

Travail mécanique du bois

Opérations d'usinage sans outil tranchant

par **Jacques JUAN**

Ingénieur des Arts et Métiers

Chef de section au Centre Technique du Bois et de l'Ameublement (CTBA)

1. Usinage par déformation	B 7 307 - 2
1.1 Cintrage	— 2
1.1.1 Aptitude au cintrage	— 2
1.1.2 Préparation des bois	— 2
1.1.3 Mise en forme	— 3
1.1.4 Éventuels défauts	— 4
1.1.5 Cintrage par contrecollage	— 4
1.2 Estampage	— 4
1.2.1 Élaboration de l'ébauche	— 5
1.2.2 Préparation physique des pièces	— 5
1.2.3 Opération d'estampage	— 6
2. Découpe sans outil tranchant	— 6
2.1 Laser	— 6
2.2 Jet d'eau	— 7
Pour en savoir plus	

Doc. B 7 309

L'outil tranchant présente indéniablement des contraintes :
— il est nécessaire de disposer d'un parc d'outils important pour faire face aux nombreuses formes d'usinage ;
— il faut maintenir l'outil en état pour conserver un pouvoir tranchant compatible avec les exigences de production et de qualité ;
— les copeaux doivent être évacués.
Parallèlement, il est souhaitable de diminuer les pertes liées à la création de copeaux ainsi que le bruit.

Ces constats ont amené les laboratoires de développement d'abord, et les industriels ensuite, à s'intéresser aux modes d'usinage par d'autres moyens que les outils traditionnels. Actuellement, le laser et le jet d'eau sont utilisés dans différents secteurs industriels de la transformation du bois.

Le lecteur pourra se reporter utilement à l'article *Coupage thermique et coupage au jet d'eau* [BM 7 280] de ce traité.

1. Usinage par déformation

1.1 Cintrage

Le cintrage est une opération qui consiste à courber une pièce droite de manière irréversible. Cette façon de réaliser des pièces courbes est intéressante à plusieurs titres :

— le fil du bois n'est pas tranché, comme il le serait par usinage avec enlèvement de matière, d'où une résistance mécanique accrue ainsi qu'une esthétique agréable ;

— on obtient un meilleur rendement matière, par absence de chutes.

Le comportement normal du bois sous faible contrainte est dit élastique, c'est-à-dire qu'il reprend sa forme initiale après avoir été déformé sous une contrainte dès que celle-ci est supprimée. Pour rendre cette déformation permanente, il faut dépasser la limite d'élasticité pour entrer dans le domaine plastique. Pour faciliter ces déformations, il faut traiter le bois physiquement et/ou chimiquement.

Le bois subit des contraintes importantes lors du cintrage, car certaines de ses fibres sont allongées alors que d'autres sont comprimées. Tout l'art du cintrage consiste à courber le bois selon le profil souhaité sans atteindre la rupture.

1.1.1 Aptitude au cintrage

Certaines essences sont facilement cintrables et permettent d'obtenir des pièces à faible rayon de courbure, alors que d'autres sont difficiles, voire quasi impossibles à cintrer. D'une façon générale, on peut dire que les résineux sont difficilement cintrables, ainsi que les bois exotiques, alors que la plupart des essences feuillues des régions tempérées peuvent subir avec succès cette opération. Le tableau 1 donne une information sur l'aptitude au cintrage de quelques essences courantes.

Tableau 1 – Aptitude au cintrage de quelques essences de bois

Aptitude au cintrage	Essence
très bonne	chêne charme érable frêne hêtre orme merisier noyer
bonne	bouleau châtaignier
moyenne	aulne douglas niangon
mauvaise	peuplier méranti sapelli
très mauvaise	acajou sipo sapin épicéa

1.1.2 Préparation des bois

■ **Choix des pièces à cintrer :** le cintrage est une opération particulièrement délicate, aux résultats largement influencés par le comportement du bois. C'est pourquoi il faut impérativement trier et choisir les pièces à cintrer ; cela est fait visuellement par un opérateur expérimenté. Elles devront être :

— de **fil parfaitement droit**, la moindre inclinaison étant une amorce de rupture potentielle ;

— **exempts de défauts** : les nœuds doivent être éliminés, ainsi que toutes les zones échauffées, piquées, altérées de quelque façon ;

— **débitées** si possible **dans les parties autres que le cœur** ;

— **rabotées** pour éviter toute différence de section qui conduit à une modification de comportement pouvant engendrer un défaut (rupture, pli, etc.).

■ **Plastification :** il est indispensable de diminuer le module d'élasticité du bois avant le cintrage ; cela peut se faire de différentes manières, séparées ou éventuellement combinées :

— **augmenter l'humidité** : le module d'élasticité décroît lorsque l'humidité augmente (figure 1a), et cela de façon continue jusqu'au point de saturation des fibres (environ 28 %), à partir duquel il n'évolue plus. Industriellement, on ne fait pas varier l'humidité seule ;

— **augmenter la température** : le module d'élasticité décroît lorsque la température augmente grâce au comportement particulier de la lignine. En effet, le bois passe d'un état vitreux à un état visco-élastique à une température voisine de 80 °C (figure 1b). Ce chauffage peut se faire de plusieurs façons, mais on utilise fréquemment le courant à haute fréquence. Les molécules d'eau du bois sont excitées par induction et la température est aussi élevée (voire même plus) à cœur qu'en périphérie ;

— **augmenter simultanément la température et l'humidité** (solution généralement retenue) :

- par étuvage : les pièces sont placées dans une enceinte remplie de vapeur d'eau chauffée à 100 °C ou plus,

- par cuisson : les pièces sont plongées dans l'eau bouillante. Cette solution est plus rapide que l'étuvage et s'accorde mieux aux bois plutôt secs.

La durée de cette plastification est fonction de l'essence, de la section, de l'humidité initiale et de l'humidité finale souhaitées ;

— **imprégnier les bois** (solution très peu utilisée actuellement) :

- avec de l'urée, qui est un agent plastifiant, mais les pièces ainsi cintrées restent définitivement sensibles aux variations hygrométriques,

- avec de l'ammoniac, dont l'emploi est délicat ;

— **comprimer les pièces axialement au sens des fibres**, juste après chauffage, alors que les pièces sont encore chaudes. Après refroidissement, la déformation résiduelle confère une souplesse identique à celle obtenue par étuvage mais pendant une durée plus grande. Cette compression axiale peut s'avérer délicate pour les pièces élancées (il faut les maintenir pour éviter le flambage). Un procédé, mettant en œuvre simultanément la préparation hygroscopique et la compression axiale, plastifie les pièces durant une période assez longue (plusieurs jours) si la conservation se fait dans des conditions bien spécifiques (pour éviter le séchage en particulier). Ce procédé présente l'avantage de pouvoir dissocier totalement la phase de préparation de celle de la mise en forme.

La plastification doit être menée avec soin et l'on doit veiller en particulier à ce que :

- les faces extérieures, en particulier la face tendue, soient à l'humidité et à la température optimales ;

- le temps entre la fin de la préparation et le début du cintrage soit le plus court possible (quelques dizaines de secondes), à l'exception du dernier procédé décrit ;

- les faces ne sèchent pas lorsque l'on pratique la technique de chauffage par haute fréquence. Pour éviter ce risque, on réhumidifie superficiellement les pièces à la sortie du chauffage.

1.1.3 Mise en forme

La mise en forme consiste à déformer la pièce préparée à l'aide de presses ou de moules, et à la maintenir dans cette position jusqu'à ce que le bois ait retrouvé ses caractéristiques originnelles (température, humidité) : **la déformation est alors permanente**.

Lorsque la préparation est l'étuvage, la cuisson ou l'imprégnation, il faut sécher la pièce avant de la sortir de la presse. Pour accélérer ce processus, on peut :

- chauffer les plateaux de la presse par circulation d'un fluide chaud ou par l'intermédiaire de résistances noyées dans les plateaux. Il faut prendre garde au risque de cémentation superficielle du bois ;

- sécher les pièces en utilisant les propriétés des courants à haute fréquence. Rapide et économique, cette technique est très utilisée. Elle induit souvent une confusion, car le non-spécialiste ne distingue pas toujours la préparation par haute fréquence et le séchage par haute fréquence.

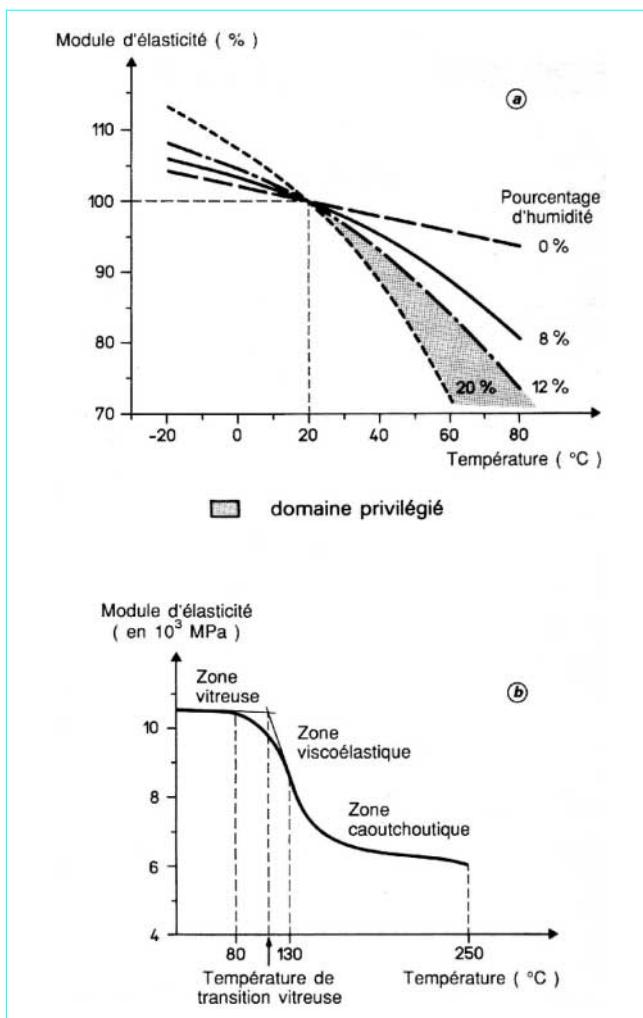


Figure 1 – Évolution du module d'élasticité avec la température (cas du sapin)

Dans le cas où l'on utilise des *moules*, la pièce reste dans l'appareil jusqu'à ce que l'humidité et la température aient suffisamment baissé.

Le cintrage peut se faire avec ou sans frette (figure 2), mais les meilleurs résultats sont obtenus avec frette, surtout dans les cas difficiles (faible rayon de courbure, bois difficilement cintrable, préparation mal réalisée, etc.). Sans frette, la face extérieure, convexe, voit ses fibres s'allonger, ce qui limite le rayon de cintrage. Pour éviter ce phénomène, on place la pièce à cintrer sur la frette (feuillard en acier) entre deux butées, la frette étant disposée sur la face convexe. Ces butées empêchent l'élongation de la pièce. Dans ce cas, la totalité de la pièce est soumise aux contraintes de compression.

La mise en forme peut s'effectuer de différentes façons, soit par presse hydraulique, soit par cintreuse mécanique à articulation ou à moule rotatif (figure 3).

La **presse hydraulique** permet de réaliser rapidement des pièces à grand rayon de courbure. Ces machines puissantes autorisent le cintrage simultané de plusieurs pièces placées côté à côté entre les deux plateaux. C'est le matériel classique pour mettre en forme les traverses et les pieds de sièges par exemple. Elle est toujours associée à un mode de séchage (eau chaude, résistance ou haute fréquence).

La **cintreuse mécanique à articulation** est utilisée pour la mise en forme de pièces à contour ouvert (formes en fer à cheval par exemple). La pièce est positionnée sur une table en plusieurs parties articulées. Une fois la pièce courbée, l'opérateur installe une clé métallique qui maintient la pièce en position. L'ensemble est alors enlevé de la cintreuse pour être placé pour le séchage dans une chambre à atmosphère régulée.

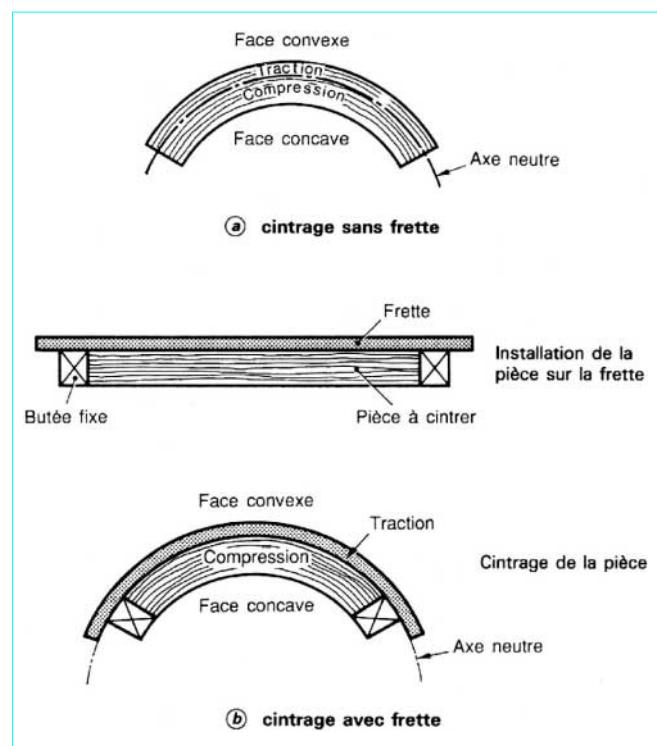


Figure 2 – Cintrage avec ou sans frette

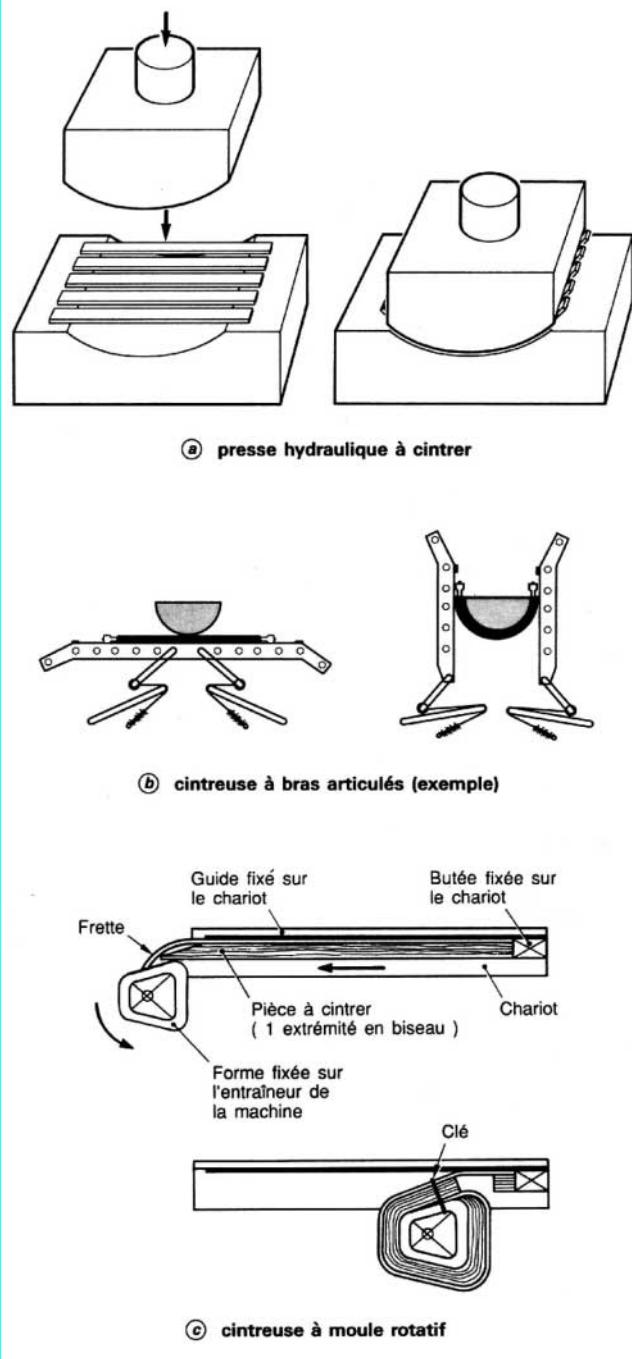


Figure 3 – Différentes façons pour la mise en forme par cintrage

La **cintreuse à moule rotatif** est la solution adoptée pour la fabrication de pièces fermées telles que les ceintures d'assise de chaises (trapézoïdales) ou de tabourets (circulaires). La pièce à cintrer est fixée à une extrémité du moule et, par rotation, la pièce s'enroule sur le moule. Pour le séchage, la pièce et son moule sont également placés dans une chambre à atmosphère contrôlée. Le temps

nécessaire au séchage est fonction de l'humidité initiale, de l'essence et de la section des bois, de l'atmosphère de la pièce, etc. Le séchage peut être long (plusieurs jours), ce qui requiert un grand nombre de moules. C'est l'inconvénient majeur de ce système, qui nécessite beaucoup de place pour stocker les moules, entraîne une immobilisation financière importante et accroît la durée du cycle de production.

1.1.4 Éventuels défauts

— **Fentes ou écailles:** elles apparaissent sur la face convexe quand l'allongement a dépassé la limite admissible. Cela arrive lorsque l'on travaille sans frette, ou lorsque celle-ci ne correspond pas à la longueur de la pièce.

— **Plissage:** il apparaît sur la face concave comme conséquence de la compression d'un bois insuffisamment plastifié. De petits plis superficiels pourront être supprimés par usinage, mais des plis plus marqués prennant naissance au cœur même de la pièce entraîneront son rebut.

— **Rupture par flambage latéral:** des défauts structurels (même petits) sur la face concave scindent la pièce en bandes, trop étroites pour résister au flambage. Un tri sévère avant le cintrage est le meilleur remède.

— **Rupture par pente de fil:** l'inclinaison de plans ligneux crée des amores de rupture qui se propagent très tôt, dès le début du cintrage. Pour l'éviter, il faut débiter les bois en respectant le sens du fil.

1.1.5 Cintrage par contrecollage

Cette technique est très utilisée pour la fabrication de poutres lamellées-colées, de limons d'escaliers, etc. Des lamelles élancées (finnes en regard de leur longueur) sont rabotées. Leur souplesse permet la mise en forme voulue (des faibles rayons de courbure sont permis). Elles sont encollées (figure 4), présentées les unes sur les autres, introduites dans un gabarit et pressées toutes ensemble le temps de prise de la colle. C'est le collage qui bloque les pièces dans leur forme définitive.

De nombreux meubles scandinaves sont également réalisés de cette façon, en utilisant des placages de hêtre de 2 mm d'épaisseur environ. Les rayons de courbure obtenus sont bien plus petits que ceux atteints en cintrant du bois massif. Le cintrage par contrecollage est alors obtenu par la juxtaposition de placages tous orientés dans le même sens, à la différence du contreplaqué moulé composé de placages *à fils croisés* (chaque placage est orienté perpendiculairement à ceux qui l'entourent).

1.2 Estampage

L'estampage est un procédé qui consiste à obtenir un motif en relief par une opération de pressage. Cette déformation définitive de la matière s'accompagne d'une densification locale.

Ce mode d'usinage est très utilisé pour reproduire en série des motifs ornementaux, essentiellement dans le domaine de l'ameublement (figure 5), mais aussi dans d'autres domaines (tableaux, crosses de fusils par exemple).

Cette déformation peut être obtenue :

— *directement sur une pièce non préparée*, lorsque le motif comporte un relief peu prononcé (inférieur à 5 mm) ;

— *à partir d'une ébauche* (pièce préalablement mise à la forme approximative de la pièce finale), lorsque le relief est plus important. Cette pièce a la forme de la pièce finie sans que les détails du relief soient usinés ; ils seront portés lors du pressage.

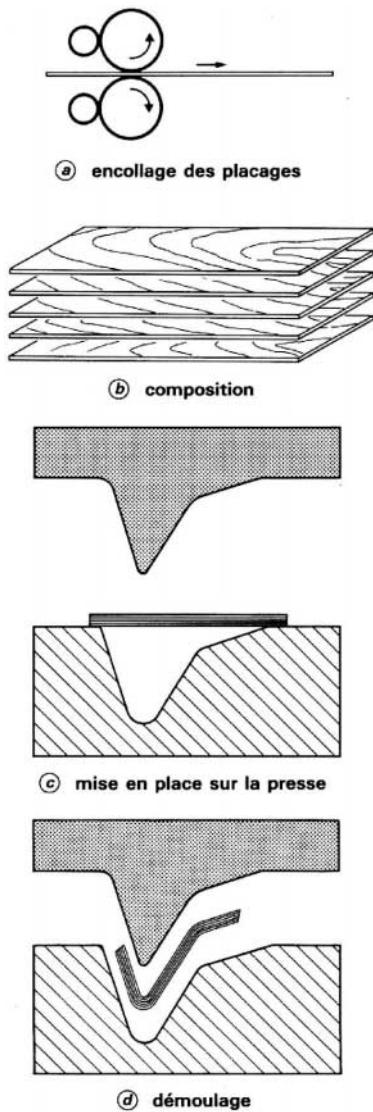


Figure 4 – Technique du cintrage par contrecollage

L'estampage est parfois suivi de retouches manuelles (opération de finition) pour imiter davantage la sculpture main, mais cette appellation lui est toutefois interdite. L'estampage permet d'obtenir des pièces d'apparence sculptée, à un coût plus faible, si les séries sont suffisamment importantes (plusieurs milliers) pour justifier la réalisation des matrices.

Ce mode de transformation s'applique aussi bien aux bois massifs (feuillus ou résineux) durs ou tendres, qu'aux panneaux (contreplaqué, fibres). On peut même estamper des panneaux revêtus de placage lorsque le relief est limité.

1.2.1 Élaboration de l'ébauche

Dans la majorité des cas, l'importance du relief est telle qu'il est nécessaire d'usiner les pièces à une forme proche de la forme finale, pour :

- limiter la déformation des fibres car le risque de rupture augmente avec l'amplitude de la déformation ;

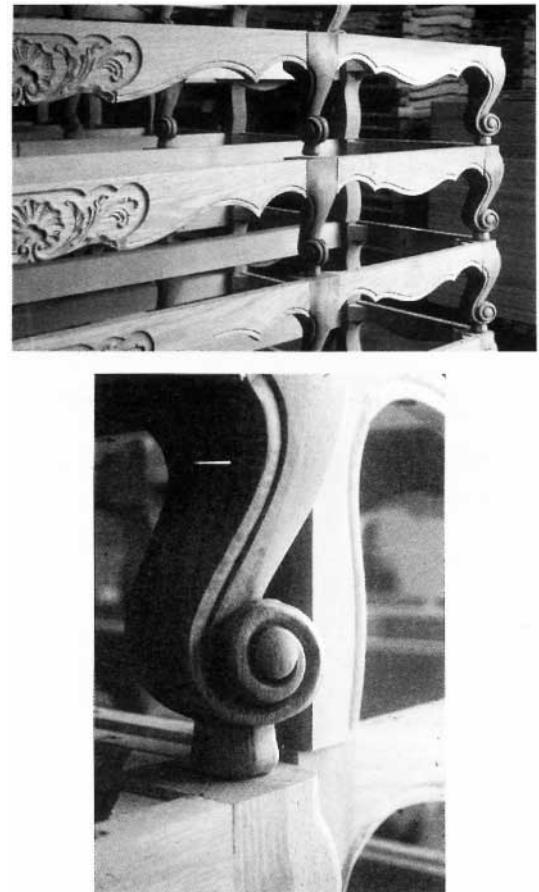


Figure 5 – Exemples de réalisations dans l'ameublement

— homogénéiser au mieux les pressions exercées par la matrice sur la pièce.

Cette pièce ébauchée a la forme générale de la pièce finale.

Le résultat final influe considérablement sur cet usinage de préparation. En effet, les défauts (état de surface imparfait, approximation dimensionnelle, coups d'outils, etc.) ne seront pas effacés par le pressage. Il est donc indispensable que l'ébauche corresponde aussi parfaitement que possible à la forme générale de la matrice : une surépaisseur locale se traduira par un enfoncement anormal (d'où un risque de rupture de fibres) ou un manque de matière aura pour conséquence une pression trop faible : 3 à 6 mm est la surépaisseur optimale (figure 6).

Cet usinage préliminaire s'exécute sur une sculpeuse qui reproduit la forme d'un gabarit. Il est fréquent que ces sculpeuses soient équipées de nombreuses têtes (jusqu'à 24) pour rentabiliser cette opération, toujours assez longue. Cet usinage peut également se faire sur un centre d'usinage à commande numérique, mais la programmation, longue et parfois complexe, en limite les applications.

1.2.2 Préparation physique des pièces

Pour diminuer le risque de rupture des fibres, il est indispensable de préparer les pièces à estamper par régulation de leur humidité. Cette humidité doit être suffisante pour permettre une bonne plasticité, mais sans être excessive pour ne pas engendrer de gerces ou de retrait fâcheux lors du séchage ultérieur.

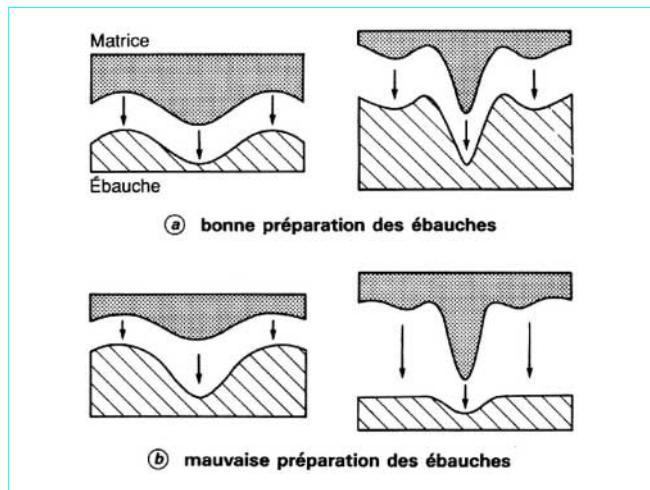


Figure 6 – Élaboration des ébauches

Ce taux optimal peut varier selon les essences, mais les valeurs moyennes sont de l'ordre de 9 à 12 %.

1.2.3 Opération d'estampage

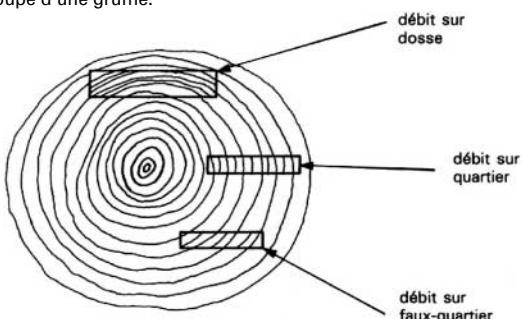
Avant la mise sous presse, il est recommandé d'enduire les pièces de vernis de modelage, qui facilite le léger glissement pièce-matrice, et également le démoulage. Ce vernis ne doit ni tacher les pièces, ni gêner la finition ultérieure (teinte, vernis ou laque).

La pièce est placée entre les plateaux d'une presse hydraulique où est fixée la (les) matrice(s). Cette matrice, en acier ou en alliage d'aluminium, est portée à une température de 200 à 350 °C. La pression peut être appliquée en une ou deux fois, selon un processus dépendant de l'essence et du type de débit. Le tableau 2 donne une information sur le mode d'application.

Tableau 2 – Durée et pression moyenne d'estampage pour plusieurs essences

Essence	Sens du débit (1)	Pression (MPa)	Durée (s)
Chêne	quartier et faux-quartier	5	10
	dosse	2	20
Hêtre	quartier et faux-quartier	3	3
	dosse	30	30
Merisier	quartier et faux-quartier	2	1
	dosse	10	10

(1) Coupe d'une grume.



2. Découpe sans outil tranchant

2.1 Laser

De découverte récente (le principe a été démontré au début du siècle par A. Einstein), il n'a été industrialisé qu'à partir des années 60 ; dans l'industrie du bois, il n'est apparu que depuis quelques années. Le LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) désigne aussi bien le principe optique que l'appareil qui émet le rayonnement. La cohérence et la convergence du faisceau permettent de concentrer une énergie importante sur une très faible surface.

En usinage du bois, les lasers sont utilisés dans deux opérations : la découpe et la gravure ; ce sont des matériaux puissants (lasers à CO₂). Mais on peut les rencontrer également dans les industries du bois pour le positionnement de pièces sur des tables de machines, le centrage des grumes sur dérouleuse, etc. ; ce sont alors des matériaux de faible puissance.

La **découpe du bois** est obtenue en focalisant le faisceau lumineux approximativement au milieu de l'épaisseur du matériau à découper (figure 7). Il est fréquent qu'un gaz (azote ou air) soit pulsé au niveau du point de coupe, pour faciliter l'évacuation des particules détruites.

De la puissance du laser dépendent l'épaisseur maximale de la pièce et la vitesse de déplacement. Sans pouvoir établir de loi générale, on constate que le besoin de puissance augmente avec la densité de l'essence, l'épaisseur sciée et la vitesse d'avance. Le bois et les panneaux de quelques millimètres d'épaisseur nécessitent des puissances de 1 à 3 kW. L'augmentation de puissance confère une productivité et des conditions de travail améliorées. À titre d'exemple, avec un laser de 1 kW, il est possible de scier du chêne de 30 mm à une vitesse de l'ordre de 1 m/min, alors que, dans les mêmes conditions, cette vitesse peut être de 2 à 3 m/min pour de l'épicéa.

Le passage du laser crée une carbonisation du bois sur quelques centièmes de millimètre ; elle est inesthétique et altère les performances des surfaces (pour le collage, par exemple). De plus, du fait de la carbonisation de la colle, certains panneaux contreplaqués voient leurs plans de collage détruits sur quelques dixièmes de millimètre. Certaines colles sont moins sensibles que d'autres à ce phénomène.

La rugosité des faces sciées est bonne, sauf dans les cas de forte épaisseur où la vitesse d'avance réduite favorise l'apparition de cratères qui se traduisent par des stries assez marquées. Les singularités (nœud, poche de résine, variation brusque de densité, etc.) deviennent ou absorbent anormalement l'énergie du faisceau.

Les **avantages du laser** sont essentiellement :

- la possibilité de découpe dans toutes les directions, sans contrainte, avec la capacité de commencer la découpe des pièces au milieu sans entailler les chants ;
- une perte au trait minime (0,1 à 0,5 mm selon les épaisseurs sciées) ;
- un rendement matière nettement amélioré par la possibilité de traits non débouchants sur les rives ;
- une bonne précision, liée à l'utilisation de tables à commande numérique ;
- l'absence de bruit, de copeaux ;
- l'absence d'outil.

Mais ce procédé présente aussi des **inconvénients** :

- une vitesse d'avance faible, surtout pour les pièces épaisses (20 à 30 mm) usinables de 1 à 3 m/min, en regard des possibilités offertes par les modes d'usinage avec un outil tranchant. Ces derniers permettent en effet d'usiner plusieurs pièces empilées, ce qui est impossible au laser (diffraction du rayon) ;
- une épaisseur maximale usinable limitée, 20 à 40 mm suivant les matériaux et la puissance disponible ;
- la carbonisation des plans de coupe ;

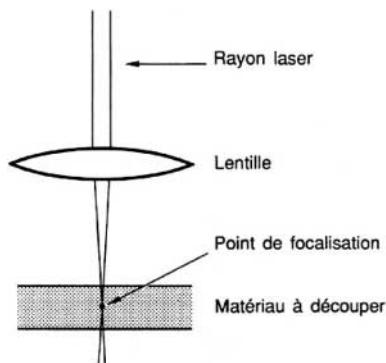


Figure 7 – Focalisation du faisceau laser

- une sensibilité aux singularités ;
- un coût d'achat, d'exploitation et de maintenance élevé (consommation de gaz, puissance installée importante, renouvellement des lentilles et miroirs, etc.).

Les *applications industrielles* privilégiées sont celles où les découpes sont de formes très complexes, exigent une bonne précision, où la coloration des faces n'est pas une gêne et où les matériaux sont peu épais. C'est le cas par exemple de la réalisation des matrices en contreplaqué utilisées pour la découpe du carton. Presque toutes les entreprises qui fabriquent de telles matrices sont équipées de lasers (ou en passe de l'être).

Quelques applications existent également dans le domaine de la marqueterie. Ainsi, ces dernières années, des unités ont été spécialement conçues pour découper le placage en vue de réalisation de pièces marquées. Ces machines servent pour la découpe de petites pièces, peu épaisses ; la puissance installée est de l'ordre de quelques centaines de watts.

En gravure, l'utilisation de laser permet la reproduction en relief de motifs, dessins ou photos. Les puissances nécessaires sont bien plus faibles qu'en découpe, de l'ordre de 200 à 800 W suivant les matériaux utilisés et la profondeur souhaitée.

Plusieurs techniques existent :

— une tête de lecture (*scanner*) analyse et digitalise le modèle à reproduire. Sur les matériaux les plus simples, seuls les noirs et blancs sont distingués (c'est du tout ou rien), mais d'autres machines réalisent l'analyse en niveaux de gris, ce qui permet de moduler la profondeur de la gravure. Dans ce cas, la profondeur est définie par la vitesse de défilement et la puissance émise. On reproduit ainsi des tableaux et des petits objets avec une finesse et une résolution remarquables (de l'ordre du dixième de millimètre). Dans cette application, la carbonisation de la surface devient un atout car elle accentue l'effet de relief ;

— un masque est interposé entre le laser, dont le faisceau est animé d'un mouvement de balayage, et la pièce. Ce cache est une trame qui laisse passer le rayon à certains endroits prédefinis, et l'arrête ailleurs. La pièce est ainsi carbonisée aux endroits atteints par le rayon (figure 8). Cette technique impose des séries importantes pour justifier la réalisation des masques. La gravure ainsi obtenue est de profondeur uniforme ;

— des miroirs, pilotés par ordinateur, orientent le faisceau selon des trajectoires définies. Cette technique, nécessitant un équipement plus complexe que dans le cas précédent, est de plus en plus utilisée pour les marquages simples (écrivures) car elle offre une grande souplesse.

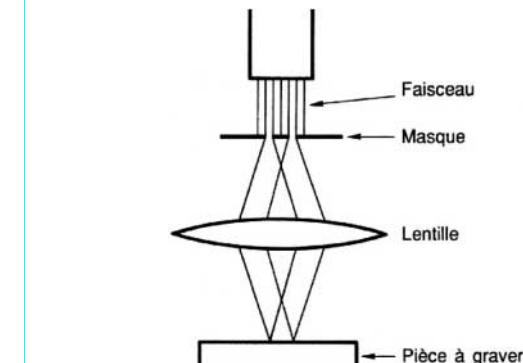


Figure 8 – Gravure avec masque : schéma de principe

2.2 Jet d'eau

Cette technique s'apparente au laser dans la mesure où une énergie importante est concentrée dans un rayon, lumineux pour le laser, fluide pour le jet d'eau. Il est évident que seule la découpe est possible avec cette technique car l'eau, qui véhicule l'énergie, ne doit absolument pas être absorbée par le matériau découpé.

Cette technique est utilisée pour débiter des matériaux très divers, qui peuvent être souples (caoutchouc, mousse, textile, etc.), rigides (pierre, béton, amiante-ciment bois, panneau composite, etc.). Les matériaux fibreux sont plus difficilement usinables.

Une installation à jet d'eau fonctionne selon un principe très simple : l'eau est comprimée jusqu'à une pression élevée (2 000 à 5 000 bar) par un système d'amplificateur à huile et envoyée à la buse en passant par un réservoir accumulateur, régulateur de pression (figure 9). La vitesse du jet obtenu est très élevée (jusqu'à 900 m/s), ce qui lui confère son énergie. La pièce à découper se déplace sous le jet selon le parcours souhaité, par l'intermédiaire d'une table à mouvements croisés, pilotés par une commande numérique. Sur certaines installations, c'est la tête de découpe qui se déplace.

Pour que le jet coupe sans mouiller la pièce, il doit rester cohérent sur une longueur supérieure à l'épaisseur de la pièce découpée. En traversant la pièce, l'eau perd une partie de son énergie (qui est transformée en énergie mécanique), donc de sa cohérence. À partir d'une épaisseur limite, définie par l'installation et la nature du matériau, l'énergie résiduelle du jet est trop faible, la coupe ne se fait plus (ou mal), le jet diverge sensiblement et le matériau absorbe de l'eau.

Pour la coupe du bois, les paramètres suivants permettent d'obtenir des résultats satisfaisants :

— une pression de 2 000 à 5 000 bar : des pressions plus élevées améliorent encore la coupe, mais le coût de l'installation et surtout de son entretien (les joints et la buse ont une durée de vie réduite) limite les applications. Notons qu'à ces pressions l'eau que l'on présente généralement comme un fluide incompressible perd jusqu'à 12 % de son volume ;

— une buse de 0,2 à 0,4 mm de diamètre : les buses doivent résister à l'abrasion due à la vitesse de l'eau ; elles sont en saphir ou diamant ;

— une eau parfaitement pure, mais parfois mélangée à d'autres liquides choisis pour améliorer la cohérence du jet. L'avantage de travailler avec de l'eau simplement purifiée est la possibilité de travailler à eau perdue. Les particules de bois détachées sont évacuées avec elle. En revanche, pour des raisons de coût, l'eau chargée d'additifs est réutilisée, mais nécessite une filtration poussée.

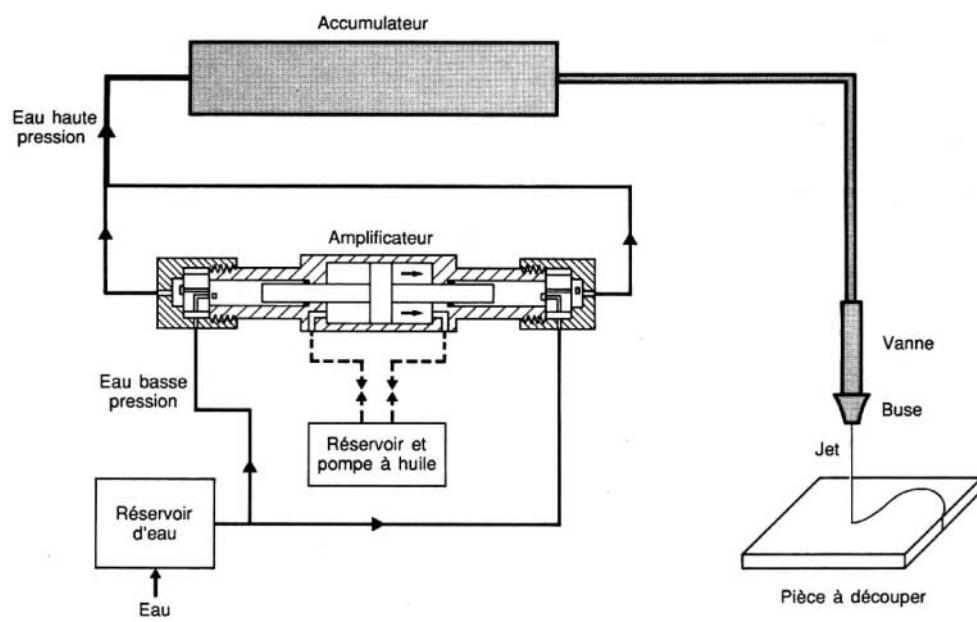


Figure 9 – Découpe par jet d'eau : schéma d'installation

Pour augmenter l'effet de cisaillement de l'eau sur les fibres du bois, il est possible d'ajouter des grains d'abrasifs qui viennent meuler la pièce et accroissent ainsi l'efficacité de coupe, mais augmentent le coût de l'opération. La largeur du trait de coupe est alors augmentée (plusieurs dixièmes de millimètre).

Le jet d'eau présente de nombreux *avantages* :

- la découpe de formes quelconques, avec la possibilité d'amorcer le trait en plein milieu d'une pièce ;
- une perte au trait minime ;
- pas d'outil à entretenir ;
- une bonne précision.

Il a également des *inconvénients* :

- un coût d'installation, d'exploitation et d'entretien élevé ;
- une capacité de coupe réduite (15 à 20 mm d'épaisseur sont des limites maximales pour le bois) ;
- une déviation du jet en présence de singularités (nœud, poche de résine, etc.).

La consommation d'eau est d'une centaine de litres par heure (pour une buse de 0,2 mm), ce qui engendre un faible coût, mais les règlements de plus en plus stricts et la prise de conscience collective pour éviter les gaspillages vont inciter les entreprises à recycler cette eau.

On peut penser que la découpe de pièces minces avec des tracés complexes, répétitifs et précis (puzzles, marqueterie), sera un domaine d'application privilégié de cette technique.

Mise en œuvre et usinage du bois

par **François PLASSAT**

Ingénieur de l'École Supérieure du Bois

Chef de la section Meubles au Centre Technique du Bois et de l'Ameublement (CTBA)

et **Jacques JUAN**

Ingénieur des Arts et Métiers

Chef de section au Centre Technique du Bois et de l'Ameublement (CTBA)

Filière bois française en quelques chiffres

Production annuelle de bois

Exploitation : 40 à 50 millions de m³ dont :

- autoconsommation : 10 à 20 millions de m³ ;
- commercialisation : 30 millions de m³ dont :
 - 10 de bois d'industrie,
 - 20 de bois d'œuvre.

Nota

— Filière bois : ensemble des activités économiques que suscitent la gestion forestière, l'exploitation des coupes et la transformation industrielle du bois.

— Bois d'industrie :

- bois pour poteaux, traverses (PTT, SNCF) ;
- bois pour Trituration (pâte à papier) ;
- bois pour panneaux de particules ou de fibres.

— Bois d'œuvre :

- bois pour le déroulage (cagettes, contreplaqués, etc.) ;
- bois pour le tranchage (ameublement) ;
- sciages pour le bâtiment, l'ameublement, le bricolage.

Économie par activité (entreprises, emplois, valeurs ajoutées annuelles) (étude CERNA Écoles des Mines)

Activité	Entreprises	Emplois	Valeur ajoutée (milliards de F)
Sylviculture	3 500 (1)	44 000	4,6
Exploitation forestière	8 400	20 000	2
Pâtes à papier.....	20	6 000	1
Scierie	4 800	30 000	3,2
Tranchage, déroulage et panneaux	400	15 000	1,8
Papiers, cartons	1 300	100 000	14
Bois bâtiment	53 000	160 000	19,4
Ameublement	18 000	120 000	10,5
Travail divers du bois	4 200	55 000	9,1

(1) On recense 3 500 professionnels de la forêt sur 3,7 millions de propriétaires forestiers.

Bibliographie

Référence

[1] KOCH (P.). – *Wood machining processes*. The Ronald Press Compagny, New York (1964).

Centre Technique du Bois et de l'Ameublement

COLLARDET (J.) et BESET (J.). – *Bois commerciaux*. Tome 1 : les résineux. 260 p., éd. Vial/CTBA (1987); Tome 2 : feuillus des zones tempérées. 400 p., éd. Vial/CTBA (1992).

Principaux bois utilisés en France. 44 p. (1983).

Coffret bois de France (1989).

Coffret panneaux dérivés du bois (1989).

Guide pour le choix des bois en menuiserie. 162 p. (1985).

Guide pour le choix des bois en ébénisterie. 99 p., 2nd éd. (1980).

Comment bien usiner le bois. 140 p. (1993).

Technologie du déroulage. 64 p., déc. 1979.

La scie à ruban. 152 p., éd. CTFT (1990).

MDF. Guide d'utilisation. 160 p. (1993).

Finition des ouvrages en bois dans le bâtiment. 128 p. (1994).

Ameublement et produits de finition. 95 p. (1991).

L'Europe du bois. 20 p., éd. Euroligna (1992).

Autres références

CAMPREDON (J.). – *Le bois*. 128 p. (coll. Que sais-je ? n° 382), éd. Presses Universitaires de France (1969).

TOUCHARD (Y.) et MEYER (A.). – *Comment choisir son bois*? Bischwiller, 142 p., éd. Kity (1980).

Pense précis bois. 564 p., Association des anciens élèves de l'École Supérieure du Bois, éd. Vial (1984).

Le grand livre international du bois. 276 p., éd. Nathan (1977).

Lignum Zurich. Documentation bois :

- *Bases technologiques* ;
- *Bases physiques* ;
- *Projet et exécution* ;
- *Préservation du bois* ;
- *Traitement des surfaces*.

HAYWARD (C.). – *Les assemblages du bois*. 135 p., éd. Eyrolles (1979).

SOMMEP – *Utiliser le bois. Matériaux, outils, assemblages et réalisations simples*. 148 p., éd. Dunod (1982).

HEURTEMATTE (G.), POUZEAU (P.), ORUS (M.) et LE SAGE (R.). – *Usinage du bois*. 128 p., éd. Libr. Delagrave (1985).

LIEBAULT (J.Y.). – *Manuel pratique : l'usinage bois*. 189 p., éd. Dunod (1983).

Normalisation

Association Française de Normalisation (AFNOR)

Bois

NF B 50-001	1-71	Bois. Nomenclature.
NF B 50-002	8-61	Bois. Vocabulaire.
NF B 50-003	4-85	Bois. Vocabulaire (seconde liste).
B 50-004	4-69	Contreplaqué. Vocabulaire (EQV ISO 2074).
NF EN 335-1	10-92	Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois. Définition des classes de risque d'attaque biologique. Partie 1 : généralités (indice de classement : B 50-100-1).
NF EN 335-2	10-92	Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois. Définition des classes de risque d'attaque biologique. Partie 2 : application au bois massif (indice de classement : B 50-100-2).
B 52-001-5	5-92	Règles d'utilisation du bois dans les constructions. Partie 5 : caractéristiques mécaniques conventionnelles associées au classement visuel des principales essences résineuses et feuillues utilisées en structure.
EXP B 53-100	7-88	Bois. Sciages de bois résineux et feuillus tendres. Dimensions nominales. Sections et longueurs.
EXP B 53-520	7-88	Bois. Sciages de bois résineux. Classement d'aspect. Définitions des choix.
EXP B 52-521	12-91	Bois. Sciages feuillus durs tempérés. Classement d'aspect.
NF EN 309	10-92	Panneaux de particules. Définition et classification (indice de classement : B 54-101).
NF B 54-110	10-85	Panneaux de particules. Caractéristiques dimensionnelles.
NF B 54-113	5-91	Panneaux de particules surfacés mélaminés. Spécifications.
NF B 54-150	12-88	Contreplaqué. Classification. Désignation.
NF EN 313-1	10-92	Contreplaqué. Classification et terminologie. Partie 1 : classification (indice de classement : 54-151-1).
NF B 54-154	10-78	Contreplaqué à plis. Types de collage. Définitions. Essais. Qualification.
NF B 54-160	7-70	Contreplaqué à plis (d'usage général). Caractéristiques dimensionnelles des panneaux.
NF B 54-170	12-71	Contreplaqué à plis (d'usage général). Règles générales de classement d'aspect.

NF B 54-171 12-71

Contreplaqué à plis (d'usage général). Classement d'aspect des panneaux à plis extérieurs d'essences feuillues tropicales.

NF B 54-172 9-73

Contreplaqué à plis (d'usage général). Classement d'aspect des panneaux à plis extérieurs en pin maritime.

NF B 56-010 10-80

Panneaux fibraggio. Définitions. Désignation.

NF B 56-029 10-80

Panneaux fibraggio. Spécifications.

Outilage coupant

NF ISO 513 5-92

Application des matériaux durs de coupe pour usinage par enlèvement de copeaux. Désignation des groupes principaux d'enlèvement de copeaux et des groupes d'application (indice de classement : E 66-304).

NF ISO 3002-1 12-93

Grandeurs de base pour la coupe et la rectification. Partie 1 : géométrie de la partie active des outils coupants. Notions générales, système de référence, angles de l'outil et angles en travail, brise-copeaux (remplace NF E 66-501, nov. 78, E 66-502, déc. 78 et E 66-503, mars 76).

NF E 66-506 6-85

Grandeurs de base en usinage et rectification. Grandeurs géométriques et cinématiques en usinage.

Outilage tranchant. Outilage à bois

NF E 66-507 6-85

Grandeurs de base en usinage et rectification. Forces, énergie et puissance.

NF E 73-010 7-84

Lames de scies à bois. Forme du profil de la denture. Terminologie et désignation (EQV ISO 7294).

EXP E 73-044 4-80

Scies circulaires à bois à mises rapportées en métal dur.

EXP E 73-500 11-80

Outils rotatifs à bois anti-rejet. Essai des outils à limitation continue du pas d'usinage pour le fraisage du bois déplacé à la main.

NF E 73-504 12-84

Outilage mécanique à bois. Équilibrage des fraises à bois à alésage.

Produits de protection du bois

EXP T 72-081 9-91

Produits de protection du bois. Lasures. Spécifications.

International Organization for Standardisation ISO

ISO 1940-1 1986

Vibrations mécaniques. Exigences en matière de qualité dans l'équilibrage des rotors rigides. Partie 1 : détermination du balourd résiduel admissible.