figure 1.4 : Coupe transversale d'un arbre.....	12
Figure 1.5: Anisotropie du bois.....	14
Figure 1.6: Gauchissement de différentes sections.....	16
Figure 1.7 : Retrait du bois selon les trois directions.....	17
Figure 1.8: Défauts du bois dus à des causes extérieures.....	24
Figure 1.9 : Principales contraintes internes d'un élément fléchi.....	26
Figure 1.10: Poutrelles en I.....	26
Figure 1.11 : Principales contraintes internes d'une poutrelle en I fléchie.....	27
Figure 1.12 : Ferme de plancher à connecteurs métalliques	27
Figure 1.13 : Fermes de toit à connecteurs métalliques.....	28
Figure 1.14 : Exemples de sections en bois lamellé-collé.....	29
Figure 1.15 : Zones de contraintes d'un lamellé-collé	30
Figure 1.16 : (LVL) formé de placages d'épicéa de 3 mm.....	31
Figure 1.17 : (CLT) Panneau massif contrecollé grand format.....	31
Figure 1.18 : (PSL) Bois de copeaux parallèles.....	32
Figure 1.19 : (LSL) Les bois de copeaux longs lamifiés.....	32
Figure 1.20 : Le bois abouté.....	33
Figure 1.21: Effet du type de joint sur la résistance mécanique à la traction par rapport à celle du bois massif	37

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1.22: Types de configuration des joints.....	37
Figure 1.23: Nomenclature et géométrie d'aboutage	38
Figure 1.24 : Paramètres géométriques d'un joint à entures multiples sans épaulement.....	39
Figure 1.25: Profil d'un joint horizontal (A) et vertical (B).....	40
Figure 1.26 : Traction longitudinale.....	45
Figure 1.27 : Courbe contrainte-déformation.....	46
Figure 1.28 : Traction transversale.....	46
Figure 1.29 : Compression longitudinale.....	47
Figure 1.30 : Compression transversale.....	47
Figure 1.31 : Sollicitations obliques.....	48
Figure 1.32 : Epreuve de flexion.....	49
Figure 1.33 : Essai de cisaillement transversal.....	50
Figure 1.34 : Essai de cisaillement longitudinal.....	50
Figure 2.1 : troncs d'arbre reçus au laboratoire.....	53
Figure 2.2 : troncs d'arbre découpés en madriers.....	54
Figure 2.3 : Confection des entures.....	54
Figure 2.4 : lesmi- éprouvettes avant collage et mise sous pression.....	55
Figure 2.5 : Encollage.....	55
Figure 2.6 : Mise sous pression des éprouvettes.....	55
Figure 2.7 : Eprouvettes finies	56
Figure 2.8 : Schéma des éprouvettes de mesure de la densité et teneur en eau.....	57
Figure 2.9 : Eprouvettes pour la mesure de la densité et teneur en eau.....	57
Figure 2.10 : Pied à coulisse à 0.01 [mm] de préc.....	57
Figure 2.11 Balance de précision de 0.01g.....	58

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 2.12: Etuve ventilée.....	58
Figure 2.13 : Machine d'essais.....	59
Figure 2.14 : Dimension de l'éprouvette de flexion à 4 points.....	60
Figure 2.15 : Principe de la flexion de 4 points à réalisé.....	60
Figure 2.16 : Dispositif d'essai pour mesurer la résistance à la flexion des aboutages en entures multiple.....	61
Figure 2.17 : Essai de flexion à 4 point.....	62
Figure2. 18 : Caractéristiques géométriques de la poutre test 1(poutre sans joint).....	62
Figure 2. 19 : Caractéristiques géométriques de la poutre test 2(avec entures face).....	63
Figure 2.20 : Caractéristiques géométriques de la poutre test 3(avec entures à plat).....	63
Figure 2.21 : le dispositif pour mesurer le module global d'élasticité en flexion.....	63
Figure 2.22 : le dispositif pour mesurer le module global d'élasticité en flexion.....	65
Figure 3.1 : Rupture en flexion: fissure dans le bois.....	71
Figure 3.1 : Rupture en flexion: Décollage total du joint.....	71

LISTE DES HISTOGRAMMES :

Hist. 3.1 : Distribution des valeurs de la densité.....	66
Hist. 3.2 : Distribution des valeurs de taux d'humidité.....	67
Hist. 3.3 : Module de Young des différentes éprouvettes.....	69
Hist. 3.4 : Résistances en flexions des différentes éprouvettes.....	70



INTRODUCTION



INTRODUCTION

En Algérie, l'utilisation du bois en Algérie dans la construction est très minime pour ne pas dire inexistante (échafaudage, coffrages). Il est constaté des utilisations secondaires comme la fabrication des ameublements, menuiseries, décoration...etc. Malgré que les essences de bois locales puissent être utilisées dans la majorité des produits de bois.

Le pin d'Alep est l'essence la plus répandue en Algérie (plus de 800.000 Ha), souvent connus sous le nom de pins méditerranéens. Ses faibles exigences en eau (300mm/an et même moins) et l'abondance de ses grains lui permettent de coloniser rapidement les stations les plus variées, on trouve cet arbre à l'état spontané sur tout le pourtour du bassin méditerranéen.

La construction bois revient dans le monde. De nos jours, du fait des problèmes environnementaux, la demande pour les constructions à base de bois s'est considérablement amplifiée. Pour cela il a eu un développement de nouveaux visages de bois de construction dont le bois abouté. Le bois abouté est généralement le produit de bois d'ingénierie retenu pour la fabrication des poutres de bois à longue portée. L'importance donnée au bois abouté et son influence positive sur le domaine de la construction moderne, nous a amené à traiter ce sujet.

Le but principal de ce mémoire est d'étudier expérimentalement l'aboutage du bois par un essai de flexion d'une poutre en bois abouté.

Les objectifs secondaires de ce sujet sont :

- Connaitre un nouveau matériau: Le bois.
- Connaitre la technique de l'aboutage.
- Maitriser un essai en laboratoire.
- Apprendre comment traiter, analyser et interpréter des résultats expérimentaux.

le mémoire est structuré comme suit:

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

Le bois, ces essences, son domaines d'utilisation dans la construction, sa structure, ces caractéristiques physiques et mécaniques et ces avantages et défauts.

INTRODUCTION

Les nouveaux visages du bois.

Le bois abouté et sa méthode d'obtention.

Puis, en deuxième partie dans l'étude expérimentale nous allons caractériser physiquement et mécaniquement notre échantillon.

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



CHAPITRE 1



ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE



CHAPITRE 1.ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE.

1.1. LE BOIS

Lorsqu'on dit le mot (**bois**), on pense tout d'abord au **produit végétale** qui est une matière naturelle (comme depuis longtemps), et qui a des caractéristiques spécifiques : hétérogène, hygroscopique, fortement anisotrope, composite, durable mais biodégradable. Ensuite, il est considéré comme **une ressource** utilisée comme matière première employée à de nombreux usages tels que : branches industrielles (papeteries, industries chimiques, ...etc.) ou matériaux issus d'un produit végétal pour usage structurale (le plus ancien des matériaux de construction). Dans ce domaine le bois est un matériau très apprécié pour ses qualités environnementales. Donc (**Le bois**) n'est qu'un terme générique qui couvre des matériaux et des usages très différents selon l'origine de la récolte.

Le bois doit sa grande résistance à la traction et son élasticité à la cellulose, dont les fibres sont disposées longitudinalement. Entre celles-ci se trouve la lignine qui assume la résistance à la compression. Le bois est aussi résistant à la flexion.

De plus de ses qualités esthétiques, le bois plus que les autres matériaux de construction, porte en lui des qualités infinies :

Matériau militant contre l'accroissement de l'effet de serre (fixation de carbone 1 m^3 de bois contient 270 kg de carbone "C" et 730 kg de l'oxygène "O2" = 1 tonne de gaz carbonique "CO2").

Matériau naturel et sain [la transformation du bois engendre très peu de pollution des milieux physiques (air, sol, eau), et les déchets peuvent être parfois recyclés ou brûlés].

Ressource renouvelable.

Matériau permettant une bonne intégration architecturale.

Matériau chaleureux et confortable.

Matériau robuste et léger.

Matériau permettant un chantier rapide et a faibles nuisances.

Matériau pérenne (Très résistant aux séismes ou aux mouvements de terrains, le bois traverse les décennies et les siècles. La maison bois dispose d'une durée de vie au moins équivalente aux autres systèmes constructifs.)

Matériau recyclable.

Matériau adapté aux sols difficiles.

Facilité de mise en œuvre (Le bois se prête à l'auto construction, à la préfabrication, à l'artisanat comme à l'industrie).

Matériau durable (Tant que la toiture est bien entretenue, les maisons de bois sont remarquablement stables (facteur de durabilité), souvent plus que des maisons en briques ou en béton).

Matériau résistant au feu (le bois transmet le feu 10 fois moins vite que le béton et 250 fois moins vite que l'acier).

Mais, le bois est un matériau sensible à l'humidité, aux attaques d'insectes et des champignons... les auteurs ont découverts plusieurs méthodes et processus de traitement du bois pour résoudre les problèmes causés par ces agents.

En raison des défauts naturels tel que les nœuds entre autres, l'utilisation du bois massif ou bien bois ordinaire pour les structures atteint ses limites, les concepteurs ont alors créé des nouveaux produits dérivés du bois (les produits du bois reconstitué) que nous exposons plus tard.

1.1.1. LES ESSENCES DE BOIS

Tout le monde sait que le bois provient de l'arbre qui provient de la forêt. Cette dernière est peuplée de deux grandes familles d'arbres ; les résineux et les feuillus. D'un point de vue anatomique, les bois de résineux sont plus uniformes que les bois de feuillus. En effet, les bois de résineux sont principalement constitués d'un seul type de cellule (les trachéides) reliées entre elles par des ponctuations permettant le passage d'un liquide ou de l'air. La structure anatomique d'un bois de feuillus est plus complexe. Elle est principalement constituée de deux types de cellules (les fibres et les vaisseaux). Les fibres sont généralement courtes, ont des parois cellulaires épaisses et sont fermées aux extrémités. En réalité, les fibres ont de très petites ouvertures et une membrane rigide ne permettant pas le passage d'un liquide ou de l'air. Par opposition à un bois de résineux, il n'y a pas de mouvement entre les fibres d'un bois de feuillus, ce qui rend la pénétration de l'adhésif par cette voie très difficile, voire impossible. Les vaisseaux laissent pénétrer la colle très rapidement

mais ils peuvent assécher le joint en laissant trop de colle pénétrer, trop rapidement. Il a été rappelé que l'anatomie du bois, la densité, et la quantité d'extractibles affectent également l'habileté au collage du bois. [1]

a. LES BOIS DE RESINEUX

Les bois de résineux ont démontré depuis des années leur versatilité en servant en tant que ressource première pour la construction (FPL 1999). Les bois de résineux se retrouvent dans une vaste gamme de produits provenant de diverses essences. Pour leur utilisation sur le marché, les bois de résineux sont classés selon la méthode de fabrication, selon l'essence et selon l'utilisation (structurale ou d'apparence). [1]

b. LES BOIS DE FEUILLUS

L'usage principal des bois de feuillus est pour la fabrication de meubles, d'ébénisterie et de palettes ou d'usage direct pour les revêtements de plancher, les boiseries, les moulures et les travaux usinés. Par ailleurs, une agence américaine de classification des sciages, la NortheasternLumberManufacturers Association (NELMA), classe certaines essences de bois de feuillus pouvant être vendues et utilisées en tant que bois de charpente. L'érable rouge, l'érable à sucre, le hêtre, le bouleau jaune, le caryer cordiforme, le chêne rouge et le chêne blanc ne sont que certaines essences de bois de feuillus faisant partie de la catégorie du bois de charpente américains.[1]

c. LES ESSENCES DE BOIS SPECIFIÉES DANS LES NORMES

Dans le domaine du lamellé-collé, le Wood Handbook(FPL 1999) mentionne que les classes de bois couramment utilisées dans la fabrication de lamellé-collé sont le Sapin Douglas-Mélèze (Douglas Fir-Larch), le Pin du Sud (Southern Pine), la Pruche-Sapin et l'Épinette-Pin-Sapin (EPS ou SPF en anglais), soit tous des bois de résineux. À ce jour, les bois de feuillus sont peu utilisés dans la fabrication de produits de bois d'ingénierie structuraux canadiens, à l'exception de quelques fabricants qui utilisent le peuplier, le tremble, le bouleau et l'érable rouge. [4]

Les bois utilisés le plus couramment en charpente abouté sont des résineux: le Douglas, l'Epicéa, le Pin Sylvestre et le Sapin.

De nombreuses essences de bois sont utilisables dans la construction. Pour répertorier leurs qualités et possibilités, les classes d'emploi ont été établies.

Tableau 1.1 : les classes d'emploi des essences de bois en construction.[www.cndb.org]

Classe	Situation en service	Emplois	Exemples d'essences
1	Bois sec, humidité toujours inférieure à 20%	Menuiseries intérieures (escaliers, meubles, parquets, portes...)	Mélèze, Pin maritime, Orme, Châtaignier, Robinier, Noyer, Red Cedar
2	Bois sec, pouvant supporter occasionnellement une humidité supérieure à 20%	Charpentes, ossatures ventilées	Mélèze, Pin maritime, Orme, Châtaignier, Robinier, Noyer, Red Cedar
3	Bois pouvant s'exposer à une humidité fréquemment supérieure à 20%	Menuiseries extérieures (bardage, fenêtre), pièces de construction	Mélèze, Pin maritime, Châtaignier, Robinier, Noyer, Red Cedar
4	Bois pouvant s'exposer à une humidité toujours supérieure à 20%	Bois en contact avec le sol, bois horizontal en extérieur (terrasse, balcon, coursive)	Châtaignier, Robinier, Noyer, Doussié, Iroko, Teck d'Asie, Moabi
5	Bois en contact continu avec l'eau de mer	Pontons, bois immergé	Nécessite un traitement

1.1.2. DOMAINES D'UTILISATION DU BOIS DANS LA CONSTRUCTION

Une maison en bois est une construction dont la structure porteuse est en bois.

L'utilisation du bois dans la construction remonte à près de 20000 ans. A cette époque, les hommes construisaient des habitations en bois et en paille. Plus tard (vers - 6 000), des constructions sur pilotis font leur apparition (vestige dans les lacs Alpains).

Au temps des romains, les habitations s'élèvent, on dissocie les murs du toit (premières charpentes) et on isole les poteaux du sol (poteaux posés sur des pierres) pour une meilleure résistance (ex : Temples japonais du 7^{ème} siècle, églises en bois debout en Norvège, Pagode chinoise en bois).[6]

En Russie et en Scandinavie (régions montagneuses), des chalets de rondins empilés sont bâtis dès le moyen âge. A cette même époque, en Europe, les premières maisons à colombages, présentes dans tous les centres historiques de grandes villes, font leur apparition.

A partir de 1550, la technique des bois longs (très coûteuse, difficile à construire, ne permettant que 2 étages) est remplacée par la méthode des bois courts (légèreté, facile à approvisionner, jusqu'à 6 étages).

Vers 1850, en raison de la disparition de la forêt primaire et de l'apparition du béton, ces modes constructifs (maison bois) vont pratiquement disparaître.

Depuis 1960, la tendance s'inverse, la construction bois revient. De nos jours, du fait des problèmes environnementaux, la demande pour les constructions à base de bois s'est considérablement amplifiée.[6]

Dans les pays du Nord de l'Europe (régions fortement boisées en résineux), depuis tout temps on construit en bois (chalets notamment). Dans cette partie de l'Europe, 95% des maisons sont en bois.

Dans les pays à forte couverture forestière d'Amérique du nord (Etats Unis, Canada), par la volonté de s'installer rapidement et les techniques apportées par les immigrants européens, la construction bois c'est très vite développée. En effet, le système plate-forme (Ossature bois) issue de la technique des bois courts permet d'avoir aujourd'hui plus de 90% des constructions réalisées en bois. Au Japon, 50% des maisons sont en bois.[6]

Le bois est un matériau préhistorique : la construction sur pilotis a été utilisée depuis des lustres par l'homme, il en reste encore des vestiges, qui illustrent bien la durabilité de ce matériau. Au moyen âge, le bois a été utilisé pour la réalisation des ossatures des maisons à pans de bois et pisé, et comme pilotes (pieux) de fondation. De nos jours le bois est utilisé à tous les stades de l'exécution des ouvrages, notamment sous forme de :

- ↪ Blindage et étayages des fouilles ;
- ↪ Coffrage des éléments en béton (à côté du coffrage métallique) ;
- ↪ Réalisation de la charpente et des couvertures ;
- ↪ Menuiserie (portes, fenêtre, etc..) ;
- ↪ Parquets.

Le bois est également très utilisé comme matériel de chantier. On s'en sert comme :

- ↪ Echafaudages ;
- ↪ Plateaux de levage ;
- ↪ Baraques préfabriquées
- ↪ Palissades pour clôturer les chantiers.

Ces multiples utilisations nécessitent de l'utilisateur des connaissances précises sur les diverses essences, les qualités et défauts des bois, leurs modes d'assemblages et leur condition d'emploi.

1.1.3. STRUCTURE DU BOIS

a. MACROSTRUCTURE

Pour bien comprendre la structure du bois il faut imaginer trois coupes sur le tronc :

1. la coupe transversale ; faite perpendiculairement à l'axe du tronc ;
2. la coupe radiale ; faite longitudinalement dans l'axe du tronc ;
3. la coupe tangentielle ; faite longitudinalement mais loin de l'axe du tronc.

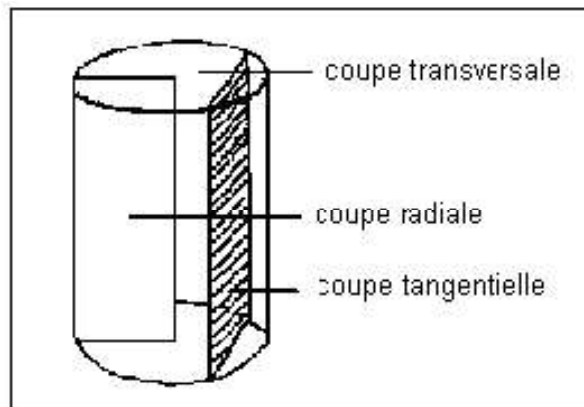


Figure 1.1 :Différentes coupes du tronc d'un arbre.

L'examen de la coupe transversale laisse apparaître les constituants suivants : l'écorce, le liber, le cambium, l'aubier, le duramen, la moelle, les rayons et les cernes. La figure II.2 présente la coupe transversale d'un arbre.

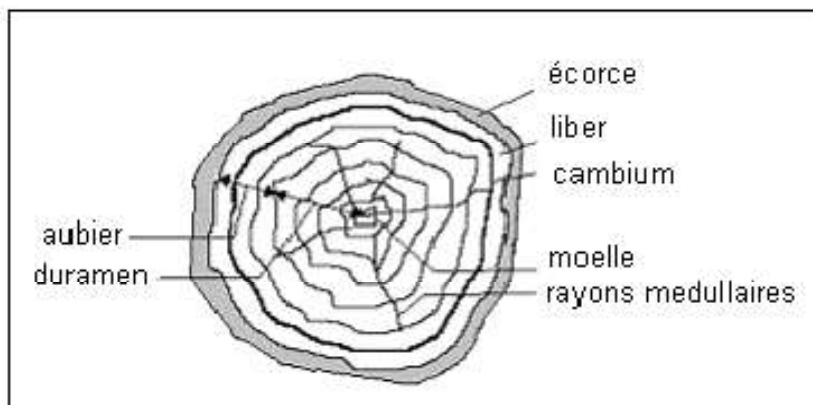


Figure 1.2 :Coupe transversale d'un arbre.

Tableau1.2: Structure transversale de l'arbre.[Wikipedia.org]

ELEMENTS	DEFINITIONS ET ROLES
ECORCE	Composée de cellules mortes. Elle est imperméable mais permet des échanges gazeux pour la respiration des cellules du cambium et de l'aubier ;
LIBER	La plupart des cellules le composant sont mortes. La partie la plus interne du liber possède des canaux qui amènent la sève élaborée des feuilles aux cellules du cambium ;
CAMBIUM	C'est là que se produit la croissance de l'arbre. Il est uniquement visible au microscope ;
AUBIER	Composé de cellules plus ou moins vivantes il transporte la sève brute des racines aux feuilles
DURAMEN	Composé de cellules mortes (qui ont fini d'évoluer).C'est le support de l'arbre. Aussi appelé : bois parfait ;
MOELLE	Tissu mou au centre. Elle forme au début de la croissance de l'arbre et ne se modifie pas ;
RAYONS	Espace possédant des cellules de parenchyme qui servent à l'entreposage de réserves nutritives. Ils sont invisibles à l'œil nu chez les résineux ;
CERNES	CERNES Correspondent aux couches de croissance annuelles.

Chaque année le cambium produit des formations en anneaux concentriques. Les limites de ces anneaux sont nettes dans certains bois. En effet, au printemps il se forme un bois riche en vaisseaux qui assure le transport d'une sève abondante. A la fin de l'été et en automne il se forme un bois où les fibres dominant et, en hiver, la multiplication cellulaire est quasiment nulle. La différence entre le bois de printemps poreux et clair et le bois d'automne compact et foncé permet de compter les cernes annuels et donc de connaître l'âge d'un arbre.

b. MICROSTRUCTURE

Au point de vue physiologique on peut considérer le bois comme un ensemble de tissus conduisant la sève d'un bout à l'autre du végétal grâce à sa porosité. Une coupe mince, dans une tige jeune,

révèle à l'examen microscopique l'existence de cellules, presque identiques dont la paroi est formée de cellulose.

On peut ainsi voir que le bois est essentiellement formé :

- de vaisseaux ;
- de fibres et de cellules de sclérenchyme ;
- de cellules de réserve.

1. **Les vaisseaux** ; Des calibres relativement fort, souvent visibles à œil nu, ils apparaissent comme des trous sur la coupe transversale, comme des sillons sur une coupe radiale ou une coupe tangentielle.

2. Les fibres et le sclérenchyme

Les fibres ont des sections polygonales. Leurs parois sont plus ou moins épaissies suivant l'espèce et suivant l'âge de la partie considérée. Leur cavité peut être simple ou cloisonnée, ce qui a une influence sur la dureté.



Figure 1.3 :Fibre en coupe longitudinale.

Le parenchyme est formé de cellules polyédriques à peu près de même diamètre. Dans le bois jeune il sert de magasin de réserve à l'amidon. Dans le bois âgé, ses cellules. S'épaississent et, comme les fibres, il devient un tissu de soutien. On le trouve à l'entour des vaisseaux. Il constitue également avec une orientation radiale, les rayons médullaires.

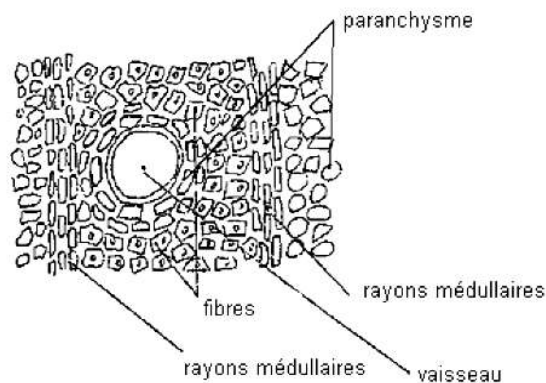


Figure 1.4 : Coupe transversale d'un arbre.

c. COMPOSITION CHIMIQUE DU BOIS

Le tableau suivant donne la composition chimique moyenne, en poids, du bois :

Tableau 1.3 : Composition chimique du bois.[universalis.fr]

Eléments	Pourcentage
Carbone (C)	50
Hydrogène (H)	6
Oxygène (O)	42
Azote (N)	1
Cendres	1
Soit comme constituants essentiels: 40 à 50 % de Cellulose ; 25 à 30 % de Lignine.	

1.1.4. LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

A la structure et à l'aménagement des couches annuelles se rattachent deux notions importantes : l'homogénéité et la texture. Un bois est homogène lorsqu'il y a peu de différence entre les bois de printemps et d'été. Il est plus facile à travailler (tournage, sculpture).

Exemple : charme, hêtre, chêne vert, noyer.

Il est hétérogène lorsque la zone poreuse du bois de printemps différencie nettement du bois d'été dur compact et foncé, est très décoratif et en général de bonne qualité technique.

Exemple : châtaignier, frêne, faux acacia.

La texture du bois est fortement influencée par la croissance de l'arbre. Celle-ci peut être rapide, lorsqu'elle a lieu en plaine et sous les tropiques, ou plus lente, en montagne et dans les pays nordiques.

Les professionnels font une distinction entre une texture forte, qui correspond à une croissance lente, et une texture faible, correspondant à une croissance rapide.

Un bois de texture forte, les résineux de montagne ou des pays nordiques poussés lentement présentent des cernes peu épais dans lesquels domine le bois d'été et sera composé de peu de bois de printemps, mais d'une grande partie de bois d'automne, c'est-à-dire de fibres dures et fermes.

Un bois à texture faible, chez les résineux poussant vite, les couches annuelles sont larges et formées surtout de bois de printemps que de bois d'automne ou, selon les essences, beaucoup de bois de printemps et seulement une faible couronne de bois d'automne.

a. L'ANISOTROPIE

Par définition l'anisotropie, contraire de l'isotropie, s'exprime par le fait que les propriétés physiques est mécaniques dépendent de la direction. Elle est due dans le cas du bois essentiellement à la disposition concentrique des cernes et à la structure de fibre.

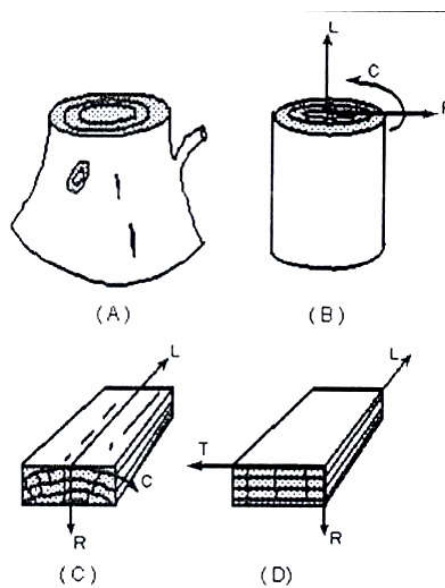


Figure1.5: Anisotropie du bois.

La complexité du matériau bois exige alors pour son étude une modélisation qui, sans s'éloigner des grands traits de sa structure, facilite cette étude.

La grume (A) (**voire figure 1.5**), contenant des défauts naturels de croissance tels que les nœuds, les fissures ou les excentricités, est idéalisée (B) en ignorant ces singularités, d'autre part une planche coupée loin du centre de la grume et qui doit logiquement se référer à un système de coordonnées cylindriques (L,R,C), vue sa géométrie et les particularités de sa structure telles que les enveloppes cylindriques (C), est généralement étudiée dans un système cartésien rectangulaire (L,R,T) (D).

b. L'HYGROSCOPIE

Le bois est fortement hygroscopique, son taux d'humidité interne s'équilibre en fonction des conditions climatique de l'environnement. L'eau absorbée sous la forme «d'eau libre» n'a

probablement pas une influence notable sur le comportement mécanique en petites déformations. Par contre, la partie de l'eau absorbée dite « liée » interagit dans la paroi cellulaire sur les polymères constitutifs de la matière ligneuse. Cette hydrolyse partielle, occasionne des modifications de comportement mécanique qui se manifestent pendant les essais. Cette eau est donc localisée dans différentes parties du bois et il convient de bien distinguer.

- l'eau libre ou intracellulaire :

Elle remplit les vaisseaux, les vides cellulaires (intérieur des fibres par exemple), cette eau n'influe pas sur les propriétés du bois si ce n'est sur sa densité. Nous trouvons une forte quantité d'eau libre dans les bois contenant par exemple 40%.

- l'eau de saturation. Elle est retenue par les parois des cellules. Lorsque ces parois contiennent le maximum de l'eau qu'elles sont susceptibles d'absorber on dit que le bois est saturé. Le point de saturation est voisin de 30%. L'eau de saturation influe directement sur les propriétés du bois. Lorsque sous l'action naturelle ou artificielle de l'air, le bois perd son eau de saturation, ses dimensions varient et il subit des déformations. Suivant la quantité d'eau de saturation restant dans le bois, on dit qu'il est :
 - saturé (taux d'humidité voisin de 30% mais pouvant varier tout même de 25 à 35% suivant les espèces).
 - mi- sec (taux d'humidité compris entre le point de saturation et 23% environ), commercialement sec (taux d'humidité compris entre 22-23 et 18%).
 - sec à l'air (taux d'humidité assez variable suivant les régions et la saison, mais s'établissant en général de 15 à 20%).
 - desséché (au-dessous de 13%, c'est très souvent le cas des bois séjournant dans des locaux d'habitation ou des bureaux, fortement, chauffés et non humidifiés artificiellement).
 - anhydre ou sec absolu (taux d'humidité de 0% qui ne peut être obtenu que par un séjour en étuve à (100°-116°) et même 130°, et qui ne peut être maintenu puisque le bois absorbe l'humidité ambiante, assez lentement d'ailleurs, jusqu'à établissement d'un état d'équilibre).
- l'eau de constitution du bois. Elle fait partie de la molécule de cellulose ou de lignine. On peut la faire disparaître que par transformation de la composition chimique, par distillation du bois par exemple. Cette eau n'étant pas comprise dans le taux d'humidité nous n'aurons

pas à en évoquer le rôle, il ressort de ce qui précède que nous sommes surtout intéressés aux pourcentages compris entre 10 à 12% et 30% puisque nous utilisons le bois dans ces limites.

c. LA RETRACTIBILITE

On distingue la rétractabilité totale qui correspond à la variation de volume depuis le point de saturation jusqu'à l'état anhydre, le coefficient de rétractabilité volumétrique c'est-à-dire la variation de volume établie en pourcentage du volume initial, pour une variation de 1% du taux d'humidité et le coefficient de rétractabilité linéaire qui exprime en pourcentage de la dimension considérée le retrait pour une variation de 1% du taux d'humidité.

En fonction de la valeur du coefficient de rétractabilité volumétrique les bois sont qualifiés de la manière suivante :

Tableau 1.4 : Valeur du coefficient de rétractabilité volumétrique des bois.[memoireonline.com]

Valeur Du Coefficient De Rétractabilité Volumétrique	Qualification	Exemples
(0.55 à 1.00) %	Très nerveux	Chêne
(0.35 à 0,55) %	Nerveux	Eucalyptus, hêtre
(0.15 à 0.35) %	Peu nerveux	Sapin, Pin, Epicéa

Les différences entre retrait radial et tangentiel peuvent provoquer des voilements et gauchissement plus ou moins accentués selon le type de débit de la pince de bois.

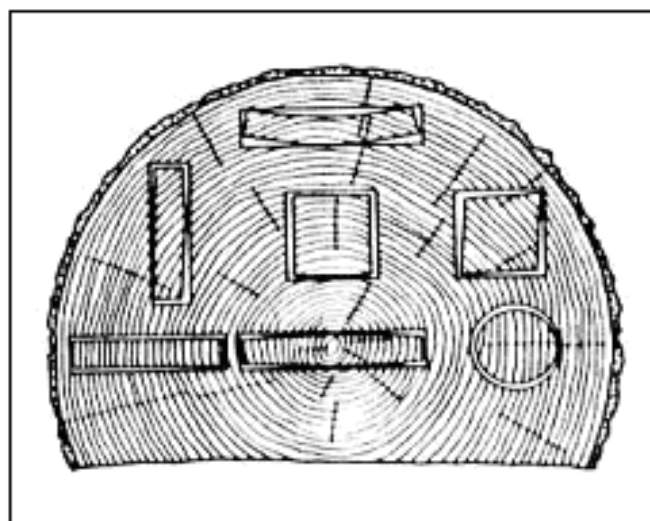


Figure 1.6: Gauchissement de différentes sections.

d. RETRAIT ET GONFLEMENT

A mesure qu'il se dessèche et s'éloigne du point de saturation des fibres, le bois diminue dans ses dimensions et par conséquent dans son volume. On dit qu'il subit un retrait (comme le béton).

Le bois se met dans un état d'équilibre avec l'humidité ambiante, par conséquent le taux d'humidité peut varier si le milieu présente lui-même une humidité variable. Il en résulte des variations dans l'état hygrométrique et ces variations s'accompagnent des variations dimensionnelles et volumétriques dans les deux, on dit que le bois travaille. Il en résulte l'apparition d'un jeu dans les assemblages.

L'importance des variations dimensionnelles n'est pas la même suivant les espèces, mais est surtout variable suivant les directions considérées.

- * dans le sens de l'axe de l'arbre le retrait est pratiquement négligeable.
- * dans le sens radial il est beaucoup plus important, atteignant jusqu'à 3 ou 9% de la largeur des planches ou plateaux.
- * dans le sens tangentiel enfin le retrait peut atteindre 3 fois la valeur du retrait radial.

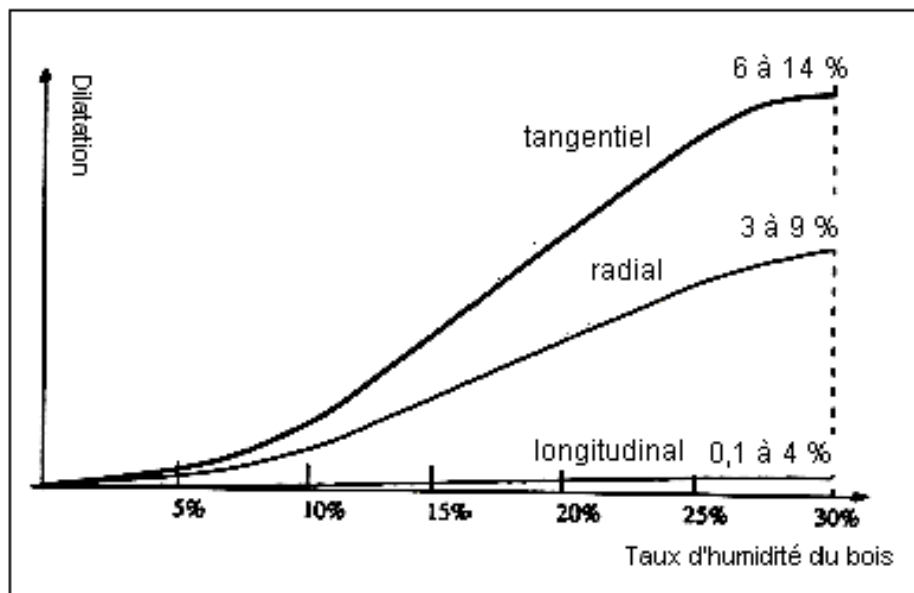


Figure 1.7 : Retrait du bois selon les trois directions.

e. LA MASSE VOLUMIQUE ET LA DENSITE

Il faut distinguer entre densité réelle ou absolue du bois (qui est densité de manière ligneuse) et densité apparente de la masse du bois.

Pour mesurer la densité réelle on réduit le bois en poudre impalpable. On peut constater alors que la densité de la matière ligneuse est sensiblement la même quelle que soit l'espèce considérée. Elle est comprise entre 1,40 et 1,50.

C'est la densité qu'on approche en réduisant à néant par compression, la porosité du bois. Mais il ne s'agit là que d'une curiosité scientifique. La densité qui intéresse le fabricant est la densité apparente. Cette densité apparente est très variable :

- * d'une espèce à une autre.
- * dans la même espèce suivant les conditions de climat, de sol, de luminosité, donc d'exposition.
- * dans les diverses parties d'un même bois : le cœur est plus dense que l'aubier. Le bois de la base de l'arbre est plus dense que celui du sommet.
- * mais surtout pour un même bois la densité varie beaucoup en fonction de la teneur en eau.

On ne peut donc faire de comparaisons utiles que si l'on convient d'un pourcentage commun à toutes les éprouvettes. A cet effet le taux de 15% a été retenu. Pour mesurer la densité il faut peser soigneusement un échantillon de volume connu et établir le rapport (**poids / volume**). Au laboratoire on opère sur des volumes de l'ordre du centimètre cube : On peut déterminer le volume exacte de l'éprouvette dans un appareil appelé voluménomètre à mercure (le mercure ne pénétrant absolument pas dans les porosités du bois, on aura la mesure du volume apparent et donc, en fin de compte la densité apparente).

L'appareil rempli de mercure est surmonté d'un couvercle muni d'une tubulure graduée. Lorsque l'on visse de couvercle, le mercure atteint le zéro de la graduation. Mais si l'on introduit l'échantillon dans le voluménomètre avant de visser le couvercle, le mercure montera plus haut, et de la différence des deux niveaux on déduit le volume.

La densité étant variable pour les raisons que nous avons énumérées plus haut. On peut donc que donner des densités moyennes.

Tableau 1.5 : densité des résineux.[www.cndb.org]

RESINEUX		
Masse volumique à 15% (g/cm ³)	Qualification	Exemples
Au dessous de 0.4	Très légers	Pin Weymouth
0.4 à 0.5	Légers	Spin, Epicéa
0.5 à 0.6	Mi-lourds	Pin sylvestre
0.6 à 0.7	Lourds	Pin maritime
Au dessus de 0.7	Très lourds	Pin laricio, pitchpin

Tableau 1.6: densité des feuillus.[www.cndb.org]

FEUILLUS		
Masse volumique à 15% (g/cm ³)	Qualification	Exemples
Au dessous de 0.5	Très légers	Peuplier
0.5 à 0.65	Légers	Tilleul, bouleau, Erable, Frêne, Hêtre tendre
0.65 à 0.7	Mi-lourds	Chêne, Hêtre dur, Orme
0.8 à 1	Lourds	Charme, Buis
Au dessus de 1	Très lourds	Certains bois exotiques

f. L'HUMIDITÉ

Au laboratoire la détermination du taux d'humidité est facile à réaliser même avec précision. Une éprouvette est pesée, puis desséchée dans une étuve à 103-110° C. Ce taux est calculé en fonction du poids total, c'est à dire du poids du bois vert, c'est-à-dire du bois humide (B_h). C'est d'ailleurs le plus souvent ainsi que l'on s'exprime dans l'industrie. Cependant, si l'on se conforme aux proscriptions de la norme AFNOR 1351004, on doit mesurer le taux d'humidité d'un bois en pourcentage du poids du bois anhydre c'est-à-dire absolument sec (B_s). Évidemment les résultats seront d'autant plus différents que le taux d'humidité est plus élevé.

Le taux d'humidité (H) d'un échantillon de bois s'exprime en pourcentage. Il est égal à la masse d'eau comprise dans l'échantillon (M_h) par rapport à la masse sèche (M_s).

$$\text{Taux d'humidité} = \frac{M_h - M_s}{M_h} * 100$$

Avec : Mh masse humide de l'échantillon en (g).

Ms masse sèche de l'échantillon en (g).

La norme française (NF B 51-004 février 1942) préconise de mesurer la masse sèche d'un échantillon après séchage à 105°C jusqu'à obtention d'une masse constante.

1.1.5. DURETÉ DU BOIS

La dureté u bois est difficile à définir par un essai standard de pénétration d'une bille d'acier en raison de son hétérogénéité (alternance de bois de printemps plus tendre et bois d'été, plus dur). La norme française NF B-51 -013 définit la dureté par un essai de pénétration de flanc (perpendiculaire à l'axe) intéressant une surface assez large pour comprendre à la fois un assez grand nombre de couches annuelle.

1.1.6. CLASSEMENT DU BOIS

La présence de défaut ne doit pas interdire l'utilisation des bois mais seulement la limiter à certains domaines, ainsi la notion de classement du bois est née. Des règles de classement apparaissent au début aux Etats unis et à partir des années 1930, successivement dans différents pays d'Europe, le classement est réalisé par un examen visuel du bois en prenant en compte les facteurs de réduction de la résistance qui peuvent être examinés. Ces facteurs sont principalement les nœuds et la largeur des cernes d'accroissement. Le tableau ci-dessous résume la norme française (NF B 52-001) relative à la classification des bois commerciaux.

Tableau 1.7 : Classification des bois.[www.cndb.org]

Critères de classification		Catégorie I	Catégorie II	Catégorie III	
		Très bon choix	Bois de choix	Bois sain	
Pente du fil sur une face en [%]	générale ...	$\leq 7\%$	$\leq 12\%$	$\leq 18\%$	
	locale ...	$\leq 10\%$	$\leq 20\%$	$\leq 25\%$	
Nœuds accepté en [mm] Sains et adhérents, non groupés		de $\varnothing \leq 30$ mm	de $\varnothing \leq 40$ mm	Sans limitation de diamètre	
Fente		Superficielles et aux extrémités			
		Arêtes vives		Avec flaches accidentelles	
épaisseur moyenne des couches annuelles en [mm]	Chêne...	7	> 4	Aucune Restriction	
	Résineux...	3	≤ 5	< 10	
Contrainte admissible en bars à 15% d'humidité	Compression axiale	Chêne...	100	90	70
		Résineux...	90	80	60
	Flexion	Chêne...	110	100	80
		Résineux...	100	90	70

Il est à noter que malgré le quasi exclusivité du classement visuel, le classement automatisé se développe et commence à être utilisé voir imposé dans des pays comme le **Canada**.

1.1.7. LES DÉFAUTS DU BOIS

Le bois présente parfois des anomalies ou défauts qui modifient ses propriétés. Ces défauts sont de deux origines ; végétative ou dus à des causes extérieures.

- Défauts d'origine végétative :

a. Les nœuds :

Les nœuds sont constitués par des branchements dont il ne subsiste que la base par suite de la chute du rameau. La portion du rameau qui subsiste est ultérieurement recouverte par les formations annuelles. Il résulte de cette origine que la plupart des nœuds ne peuvent se déceler par un examen extérieur du tronc.

Forme de nœuds du bois : la forme sous laquelle apparaissent les nœuds dépend du débit et de l'orientation du trait de scie par rapport à la branche: circulaires ou ovales dans le débit tangentiel ils se présentent sous forme de nœuds plats dans un débit radial.

Dimensions: Le diamètre est variable suivant l'importance de la branche dont ils sont issus. Il entre en ligne de compte dans la classification des pièces de bois.

Ainsi on peut considérer comme

Très petits, ceux qui ont moins de 5 mm de diamètre.

Petits, de 5 à 15 mm de diamètre.

Moyens, de 16 à 25 mm de diamètre.

Gros, de 25 à 40 mm de diamètre.

Très gros, ceux qui ont plus de 40 mm de diamètre.

b. Accentuation de la forme tronconique :

C'est la décroissance du diamètre de la base au sommet d'un arbre.

c. Courbure des tiges :

Certaines courbures ont une origine héréditaire mais le plus souvent la courbure d'un tronc a une cause accidentelle : poids de la neige, vent dominant, voisinage d'un mur élevé, d'un bâtiment.

d. Excentricité du cœur :

On constate ce défaut chez les arbres qui ont poussé sur des pentes rapides ou chez ceux qui sont soumis à des vents dominants. Les couches concentriques sont de largeur variable : d'un côté amincies et, de l'autre élargies. Ces bois se déforment tellement au retrait qu'ils doivent être exclus de toute fabrication.

e. Torsion des fibres

Les fibres ne sont pas toujours verticales dans l'arbre sur pied. Elles sont parfois disposées suivant une hélice d'inclinaison variable avec les essences et les conditions de végétation.

f. Fibre ondulée

Les fibres sont disposées suivant une ligne sinueuse par rapport à l'axe de l'arbre. Lorsque ce défaut se combine à une certaine dureté, il donne des bois qui se déforment beaucoup au séchage, qui sont difficiles à usiner et à polir.

g. Bois madré

On appelle ainsi un bois dont les éléments constitutifs sont enchevêtrés en tous sens.

- **Défauts dus à des causes extérieures :**

Ces défauts sont dus à des causes climatiques, à l'action des végétaux parasites, ou à des accidents multiples auxquels les arbres sont exposés.

Le froid, la chaleur et la sécheresse, le vent, la foudre, la neige et la pluie peuvent, -par leurs excès, provoquer l'apparition de certains défauts importants. On peut citer :

a. La gélivure

La gélivure se produit principalement lorsque le froid survient très brutalement, après une période relativement douce. L'éclatement se fait suivant un rayon médullaire, après un gonflement dû au gel de la sève dans tout le tronc. Les bois atteints de gélivure (assez souvent le chêne, l'orme, le peuplier, le noyer) sont difficilement utilisables.

b. Roulure

C'est une séparation de deux couches consécutives annuelles qui ne sont plus adhérentes. La roulure est souvent provoquée par un hiver très rigoureux. Un bois roulé est inutilisable.

c. Fissures internes

Les fissures internes peuvent avoir des causes variées, elles peuvent aller de simples sillons dans l'écorce à l'éclatement à peu près total.

d. Cadranure, Cœur étoilé

Ce sont des fentes radiales partant du cœur. On les rencontrera dans les arbres vétustes. L'arbre cadran est sans valeur comme bois d'œuvre si les cadranures sont importantes.

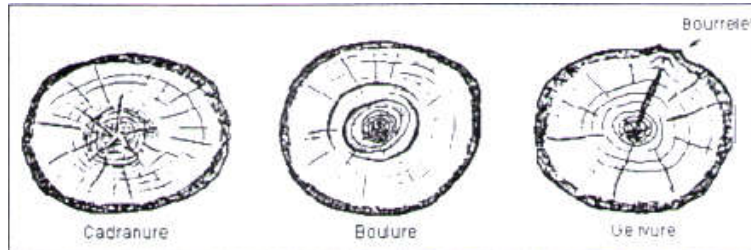


Figure1.8: Défauts du bois dus à des causes extérieures.

1.2. LES PRODUITS DU BOIS RECONSTITUÉS (LES NOUVEAUX VISAGES DU BOIS)

1.2.1. BOIS MASSIFS STRUCTURAUX

a. BOIS SCIÉS :

Pièces de bois obtenues à partir de grumes ou de pièces de bois de plus fortes dimensions, par enlèvement de sciure ou de plaquettes dans le sens longitudinal, complété éventuellement par un tronçonnage et/ou un usinage supplémentaire en vue d'obtenir le niveau de précision requis.[9]

b. SCIAGES STRUCTURAUX :

Pièces de bois sciées entrant dans la constitution d'un ouvrage et ayant comme fonction principale la résistance aux différentes charges que cet ouvrage doit supporter au cours du temps.[9]

Un produit de bois d'ingénierie peut se définir comme un produit structural fabriqué à partir de billes de bois réduites en petits morceaux de bois (en copeaux, en bois de sciage de courtes longueurs ou en minces placages). Le principe d'un produit de bois d'ingénierie structural est de permettre une meilleure utilisation de la matière première, d'éliminer les principaux défauts et les points faibles du bois (ou du moins de réduire leurs impacts), de réduire les résidus de bois et de réduire la quantité de bois requise en fabriquant un produit plus fort et plus homogène.[5]

Le bois d'ingénierie a été conçu pour remplacer le bois massif traditionnellement utilisé dans l'industrie de la construction. Celui-ci vise à offrir des performances supérieures au bois naturel, dans le sens où il est en mesure de rencontrer des exigences plus élevées en terme de résistance

mécanique et de rigidité et en terme également de portées (Lamy 1995). Ce produit utilise du bois de petites sections pour une meilleure résistance mécanique finale bien que sa fabrication nécessite plus d'ingénierie, de conception, de connaissances et de maîtrise technique. Le marché du bois d'ingénierie a connu une croissance très rapide au cours des dix dernières années et il continue de se développer. Par exemple, le rythme de croissance aux Etats-Unis d'Amérique est d'environ de 250 millions de pieds mesure de planche par année et la tendance devrait se poursuivre. [5]

Plus particulièrement, les produits de bois d'ingénierie que nous visons dans le cadre de ce travail sont ceux utilisés comme substituts aux bois de sciage (ou de charpente) conventionnels pour des applications structurales. Cette classe de produits de bois d'ingénierie structuraux regroupe plusieurs types de produits, dont les poutrelles en I, les fermes à connecteurs métalliques, les lamellés-collés et les bois aboutés. Or, il existe d'autres types de bois d'ingénierie qui entrent dans la même catégorie, dont les bois de charpente composites (SCL) : les bois en placages stratifiés (LVL), les bois de copeaux parallèles (PSL), les bois de copeaux laminés (LSL) et les bois de copeaux orientés (OSL).

Par contre, la fabrication de ces derniers ne nécessite pas l'usage de bois aboutés. Les produits de bois d'ingénierie structuraux offrent la résistance et la rigidité supérieure par rapport aux bois des sciages traditionnels; ils donc peuvent supporter de plus grandes charges lors de la conception d'une charpente. Les poutrelles en I et les fermes à connecteurs métalliques sont généralement conçues pour supporter des charges de gravité.

Les poutrelles sont soumises à des efforts de flexion et de cisaillement tandis que les membrures des fermes sont globalement soumises à des efforts de flexion, de traction ou de compression. Les lamellés-collés et les bois de charpente composites peuvent être conçus pour résister à des efforts de flexion et cisaillement (poutres et poutrelles) ou à des efforts de compression et de traction axiale (colonnes, montants ou contreventements). Dans le cadre de ce travail, nous nous concentrerons sur les éléments soumis à des efforts de flexion/axial (σ) et de cisaillement (τ), donc des poutrelles et des poutres en bois d'ingénierie structuraux. La Figure 19 illustre ces contraintes pour le cas d'une poutre/poutrelle de section rectangulaire homogène sur deux appuis simples. Chaque produit d'ingénierie structural décrit ci-après agira différemment à ces contraintes et la disposition du bois doit être optimisée selon des principes d'ingénierie connus.[5]

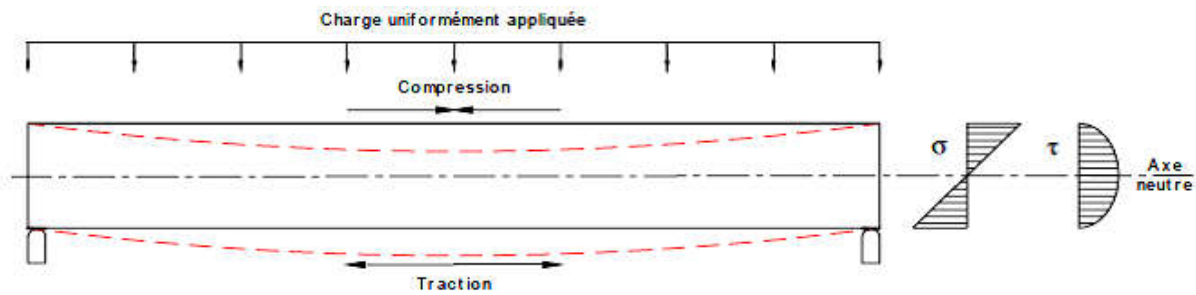


Figure 1.9 : Principales contraintes internes d'un élément fléchi.

1.2.2. LA POUTRELLES EN I

Les poutrelles de bois en I sont constituées de semelles de bois de sciage abouté (classé visuellement ou mécaniquement MSR) ou de bois de charpente composite (en placages stratifiés LVL ou en bois de copeaux longs laminés LSL) solidarisées au moyen d'un adhésif hydrofuge à une âme de panneau de lamelles orientées (OSB) propre à chaque manufacturier. On obtient ainsi un élément dimensionnellement stable doté de caractéristiques mécaniques connues et uniformes. Les poutrelles en I sont généralement fabriquées en grandes longueurs, ce qui permet de les utiliser en portée continue ou de les couper à la longueur désirée. On les utilise pour toutes sortes de planchers, ainsi que pour les toits. [8]



Figure 1.10: Poutrelles en I.

Selon les contraintes internes développées suite à un effort de flexion, la semelle supérieure de la poutrelle sera soumise à une contrainte de compression et, à l'inverse, la semelle inférieure sera soumise à une contrainte de traction. De son côté, l'âme de la poutrelle reprend peu de ces contraintes, mais reprend principalement la contrainte de cisaillement (FPL 1999). La Figure 21 illustre la distribution des contraintes internes dans une poutrelle en I. [5]

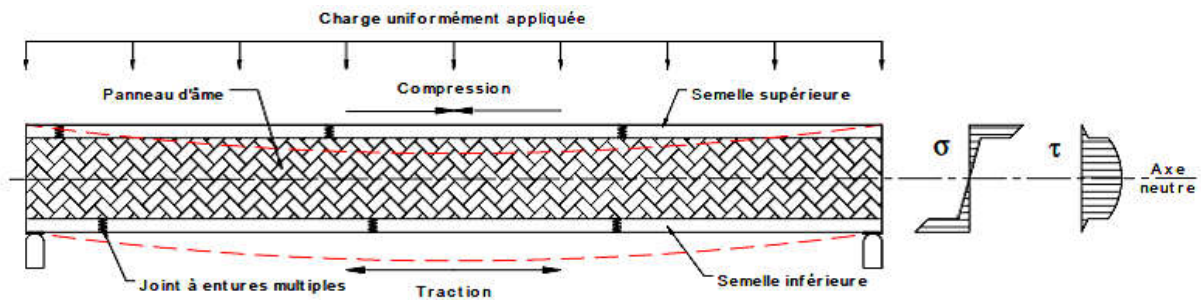


Figure 1.11 : Principales contraintes internes d'une poutrelle en I fléchiée.

De tous les produits d'ingénierie destinés à la construction de planchers, les poutrelles en I ont connu le plus grand succès. Les principaux avantages de ce produit sont sa légèreté et sa facilité de mise en œuvre.[5]

1.2.3. LA FERME A CONNECTEURS METALLIQUES

L'utilisation des fermes en bois est largement répandue dans la construction résidentielle (résidences unifamiliales et multifamiliales) ainsi que dans la construction commerciale, agricole et institutionnelle. Une ferme est un cadre structural triangulé (treillis) composé d'âmes et de membrures pour transmettre les charges aux appuis (Figure 22 et Figure 23).[5]

Tout comme la poutrelle en I, cette disposition lui confère un ratio résistance/poids élevé ce qui permet d'adopter des portées plus longues que les solives traditionnelles. La forme et la taille des fermes ne sont limitées que par les contraintes de fabrication, d'expédition et de manipulation. Les fermes en bois sont préfabriquées en les assemblant par des connecteurs métalliques (plaques) posées sur les éléments de bois taillés en forme et en longueur et disposés dans un gabarit qui leur donne leur forme (CCB 2001). La résistance en flexion et la rigidité flexionnelle de la ferme à connecteurs métalliques seront grandement influencées par la qualité et la résistance du bois utilisé dans les membrures supérieures et inférieures.[5]

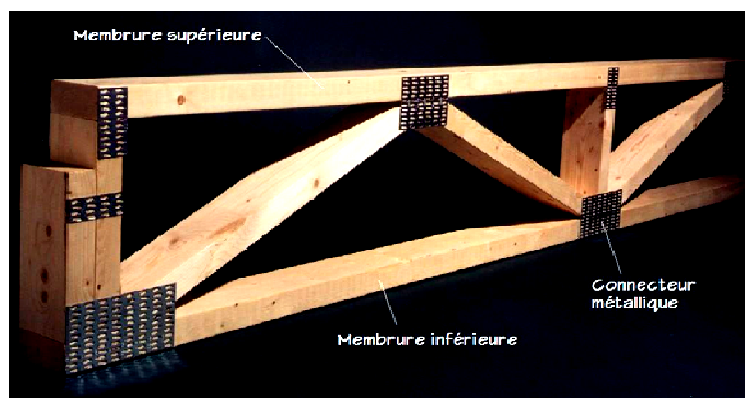


Figure 1.12 : Ferme de plancher à connecteurs métalliques (JBS 2005).



Figure 1.13 : Fermes de toit à connecteurs métalliques (WTCA 2005).

Selon le Conseil Canadien du Bois (2001), plusieurs maisons neuves utilisent des fermes en bois. Grâce à une utilisation efficace du bois et à l'aide d'un système permettant de s'installer en la moitié moins de temps que la charpente conventionnelle, les fermes en bois préfabriquées constituent une solution économique à la construction. Tout comme les autres produits d'ingénierie, les fermes en bois optimisent l'utilisation du bois à chaque application, ce qui augmente les avantages environnementaux.[5]

Or, à notre connaissance, les fabricants de fermes en bois n'utilisent pas (ou peu) le bois abouté par entures multiples pour les membrures supérieures et inférieures des fermes à membrures parallèles. Ils utilisent du bois de charpente conventionnel allant jusqu'à 6,6 m de longueur maximale. Lorsque la fabrication des fermes nécessite de plus longues pièces de bois, ils ont alors recours aux connecteurs métalliques afin de relier les membrures entre elles (communément appelées les entures). Le bois abouté serait, à notre avis, une bonne alternative dans la fabrication de fermes à connecteurs métalliques afin de réduire les entures dans les membrures supérieures (chevrons) et les membrures inférieures (entraits).[5]

Dans une récente étude, Desjardins & Grandmont (2004) stipulent que l'emploi de membrures en bois abouté par entures multiples ne présente aucun risque dans la fabrication de fermes à membrures parallèles en bois formées avec des connecteurs métalliques. Cette étude démontre également qu'aucune réduction de résistance et aucune différence relativement aux modes de défaillance n'ont été révélées. Les résultats obtenus sont favorables à l'utilisation de membrures en bois abouté par entures multiples dans la fabrication de fermes en bois à membrures parallèles. Il semble toutefois que l'industrie soit toujours réticente à aller dans ce sens et qu'elle demande d'autres études permettant de valider les résultats de cette étude dans tous les cas d'espèce.[5]

1.2.4. LE LAMELLÉ-COLLÉ

L'origine du lamellé-collé remonte au XVI^e siècle même si son utilisation demeure récente. C'est la mise au point de colles adaptées (caséine), au début des années 1900, qui a permis son développement.

Le bois lamellé-collé est la synthèse de la transformation industrielle du bois, matériau naturel dont il hérite de toutes les qualités et dont il a été épuré des principaux défauts.

Le bois lamellé-collé est une reconstitution d'une pièce massive à partir de lamelles de bois assemblées par collage. Ces lamelles sont disposées de telle sorte que leurs fils soient parallèles. Le principe du bois lamellé-collé consiste à abouter des planches de résineux de faible épaisseur avec des entures multiples. Les lamelles ainsi obtenues sont ensuite rabotées, encollées, superposées et maintenues sous pression jusqu'à polymérisation et stabilisation de la colle. La figure 24 illustre clairement la superposition des planches observées à l'extrémité de sections en BLC. [10]

Enfin, ce matériau est caractérisé comme léger et résistant. Par exemple pour une résistance sensiblement équivalente, le bois lamellé-collé est cinq fois plus léger que le béton.



Figure 1.14 : Exemples de sections en bois lamellé-collé.

Les lamelles sont disposées, selon des principes d'ingénierie connus, de façon à créer la combinaison permettant d'aller chercher les meilleures propriétés mécaniques. La résistance d'un lamellé-collé dépendra alors de la qualité et de la disposition des lamelles de bois, selon que les lamelles de haute qualité (de meilleures propriétés mécaniques) sont en haut ou en bas (un lamellé-collé débalancé), ou des deux côtés (balancé). Donc, de façon générale, les lamelles de bois de meilleure qualité sont disposées aux extrêmes (supérieur et/ou inférieurs) dépendant de l'utilisation finale de la poutre. Le cœur de la poutre, étant moins sollicité par des efforts de traction/compression, est habituellement fait de bois de qualité visuelle, de moindre qualité (Figure 25). C'est dans cette perspective que l'on peut dire que le lamellé-collé utilise avantagement la ressource bois en tant que produit de bois d'ingénierie structural.[5]

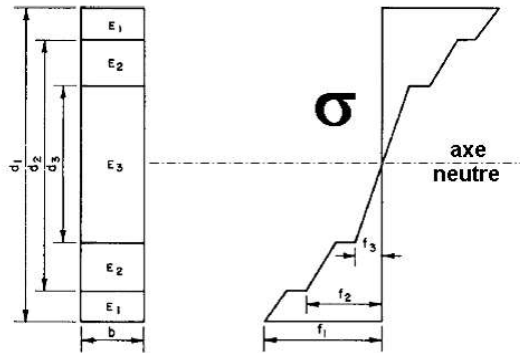


Figure 1.15 : Zones de contraintes d'un lamellé-collé (adaptée d'ASTM 2005a).

Selon les efforts internes développés suite à un effort de flexion, un lamellé-collé peut se diviser en trois zones critiques. La Figure 25 illustre ces zones ainsi que la distribution des contraintes à travers un lamellé-collé de type balancé (disposition symétrique des lamelles de part et d'autre de l'axe neutre). Les trois zones sont la zone externe en traction/compression (E1), la zone interne en traction/compression (E2) et le cœur (E3). Ce sont ces zones que le concepteur du lamellé-collé doit vérifier lors de la conception et de la détermination de l'ordre des lamelles pour la fabrication.[5]

Les contraintes maximales de traction et de compression agissent aux zones externes (lamelles externes) selon la distribution montrée à la Figure 25. Le matériel de ces dernières doit alors être particulièrement d'une grande résistance en traction car ce sont les régions les plus critiques à la rupture (rupture fragile du bois). À cet effet, ces lamelles doivent rencontrer une panoplie de critères de qualité et de résistance, ce dernier critère étant généralement le plus restrictif et sélectif dans l'approvisionnement du bois.

Afin de trouver une alternative aux lamelles externes en bois de haut grade, l'industrie du lamellé-collé continue d'innover par l'utilisation de bois de placages stratifiés (LVL), derenforts de couches de matériaux composites fibreux et des bois de feuillus.[5]

1.2.5. BOIS DE PLACAGES STRATIFIÉS (LE LAMIBOIS LVL)

Le lamibois est la dénomination française de LVL : Laminated Veneer Lumber. Ce matériau structurel se compose de minces feuilles de placage – 3 mm en moyenne – collées à fil parallèle ou contrecollées, avec des contraintes de fabrication qui s'apparentent à celles du contreplaqué : le dimensionnement final requiert une machinerie lourde et d'importants financements. Il contient entre 10 et 20 % de colle par mètre cube, une proportion nettement supérieure à celle des matériaux décrits plus haut. Le LVL se présente en plateaux larges (1,80 m ou plus), dans des épaisseurs

variant de 25 à 75 mm selon le nombre de plis. Ses longueurs sont importantes et peuvent dépasser les 18 m. En fonction de la sélection des placages et des méthodes d'assemblages, ses performances mécaniques évoluent mais restent toujours élevées en contraintes axiales, soit le double d'un bois massif. On emploie le lamibois pour réaliser les linteaux ou les lisses de ceinture des maisons à ossature bois, en membrure de poutre composite en I, disposé sur chant (section rectangulaire) et en panneau autoporteur (section plate) ou encore pour supporter les couvertures et planchers.[3] [2]



Figure 1.16 : (LVL) formé de placages d'épicéa de 3 mm.

1.2.6. LE PANNEAU MASSIF CONTRECOLLÉ

Le panneau massif contrecollé, connu sous l'appellation « Cross laminated timber » (CLT), se distingue d'abord par son format « façade ». Avec des longueurs pouvant atteindre 16 m, voire plus, des épaisseurs standard comprises entre 40 et 60 cm et sa capacité de reprise de charges, il offre de grandes possibilités architecturales. Les panneaux sont réalisés à partir de trois à sept planches contrecollées à plis croisés, contre-clouées, ou assemblées par des tourillons de bois. Cette technique offre une tenue parfaite dans le temps, ainsi qu'une excellente stabilité dimensionnelle et mécanique : l'entrecroisement des lamelles limite au maximum les phénomènes de dilation et de contraction du bois. Aussi, ce type de matériau permet-il une mise en œuvre étonnamment rapide, avec des temps de positionnement et de montage très courts. C'est la raison pour laquelle il est fortement plébiscité pour la construction d'immeubles, de ponts, de bâtiments publics, industriels et commerciaux. Ses propriétés remarquables sur le plan de l'étanchéité à l'air, de la transmission de chaleur, de la régulation de l'air intérieur, de la diffusion de la vapeur, ainsi que sa surface régulière en font un produit de luxe, peu utilisé en maison individuelle.[2]



Figure 1.17 : (CLT) Panneau massif contrecollé grand format.

1.2.7. BOIS DE COPEAUX PARALLELES (PSL – PARALLEL STRAND LUMBER)

Le PSL est composé de longs copeaux d'au plus 6,4 mm d'épaisseur et d'une longueur de 610 mm à 2 400 mm, tous collés parallèlement les uns sur les autres et pressés pour former des éléments en continu. Les billes de grosses sections obtenues sont refendues pour produire des sections plus petites. Ce matériau est très résistant, il est esthétique et est souvent laissé apparent. On l'utilise comme poteaux, poutres maîtresses et linteaux de grande portée.[8]



Figure 1.18 : (PSL) Bois de copeaux parallèles.

1.2.8. LES BOIS DE COPEAUX LONGS LAMIFIES (LSL – LAMINATED STRAND LUMBER)

Le LSL est composé de longs copeaux d'au plus 2,54 mm d'épaisseur et d'une longueur moyenne de 305 mm, tous collés parallèlement les uns sur les autres et pressés pour former des éléments en continu. En apparence, le LSL ressemble au panneau d'OSB. Il est produit en plusieurs largeurs comme 32 mm, 45 mm et 89 mm dans des hauteurs de 235 mm à 483 mm. C'est un produit très polyvalent qui peut être utilisé comme solives de rive, colombages pour murs de grande hauteur, poutres ou linteaux de portée moyenne.[8]



Figure 1.19 : (LSL)Les bois de copeaux longs lamifiés.

Tous les produits de bois d'ingénierie structuraux décrit auparavant ont avantage à utiliser le bois abouté par entures multiples que l'on va le définir.

1.3. LE BOIS ABOUTÉ

L'aboutage (ou jointage) consiste à reconstituer des pièces de bois en assemblant bout à bout des pièces courtes à l'aide d'un adhésif après avoir façonné une série d'entures dans les extrémités des pièces courtes. Cette méthode d'aboutage a pris naissance aux États-Unis dans les années 20, répondant surtout à l'époque aux besoins de l'industrie de l'automobile.

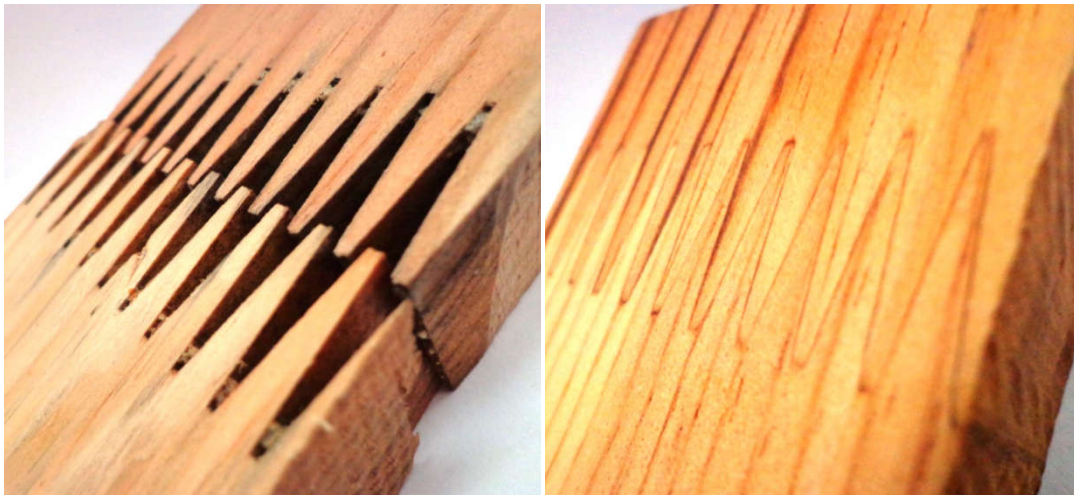


Figure 1.20 : Le bois abouté. A: avant l'encollage sous pression, B: le produit final.

1.3.1. DEFINITION

Bois de structure à section rectangulaire avec aboutage à entures multiples collées, qui correspond à un aboutage à auto-emboîtement, formé en usinant dans les extrémités de membrures de bois un certain nombre d'entures similaires, coniques et symétriques, assemblées ensuite par collage.[7][12]

1.3.2. LES CONSTITUANTS DE BASE

D'un point de vue de conception, il permet de réaliser de grandes portées. Dont les matériaux de bases sont :

1.3.2.1. LE BOIS

Le bois utilisé doit être purgé de singularités surtout les nœuds parce que les nœuds ont une impotence énorme dans les règles de classement des bois (les nœuds responsables de concentration des contraintes. Il faut éviter la présence des nœuds près de joints. De préférence, il doit sélectionner des pièces sans nœuds pour éviter des amorces de rupture.). Le bois destiné au collage

est, avant toute chose, séché artificiellement puis stabilisé. Les parasites éventuellement présents en son sein sont ainsi éliminés.

1.3.2.2. LA COLLE

a. DÉFINITION

Les colles ou adhésifs utilisées comme organes d'assemblages des bois massifs ou des produits dérivés en vue de la réalisation de matériaux pour la construction.

b. FONCTION DE LA COLLE

L'adhésif accomplit les tâches suivantes:

- ✓ Assurer la transmission des efforts du bois.
- ✓ Empêcher les jeux entre le bois et les organes d'assemblage.
- ✓ Renforcer localement le bois.

c. TYPES DE COLLE

Les adhésifs pour usage structurel se divisent en deux types comme suit :

Type 1: L'adhésifs Phénoliques; cela concerne les adhésifs Résorcine Phénol-Formol

Type 2: L'adhésifs Aminoplastes; cela concerne:

Les Urée formol spécifiques pour usage en structure.

Les Mélanine Urée formol pour usage en structure.

1.3.3. LES ÉTAPES DE FABRICATION DE BOIS ABOUTÉ

Le procédé d'aboutage est connu comme la méthode la plus stable pour l'assemblage des bois dans le sens longitudinal. On indique que la procédé se fait selon soit la formule classiques (à l'état ces) ou bien suivant la deuxième façon (la nouvelle formule est l'above = l'aboutage de bois vert).

Les étapes de fabrication de bois abouté (méthode classique) sont:

- Sciage et tri des bois (trilage se fait par les procédés visuel et mécanique, lors de cette opération les défauts de bois, comme les nœuds ou les flaches de taille importante, sont marquées et éliminées par la suite).

- Séchage ou stabilisation en humidité ; après le sciage et tirage, la fabrication commence par le séchage de bois ou le taux d'humidité est réglé à 15% (+/- 3%). Ce chiffre correspond aux conditions d'humidité prévus pendant l'utilisation, ce qui permet d'exclure le risque de déformations importantes causées par le retrait du bois qui continu à sécher après sa mise en œuvre.
- Purge des lamelles; dans cette opération, on purge le bois par l'élimination de leurs défauts.
- Aboutage et mise à longueur; aux extrémités des pièces, qui sont de longueur différentes, on usine des entures, puis on procède à l'aboutage et à l'encollage sous pression. Cette technique permet de fabriquer de manière traditionnelle des bois d'une longueur en théorie illimitée.
- Stabilisation pour durcissement complet des joints d'aboutages.
- Rabotage pour mise à section final; une fois la colle durcisse, les produit sont rabotes sur les quatre cotés et chanfreinés, on obtient le produit final.

Les étapes; sciage, séchage et rabotage du bois sont des étapes indispensables si l'onsouhaite obtenir des pièces rectilignes avec des cote très précises et en une variant pas dans le temps.

1.3.4. LE PROCÉDÉ D'ASSOCIATION BOIS-COLLÉ (L'ABOUTAGE)

Nous nous soupçonnons donc leprocédé d'aboutage par entures multiples dans cette section.

1.3.4.1. DÉFINITION[1]

L'aboutage a entures multiples est un assemblage longitudinal réalisé par le collage de pièces de bois de fil et aux extrémités desquelles ont été pratiqués des coins trapézoïdaux semblables, appelés entures.

Le but de l'aboutage est d'obtenir des pièces de grandes longueurs a partir de petites dimensions. De plus, avec ce procédé, on peut supprimer les singularités du bois en ne gardant que les zones de premier choix de la pièce. Par conséquent, on peut améliorer les propriétés physiques et esthétiques de la pièce en question. Avec cette méthode, on peut alors utiliser des bois de second choix, ce qui influe directement sur l'aspect financier d'une entreprise.

On utilise principalement ce type d'usinage dans la fabrication de poutres en I, de poutres lamellées-collées, et dans la fabrication de certaines menuiseries.

1.3.4.2. PRÉSENTATION DES DIFFERENTS TYPES D'ABOUTAGE

A l'heure actuelle, l'industrie de l'aboutage utilise différents profils d'entures. Ces choix ne sont pas anodins. En effet, ils influent directement sur les caractéristiques mécaniques et l'aspect esthétique du produit mis en œuvre.

a. HISTORIQUE[1]

D'après Gaiffe, on a vu en Allemagne les premières applications en Allemagne de cette technique d'assemblage pour la construction de ponts lors de la Seconde Guerre mondiale. [1]

L'aboutage de pièces de bois permettant l'utilisation de pièce unique fut beaucoup utilisé au cours du XX^e siècle pour la fabrication d'aéronefs, et aux Etats-Unis pour la réalisation d'hélice d'hélicoptère dans les années 1940. Ce procédé utilisait des coupes en biseau de grandes longueurs afin de coller les pièces entre elles. Cette coupe en biseau fut développée compte tenu de la faible résistance qu'offrait l'aboutage bout à bout et fut améliorée afin de fournir une surface de collage presque parallèle au fil du bois. Cependant, ce type de joint n'a pas connu beaucoup d'expansion puisqu'il engendre une grande perte de longueur et qu'il permet difficilement d'obtenir une bonne exactitude ainsi qu'une bonne précision dans l'alignement des blocs. [4]

Au début des années 1950, des efforts furent concentrés au développement d'un profil de joint permettant d'obtenir un joint ayant une aussi bonne résistance, tout en n'augmentant pas le volume de bois à usiner. L'enture multiple, comme on la connaît aujourd'hui, a alors vu le jour.

En Europe, l'Allemagne fut le premier pays à définir une norme Din 68 140 par l'intermédiaire de l'Institut Allemand Otto Graf, conséquence d'un développement rapide dans la réalisation de pièce pour la construction.

Depuis, l'aboutage connaît un fort développement dans les pays boisés et devrait connaître un nouvel essor dans les années à venir en raison du souci écologique de limiter le gaspillage. En France deux normes lui sont consacrées : NF EN 385 (Aboutages à entures multiples dans les bois de construction. Exigences de performance et exigences minimales de fabrication) et NF EN 387 (Bois lamellé-collé. Aboutages à entures de grandes dimensions.).

Ainsi, un bois de moindre qualité peut être utilisé afin de concevoir un produit fini de meilleure qualité dont la résistance et l'apparence seront augmentées en y enlevant les défauts indésirables. Il faut cependant nuancer cette tendance avec l'arrivée massive du bois énergie, permettant de revaloriser des déchets autrefois jetés.

b. TYPE DE CONFIGURATION DES JOINTS[1][4]

Le choix des joints est la chose la plus importante pour la résistance mécanique. "Selbo" a testé plusieurs types de configurations de joints a la traction longitudinale (Figure 31). Ceux à entures multiples (B, C et D) présentent une meilleure résistance que ceux du bois colle bout a bout (A). Le joint a biseau (E), l'ancêtre du bois aboute, a été étudié par "Richards" et "Goodrick" et "Selbo". Toutes ces personnes s'accordent à dire que le joint biseau est le meilleur existant.

Cependant, il n'a pas connu d'essor de par la forte perte de matière qu'il génère. De plus, d'un point de vue purement pratique, il est difficile d'obtenir une bonne exactitude et une bonne précision dans l'alignement des blocs.

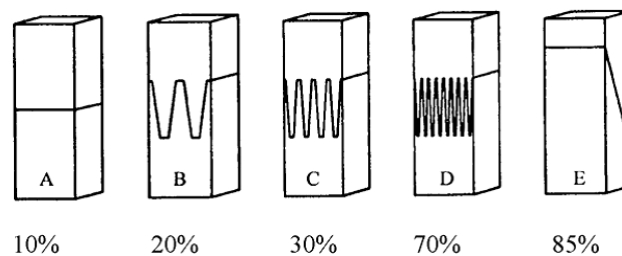


Figure 1.21: Effet du type de joint sur la résistance mécanique à la traction par rapport à celle du bois massif (d'après Selbo1975).

On retrouve communément trois configurations de joints structuraux a entures multiples dans l'industrie: sans épaulement (A), mâle-femelle (B) et inversée (C) (Figure 32).

Une étude menée par Forintek en collaboration avec l'Université de Laval a évalué la performance du bois d'épinette noir assemble par entures multiples. Des tests ont été effectués a la flexion et a la traction entre ces trois configurations de joints. Des différences significatives sont apparues pour la flexion avec une meilleure résistance de l'assemblage sans épaulement. En revanche, pour la traction, les résultats sont moins tranchés.

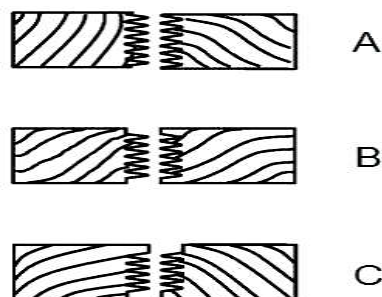


Figure 1.22: Types de configuration des joints A: Sans épaulement, B: Mâle-femelle, C: Inversée.

c. GÉOMÉTRIE DES JOINTS^{[1][4]}

La caractérisation géométrique des joints est principalement dictée par quatre variables: la pente, le pas, la longueur, et la largeur des extrémités d'entures (Figure 33).

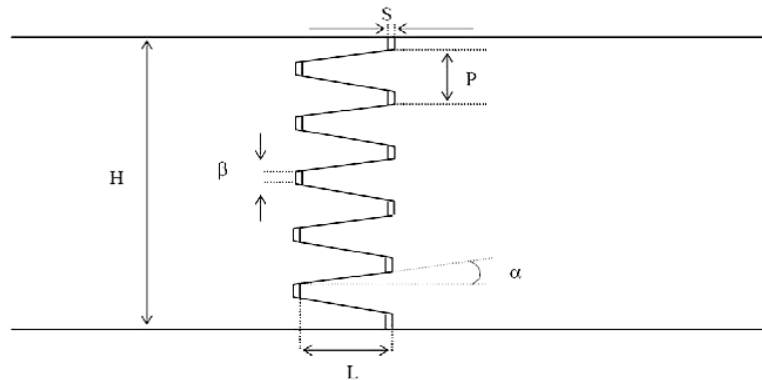


Figure 1.23: Nomenclature et géométrie d'aboutage.

Avec :

L : longueur

P : pas

b : épaisseur de l'extrémité de l'enture

a : pente

S : jeu au fond de l'enture

H : largeur totale de l'assemblage

Plusieurs auteurs se sont penchés sur la géométrie des joints. "Richards" et "Goodrick" ont évalué l'effet de la pente sur la résistance mécanique en traction. Les pentes étudiées ont été 1:6, 1:9, 1:12, et 1:15. Le rapport de pente 1:15^{ème} a obtenu 82% de résistance mécanique à la traction du bois massif, alors que la pente de 1:6^{ème} n'a atteint que 54% de cette résistance. On peut conclure en disant que plus la pente est faible, plus le collage résiste. Une étude de "Selbo" va également dans ce sens. Trois épaisseurs de l'extrémité de l'enture (b), de six pentes (a) et de six pas (P) ont été testées. Il en est ressorti que pour avoir une résistance au cisaillement mécanique optimale, il est nécessaire d'avoir une grande zone d'union collée et des entures minces. De plus, la traction longitudinale augmente avec la diminution de la pente (a). Il faut donc que les entures soient longues et à faibles pentes afin de disposer d'une bonne surface de collage.

Il faudra donc faire des choix entre de longues entures pour un usage structural, ou des entures plus courtes avec une moins bonne résistance mécanique. Le choix n'est pas anodin, car

plus les entures sont longues, plus les outils sont sophistiqués et le pressage devra être fort. Il y a également une plus grande consommation de colle, et enfin plus de casse lors de l'assemblage des deux pièces à abouter.

Après la pente et la longueur, l'épaisseur de l'enture b est le facteur le plus important affectant la résistance mécanique du joint. "Selbo" recommande d'avoir une épaisseur de l'enture la plus petite possible. "Strickle" va dans le même sens en préconisant un b n'excédant pas les 0,8mm.

d. LES CONTRAINTES DU PLAN DE COLLAGE ET LA SURFACE DE COLLAGE[5]

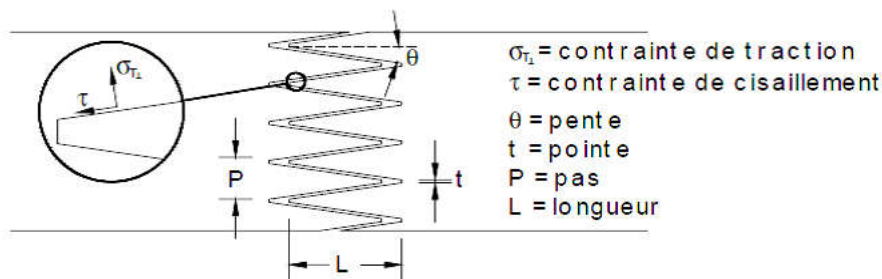


Figure 1.24 : Paramètres géométriques d'un joint à entures multiples sans épaulement.

Une surface de collage d'un joint par enture multiple est sujette à deux types de contraintes (Figure 34), soit une contrainte de cisaillement (τ) et une contrainte de traction perpendiculaire à la surface du joint ($\sigma_{T\perp}$) (Jokerst 1981, Mohammad 2002). Afin d'obtenir le maximum de résistance, il est recommandé que la surface de collage soit la plus grande possible et que la pointe soit la plus fine possible (Mohammad 2002, Selbo 1963).

Tel que mentionné précédemment, les joints par entures multiples sont considérés comme une zone de faiblesse dans la performance mécanique globale des produits de bois d'ingénierie structuraux (St-Pierre 2003). En effet, la résistance d'un bois abouté est inférieure à celle d'un bois non-abouté (Jokerst 1981). Selon le Forest Products Laboratory (1999), un bois abouté par entures multiples peut atteindre près de 75% de la résistance en traction d'un bois clair de défauts et montre un comportement identique à ce bois clair. Il est alors crucial d'effectuer un contrôle de la qualité sévère lors de la fabrication.

e. POSITIONNEMENT DES ENTURES[5]

Il existe trois principales orientations d'entures possibles: sur face, sur chant et inclinée.

Si l'on recherche un aspect esthétique sans de réelle résistance mécanique, on prendra un aboutage sur chant qui cachera les entures de la vue une fois la pièce de bois mise en œuvre. De plus, ce positionnement est préféré des industriels, car, de part ce positionnement qui prend moins de place que le tapis d'aménagé de la machine, l'usinage est plus rapide et donc plus rentable.

En revanche, des lors qu'une sollicitation mécanique est nécessaire, on préférera l'aboutage surface qui est relativement plus résistant. En effet, l'étude de "Tan" fait ressortir qu'une pièce aboutée sur face est 29% plus résistante qu'une pièce aboutée sur chant en compression.

"Jokerst" va dans le même sens pour les tests en flexion en expliquant que les contraintes se distribuent à travers toutes les entures pour les joints sur face, tandis que pour le joint sur chant, les entures extérieures supportent la plupart de la charge, ce qui affecte leur intégrité. Malgré ces deux études, "Janowiak" n'a pas trouvé les mêmes résultats et explique qu'il n'y pas de différences significatives entre l'aboutage sur face et sur chant.

En règle générale, il est plus simple d'abouter sur face ou sur chant qu'incline. De plus, l'usinage incline serait un compromis entre résistance et esthétique assez maladroit.

Nous préférons alors écarter ce type de positionnement des entures de nos tests, qui ne nous semble pas refléter le monde industriel de l'aboutage.

Donc un joint à entures multiples peut se définir comme un joint entre les extrémités de deux pièces de bois dont les extrémités ont été profilées en une série de saillies qui s'emboîtent. Ces saillies sont pratiquées perpendiculairement aux faces étroites ou aux grandes faces (joints horizontaux ou verticaux) (voir Figure 35). L'aboutage par entures multiples est un procédé de fabrication permettant d'obtenir des pièces de bois de grande longueur réalisé par le collage longitudinal de courtes pièces de bois reliées entre elles par les entures.

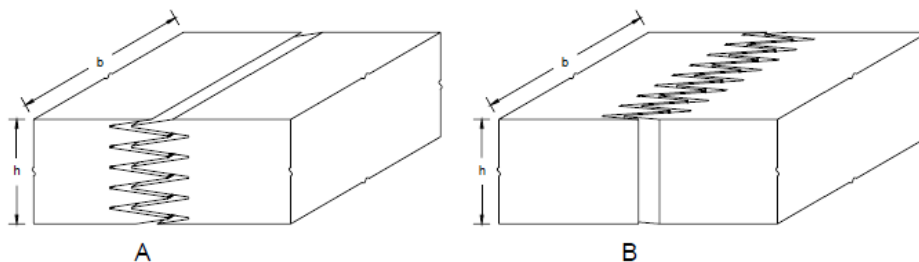


Figure 1.25: Profil d'un joint horizontal (A) et vertical (B).

1.3.4.3. LES FACTEURS INFLUENÇANT L'ABOUTAGE PAR ENTURES MULTIPLES

Tel que mentionné par Bustos (2003), nombreux sont les facteurs qui influencent la performance mécanique d'un assemblage par entures multiples. En effet, la performance d'une enture multiple dépend des propriétés du bois, de la géométrie des entures et de la qualité du collage. Les propriétés du bois comportent les paramètres anatomiques et physiques du bois. La géométrie des joints englobe les paramètres géométriques des joints (le type de joint, la pente, l'orientation, etc.). Finalement, la qualité du collage comporte les paramètres de production et d'usinage. Le Tableau 1.10 dénombre les multiples facteurs influençant la performance mécanique d'un bois abouté.[1]

Plusieurs études ont été effectuées afin de déterminer l'effet de plusieurs paramètres sur la performance mécanique de bois aboutés. Par contre, il n'existe à notre connaissance que très peu d'information quant à l'aboutage des bois de feuillus.

Tableau 1.8: Facteurs influençant la performance mécanique [d'après Fröblom 1975 dans Bustos 2003].[1]

Propriétés	Facteurs
Propriétés du bois	Anatomie
	Masse volumique
	Proportion de bois final
	Nœuds (grandeur, quantité et forme)
	Pente du fil
	Grandeur des cernes annuels
	Bois de traction ou de compression
	Bois juvénile
	Teneur en humidité
	Gerces produites par le séchage
	Cambrure et gauchissement
	Teneur en résine
Géométrie des joints	Type de joint
	Paramètres de profil des joints
	Direction de coupe des joints
Propriétés de production	Séchage et conditionnement
	Coupe transversale des blocs
	Coupe des entures
	Type d'adhésif
	Application de l'adhésif
	Pression d'assemblage
	Application de chaleur sur les joints
	Entreposage
	Rabotage
Contrôle de la qualité dans l'usine	

1.3.4.4. LES NORMES RÉGISSANT L'ABOUTAGE PAR ENTURES MULTIPLES[7][12]

Nous passons à un autre point essentiel dans la fabrication de bois abouté, nous discutons sur les normes qui régissent l'aboutage par entures multiples, ou le bois abouté doit respecter les mêmes règles de classement que le bois d'œuvre ordinaire. Il existe plusieurs normes pour cette raison tel que les normes européennes. Les normes actuelles qu'ils doivent respecter sont:

- **PrNF EN 15497 (NF P21-361PR) : Aboutages à entures multiples dans les bois de construction - Exigences de performance et exigences minimales de fabrication.**

- **NF EN 301 (NF T 76-151) : Adhésifs de nature phénolique et aminoplaste, pour structures portantes en bois- classification et exigences de performances.**

- NF EN 302 (NF T 76-152) : Adhésifs pour structures portantes en bois - Méthodes d'essai.
- prNF EN 15425 (NF T 76-337PR) : Adhésifs polyuréthane mono-composants pour charpentes en bois portantes - Classification et exigences de performance.
- NF EN 338 (NF P 21-353) : Bois de structure- Classe de résistance.
- NF EN 335 : Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois- Définition des classes d'emploi.
- NF EN 350 : Durabilité des bois et des matériaux dérivés du bois- Durabilité naturelle du bois massif.
- NF EN 351 : Durabilité des bois et des matériaux dérivés du bois- Bois massif traité avec produit de préservation.
- NF EN 460 : Durabilité des bois et des matériaux dérivés du bois – Guide d'exigences de durabilité du bois pour son utilisation selon les classes d'emploi.
- NF EN 519 (NF P 21-359) : Bois de structure - Classement - Spécifications pour les bois classés par machine pour sa résistance et les machines à classer.
- NF EN 1912 (NF P 21-395) : Structures en bois - Classes de résistance - Affection des classes visuelles et des essences.
- NF P 21-400 : Bois de structure et produits à base de bois - Classe de résistance et contraintes admissibles associées.
- NF P 21-701 : CB 71 - Règles de calcul et de conception des charpentes en bois
- NF EN 1995 (NF P 21-711) : EC 5 - Eurocode 5 : Calcul des structures en bois.
- NF EN 14081 (NF P 21-500) : Structures en bois - Bois de structure de section rectangulaire classé selon la résistance.
- PrNF EN 15228 (P21-600PR) : Bois de structure - Bois de structure traité avec unproduit de préservation contre les attaques biologiques.

Selon le document (DTU), le contrôle technique de bois et d'ameublement (CTB-AB) ce fait par un système de certification de qualité ou les caractéristiques qui doivent certifiées sont :

- Qualité de bois.
- Qualité des adhésifs.
- Les paramètres de fabrication.
- Qualité des aboutages.
- Caractéristiques d'environnement.

1.3.5. UTILISATION DE BOIS ABOUTÉ

Les bois aboutés sont utilisables partout où l'on emploie du bois d'œuvre ordinaire. Ils sont particulièrement utiles là où l'on désire de grandes longueurs ou des pièces bien droites.

1.3.6. CARACTÉRISTIQUES ET DIMENSIONNEMENT

Le plus important concernant les dimensions du bois abouté est que la longueur de pièces n'est pas limitée à la grandeur d'un arbre.

Caractéristiques mécaniques pour le calcul :

Le dimensionnement des bois massifs aboutés se fait conformément aux règles CB71 ou EC5. Pour l'utilisation des règles CB71, les contraintes admissibles à utiliser sont celles définies par la norme NF P 21-400 pour les bois massifs.

Pour l'utilisation des règles EC5, les contraintes caractéristiques à utiliser sont celles définies par la norme NF EN 338.

1.4. LES ESSAIS DE CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES

Les efforts mécaniques auxquels doivent résister les bois mis en œuvre sont ceux qui s'exercent normalement sur les pièces constitutives des constructions et qui peuvent se ramener aux efforts simples de compression, de traction ou de cisaillement. Pour chacun de ces efforts, il faut distinguer entre les efforts statiques et les efforts dynamiques. De plus, en raison de la structure fibreuse anisotrope du bois, il faut considérer les directions par rapport auxquelles ces efforts peuvent être exercés.

On distingue ainsi :

- ↳ La compression axiale parallèlement à la direction axiale et la compression transversale normale à l'axe.
- ↳ La traction axiale parallèlement à la direction axiale et la traction perpendiculaire aux fibres.
- ↳ Le cisaillement longitudinal s'exerçant suivant des plans parallèles à l'axe du tronc et le cisaillement transversal s'exerçant suivant des plans perpendiculaires à cet axe.

Les essais mécaniques ont pour but de déterminer les résistances que le bois peut offrir aux efforts qui lui sont appliqués. Ces essais sont classés en deux catégories différentes :

➤ Les essais de qualification du bois :

Ces essais permettent de déterminer les caractéristiques mécaniques d'une essence, on caractérise non pas une pièce à mettre en œuvre, mais la matière qui la constitue, indépendamment de ses qualités technologiques.

Ces essais s'effectuent sur des éprouvettes de faibles dimensions, sans nœud, ni défaut. Les résultats sont rapportés aux masses volumiques de manière à obtenir des caractéristiques à masses volumique égale et à éliminer les variations trop importantes dues aux différences de masse volumique, déjà signalées.

➤ Les essais de détermination des résistances d'emploi :

Ces essais recherchent les valeurs des résistances mécaniques à introduire dans le calcul des pièces. Les résistances mécaniques d'une pièce dépendent de l'essence, de ces particularités de structure, de la présence et de la dimension de certains défauts (nœuds, fentes, etc.). L'essai peut se pratiquer sur des échantillons convenablement choisis ou sur des pièces prêtes à être mises en œuvre (poteaux, poutres, etc.). L'influence des défauts, la détermination des charges de sécurité, les résistances des assemblages et des pièces composées sont autant de problèmes qui se posent à ce propos.

a. TRACTION LONGITUDINALE DU BOIS

Les essais de traction sont difficilement réalisables. L'éprouvette à essayer étant maintenue sur la machine de traction par ses extrémités, des ruptures prématurées apparaissent au voisinage des têtes de fixation par cisaillement ou arrachement.



Figure1.26 : Traction longitudinale.

Le comportement en traction est linéaire jusqu'à la rupture est de type fragile (voir figure I.10). Le mode de rupture est le déchirement des fibres. La résistance en traction longitudinale est plus grande que celle obtenue en compression, les valeurs courantes pour les résineux sont 80 à 100

N/mm². Le module d'élasticité est quand à lui sensiblement identique dans les deux cas et s'étale entre les valeurs courantes de 11000 à 15000 N/mm².

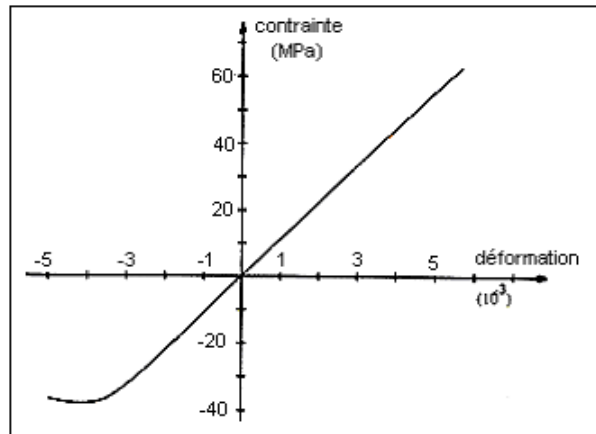


Figure 1.27 : Courbe contrainte-déformation.

b. TRACTION TRANSVERSALE DU BOIS

Le bois possède une très faible résistance transversale. Elle est approximativement comprise entre 1 et 2 N/mm². La rupture se fait par décollage des fibres.

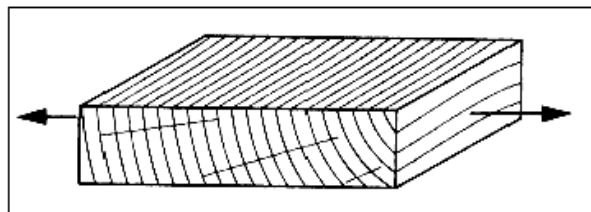


Figure 1.28 : Traction transversale.

Dans la conception des pièces de bois, les contraintes de traction perpendiculaire doivent être évitées autant que possible.

c. COMPRESSION LONGITUDINALE DU BOIS

Les éprouvettes de compression doivent être aussi courtes que possible pour éviter les problèmes de flambement, ceci est normalement garanti pour $L < 5l$.

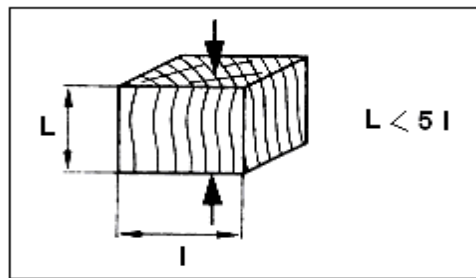


Figure 1.29 : Compression longitudinale.

La rupture est ductile et correspond au flambement de paquets de fibres, c'est une sorte d'instabilité locale due au cisaillement suivant un plan incliné. Les valeurs courantes pour la résistance en compression longitudinale des résineux sont 40 à 50 N/mm².

d. COMPRESSION TRANSVERSALE DU BOIS

La résistance du bois est beaucoup plus faible dans cette direction, la zone de déformation élastique est très réduite, sinon inexistante. Sous l'influence de la charge, les affaissements deviennent rapidement importants, en raison de l'écrasement successif des différents éléments du bois. Les déformations sont très importantes.

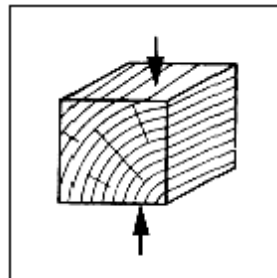


Figure 1.30 : Compression transversale.

Les valeurs courantes pour la résistance en compression transversale des résineux sont 2 à 4 N/mm².

e. LES SOLLICITATIONS OBLIQUES

Si l'effort est appliqué sous un angle (α) par rapport au sens longitudinal des fibres, le module E diminuera à mesure que l'angle augmente. On peut utiliser avec une précision acceptable la formule dite de Hankinson :

$$E_{\alpha} = \frac{E_{\parallel} \cdot E_{\perp}}{E_{\perp} \cos^n \alpha + E_{\parallel} \sin^n \alpha}$$

avec :

E_{α} : Module d'élasticité dans la direction (α) ;

E_{\parallel} : Module d'élasticité dans la direction des fibres ;

E_{\perp} : Module d'élasticité dans la direction perpendiculaire aux fibres.

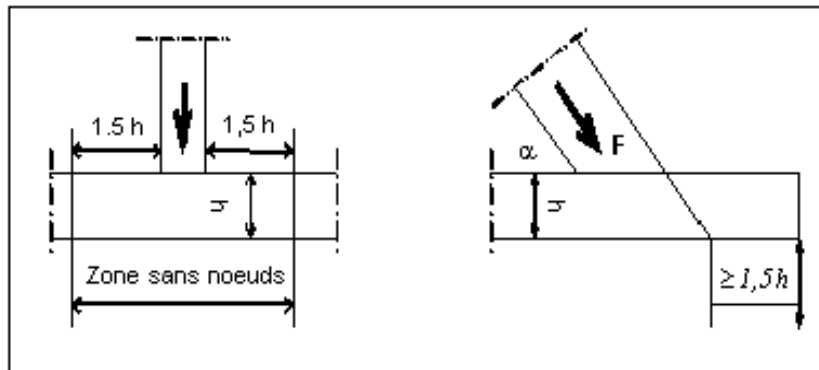


Figure 1.31 : Sollicitations obliques.

La valeur exacte de n doit être tirée de données expérimentales. Cependant plusieurs auteurs préconisent la valeur $n=2$.

La même formule est aussi utilisée pour le calcul des résistances. Ainsi la résistance à la compression $f_{c,\alpha}$ pour un angle quelconque (α) est déterminée par :

$$f_{c,\alpha} = \frac{f_{c,\parallel} \cdot f_{c,\perp}}{f_{c,\perp} \cos^2 \alpha \cdot f_{c,\parallel} \sin^2 \alpha}$$

Avec :

$f_{c,\alpha}$: Résistance à la compression dans la direction (α).

$f_{c,\parallel}$: Résistance à la compression dans la direction des fibres.

$f_{c,\perp}$: Résistance à la compression dans la direction perpendiculaire aux fibres.

f. FLEXION DU BOIS

Cet essai est réalisé habituellement sur une éprouvette posé sur deux appuis et supportant en son milieu une charge lentement croissante (5 mm par minute), jusqu'à la rupture de l'éprouvette.

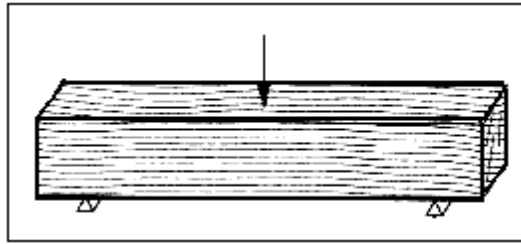


Figure 1.32 : Epreuve de flexion.

La distribution des contraintes dans la section droite ne peut être rectiligne que si la limite élastique n'est pas dépassée dans la zone comprimée. Dans le cas de moments extérieurs élevés, la répartition des contraintes n'est plus uniforme, dans le bord comprimé la contrainte augmente pour atteindre au maximum la résistance à la compression f_c , alors que du côté du bord tendu la contrainte maximale peut atteindre f_t .

Si le bois est exempt de défauts, et puisque la résistance à la compression est plus petite que celle en traction, la rupture en compression apparaît en premier sur le bord supérieur, puis c'est au tour de la rupture en traction qui apparaît sur le bord inférieur.

Il est en général admis de calculer avec une bonne approximation les contraintes maximales de rupture par la formule de la résistance des matériaux.

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W}$$

Où :

W : est le module de section.

Pour une section rectangulaire, nous avons: $w = b h^2 / 6$

g. CISAILLEMENT DU BOIS

La résistance au cisaillement intervient dans de très nombreuses applications mécaniques : assemblages, poutres fléchies, etc. Le bois en raison de sa structure, est mal organisé pour résister à des efforts de ce genre, et en particulier au cisaillement longitudinal.

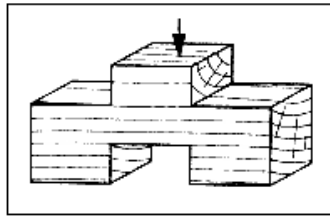


Figure 1.33 : Essai de cisaillement transversal.

Le cisaillement pur n'est malheureusement que très difficilement observable, et l'on ne peut réaliser que des essais où le cisaillement domine, mais où interviennent en même temps d'autres sollicitations : traction, compression, flexion, etc....

Parallèlement aux fibres, la résistance au cisaillement n'atteint que (1/8) à (1/10) de la résistance à la compression. Les valeurs courantes des résineux sont 3 à 5 N/mm².

Perpendiculairement aux fibres elle est nettement plus élevée, mais, étant donné la faible résistance à la compression transversale, elle n'a pratiquement pas d'importance.

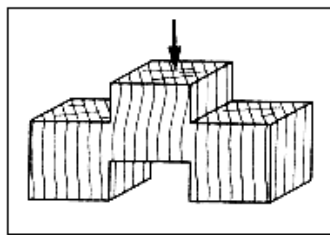


Figure 1.34 : Essai de cisaillement longitudinal.

✓ Valeurs usuelles des résistances du bois :

En fonction du mode de sollicitation et de la catégorie, on pourra utiliser, pour la résistance d'un bois, les valeurs du tableau suivant, valeurs exprimées en daN/cm².

Tableau 1.9 : Valeurs usuelles des résistances du bois. [Eurocode 5]

Mode de sollicitation	Catégorie I		Catégorie II		Catégorie III	
	Chêne	Résineux	Chêne	Résineux	Chêne	Résineux
CompressionA	110	100	100	90	80	110
Flexion	120	120	110	100	85	115
Tractionaxiale	130	120	120	110	90	80
Cisaillement	15	12	15	12	12	10
CompressionT	30	15	30	15	éviter	éviter

Tableau 1.10 : Contraintes admissibles des bois en fonction de α . [Eurocode 5]

Contraintes admissibles en daN/m ²						
α	Catégorie I		Catégorie II		Catégorie II	
	Chêne	Résineux	Chêne	Résineux	Chêne	Résineux
0	110	100	90	90	80	70
10	92	84	68	68	69	55
20	77	71	54	54	60	43
30	64	60	42	43	52	34
40	53	50	32	32	44	28
50	44	42	36	25	38	22,5
60	37	36	33	19	33	17,5
70	33	33	31	17	(5)	(5)
80	31	31	30	16	(5)	(5)
90	30	30	/	15	(5)	(5)

Le tableau précédent indique les valeurs caractéristiques de la résistance des bois utilisés dans la fabrication d'éléments de construction porteurs. Les propriétés du bois étant variables, le tableau indique les valeurs supérieures et inférieures. Ces valeurs sont données pour une teneur en humidité de 12%.



CHAPITRE 2



ÉTUDE EXPÉRIMENTALE



CHAPITRE 2.ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

2.1. INTRODUCTION

Les valeurs obtenues lors de toute détermination des propriétés du bois dépendent des méthodes d'essai utilisées. Il est par conséquent souhaitable que ces méthodes soient normalisées afin que les résultats, provenant de différents centres d'essai, puissent être corrélés. Par ailleurs, avec l'adoption du calcul aux états limites et le développement du classement visuel et mécanique, l'attention se portera de plus en plus sur la détermination et le contrôle des caractéristiques de résistance et de leur variabilité dans le bois aux dimensions d'emploi. Ceci également peut être entrepris avec plus d'efficacité si les données de base sont définies et obtenues dans des conditions comparables.

Par absence de normes algériennes dans le domaine de la caractérisation physico-mécanique du bois, nos essais et mesures sont faites en suivant les recommandations de la norme européenne française qui sont : EN 408:2010+A1:2012, dont un extrait est reporté dans l'annexe I.

La caractérisation physico-mécanique d'un matériau se fait sur des éprouvettes normalisées. Dans notre cas, la fabrication d'éprouvettes de bois passe par plusieurs étapes qui sont :

a. La réception du bois brut

Le bois est réceptionné dans les locaux du laboratoire sous forme de morceaux de tronc de 1m de longueur.



Figure 2.1 :troncs d'arbre reçus au laboratoire.

Les troncs d'arbre sont par la suite découpés en madriers de petites dimensions pour accélérer l'opération de séchage. Le bois est gardé dans les locaux pour séchage naturel pendant une durée de plus d'un mois.



Figure 2.2 :troncs d'arbre découpés en madriers.

b.Confection des éprouvettes de flexion

Une fois le bois séché, il est découpé et emmené chez le menuisier pour confection des éprouvettes selon les plans.Un outil spécial est utilisé pour la confection des entures multiples.



Figure 2.3 :Confection des entures.



Figure 2.4 : les mi-échantillons avant collage et mise sous pression



2.5 : Encollage



Figure 2.6 : Mise sous pression des échantillons

Après avoir passé par les étapes illustrés dans les figures précédentes, nous obtenons notre échantillon.



Figure 2.7 : Epreuves finies.

2.2. CARACTÉRISATION PHYSIQUE

2.2.1. DENSITÉ

La densité ou 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 de référence est l'eau pure à 4 °C.

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

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

Où ρ_{corps} est la masse volumique du corps considéré et ρ_{eau} est la masse volumique de l'eau (1 000 kg/m³).

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.

Éprouvettes utilisées :

Pour la détermination de la densité anhydre notre bois, on a fait usiner au total 40 éprouvettes cubiques de (20*20*20) mm (Figure 2.1).

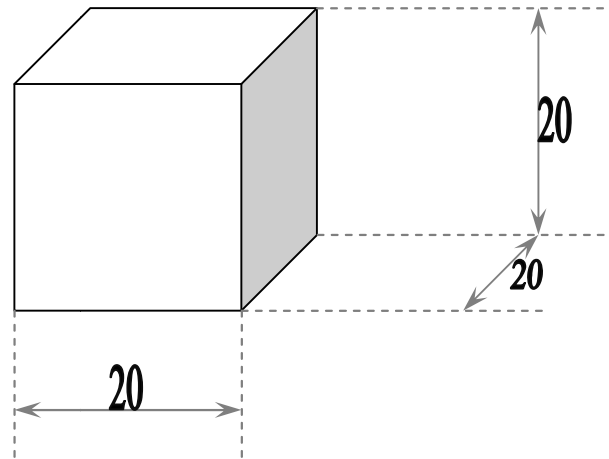


Figure 2.8 : Schéma des éprouvettes de mesure de la densité et teneur en eau.



Figure 2.9 : Eprouvettes pour la mesure de la densité et teneur en eau.

La mesure des dimensions des éprouvettes est effectuée en utilisant un pied à coulisse à 0.01 [mm] de précision (Figure 2.3).



Figure 2.10 : Pied à coulisse à 0.01 [mm] de précision.

Par la suite, toutes les éprouvettes sont pesées avec une balance de précision de 0.01g (Figure 2.4) avant et après la dessiccation.



Figure 2.11 :Balance de précision de 0.01g.

2.2.2. MESURE DETAUX D'HUMIDITÉ

La mesure de la teneur en humidité est effectuée sur les mêmes éprouvettes de densité, en respectant les recommandations de la norme européenne EN 408:2010+A1:2012., qui définit les étapes suivantes ci-après

a. Appareillage utilisé :

- Balance précise à 0.01 gramme (Figure 2.4).
- Etuve ventilée permettant de maintenir une température de 100°C. (Figure 2.5).



Figure 2.12 :Etuve ventilée.

b. Eprouvettes :

On reprend les mêmes éprouvettes utilisées dans la détermination de la densité (Figure 2.2).

c. Mode opératoire :

- Peser l'ensemble des éprouvettes avant dessiccation.
- Déshydrater les éprouvettes dans l'étuve jusqu'à masse constante, (c'est-à-dire qu'on mesure la masse de l'ensemble des éprouvettes après 24 heures de déshydratation à 100°C).

d. Mesure du taux d'humidité :

La mesure du taux d'humidité est alors déduite en utilisant la formule suivante :

$$\text{Taux d'humidité} = \frac{m_h - m_s}{m_h} * 100$$

Avec :

m_h : est la masse de l'éprouvette humide (avant dessiccation), en (g).

m_s : est la masse de l'éprouvette à l'état anhydre (après dessiccation), en (g).

2.3. CARACTÉRISATION MÉCANIQUE**2.3.1. MACHINE D'ÉSSAI**

La machine utilisée est un Bâti d'essais de flexion servo-hydraulique de marque Controls modèle: 50-C1201/BFR, de capacité 100 KN, avec cellule de charge et une console de commande.



Figure 2.13: Machine d'essais.

2.3.3. RESISTANCE A LA FLEXION AXIALE

a). Éprouvette d'essai :

la norme suivie dans ce travail est la norme européenne EN 408:2010+A1:2012, qui précise que pour la détermination de la résistance à la flexion du bois, l'éprouvette d'essai doit avoir une longueur minimale égale à 19 fois la hauteur de la section. Lorsque ceci n'est pas possible, la portée de la poutre doit être enregistrée dans le rapport d'essai. Dans notre cas et pour des raisons de disponibilité de bois, cette longueur est de 10 fois la hauteur.

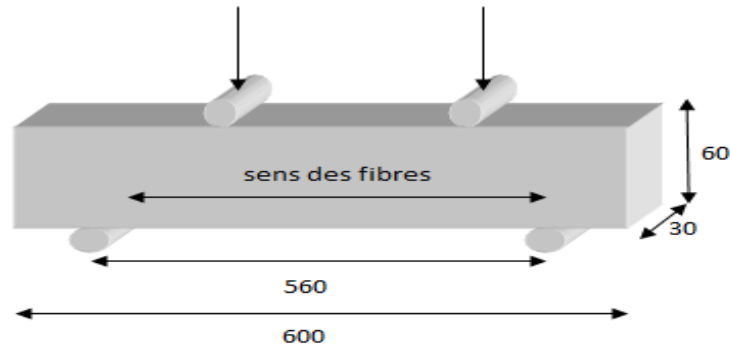


Fig. 2.14 : Dimension de l'éprouvette de flexion à 4 points.

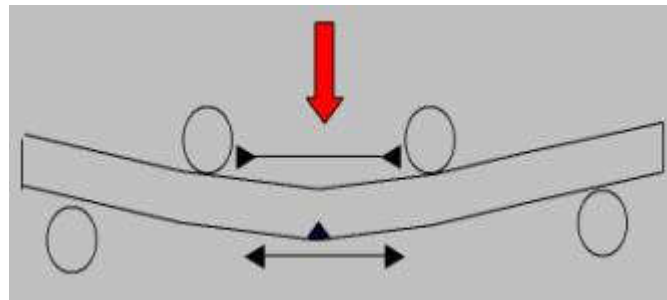


Fig. 2.15 : Principe de la flexion de 4 points à réaliser.

b). Mode opératoire :

Pour la détermination de la résistance à la flexion du bois, la norme exige que l'éprouvette d'essai doit être chargée symétriquement en flexion en quatre points sur une portée égale à 18 fois la hauteur, tel que représenté à la fig.2.16

Pour la détermination de la résistance à la flexion de bois abouté par entures multiple, l'éprouvette d'essai doit être chargée symétriquement en flexion en deux sur une portée égale à 18 fois la hauteur tel que représenté à la figure.2.17 avec l'aboutage en entures multiple situé à mi-portée.

Si l'éprouvette et le dispositif d'essai ne permettent pas que ces conditions soient exactement remplies, la distance entre les points de charge et les appuis peut être augmentée jusqu'à 1.5 fois la hauteur de l'éprouvette, et la portée et la longueur de l'éprouvette d'essai peuvent être augmentées jusqu'à trois fois la hauteur de l'éprouvette tout en maintenant la symétrie de l'essai.

La force doit être appliquée à une vitesse constante de déplacement de la tête de chargement de sorte que la force maximale soit atteinte en (300 ± 120) s.

La charge maximale (F_{max}) de l'essai de flexion doit être enregistrée.

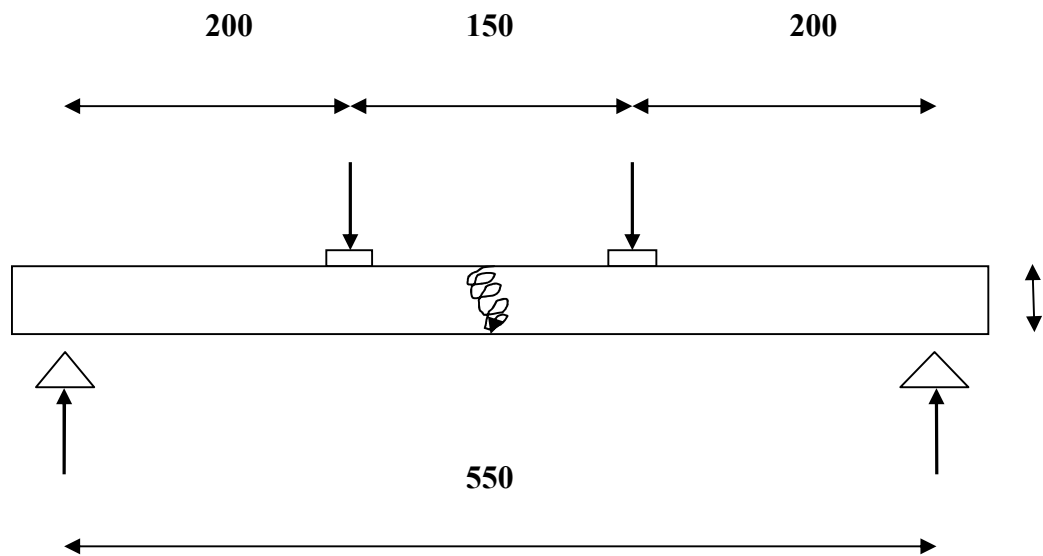


Figure 2.16 – Dispositif d’essai pour mesurer la résistance à la flexion des aboutages en entures multiple

c).Expression des résultats

La résistance à la flexion est déterminée par :

$$f_m = \frac{3Fa}{bh^2}$$



Figure 2.17 : Essai de flexion à 4 point.

2.3.2.1. PRÉSENTATION DES CAS TESTÉS

Les cas testés sont modélés par une seule structure avec les mêmes caractéristiques géométriques. C'est est une poutre de longueur $L= 600\text{mm}$, d'une section (transversale) droit rectiligne pour une largeur $b=30\text{mm}$ et une hauteur $h=60\text{ mm}$. Elle est sollicitée en flexion quatre points. Cette poutre test en bois est étudiée selon trois cas(modes) :

- ✓ **Le premier cas(mode 1)**: La structure de ce mode est une poutre sans entures (sans joint). Elle est en matériau du bois seulement.

On signale qu'on a trois (3)épreuves de ce type.

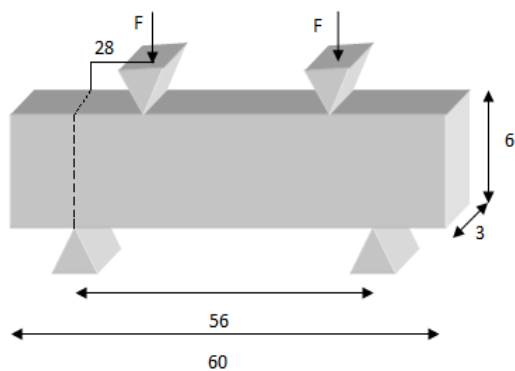


Figure 2.18 : Caractéristiques géométriques de la poutre test 1(poutre sans joint).

- ✓ **Le deuxième cas(mode 2)** : La poutre avec entures multiples sur face (joint horizontale). Elle comporte de deux matériaux le bois et la colle.

On signale qu'on a trois (03) épreuves de ce type.

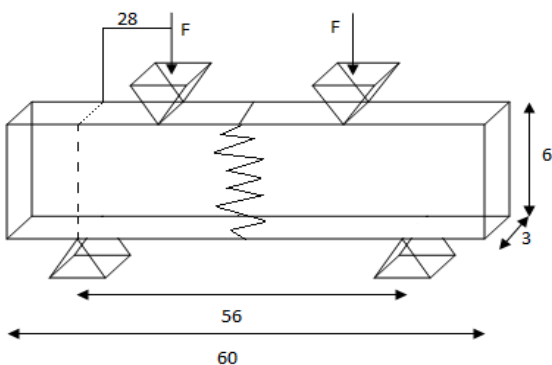


Figure2.19 : Caractéristiques géométriques de la poutre test 2(avec entures sur face).

- ✓ **Le troisième cas(mode 3)** : Poutre avec entures à plat (joint verticale). Elle porte les mêmes données de 2^{ème} mode, sauf le positionnement de joint. Dans le 2^{ème} mode, joint placé sur face de la poutre par contre dans ce 3^{ème} mode le joint positionné sur plat.

On signale qu'on a trois (03) éprouvettes de ce type.

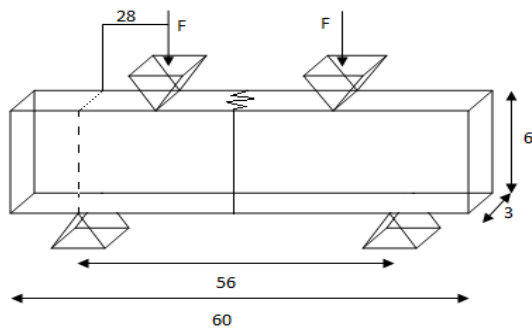


Figure 2.20 : Caractéristiques géométriques de la poutre test 3(avec entures à plat).

2.3.4. DÉTERMINATION DE LA CONTRAINTE MAXIMALE (σ_{MAX})

On calcule la contrainte maximale deflexion de chaque éprouvette par la formule :

$$\sigma_{MAX} = \frac{3 F a}{bh^2} \text{ [MPa]}$$

où :

σ_{MAX} : La contrainte maximale deflexion en [MPa].

F : La force à la rupture en [N].

a : est la distance entre les appuis et la force la plus proche 200 mm.

h : est la hauteur égale à 60 mm

2.3.3. DÉTERMINATION DU MODULE GLOBAL

D'ELASTICITE EN FLEXION :

L'éprouvette utilisée est la même que celle utilisée pour la détermination de la résistance à la flexion

la norme recommande que la force maximale appliquée ne doit pas dépasser $0.4F_{\max, \text{est}}$ ou provoquer l'endommagement de l'éprouvette.

La force maximale estimée, $F_{\max, \text{est}}$ pour le matériau en cours d'essai doit être obtenue soit à partir d'essais réalisés sur des éprouvettes d'essence de dimensions et de classe appropriées soit à partir de résultats existants appropriés.

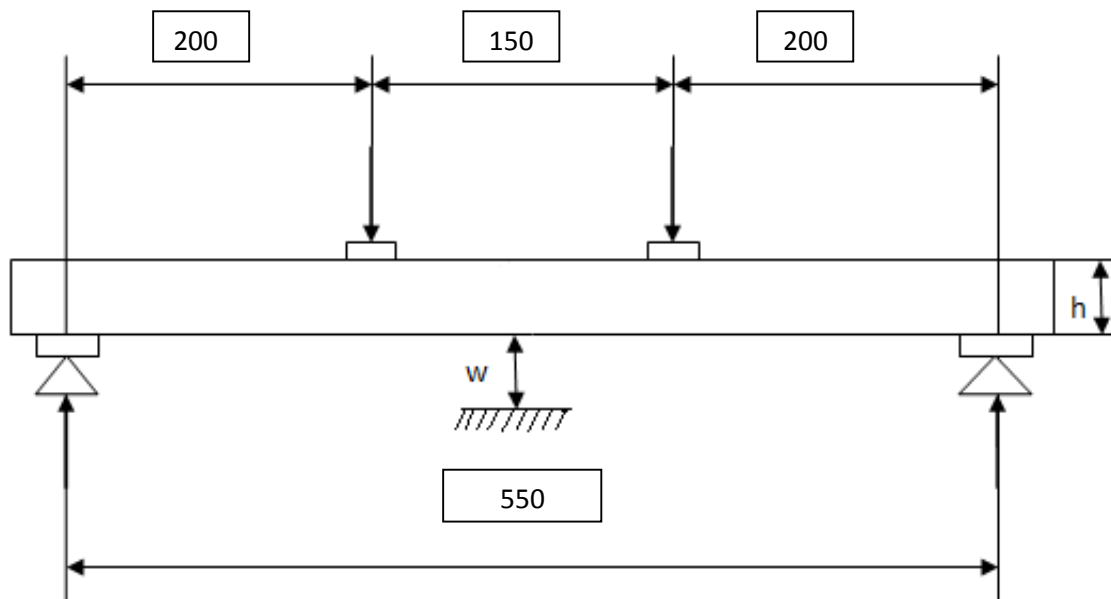


Figure 2.21- le dispositif pour mesurer le module global d'élasticité en flexion

Le dispositif de chargement utilisé doit permettre la mesure de la force avec une précision de 1% de la force appliquée à l'éprouvette d'essai ou, pour des forces inférieures à 10 % de la force maximale appliquée, avec une précision de 0.1 % de la force maximale appliquée.

Les flèches doivent être déterminées avec une précision de 1% ou, pour les flèches inférieures à 2 mm, avec une précision de 0.02mm.

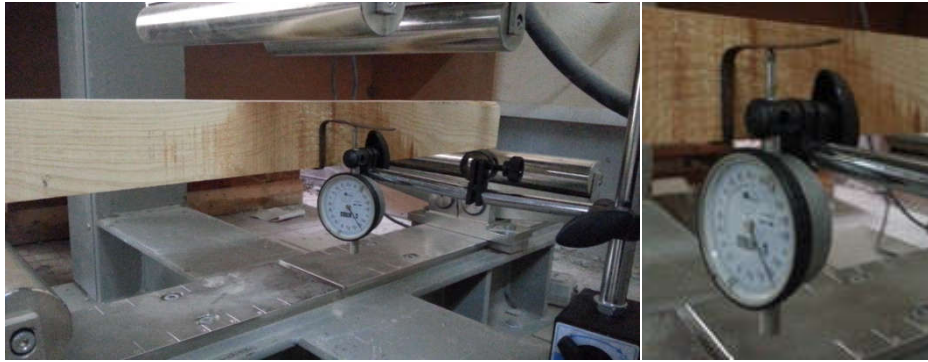


Figure 2.22- le dispositif pour mesurer le module global d'élasticité en flexion

b. Expression des résultats

Calculer le module global d'élasticité, E selon la formule suivante :

$$E_{m,g} = \frac{3a\ell^2 - 4a^3}{2bh^3 \left(\frac{w_2 - w_1}{F_2 - F_1} \right)}$$

où :

$F_2 - F_1$ est un accroissement de force en newtons

et

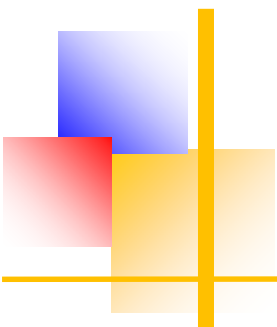
$w_2 - w_1$ est l'accroissement de flèche correspondant à $F_2 - F_1$ en millimètres.



CHAPITRE 3



PRÉSENTATION ET ANALYSE DES RÉSULTATS



CHAPITRE 3. PRÉSENTATION ET ANALYSE DES RÉSULTATS

3.1. CARACTÉRISATION PHYSIQUE

3.1.1. LA DENSITÉ

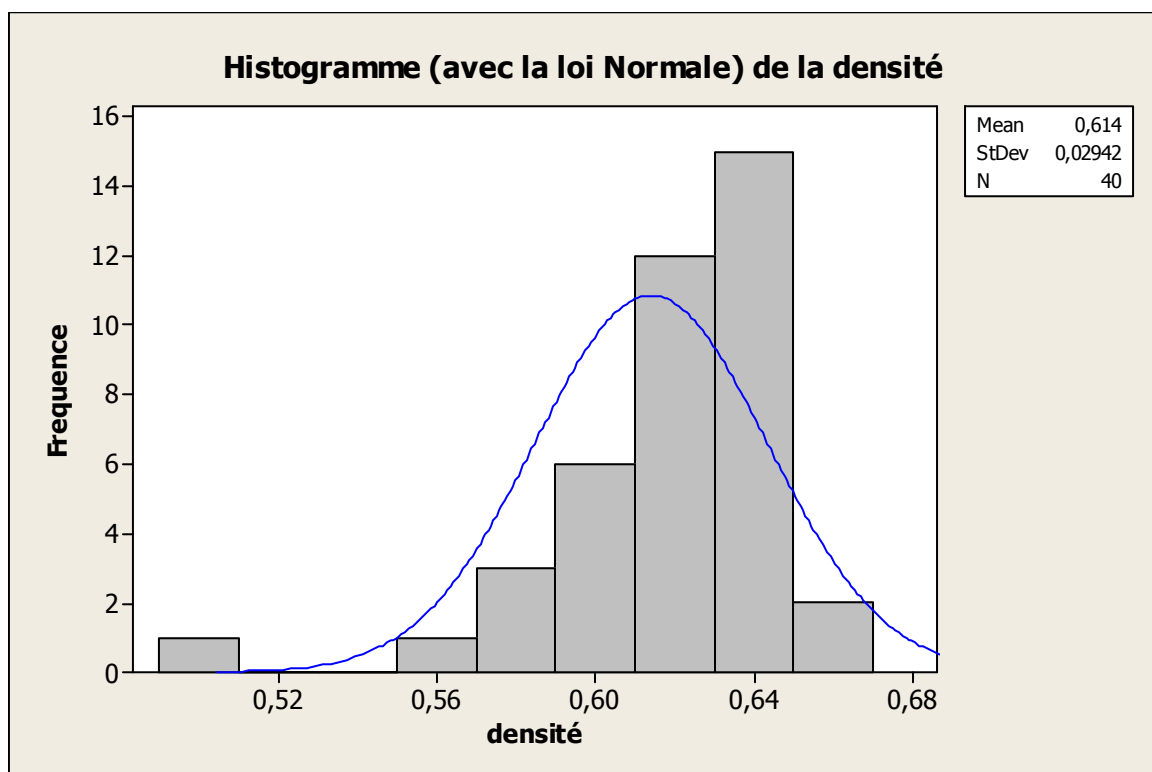
Nous ne présentons ici, qu'un récapitulatif des résultats (Tableau 3.1), l'ensemble est porté à la fin du mémoire sous Annexe 2.

Tableau. 3.1: Récapitulatif des résultats de mesure de la densité.

Caractéristique	Nombre	Moyenne	Ecart type	Maximum	Minimum	Médiane
Densité	40	0,61	0,03	0,66	0,50	0,62

La valeur moyenne obtenue (0,51) est comparable à celles trouvées dans la littérature (0,45-0,58) [11].

Une simple étude statistique nous a permis d'obtenir le graphe représentant la distribution des valeurs de la densité (Fig. 3.1).



Hist. 3.1 : Distribution des valeurs de la densité.

On remarque que la distribution des valeurs de la densité suit une variation non symétrique, peut être différente de la loi normale. En plus une valeur 0,50 sort complètement du tableau cela est du peut être à une erreur de mesure.

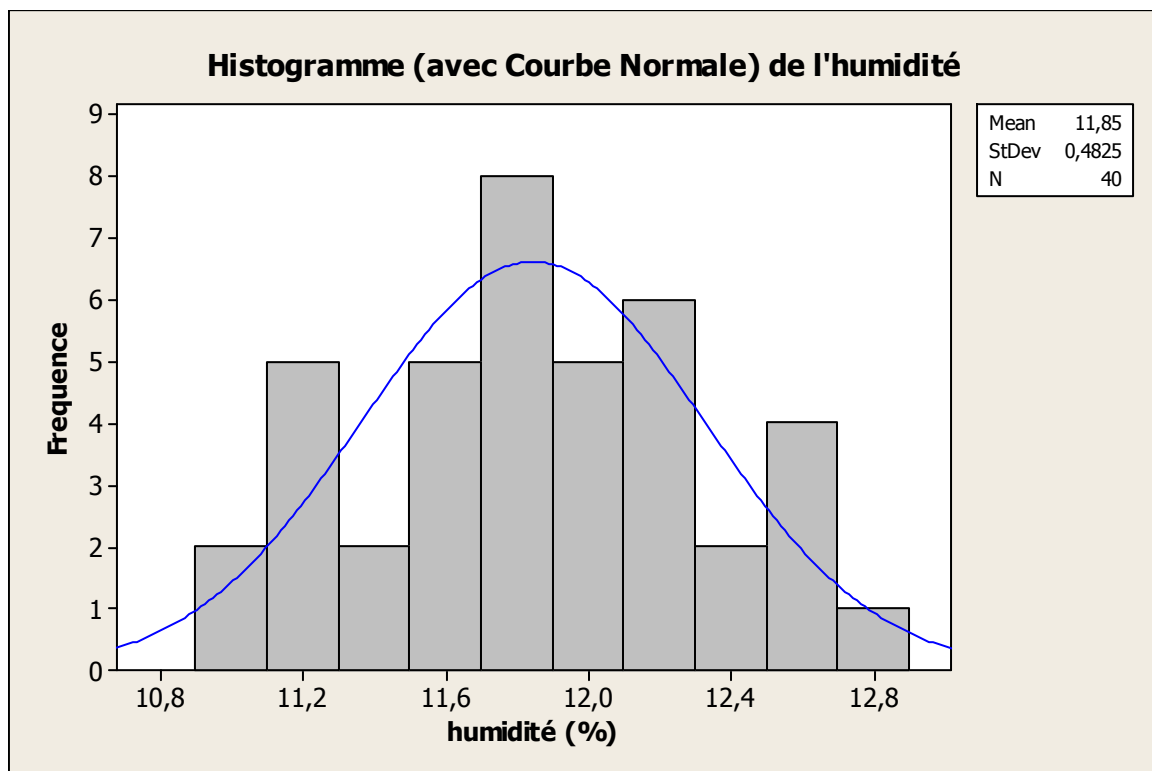
3.1.2. LETAUX D'HUMIDITÉ

Nous ne présentons ici, qu'un récapitulatif des résultats (tableau 3.2), l'ensemble est porté à la fin du mémoire sous Annexe 2.

Tableau. 3.2: Récapitulatif des résultats de mesure de taux d'humidité.

Caractéristique	Nombre	Moyenne	Ecart type	Maximum	Minimum	Médiane
Taux d'humidité	40	11.85 %	0.48 %	12.87%	10.96 %	11.85 %

Une simple étude de statistiques nous a permis d'obtenir le graphe représentant la distribution des valeurs de taux d'humidité (Fig. 3.2).



Hist. 3.2 : distribution des valeurs de taux d'humidité.

On observe que la distribution des valeurs de taux d'humidité suit une variation symétrique. La distribution ici suit la loi normale.

3.2. CARACTÉRISATION MÉCANIQUE

Après avoir exécuté les tests des cas étudiés, nous présentons les résultats. Ces résultats sont classés comme suit :

- ❖ Le module de YOUNG.
- ❖ La résistance en flexion.

Ensuite, nous faisons une étude de comparaison des résultats :

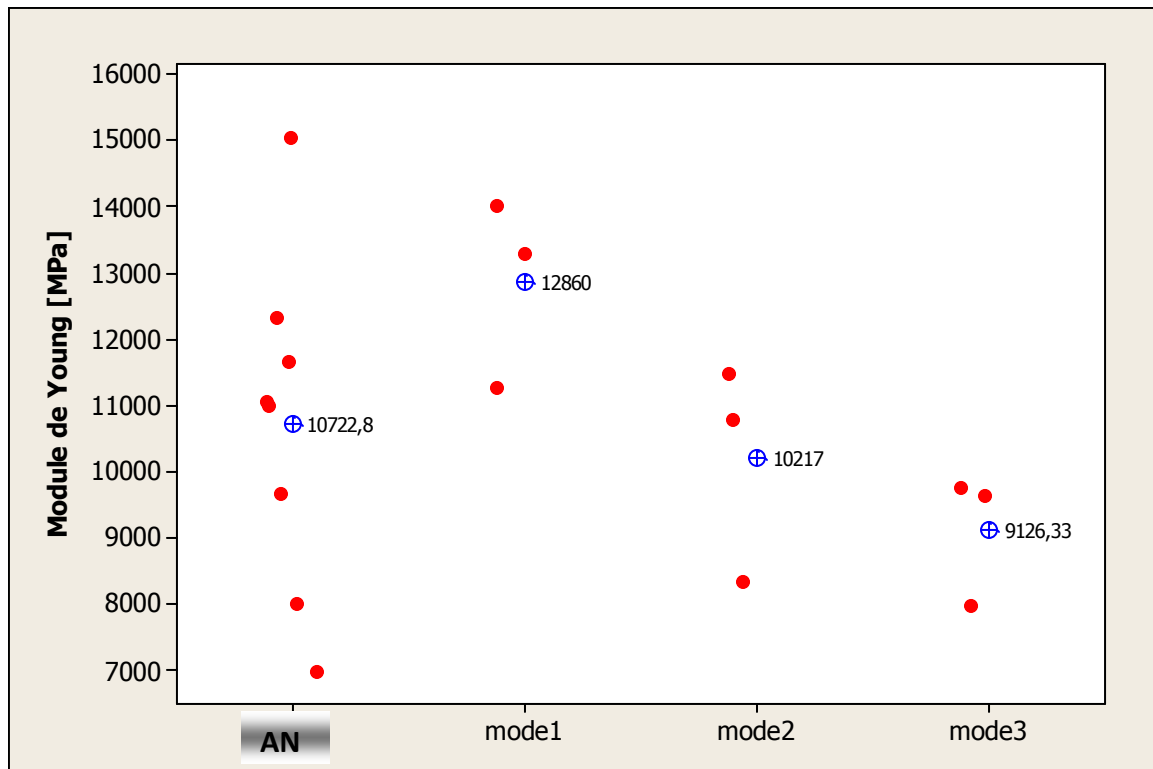
3.2.1. LE MODULE DE YOUNG

Nous ne présentons ici, qu'un récapitulatif des résultats (tableau 3.3), l'ensemble est porté à la fin du mémoire sous Annexe 2. On trouve les valeurs numériques de module de YOUNG des 3 modes sans nœuds (poutre sans joint, poutre avec entures multiples sur face et poutre avec entures multiples à plat) et le mode avec nœuds.

Tableau. 3.3: Récapitulatif des résultats du module de Young.

N° de Mode	Nombre	Moyenne [MPa]	Ecart type [MPa]	Maximum [MPa]	Minimum [MPa]
1	3	12860.54	2410.03	16715.35	10035.25
2	3	10217.32	1514.11	11517.7	7973.09
3	3	9126.83	1247.27	10033.91	6628.93
Avec nœud	8	10723.23	2526.97	15050.97	6990.70

Plusieurs remarques peuvent être faites concernant ces résultats: On observe que la valeur moyenne du module de YOUNG [Mode 1] (12860.54 MPa) est en concordance comparée à celles trouvées dans la littérature (8300-13500 MPa)[11]. La valeur moyenne du module de Young des éprouvettes sans nœuds est plus élevée que celle des éprouvettes avec nœuds alors que cette dernière est plus élevée que celles des éprouvettes avec entures. Nous tenons à préciser que cette analyse et celles qui vont suivre sont simplement à titre indicatif parce que le nombre d'éprouvette est très réduit et ne permet pas d'effectuer une étude statistique précise.



Hist. 3.3 : Module de Young des différentes éprouvettes

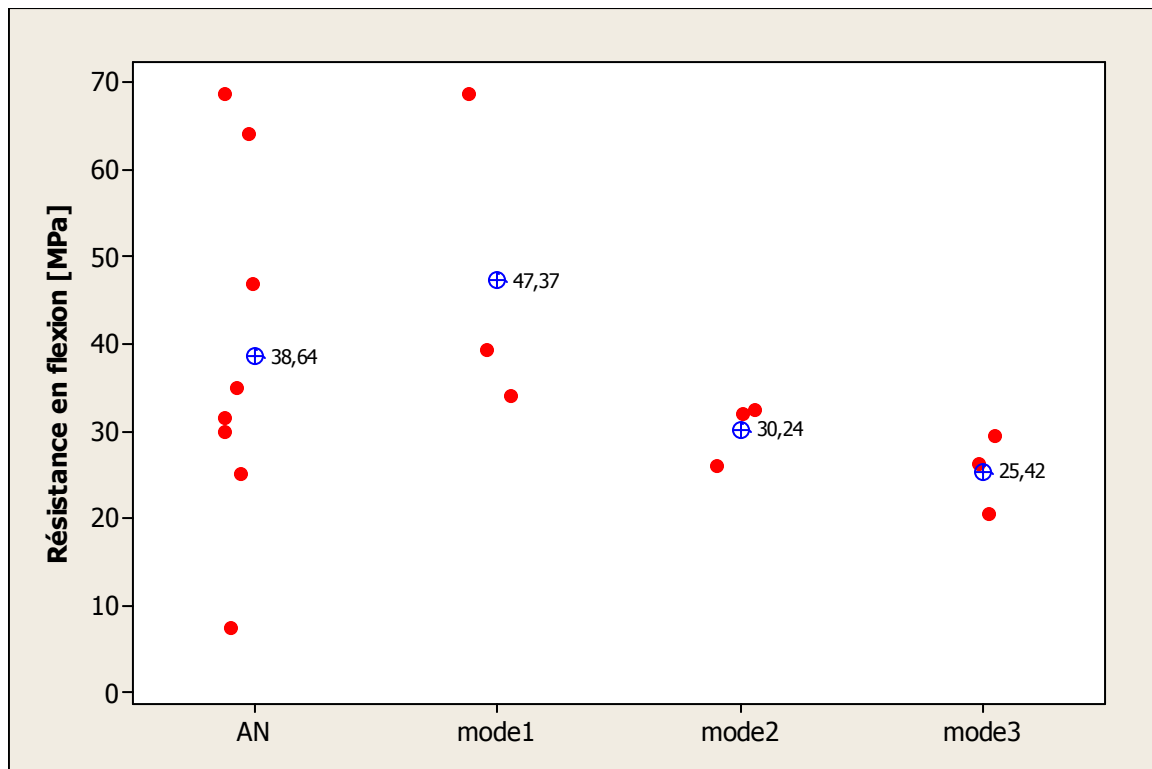
(En bleu valeur moyenne pour chaque type)

3.2.2.LA RESISTANCE EN FLEXION

Nous ne présentons ici, qu'un récapitulatif des résultats (tableau 3.5),l'ensemble est porté à la fin du mémoire sous Annexe 2.On trouve les valeurs numériques des contraintes de rupture des 3 modes sans nœuds et celles des éprouvettes avec nœuds :

Tableau 3.4 : Récapitulatif des résultats de la résistance en flexion

N° de Mode	Contrainte σ_{max} [MPa]	Contrainte σ_{min} [MPa]	Moyenne [MPa]	Ecart type [MPa]
1	68.66	34.03	47.37	18.64
2	32.48	26.13	30.24	3.56
3	29.48	20.54	25.42	4.53
Avec nœud	68.7	7.43	38.64	20.41



Hist. 3.4 : Résistances en flexions des différentes éprouvettes

(En bleu valeur moyenne pour chaque type)

La valeur moyenne obtenue [Mode 1] (47,37MPa) est légèrement plus faible comparée à celles trouvées dans la littérature (63-98MPa)[11].

On remarque que les valeurs de la résistance du bois sans nœuds sont plus grandes que celles du bois avec nœuds, ce qui est normale mais les valeurs des éprouvettes aboutées (mode2 et mode3) sont les plus faibles. La littérature rapporte que les joints d'entures diminuent en général la résistance de 25% c'est presque le même ordre dans notre cas mais nous pensons aussi que cette diminution est due dans notre cas à la colle utilisée (colle blanche, non industrielle).

3.2.3. MODE DE RUPTURE

La rupture est fragile, elle commence dans le cas générale par la propagation d'une fissure longitudinale et se termine par la désintégration partielle ou totale du joint à entures (Fig. 3.5).. il arrive que la rupture soit due au décollage du joint à entures (Fig. 3.6).



Fig. 3.1 : Rupture en flexion: fissure dans le bois



Fig. 3.2 : Rupture en flexion: Décollage total du joint



CONCLUSION GÉNÉRAL



CONCLUSION

Ce travail rentre dans le cadre d'un projet de recherche de valorisation des ressources premières algériennes à savoir le bois, Cette matière, souvent peu ou non utilisée en construction dans notre pays demande à ce qu'on s'y intéresse le plus près. A la fin de ce travail dont le but principal était d'étudier expérimentalement l'aboutage du bois par un essai de flexion d'une poutre en bois abouté nous pouvons faire les conclusions suivantes:

Le grand avantage de cet travail est qu'il est expérimental, il nous a ouvert 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,

D'un autre côté, la présente étude nous a permis dans un premier temps de Connaitre un nouveau matériau de construction (le bois), ses avantages surtout environnementales et ses inconvénients.Dans un deuxième temps, Découvrir les nouveaux produits issus du bois (bois d'ingénierie structuraux) et précisément le bois abouté et le procédé de transformation. Nous avons constaté que les enturesest un procédé de transformation du bois massif qui permet d'avoir des éléments de grandelongueur sans nuire à la résistance de cette élément tout au contraire un choix judicieux de laposition de ces entures peut même rigidifier l'élément.

Malheureusement, par manque de temps et de matériel, nous n'avons pas pu effectuer tous les essais programmés et nécessaires à la caractérisation complète de la résistance du bois abouté. On espère que des études futures par d'autres étudiants permettront surement d'améliorer et de compléter ce travail.



BIBLIOGRAPHIE



BIBLIOGRAPHIE

[1] - **Bertino LAURENT & Marchaison ROBIN**. Caractérisation des pièces aboutées pour le domaine de la construction. Rapport de projet de fin d'études. Université Henri Poincaré. Nancy 1, 2011.

http://www.docnum.univ-lorraine.fr/public/SCDENS_MING_2011_BERTINO_LAURENT_MARCHAISON_ROBIN.pdf

[2] - BLC, BMR, BMA... : l'avenir du bois construction.dossier technique, bati-journal, édition Rive Média, Paris,

<http://www.bati-journal.com/all?rubrique=dossier&News=43570178&dossier=BLCBMRBMA>

[3] - Catalogue Construire Bois. Editions CHAUSSON MATERIAUX ,Toulouse, 2013.

http://www.chausson-materiaux.fr/Guides/CAN/Catalogue_Construire_Bois_2013.pdf

[4] - **Cecilia BUSTOS AVILA**. OPTIMISATION DU PROCÉDÉ D'ABOUTAGE PAR ENTURES MULTIPLES DU BOIS D'ÉPINETTE NOIRE. Thèse de Ph.D, UNIVERSITÉ LAVAL. QUÉBEC, 2003.

<http://www.theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/21006/21006.pdf>

[5] - **Christian DAGENAIS**. Aboutage de l'érable à sucre pour la fabrication de produits de bois d'ingénierie structuraux. Mémoire de M.Sc., UNIVERSITÉ LAVAL, 2007.

<http://www.theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/24607/24607.pdf>

[6] - **Emmanuel FLEURY, Martin CHICHE**, LE BOIS DANS LA CONSTRUCTION. Etude bibliographique. Rapport n° 1. CSTB, Paris, 2006.

<http://www.cstb.fr/fileadmin/documents/publicationsScientifiques/DOC00004832.pdf>

[7] - BOIS MASSIFS ABOUTES (BMA).Fiche technique, CTBA, Paris, 2007

http://www.cndb.org/live/produits_et_materiaux/bois_de_structure/bois_aboutes.pdf

[8] –Les bois d'ingénierie du Québec. Dépliant, Cecobois. Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois, Québec, 2011.

http://www.cecobois.com/pdf/DepliantBois_ingenierieWEB.pdf

[9] - BOIS MASSIFS STRUCTURAUX, fiche technique, FCBA, Paris, 2012.

http://www.cndb.org/live/produits_et_materiaux/bois_de_structure/bois_massifs_structuraux.pdf

[10] - **Frédéric PROULX**. ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DES POUTRES EN BOIS LAMELLÉ-COLLÉ RENFORCÉES DE BÉTON FIBRÉ À ULTRA-HAUTE PERFORMANCE ET DE BARRES DE POLYMÈRE RENFORCÉ DE FIBRES. Mémoire de maîtrise, Université de SHERBROOKE. 2013.

http://www.usherbrooke.ca/genie/fileadmin/sites/genie/documents/Intranet/theses_memoires/Proulx_F_20130516.pdf

[11] - **Patrick LANGBOUR, Jean GERARD, Daniel GUIBAL**. Caractérisation technologique et valorisation en bois d'œuvre du pin d'Alep (*pinus halepensis*) de la région Provence Alpes Côte d'Azur, Forêt Méditerranéenne, 2011, 32 (3) : p. 263-270

http://publications.cirad.fr/une_notice.php?dk=561912

[12] - **Yves BENOIT, Bernard LEGRAND, Vincent TASTET**, Calcul des structures en bois, Guide d'application -Eurocode 5, Eyrolles, AFNOR, Paris, 2008.

<http://www.eyrolles.com/BTP/Livre/calcul-des-structures-en-bois-9782212120424>

WEBOGRAPHIE

[12] -<http://www.ctb-structures.fr/bois-massifs-aboutes/presentation/>

[13] -<http://www.bois.com/>

[14] - <http://www.mediaforest.net>



ANNEXE I



DOCUMENT DE
TRAVAIL

NF EN 408+A1

septembre 2012

www.afnor.org

Ce document est à usage exclusif et non collectif des clients AFNOR.
Toute mise en réseau, reproduction et rediffusion, sous quelque forme que ce soit,
même partielle, sont strictement interdites.

This document is intended for the exclusive and non collective use of AFNOR.
(Standards on line) customers. All network exploitation, reproduction and re-dissemination,
even partial, whatever the form (hardcopy or other media), is strictly prohibited.



DOCUMENT PROTÉGÉ
PAR LE DROIT D'AUTEUR

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans accord formel.

Contacteur :
AFNOR – Norm'Info
11, rue Francis de Pressensé
93571 La Plaine Saint-Denis Cedex
Tél : 01 41 62 76 44
Fax : 01 49 17 92 02
E-mail : norminfo@afnor.org

afnor

Service d'accès aux normes

Pour : BNBA

le 31/8/2012 - 11:41

Diffusé avec l'autorisation de l'éditeur

Distributed under licence of the publisher

norme européenne**NF EN 408+A1****Septembre 2012****norme française**Indice de classement : **P 21-302****ICS : 79.060.99 ; 79.080 ; 91.080.20****Structures en bois****Bois de structure et bois lamellé-collé****Détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques**E : Timber structures — Structural timber and glued laminated timber —
Determination of some physical and mechanical propertiesD : Holzbauwerke — Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz —
Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften**Norme française homologuée**par décision du Directeur Général d'AFNOR le 22 août 2012 pour prendre effet
le 22 septembre 2012.

Remplace la norme homologuée NF EN 408, de novembre 2010.

Correspondance

La Norme européenne EN 408:2010+A1:2012 a le statut d'une norme française.

AnalyseLe présent document s'inscrit dans la série des normes relatives aux matériaux
de construction en bois mises au point au sein du CEN/TC 124 «Structures en bois».
Il spécifie les méthodes de détermination en laboratoire de diverses propriétés
physiques et mécaniques du bois aux dimensions d'emploi.**Descripteurs****Thésaurus International Technique** : structure en bois, bois, bois lamellé-collé,
essai, détermination, propriété physique, propriété mécanique, module d'élasticité,
module de cisaillement, résistance à la flexion, résistance à la traction, résistance à
la compression, résistance au cisaillement, dimension, dosage, humidité, masse
volumique, éprouvette d'essai, mode opératoire.**Modifications**Par rapport au document remplacé, les principales modifications portent sur les
points suivants :

- modifications apportées dans l'Article 2 (Références normatives), le
paragraphe 10.3 (Expression des résultats), le paragraphe 19.1 (Éprouvette
d'essai) et le paragraphe 19.2 (Mode opératoire).

CorrectionsÉditée et diffusée par l'Association Française de Normalisation (AFNOR) — 11, rue Francis de Pressensé — 93571 La Plaine Saint-Denis Cedex
Tél. : + 33 (0)1 41 62 80 00 — Fax : + 33 (0)1 49 17 90 00 — www.afnor.org

**NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD**

EN 408:2010+A1

Juillet 2012

ICS : 91.080.20 ; 79.040 ; 79.060.99

Remplace EN 408:2010

Version française

**Structures en bois —
Bois de structure et bois lamellé-collé —
Détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques**

Holzbauwerke —
Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz —
Bestimmung einiger physikalischer
und mechanischer Eigenschaften

Timber structures —
Structural timber and glued laminated timber —
Determination of some physical
and mechanical properties

La présente Norme européenne a été adoptée par le CEN le 9 juillet 2010 et inclut l'Amendement A1 approuvé par le CEN le 16 juin 2012.

Les membres du CEN sont tenus de se soumettre au Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, qui définit les conditions dans lesquelles doit être attribué, sans modification, le statut de norme nationale à la Norme européenne. Les listes mises à jour et les références bibliographiques relatives à ces normes nationales peuvent être obtenues auprès du Centre de Gestion ou auprès des membres du CEN.

La présente Norme européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français). Une version dans une autre langue faite par traduction sous la responsabilité d'un membre du CEN dans sa langue nationale et notifiée au Centre de Gestion, a le même statut que les versions officielles.

Les membres du CEN sont les organismes nationaux de normalisation des pays suivants : Allemagne, Autriche, Belgique, Bulgarie, Chypre, Croatie, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse et Turquie.

CEN

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Europäisches Komitee für Normung
European Committee for Standardization

Centre de Gestion : 17 Avenue Marnix, B-1000 Bruxelles

© CEN 2012

Tous droits d'exploitation sous quelque forme et de quelque manière que ce soit réservés dans le monde entier aux membres nationaux du CEN.

Réf. n° EN 408:2010+A1:2012 F

Sommaire

	Page
Avant-propos	4
Introduction	5
1 Domaine d'application	5
2 Références normatives	5
3 Termes et définitions	6
4 Symboles et abréviations	6
5 Détermination des dimensions des éprouvettes d'essai	7
6 Détermination de la teneur en humidité des éprouvettes d'essai	7
7 Détermination de la masse volumique des éprouvettes d'essai	7
8 Conditionnement des éprouvettes d'essai	8
9 Détermination du module local d'élasticité en flexion	8
9.1 Éprouvette d'essai	8
9.2 Mode opératoire	8
9.3 Expression des résultats	9
10 Détermination du module global d'élasticité en flexion	10
10.1 Éprouvette d'essai	10
10.2 Mode opératoire	10
10.3 Expression des résultats	11
11 Détermination du module de cisaillement	11
11.1 Méthode en torsion	11
11.1.1 Éprouvette d'essai	11
11.1.2 Mode opératoire	11
11.1.3 Expression des résultats	13
11.2 Méthode d'essai du champ de cisaillement	13
11.2.1 Éprouvette d'essai	13
11.2.2 Mode opératoire	14
11.2.3 Expression des résultats	15
12 Détermination du module d'élasticité en traction axiale	16
12.1 Éprouvette d'essai	16
12.2 Mode opératoire	16
12.3 Expression des résultats	16
13 Détermination de la résistance à la traction axiale	17
13.1 Éprouvette d'essai	17
13.2 Mode opératoire	17
13.3 Expression des résultats	17
14 Détermination du module d'élasticité en compression axiale	18
14.1 Éprouvette d'essai	18
14.2 Mode opératoire	18
14.3 Expression des résultats	18

Sommaire

	Page
15	Détermination de la résistance à la compression axiale 19
15.1	Éprouvette d'essai 19
15.2	Mode opératoire 19
15.3	Expression des résultats 19
16	Détermination des résistances à la traction et à la compression transversales 19
16.1	Exigences pour les éprouvettes d'essai 19
16.1.1	Fabrication 19
16.1.2	Préparation des surfaces 20
16.2	Mode opératoire 20
16.3	Expression des résultats 22
16.3.1	Compression transversale 22
16.3.2	Traction transversale 22
17	Détermination du module d'élasticité transversal 22
17.1	Exigences pour les éprouvettes d'essai 22
17.2	Mode opératoire 22
17.3	Expression des résultats 23
17.3.1	Compression transversale 23
17.3.2	Traction transversale 23
18	Détermination de la résistance au cisaillement axial 24
18.1	Exigences pour les éprouvettes d'essai 24
18.1.1	Fabrication 24
18.1.2	Préparation des surfaces 24
18.2	Mode opératoire 25
18.3	Expression des résultats 25
19	Résistance à la flexion axiale 26
19.1	Éprouvette d'essai 26
19.2	Mode opératoire 26
19.3	Expression des résultats 27
20	Rapport d'essai 27
20.1	Généralités 27
20.2	Éprouvette d'essai 27
20.3	Méthode d'essai 28
20.4	Résultats d'essai 28
Annexe A	(informative) Exemple de configuration d'essai de compression transversale 29
Annexe B	(informative) Exemple de configuration d'essai de traction transversale avec fixations rigides 31
Bibliographie 32

Avant-propos

Le présent document (EN 408:2010+A1:2012) a été élaboré par le Comité Technique CEN/TC 124 «Structures en bois», dont le secrétariat est tenu par AFNOR.

Cette Norme européenne devra recevoir le statut de norme nationale, soit par publication d'un texte identique, soit par entérinement, au plus tard en janvier 2013, et toutes les normes nationales en contradiction devront être retirées au plus tard en janvier 2013.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. Le CEN et/ou le CENELEC ne saurait [sauraient] être tenu[s] pour responsable[s] de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

Le présent document comprend l'Amendement 1, approuvé par le CEN le 16 juin 2012.

Le début et la fin du texte ajouté ou modifié par l'amendement est indiqué dans le texte par les repères **A1** / **A1**.

Le présent document remplace l'**A1** EN 408:2010 **A1**.

Dans la norme révisée, un nouvel essai est ajouté pour la détermination du module de cisaillement.

Selon le Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, les instituts de normalisation nationaux des pays suivants sont tenus de mettre cette Norme européenne en application : Allemagne, Autriche, Belgique, Bulgarie, Chypre, Croatie, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse et Turquie.

Document de travail

Introduction

La présente révision de 2010 remplace l'essai relatif à la détermination de la résistance au cisaillement axial.

La version révisée de 2003 avait ajouté un module global d'élasticité en flexion et renommé l'essai existant en module local d'élasticité. Elle incluait également les méthodes de détermination de la résistance au cisaillement ainsi que les propriétés mécaniques transversales, auparavant données dans l'EN 1193 qui a maintenant été retirée.

Les valeurs obtenues lors de toute détermination des propriétés du bois dépendent des méthodes d'essai utilisées. Par conséquent, il est souhaitable que ces méthodes soient normalisées afin que les résultats provenant de différents centres d'essai puissent être corrélés. Par ailleurs, avec l'adoption du calcul aux états limites et le développement à la fois du classement visuel et mécanique, l'attention se porte de plus en plus sur la détermination et le contrôle des propriétés de résistance et de la variabilité du bois dans les dimensions d'emploi. Ceci peut également être entrepris avec plus d'efficacité si les données de base sont définies et obtenues dans les mêmes conditions.

La présente Norme européenne, initialement basée sur l'ISO 8375, définit des méthodes de laboratoire pour déterminer certaines propriétés physiques et mécaniques du bois aux dimensions d'emploi. Ces méthodes ne sont destinées ni au classement du bois ni au contrôle de la qualité.

Pour la détermination du module de cisaillement, des méthodes alternatives ont été définies. Le choix de l'une de ces méthodes dépend des objectifs de l'essai et, dans une certaine mesure, des équipements disponibles. À la suite de l'utilisation de cette norme d'essai, il est prévu que la détermination des valeurs caractéristiques soit normalement réalisée conformément aux procédures définies dans d'autres Normes européennes.

L'attention est attirée sur les avantages qui peuvent être obtenus, souvent grâce à un effort supplémentaire mineur, par l'extension des possibilités d'utilisation des résultats d'essai, en enregistrant des données supplémentaires relatives aux caractéristiques de croissance des éprouvettes testées, notamment au niveau des sections de rupture. Généralement, il convient que ces données supplémentaires comprennent des critères liés au classement tels que les nœuds, la pente de fil, le taux de croissance, les flaches, etc., sur lesquels sont fondées les règles de classement visuel, et des paramètres indiquant la résistance tels que le module local d'élasticité, sur lesquels est basé un classement mécanique.

1 Domaine d'application

La présente Norme européenne définit des méthodes d'essai pour déterminer les propriétés suivantes du bois de structure et du bois lamellé-collé : le module d'élasticité en flexion, le module de cisaillement, la résistance à la flexion, le module d'élasticité en traction axiale, la résistance à la traction axiale, le module d'élasticité en compression axiale, la résistance à la compression axiale, le module d'élasticité en traction transversale, la résistance à la traction transversale, le module d'élasticité en compression transversale, la résistance à la compression transversale et la résistance au cisaillement.

La détermination des dimensions, de la teneur en humidité et de la masse volumique des éprouvettes d'essai est également définie.

Sauf indication contraire, les méthodes s'appliquent aux bois massifs non aboutés ou aboutés par entures multiples et aux bois lamellés-collés, de formes rectangulaire et circulaire (de section relativement constante).

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

EN 384:2010, *Bois de structure — Détermination des valeurs caractéristiques des propriétés mécaniques et de la masse volumique.* ^{A1}

EN 13183-1, *Teneur en humidité d'une pièce de bois scié — Partie 1 : Détermination par la méthode par dessiccation.*

3 Termes et définitions

Non applicable.

4 Symboles et abréviations

A	aire de la section transversale, en millimètres carrés ;
a	distance entre un point de chargement et l'appui le plus proche dans un essai de flexion, en millimètres ;
b	largeur de la section transversale dans un essai de flexion, ou la plus petite dimension de la section transversale, en millimètres ;
$E_{c,0}$	module d'élasticité en compression axiale, en newtons par millimètre carré ;
$E_{c,90}$	module d'élasticité en compression transversale, en newtons par millimètre carré ;
$E_{m,g}$	module global d'élasticité en flexion, en newtons par millimètre carré ;
$E_{m,l}$	module local d'élasticité en flexion, en newtons par millimètre carré ;
$E_{t,0}$	module d'élasticité en traction axiale, en newtons par millimètre carré ;
$E_{t,90}$	module d'élasticité en traction transversale, en newtons par millimètre carré ;
F	force, en newtons ;
$F_{c,90}$	force en compression transversale, en newtons ;
$F_{c,90,max}$	force maximale en compression transversale, en newtons ;
$F_{c,90,max,est}$	force maximale estimée en compression transversale, en newtons ;
F_{max}	force maximale, en newtons ;
$F_{max,est}$	force maximale estimée, en newtons ;
$F_{t,90}$	force en traction transversale, en newtons ;
$F_{t,90,max}$	force maximale en traction transversale, en newtons ;
S	moment statique d'une surface, en millimètres à la puissance trois ;
$f_{c,0}$	résistance à la compression axiale, en newtons par millimètre carré ;
$f_{c,90}$	résistance à la compression transversale, en newtons par millimètre carré ;
f_m	résistance à la flexion, en newtons par millimètre carré ;
$f_{t,0}$	résistance à la traction axiale, en newtons par millimètre carré ;
$f_{t,90}$	résistance à la traction transversale, en newtons par millimètre carré ;
f_v	résistance au cisaillement axial, en newtons par millimètre carré ;
$f_{v,k}$	résistance caractéristique au cisaillement axial, en newtons par millimètre carré ;
G	module de cisaillement, en newtons par millimètre carré ;
$G_{tor,t}$	module de cisaillement en torsion, en newtons par millimètre carré ;
$G_{tor,s}$	module de cisaillement dans le champ de cisaillement, en newtons par millimètre carré ;
h	hauteur de la section transversale dans un essai de flexion ou la dimension la plus grande de la section transversale ou la hauteur de l'éprouvette d'essai dans des essais transversaux et des essais de cisaillement, en millimètres ;
h_0	longueur de base, en millimètres ;
I	moment quadratique d'une surface, en millimètres à la puissance quatre ;
K, k	coefficients ;
k_G	coefficient pour le module de cisaillement ;

k_{rot}	rigidité en torsion, en newton-mètres par radian ;
k_s	rigidité au cisaillement ;
l	portée en flexion ou longueur de l'éprouvette d'essai entre les mors de la machine d'essai en compression ou en torsion, en millimètres ;
l_1	longueur de base pour la détermination du module d'élasticité ou du module de cisaillement, en millimètres ;
l_2	distance entre les supports et la longueur de base en torsion, en millimètres ;
t	épaisseur de la plaque, en millimètres ;
T_r	couple, en newton millimètres ;
V_s	force de cisaillement, en newtons ;
W	module de la section, en millimètres cubes ;
w	flèche, en millimètres.
φ	rotation, en radians ;
χ, η	facteurs de forme.

Suffixes

- 1, 2 correspondent aux forces ou flèches ou éprouvettes à des points particuliers d'un essai et sont référencés dans le texte lorsque nécessaire.

5 Détermination des dimensions des éprouvettes d'essai

Les dimensions de l'éprouvette d'essai doivent être mesurées avec une précision de 1 %. Toutes les mesures doivent être réalisées lorsque les éprouvettes d'essai sont conditionnées tel que défini à l'Article 8. Si la largeur ou l'épaisseur varie dans une même éprouvette d'essai, il convient d'enregistrer ces dimensions comme étant la moyenne de trois mesures différentes prises en différents points de la longueur de chaque éprouvette.

Les mesures ne doivent pas être prises à moins de 150 mm des extrémités.

Les éprouvettes d'essai pour les essais transversaux doivent être rabotées.

6 Détermination de la teneur en humidité des éprouvettes d'essai

La teneur en humidité de l'éprouvette d'essai doit être déterminée conformément à l'EN 13183-1 sur une section prise dans une éprouvette d'essai. Pour le bois de structure, la section transversale doit être entière, exempte de nœuds et de poches de résine. Pour des éprouvettes d'essai destinées à des essais transversaux, la teneur en humidité doit être déterminée à partir de toute l'éprouvette.

Dans les essais de résistance pour la flexion et la traction axiale et la compression axiale, la section doit être découpée aussi près que possible de la rupture.

7 Détermination de la masse volumique des éprouvettes d'essai

La masse volumique de la section transversale complète de l'éprouvette d'essai doit être déterminée sur une section prise dans l'éprouvette d'essai. Pour le bois de structure, la section transversale doit être entière, exempte de nœuds et de poches de résine.

Dans les essais de résistance, la section doit être découpée aussi près que possible de la rupture.

Pour des éprouvettes destinées à des essais transversaux, la masse volumique des éprouvettes d'essai doit être déterminée avant essai après conditionnement à partir des mesures de la masse et du volume de l'éprouvette d'essai toute entière.

8 Conditionnement des éprouvettes d'essai

Tous les essais doivent être réalisés sur des éprouvettes conditionnées dans l'atmosphère normalisée de (20 ± 2) °C et (65 ± 5) % d'humidité relative. Une éprouvette d'essai est conditionnée lorsqu'elle a atteint une masse constante. Une masse constante est considérée comme atteinte lorsque les résultats de deux pesées successives, effectuées à un intervalle de 6 h, ne varient pas de plus de 0,1 % de la masse de l'éprouvette d'essai.

Lorsque le bois à tester ne peut pas être facilement conditionné dans l'atmosphère normalisée ci-dessus (par exemple, pour des feuillus de masses volumiques élevées), ceci doit être enregistré.

Pour de petites éprouvettes, et à moins d'avoir une autre protection, les éprouvettes d'essai ne doivent pas être retirées de l'atmosphère de conditionnement plus d'une heure avant l'essai.

Les éprouvettes d'essai peuvent être stockées dans la zone d'essai pendant une durée maximale de 24 h à condition d'être empilées et enveloppées d'un film étanche à la vapeur.

9 Détermination du module local d'élasticité en flexion

9.1 Éprouvette d'essai

L'éprouvette d'essai doit avoir une longueur minimale égale à 19 fois la hauteur de la section. Lorsque ceci n'est pas possible, la portée de la poutre doit être enregistrée dans le rapport d'essai.

9.2 Mode opératoire

L'éprouvette doit être chargée symétriquement en flexion en deux points sur une portée égale à 18 fois la hauteur, tel que représenté à la Figure 1. Si l'éprouvette et le dispositif d'essai ne permettent pas que ces conditions soient exactement remplies, la distance entre les points de charge et les appuis peut être augmentée jusqu'à 1,5 fois la hauteur de l'éprouvette, et la portée et la longueur de l'éprouvette d'essai peuvent être augmentées jusqu'à trois fois la hauteur de l'éprouvette, tout en maintenant la symétrie de l'essai.

L'éprouvette d'essai doit être supportée sur des appuis simples.

Pour minimiser le poinçonnement local, il est possible d'interposer, entre l'éprouvette et les têtes de chargement ou les appuis, de petites plaques d'acier de longueur inférieure ou égale à la moitié de la hauteur de l'éprouvette d'essai.

Une contrainte latérale doit être exercée lorsque nécessaire pour éviter le déversement. Cette contrainte doit permettre la déformation de l'éprouvette sans résistance de friction significative.

La force doit être appliquée à vitesse constante. La vitesse de déplacement de la tête de chargement ne doit pas dépasser $(0,003 h)$ mm/s (voir Figure 1).

La force maximale appliquée ne doit pas dépasser $0,4 F_{\max, \text{est}}$.

La force maximale estimée, $F_{\max, \text{est}}$ pour le matériau en cours d'essai doit être obtenue soit à partir d'essais réalisés sur au moins dix éprouvettes d'essence de dimensions et de classe appropriées soit à partir de résultats existants appropriés.

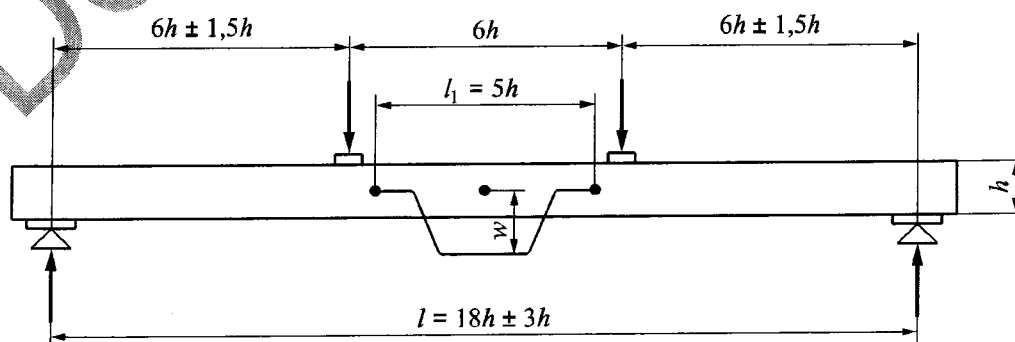


Figure 1 — Dispositif d'essai pour mesurer le module local d'élasticité en flexion

Le dispositif de chargement utilisé doit permettre la mesure de la force avec une précision de 1 % de la force appliquée à l'éprouvette d'essai ou, pour des forces inférieures à 10 % de la force maximale appliquée, avec une précision de 0,1 % de la force maximale appliquée.

La flèche w doit être prise comme la moyenne des mesures sur les deux faces sur l'axe neutre et doivent être mesurées au centre d'une longueur de référence centrale égale à cinq fois la hauteur de la section.

Le dispositif de mesure utilisé doit permettre de mesurer la flèche avec une précision de 1 % ou, pour des flèches inférieures à 2 mm, avec une précision de 0,02 mm.

9.3 Expression des résultats

Utiliser les données obtenues de l'essai du module local d'élasticité pour établir le graphe force/flèche.

Utiliser la section du graphe comprise entre $0,1 F_{\max,est}$ et $0,4 F_{\max,est}$ pour une analyse de régression.

Trouver la partie la plus longue de cette section qui donne un coefficient de corrélation de 0,99 ou mieux. Sous réserve que cette partie couvre au moins la plage comprise entre $0,2 F_{\max,est}$ et $0,3 F_{\max,est}$, calculer le module local d'élasticité selon la formule suivante :

$$E_{m,l} = \frac{al_1^2(F_2 - F_1)}{16I(w_2 - w_1)} \quad \dots (1)$$

où :

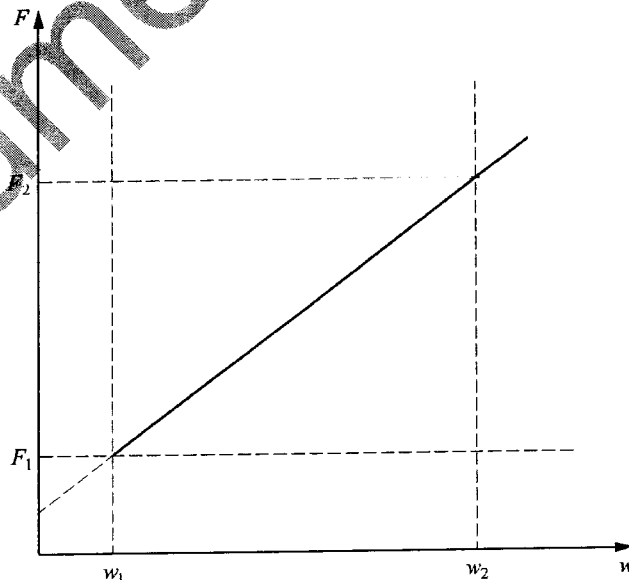
$F_2 - F_1$ est un accroissement de force en newtons sur la ligne de régression avec un coefficient de corrélation de 0,99 ou mieux ; et

$w_2 - w_1$ est l'accroissement de flèche en millimètres correspondant à $F_2 - F_1$ (voir Figure 2).

Le module local d'élasticité $E_{m,l}$ doit être calculé avec une précision de 1 %.

Si une partie du graphe ne peut être trouvée avec un coefficient de corrélation de 0,99 ou mieux couvrant la plage comprise entre $0,2 F_{\max,est}$ et $0,3 F_{\max,est}$, vérifier le dispositif d'essai et prendre des mesures pour éradiquer toutes les erreurs provoquées par des échantillons déformés. Si 0,99 n'est toujours pas atteint, écarter l'éprouvette.

Le module d'élasticité doit être calculé avec une précision de 1 %.



Légende

F Force

w Déplacement

Figure 2 — Courbe force/déplacement dans la plage des déplacements élastiques

10 Détermination du module global d'élasticité en flexion

10.1 Éprouvette d'essai

L'éprouvette d'essai doit avoir une longueur minimale égale à 19 fois la hauteur de la section. Lorsque ceci n'est pas possible, la portée de la poutre doit être enregistrée dans le rapport d'essai.

10.2 Mode opératoire

L'éprouvette doit être chargée symétriquement en flexion en deux points sur une portée égale à 18 fois la hauteur, tel que représenté à la Figure 3. Si l'éprouvette et le dispositif d'essai ne permettent pas que ces conditions soient exactement remplies, la distance entre les points de charge et les appuis peut être augmentée jusqu'à 1,5 fois la hauteur de l'éprouvette, et la portée et la longueur de l'éprouvette d'essai peuvent être augmentées jusqu'à trois fois la hauteur de l'éprouvette, tout en maintenant la symétrie de l'essai.

L'éprouvette d'essai doit être supportée sur des appuis simples.

Pour minimiser le poinçonnement local, il est possible d'interposer, entre l'éprouvette et les têtes de chargement ou les appuis, de petites plaques d'acier de longueur inférieure ou égale à la moitié de la hauteur de l'éprouvette d'essai.

Une contrainte latérale doit être exercée lorsque nécessaire pour éviter le déversement (torsion). Cette contrainte doit permettre la déformation de l'éprouvette sans résistance de friction significative.

La force doit être appliquée à vitesse constante. La vitesse de déplacement de la tête de chargement ne doit pas dépasser $(0,003 h)$ mm/s (voir Figure 3).

La force maximale appliquée ne doit pas dépasser $0,4 F_{\max,est}$ ou provoquer l'endommagement de l'éprouvette sauf si l'essai est réalisé conjointement avec le paragraphe 19.

La force maximale estimée, $F_{\max,est}$ pour le matériau en cours d'essai doit être obtenue soit à partir d'essais réalisés sur au moins dix éprouvettes d'essence de dimensions et de classe appropriées soit à partir de résultats existants appropriés.

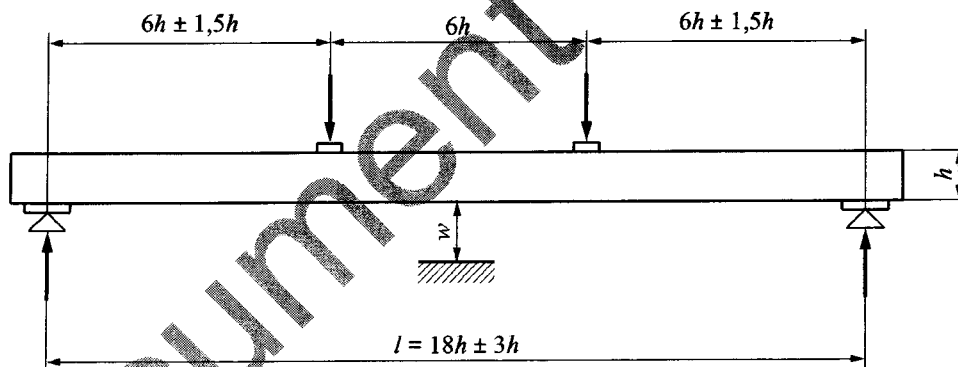


Figure 3 — Dispositif d'essai pour mesurer le module global d'élasticité en flexion

Le dispositif de chargement utilisé doit permettre la mesure de la force avec une précision de 1 % de la force appliquée à l'éprouvette d'essai ou, pour des forces inférieures à 10 % de la force maximale appliquée, avec une précision de 0,1 % de la force maximale appliquée.

La flèche w doit être mesurée au centre de la portée et au centre de la rive de traction ou de compression. Lorsque w est mesurée sur l'axe neutre, elle doit être la moyenne des mesures réalisées sur les deux faces de l'éprouvette d'essai.

Les flèches doivent être déterminées avec une précision de 1 % ou, pour les flèches inférieures à 2 mm, avec une précision de 0,02 mm.

Si la configuration de l'essai diffère de la description ci-dessus de quelque façon que ce soit, ces différences sont alors enregistrées dans le rapport d'essai et les coefficients de correction sont déterminés.

NOTE La flèche w comprend tout poinçonnement local qui pourrait se produire aux points d'appuis et de chargement et la flèche des supports eux mêmes.

D'autres méthodes de détermination basées sur le module d'élasticité dynamique sont autorisées, à condition que la corrélation entre le module d'élasticité dynamique mesuré et le module global d'élasticité soit bien établie et documentée.

10.3 Expression des résultats

Utiliser la section du graphe comprise entre $0,1 F_{\max,est}$ et $0,4 F_{\max,est}$ pour une analyse de régression.

Trouver la partie la plus longue de cette section qui donne un coefficient de corrélation de 0,99 ou mieux. Sous réserve que cette partie couvre au moins la plage comprise entre $0,2 F_{\max,est}$ et $0,3 F_{\max,est}$, calculer le module global d'élasticité, $E_{m,g}$ selon la formule suivante :

Le module global d'élasticité en flexion :

$$E_{m,g} = \frac{3al^2 - 4a^3}{2bh^3 \left(2 \frac{w_2 - w_1}{F_2 - F_1} - \frac{6a}{5Gb} \right)} \quad \dots (2)$$

où :

$F_2 - F_1$ est un accroissement de force en newtons sur la ligne de régression avec un coefficient de corrélation de 0,99 ou mieux

et

$w_2 - w_1$ est l'accroissement de flèche correspondant à $F_2 - F_1$, en millimètres (voir Figure 2).

G est le module de cisaillement calculé selon l'une des deux méthodes données en 11.1 et 11.2.

Le module de cisaillement G doit être pris comme l'infini lorsque l'Équation (2) est utilisée selon l'EN 384 pour la détermination de la classe de résistance.

NOTE 1 L'Équation (2) prend en compte l'influence des déformations dues au cisaillement. La détermination de la classe de résistance selon l'EN 384:2010, paragraphe 5.3.2, comprend une équation de transformation normative qui prend en compte implicitement les déformations dues au cisaillement. Dans ce cas, l'influence du cisaillement comme définie selon l'Équation (2) peut être ignorée en prenant G comme l'infini. L'Équation (2) répond cependant à d'autres besoins et permet d'étudier et d'évaluer l'influence du cisaillement lorsque le module de cisaillement est connu. Le module de cisaillement moyen d'essences de bois de conifères peut être pris comme $G = 650 \text{ N/mm}^2$. Il convient d'enregistrer le résultat avec et sans la correction de la déformation due au cisaillement.

11 Détermination du module de cisaillement

11.1 Méthode en torsion

11.1.1 Éprouvette d'essai

L'éprouvette d'essai doit être de section rectangulaire et doit avoir une longueur d'essai égale à au moins 19 fois la dimension la plus grande de la section.

NOTE 1 La méthode s'applique également aux éprouvettes d'essai de section non rectangulaire, à condition d'appliquer des coefficients modifiés appropriés dans l'équation.

NOTE 2 Cette méthode est particulièrement adaptée aux poutres de bois scié.

11.1.2 Mode opératoire

L'éprouvette d'essai est fixée sur les supports, qui sont espacés de plus de 16 fois la dimension la plus grande de la section, et soumis à une torsion le long de l'axe longitudinal par une rotation relative des supports, voir Figure 4. L'éprouvette d'essai doit être montée de manière à réduire au minimum le déplacement en flexion causé par son poids propre. Les centres des supports sont alignés de sorte que le bridage de l'éprouvette d'essai ne provoque pas de déformation susceptible d'influer sur les résultats de torsion. Le couple est appliqué en faisant tourner un seul support ou les deux.

NOTE 1 Pour éviter les contraintes de flexion supplémentaires causées par le poids propre, en particulier lorsque l'essai est réalisé sur les éprouvettes minces, il convient que la position de départ de ces éprouvettes soit sur le chant.

NOTE 2 Le couple peut être appliqué de différentes manières.

19 Résistance à la flexion axiale

19.1 Éprouvette d'essai

Pour la détermination de la résistance à la flexion du bois, l'éprouvette d'essai doit avoir une longueur minimale égale à 19 fois la hauteur de la section. Lorsque ceci n'est pas possible, la portée de la poutre doit être enregistrée dans le rapport d'essai.

Pour la détermination de la résistance à la flexion de bois abouté par entures multiples, l'éprouvette d'essai doit avoir une longueur minimale égale à $\overline{A_1}$ 19 $\overline{A_1}$ fois la hauteur de la section. Lorsque ceci n'est pas possible, la portée de la poutre doit être enregistrée dans le rapport d'essai.

19.2 Mode opératoire

Pour la détermination de la résistance à la flexion du bois, l'éprouvette d'essai doit être chargée symétriquement en flexion en deux points sur une portée égale à 18 fois la hauteur, tel que représenté à la Figure 17.

Pour la détermination de la résistance à la flexion de bois abouté par entures multiples, l'éprouvette d'essai doit être chargée symétriquement en flexion en deux points sur une portée égale à $\overline{A_1}$ 18 $\overline{A_1}$ fois la hauteur, tel que représenté à la Figure 18 avec l'aboutage à entures multiples situé à mi-portée.

Si l'éprouvette et le dispositif d'essai ne permettent pas que ces conditions soient exactement remplies, la distance entre les points de charge et les appuis peut être augmentée jusqu'à 1,5 fois la hauteur de l'éprouvette, et la portée et la longueur de l'éprouvette d'essai peuvent être augmentées jusqu'à trois fois la hauteur de l'éprouvette, tout en maintenant la symétrie de l'essai.

L'éprouvette d'essai doit être supportée sur des appuis simples.

$\overline{A_1}$ NOTE 1 $\overline{A_1}$ Pour minimiser le poinçonnement local, il est possible d'interposer, entre l'éprouvette et les têtes de chargement ou les appuis, de petites plaques d'acier de longueur inférieure ou égale à la moitié de la hauteur de l'éprouvette d'essai.

Une contrainte latérale doit être exercée lorsque nécessaire pour éviter le déversement. Cette contrainte doit permettre la déformation de l'éprouvette sans résistance de friction significative.

$\overline{A_1}$ La force doit être appliquée à une vitesse constante de déplacement de la tête de chargement de sorte que la force maximale soit atteinte en (300 ± 120) s.

NOTE 2 Il convient de déterminer cette vitesse à partir des résultats d'essais préliminaires. L'objectif est que le temps pour atteindre F_{\max} pour chaque éprouvette soit de 300 s. $\overline{A_1}$

Les ruptures provoquées par d'autres types que la flexion doivent être consignées dans le rapport.

La charge maximale (F_{\max}) de l'essai de flexion doit être enregistrée.

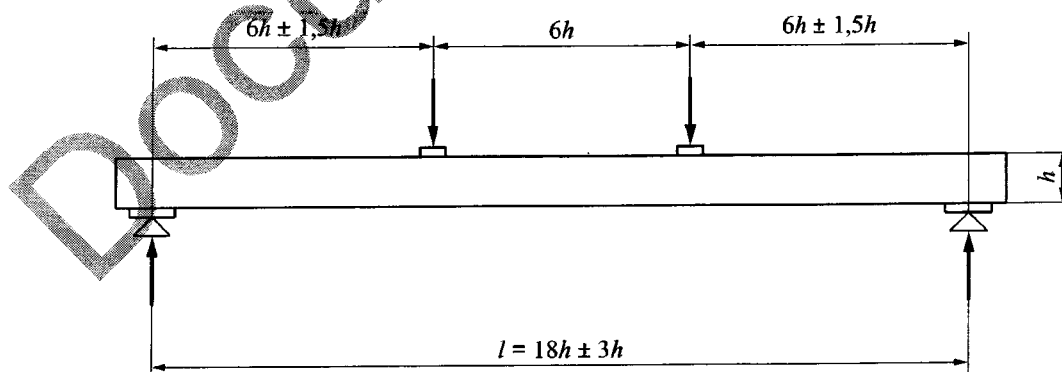


Figure 17 — Dispositif d'essai pour mesurer la résistance à la flexion

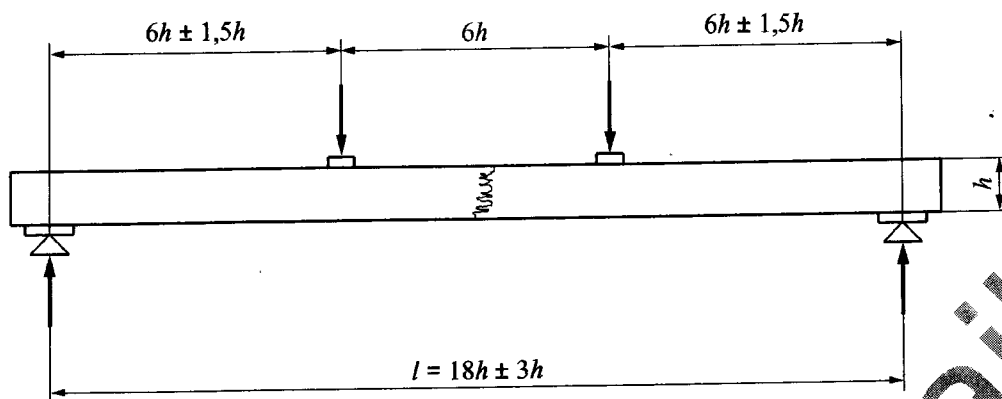


Figure 18 — Dispositif d'essai pour mesurer la résistance à la flexion des aboutages à entures multiples

Le dispositif de chargement utilisé doit permettre la mesure de la force avec une précision de 1 % de la force appliquée à l'éprouvette d'essai ou, pour des forces inférieures à 10 % de la force maximale appliquée, avec une précision de 0,1 % de la force maximale appliquée.

19.3 Expression des résultats

La résistance à la flexion est déterminée par :

$$f_m = \frac{3Fa}{bh^2} \quad \dots (15)$$

Les symboles sont tels que donnés dans l'Article 4.

La résistance à la flexion doit être calculée avec une précision de 1 %.

Le mode de rupture et les caractéristiques de croissance au niveau de la section de rupture de chaque éprouvette d'essai doivent être enregistrés

20 Rapport d'essai

20.1 Généralités

Le rapport d'essai doit comprendre des détails de l'éprouvette d'essai, la méthode d'essai utilisée et les résultats d'essai.

20.2 Éprouvette d'essai

Les informations suivantes doivent être données :

- la description de l'éprouvette d'essai, spécification et qualité du matériau : essence ou type, classe, masse volumique, écarts par rapport aux spécifications, caractéristiques d'affaiblissement de la résistance, dimension des défauts ;
- les dimensions de l'éprouvette d'essai ou de l'aboutage à entures multiples, le type de colle utilisée, le cas échéant, et l'orientation et le nombre de lamelles, le cas échéant ;
- le pays, la région ou l'usine d'origine du matériau échantillonné. De plus, pour le bois lamellé-collé, l'usine d'origine ;
- la méthode de sélection des éprouvettes d'essai ;
- la méthode de conditionnement ;
- toute autre information qui pourrait avoir influencé les résultats d'essai, par exemple le déroulement du séchage.

20.3 Méthode d'essai

Les informations suivantes doivent être données :

- a) une référence aux méthodes d'essai utilisées ;
- b) la température et l'humidité relative au moment de l'essai ;
- c) la description du dispositif de chargement, des dispositifs d'essai et des instruments de mesure utilisés ;
- d) toute autre information pouvant influencer l'utilisation des résultats d'essai.

20.4 Résultats d'essai

Les informations suivantes doivent normalement être données pour chaque éprouvette d'essai :

- a) la teneur en humidité de l'éprouvette d'essai au moment de l'essai ;
- b) les dimensions réelles ;
- c) les valeurs de résistance et/ou de rigidité ;
- d) l'emplacement et la forme des fissures ou les modes de rupture autres que prévus ;
- e) le pourcentage estimé de rupture du joint de collage et du bois dans l'aboutage à entailles multiples, le cas échéant ;
- f) les temps pour atteindre la force maximale ;
- g) toute autre information pouvant influencer l'utilisation des résultats d'essai.

Document de travail

Bibliographie

- [1] ISO 8375:1985, *Structures en bois — Bois lamellé-collé — Méthodes d'essai pour la détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques.*
- [2] Feldborg, T., Determination of some mechanical properties of timber in structural sizes, In Proceedings of the 1991 International Timber Engineering Conference, London 1991, Vol.2. p189-199.
- [3] Brandner, R., Gehri, E., Bogensperger, T., Schickhofer, G. Determination of modulus of shear and elasticity of glued laminated timber and related examinations, Proceedings of CIB-I8/ paper 40-12-2, Bled, August 2007.

Document de travail



ANNEXE II



ANNEXE II

Tableau. 1 : Résultats des mesures de la densité.

Eprouvette	L [mm]	I [mm]	h [mm]	m1 [g]	m2 [g]	v [mm ³]	p[kg/m ³]	d
A 1-1	20,43	20,3	21,83	5,78	5,07	9053,53	638,42	0,64
A 1-2	20,14	18,12	21,55	4,88	4,30	7864,39	620,52	0,62
A 1-3	20,34	17,42	20,53	4,56	4,06	7274,25	626,87	0,63
A 1-4	20,72	18,9	20,81	5,09	4,52	8149,36	624,59	0,62
A 2-1	19,76	20,61	20,76	5,22	4,63	8454,58	617,42	0,62
A 2-2	20,98	20,82	19,24	5,21	4,61	8404,10	619,94	0,62
A 2-3	18,41	20,29	20,34	5,05	4,40	7597,78	664,67	0,66
A 2-4	20,55	21,87	18,85	5,00	4,38	8471,73	590,20	0,59
A 3-1	20,67	20,64	18,87	5,01	4,46	8050,49	622,32	0,62
A 3-2	18,25	21,55	20,25	5,07	4,43	7964,07	636,61	0,64
A 3-3	20,64	20,69	20,57	5,08	4,48	8784,25	578,31	0,58
A 3-4	21,63	20,32	18,91	4,87	4,26	8311,35	585,95	0,59
A 4-1	18,96	20,74	20,69	5,14	4,56	8135,94	631,76	0,63
A 4-2	20,33	18,94	20,25	5,10	4,49	7797,27	654,08	0,65
A 4-3	18,72	20,75	20,71	5,04	4,43	8044,59	626,51	0,63
A 4-4	18,27	20,65	20,84	4,95	4,37	7862,42	629,58	0,63
A 5-1	20,27	17,97	20,08	4,69	4,13	7314,18	641,22	0,64
A 5-2	19,86	20,82	19,09	4,91	4,32	7893,43	622,04	0,62
A 5-3	21,44	20,42	18,33	4,83	4,24	8024,96	601,87	0,60
A 5-4	20,7	18,94	20,66	4,04	4,43	8099,92	498,77	0,50
A 6-1	20,57	20,33	19,42	5,23	4,58	8121,21	643,99	0,64
A 6-2	21,58	19,7	19,12	4,66	4,11	8128,41	573,30	0,57
A 6-3	20,62	20,79	18,47	4,91	4,36	7917,90	620,11	0,62

ANNEXE II

A 6-4	20,16	22,13	18,98	5,03	4,40	8467,75	594,02	0,59
A 7-1	20,91	20,64	18,91	5,04	4,43	8161,22	617,55	0,62
A 7-2	20,63	21,21	20,6	4,97	4,37	9013,78	551,38	0,55
A 7-3	20,54	21,12	19,2	5,02	4,43	8329,05	602,71	0,60
A 7-4	20,69	19,13	20,93	5,29	4,65	8284,09	638,57	0,64
A 8-1	20,34	20,91	19,46	5,06	4,47	8276,52	611,37	0,61
A 8-2	18,73	20,74	20,73	4,71	4,15	8052,78	584,89	0,58
A 8-3	20,68	18,7	20,52	5,00	4,41	7935,41	630,09	0,63
A 8-4	21,54	18,29	19,84	4,81	4,20	7816,30	615,38	0,62
A 9-1	18,48	20,85	20,67	4,98	4,40	7964,32	625,29	0,63
A 9-2	18,29	20,62	20,37	4,84	4,30	7682,34	630,02	0,63
A 9-3	18,96	21,8	19,73	5,12	4,52	8154,96	627,84	0,63
A 9-4	20,73	18,75	20,96	5,15	4,57	8146,89	632,14	0,63
A 10-1	20,54	21,14	17,65	4,68	4,14	7663,91	610,65	0,61
A 10-2	20,62	20,69	19,22	5,13	4,54	8199,79	625,63	0,63
A 10-3	22,02	20,21	19,31	5,11	4,50	8593,42	594,64	0,59
A 10-4	19,06	20,82	20,81	5,03	4,46	8258,02	609,11	0,61

ANNEXE II

Tableau. 2 : Résultats des mesures de taux d'humidité.

Eprouvette	m_1 [g]	m_2 [g]	$m_1 - m_2$	$(m_1 - m_2) / m_1$	w %
A 1-1	5,78	5,07	0,71	0,12	12,28
A 1-2	4,88	4,30	0,58	0,12	11,89
A 1-3	4,56	4,06	0,50	0,11	10,96
A 1-4	5,09	4,52	0,57	0,11	11,20
A 2-1	5,22	4,63	0,59	0,11	11,34
A 2-2	5,21	4,61	0,60	0,12	11,52
A 2-3	5,05	4,40	0,65	0,13	12,87
A 2-4	5,00	4,38	0,62	0,12	12,40
A 3-1	5,01	4,46	0,55	0,11	10,98
A 3-2	5,07	4,43	0,64	0,13	12,62
A 3-3	5,08	4,48	0,60	0,12	11,81
A 3-4	4,87	4,26	0,61	0,13	12,53
A 4-1	5,14	4,56	0,58	0,11	11,28
A 4-2	5,10	4,49	0,61	0,12	11,96
A 4-3	5,04	4,43	0,61	0,12	12,10
A 4-4	4,95	4,37	0,58	0,12	11,72
A 5-1	4,69	4,13	0,56	0,12	11,94
A 5-2	4,91	4,32	0,59	0,12	12,02
A 5-3	4,83	4,24	0,59	0,12	12,22
A 5-4	5,04	4,43	0,61	0,12	12,10
A 6-1	5,23	4,58	0,65	0,12	12,43
A 6-2	4,66	4,11	0,55	0,12	11,80
A 6-3	4,91	4,36	0,55	0,11	11,20
A 6-4	5,03	4,40	0,63	0,13	12,52
A 7-1	5,04	4,43	0,61	0,12	12,10
A 7-2	4,97	4,37	0,60	0,12	12,07
A 7-3	5,02	4,43	0,59	0,12	11,75
A 7-4	5,29	4,65	0,64	0,12	12,10
A 8-1	5,06	4,47	0,59	0,12	11,66
A 8-2	4,71	4,15	0,56	0,12	11,89
A 8-3	5,00	4,41	0,59	0,12	11,80
A 8-4	4,81	4,20	0,61	0,13	12,68
A 9-1	4,98	4,40	0,58	0,12	11,65

ANNEXE II

A 9-2	4,84	4,30	0,54	0,11	11,16
A 9-3	5,12	4,52	0,60	0,12	11,72
A 9-4	5,15	4,57	0,58	0,11	11,26
A 10-1	4,68	4,14	0,54	0,12	11,54
A 10-2	5,13	4,54	0,59	0,12	11,50
A 10-3	5,11	4,50	0,61	0,12	11,94
A 10-4	5,03	4,46	0,57	0,11	11,33

ANNEXE II

Tableau. 3 : Résultats de mesure du module de YOUNG. [Mode 1].

Eprouvette	F1[KN]	F2[KN]	W1[mm]	W2[mm]	F2-F1[N]	W2-w1[mm]	E[Mpa]	E _{moy} [Mpa]
A1	1,10	2,19	0,41	1,03	1090	0,62	16715.35	14030.2
	1,00	2,50	2,01	3,25	1494	1,25	11345.05	
A2	1,02	2,14	0,60	1,66	1120	1,06	10035.25	11269.63
	1,04	2,01	0,85	1,59	970	0,73	12504.02	
A3	0,99	2,01	0,78	1,59	1020	0,81	11974	13281.8
	1,01	1,93	1,39	1,99	919	0,60	14589.6	

Tableau. 4 : Résultats de mesure du module de YOUNG. [Mode 2].

Eprouvette	F2[KN]	F2[KN]	W1[mm]	W2[mm]	F2-F1[N]	W2-W1[mm]	E[Mpa]	E _{moy} [Mpa]
C1	0,94	2,06	1,49	2,51	1120	1,02	10440.61	10805.18
	0,95	2,01	1,07	1,97	1066	0,90	11169.75	
C2	1,05	2,04	1,52	2,33	986	0,81	11517.7	11494.31
	1,10	1,95	1,24	1,94	845	0,70	11470.91	
C3	1,00	2,04	1,17	2,40	1039	1,23	7973.09	8352.48
	1,00	1,95	1,37	2,41	957	1,04	8731.86	

Tableau. 5 : Résultats de mesure du module de YOUNG. [Mode 3].

Eprouvette	F1[KN]	F2[KN]	W1[mm]	W2[mm]	F2- F1[N]	W2- W1[mm]	E[Mpa]	E _{mov} [Mpa]
P1	1,00	2,02	0,94	1,94	1013	1,00	9575.24	9645.74
	0,99	2,02	0,93	1,94	1031	1,00	9716.26	
P2	0,98	2,04	0,43	1,94	1053	1,50	6628.93	7973.25
	0,99	1,96	1,34	2,32	969	0,98	9317.57	
P3	1,10	2,01	1,77	2,63	912	0,86	10033.91	9761.49
	0,94	1,98	1,49	2,53	1044	1,04	9489.07	

ANNEXE II

Tableau. 6 : Résultats de mesure du module de YOUNG (Avec Nœud) .

Eprouvette	F2[kN]	F1[kN]	W2[mm]	W1[mm]	F2- F1[N]	W2-W1[mm]	E[Mpa]	E _{moy} [Mpa]
P1	2,45	1,24	2,02	1,04	1218	0,99	11664.45	10723.23
P2	2,54	1,03	3,67	1,63	1508,7	2,04	6990.71	
P3	2,48	1,10	2,47	0,85	1374	1,62	8025.01	
P4	2,44	1,09	2,24	1,20	1350	1,04	12329.57	
P5	2,50	1,07	2,92	1,52	1429	1,40	9671.62	
P6	2,49	1,03	2,33	1,08	1460	1,25	11051.39	
P7	2,50	1,07	1,98	1,08	1438	0,90	15050.97	
P8	2,48	1,03	2,33	1,08	1450	1,25	11002.1	

Tableau. 7 : Résultats de mesure de la résistance à la flexion. [Mode 1]

Eprouvette	Force [kN]	σ_{\max} [MPa]
A1	12360	68.67
A2	6126	34.03
A3	7092	39.4

Tableau. 8 : Résultats de mesure de la résistance à la flexion. [Mode 2]

Eprouvette	Force[N]	σ_{\max} [MPa]
C1	5778	32.1
C2	5847	32.48
C3	4705	26.14

Tableau. 9 : Résultats de mesure de la résistance à la flexion. [Mode 3]

Eprouvette	Force[N]	σ_{\max} [MPa]
P1	4722	26.23
P2	5308	29.49
P3	3698	20.54

Tableau. 10 : Résultats de mesure de la résistance à la flexion (Avec Nœud)

Eprouvette	Force[N]	σ_{\max} [MPa]
P1	12366	68.7
P2	5700	31.67
P3	8443	46.91
P4	1338	7.43
P5	5402	30.01
P6	4542	25.23
P7	11560	64.22
P8	6290	34.94

