

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 :

**HALOUI Roumaissa**

**DOUAKHA Kenza**

---

---

**Thème : DÉTERMINATION EXPÉRIMENTALE DE LA  
RÉSISTANCE AU VIEILLISSEMENT DE JOINTS  
COLLÉS DU BOIS DE PIN D'ALEP**

---

---

Sous la direction de : Pr. NAFA Zahreddine

---

**Juin 2018**

---

## **Remerciements :**

Il est agréable de profiter de cette occasion pour rendre un hommage particulièrement sincère à travers ce modeste travail, à tous ce qui nous est chères, à tous ce qui nous ont soutenus moralement et matériellement.

Nous remercierons Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la santé, et en nous accordant son soutien durant les périodes les plus difficiles.

Nous remercierons vivement notre encadreur du thème, monsieur Zahreddine Nafa, d'avoir encadré ce travail et d'avoir surtout cru au sujet.

Nos chers et honorables parents qui nous ont accordé leurs soutiens durant toute la durée de ce travail.

Nos remerciements vont enfin aux familles, amies et toutes les personnes qui ont contribué, à l'élaboration de ce travail.

Nous n'oublions pas de remercier tant de personnes, que nous ne pouvons nommer, de peur d'en oublier ; que toutes sachent qu'elles sont bien présentes dans nos esprits et dans nos cœurs.

## ملخص □

تعتبر الألواح الخشبية المصققة من أهم المنتجات المطورة في صناعة الخشب ، فهي تسمح بالحصول على عناصر هيكلية ذات أبعاد كبيرة وخصائص مقاومة تؤخذ بعين الاعتبار. وبما أن استخدام الخشب كعنصر هيكل أساسي في البناء معدوم في الجزائر أردنا انجاز هذا المشروع الدراسي لتسليط الضوء على هذا النوع من المواد الجديدة في البناء وذلك بالاعتماد على المنتج المحلي الجزائري بغية استغلاله ، فاخترنا خشب الصنوبر الحلبي لكثرة انتشاره في شمال إفريقيا وخصوصا الجزائر.

هذا المشروع هو دراسة مخبرية لمقاومة شيوخة المفاصل المصققة المصنوعة من خشب الصنوبر الحلبي ، قمنا باستعمال قطع مصنعة وفقا للمعايير المعمول بها في إجراء التجارب المخبرية الخاصة بشيوخة المفاصل المصققة. تم استعمال أربع أنواع من الغراء □ غراء فينيل ، نيوبرين ، ايبوكسي وآخر راتنج .

تظهر النتائج المتحصل عليها من ناحية اختلافا كبيرا بين سلوك المفاصل المصققة لمختلف أنواع الغراء المستخدم ، ومن ناحية أخرى تباين كبير بين نتائج العينة الواحدة ، وبعد مقارنة النتائج وجدنا أن غراء الراتنج يقدم أفضل سلوك بينما غراء فينيل يعطي أسوأ النتائج.

**الكلمات المفتاحية:** الخشب ، الصنوبر الحلبي ، الألواح الخشبية المصققة ، المفاصل المصققة ، شيوخة المفاصل .

## **Résumé :**

Le lamellé collé est l'un des produits développés par l'industrie du bois, qui permet d'obtenir des éléments de structure de dimensions et des résistances importantes, et comme l'utilisation du bois comme matériau de construction est très minime en Algérie ; nous voulions accomplir ce projet pour mettre en évidence ce genre de nouveaux matériaux innovants à base de produits nationaux pour valorisation.

Ce projet est une étude expérimentale de la résistance au vieillissement de joints collés du bois de pin d'Alep. Nous avons utilisé des éprouvettes confectionnées selon les normes en vigueur pour effectuer des essais au laboratoire de vieillissement accéléré des joints collés. Quatre colles sont testées ; une vinylique, un néoprène, une époxy et une dernière résine...

Les résultats obtenus montrent d'une part une grande différence entre les comportements des joints collés pour les différentes colles utilisées. D'autre part une grande dispersion des résultats est observée au sein même des éprouvettes de la même colle. Il en ressort que c'est la résine acrylique qui donnent les meilleures performances, quand à la colle blanche elle donne les plus mauvais résultats.

**Mots clés** : Bois, pin d'Alep, lamellé collé, joint collé, vieillissement de joints

## **Abstract:**

Glued laminated timber is one of the products developed by the industry of wood, which make possible to obtain elements of structure of dimensions and strength important, and as the use of wood as a structural material is very minimal in Algeria; we wanted to do this project to highlight this kind of new innovative materials based on national products for the valorization.

This project is an experimental determination of resistance to aging of glued joints of Aleppo pine wood. We have used specimens prepared with current standards in order to carry out laboratory tests on the aging of glued joints. Four glues are tested: vinyl glue, neoprene, epoxy and last resin.

The results obtained show on the one hand a large difference between the behaviors of the glued joints for the different glues used. On the other hand a large dispersion of the results is observed within the specimens of the same glue. It comes out that it is the acrylic resin that gives the best performance, when to the white glue it gives the worst results.

**Key words :** Wood , Aleppo pine, glued laminated , glued joints, aging of the joints.

## Table des matières

Remerciements

ملخص

Résumé

Abstract

INTRODUCTION GENERALE :	1
ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE	4
CHAPITRE I : LE BOIS	4
I.1. Quelques définitions :	4
I.1.1. La résistance :	4
I.1.2. Vieillessement :	4
I.1.3. Joints collés :	4
I.1.4. Pin d'Alep :	4
I.2. Introduction :	4
I.3. Origine du bois :	5
I.4. Catégories du bois :	6
I.4.1. Résineux (à feuilles persistantes) :	6
I.4.2. Feuillus (à feuilles caduques) :	6
I.5. PROPRIETES DU BOIS.	7
I.5.1. Physiques :	7
I.5.1.1. L'anisotropie :	7
I.5.1.2. L'hygroscopie :	7
I.5.1.3. L'humidité :	8
I.5.1.4. Rétractabilité :	8
I.5.1.5. Retrait :	9
I.5.1.6. Gonflement :	9
I.5.1.7. La densité	9
I.5.2. Mécaniques :	10

I.5.2.1.Direction de chargement : .....	10
I.5.2.2.Résistance : .....	11
I.6.Composition du bois : .....	13
I.7.Défaut des bois : .....	13
I.7.1.Défaut dus à la structure même du bois : .....	14
I.7.1.1.Les nœuds : .....	14
I.7.1.2.Cannelures : .....	14
I.7.2. Défaut dus à des anomalies de croissance : .....	14
I.7.2.1.Cœur excentré : .....	14
I.7.2.2.Entre-écorce : .....	14
I.7.2.3.Loupes, broussins : .....	15
I.7.2.4.La courbure du tronc : .....	15
I.7.3.Défauts due à des agents extérieurs : .....	15
I.7.3.1.Roulures : .....	15
I.7.3.2.Gélivures : .....	16
I.7.3.3.Cadranures ou cœur étoilé : .....	16
CHAPITRE II : LE BOIS DANS LA CONSTRUCTION. ....	18
II.1.Introduction : .....	18
II. 2. Historique du bois dans la construction : .....	18
II.3.Domaines d'utilisation du bois dans la construction : .....	19
II.4.Les avantages du bois dans la construction : .....	20
II.4.1.Un chantier propre et sec : .....	20
II.4.2.Une rapidité d'exécution : .....	20
II.4.3.Des économies d'énergies : .....	20
II.4.4.Un matériau durable et écologique : .....	20
II.4.5. Matériau confortable : .....	20
II.4.6.Matériau sain : .....	21

II.4.7. Matériau recyclable, renouvelable .....	21
II.4.8. Matériau qui possède une bonne réaction au feu : .....	21
II.5. Différents systèmes constructifs du bois : .....	22
II.5.1. La construction en bois massif empilé : .....	22
II.5.2. Construction à ossature : .....	22
II.5.3. Construction à poteaux-poutres : .....	23
II.5.4. Construction massive en bois : .....	23
<b>CHAPITRE III : STRUCTURES COLLÉES ET LA COLLE.</b> .....	<b>25</b>
III.1. Introduction : .....	25
III.2. Les mécanismes du collage - théories de l'adhésion. ....	25
III.3. Les adhésifs structuraux. ....	25
III.3.1. Généralités sur les adhésifs structuraux. ....	25
III.3.2. Les principales familles d'adhésifs. ....	26
III.3.2.1. Les époxydes. ....	27
III.3.2.2. Les polyuréthanes. ....	27
III.3.2.3. Les acryliques. ....	27
III.3.2.4. Les polyimides : .....	28
III.3.2.5. Comparatif des performances des adhésifs structuraux : .....	28
III.4. Assemblage bois collé .....	29
III.4.1. Introduction au collage du bois. ....	29
III.4.2. Différents assemblages collés. ....	29
III.4.2.1. Aboutage. ....	30
III.4.2.2. Bois lamellé collé : .....	31
III.4.2.2.1. Historique du lamellé collé : .....	32
III.4.2.2.2. Les classes de résistance pour le bois lamellé collé : .....	32
III.4.2.2.3. Avantages du lamellé collé : .....	33
III.4.2.2.4. Fabrication du lamellé collé : .....	34



III.4.3.Le dommage mécanique.....	36
ÉTUDE EXPÉRIMENTALE.....	37
CHAPITRE I : CARACTERISATION DU PIN D’ALEP .....	38
I .1.INTRODUCTION : .....	38
I.1.1.La réception du bois :.....	38
I.1.2.Découpage et séchage du bois : .....	39
I.1.3.Confection des éprouvettes de flexion :.....	39
I.1.4.Encollage : .....	39
I.2.Caractéristique physique :.....	41
I.2.1.Densité : .....	41
II.2.2.Taux d’humidité : .....	43
I.3.Caractérisation mécanique :.....	44
I.3.1.Appareillage :.....	44
II.3.2.Mode opératoire :.....	45
II.3.3.Expression des résultats :.....	46
I.3.4.Colles utilisées : .....	46
I.3.5.Rapport d’essai : .....	48
CHAPITRE II : PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS.....	49
II.1.Caractérisation physique : .....	49
II.1.1.La densité :.....	49
II.1.1.1.Densité humide :.....	49
II.1.1.2.Densité sèche : .....	50
II.1.2.Le taux d’humidité : .....	51
II.2.Caractérisation mécanique :.....	52
II.2.1.Résistance au vieillissement de la colle néoprène « Pattex »:.....	52
II.2.2.Résistance au vieillissement de la colle époxyde « Epoxy » :.....	54
II.2.3.Résistance au vieillissement de la colle Résine:.....	55

II.2.4.Résistance au vieillissement de la colle vinylique « colle blanche » : .....	57
CONCLUSION GENERALE .....	59
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE .....	61
TABLE DES ILLUSTRATIONS .....	64
Liste des figures : .....	65
Liste des tableaux : .....	67
Liste d'histogrammes : .....	68
ANNEXES .....	69
ANNEXE I : Identification physique du bois pin d'Alep. ....	70
ANNEXE 2 : Norme NF EN 391 .....	71
ANNEXE 3 : Norme NF B51-005 .....	79
ANNEXE 4 : Norme NF B51-004 .....	84

INTRODUCTION  
GENERALE

### INTRODUCTION GENERALE :

La présente recherche s'intitule « Détermination expérimentale de la résistance au vieillissement de joints collés du bois de pin d'Alep », elle nous est proposée dans le cadre du projet de fin d'études du diplôme de master Génie Civil option structures.

L'étude fait partie d'un plus large projet de recherche entrepris depuis quelques années dans le laboratoire de Génie Civil et d'hydraulique de l'université de Guelma et qui rentre dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux et nationaux. Le projet s'intitule " Valorisation du pin d'Alep : aboutage et Lamellé-collé" et a fait l'objet de deux précédents mémoires de master. [1.2]

La conception et la caractérisation du bois lamellé-collé sont régies par des normes qui permettent d'évaluer la reconstitution des lames de bois par aboutage (test en flexion des aboutages) dans un premier temps et de valider dans un second temps l'assemblage par collage en lamellation (test de délamination et test de cisaillement du joint de colle).

Dans le test de délamination, objet de notre recherche, les échantillons normalisés sont plongés dans un autoclave avec cycles de dépression/pression. Les échantillons sont ensuite séchés dans une cellule climatique, avec une humidité et une température contrôlés. A la fin du cycle de séchage, les fentes opérant dans les joints de colle sont mesurées. Le test est régi par la norme NF EN 391.

Le mémoire est divisé en deux parties :

La première partie est une revue bibliographique et comporte trois chapitres :

**Chapitre I :** contient l'essentiel du matériau bois, on commence par présenter le bois puis découvrir ces essences, ces propriétés physiques et mécaniques et enfin ces avantages et défauts.

**Chapitre II :** est concentré sur la connaissance du bois comme matériau de construction, son domaine d'utilisation, ces avantages et ces différents systèmes constructifs.

**Chapitre III :** rassemble les domaines concernant la colle et les assemblages collés et particulièrement le bois lamellé collé.

La deuxième partie expose la méthodologie expérimentale et l'interprétation des résultats, et comporte deux chapitres :

## INTRODUCTION GENERALE

**Chapitre I :** nous présenterons le matériel et matériaux utilisés, puis nous rappellerons les principes des méthodes expérimentales utilisées ainsi que les différents protocoles poursuivis.

**Chapitre II :** est consacré à l'analyse des résultats et les discussions.

Nous clôturons le présent mémoire par une conclusion générale résumant les objectifs fixés ainsi que les principaux résultats obtenus.

PREMIERE PARTIE :

ÉTUDE  
BIBLIOGRAPHIQUE

## CHAPITRE I : LE BOIS

### I.1. Quelques définitions :

Nous donnons ici des définitions de quelques termes utilisés dans ce chapitre.

#### I.1.1. La résistance :

La résistance des matériaux est une discipline qui permet de calculer les contraintes et déformations des matériaux au sein de structures [3]. Autrement dit, elle analyse le comportement des matériaux d'une structure en fonction des forces et des déplacements.

#### I.1.2. Vieillessement : (Délamination)

Utilisé ici pour désigner le décollement du joint collé appelé aussi délamination.

#### I.1.3. Joints collés :

Interface reliant les deux éléments collés. Le joint est physiquement constitué d'une surface plane dont on ne voit qu'une partie linéaire.

#### I.1.4. Pin d'Alep :

Le pin d'Alep est un arbre très fréquent dans les régions méditerranéennes. Son nom scientifique est *Pinus halepensis*. Il tient son nom de la ville d'Alep, en Syrie .

C'est un arbre de 5 à 20m de hauteur. On l'appelle parfois « pin blanc ».



**Figure I. 1** : L'arbre du pin d'Alep.  
Source : [4]

### I.2.Introduction :

Le bois est un matériau naturel, produit par les arbres à partir d'eau, de CO<sub>2</sub> et de soleil. Il s'agit en fait de la matière ligneuse et compacte, plus ou moins dure, formée par les vaisseaux transporteurs de sève, aux parois riches en cellulose et en lignine. Il se compose généralement d'environ 50% de carbone, 42% d'oxygène, 6% d'hydrogène, 1% d'azote et 1% d'éléments divers. [5]

## CHAPITRE I : LE BOIS

On retrouve ces principaux constituants organiques sous forme de cellulose (50%) et de lignine (20%).

Le bois compose principalement le tronc, les branches et les racines des arbres et des arbrisseaux. Il est fourni par deux grandes groupes : les "feuillus" d'un côté et les "conifères" (ou "résineux") de l'autre. En effet, le bois des Gymnospermes (résineux) présente une structure moins complexe que celui des Angiospermes (feuillus). [6]

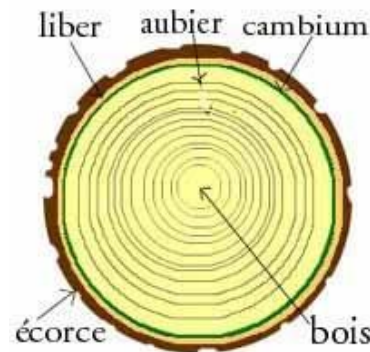
La norme NF B 50-003[7] définit le bois comme un "ensemble de tissus résistants secondaires (de soutien, de conduction, et de mise en réserve) qui forment les troncs, branches et racines des plantes ligneuses. Issu du fonctionnement du cambium périphérique, il est situé entre celui-ci et la moelle. Ne s'applique pas aux monocotylédones (bambous, palmiers, rotins)".

### **I.3.Origine du bois :**

Le bois a pour origine l'arbre et le matériau qui nous intéresse le plus particulièrement est celui tiré du tronc. Pris dans son ensemble, le tronc comprend :

1. Le rhytidome est la partie externe de l'écorce. Il protège l'arbre contre les attaques biologiques (insectes), contre les gelures, contre le dessèchement (coup de soleil) et contre les blessures (chutes de pierres).
2. Le liber est la partie interne de l'écorce. C'est l'appareil conducteur de la sève élaborée (descendante) formée de glucose transformé en amidon.
3. Le cambium est le tissu de croissance de l'arbre.
4. L'aubier représente le système conducteur de la nourriture de l'arbre, des racines à la couronne. Il transporte la sève brute (montante), un mélange de sels nutritifs dissous dans l'eau que les racines prélèvent du sol. L'aubier reprend aussi l'effort principal des charges mécaniques (en traction et en compression) dus aux vents, à la neige et au poids propre de la couronne.
5. Le bois de cœur (ou le bois parfait ou duramen) est l'élément de soutien central de l'arbre. En revanche, il ne remplit plus de fonction conductrice des substances nutritives.





**Figure I. 2 :** Vue en coupe d'un troc d'arbre et les différentes parties qui le composent.  
Source : [8]

### I.4.Catégories du bois :

Au cours de l'évolution, le règne des plantes ligneuses formant des arbres s'est divisé en résineux plus anciens, et feuillus plus jeunes et de structure plus complexe.

#### I.4.1.Résineux (à feuilles persistantes) :

L'anatomie des bois résineux se distingue dans son principe même de celle des feuillus, apparus plus tard dans l'histoire phylogénétique. Le tissu fondamental est constitué de cellules nommées trachéides.

Celles qui sont situées dans le bois initial (bois de printemps) remplissent en premier lieu une fonction conductrice et sont pourvues, à cet effet, de nombreuses ponctuations aréolées, qui servent à l'échange de la sève brute (ascendante) entre deux cellules et fonctionnent comme des valves à membrane. Les trachéides du bois final (bois d'été) ont des parois plus épaisses et un diamètre plus petit. Elles constituent principalement le tissu de soutien.

Quelques résineux, conifères : pins, sapins, épicéa, douglas, mélèze, pin blanc ...

#### I.4.2.Feuillus (à feuilles caduques) :

Les cellules longitudinales se sont spécialisées en éléments vaisseaux et en fibres. Les vaisseaux remplissent la fonction conductrice de la sève brute (ascendante). Lors de leur croissance, leurs extrémités se juxtaposent et leurs parois cellulaires sont perforées par de

## CHAPITRE I : LE BOIS

grandes ouvertures de la taille de leur diamètre formant ainsi un long « tuyau » continu. Selon les espèces, la taille des vaisseaux est tellement grande qu'ils deviennent visibles à l'œil nu sous formes de pores. La paroi des vaisseaux est parsemée de punctuations aréolées, qui servent à l'échange de la sève brute (ascendante) entre deux vaisseaux et fonctionnent comme des valves à membrane.

Les fibres constituent le tissu de soutien. Elles sont de très petits diamètres, possèdent une paroi cellulaire très épaisse et n'ont quasiment plus de lumen (vide à l'intérieur de la cellule).

Quelques feuillus : Chêne, frêne, hêtre, peuplier, noyer, châtaigner, pommier ...

### **I.5.PROPRIETES DU BOIS.**

#### **I.5.1.Physiques :**

Les propriétés physiques du bois sont les caractéristiques quantitatives du bois et son comportement à des influences extérieures autres que des forces appliquées. Les propriétés physiques du bois dépendent largement de sa structure, c'est à dire de la disposition et de la nature des éléments qui le composent.

##### **I.5.1.1.L'anisotropie :**

Le bois est un matériau anisotrope, c'est-à-dire que sa structure et ses propriétés varient dans les différentes directions du plan ligneux : directions longitudinale (parallèles aux fibres = le fil du bois), radiale (perpendiculaire aux fibres et normales aux cernes) et tangentielle (perpendiculaire aux fibres et tangent aux cernes). [9]

Cette anisotropie est due à la disposition et la forme particulière de différents éléments du bois, dont la plupart (vaisseaux, fibres et trachéides) sont allongés dans la direction longitudinale. Pour cette raison, bien que la plupart des propriétés du bois diffèrent dans ces trois directions, les différences de propriétés entre l'axe radial et tangentiel sont en général mineures, les différences principales étant observées pour l'axe longitudinal.

##### **I.5.1.2.L'hygroscopie :**

Le bois est hygroscopique c'est-à-dire qu'il absorbe l'humidité de l'air. Sa dépend de l'essence, du lieu et des conditions de croissance, de la partie de l'arbre concernée et de la température de l'air ambiant.

### **I.5.1.3.L'humidité :**

Le taux d'humidité d'un bois correspond à la masse d'eau contenue dans le bois pouvant être enlevée par dessiccation. Ce paramètre est donné par : [10,11]

$$H\% = \frac{mh - m_0}{m_0} \times 100\%$$

Avec :

$m_0$  correspond à la masse anhydre du bois obtenue après un séchage de l'échantillon dans une étuve à 103°C +/- 2°C

$m_h$  est la masse du bois au taux d'hygrométrie  $h$ .

Lorsque le bois vert est séché, c'est d'abord l'eau contenue dans les vides cellulaires du bois qui est évacuée. Cette eau est communément appelée « eau libre » du fait qu'elle est dissociée au niveau moléculaire [12]. L'eau contenue dans les parois cellulaires est dite « eau liée », elle est liée aux composants des parois par des liaisons hydrogènes et des forces de Van der Waals [12] rendant l'évacuation de cette eau plus énergivore. Le moment où les vides cellulaires sont exempts de toute « eau libre », alors que les parois cellulaires sont encore saturées en eau, est appelé Point de Saturation des Fibres (PSF). Ce taux d'humidité est compris entre 15% et 40% et dépend des espèces de bois. En pratique une valeur de 28% constitue une moyenne convenable.

### **I.5.1.4.Rétractabilité :**

C'est la fonction qu'il a de varier en dimensions et en volume lorsque son état d'humidité varie entre certaines limites comprises entre l'état anhydre et l'état de saturation des tissus cellulotiques : [13]

$$B(\%) = \frac{V_1 - V_2}{V_2}$$

$V_1$ : volume à l'état saturé ;

$V_2$ : volume à l'état anhydre.

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

## CHAPITRE I : LE BOIS

**Tableau I. 1 :** Valeurs de coefficient de rétractibilité. [13]

Valeur du coefficient de rétractibilité	Qualification	Exemples
(0.55 à 1) %	Très nerveux	Chêne
(0.35 0.55)%	Nerveux	Eucalyptus, Hêtre
(0 .15 0.35)%	Peu nerveux	Sapin, Pin, Epicéa

### I.5.1.5.Retrait :

En dessous du point de saturation des fibres ( $TH < 30 \%$ ), l'eau contenue dans les parois des cellules s'évapore et provoque un retrait du bois proportionnellement à la perte d'humidité. Le retrait à une teneur en humidité TH (en %) peut se déterminer avec la formule suivante :

$$S_m = S_0 \left( \frac{30 - TH}{30} \right)$$

Avec :

$S_m$  est le pourcentage de retrait (en %).

$S_0$  est le retrait total (radial, tangentiel ou volumétrique) du bois de l'état vert à l'état anhydre (en %).

### I.5.1.6.Gonflement :

Le gonflement est en principe le phénomène inverse du retrait. Lorsque le bois absorbe de l'eau, sa teneur en humidité augmente et le bois a tendance à augmenter de volume [14]. Tout comme le retrait, le gonflement est proportionnel au gain d'humidité jusqu'au point de saturation des fibres. Lorsque la teneur en humidité se trouve supérieure à ce dernier ( $TH \geq 30 \%$ ), le bois subit peu ou pas de changements dimensionnels.

### I.5.1.7.La densité

La densité est le rapport de la masse volumique du bois à celle de l'eau. Le bois est un matériau hygroscopique qui peut changer de poids et de volume en fonction des pertes et des gains d'humidité. Il est donc important de préciser la teneur en humidité de l'échantillon au

## CHAPITRE I : LE BOIS

moment de la mesure de la masse et du volume. La densité de référence est calculée avec un pourcentage de 12% d'humidité.

**Tableau I. 2** : Densité de différents bois. [15]

Feuillus				Résineux			
	Masse volumique (en Kg.m <sup>3</sup> )	densité	Caractère des bois		Masse Volumique (en Kg.m <sup>3</sup> )	Densité	Caractère des bois
<b>Peuplier</b>				<b>Balsa</b>	100	0.1	Très
<b>Tremble</b>	≈ 400	0.4	Très légers	<b>Pin weymouth</b>	< 400	0.4	Légers
<b>Okoumé</b>	≈ 500	0.5		<b>Sapin Epicéa</b>	≈ 500	0.5	Légers
<b>Cèdre</b>				<b>Pin Sylvestre Maritime</b>	≈ 600	0.6	mi-lourds
<b>Bouleau</b>				<b>Pin du nord</b>			
<b>Orme</b>	≈ 600	0.6		<b>Pin laricio</b>			
<b>Frêne</b>	≈ 650	0.65	Légers	<b>Cèdre rouge</b>			
<b>Noyer</b>				<b>Cyprés</b>			
<b>Châtaignier</b>					-800	0.8	Lourds
<b>Acajou</b>	-750	0.75	mi-lourds	<b>Pitchpin</b>			
<b>Chêne</b>				<b>If</b>	-1 000	1	Très Lourds
<b>Hêtre</b>							
<b>Frêne</b>	≈ 850	0.85	mi-lourds				
<b>Fruitiers</b>							
<b>Teck</b>							
<b>Charme</b>							
<b>Buis</b>							
<b>Olivier</b>	-1 000	1	Lourds				
<b>Palissandre</b>	-1 100	1,1					
<b>Azobé</b>	1 200	1,2	Très				
<b>Ebènes</b>	1 400	1,4	lourds				

### I.5.2.Mécaniques :

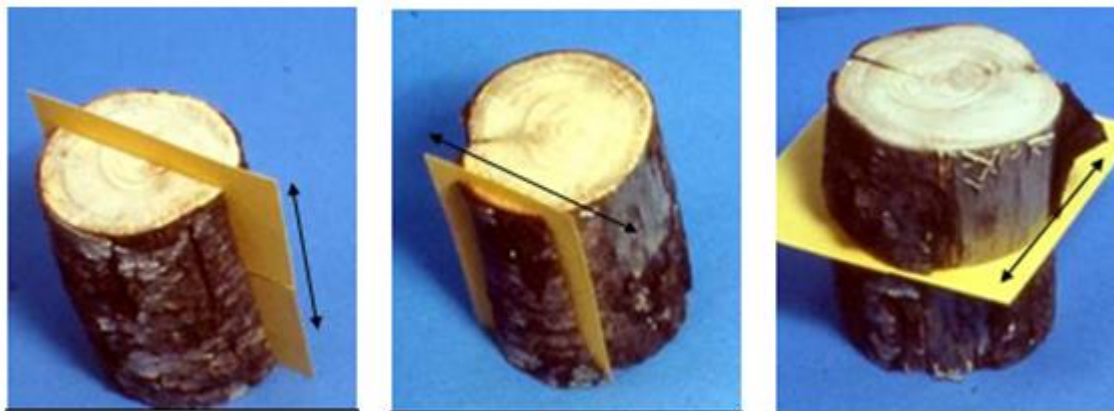
La résistance du bois varie en fonction des facteurs tels que la direction et la durée du chargement, la densité, le taux d'humidité ainsi que l'essence et les défauts naturels.

#### I.5.2.1.Direction de chargement :

Le bois est un matériau possédant une structure interne particulière. Les cellules sont toutes orientées verticalement et parallèlement dans les parois cellulaires, permettant ainsi aux arbres de résister à des forces extérieures comme le vent. Cette caractéristique fait du bois un matériau possédant une meilleure résistance dans la direction parallèle au fil

## CHAPITRE I : LE BOIS

(longitudinalement) que dans la direction perpendiculaire à celui-ci (radialement et tangentielllement).

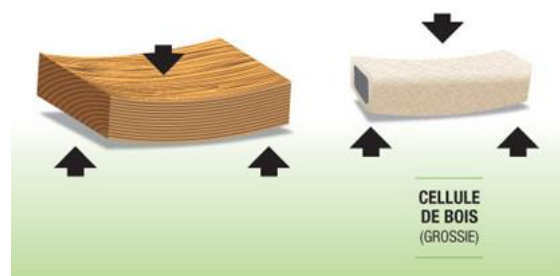


**Figure I. 3 :** Les Directions de chargement : axiale, tangentielle, radiale.

### I.5.2.2.Résistance :

#### A. Flexion :

Selon des principes de base d'ingénierie, un couple de flexion est le résultat d'efforts de compression et/ou de traction excentriques par rapport à l'axe neutre d'un élément. Puisqu'il résiste très bien à la compression et à la tension axiale, le bois est donc également efficace en flexion.



**Figure I. 4:** Flexion du bois.  
Source : [16]

#### B. Cisaillement :

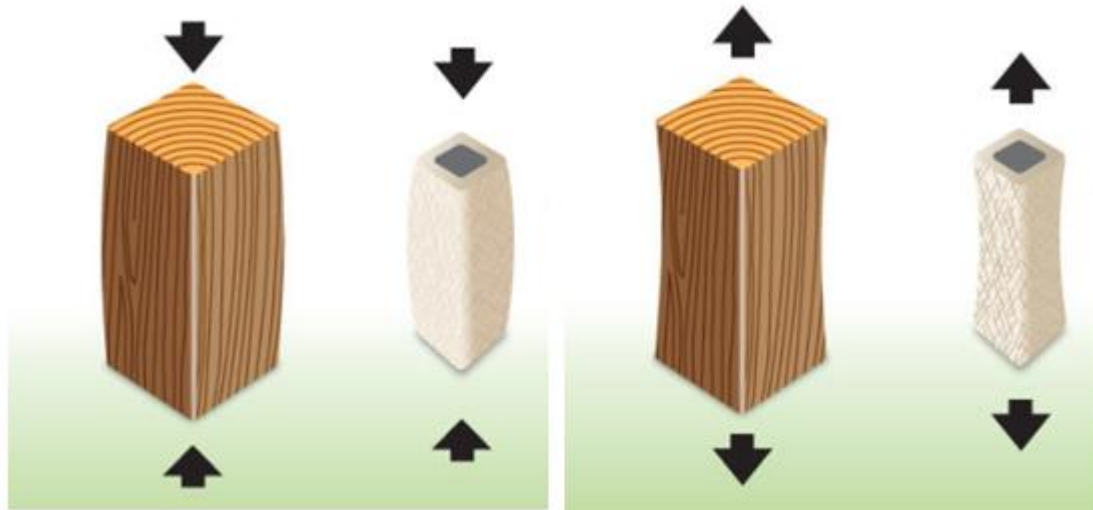
Le cisaillement longitudinal est un autre aspect à considérer au moment des calculs de résistance d'un élément en bois. La réduction de l'aire transversale d'une section en bois causée par des ouvertures pour les connecteurs ou par des entailles influence la résistance au cisaillement.



**Figure I. 5:** Le cisaillement.  
Source : [16]

**C. Compression et traction parallèle au fil (grain) :**

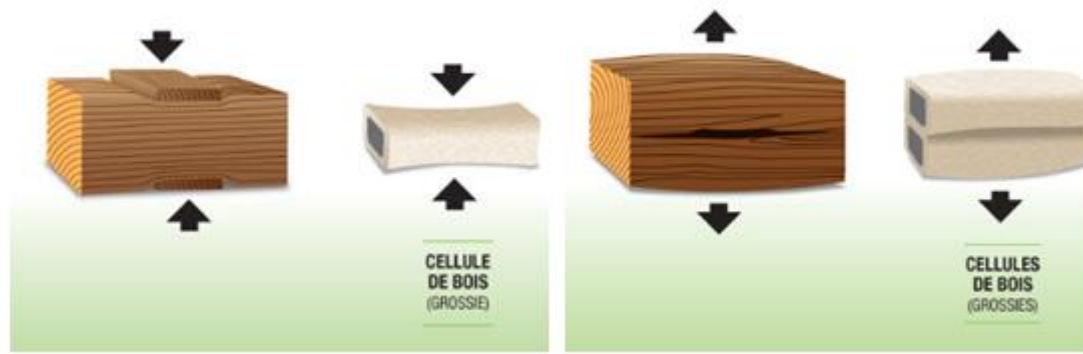
Puisque les cellules du bois sont toutes orientées dans le sens longitudinal, la structure interne du bois est comparable à une multitude de petits tubes soudés les uns aux autres. Cela fait en sorte que le bois est très résistant à la compression exercée dans le sens du fil (compression axiale). On doit cependant tenir compte du flambement au cours du calcul de la résistance à la compression d'éléments porteurs.



**Figure I. 6:**Compression et traction parallèle au fil.  
Source : [16]

**D. Compression et traction perpendiculaire au fil :**

La résistance à la compression exercée perpendiculairement au fil est inférieure à celle appliquée parallèlement au fil. Elle est principalement causée par la présence de charges concentrées ou par des contraintes exercées aux appuis des éléments fléchis. On utilise généralement des plaques d'appuis en acier afin d'augmenter la surface d'appui et ainsi de diminuer les effets de la compression perpendiculaire au fil.



**Figure I. 7:** Compression et traction perpendiculaire au fil.

Source : [16]

### I.6.Composition du bois :

Chimiquement, le bois se compose principalement de trois composants (les données quantitatives s'appliquent aux résineux): 45-50% de cellulose, 15-20% de hémicellulose et 25-30% de lignine. [17]

La cellulose et l'hémicellulose sont les deux polysaccharides, elles forment de longues fibres et donnent la force et la dureté du bois. La lignine est un polymère aromatique complexe qui est stocké entre les fibres de cellulose et donne au bois sa résistance à la flexion.

L'odeur caractéristique du bois fraîchement coupé, en particulier dans les conifères, provient des résines et des huiles (térébenthine). Dans le passé, diverses matières premières chimiques ont également été obtenues à partir de résine de pin

### I.7.Défaut des bois :

Le bois est une matière naturelle qui peut présenter des défauts et des irrégularités. Selon leur nature, leur importance ou l'utilisation du bois, elles pourront être considérées comme des défauts, mais aussi recherchées pour leur effet décoratif.

Les défauts sont essentiellement dus :

- à la structure même du bois : nœuds ; cannelures...
- à des anomalies de formation : cœur excentré, entre-écorce, broussins et loupes, courbure du tronc ...
- à des agents extérieurs : roulures et gélivures, Cadranures ou cœur étoilé...



### I.7.1. Défaut dus à la structure même du bois :

#### I.7.1.1. Les nœuds :

Le nœud est une modification de la structure du bois lié à l'existence d'une branche. Celle-ci provoque un détournement local des fibres du fil. Les nœuds entraînent une irrégularité du fil autour de ceux-ci ce qui peut rendre la surface esthétiquement disgracieuse et mécaniquement fragile.

De plus les usinages sont particulièrement difficilement à réaliser au niveau des nœuds. Cependant, les nœuds sont parfois recherchés pour leurs aspect décoratif (« pattes de chats », « œil de perdrix » ...).

#### I.7.1.2. Cannelures :

Succession de rides longitudinales. Parfois limitée à la zone située en dessous d'une branche dépérissante, suite à un arrêt de ses apports nutritifs.



**Figure I. 9:** Cannelures.  
Source : [18]



**Figure I. 8:** Nœud.  
Source : [18]

### I.7.2. Défaut dus à des anomalies de croissance :

#### I.7.2.1. Cœur excentré :

Très fréquente chez les arbres ayant poussé sur une pente ou à la lisière des forêts, cette anomalie rend le bois impropre au déroulage.

#### I.7.2.2. Entre-écorce :

Il s'agit de la formation de deux ou plusieurs tiges accolées se trouvant en contact, par suite de leurs développements respectifs. La lame d'écorce descend profondément à l'intérieur du bois parfait.

**I.7.2.3.Loupes, broussins :**

Les loupes sont provoquées par l'action d'un champignon ou d'une piqûre. Ce sont des excroissances ligneuses situées sur le tronc des arbres. Elles peuvent aussi être provoquées par un afflux de sève. Les loupes sont très recherchées pour la fabrication du placage.

**I.7.2.4.La courbure du tronc :**

Ce défaut était autrefois mis à profit en charpente navale. On fixe la tolérance admissible en indiquant la flèche maximale sur un mètre.



**Figure I. 11:** Cœur excentré.  
Source : [18]



**Figure I. 10:** Loupe.  
Source : [18]



**Figure I. 13:** Courbure d'un tronc.  
Source : [18]



**Figure I. 12:** Entre-écore.  
Source : [18]

**I.7.3.Défauts due à des agents extérieurs :**

**I.7.3.1.Roulures :**

Elles consistent en un décollement des couches annuelles plus ou moins prononcé. Elles proviennent de la gelée ou très souvent de grands vents qui soumettent l'arbre à des flexions exagérées.

**I.7.3.2. Gélivures :**

Elles sont produites par l'éclatement des tissus sous l'action du froid, la gelée ayant solidifié la sève. Elles se manifestent par des fentes longitudinales internes et externes suivant les rayons médullaires.



**Figure I. 15:** Roulure.  
Source : [18]



**Figure I. 14:** Gélivure.  
Source : [18]

**I.7.3.3. Cadranures ou cœur étoilé :**

C'est un défaut qui se révèle dans les vieux arbres, surtout dans les bois durs et mi-durs. Les cadranures se manifestent par des fentes et des crevasses, partant du cœur de l'arbre vers sa périphérie.



**Figure I. 16:** Cœur étoilé.  
Source : [18]

## **CHAPITRE II : LE BOIS DANS LA CONSTRUCTION.**

### **II.1.Introduction :**

Le bois peut être très largement utilisé dans la construction puisque des ouvrages peuvent être complètement réalisés avec ce matériau.

Après de longues années où le béton surtout, mais aussi le métal et le verre, ont été les principaux matériaux de construction, un nouvel engouement ou un retour vers le matériau bois s'opère aujourd'hui. La sensibilité des populations vis-à-vis de l'environnement, les atouts que présente le bois pour la protection de la planète, les qualités de celui-ci, sont vraisemblablement les éléments moteurs, qui font que les ingénieurs en génie civil, les architectes, les maîtres d'ouvrages et les maîtres d'œuvre accordent aujourd'hui une plus grande attention à ce matériau.

### **II. 2. Historique du bois dans la construction :**

L'utilisation du bois dans la construction remonte à près de 20 000 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 alpins).

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 : temple japonais du 7<sup>ème</sup> siècle, églises en bois debout en Norvège, Pagode chinoise en bois).

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, présents dans tous les centres historiques de grandes villes, font leur apparition.

A partir de 1550, la technique des bois longs (très couteuse, 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.

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

## CHAPITRE II : LE BOIS DANS LA CONSTRUCTION

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 développé. 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.

En Algérie, l'utilisation du bois dans la construction est très minime pour ne pas dire inexistante (échafaudage, coffrage). Il est constaté des utilisations secondaires comme la fabrication des ameublements, menuiseries, décoration...mais aussi quelques réalisations en structures principalement en toiture de maisons individuelles et rarement dans des ouvrages publics tels que les salles de sport. La figure II.1 montrent la structure en bois lamellé-collé d'une salle de sport à Tamanrasset (Sud de l'Algérie).



**Figure II. 1** : Salle de sport à Tamanrasset (en bois lamellé collé).

### II.3. Domaines d'utilisation du bois dans la construction :

Depuis plusieurs siècles, le bois est devenu un des principaux matériaux de construction dans différents domaines et les hommes l'utilisent pour la réalisation de différents édifices.

De nos jours le bois est utilisés à tous les stades de l'exécution des ouvrages, notamment sous forme de :

- Blindage et étayages des fouilles ;
- Coffrage des éléments en béton ;

## CHAPITRE II : LE BOIS DANS LA CONSTRUCTION

- Réalisation de la charpente et des couvertures ;
- Menuiserie (portes, fenêtres) ;
- 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.

### **II.4. Les avantages du bois dans la construction :**

#### **II.4.1. Un chantier propre et sec :**

L'emploi de matériaux secs permet de réduire la production de déchets et la consommation d'eau sur le chantier

#### **II.4.2. Une rapidité d'exécution :**

La préfabrication et la simplicité d'assemblage permettent d'obtenir un (hors d'eau /hors d'air) en quelques jours seulement et d'enchaîner rapidement sur les travaux de second œuvre.

#### **II.4.3. Des économies d'énergies :**

Bon isolant, il permet de réaliser une économie de chauffage d'environ 30% par rapport à une structure équivalente en béton. [19]

#### **II.4.4. Un matériau durable et écologique :**

Grand consommateur de CO<sub>2</sub>, le bois participe activement à la lutte contre le réchauffement climatique. C'est par ailleurs le matériau qui consomme le moins d'énergie pour être produit et mis en œuvre.

#### **II.4.5. Matériau confortable :**

Le bois se sent confortable. Parce qu'il isole bien, il est agréable à toucher. Il régule l'humidité dans une pièce. Et le bois est bien sûr tout simplement trop agréable à regarder. Il se réfère à la nature, à la matière vivante.

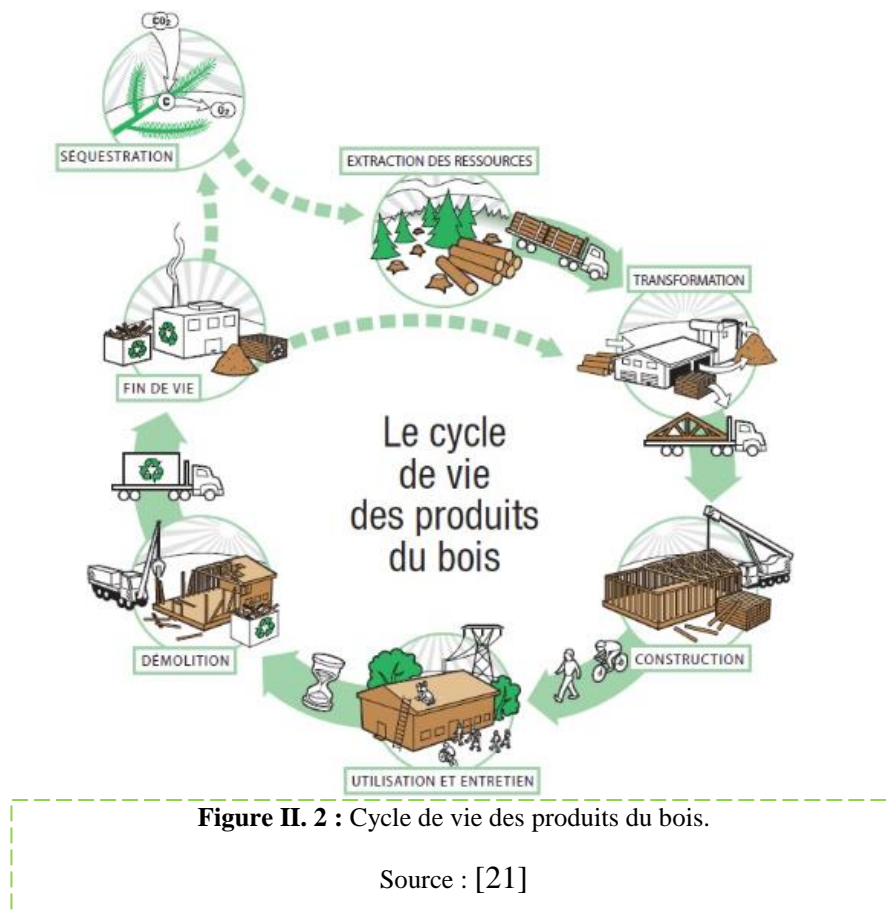
### II.4.6. Matériau sain :

Le bois contient des poly phénols d'origine végétale qui ont un effet désinfectant. De plus, le bois est un excellent régulateur thermique et hygrométrique. Les parois en bois respirent ; elles régulent l'humidité ambiante

### II.4.7. Matériau recyclable, renouvelable ...

### II.4.8. Matériau qui possède une bonne réaction au feu :

Sa réaction au feu, contrairement à ce qu'imaginent la majorité des gens, dépasse largement celle de l'acier. En effet, le bois, exposé au feu, développe une couche de charbon de bois agissant comme un bouclier thermique idéal. La vitesse de carbonisation étant très lente et constante, le bois intact sous la couche de charbon de bois conserve toutes ses propriétés de résistance mécanique et continue à assurer sa fonction portante. Son comportement permet ainsi d'évacuer les personnes en cas d'incendie, la stabilité de l'immeuble étant assurée plus longtemps. En outre, le bois dégage peu de gaz toxiques en brûlant. [20]



### II.5. Différents systèmes constructifs du bois :

Les systèmes les plus répandus aujourd'hui sont la construction à ossature et plus rarement la construction à poteaux-poutre. La construction en bois massif empilé vit, dans certaines régions et sous une forme contemporaine, une renaissance. Une nouvelle construction massive en bois avec des géométries audacieuses est née grâce aux nouveaux panneaux de grand format et de forte épaisseur. La construction classique à colombage dont la structure porteuse est apparente à l'extérieur n'est de pratiquement plus utilisée pour de nouveaux bâtiments. [22]

#### II.5.1. La construction en bois massif empilé :

La construction en bois massif empilé (madriers ou rondins) est un mode de construction très répandu et de longue tradition. Elle requiert une grande somme de connaissances spécialisées pour que les ouvrages soient érigés dans les règles de l'art. À l'époque, ce type de construction consistait à empiler des troncs d'épicéa ou de sapin. Aujourd'hui, les murs en bois massif empilé sont la plupart du temps composés de plusieurs couches, dont une d'isolation, et seule la face intérieure ou extérieure est en madriers ou rondins apparents.



**Figure II. 3:** Maison en bois massif empilé.  
Source : [23]

#### II.5.2. Construction à ossature :

Le mode de construction à ossature s'est imposé en Europe comme le mode de construction en bois le plus important ces 30 dernières années. Il consiste en l'assemblage de pièces de petites sections habillées de panneaux assurant le contreventement pour former des cloisons et des planchers. Ce système offre une grande liberté d'aménagement et peut être utilisé



**Figure II. 4:** Maison à ossature bois.  
Source : [24]



pour la construction de bâtiments de plusieurs étages. Grâce la standardisation des éléments en bois, des trames, des assemblages et des détails d'exécution, la construction à ossature est devenue un mode de construction simple et sûr.

### II.5.3. Construction à poteaux-poutres :

De plus en plus de bâtiments abritant de grands espaces de types halles sont construits en bois, et ce grâce au développement du mode de construction moderne à poteaux-poutres. Les poteaux disposés en trames très espacées et les principes de construction clairs offrent une grande liberté d'aménagement, surtout en termes de division spatiale. C'est pourquoi le mode de construction à poteaux-poutres en bois se prête particulièrement bien à des bâtiments nécessitant de grandes portées, comme les bâtiments scolaires, de bureaux et administratifs ainsi que les halles industrielles ou commerciales. Bien entendu, des immeubles de logement peuvent également bénéficier des avantages de ce système.



**Figure II. 5:** Maison poteaux-poutres.  
Source : [25]

### II.5.4. Construction massive en bois :

Le développement de panneaux en bois de grande surface et de forte épaisseur ont conduit à la création de nouveaux systèmes constructifs, qui se caractérisent par des éléments de murs, de planchers et de plafonds jouant à la fois un rôle structurel et de cloisonnement spatial. La plupart du temps, il s'agit de panneaux pleins. Mais il peut s'agir également d'éléments préfabriqués optimisés de



**Figure II. 6:** Structure en panneaux bois massive.  
Source : [26]

type caissons ou alvéolaires. Ce mode de construction offre l'avantage technique de réduire le nombre de couches constructives, car les panneaux massifs de bois assurent à eux seuls les fonctions de structure porteuse, d'étanchéité et de définition spatiale. La construction massive en bois se prête aussi bien à des constructions d'un niveau que sur plusieurs étages.

## **CHAPITRE III : STRUCTURES COLLÉES ET LA COLLE.**

### **III.1. Introduction :**

Le collage est une technique d'assemblage dont les applications dépassent largement le cadre du Génie Civil. On le retrouve en effet dans une multitude d'applications industrielles, allant de concepts simples à des réalisations complexes telles que l'assemblage de pièces aéronautiques.

Bien que le collage soit utilisé par l'homme depuis plus de trente siècles, les mécanismes qui gouvernent l'adhésion entre deux matériaux collés restent complexes et partiellement méconnus. La durabilité des assemblages collés est également un problème récurrent, d'une importance capitale pour les industriels, mais que les scientifiques ont toujours du mal à appréhender.

### **III.2. Les mécanismes du collage - théories de l'adhésion.**

Le collage permet d'assembler deux substrats par l'intermédiaire d'un tiers corps, qui est le plus souvent un adhésif polymère. Pour que l'assemblage soit performant et durable, il est nécessaire d'obtenir un niveau d'adhésion satisfaisant entre adhérent et support. Cette condition implique une bonne compréhension des mécanismes qui sont à l'origine du phénomène d'adhésion.

La réalisation d'un collage consiste à mettre en contact des surfaces imparfaites et à établir des liaisons physiques ou chimiques entre ces surfaces par le biais de l'adhésif.

### **III.3. Les adhésifs structuraux.**

Les colles utilisées en génie civil sont des colles dites "structurales", c'est à dire qu'elles sont capables de conférer à un assemblage une résistance équivalente à celle des matériaux qui le constituent, tout en assurant le transfert des contraintes entre les deux substrats.

Les adhésifs structuraux, comme tous les polymères, présentent des propriétés physicochimiques qui évoluent dans le temps en fonction de l'environnement auquel ils sont soumis. Ces phénomènes de vieillissement sont susceptibles d'affaiblir le joint de colle.

#### **III.3.1. Généralités sur les adhésifs structuraux.**

La notion de colle structurale est apparue dans les années 1940, en Grande-Bretagne et en Allemagne, lors de la mise au point des polyuréthanes et des colles phénoliques destinées aux assemblages métal/métal dans l'aéronautique. Leur science s'est depuis largement

développée, permettant la mise au point d'adhésifs de plus en plus performants. Cependant, la nature et les propriétés fondamentales de ces polymères restent les mêmes.

### III.3.2. Les principales familles d'adhésifs.

La FIPEC (Fédération des industries des peintures, Encres, Couleurs, Colles et adhésifs, préservation du bois) estime le marché des adhésifs à environ 28 milliards d'euros en 2002. Ce marché repose pratiquement à part égale entre l'Amérique du Nord et l'Europe. [27]

**Tableau III. 1:** Marché Mondial des adhésifs par région en 2000.

Source : FIPEC

Région	Valeur milliards d'euros	%
<b>Amérique du Nord</b>	9,52	34%
<b>Europe</b>	8,96	32%
<b>Asie</b>	7,56	27%
<b>Afrique</b>	0,56	2%
<b>Amérique du Sud</b>	1,4	5%
<b>Total Monde</b>	28	100%

Le Syndicat Français des Colles et Adhésifs estime un marché mondial en 2002 à environ 20 milliards d'euros, dont 8 milliards sur les colles industrielles.

Les époxydes et les polyuréthanes constituent la grande majorité des adhésifs utilisés dans ce secteur (90% en 1999).

Les colles, quel que soit leur état (liquide, pâte ou bien film), sont constituées de polymères organiques et appartiennent à l'une des trois catégories suivantes :

- Les thermodurcissables, dont le réseau polymère possède une structure tridimensionnelle. Ils présentent une rigidité élevée et de très bonnes propriétés mécaniques,
- Les thermoplastiques, constitués de chaînes linéaires, qui présentent en général des propriétés mécaniques inférieures à celles des thermodurcissables,
- Les élastomères, très souples et peu résistants, mais qui présentent une très forte adhésivité.

## CHAPITRE III : STRUCTURES COLLEES ET LA COLLE

Dans les deux premières catégories, on trouve les grandes familles de résines utilisées en génie civil et en construction en bois : les époxydes, les polyuréthanes, les composés acryliques et les polyimides.

### **III.3.2.1. Les époxydes.**

Ce sont des thermodurcissables, mono ou bi-composants, qui se présentent sous la forme de produits liquides ou pâteux. Les époxydes [28], sont généralement utilisés pour réaliser des collages métal/métal ou métal/plastique qui sera soumis à des contraintes très élevées, notamment en cisaillement. Ils présentent une bonne adhésion sur la plupart des matériaux et une excellente résistance au vieillissement (en particulier, résistance aux huiles et aux solvants). Enfin, ils présentent une très bonne tenue en température.

### **III.3.2.2. Les polyuréthanes.**

Lorsqu'ils sont réactifs sans solvant ou à très haut extrait sec, les polyuréthanes constituent d'excellents adhésifs structuraux, avec une bonne tenue au pelage et à la déchirure. Ils sont obtenus par polyaddition entre un iso-cyanate et des polyesters ou des polyéthers branchés comprenant plusieurs groupements hydroxyles. La réticulation est catalysée par l'humidité ambiante, les polyuréthanes passant d'un état pâteux à un état élastique.

Il s'agit en général de systèmes bi-composants, qui sont utilisés pour des collages mixtes entre substrats rigide/souple comme les assemblages métal/plastique. Les polyuréthanes se caractérisent par une élasticité et une souplesse importantes même à basse température, et possèdent une bonne adhérence, une excellente dureté et une résistance aux phénomènes de vieillissement. Leur prise est en général moins rapide que celle des époxydes. Leur résistance au cisaillement est plus faible que celle des autres colles structurales et leur mise en œuvre technique est très lourde (étalement difficile). Des polyuréthanes mono composants se sont donc développés, auxquels on ajoute des activateurs pour accélérer la polymérisation.

### **III.3.2.3. Les acryliques.**

Il existe de nombreuses colles à base acrylique, les plus courantes étant les cyanoacrylates et les méthacrylates. Elles sont obtenues par polymérisation anionique (cas des cyanoacrylates) ou par polymérisation radicalaire (cas des méthacrylates).

Ces adhésifs étaient réservés initialement aux assemblages métal/caoutchouc, mais leur usage s'est étendu aux collages de matériaux poreux et aux assemblages de précision ou de petites pièces. La mise en œuvre se fait par compression d'un film mince de monomères,

qui peut adhérer à tous types de surfaces (même le téflon) sans utilisation d'un primaire d'adhésion. Les joints obtenus possèdent une résistance mécanique élevée et une bonne tenue aux solvants, mais leur résistance aux chocs et aux températures élevées est médiocre. On développe donc des 'acryliques modifiés' par adjonction d'un radical uréthane et d'un peroxyde activateur pour gagner en résistance au cisaillement et élargir la plage des températures d'utilisation.

### **III.3.2.4. Les polyimides :**

Les polyimides sont des colles insolubles et infusibles, qui présentent l'avantage par rapport aux colles précédentes de résister aux très hautes températures. La réaction de réticulation se fait par polycondensation intermoléculaire entre un anhydride et une diamine secondaire, puis par polycondensation intramoléculaire, ce qui nécessite des températures élevées et de fortes pressions. La mise en œuvre des polyimides est donc très délicate.

### **III.3.2.5. Comparatif des performances des adhésifs structuraux :**

Les colles époxydes présentent de nombreux avantages par rapport aux autres systèmes :

- Excellente adhérence sur tous les substrats ;
- Bonnes propriétés mécaniques;
- Résistance aux agressions chimiques et prise en eau modérée ;
- Bonne tenue en température.

Cet ensemble de propriétés justifie la prédominance des résines époxydes dans le domaine du collage structural, quel que soit le secteur industriel considéré.

### CHAPITRE III : STRUCTURES COLLEES ET LA COLLE

**Tableau III. 2 :** Compatibilité colle/matériau pour plusieurs matériaux de construction, d'après [29].

	<b>Béton</b>					
<b>Béton</b>	Ep					
	Ps		<b>Bois</b>			
	Pu					
	Si					
<b>Bois</b>	Ep	Ep				
	Ne	Ne				
	Ni	Pu		<b>Métaux</b>		
	Pu	Th				
<b>Métaux</b>	Th					
	Ep	Ep	Ac			
	Ni	Ne	An			
	Ps	Ps	Cy	<b>PVC</b>		
<b>PVC</b>	Si	Pu	Ep			
			Ps			
	Ni	Ep	Ep	Th		
	Pu	Ni	Ni		<b>Verre</b>	
<b>Verre</b>		Th				
	Ep	Ep	Ac	Ep	Ac	
	Si	Si	Ep	Ni	Ep	
			Si	Th	Si	

Ac : Acrylique modifiée ;

An : Acrylique anaérobie ;

Cy : Cyanoacrylate ;

Ep : Epoxyde ;

Ne : Néoprène ;

Ni: Nitrile ;

Ps : Polysulfure ;

Pu : Polyuréthane ;

Si: Silicone;

Th: Thermo fusible.

### **III.4. Assemblage bois collé**

#### **III.4.1.Introduction au collage du bois.**

Le collage du bois connaît depuis ces dernières années un essor industriel important et couvre un vaste domaine d'applications (entre autre l'ameublement, les charpentes). Il a permis la création de nouveaux matériaux répondant ainsi aux besoins actuels et à des caractéristiques bien particulières.

Ces produits sont aussi bien des produits de transformation :

- Les panneaux sandwich d'isolation ;
- Les contre-plaqués ;
- Les panneaux agglomérés ;
- Les éléments de construction (poutres lamellées collées par exemple).

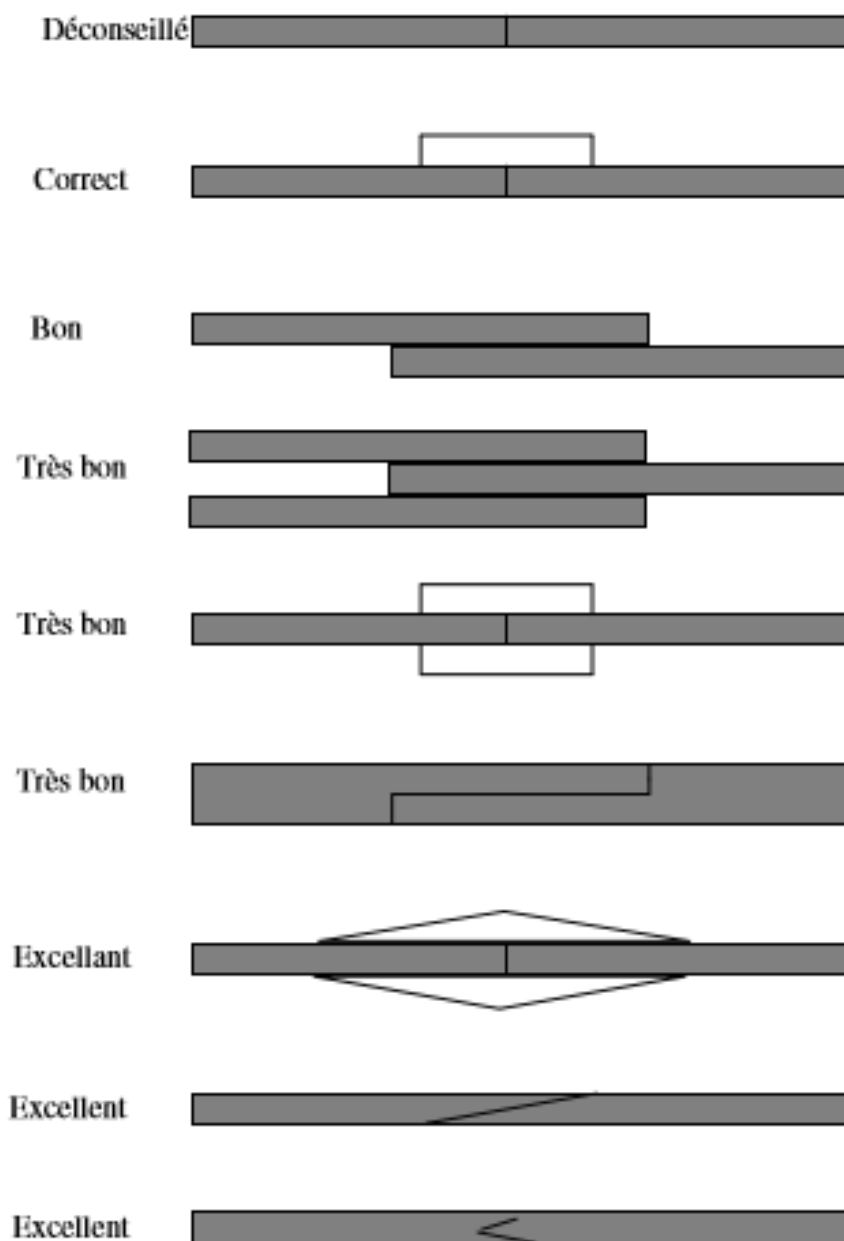
En outre, on s'oriente de plus en plus vers une utilisation plus rationnelle de la matière première et notamment en se tournant vers le bois de petites dimensions et/ou des bois de moindre qualité.

Toutefois, la réalisation correcte du collage nécessite la connaissance de la destination de l'ouvrage et de ses conditions d'environnement ou de sollicitations.

La résistance d'un assemblage collé est essentiellement déterminée par deux facteurs. D'une part la résistance cohésive de la colle et d'autre part la résistance adhésive qui représente la mesure de l'adhérence entre l'adhésif et le substrat.

#### **III.4.2. Différents assemblages collés.**

Il existe de nombreux types d'assemblage collés. Mais suivant la conception utilisée, la résistance de l'assemblage n'est pas la même [figure IV. 1] [30].

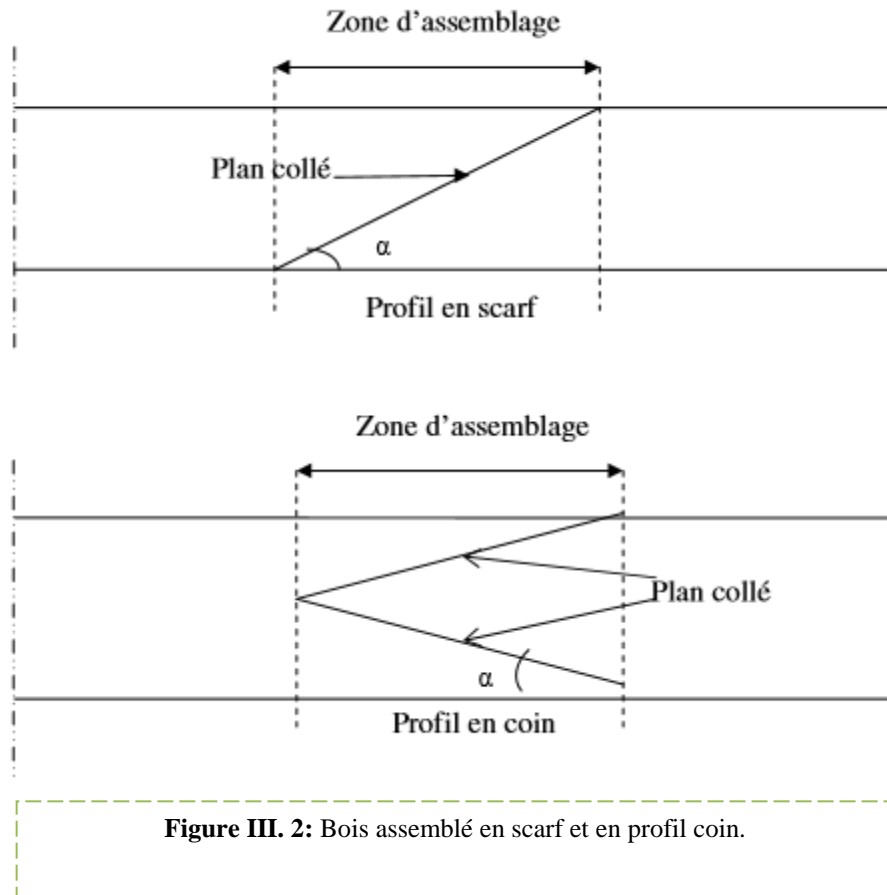


**Figure III. 1:** Les différentes conceptions des assemblages collés.

#### III.4.2.1. Aboutage.

Les premiers assemblages à entures ont débuté par les joints avec le profil scarf avec une pente généralement égale à 10% soit un angle de  $5,7^\circ$  ( $6^\circ$  environ). L'avantage principal de cet assemblage est l'efficacité car la surface totale est collée mais la perte en bois donc de matière première est importante. Puis l'évolution a conduit à utiliser les joints avec le profil en coin [figure IV.2].

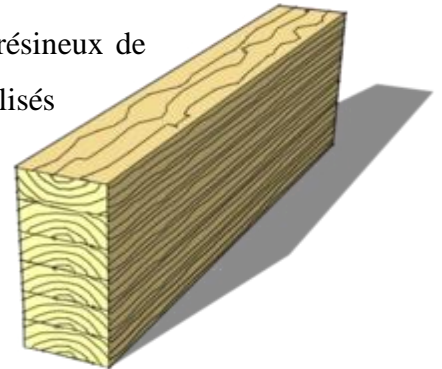




**Figure III. 2:** Bois assemblé en scarf et en profil coin.

#### III.4.2.2. Bois lamellé collé :

Le Bois Lamellé-collé (BLC) est constitué de lamelles de bois aboutées et collées sur champ. Les lamelles sont généralement réalisées en résineux de classes visuelles ST-I ou ST-II, mais on trouve aussi des BLC réalisés en feuillus. Les lamelles sont des planches d'épaisseur de 19 à 45 mm, collées entre elles et aboutées par des entures (surface de collage augmentée par une liaison en dent de scie).



**Figure III. 3:** Vue schématique d'une poutre en BLC

Les dimensions classiques des sections de BLC ont des hauteurs comprises entre 100 et 600 mm et des largeurs de 60 à 240 mm.

### **III.4.2.2.1.Historique du lamellé collé :**

#### Apparition du principe

L'histoire du bois lamellé est constituée d'évolutions, de progrès et d'hommes de génie. Le premier d'entre eux fut Philibert Delorme, Architecte qui, dès 16<sup>ème</sup> siècle, eu l'idée de faire avec du bois ce que, jusque-là, on ne faisait qu'avec de la pierre : des arcs, autorisant de grandes portées. Familier de la charpente marine, il invente une nouvelle forme de charpente, révolutionnaire pour l'époque. En arches, composées de courtes sections de bois, solidarises entre elles par des clavettes afin de réaliser des fermes cintrées. Le procédé de la lamellation était né

#### Évolution de la technique

À la fin du 18<sup>ème</sup> siècle, les militaires reprennent cette technique pour la construction de leurs manèges et casernes. Ils modifient cependant légèrement la technique pour obtenir des toits plans et supprimer les soucis de couverture. Plusieurs charpentiers, architectes ou ingénieurs font également évoluer la technique comme, par exemple, le charpentier Hans Grubenmann, qui, en suisse, réalisait des ponts grâce a des arcs composés de madriers assembles. Mais c'est Carl Friedrich Von wiebeking qui, en 1809, eu l'idée d'une liaison par collage. Le colonel Emmy perfectionne ce principe en constituant des arcs de plus grande portée. Son idée : l'empilement de planches disposées horizontalement cintrées et serrées avec des colliers en métal. [31]

#### Invention du bois lamellé :

A l'aube du 20<sup>ème</sup> siècle, le bois lamellé, tel qu'on le définit aujourd'hui, est inventé par l'Allemand Otto Hetzer. Ce charpentier inventif a l'idée de remplacer les pièces métalliques du colonel Emmy par des collages à la caséine, permettant d'assembler les lamelles entre elles. Ce qui supprime toute déformation. Entre 1906 et 1907, le brevet de ce nouveau matériau est déposé en Allemagne, en France et en Suisse ; et il prouve d'un tel génie que son application en charpente est évidente et son développement immédiat.

### **III.4.2.2.2.Les classes de résistance pour le bois lamellé collé :**

Dans le projet de norme EN 1194 [1995], les classes de résistance pour le bois lamellé collé sont définies dans le tableau IV. 1.

## CHAPITRE III : STRUCTURES COLLEES ET LA COLLE

**Tableau III. 3:** Classe de résistance du bois lamellé collé selon le projet de norme EN 1194. [32]

Classes de résistance	GL 18	GL 20	GL 22	GL 24	GL 26	GL 28	GL 30	GL 32	GL 34	GL 36
$f_{m,g,k}$ (MPa)	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
$f_{t,0,g,k}$ (MPa)	12	14.5	15.5	17	18	19.5	20.5	22	23.5	26.5
$f_{c,0,g,k}$ (MPa)	21	22	23.5	26	27	28	29	30.5	31.5	32
$f_{v,g,k}$ (MPa)	1.8	1.8	1.9	2.1	2.1	2.5	2.6	2.9	3.2	3.5
$E_{0,moy,g}$ (MPa)	7900	8900	9900	10800	11700	12500	12500	13300	13600	14000
$G_{0,moy,g}$ (MPa)	490	550	620	670	730	780	780	830	850	870
$\rho_{g,k}$ (Kg/m <sup>3</sup> )	320	330	350	360	380	400	400	430	430	450

Avec :

$f_{m,g,k}$ : résistance en flexion;

$f_{t,0,g,k}$ : résistance en traction en parallèle au fil;

$f_{c,0,g,k}$  : résistance en compression parallèle au fil;

$f_{v,g,k}$  : résistance au cisaillement;

$E_{0,moy,g}$  : module d'élasticité moyen;

$G_{0,moy,g}$  : module de cisaillement moyen;

$\rho_{g,k}$ : masse volumique;

k : indice représentant la caractéristique à 5% d'exclusion inférieure.

### III.4.2.2.3. Avantages du lamellé collé :

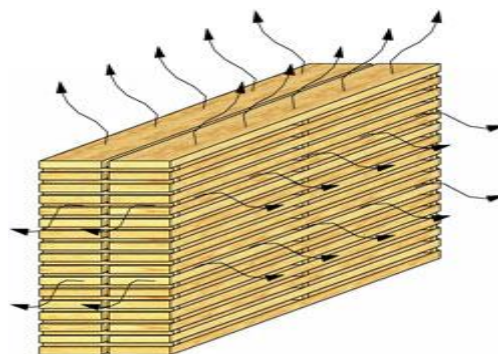
- Force : par rapport à son poids, lamellé est l'un des matériaux de construction les plus puissants.
- Environnement : la matière première est renouvelable. Lamellé peut être réutilisé ou recyclé.
- Énergie : l'utilisation d'énergie de la production de lamellé est faible par rapport à d'autres matériaux de construction
- Durabilité : lamellé peut résister à des environnements agressifs mieux que bien d'autres matériaux de construction.
- Formabilité : lamellé peut être fabriqué dans pratiquement n'importe quelle forme.
- Stabilité de la forme : lamellé ne se tord pas ou ne plie pas.

- Résistance au feu : lamellé résiste au feu mieux que bien d'autres matériaux de construction.
- Usinage : lamellé peut être traité avec des outils à main simples et des outils mécaniques. Des trous et des évidements peuvent être faits dans lamellé après consultation avec un ingénieur/constructeur expérimenté de bâtiment.

#### III.4.2.2.4.Fabrication du lamellé collé :

##### A. Séchage des bois sciés :

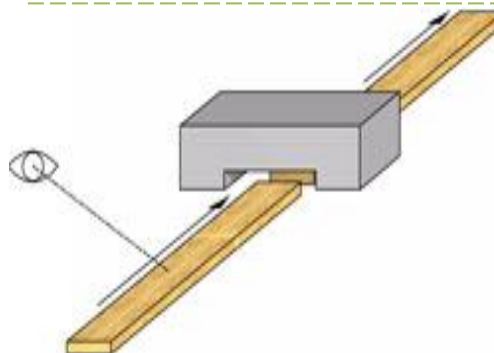
Les sciages de résineux passent d'abord au séchoir pour ramener leur teneur en humidité à environ 12%. Ils sont ensuite rabotés.



**Figure III. 4:** Séchage de bois.  
Source : [33]

##### B. Purge et tri en classe de résistance :

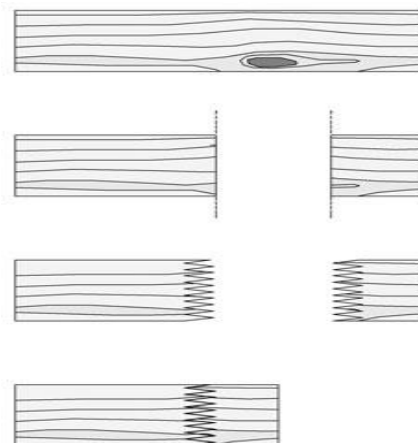
Après le séchage et un premier rabotage les planches sont inspectées et classées selon la qualité du bois (classes de résistance mécanique). Ce tri (purge) se fait de plus en plus par des machines. Les critères de tri font aussi intervenir des critères de qualité sur l'état de surface des pièces.



**Figure III. 5:** Purge de bois.  
Source : [33]

##### C. Enlèvement des nœuds et des défauts :

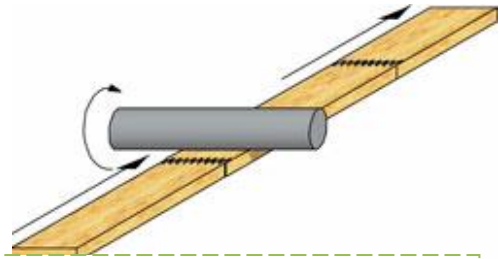
Le tri (purge) élimine les pièces ou les sections de pièces présentant des altérations ou des défauts rédhibitoires pour la classe de tenue mécanique et/ou la qualité d'état de surface recherchée (gerces, piqûres, fente de cœur, nœuds pourris, poches de résine, etc.). Les planches peuvent ensuite être encollées bout à bout dans leur grande longueur pour former des pièces de grande dimension (encollage des extrémités taillées en dents de scie, dit encore aboutage à entures multiples).



**Figure III. 6:** Enlèvement des défauts.

**D. Rabotage des lames (ou lamelles) :**

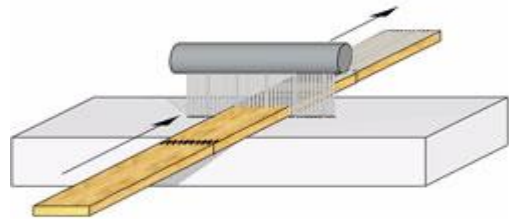
Les lames sont rabotées jusqu'à une épaisseur de 45 mm



**Figure III. 7:** Rabotage des lamelles.  
Source : [33]

**E. Encollage :**

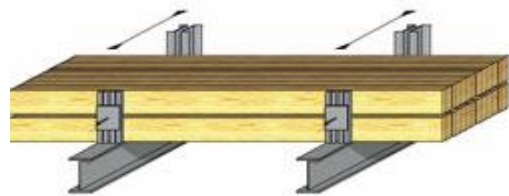
L'application de colle se fait sur les faces des lames



**Figure III. 8:** Encollage des lamelles.  
Source : [33]

**F. Pressage des lamelles :**

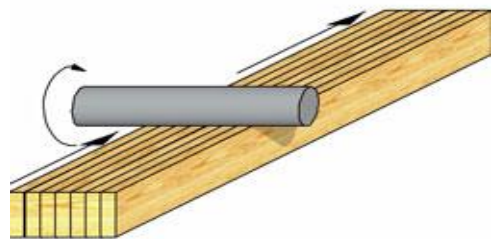
Le serrage se fait sur au moins trois lames (ou lamelles) sur un banc de presse de géométrie droite ou cintrée.



**Figure III. 9:** Pressage des lamelles.  
Source : [33]

**G. Rabotage :**

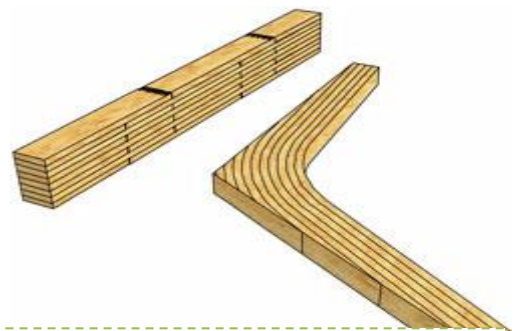
Les plans de collage des pièces obtenues (lamellé collé) durcissent sous l'effet de la pression. Après le durcissement les pièces passent à la raboteuse.



**Figure III. 10:** Rabotage des lamelles.  
Source : [33]

**H. Taillage et finitions :**

Les fabricants sont souvent amenés à effectuer des opérations de taillage et de finition, pose de connecteurs, de ferrures, etc. Le cas échéant les pièces sont traitées avec un produit de préservation anti-intempérie et emballées.



**Figure III. 11:** Taillage et finitions.  
Source : [33]

### **III.4.3.Le dommage mécanique**

Les dégradations qui ont pour origine les effets de retrait résultant de gradients d'humidité importants, se manifestent par l'apparition de fissures dans la masse du bois. Lorsque le joint s'est trouvé affaibli par l'effet de l'eau ou de la température, on observe un délaminage. On distingue ainsi trois modes de rupture [34]:

- Une rupture dans le bois ;
- Une rupture cohésive dans le polymère ;
- Une rupture adhésive à l'interface.

DEUXIEME PARTIE

ÉTUDE  
EXPÉRIMENTALE

## CHAPITRE I : CARACTERISATION DU PIN D’ALEP

### I .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 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 et française ; EN 391 :2001[35].

La caractérisation physico-mécanique de ce type de matériaux se fait sur la base de confection des éprouvettes de bois pin d’Alep passe par plusieurs étapes qui sont cités ci-après :

#### I.1.1.La réception du bois :

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



**Figure I. 1:** Troncs d’arbre reçus au laboratoire.



### I.1.2.Découpage et séchage du bois :

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 pendant une durée de plus d’un six mois.



**Figure I. 2:** troncs d’arbre découpés en madriers.

### I.1.3.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.



**Figure I. 3 :** Confection des pièces de bois.

### I.1.4.Encollage :

Les éprouvettes sont enfin obtenues au laboratoire LGCH par encollage et serrage des pièces de bois.



**Figure I. 4:** Application de la colle.



**Figure I. 5:** Collage des éprouvettes.



Figure I. 6: mise sous pression des éprouvettes.

Après avoir passé par les étapes illustrées dans les figures précédentes, nous obtenons notre éprouvette.



Figure I. 7: Eprouvette finie.

## I.2.Caractéristique physique :

### I.2.1.Densité :

La densité d'une substance est égale à la masse volumique de la substance divisée par la masse volumique du corps de référence à la même température.

Pour les liquides et les solides, l'eau est utilisée comme référence, pour les gaz, la mesure s'effectue par rapport à l'air.

Elle est notée  $d$  et n'a pas d'unité (grandeur physique sans dimension).

Formule : 
$$d = \frac{\rho_{\text{substance}}}{\rho_{\text{eau}}}$$

Avec :

## CHAPITRE I : CARACTERISATION DU PIN D'ALEP

$\rho_{\text{substance}}$  est la masse volumique de la substance considérée

$\rho_{\text{eau}}$  est la masse volumique de l'eau ( $1000 \text{ kg/m}^3$ )

### ➤ **Mesure de la densité :**

Cette mesure est effectuée selon la norme française NF B 51-002, qui définit trois types de masses volumiques en fonction d'un degré d'humidité  $H$  :

- La masse volumique à 15% (bois sec à l'air).
- La masse volumique à 0% (bois anhydre).
- La masse volumique à  $H\%$  (à un degré d'humidité quelconque).

### ➤ **Eprouvettes utilisées :**

Pour la détermination de la densité anhydre du pin d'Alep, on a suivi la recommandation de la norme NF B51-005[36], on a fait usiné au total 30 éprouvettes parallélépipédiques de dimensions moyennes :  $(35 \times 55 \times 25) \text{ mm}^3$ .



**Figure I. 8:** éprouvettes 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 I. 9:** pied à coulisse à 0.01 [mm] de précision.

Par la suite, toutes les éprouvettes sont pesées avec une précision de 0.01 [g] avant et après dessiccation.



**Figure I. 10:** Balance de précision de [0.01]g.

### II.2.2. Taux d’humidité :

Le Taux d'humidité correspond à la quantité d'eau perdue par une substance solide ou boueuse ou gélatineuse, lors d'un chauffage à 105°C. Le Taux d'humidité s'exprime généralement en pourcentage pondéral.

$$\text{Formule : } H\% = \frac{M_h - M_s}{M_s}$$

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].

#### ➤ **Mesure de taux d’humidité :**

La mesure de degré d'humidité est effectuée en respectant les recommandations de la norme française NF B 51-004[37], qui définit les étapes suivantes ci-après

Appareillage utilisée :

- Balance précise à 0.01 [g].
- Etuve ventilée permettant de maintenir une température de 105°C.



**Figure I. 11:**Etuve ventilée.

➤ **Eprouvettes utilisées :**

On reprend les mêmes éprouvettes utilisées dans la détermination de la densité anhydre du bois pin d'Alep.

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 des éprouvettes après 24 heures de déshydratation à 105°C).

### **I.3.Caractérisation mécanique :**

#### **I.3.1.Appareillage :**

- Autoclave : autoclave conçue pour résister en toute sécurité à une pression d'au moins 600 kPa (pression absolue de 700kpa) et une dépression d'au moins 85 kPa(pression absolue de 15kPa), et équipée de pompes ou d'un dispositif similaire capables de créer une pression d'au moins 600 kPa (pression absolue de 700 kPa) et une dépression d'au moins 85 kPa (pression absolue de 15 kPa) ; En absence d'un autoclave industriel, on a utilisé un dispositif de fabrication locale composé d'un auto cuiseur, appelé également « Cocotte-minute » et d'un compresseur de réfrigérateur menu d'une jauge de mesure de la pression.



Figure I. 12: Autoclave local.

- Etuve ventilé permettant de maintenir une température de 60°C.
- Pied à coulisse à 0.01 [mm] de précision ;

### II.3.2.Mode opératoire :

Pour la détermination de la résistance au vieillissement du bois, la norme <sup>1</sup> propose le choix entre trois méthodes A, B et C en fonction de la nature de la colle définie par la norme NF EN 301:

Dans notre cas et en absence de la norme NF EN 301 ; nous avons opté pour la méthode A dont les étapes sont :

- Mesurer la longueur totale, en millimètre, des joints de collage sur les surfaces en bout des éprouvettes d’essai ;
- Placer les éprouvettes d’essai dans l’autoclave et poser un poids au-dessus ;
- Admettre de l’eau à une température comprise entre 10°C et 20°C en quantité suffisante de façon à ce que les éprouvettes soient complètement immergées ;
- Séparer les éprouvettes d’essai par des treillis métalliques de façon telle que toutes les surfaces en bout soient librement exposées à l’eau ;
- Créer une dépression de 70 kPa à 85 kPa et la maintenir pendant 5min ;
- Relâcher la dépression et appliquer une pression comprise entre 500 kPa et 600 kPa pendant 1 h ;
- Répéter ce cycle de pression/dépression en réalisant une période d’imprégnation de deux cycles nécessitant un total de 130 min.

## CHAPITRE I : CARACTERISATION DU PIN D’ALEP

- Sécher les éprouvettes d’essai pendant une période comprise entre 21 h et 22 h dans de l’air à une température de 60°C et à une humidité relative inférieure à 15%. Pendant le séchage, les éprouvettes d’essai doivent être placées à au moins 50 mm les unes des autres.

### II.3.3.Expression des résultats :

Pour chaque éprouvette d’essai, on doit calculer les pourcentages de délamination.

Délamination totale :

Le pourcentage de délamination totale d’une éprouvette d’essai doit être calculé à partir de la formule suivante :

$$100 \frac{L_{\text{tot,délamination}}}{L_{\text{tot,joint de collage}}}$$

Avec :

$L_{\text{tot, délamination}}$  : longueur de délamination de tous les joints de collage dans les éprouvettes d’essai, en [mm] ;

$L_{\text{tot, joint de collage}}$  : longueur totale des joints de collage sur les deux surfaces en bout de chaque éprouvette d’essai, en [mm].

Délamination maximale :

Le pourcentage de délamination totale d’une éprouvette d’essai doit être calculé à partir de la formule suivante :

$$100 \times \frac{1}{2} \frac{L_{\text{max,délamination}}}{L_{\text{joint de collage}}}$$

Avec :

$L_{\text{max,délamination}}$  : longueur maximale de délamination d’un joint de collage dans l’éprouvette d’essai , en [mm] ;

$L_{\text{joint de collage}}$  : longueur d’un joint de collage, en [mm].

### I.3.4.Colles utilisées :

Dans un but de comparaison, quatre types de colles ont étaient utilisées dans notre recherche :

- Colle vinylique :

La première colle utilisée est une colle blanche.





Figure I. 13: Colle blanche

➤ Colle Néoprène :

La deuxième colle utilisée est une colle Pattex.



Figure I. 14: Colle Pattex.

➤ Colle Epoxyde :

La troisième colle utilisée est une colle époxy grand public, constituée de deux composantes à mélanger avant utilisation.



Figure I. 15: Colle époxy.

➤ Colle Résine :

La dernière colle utilisée est une colle composée de deux constituants : Résine+durcisseur (la masse de durcisseur est 1.5% de la masse du Résine).

**I.3.5.Rapport d'essai :**

Le rapport d'essai doit contenir les informations suivantes : <sup>1</sup>

- La date de l'essai ;
- L'identification des éprouvettes essayées et des éléments dans lesquelles elles ont été découpées. Toute autre information significative, par exemple relative au pré-conditionnement ;
- L'essence du bois ;
- Le type de l'adhésif ;
- Les dimensions des éprouvettes ;
- La méthode d'essai (A, B, C) ;
- Le pourcentage de délamination totale et le pourcentage de délamination maximale après le nombre prescrit de cycles supplémentaires pouvant s'avérer nécessaire ;
- Toutes observation pertinente faite pendant ou après l'essai ;
- La signature de la personne responsable des essais.

**CHAPITRE II : PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS.**

**II.1.Caractérisation physique :**

**II.1.1.La densité :**

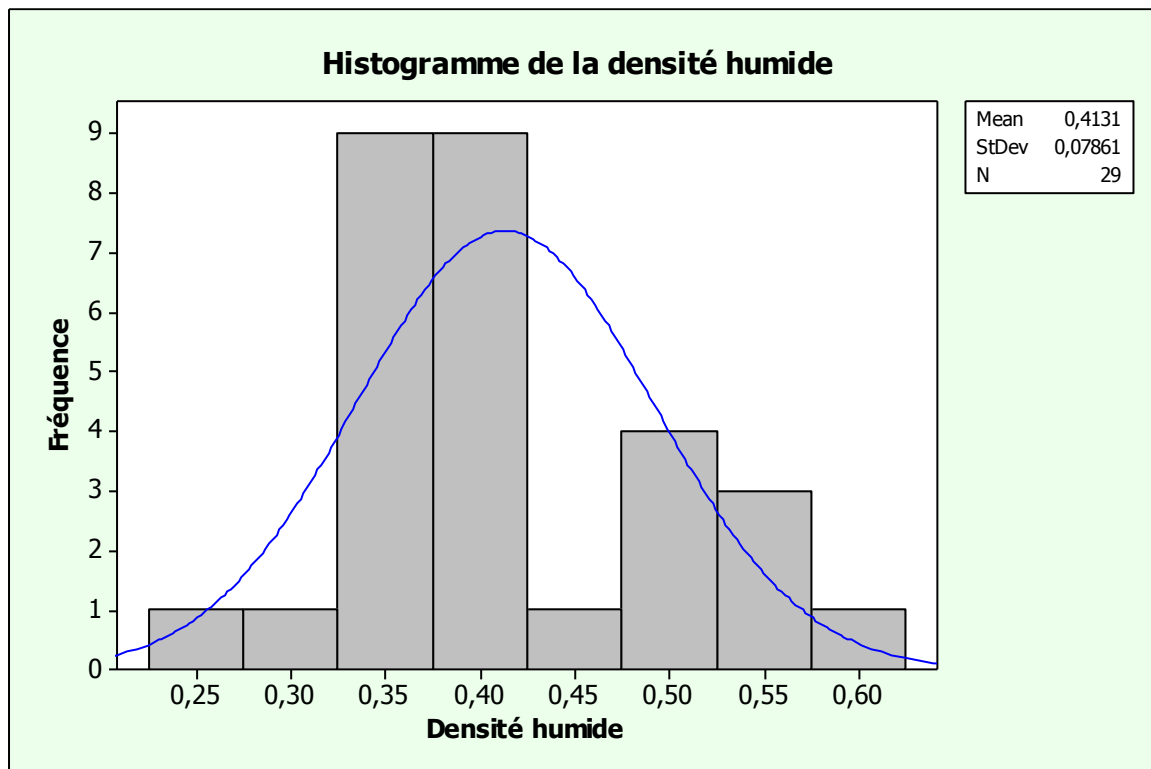
On résume dans le tableau suivant les valeurs de la densité obtenues après mesures, l'ensemble des résultats est porté à la fin du mémoire sous Annexe 1.

**II.1.1.1.Densité humide :**

**Tableau II. 1:** Récapitulatif des résultats de mesure de la densité humide.

Caractéristique	Nombre	Moyenne	Ecart type	Maximum	Minimum
Densité	29	0.41	0.08	0.62	0.27

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



**Histogramme II. 1 :** Distribution des valeurs de la densité humide.

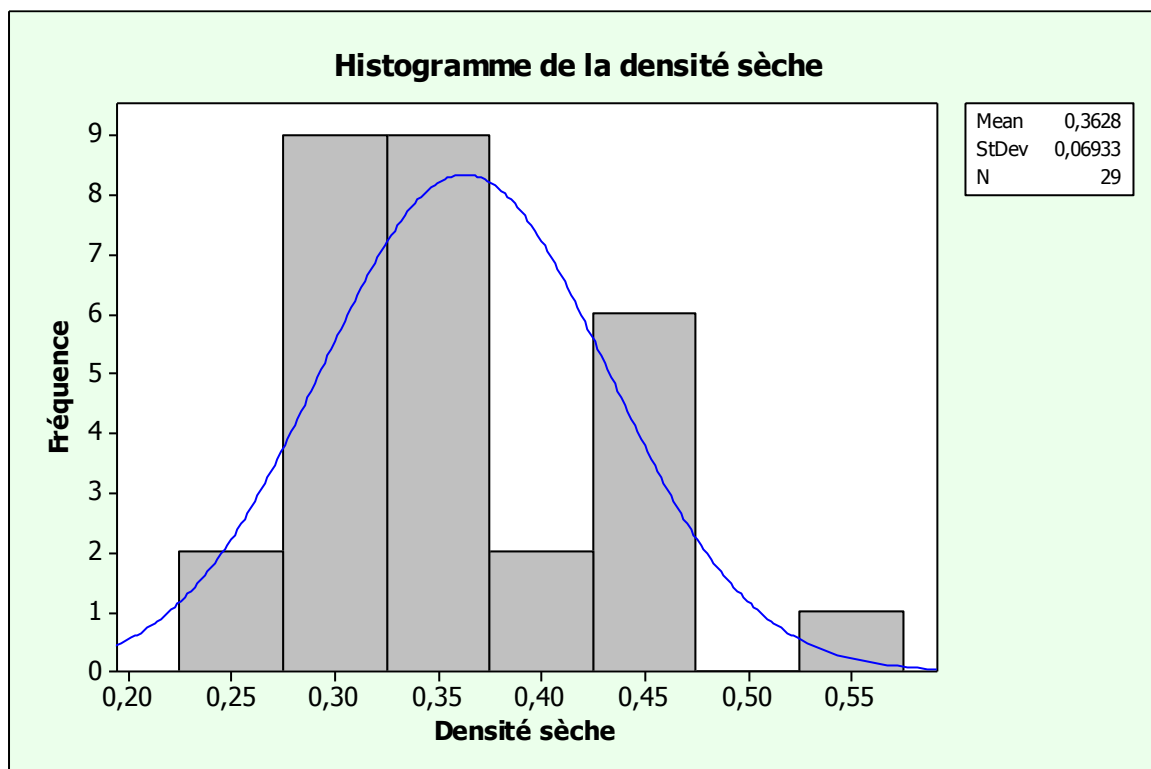
## CHAPITRE II : PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS

### II.1.1.2. Densité sèche :

**Tableau II. 2:** Récapitulatif des résultats de mesure de la densité sèche.

Caractéristique	Nombre	Moyenne	Ecart type	Maximum	Minimum
Densité	29	0.36	0.06	0.54	0.24

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



**Histogramme II. 2:** Distribution des valeurs de la densité sèche.

On remarque que les distributions des valeurs de la densité sèche et humide suivent une variation non symétrique.

Donc, vue la faible moyenne de la densité comparée à celles des études précédentes et de la bibliographie ainsi que la forme de la distribution des valeurs, il apparaît qu'on est probablement en présence de deux lots de bois.

## CHAPITRE II : PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS

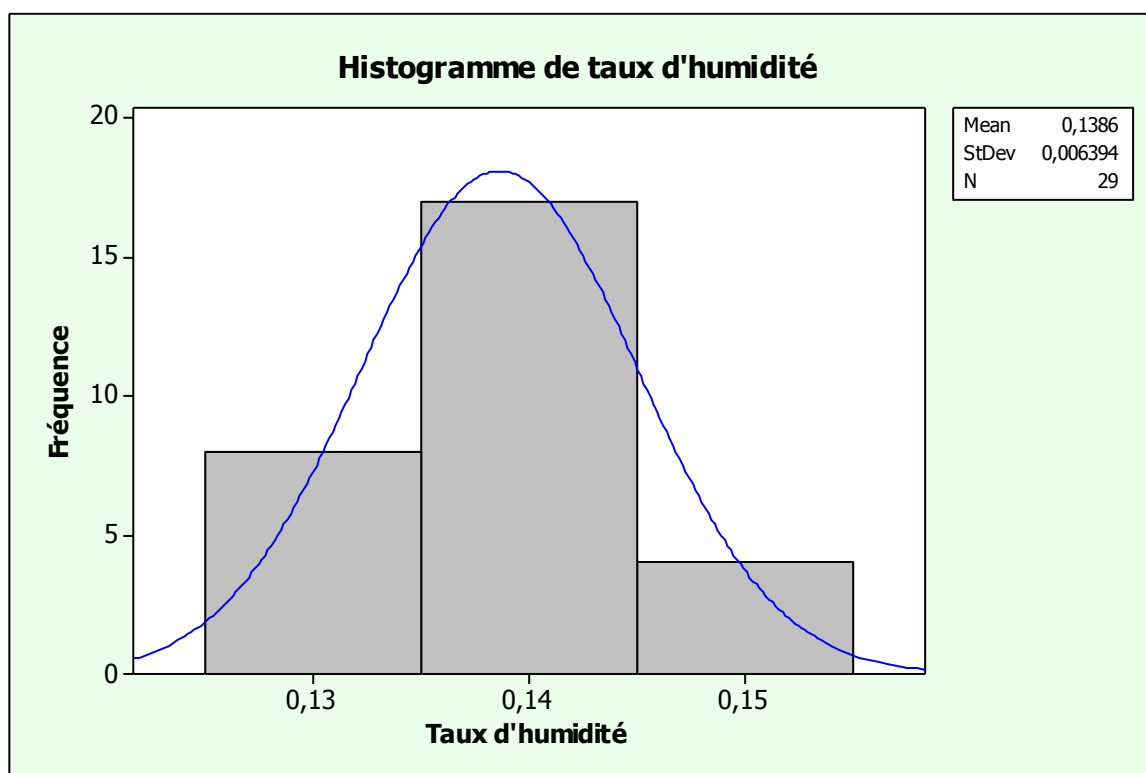
### II.1.2. Le taux d'humidité :

On résume dans le tableau suivant les valeurs du taux d'humidité obtenues après mesures, l'ensemble est porté à la fin du mémoire sous Annexe 1.

**Tableau II. 3:** Récapitulatif des résultats de mesure du taux d'humidité.

Caractéristique	Nombre	Moyenne	Ecart type	Maximum	Minimum
Taux d'humidité	29	0.14	0.01	0.15	0.11

Une simple étude statistique nous a permis d'obtenir le graphe représentant la distribution des valeurs du taux d'humidité.



**Histogramme II. 3:** Distribution des valeurs de taux d'humidité.

Contrairement à la densité, la distribution des valeurs du taux d'humidité suit apparemment une loi normale (de Gauss), la valeur moyenne 14% obtenue correspond à un bois « sec à l'air » d'après la norme NF B51-005.

## CHAPITRE II : PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS

### II.2.Caractérisation mécanique :

La caractéristique mécanique mesurée dans ce travail est la résistance au vieillissement de joints collés. Nous présentons les résultats de chaque colle séparément.

Avec :

$L_{tot, glue\ line}$  : Longueur du joint de collage (mm).

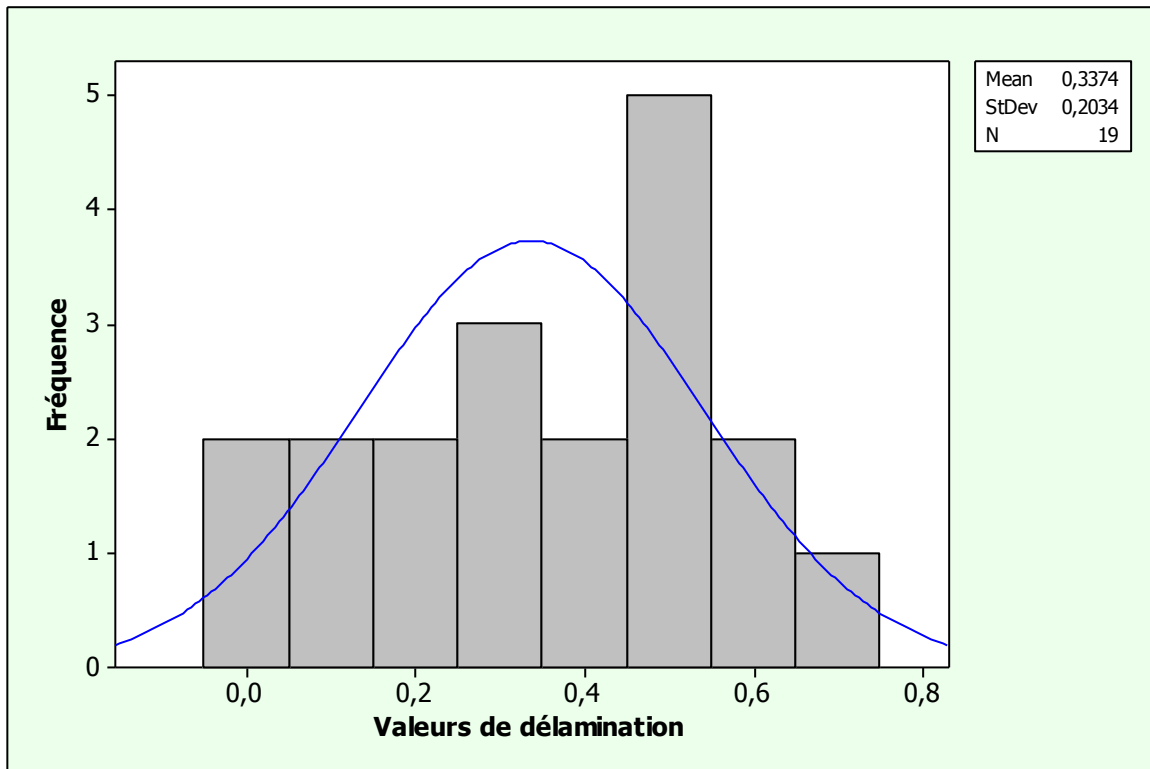
$L_{tot, delam}$ : Longueur de délamination du joint de collage (mm).

#### II.2.1.Résistance au vieillissement de la colle néoprène « Pattex »:

**Tableau II. 4:** Valeurs de résistance au vieillissement de la colle néoprène « Pattex ».

Colle	Nom du joint	$L_{tot, glue\ line}$		$L_{tot, delam}$		Délamination totale: $\frac{L_{tot, delam}}{L_{tot, glue\ line}}$		
		Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Dmoy
PATTEX	D171-D218	43,12	49,34	0	11,94	0	0,24	0,12
	D218-D162	51,51	50,95	42,55	15,44	0,83	0,3	0,56
	D162-D153	52,15	50,68	35,42	11,66	0,68	0,23	0,45
	D156-D212	51,78	52,12	40,59	0	0,78	0	0,39
	D175-D211	50,58	48,8	26,28	42,07	0,52	0,86	0,69
	D176-D205	47,74	51,32	27,59	0	0,58	0	0,29
	D205-D148	50,92	51,56	15,08	18,85	0,3	0,37	0,33
	D148-D158	50,97	51,51	0	16,35	0	0,32	0,16
	D158-D96	52,75	52,38	22,13	26,8	0,42	0,51	0,47
	D96-D149	51,68	52,41	29,48	25,55	0,57	0,49	0,53
	D149-D180	52,23	53,32	20,05	27,11	0,38	0,51	0,45
	D180-D147	51,83	53,31	32,34	27,24	0,62	0,51	0,57
	D188-D204	52,2	48,41	26,76	13,85	0,51	0,29	0,4
	D204-D200	52,67	50,46	12,57	35,94	0,24	0,71	0,48
	D200-D112	50,19	51,13	10,51	18,4	0,21	0,36	0,28
	D112-D167	52,02	52,44	0	0	0	0	0
	D167-D72	55,17	51,88	0	8,48	0	0,16	0,08
	D72-D110	54,11	53,52	0	0	0	0	0
D110-D197	54,05	53,29	0	17,13	0	0,32	0,16	

## CHAPITRE II : PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS



**Histogramme II. 4:** Distribution des valeurs de délamination des joints collés par la colle néoprène « Pattex ».

Les résultats sont traités statistiquement au moyen du logiciel Minitab, la moyenne de délamination totale trouvée est de 33% avec un écart type de 0.2. Nous remarquons une valeur trop importante de délamination et aussi une forte dispersion des résultats ce qui indique une mauvaise performance de cette colle vis-à-vis du vieillissement.

La distribution des valeurs de la résistance au vieillissement suit une variation non symétrique.



**Figure II. 1:** Délamination dans l'éprouvette collée par Pattex.

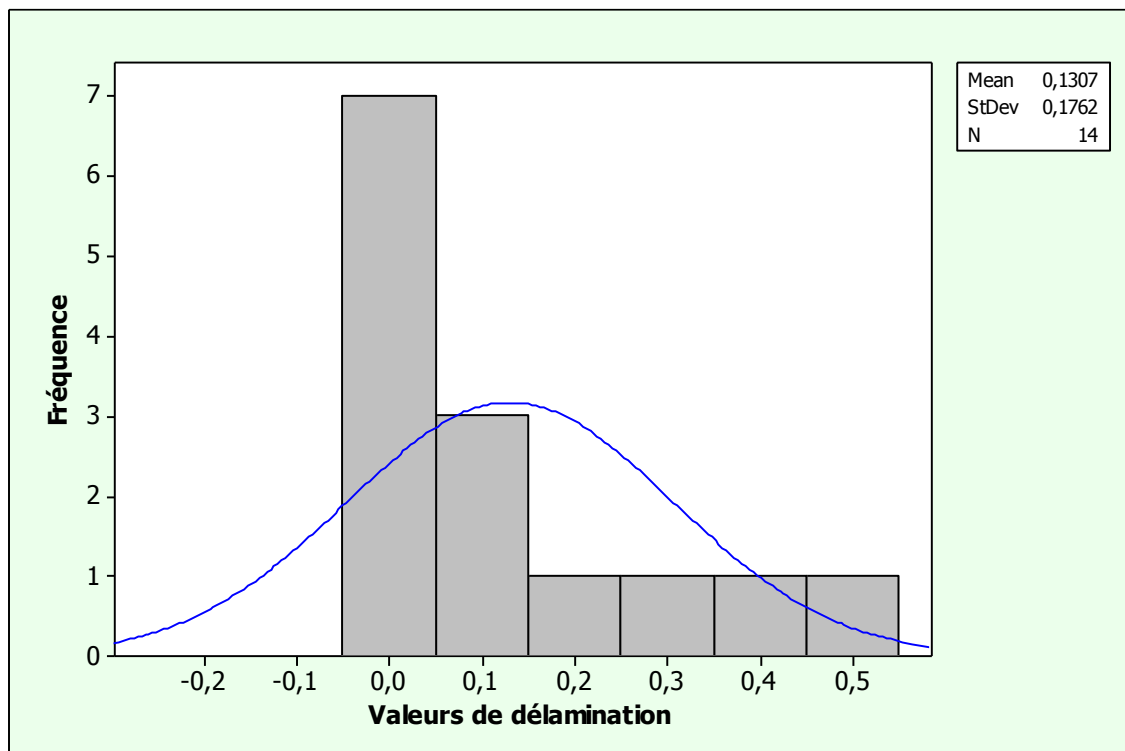
## CHAPITRE II : PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS

La figure II.1 montre un décollage dans le premier joint, les autres décollages ne sont pas très visibles pas dans la figure parce qu'ils ont besoin d'une loupe pour les voir.

### II.2.2. Résistance au vieillissement de la colle époxyde « Epoxy » :

**Tableau II. 5 :** Valeurs de résistance au vieillissement de la colle époxyde « Epoxy ».

Colle	Nom du joint	$L_{tot, glue\ line}$		$L_{tot, delam}$		Délamination totale:		
		Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	$\frac{L_{tot, delam}}{L_{tot, glue\ line}}$		Dmoy
						Face 1	Face 2	
EPOXY	D73-D62	52,55	56,15	19,86	0	0,38	0	0,19
	D62-D118	51,23	52,75	6,13	28,79	0,12	0,55	0,33
	D118-D80	53,57	52,5	0	11,38	0	0,22	0,11
	D80-D70	52,69	54,99	0	0	0	0	0
	D182-D198	50,77	50,71	11,91	0	0,23	0	0,12
	D104-D103	52,61	52,65	0	0	0	0	0
	D103-D129	53,24	52,59	14,99	0	0,28	0	0,14
	D129-D137	54,41	54,05	0	0	0	0	0
	D92-D42	54,29	55,54	0	0	0	0	0
	D42-D191	54,29	54,35	0	0	0	0	0
	D134-D145	53,33	53,61	28,97	13,98	0,54	0,26	0,4
	D145-D93	55,68	55,15	0	0	0	0	0
	D93-D136	55,35	53,94	0	0	0	0	0
	D136-D171	56,12	57,06	29,22	31,89	0,52	0,56	0,54



**Histogramme II. 5 :** Distribution des valeurs de délamination des joints collés par la colle Epoxy.



## CHAPITRE II : PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS

Comme pour la colle « Pattex », les résultats sont traités statistiquement au moyen du logiciel Minitab, la moyenne de délamination totale trouvée est de 13% avec un écart type de 0.17. Nous remarquons une valeur plus faible de délamination mais toujours une forte dispersion des résultats. Cette colle présente une meilleure performance que la précédente.



**Figure II. 2:** Délamination dans l'éprouvette collée par l'Epoxy.

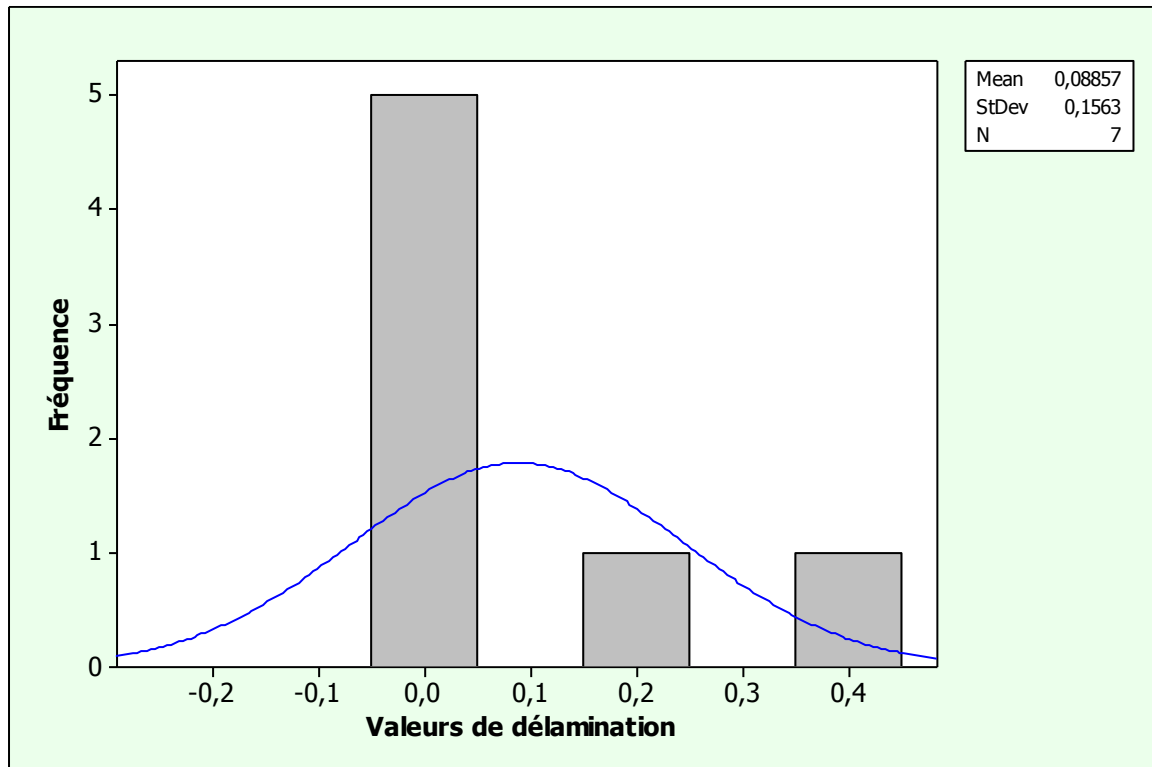
La figure II.2 représente une délamination dans le premier joint, mais par rapport à la colle précédente nous remarquons qu'il n'y a pas beaucoup de délamination.

### II.2.3. Résistance au vieillissement de la colle Résine:

**Tableau II. 0-6 :** Valeurs de résistance au vieillissement de la colle Résine.

Colle	Nom du joint	$L_{tot, glue\ line}$		$L_{tot, delam}$		Délamination totale: $\frac{L_{tot, delam}}{L_{tot, glue\ line}}$		
		Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Face 1	Face 2	Dmoy
<b>RESINE</b>	D102-D06	57,6	58,28	3,98	0	0,07	0	0,03
	D06-D16	59,76	60,28	0	0	0	0	0
	D16-D30	60,29	60,92	0	0	0	0	0
	D30-D10	60,37	60,79	0	0	0	0	0
	D10-D27	60,83	60,62	42,68	6,72	0,7	0,11	0,41
	D27-D64	59,76	60,62	0	0	0	0	0
	D64-D123	59,67	60,57	21,45	0	0,36	0	0,18

## CHAPITRE II : PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS



**Histogramme II. 6:** Distribution des valeurs de délamination des joints collés par la colle Résine.

Les résultats sont traités statistiquement au moyen du logiciel Minitab, la moyenne de délamination totale trouvée est de 8% avec un écart type de 0.15. Comparée aux deux colles précédentes, nous remarquons une faible valeur de délamination ce qui indique une très bonne performance de cette colle vis-à-vis du vieillissement.



**Figure II. 3:** Délamination dans l'éprouvette collée par la Résine.

La figure II.3 montre que la colle résine résiste bien au vieillissement accéléré, il y a des petites délamination qui nous ne pouvons voir sauf si nous utilisons une loupe.

## CHAPITRE II : PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS

### II.2.4. Résistance au vieillissement de la colle vinylique « colle blanche » :

Cette colle a donné les plus mauvais résultats, en effet tout les joins se sont décollé à 100% donc cette colle ne résiste pas du tout au vieillissement et ne peut pas conséquent être utilisée en structure.



**Figure II. 4:** Délamination dans l'éprouvette collée par la colle blanche.

La figure II.4 montre une complète délamination dans les éprouvettes collées par la colle blanche.

# CONCLUSION GENERALE

## CONCLUSION GENERALE

### CONCLUSION GENERALE

Le grand avantage de ce travail est de nous avoir permis d'une part de connaître le bois comme matériau de construction et d'autre part de maîtriser les essais en laboratoire comme la préparation des éprouvettes, le traitement et l'interprétation des résultats.

La caractérisation physique du bois d'Alep utilisé a donné une valeur moyenne de la densité au deçà des valeurs trouvées dans la littérature, ce qui nous a poussé à croire que le bois utilisé provient sûrement de deux lots de bois différents. Le taux d'humidité moyen mesuré est de 14% donc le bois était « sec à l'air ».

Les résultats obtenus par l'essai de vieillissement accéléré des joints collés, montrent que parmi les colles utilisées c'est la résine acrylique qui donne les résistances les plus élevées. Il en découle que cette colle peut être utilisée sans problème dans les structures de bois d'Alep collées en environnement extérieur, vient en second rang la colle époxy.

Quant à la colle vinylique « blanche », elle donne les résultats les plus faibles en termes de vieillissement de joints collés et ne peut en conséquence être utilisée en environnement exposé.

REFERENCES  
BIBLIOGRAPHYQUE

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] HADRI, Khaled. OULEDIEF, Walid. Comportement en flexion d'une poutre en bois abouté. Mémoire de master. Guelma : Université 08 mai 1945, 2016, 107 p.
- [2] DJOUAIBIA, Fatma. AMROUN, Abdesslem. Détermination expérimentale de la résistance au cisaillement de joints collés de bois de pin d'Alep. Mémoire de master. Guelma : Université 08 mai 1945, 2017, 72 p.
- [3] [www.linternaute.fr/dictionnaire/fr/definition/resistance-des-materiaux](http://www.linternaute.fr/dictionnaire/fr/definition/resistance-des-materiaux) Consulté le : (10/03/2018)
- [4] <http://www.pepinieres-naudet.com/boutique/arbres-resineux/> consulté le : (28/02/2018)
- [5] <http://www.houtinfo Bois.be> (consulté le : 03/03/ 2018)
- [6] <http://site-en-bois.net/fr/dec/bois.php> (consulté le : 08/03/ 2018)
- [7] Norme NF B 50-003
- [8] <http://accs.ens-> (consulté le : 08/03/2018)
- [9] <https://tice.agroparistech.fr/coursenligne/courses/WOODNAT/document/Fiche-proprietes-bois-phy.html> consulté : (le 27/04/2018)
- [10] SKAAR, Christen. Wood-Water Relations, Springer Series in Wood Science. Syracuse, New-York: ed. T.E. Timell, 1988, 274 p.
- [11] Kollmann, F.F.P., Physics of Wood, in Principles of Wood Science and Technology, Springer-Verlag, Berlin: Editor, 1984, 285 p.
- [12] WH: WEM, Wood Handbook: Wood as an Engineering Material, Agriculture Handbook. Washington DC: ed. F.P. Laboratory. 1987.
- [13] <https://ft.univ-tlemcen.dz/assets/uploads/pdf/departement/gc/partie2/bois>. Consulté le : (27/04/2018)
- [14] <https://www.cecobois.com> consulté le: (04/03/ 2018)
- [15] <http://www.encyclopaedia-universalis.fr/> consulté le : (05/06/2018)

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [16] <https://www.cecobois.com/proprietes-mecaniques> consulté le (04/03/2018)
- [17] <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/chemie/artikel/holz> consulté le (19/04/2018)
- [18] <http://www.pannonpower.hu/fr/biomasse/defauts-de-bois> consulté le: (10/04/2018)
- [19] <http://www.maison-eco-nature.com/> consulté le: (12/03/2018)
- [20] <http://www.houtinfo Bois.be/la-foret-et-le-bois/le-bois/>
- [21] <http://www.boisenergie.guidenr.fr> consulté le: (21/04/2018)
- [22] [https://www.lignum.ch/fr/technique/construction\\_bois/](https://www.lignum.ch/fr/technique/construction_bois/) consulté le: (28/03/2018)
- [23] <http://www.studios-nature.com> consulté le: (13/03/2018)
- [24] <http://www.boismaison.fr> consulté le: (13/03/2018)
- [25] <https://une-maison-bois.fr> consulté le : (16/06/2018)
- [26] <https://GUIDEnR.BOIS-ENERGIE> consulté le: (01/06/2018)
- [27] CARLAC'H D., HEMERY Y. Etude prospective sur le collage en France. Etude réalisée par Développement et Conseil pour le compte de la DIGITIP/Simap, décembre 2002, 38 p. Disponible sur:  
<https://archives.entreprises.gouv.fr/2012/www.industrie.gouv.fr/pdf/collage.pdf> consulté le : (06/06/2018)
- [28] <https://www.ecam.fr/materiaux-structures/ressources-scientifiques-techniques/le-collage/les-colles/> consulté le : (07/06/2018)
- [29] SUAREZ J C., DIEZ DE ULZURRUN I., BIEZMA M V., et al. Case studies in adhesives selection Journal of Materials Processing Technology, 2003, 219-224 p.
- [30] HELENE G. Industries et techniques, n°746, Les adhésifs industriels, 1994, 167-172 p.
- [31] <http://www.glulam.org/lindustrie-du-bois-lamelle/100-ans-dinnovation/#1463054718341-efb5a7cc-d01d> consulté le : (10/04/2018)



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

[32] Comité technique. Structure en bois - Bois lamellé collé – Classe de résistance et détermination des valeurs caractéristiques. Etabli par le comité technique CEN/TC 124, 1995.

[33] [https://www.boisencolle.info/bois-lamelle-colle/fabrication/mn\\_43528](https://www.boisencolle.info/bois-lamelle-colle/fabrication/mn_43528) consulté le (12/04/2018)

[34] JEANDEAU J P. Collage structural : la fin de l'empirisme. CETIM Information, n°100, Avril 1987.

[35] AFNOR. Bois lamellé collé: essai de délamination des joints de collage=Glued laminated timber, delamination test of glue lines=Brettschichtholz, delaminierungsprufung von leimfugen. Norme français, européenne NF EN 391, Octobre 2001.

[36] AFNOR. Bois : détermination de la masse volumique=Wood, determination of density=Holz, bestimmung des rohdichte. Norme française NF B51-005, Septembre 1985.

[37] AFNOR. Bois : détermination de l'humidité=Wood, determination of moisture content=Holz, bestimmung des feuchtegehalts. Norme française NF B51-004, Septembre 1985.

TABLE DES  
ILLUSTRATIONS

**Liste des figures :**

**PARTIE 1 : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

**Chapitre I : le bois**

Figure I. 1 : L'arbre du pin d'Alep.....	4
Figure I. 2 : Vue en coupe d'un troc d'arbre et les différentes parties qui le composent.....	6
Figure I. 3 : Les Directions de chargement : axiale, tangentielle, radiale.....	11
Figure I. 4: Flexion du bois.....	11
Figure I. 5: Le cisaillement.....	11
Figure I. 6: Compression et traction parallèle au fil.....	12
Figure I. 7: Compression et traction perpendiculaire au fil.....	13
Figure I. 9: Nœud.....	14
Figure I. 8: Cannelures.....	14
Figure I. 11: Loupe.....	15
Figure I. 10: Cœur excentré.....	15
Figure I. 13: Entre-écore.....	15
Figure I. 12: Courbure d'un tronc.....	15
Figure I. 15: Gélivure.....	16
Figure I. 14: Roulure.....	16
Figure I. 16: Cœur étoilé.....	16

**Chapitre II : le bois dans la construction**

Figure II. 1 : Salle de sport à Tamanrasset (en bois lamellé collé).....	19
Figure II. 2 : Cycle de vie des produits du bois.....	21
Figure II. 3: Maison en bois massif empilé.....	22
Figure II. 4: Maison à ossature bois.....	22
Figure II. 5: Maison poteaux-poutres.....	23
Figure II. 6: Structure en panneaux bois massive.....	23

**Chapitre III : structures collées et la colle**

Figure III. 1: Les différentes conceptions des assemblages collés.....	30
Figure III. 2: Bois assemblé en scarf et en profil coin.....	31
Figure III. 3: Vue schématique d'une poutre en BLC.....	31

## LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure III. 4: Séchage de bois.....	34
Figure III. 5: Purge de bois.....	34
Figure III. 6: Enlèvement des défauts. ....	34
Figure III. 7: Rabotage des lamelles.....	35
Figure III. 8: Encollage des lamelles.....	35
Figure III. 9: Pressage des lamelles.....	35
Figure III. 10: Rabotage des lamelles.....	35
Figure III. 11: Taillage et finitions. ....	35

## **PARTIE 2 : ETUDE EXPERIMENTALE**

### **Chapitre I : caractérisation du pin d'Alep**

Figure I. 1: Troncs d'arbre reçus au laboratoire. ....	38
Figure I. 2: troncs d'arbre découpés en madriers. ....	39
Figure I. 3 : Confection des pièces de bois. ....	39
Figure I. 4: Application de la colle.....	40
Figure I. 5: Collage des éprouvettes.....	40
Figure I. 6: mise sous pression des éprouvettes. ....	41
Figure I. 7: Eprouvette finie. ....	41
Figure I. 8: éprouvettes pour la mesure de la densité et teneur en eau.....	42
Figure I. 9: pied à coulisse à 0.01 [mm] de précision. ....	42
Figure I. 10: Balance de précision de [0.01]g. ....	43
Figure I. 11: Etuve ventilée. ....	44
Figure I. 12: Autoclave local.....	45
Figure I. 13: Colle blanche.....	47
Figure I. 14: Colle Pattex. ....	47
Figure I. 15: Colle époxy.....	48

### Chapitre II : présentation et analyse des résultats

Figure II. 1: Délamination dans l'éprouvette collée par Pattex.....	53
Figure II. 2: Délamination dans l'éprouvette collée par l'Epoxy.....	55
Figure II. 3: Délamination dans l'éprouvette collée par la Résine. ....	56
Figure II. 4: Délamination dans l'éprouvette collée par la colle blanche. ....	57

## LISTE DES ILLUSTRATIONS

### **Liste des tableaux :**

#### **PARIE 1 : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

##### **Chapitre I : le bois**

Tableau I. 1 : Valeurs de coefficient de rétractibilité. [13] ..... 9

Tableau I. 2 : Densité de différents bois. [15] ..... 10

##### **Chapitre III : le bois dans la construction**

Tableau III. 1: Marché Mondial des adhésifs par région en 2000..... 26

Tableau III. 2 : Compatibilité colle/matériau pour plusieurs matériaux de construction, d'après [29]. ..... 29

Tableau III. 3: Classe de résistance du bois lamellé collé selon le projet de norme EN 1194. [32] ..... 33

#### **PARTIE 2 : ETUDE EXPERIMENTALE**

##### **Chapitre II : présentation et analyses des résultats**

Tableau II. 1: Récapitulatif des résultats de mesure de la densité humide..... 49

Tableau II. 2: Récapitulatif des résultats de mesure de la densité sèche..... 50

Tableau II. 3: Récapitulatif des résultats de mesure du taux d'humidité. .... 51

Tableau II. 4: Valeurs de résistance au vieillissement de la colle néoprène « Pattex ». .... 52

Tableau II. 5 : Valeurs de résistance au vieillissement de la colle époxyde « Epoxy ». .... 54

Tableau II. 0-6 : Valeurs de résistance au vieillissement de la colle Résine..... 55

**Liste d’histogrammes :**

**PARTIE II : ÉTUDE EXPERIMENTALE**

**Chapitre II : Présentation et analyse des résultats**

Histogramme II. 1 : Distribution des valeurs de la densité humide. ....	49
Histogramme II. 2: Distribution des valeurs de la densité sèche. ....	50
Histogramme II. 3: Distribution des valeurs de taux d’humidité. ....	51
Histogramme II. 4: Distribution des valeurs de délamination des joints collés par la colle néoprène « Pattex ». ....	53
Histogramme II. 5: Distribution des valeurs de délamination des joints collés par la colle Epoxy. ....	54
Histogramme II. 6: Distribution des valeurs de délamination des joints collés par la colle Résine. ....	56

# ANNEXES

**ANNEXE I : Identification physique du bois pin d'Alep.**

N°	Dimensions en [mm]			Volume [mm <sup>3</sup> ]	Masse [g]		Densité [g/cm <sup>3</sup> ]		w
	A	b	C		Humide	sec	Y <sub>h</sub>	Y <sub>d</sub>	
D01	19,87	60,83	35,34	42715,18	18,51	16,17	0,43	0,38	0,14
D19	20,23	57,62	36,58	42639,57	17,5	15,38	0,41	0,36	0,13
D23	20,02	61,38	36,25	44545	15,27	13,44	0,34	0,3	0,13
D24	20,28	62,33	36,52	46163,19	16,92	14,84	0,36	0,32	0,14
D29	20,22	56,19	36,6	41583,52	16,17	14,08	0,38	0,34	0,14
D36	20,09	55,53	36,16	40340,03	21,47	18,88	0,53	0,47	0,13
D37	20,35	55,54	36,33	41061,58	25,64	22,39	0,62	0,54	0,14
D45	20,6	58,12	36,76	44011,72	16,16	14,17	0,36	0,32	0,14
D46	20,26	55,5	36,68	41244,1	17,28	15,18	0,42	0,36	0,13
D47	20,26	56,11	36,81	41845,19	15,62	13,69	0,37	0,32	0,14
D51	20,17	60,5	36,16	44125,5	18,27	15,83	0,41	0,36	0,15
D54	20,44	58,29	35,83	42689,58	13,93	12,59	0,33	0,3	0,11
D84	20,41	55,42	37,26	42145,61	14,1	12,26	0,33	0,29	0,15
D86	20,34	58,94	35,54	42606,76	13,47	11,79	0,32	0,27	0,14
D88	20,31	56	36,35	41343,04	16,39	14,39	0,4	0,35	0,13
D114	19,47	54,14	35,64	37568,33	20,47	17,93	0,54	0,47	0,14
D121	20,16	50,81	35,98	36855,38	13,69	11,82	0,37	0,32	0,15
D127	20,35	54,88	36,75	41042,7	16,9	14,75	0,41	0,36	0,14
D130	20,34	55,41	36,5	41136,94	15,85	13,83	0,38	0,33	0,14
D132	20,18	62,25	33,22	41731,13	14,87	13	0,35	0,31	0,14
D144	20,15	52,64	36,06	38248,69	20,35	17,9	0,53	0,47	0,13
D150	20,21	50,89	35,61	36624,42	13,66	11,79	0,37	0,32	0,15
D151	20,02	52,05	36,82	38367,95	18,55	16,35	0,48	0,42	0,13
D168	19,34	53	35,97	36869,97	17,94	15,74	0,48	0,43	0,14
D181	19,84	51,1	36,22	36720,7	13,09	11,4	0,35	0,31	0,14
D192	20,1	54,92	36,78	40601,15	20,13	17,57	0,49	0,43	0,14
D193	20,25	50,76	36,59	37610,49	14,78	12,88	0,39	0,34	0,14
D195	18,81	53,5	36,59	36821,8	18,7	16,38	0,5	0,44	0,14
D199	20,02	59,83	35,62	42665,51	16,97	14,93	0,39	0,35	0,13
D213	20,16	53,6	35,58	76904,6	21,14	18,47	0,27	0,24	0,14



## ANNEXE 2 : Norme NF EN 391

**CEN TC 124**

Date: 2001-10

**EN 391:2001**

CEN TC 124

Secrétariat: DS

### **Bois lamellé-collé — Essai de délamination des joints de collage**

*Glued laminated timber — Delamination test of glue lines*

*Brettschichtholz — Delaminierungsprüfung von Leimfugen*

ICS :

Descripteurs : Bois, bois lamellé-collé, collage, contrôle de la qualité, essai, décollement

Type de document : Norme européenne

Sous-type de document :

Stade du document : Publication / Adoption

Langue du document : F

C:\Mes Documents\CENTC124\WG3\5 PROJETS\EN 391\EN\_391\_ (F).DOCSTD Version 2.0

## Sommaire

Avant-propos.....	3
Introduction.....	4
1 <b>Domaine d'application</b> .....	4
2 <b>Références normatives</b> .....	4
3 <b>Termes et définitions</b> .....	4
4 <b>Symboles</b> .....	4
5 <b>Exigences</b> .....	5
6 <b>Essai de délamination des joints de collage</b> .....	5
6.1 <b>Principe</b> .....	5
6.2 <b>Appareillage</b> .....	5
6.2.1 <b>Autoclave</b> .....	5
6.2.2 <b>Tunnel de séchage</b> .....	5
6.2.3 <b>Balance</b> .....	5
6.2.4 <b>Cale métallique et marteau en bois</b> .....	5
6.3 <b>Préparation des éprouvettes d'essai</b> .....	5
6.4 <b>Modes opératoires</b> .....	6
6.4.1 <b>Généralités</b> .....	6
6.4.2 <b>Mesure et évaluation de la délamination</b> .....	6
6.4.3 <b>Cycle d'essai pour la méthode A</b> .....	7
6.4.4 <b>Cycle d'essai pour la méthode B</b> .....	7
6.4.5 <b>Cycle d'essai pour la méthode C</b> .....	7
6.5 <b>Résultats</b> .....	8
6.5.1 <b>Généralités</b> .....	8
6.5.2 <b>Délamination totale</b> .....	8
6.5.3 <b>Délamination maximale</b> .....	8
6.6 <b>Rapport d'essai</b> .....	8

## Avant-propos

Le présent document a été préparé par le CEN /TC 124 "Structures en bois".

Le présent document remplace EN 391:1995

Le présent document doit être mis en application au niveau national, soit par publication d'un texte identique, soit par entérinement, au plus tard en **avril 2002** et les normes nationales en contradiction devront être retirées au plus tard en **avril 2002**.

Selon le Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, les instituts de normalisation nationaux des pays suivants sont tenus de mettre le présent document en application: Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Norvège, Pays-Bas, Portugal, République Tchèque, Royaume-Uni, Suède et Suisse.

NOTE Il est jugé préférable de conserver les mêmes numéros d'articles pour toutes les normes de cette série. Par conséquent, certains articles sont vides dans la présente édition de cette norme, mais il est possible que de futures éditions aient besoin d'inclure un texte dans ces articles.

## Introduction

Deux méthodes de délamination appelées A et B conviennent pour les adhésifs de type I tels que définis dans l'EN 301, et une méthode appelée C convient pour les adhésifs de type II tels que définis dans l'EN 301.

Les deux méthodes A et B ont respectivement une durée de deux jours et une demi-journée, et la méthode C nécessite quatre jours. Toutes ces méthodes conviennent pour le contrôle quotidien de la qualité.

## 1 Domaine d'application

La présente norme définit trois méthodes de délamination pour le contrôle continu de la qualité de l'intégrité du joint de collage du bois lamellé-collé.

## 2 Références normatives

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

EN 301, *Adhésifs de nature phénolique et aminoplaste, pour structures portantes en bois – Classification et exigences de performance.*

## 3 Termes et définitions

Pour les besoins de la présente Norme européenne, les termes et définitions suivants s'appliquent.

### 3.1

#### longueur de délamination

somme des longueurs des joints de collage décollés sur les deux surfaces en bout de chaque éprouvette d'essai.

### 3.2

#### bois lamellé-collé (glulam)

membre de structure formée par le collage de lamelles de bois dont le fil est essentiellement parallèle.

## 4 Symboles

$b$	largeur de la section transversale, en millimètres ;
$h$	hauteur de la section transversale, en millimètres ;
$l_{\text{max,délam}}$	longueur maximale de délamination d'un joint de collage dans l'éprouvette d'essai, en millimètres ;
$l_{\text{jointdecollage}}$	longueur d'un joint de collage, normalement la largeur $b$ représentée sur la figure 1, en millimètres ;
$l_{\text{tot,délam}}$	longueur de délamination de tous les joints de collage dans l'éprouvette d'essai, en millimètres ;
$l_{\text{tot,jointdecollage}}$	longueur totale des joints de collage sur les deux surfaces en bout de chaque éprouvette d'essai, en millimètres.

## 5 Exigences

Aucune.

## 6 Essai de délamination des joints de collage

### 6.1 Principe

Un gradient est introduit dans la teneur en humidité du bois pour produire des contraintes internes. Ceci entraîne des contraintes de traction perpendiculaires aux joints de collage si bien que la qualité de collage insuffisance résulte en la délamination des joints de collage.

### 6.2 Appareillage

#### 6.2.1 Autoclave

Autoclave conçue pour résister en toute sécurité à une pression d'au moins 600 kPa (pression absolue de 700 kPa) et une dépression d'au moins 85 kPa (pression absolue de 15 kPa), et équipée de pompes ou d'un dispositif similaire capables de créer une pression d'au moins 600 kPa (pression absolue de 700 kPa) et une dépression d'au moins 85 kPa (pression absolue de 15 kPa).

#### 6.2.2 Tunnel de séchage

Tunnel de séchage où l'air circule à une vitesse comprise entre 2 m/s et 3 m/s, et à une température et à une humidité relative telles qu'indiquées dans le tableau 1.

Tableau 1 — Climat dans le tunnel de séchage pour les différentes méthodes

	Méthode :		
	A	B	C
Température °C	60 à 70	65 à 75	25 à 30
Humidité relative %	< 15	8 à 10	25 à 35

#### 6.2.3 Balance

Balance capable de déterminer une masse avec une précision de 5 g.

#### 6.2.4 Cale métallique et marteau en bois

Cale métallique et marteau en bois capables de fendre les joints de collage pour les ouvrir.

### 6.3 Préparation des éprouvettes d'essai

Les éprouvettes d'essai doivent être préparées ou sélectionnées de telle manière qu'elles soient représentatives de la production.

Chaque éprouvette d'essai doit être prélevée d'une section transversale entière de la membrure lamellée à tester, débitée perpendiculairement au fil du bois. Sa longueur (parallèle au fil) doit être de  $(75 \pm 5)$  mm. Les surfaces en

Page 6  
EN 391:2001 (F)

bout de l'éprouvette d'essai doivent être découpées au moyen d'une scie affûtée ou d'un outil produisant une surface lisse.

Si la largeur  $b$  de la section transversale est supérieure à 300 mm, l'éprouvette d'essai peut être divisée en deux éprouvettes ou plus, chacune de largeur au moins égale à 130 mm. Si la hauteur  $h$  est supérieure à 600 mm, l'(les) éprouvette(s) d'essai peut être découpée en deux éprouvettes ou plus, chacune de hauteur au moins égale à 300 mm, voir figure 1.

Figure 1 — Epreuve d'essai découpée à partir d'un élément en bois lamellé-collé

## 6.4 Modes opératoires

### 6.4.1 Généralités

Avant de soumettre les éprouvettes d'essai aux cycles d'essai, mesurer la longueur totale, en millimètres, des joints de collage sur les surfaces en bout des éprouvettes d'essai.

Soumettre les éprouvettes au cycle d'essai approprié décrit en 6.4.2, 6.4.3 ou 6.4.4. Le nombre de cycles d'essai doit être tel qu'indiqué dans le tableau 2.

Tableau 2 — Nombre de cycles d'essai à appliquer dans les différentes méthodes d'essai

	Méthode :		
	A	B	C
Nombre de cycles initiaux	2	1	1
Nombre de cycles supplémentaires	1	1	0

Il est nécessaire d'effectuer un cycle d'essai supplémentaire seulement si le pourcentage total de délamination conformément à 6.5.2 est supérieur à la valeur maximale prescrite.

### 6.4.2 Mesure et évaluation de la délamination

6.4.2.1 La mesure de délamination et l'évaluation des éprouvettes d'essai doivent avoir lieu dans l'heure suivant le traitement de séchage final. La délamination totale des joints de collage sur les deux surfaces en bout des éprouvettes d'essai doit être mesurée en millimètres.

NOTE 1 L'utilisation d'une loupe avec un grossissement d'environ 10 X et d'un fort éclairage est recommandée pour déterminer si l'ouverture dans le joint de collage est un décollement valable ou non.

NOTE 2 Une cale d'épaisseur de 0,08 mm à 0,10 mm d'épaisseur convient pour explorer le joint afin de déterminer si une séparation dans le joint de collage existe réellement.

6.4.2.2 Considérer les ouvertures suivantes de joints de collage comme étant des délaminations valables :

- une craquelure de cohésion dans la couche d'adhésif
- une rupture du joint de collage précisément entre la couche d'adhésif et le substrat en bois. Aucune fibre du bois n'est restée collée à la couche d'adhésif
- une rupture du bois qui est invariablement dans la ou les deux premières couches de cellules au-delà de la couche d'adhésif, dans laquelle le trajet de la rupture n'est pas influencé par la pente de fil et la structure des cernes d'accroissement. Elle est caractérisée par un aspect net, imprécis des fibres du bois qui bordent l'interface entre la surface du bois et la couche d'adhésif.

6.4.2.3 Ne pas considérer les ouvertures suivantes de joints de collage comme des délaminations :

- a) une rupture du bois massif qui est invariablement éloignée de plus de deux couches de cellules de la couche d'adhésif, dans laquelle le trajet de la rupture est fortement influencé par la pente de fil et la structure des cernes d'accroissement.
- b) des ouvertures isolées dans le joint de collage qui sont inférieures à 2,5 mm en longueur et qui sont à plus de 5 mm de la délamination la plus proche.
- c) ouvertures dans le joint de collage situées le long de nœuds ou de poches de résine bordant le joint de collage, ou des ouvertures dans le joint de collage provoquées par des nœuds cachés dans le joint de collage. Lorsque la cause d'une ouverture dans le joint de collage due à la présence d'un nœud est suspectée, le joint de collage doit être ouvert avec une cale et un marteau et doit être inspecté pour détecter la présence d'un nœud caché. Si la cause de l'ouverture du joint de collage est due à un nœud caché, l'ouverture ne doit pas être considérée comme une délamination.

#### 6.4.3 Cycle d'essai pour la méthode A

6.4.3.1 Placer les éprouvettes d'essai dans l'autoclave et poser un poids dessus. Admettre de l'eau à une température comprise entre 10 °C et 20 °C en quantité suffisante de façon à ce que les éprouvettes soient complètement immergées. Séparer les éprouvettes d'essai par des lattes, des treillis métalliques ou par tout autre moyen de façon telle que toutes les surfaces en bout soient librement exposées à l'eau. Créer une dépression de 70 kPa à 85 kPa (c.-à-d. une pression absolue de 15 kPa à 30 kPa mesurée au niveau de la mer) et la maintenir pendant 5 min. Puis relâcher la dépression et appliquer une pression comprise entre 500 kPa et 600 kPa (pression absolue de 600 kPa à 700 kPa) pendant 1 h. Pendant que les éprouvettes d'essai sont encore complètement immergées, répéter ce cycle de pression/dépression en réalisant une période d'imprégnation de deux cycles nécessitant un total de 130 min.

6.4.3.2 Sécher les éprouvettes d'essai pendant une période comprise entre 21 h et 22 h dans de l'air à une température de 60 °C à 70 °C et à une humidité relative inférieure ou égale à 15 %, et circulant à une vitesse comprise entre 2 m/s et 3 m/s. Pendant le séchage, les éprouvettes d'essai doivent être placées à au moins 50 mm les unes des autres, les surfaces en bout étant parallèles au courant d'air.

#### 6.4.4 Cycle d'essai pour la méthode B

6.4.4.1 Peser et enregistrer la masse de chaque éprouvette d'essai à 5 g près. Placer les éprouvettes d'essai dans l'autoclave et poser un poids dessus. Admettre de l'eau, à une température comprise entre 10 °C et 20 °C en quantité suffisante de façon à ce que les éprouvettes soient complètement immergées. Séparer les éprouvettes d'essai par des lattes, des treillis métalliques ou par tout autre moyen de façon telle que toutes les surfaces en bout soient librement exposées à l'eau.

Créer une dépression comprise entre 70 kPa et 85 kPa (c.-à-d. une pression absolue comprise entre 15 kPa et 30 kPa mesurée au niveau de la mer) et la maintenir pendant 30 min. Relâcher la dépression et appliquer une pression comprise entre 500 kPa et 600 kPa (pression absolue de 600 kPa à 700 kPa) pendant 2 h.

6.4.4.2 Sécher les éprouvettes d'essai pendant une période d'environ 10 h à 15 h dans de l'air à une température de 65 °C à 75 °C et à une humidité relative de 8 % à 10 %, et circulant à une vitesse comprise entre 2 m/s et 3 m/s. Pendant le séchage, les éprouvettes d'essai doivent être placées à au moins 50 mm les unes des autres, les surfaces en bout étant parallèles au courant d'air.

6.4.4.3 La durée effective dans le tunnel de séchage doit être contrôlée par la masse des éprouvettes d'essai. La délamination doit être observée et enregistrée lorsque la masse des éprouvettes d'essai est revenue à 100 %-110 % de la masse de départ. Enregistrer la durée totale de séchage.

#### 6.4.5 Cycle d'essai pour la méthode C

6.4.5.1 Placer les éprouvettes d'essai dans l'autoclave et poser un poids dessus. Admettre de l'eau à une température comprise entre 10 °C et 20 °C en quantité suffisante de façon à ce que les éprouvettes soient complètement immergées. Séparer les éprouvettes d'essai par des lattes <sup>(7)</sup> (« stickers » en anglais), des treillis métalliques <sup>(7)</sup> (« wire screens » en anglais) ou par tout autre moyen de façon telle que toutes les surfaces en bout

**Page 8**  
**EN 391:2001 (F)**

soient librement exposées à l'eau. Créer une dépression de 70 kPa à 85 kPa (c.-à-d. une pression absolue de 15 kPa à 30 kPa mesurée au niveau de la mer) et la maintenir pendant 30 min. Puis relâcher la dépression et appliquer une pression comprise entre 500 kPa et 600 kPa (pression absolue de 600 kPa à 700 kPa) pendant 2 h. Pendant que les éprouvettes d'essai sont encore complètement immergées, répéter ce cycle de pression/dépression en réalisant une période d'imprégnation de deux cycles nécessitant un total de 5 h.

**6.4.5.2** Sécher les éprouvettes d'essai pendant une période 90 h dans de l'air à une température de 25 °C à 30 °C et avec une humidité relative comprise entre 25 % et 35 %, et circulant à une vitesse comprise entre 2 m/s et 3 m/s. Pendant le séchage, les éprouvettes d'essai doivent être placées à au moins 50 mm les unes des autres, les surfaces en bout étant parallèles au courant d'air.

## **6.5 Résultats**

### **6.5.1 Généralités**

Pour chaque éprouvette d'essai, on doit calculer les pourcentages de délamination. Si un cycle supplémentaire est réalisé, calculer les résultats avant et après le cycle supplémentaire.

### **6.5.2 Délamination totale**

Le pourcentage de délamination totale d'une éprouvette d'essai doit être calculé à partir de la formule suivante :

$$100 \frac{I_{\text{tot,delam}}}{I_{\text{tot,gluefine}}}$$

### **6.5.3 Délamination maximale**

Le pourcentage de délamination maximale d'un seul plan de collage dans une éprouvette d'essai doit être calculé à partir de la formule suivante :

$$100 \frac{I_{\text{max,delam}}}{2 I_{\text{gluefine}}}$$

## **6.6 Rapport d'essai**

Le rapport d'essai doit inclure les éléments suivants :

- a) la référence à la présente norme, l'EN 391
- b) la date de l'essai ;
- c) l'identification des éprouvettes d'essai et des membrures à partir desquelles elles ont été découpées. Toute autre information utile, par exemple concernant le pré conditionnement ;
- d) l'essence de bois ;
- e) le type d'adhésif ;
- f) la méthode d'essai (A, B ou C) ;
- g) le pourcentage de délamination totale et le pourcentage de délamination maximale après le nombre prescrit de cycles et tout cycle supplémentaire pouvant s'avérer nécessaire ;
- h) toute observation pertinente faite pendant ou après l'essai ;
- i) la signature de la personne responsable de l'essai.



ANNEXE 3 : Norme NF B51-005

ISSN 0335-3931

---

**norme française** **NF B 51-005**  
Septembre 1985

---

**Bois**  
**Détermination de la masse volumique**

---

E : Wood — Determination of density  
D : Holz — Bestimmung der Rohdichte

---

Norme française homologuée par décision du Directeur Général de l'afnor le 20 août 1985 pour prendre effet le 20 septembre 1985.  
Remplace la norme homologuée de même indice de février 1942.

---

**correspondance** La présente norme comporte un certain nombre de divergences mineures par rapport à la norme internationale ISO 3131, approuvée à l'époque par la France.

---

**analyse** Dans la série traitant des méthodes d'essais générales des bois sur éprouvettes de petites dimensions sans défaut, la présente norme décrit la méthode permettant de déterminer la masse volumique du bois, nécessaire aux essais physiques et mécaniques.

---

**descripteurs** Thesaurus International Technique : bois, mesurage, masse volumique, appareillage, éprouvette d'essai, humidité.

---

**modifications** Par rapport à la norme homologuée, de même indice, de février 1942 : norme complétée et précisions apportées.

---

**corrections**

---

éditée et diffusée par l'association française de normalisation (afnor), tour europe cedex 7 92080 paris la défense — tél. (1) 778 13 26  
afnor 85363 © afnor 1985 1<sup>er</sup> tirage 85-08

— 162 —

ISSN 0335-3931

**B 51-005**  
septembre 1985

rique

ra l'afnor

42.

ces mineures par  
que par la France.

sur éprouvettes de  
thode permettant  
seis physiques et

umique, appareil-

er 1942 : norme

- tél. : (1) 778.13.26

1<sup>er</sup> tirage 85-08

Bois

**NF B 51-005**

**Détermination de la masse volumique**

Septembre 1985

**1 OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION**

La présente norme a pour objet de fixer la méthode à utiliser pour déterminer la masse volumique du bois en vue des essais physiques et mécaniques.

**Commentaire**

Cette caractéristique est toujours indiquée en fonction de l'humidité.

C'est ainsi que l'on distingue :

- la masse volumique  $m_{VH}$  à l'humidité  $H$  % au moment de l'essai,
- la masse volumique  $m_{V0}$  à l'état anhydre,
- la masse volumique basale  $m_{VB}$  qui est le rapport de la masse de l'éprouvette à l'état anhydre à son volume à une humidité supérieure au point de saturation des parois cellulaires.

**2 RÉFÉRENCES**

- NF B 51-003 Bois — Conditions générales d'essais — Essais physiques et mécaniques  
 NF B 51-004 Bois — Détermination de l'humidité  
 NF B 51-006 Bois — Détermination du retrait

**3 PRINCIPE**

Détermination de la masse par unité de volume d'une éprouvette ou d'un lot d'éprouvettes.

**4 APPAREILLAGE**

- 4.1 Balance précise à 0,01 g près  
 4.2 Volumétre à mercure permettant de déterminer le volume à 0,003 cm<sup>3</sup> près.  
 4.3 Étuve ventilée permettant de maintenir la température à 103 °C ± 2 °C.  
 4.4 Dessiccateur contenant une matière absorbante (chlorure de calcium, anhydride phosphorique) assurant la dessiccation de l'air.

**5 PRÉCISION DE MESURAGE**

Les incertitudes de mesurage acceptables sont les suivantes :

- volume ± 0,003 cm<sup>3</sup>
- masse ± 0,01 g

## 6 ÉPROUVETTES

Les éprouvettes sont constituées par des cubes de 20 mm de côté ( $20 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$  pour  $H = 12 \% \pm 1 \%$ ).  
Prélever 2 séries d'éprouvettes.

La première série est utilisée pour la détermination de la masse volumique  $m_{VH}$  correspondant à l'humidité au moment de l'essai ou après conditionnement.

La seconde série est réservée à la détermination de la masse volumique basale  $m_{VB}$  et de la masse volumique anhydre  $m_{Vo}$ . L'ordre des mesures effectuées sur les éprouvettes de cette seconde série est impérativement le suivant :

- a) volume à l'état saturé  $V_s$
- b) masse à l'état anhydre  $m_o$
- c) volume à l'état anhydre  $V_o$

Le mode de prélèvement, la préparation et le conditionnement des éprouvettes sont spécifiés dans la norme NF B 51-003.

## 7 MODE OPÉRATOIRE

### 7.1 Masse volumique correspondant à l'humidité au moment de l'essai $m_{VH}$

Peser chaque éprouvette à 0,01 g près.

Déterminer leur volume à 0,003  $\text{cm}^3$  près au moyen du volumétre (4.2), si l'humidité  $H$  est inférieure au point de saturation.

Après la mesure du volume, procéder à un étalonnage au zéro du volumétre, de manière à tenir compte du mercure éventuellement absorbé par l'éprouvette.

Déterminer l'humidité de chaque éprouvette selon NF B 51-004.

### 7.2 Masse volumique basale $m_{VB}$ et masse volumique à l'état anhydre $m_{Vo}$

#### 7.2.1 Détermination du volume saturé $V_s$

Si les éprouvettes sont à une humidité inférieure au point de saturation des parois cellulaires (1), les plonger dans l'eau distillée à la température ambiante  $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ . Il est possible d'accélérer leur imprégnation par l'eau en les soumettant à un vide. Le point de saturation est atteint lorsque l'augmentation du volume constatée entre deux mesures successives effectuées à 4 h d'intervalle est inférieure à 0,01  $\text{cm}^3$ .

Déterminer le volume de chaque éprouvette par poussée d'Archimède.

#### 7.2.2 Détermination de la masse anhydre $m_o$

Procéder au séchage des éprouvettes, tout d'abord à l'air, puis à leur dessiccation jusqu'à masse constante en étuve (4.3), en augmentant lentement la température jusqu'à  $103^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ . La masse est considérée comme constante lorsque la perte de masse entre deux pesées successives, effectuées à 4 h d'intervalle, est inférieure ou égale à 0,5 % de la masse de l'éprouvette.

Immédiatement après sortie de l'étuve et refroidissement dans le dessiccateur, peser chaque éprouvette.

#### 7.2.3 Détermination du volume anhydre $V_o$

Immédiatement après pesée de chaque éprouvette anhydre, déterminer leur volume comme précisé en 7.1.

(1) Dans la suite du texte, seul le terme « point de saturation » est utilisé.

NF B 51-005

r H = 12 % ± 1 %).

dant à l'humidité au

e masse volumique  
t impérativement le

fié dans la norme

t est inférieure au

à tenir compte du

s (1), les plonger  
ignation par l'eau  
e constatée entrese constante en  
nsidérée comme  
e, est inférieure

éprouvette.

récisé en 7.1.

NF B 51-005

- 4 -

### 8 EXPRESSION DES RÉSULTATS

8.1 Calculer la masse volumique  $m_{VH}$  correspondant à l'humidité au moment de l'essai pour chaque éprouvette à l'aide de la formule suivante :

$$m_{VH} = \frac{m_H}{V_H}$$

où :

$m_H$  est la masse, en kilogrammes (grammes), de l'éprouvette à l'humidité H

$V_H$  est le volume, en mètres cubes (centimètres cubes), de l'éprouvette à l'humidité H.

La masse volumique  $m_{VH}$  est exprimée en kilogrammes par mètre cube — kg/m<sup>3</sup> (grammes par centimètre cube — g/cm<sup>3</sup>) et le résultat est arrondi comme précisé en 8.4.

Note : Si les éprouvettes, pour cette détermination, ne sont pas stabilisées à 12 % d'humidité, et si leur humidité est inférieure au point de saturation, ramener la masse volumique à l'humidité de 12 % à l'aide de la formule suivante :

$$m_{V12} = m_{VH} \left[ \frac{112}{100 + H} \right] \left[ \frac{100 - r_v (H_s - H)}{100 - r_v (H_s - 12)} \right]$$

où :

H est l'humidité, en pourcentage, au moment de la mesure,

$H_s$  est l'humidité, en pourcentage, correspondant au point de saturation ; elle peut être obtenue en traçant la courbe de retrait par rapport à l'humidité. À défaut, adopter pour  $H_s$  la valeur moyenne de 30 %.

$r_v$  est le coefficient de retrait volumique, en pourcentage, pour une variation d'humidité de 1 % (voir NF B 51-006).

La masse volumique  $m_{V12}$  est exprimée en kilogrammes par mètre cube — kg/m<sup>3</sup> (grammes par centimètre cube — g/cm<sup>3</sup>) et le résultat est arrondi comme précisé en 8.4.

8.2 Calculer la masse volumique à l'état anhydre  $m_{Vo}$  de chaque éprouvette à l'aide de la formule suivante :

$$m_{Vo} = \frac{m_o}{V_o}$$

où :

$m_o$  est la masse, en kilogrammes (grammes) de l'éprouvette anhydre,

$V_o$  est le volume, en mètres cubes (centimètres cubes) de l'éprouvette anhydre.

La masse volumique  $m_{Vo}$  est exprimée en kilogrammes par mètre cube — kg/m<sup>3</sup> (grammes par centimètre cube — g/cm<sup>3</sup>) et le résultat est arrondi comme précisé en 8.4.

8.3 Calculer la masse volumique basale  $m_{VB}$  de chaque éprouvette à l'aide de la formule suivante :

$$m_{VB} = \frac{m_0}{V_s}$$

où :

$m_0$  est la masse, en kilogrammes (grammes) de l'éprouvette à l'état anhydre,

$V_s$  est le volume en mètres cubes (centimètres cubes), de l'éprouvette au point de saturation.

La masse volumique  $m_{VB}$  est exprimée en kilogrammes par mètre cube —  $kg/m^3$  (grammes par centimètre cube —  $g/cm^3$ ) et le résultat est arrondi comme précisé en 8.4.

8.4 Arrondir les masses volumiques à  $5 kg/m^3$  ( $0,005 g/cm^3$ )

Remarque : Il est possible d'exprimer les résultats à  $1 kg/m^3$  ( $0,001 g/cm^3$ ) près, à condition que la masse et la poussée d'Archimède servant à mesurer le volume soient déterminées à  $0,001 g$  près.

8.5 La masse volumique du lot d'éprouvettes est égale à la moyenne arithmétique des résultats obtenus sur chaque éprouvette, arrondis comme indiqué en 8.4.

## 9 PROCÈS-VERBAL D'ESSAI

Le procès-verbal d'essai doit indiquer la méthode utilisée et les résultats obtenus. Il doit, en outre mentionner tous les détails opératoires non prévus dans la norme ou facultatifs, ainsi que les incidents éventuels susceptibles d'avoir agi sur les résultats.

Le procès-verbal doit mentionner notamment :

- la référence à la présente norme,
- l'essence du bois, la provenance si possible,
- le mode d'échantillonnage,
- le résultat des essais et leurs caractéristiques statistiques,
- la valeur du coefficient de retrait volumique utilisé.

**ANNEXE 4 : Norme NF B51-004**

**Norme  
NF B51-004**

**Laboratoire de Rhéologie  
du Bois de Bordeaux - LRBB**  
Domaine de l'Hermitage  
69 route d'Arcachon - Pierroton  
33612 CESTAS CEDEX  
Tél. : 05 57 12 28 20 - Fax : 05 56 68 07 13

**Septembre 1985**

1er tirage

**B51-004**

[www.afnor.fr](http://www.afnor.fr)

**Bois**

Détermination de l'humidité

Imprimé par AFNOR le  
23 novembre 2004

*avec l'autorisation de l'Editeur*

**AFNOR**

---

**norme française**

---

**NF B 51-004**  
Septembre 1985

Bois

**Détermination de l'humidité**E : Wood — Determination of moisture content  
D : Holz — Bestimmung des Feuchtegehalts

---

**Norme française homologuée** par décision du Directeur Général de l'afnor le 20 août 1985 pour prendre effet le 20 septembre 1985.

Remplace la norme homologuée de même indice de février 1942.

---

**correspondance** La présente norme comporte des divergences mineures par rapport à la norme internationale ISO 3130, approuvée à l'époque par la France.

---

**analyse** Dans la série traitant des méthodes d'essais générales des bois sur éprouvettes de petites dimensions sans défaut, la présente norme décrit la méthode permettant de déterminer l'humidité du bois nécessaire aux essais physiques et mécaniques.

---

**descripteurs** Thesaurus International Technique : bois, essai, dosage, humidité, méthode par déshydratation.

---

**modifications** Par rapport à la norme de même indice de février 1942 : norme complétée et précisions apportées.

---

**corrections**

---

éditée et diffusée par l'association française de normalisation (afnor), tour europe cedex 7 92080 paris la défense — tél. : (1) 778.13.26

afnor 85362

© afnor 1985

1<sup>er</sup> tirage 85-08

Bois

NF B 51-004

**Détermination de l'humidité**

Septembre 1985

**1 OBJET ET DOMAINE d'APPLICATION**

La présente norme a pour objet de fixer la méthode à utiliser pour déterminer l'humidité du bois en vue notamment des essais physiques et mécaniques.

**2 RÉFÉRENCE**

NF B 51-003 Bois — Conditions générales d'essais — Essais physiques et mécaniques

**3 PRINCIPE**

Détermination, par pesées, de la diminution de masse d'une éprouvette ou d'un lot d'éprouvettes après dessiccation et calcul en pourcentage du rapport entre la diminution de masse constatée et la masse de l'éprouvette ou du lot d'éprouvettes anhydre.

**4 APPAREILLAGE**

4.1 Balance précise à 0,01 g permettant de peser à 0,5 % près.

4.2 Étuve ventilée permettant de maintenir la température à  $103\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ .

4.3 Dessiccateur contenant une matière absorbante (chlorure de calcium, anhydride phosphorique) assurant la dessiccation de l'air.

**5 PRÉCISION DE MESURAGE**

Les incertitudes de mesurage acceptables sont les suivantes :

- masse à 0,5 % près,
- température  $\pm 0,5\text{ °C}$ .

**6 ÉPROUVETTES**

Reprendre les éprouvettes utilisées pour d'autres essais physiques et mécaniques ou des fragments, de forme quelconque, après rupture.

Le mode de prélèvement et la préparation des éprouvettes sont spécifiés dans la norme NF B 51-003 et dans chaque norme d'essai.



## 7 MODE OPÉRATOIRE

### Remarque importante :

Du fait de la méthode, l'humidité obtenue est celle de l'éprouvette au moment de la première pesée. Effectuer cette pesée immédiatement après le prélèvement. Prendre toute précaution pour maintenir l'éprouvette à la même humidité.

7.1 Peser l'éprouvette à 0,5 % de sa masse  $m$ .

7.2 Déshydrater l'éprouvette dans l'étuve (4.2) jusqu'à masse constante. La masse de l'éprouvette est considérée comme constante lorsque la perte de masse entre deux pesées successives effectuées à 4 h d'intervalle est inférieure ou égale à 0,5 % de la masse de l'éprouvette.

7.3 Peser l'éprouvette anhydre à 0,5 % de sa masse après son refroidissement dans le dessiccateur (4.3) ( $m_o$ ). Cette pesée doit être effectuée rapidement afin d'éviter une reprise d'humidité supérieure à 0,1 %.

## 8 EXPRESSION DES RÉSULTATS

8.1 Calculer l'humidité  $H$  de chaque éprouvette exprimée en pourcentage à l'aide de la formule suivante :

$$H = \frac{m_H - m_o}{m_o} \times 100$$

où :

$m_H$  est la masse, en grammes, de l'éprouvette avant dessiccation.

$m_o$  est la masse, en grammes, de l'éprouvette anhydre.

Indiquer le résultat à 0,1 % près.

8.2 L'humidité du lot d'éprouvettes est égale à la moyenne arithmétique arrondie à 0,1 % des résultats obtenus sur chaque éprouvette.

## 9 PROCÈS-VERBAL D'ESSAI

Le procès-verbal d'essai doit indiquer la méthode utilisée et les résultats obtenus. Il doit, en outre mentionner tous les détails opératoires non prévus dans la norme ou facultatifs, ainsi que les incidents éventuels susceptibles d'avoir agi sur les résultats.

Le procès-verbal doit mentionner notamment :

- la référence à la présente norme,
- l'essence du bois, la provenance si possible,
- le mode d'échantillonnage,
- les résultats des essais et leurs caractéristiques statistiques.