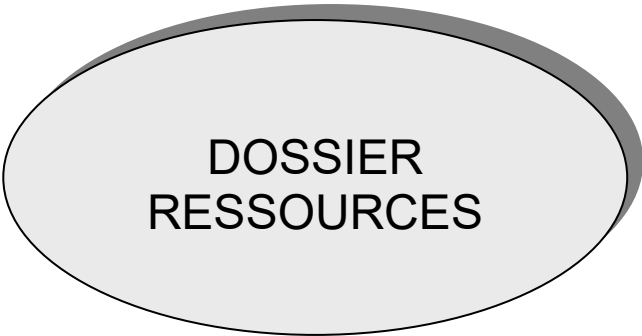


BREVET PROFESSIONNEL

CHARPENTIER
DE MARINE

E1 - Étude technique et scientifique d'un ouvrage

U11 - Analyse technique d'un navire



DOCUMENTS CONTENUS DANS CE DOSSIER :

- Le cintrage des bois DR 2/5 à 4/5
- Méthode quart de nonante DR 5/5
- Les essences de bois DR 5/5

Ce dossier comporte 5 pages numérotées de 1/5 à 5/5.

BP Charpentier de marine	Session 2024		Dossier ressources
U11 - Analyse technique d'un navire	Durée : 4 h	Coefficient : 2	DR 1/5

La fabrication de pièces cintrées

1. Les différentes techniques pour obtenir des pièces cintrées.

- Par découpe dans un bloc massif.
- Par cintrage à chaud (plastification).
- Par collage de lamelles (lamellé collé).
- Par déstructuration des fibres de bois (malléabilisation).

2. Étude des diverses techniques

2.1 Découpage dans du bois massif

C'est la technique la plus utilisée et la plus simple à mettre en œuvre.
Les pièces cintrées sont directement découpées dans les planches de bois.
Les pièces d'épaisseur moyenne peuvent être obtenues par collage.
Les cintres de faible amplitude sont plus faciles à obtenir.
La nature du bois n'a pas d'influence

2.2 Cintrage à chaud

Le réchauffement des pièces de bois permet le ramollissement de la cellulose.
Le cintrage doit être effectué rapidement, avant le refroidissement des pièces.
La plastification débute dès 70°, mais la température idéale, suivant plusieurs études, se situerait à environ 140 ≈ 150° C.

En milieu industriel, on applique pour le cintrage trois systèmes de réchauffement :

- Réchauffement en bain d'eau.
- Vaporisation.
- Réchauffement diélectrique.

L'espèce de bois la plus appropriée est le hêtre, suivi de frêne, érable, bouleau, chêne, châtaignier, robinier, cerisier, micocoulier, etc.

En revanche, les conifères et les bois tropicaux sont plus difficilement cintrables et demandent des essais préalables.

2.2.1 Réchauffement en bain d'eau

Le réchauffement par trempage présente deux défauts :

- Une température généralement comprise entre 70-80° C, ce qui est proche de la limite de plasticité.
- Une saturation importante en humidité des fibres situées en périphérie de la pièce.

Ce système, utilisé principalement pour le bouleau et le frêne, présente l'inconvénient de "trop mouiller" le bois qui devient mou, difficile à cintrer et à stabiliser.

On observe aussi souvent une désagréable variation de la couleur du bois.

2.2.2 Réchauffage par vaporisation

Cette opération est exécutée dans les vaporisateurs métalliques cylindriques à la pression atmosphérique avec vapeur saturée à 100°C. Pendant le traitement, les pièces deviennent humides extérieurement jusqu'à 25%, jusqu'à 40% même si la vapeur d'eau condensée reste à l'intérieur du cylindre.

Il a été établi qu'en présence de vapeur d'eau condensée, on a une plastification meilleure et plus rapide.

En ce qui concerne les temps de



Vaporisateur artisanal : un générateur de vapeur ménagé, un tuyau d'aspiration avec un système de guillotine, cela permet déjà de cintrer des bois en petite série.



Vaporisateur industriel à double autoclave.
Utilisé pour des travaux de série.

traitement, il faut éviter que le bois tende à trop plastifier et se déforme dans la section transversale pendant le cintrage.

Une période de vaporisation variable de 45 à 60 minutes pour chaque 25 mm d'épaisseur selon le type de bois pourrait être suffisante.

À la fin du processus, on a un gradient d'humidité de l'extérieur vers l'intérieur qui facilite le séchage ultérieur.

BP Charpentier de marine	Session 2024		Dossier ressources
U11 - Analyse technique d'un navire	Durée : 4 h	Coefficient : 2	DR 2/5

2.2.3 Réchauffement diélectrique

Ce dernier procédé utilise du courant électrique à une fréquence de 5-15 MHz qui provoque le réchauffement immédiat de toute la masse de bois à 100°C sans perte d'humidité.

Parmi ses avantages principaux, il convient de souligner la possibilité de plastifier des produits en bois semi-ouvrés présentant des défauts dans la fibre ; au nombre des inconvénients, le coût d'exploitation élevé de cette application qui limite ses secteurs d'utilisation.



Générateur de fréquence portable :
très mobile mais de faible puissance.
Pour des pièces de petites sections.



Générateur industriel utilisé pour des opérations de panneauautage.

2.3 Collage de lamelles (lamellé collé)

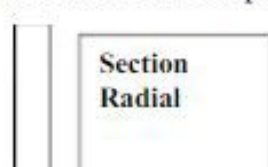
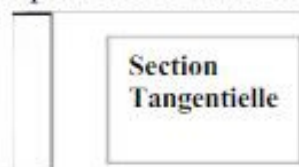


Les pièces sont constituées de lamelles minces en nombre suffisant pour obtenir l'épaisseur voulue.

Les lamelles sont encollées et serrées sur un moule constitué de une ou plusieurs parties. La nature de la colle utilisée est fonction de la finalité de l'ouvrage (résistance à l'humidité).

Des cales de serrages en formes et la présence d'une lamelle martyre, évitent de marquer la pièce finie.

Lors d'un cintrage comme illustré sur la photo ci-contre, les fibres de bois se comportent mieux suivant une section Radial que Tangentiel.



Le cintrage des bois

2.3.1 Calcul des épaisseurs de lamelles

Les fabricants de poutres en lamellé collé utilisent la formule suivante :

$$e = R / \text{coefficient}$$

e : épaisseur des lamelles en mm

R : rayon désiré en mm

Coefficient : valeur variant selon la dureté du bois :

200 : bois dur

180 : bois mi-dur

160 : bois tendre

Pour la fabrication de cintre à des fins de menuiserie ou destiné à des pièces de meuble, les épaisseurs calculées avec cette formule peuvent être augmentées en fonction

de la qualité des bois, de la nature radiale ou tangentielle des bois débités.

Des essais sont absolument indispensables pour évaluer la faisabilité du cintrage et pour visualiser l'effet ressort inévitable sur des pièces très cintrées.

2.4 Déstructuration des fibres de bois (malléabilisation)

Ce résumé est basé sur le rapport **Introduction au bois malléable**, élaboré par l'Institut Technologique Danois, section Techniques du Bois.

2.4.1. Introduction

Le cintrage de bois chauffés par la vapeur est connu depuis fort longtemps.

Le cintrage par chauffage à la vapeur nécessite une maîtrise et un savoir-faire importants, notamment parce que le cintrage doit être réalisé immédiatement après chauffage à la vapeur, pendant que le bois est toujours chaud.

Durant plusieurs années, de nombreuses tentatives d'industrialisation du cintrage de bois massif furent menées sans succès. L'issue décisive arriva en 1988 lorsque ITD / section Techniques du Bois présenta le premier prototype d'une presse hydraulique à malléabiliser le bois, (machine destinée à comprimer le bois), à usage industriel.

Le cintrage des bois

BP Charpentier de marine	Session 2024	Dossier ressources
U11 - Analyse technique d'un navire	Durée : 4 h	Coefficient : 2
		DR 3/5

2.4.2 Principes de production et d'utilisation du bois malléable

Le bois malléable est produit et s'utilise de la manière suivante : Le bois brut, séché à l'air libre et ayant une teneur en eau de 20 à 25%, est débité à dimension puis corroyé, est ramolli par chauffage, puis déposé dans la chambre de compression de la presse. Le bois est ici comprimé dans le sens de la longueur, ce qui entraîne une déformation transversale des parois cellulaires du bois, comme montré dans la figure 2. C'est cette nouvelle structure cellulaire qui autorise le cintrage à froid du bois malléabilisé, pendant qu'il est toujours humide (Teneur en eau supérieure à env. 20 %). Lorsque le bois est séché, il se rigidifie dans la forme désirée.

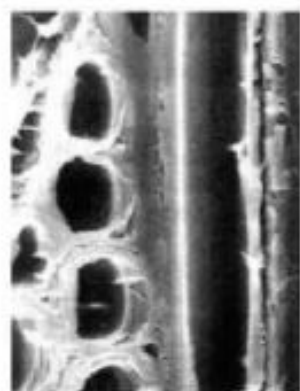


Figure 1 : Photo microscopique de la structure cellulaire du hêtre **avant** malléabilisation

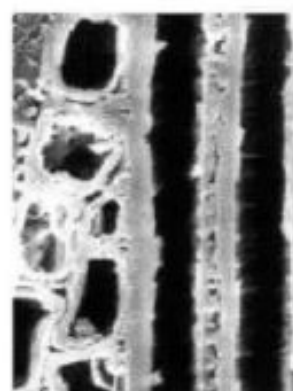


Figure 2 : Photo microscopique de la structure cellulaire du hêtre **après** malléabilisation

L'un des avantages du bois malléable est notamment, qu'il tolère de grandes déformations. Il peut être cintré dans toutes les directions et le pourcentage de rebut est faible. De plus le cintrage peut être réalisé à l'aide d'outils simples, qui ne prennent que peu de temps à apprendre à mettre en oeuvre.

La production est très respectueuse de l'environnement, sans emploi de colles ou de produits chimiques. Un autre avantage est que le bois malléable peut être stocké et cintré à froid dans le temps.

Depuis son introduction en 1990, le bois malléable a été utilisé pour la réalisation de nombreux produits tels que :

Rampes d'escaliers	Plinthes	Chaises
Clôtures	Alèses de tables	Divans
Cannes	Dormants de portes	Bancs
Poignées	Fenêtres	Pieds de tables
Sculptures	Fabrication d'orgues	Ouvrages d'art
Jouets	Outils de jardin	Aménagements de bateaux

2.4.4 BOIS BRUT

2.4.4.1 Essences de bois

Les possibilités de malléabilisation et cintrage du bois dépendent de la constitution cellulaire du bois, qui est différente d'essence en essence. De nombreux feuillus sont aptes à la malléabilisation.

Les essences suivantes sont idéales à la malléabilisation et au cintrage :

- Frêne
- Hêtre
- Merisier
- Orme
- Erable
- Chêne
- Noyer

Les résineux, le bouleau, le gommier et les bois durs exotiques, tels que le teck ou l'acajou ne peuvent pas être malléabilisés.

BP Charpentier de marine	Session 2024		Dossier ressources
U11 - Analyse technique d'un navire	Durée : 4 h	Coefficient : 2	DR 4/5

Les différentes essences de bois en construction navale.

BOIS	Zone de production	Couleur	Densité	Caractéristiques	Utilisation
Acajou d'Afrique	Côte d'Ivoire Cameroun Gabon Ghana Nigeria	Brun rose à Rouge foncé. Reflets satinés.	0.45 à 0.55	résistance mécanique moyenne Elastique, bonne résistance aux chocs.	Quilles et membrures en lamellé-collé. Tranché pour bordés en bois moulé.
Acajou d'Amérique	Brésil Pérou Bolivie vénézuéla Amérique centrale	Brun rose à Rouge foncé parfois moiré ou moucheté.	0.45 à 0.60	résistance mécanique moyenne Bon vieillissement	aménagements
Acacia (Robinier)	Originaire Ouest des USA Aujourd'hui partout en France	Jaune verdâtre brunissant à la lumière	0.75 à 0.80	Très dur, très nerveux Bonne résistance axiale. Elastique	Membrures ployées à la vapeur.
Azobe	Sierra Leone Côte d'Ivoire, Ghana, Nigeria, Guinée.	Rouge foncé à brun violacé	1.05	Très dur Imputrescible	Charpente Construction classique
Badi	Côte d'Ivoire, Ghana, Nigeria, Cameroun, Guinée, Gabon, Zaïre, Angola.	Jaune à jaune orangé	0.75	Excellente résistance aux intempéries	Lattes de pont
Chêne	Toute l'Europe	Jaune brunâtre ou Fauve clair fonçant à la lumière	0.65 à 0.80	Excellente résistance mécanique en compression comme en flexion.	Construction traditionnelle. Quilles, membrures et pièces de charpente
Cumaru	Amérique centrale et sud tropicale	Jaune brun à Brun rougeâtre	1.05	Imputrescible	Bordés et ponts Tranché pour placages
Epicea	Est des USA et du Canada.	Crème rosé fonçant à la lumière. Reflets argentés	0.35 à 0.55	Tendre et léger Excellent rapport résistance-poids.	Mâts et espars Serre-bauquières Barrotage lamellé Lisses jointives.

Méthode du Quart de nonante

1/ Tracer l'axe vertical de la feuille.

2/ Tracer un trait horizontal de 280 mm situé à 40 mm du bas de la feuille et réparti symétriquement par rapport à l'axe vertical.

3/ Tracer un quart de cercle de centre A et de rayon AB = 17 mm

4/ Placer le point C

5/ Diviser cet arc BC en 4 parties égales : BG = GH = HI = IC

6/ Diviser le segment AC en quatre parties égales : AD = DE = EF = FC

7/ Diviser le segment AC' en quatre parties égales : AD' = D'E' = E'F' = F'C'

8/ Tracer les segments DG , EH et FI

9/ Reporter avec les mêmes angles les segments DG en D'G' , EH en E'H' et FI en F'I'

10/ Relier les points B, G' , H' , I' et C' pour obtenir la demi courbe du bouge

11/ Tracer les symétriques des points G' , H' , I' et C' pour obtenir les points G'' , H'' , I'' et C''

12/ Relier les points B, G'' , H'' , I'' et C'' pour obtenir la courbe complète du bouge