

Travail mécanique du bois

Principales opérations d'usinage

par **Jacques JUAN**

Ingénieur des Arts et Métiers

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

1. Usinage avec formation de copeau	B 7 306 - 2
1.1 Usinage en exploitation forestière	— 2
1.2 Usinage en scierie	— 2
1.2.1 Sciage à la scie à ruban.....	— 2
1.2.2 Sciage à la scie circulaire.....	— 4
1.2.3 Sciage à la scie alternative.....	— 4
1.3 Usinage en deuxième transformation	— 4
1.3.1 Sciage	— 4
1.3.2 Corroyage.....	— 8
1.3.3 Profilage	— 8
1.3.4 Tenonnage.....	— 10
1.3.5 Mortaisage	— 12
1.3.6 Perçage.....	— 14
1.3.7 Tournage.....	— 15
1.3.8 Ponçage.....	— 15
2. Usinage sans formation de copeau	— 18
2.1 Fendage.....	— 18
2.2 Déroulage.....	— 19
2.3 Tranchage.....	— 20
2.4 Massicotage	— 20
2.5 Emporte-pièce.....	— 20
Pour en savoir plus	Doc. B 7 309

Dans les métiers de la transformation du bois, l'usinage avec formation de copeau est de très loin le plus répandu. Bien que pour des raisons d'économie de matière et d'énergie, on cherche à réduire le volume de copeaux créés, ce mode d'usinage n'est pas prêt de disparaître.

Nous traiterons également des différentes opérations d'usinage sans formation de copeau.

1. Usinage avec formation de copeau

1.1 Usinage en exploitation forestière

La principale machine utilisée en exploitation forestière pour usiner le bois est la **scie à chaîne**, employée pour abattre, ébrancher, tronçonner, etc.

L'outil est une chaîne dont les maillons comportent une partie tranchante. Cette chaîne est maintenue rigide par un guide-chaîne. Les caractéristiques de la chaîne sont les suivantes :

- la longueur de la chaîne correspond à la machine et au guide sur lesquels elle s'adapte ;
- l'épaisseur des maillons (la jauge) est imposée par le guide ;
- le pas de la chaîne est donné par le pignon moteur.

Deux types de chaînes sont utilisés :

— la **chaîne à dents gorges** est la plus répandue. Les dents ont deux arêtes tranchantes, une latérale et une frontale. Plusieurs profils de gorges (figure 1) existent pour mieux s'adapter à la nature des bois à couper. La gouge « semi-carrée » est assez universelle. L'angle de coupe est de 30 à 35° ;

— la **carbichain** est un outil dont les parties tranchantes sont en carbure de tungstène. La tenue de coupe est bien plus grande, mais l'affûtage requiert un équipement spécial.

Les maillons ont une forme particulière qui limite, par sécurité, l'épaisseur de copeau. Le talon doit être limé ou meulé régulièrement pour que l'épaisseur de copeau soit toujours dans les limites suivantes :

- entre 0,4 et 0,7 mm pour des bois durs ;
- entre 0,7 et 0,9 mm pour des bois tendres.

La valeur de 0,7 mm est un bon compromis pour le cas où les bois sont mélangés.

1.2 Usinage en scierie

Les produits fabriqués en scierie sont toujours des ébauches, souvent à faible valeur ajoutée. Il s'agit donc de produire à cadence élevée, ce qui nécessite des puissances installées de plusieurs dizaines de kilowatts.

Les exigences en qualité sont essentiellement dimensionnelles (régularité, respect des cotes) avec des tolérances de l'ordre du millimètre. Les états de surface commencent à devenir une préoccupation, mais ce n'est pas encore un vrai critère de choix.

1.2.1 Sciage à la scie à ruban

En scierie, la scie à ruban est employée dans deux cas bien distincts :

- pour le débit de la grume, pour la transformer en un ensemble de plateaux ;
- pour la reprise de ces plateaux, pour une mise à format, un dédoubleage, etc.

Ces mêmes matériels différent par leurs dimensions, mais ils fonctionnent selon des principes identiques. Ils sont utilisés pour le sciage longitudinal ; le mode d'usinage est 90-90.

La scie à ruban est composée d'un bâti et d'une colonne sur laquelle sont montés deux volants, un volant inférieur (moteur) et l'autre supérieur (libre). Sur ces volants vient se monter l'outil, appelé **ruban**. Ce ruban a des caractéristiques différentes selon les travaux à exécuter, en particulier le pas (distance séparant deux dents successives) qui varie de 35 mm pour le débit sur de petites machines à 60 mm pour le débit de grumes de grand diamètre sur les plus grands bâtis.

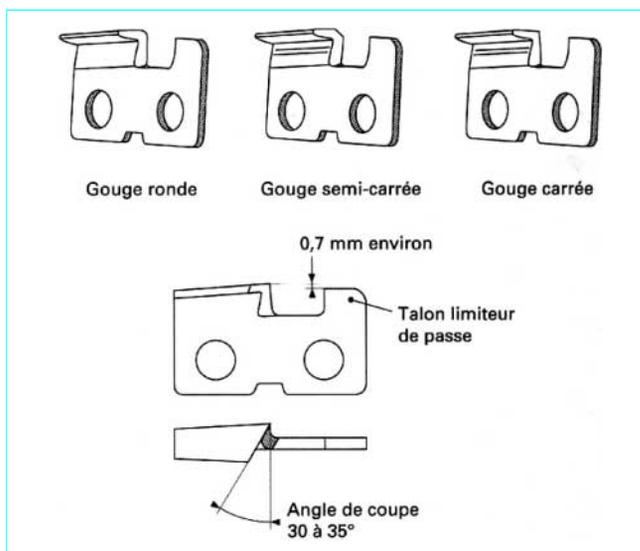


Figure 1 - Maillons de chaîne à dents gorges

Le diamètre des volants est fonction de la hauteur du trait de scie (épaisseur sciée). Des volants de 2 400 mm de diamètre sont choisis pour le sciage de grumes exotiques de grande section, alors que des volants de 1 800 mm peuvent suffire pour des résineux européens, ou des travaux de reprise.

La vitesse de rotation des volants est fixe, calculée pour que la vitesse de coupe soit de 35 à 70 m/s, selon les performances recherchées.

■ Le ruban est soumis à de nombreuses **contraintes** lors de son utilisation :

— **une contrainte interne, due au tensionnage** ; elle atteint 10 à 20 MPa. Ce tensionnage est réalisé par laminage de la partie médiane du ruban, par martelage ou par passage entre deux galets, au moment de l'affûtage. Le tensionnage est rendu nécessaire pour que le feuillard se maintienne sur les volants. Ceux-ci sont bombés en Europe et plats en Amérique du Nord. Des coutumes locales justifient ces différences. Un volant plat exige un ruban moins tensionné, un ruban tensionné tient mieux un volant bombé ;

— **une contrainte de tension de montage** (à ne pas confondre avec la précédente), obtenue en écartant les volants, pour rigidifier le feuillard. Elle est de l'ordre de 150 à 200 MPa, mais sur les bâtis dits « à haute tension » elle peut atteindre 300 MPa ;

— **la flexion à chaque passage sur les volants**, ce qui limite l'épaisseur du feuillard à 1/1 100^e de leur diamètre pour éviter une fatigue rapide entraînant la rupture ;

- **les efforts de coupe**, à l'origine de 30 MPa environ ;
- **les contraintes dues aux échauffements** si les bois sont épais, la lame insuffisamment avoyée, ou usée, pouvant créer une contrainte de 100 MPa ;
- **les efforts perpendiculaires au plan de la lame** si l'avoyage est défectueux (asymétrique).

La somme de ces contraintes est assez éloignée de la résistance à la rupture, qui est de 1 300 à 1 600 MPa pour les aciers utilisés. Pourtant des ruptures surviennent parfois. Elles sont dues généralement à la propagation de **criques (fissures)** qui se forment en fond de dent. À l'origine de ces criques, on trouve :

- une lame trop épaisse en regard du diamètre des volants : l'épaisseur doit être voisine de 1/1 100^e du diamètre ;
- un mauvais affûtage, en particulier un angle vif en fond de dent qui crée des concentrations de contraintes, ou un arrêt de la meule en fond de dent entraînant un échauffement de cette zone, d'où une minitrempe fragilisant l'acier ;

- des stries laissées par la meule, en fond de dent ;
- la brasure (ruban brasé) ; la préparation et le déroulement de l'opération de brasage doivent être revus ;
- la soudure (ruban soudé) ; l'opération de soudage doit être revue, mais il faut surtout vérifier que le revenu (chauffage à 500-600 °C suivi d'un refroidissement lent) est bien réalisé, pour effacer la trempe consécutive au soudage ;
- un acier trop dur, donc cassant, supportant mal la fatigue due à l'enroulement sur les volants ;
- une utilisation trop sévère, ou une usure trop prononcée ;
- une tension de montage trop grande.

C'est souvent la conjonction de plusieurs de ces facteurs qui est à l'origine de la rupture et qui peut mettre en danger l'opérateur.

■ Cinq formes de dentures sont utilisées : couchée, gencive, crochet, perroquet et celle dite « à copeaux projetés » (figure 2). Cette dernière est appréciée car la dent est plus rigide, et les copeaux sont éjectés dynamiquement, ce qui évite l'encrassement de la lame. Cette denture s'impose lorsque l'épaisseur sciée est importante.

La valeur de l'angle de coupe est donnée dans le tableau 1. L'angle de dépouille varie de 8 à 15°, la valeur basse étant choisie lorsque l'angle de coupe est élevé et/ou lors du sciage de bois durs.

Tableau 1 – Valeurs des angles de coupe

Essence	Diamètres des volants (mm)			
	Angle de coupe			
	1 100-1 200	1 300-1 400	1 500-1 600	1 800 et +
Bois durs	20 à 22°	25°	28°	32°
Bois tendres	25 à 28°	30°	33°	35°

■ La souplesse demandée à l'outil impose pratiquement le choix de l'acier. Malheureusement, sa tenue de coupe n'est pas excellente, d'autant plus que les aciers sélectionnés ne peuvent pas être très durs, car ils sont alors fragiles à la fatigue. L'épaisseur du ruban (entre 1 et 2,2 mm) limite les possibilités de brasage de dents rapportées. Il reste donc la solution du métal d'apport en fusion à la pointe de la dent. C'est le « stellitage », qui s'opère en trois temps :

- préparation des dents : par écrasement et refoulement de l'acier, on réalise un réceptacle en forme de cuillère à la pointe de la dent ;
- par fusion, on rapporte une goutte de stellite dans cette petite cavité ;
- on affûte l'ensemble pour lui donner la géométrie tranchante souhaitée.

Ces opérations ne sont à refaire complètement que tous les 15 à 30 affûtages, lorsque la totalité du Stellite a disparu.

Le « stellitage » confère au ruban une bien meilleure résistance à l'usure. Cette opération est indispensable pour le sciage de nombreux bois exotiques, mais elle est également avantageuse dans le cas de sciage de bois indigènes moins abrasifs.

■ Pour éviter les frottements latéraux de la lame dans le bois, il est indispensable que la largeur du trait de scie soit supérieure à l'épaisseur du ruban. C'est obtenu par :

- *avoyage par torsion*, pour les petits rubans ; les dents sont tordues alternativement à droite et à gauche du plan de la lame. La voie, passage de la lame, est de 1,6 à 2 fois l'épaisseur du ruban ;
- *avoyage par écrasement*, pour les rubans plus larges. Un système d'excentrique repousse la pointe de la dent. Cet avoyage est préférable, car la dent travaille symétriquement. Il est suivi de la « rectification des flancs », par repoussement du métal (matrissage) ;
- *affûtage du ruban stellité*. La trajectoire de la meule d'affûtage détermine la largeur de la dent. Là encore, la dent travaille symétriquement.

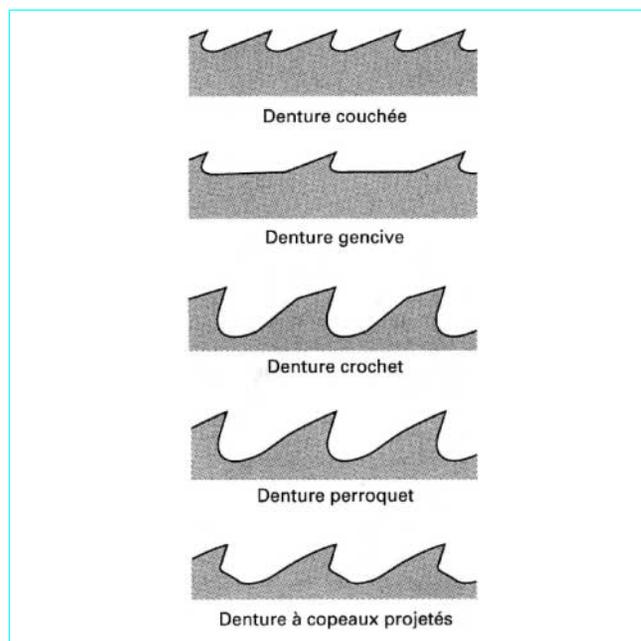


Figure 2 – Formes de dentures de scies à ruban et scies circulaires en acier

Pour maintenir le ruban sur les volants dans une position stable, aussi bien à vide qu'en charge, il est nécessaire d'incliner légèrement un volant par rapport à l'autre : c'est le *dévers*.

La denture doit rester en permanence à l'extérieur de la jante, pour empêcher l'usure et la dégradation, mais ce dépassement doit être limité pour éviter les vibrations et la déviation de la lame.

■ En plus de la rupture du ruban, déjà évoquée, on peut rencontrer les défauts suivants :

- *la déviation de la lame*. Les causes sont :
 - une lame mal tensionnée,
 - une tension de montage trop faible,
 - une lame usée ou mal affûtée,
 - un avoyage asymétrique,
 - une lame ou des volants encrassés,
 - une lame au dos creux, lorsque la rive arrière est plus courte que la rive dentée,
 - des volants usés, devant être révisés régulièrement, pour conserver leur géométrie d'origine ;
- *des faces usinées striées*. À l'origine, on retrouve un avoyage irrégulier et une denture mal adaptée ;
- *une lame instable*. Les causes peuvent être :
 - un tensionnage incorrect,
 - un angle de dévers insuffisant ou trop grand,
 - un angle de coupe trop faible ou trop élevé,
 - une denture mal adaptée.

Il existe des *rubans bi-coupe*, qui sont dentés des deux côtés. Ils travaillent donc à l'aller et au retour du chariot porte-grume. Ces outils sont difficiles à préparer, ont une durée de vie plus courte que les rubans normaux, car le nombre d'affûtages est plus réduit, et entraînent des réglages de la machine plus délicats. Les mécanisations du poste de sciage sont rendues plus complexes. Ces inconvénients sont souvent plus grands que l'augmentation de production qui découle de leur utilisation. Ils nécessitent une excellente préparation et une maintenance parfaite de la machine.

1.2.2 Sciage à la scie circulaire

On pourra utiliser des scies en acier, aux dents stellitées ou à mises rapportées (dents rapportées) en carbure de tungstène, aussi bien pour le délignage que pour le tronçonnage (§ 1.3.1).

Les scies à mises rapportées en carbure de tungstène sont choisies lorsque les bois sont exempts de corps étrangers (gravillons, éclats métalliques). Les outils aux dents stellitées continuent d'être utilisés, mais l'avènement du carbure rend leurs applications moins nombreuses.

Les scies en acier sont encore très répandues, car les scieries ont de tout temps travaillé avec de l'acier ; elles sont équipées en outils et en moyens d'affûtage, et connaissent bien ce matériau. Mais le développement du carbure s'accélère.

Les scies circulaires doivent être tensionnées. En effet, lors du sciage, la scie est soumise à plusieurs types de contraintes, qui dilatent la zone périphérique dentée. Ces contraintes sont :

- la force centrifuge ;
- les efforts de coupe ;
- les échauffements dus aux frottements, dans la partie dentée essentiellement.

Une scie non tensionnée va « flotter » quand elle sera en rotation, et la lame va dévier. Le *tensionnage* consiste à laminer la zone de la scie comprise entre le tiers et les deux tiers du diamètre. En rotation, ces contraintes permanentes vont être annulées par les effets de celles qui dilatent la périphérie, et la scie restera raide. Le tensionnage doit être vérifié à chaque affûtage, et repris si nécessaire.

La denture doit être adaptée aux travaux à réaliser :

- **en délignage** : denture crochet ou perroquet (figure 2) pour des scies en acier et denture plate (figure 7) pour des scies en carbure, angle de coupe de 25 à 30°, nombre de dents correspondant à une épaisseur de copeau de 0,4 à 0,8 mm ;
- **en tronçonnage** : denture couchée pour des scies en acier (figure 2) et denture alternée pour des scies en carbure (figure 7), angle de coupe de -5 à +10°, nombre de dents correspondant à une épaisseur de copeau de 0,2 à 0,4 mm, selon la qualité recherchée.

Une technique de délignage s'est développée ces dernières années : l'utilisation de **lames minces guidées**. Ces lames ne sont plus flasquées, mais guidées latéralement le plus près possible de la pièce sciée (figure 3). Ces outils travaillent dans les mêmes conditions que les précédents, mais la perte de matière est diminuée.

1.2.3 Sciage à la scie alternative

C'est un mode de débit qui tend à être remplacé par celui à la scie à ruban. La lame est installée dans un châssis qui la met en tension. Cette lame est animée d'un mouvement alternatif, dont la vitesse est sinusoïdale, puisque donnée par un système bielle-manivelle. Le bois est animé d'un mouvement d'avance qui peut :

- être continu : la scie est inclinée, pour éviter le talonnement des dents lors de la remontée. Les copeaux sont de section irrégulière, à cause de la vitesse sinusoïdale de la lame ;
- s'effectuer pendant la descente de la lame : celle-ci est très peu inclinée. Les copeaux sont toujours de section variable ;
- s'accomplir pendant la remontée de la lame, qui est verticale. Les copeaux sont de section constante.

Les angles sont :

- angle de coupe : 5° (couchée), 15° (crochet, perroquet) ;
- angle de dépouille : 40° (couchée), 25° (crochet, perroquet).

L'épaisseur de la lame est égale à :

$$e = (\text{longueur utile} / 1\ 200) + 0,6 \text{ (en mm)}$$

La voie est égale à 1,4 fois l'épaisseur de la lame pour les bois durs et 1,6 fois pour les bois tendres.

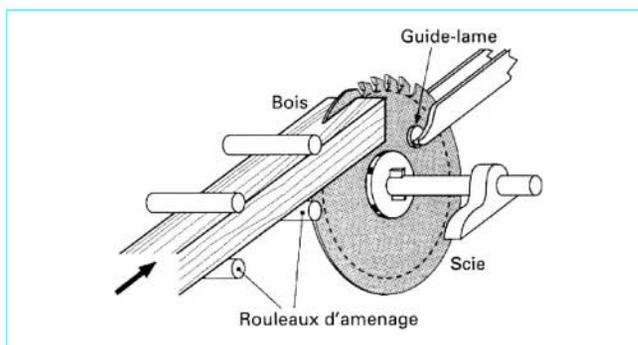


Figure 3 – Lame mince guidée : implantation sur la machine

Ces machines travaillent avec une vitesse d'avance moyenne assez faible (quelques mètres par minute), mais la production est tout de même raisonnable car plusieurs lames sont installées côte à côte sur le même châssis. L'inconvénient majeur de cette machine est son manque de souplesse, aggravé par une capacité de coupe (hauteur sciée) réduite.

1.3 Usinage en deuxième transformation

1.3.1 Sciage

Dans les entreprises de deuxième transformation, le sciage est une opération indispensable soit pour réaliser des ébauches en partant de pièces de grandes dimensions (plots, avivés, panneaux), soit pour usiner à la cote finale.

Lorsqu'il s'agit de bois massif, cette opération peut être exécutée **selon une trajectoire rectiligne dans le sens du fil (délignage), dans le sens transversal (tronçonnage) ou selon une trajectoire curviligne quelconque par rapport au fil (chantournage)**.

Lorsque l'on débite des panneaux, le **sciage en long** désigne l'usinage dans le sens du fil des faces (quand elles sont en placage de bois) ou celui de la plus grande dimension du panneau (lorsqu'il y a un décor autre que du bois) ; le **sciage en travers**, lui, est orthogonal.

Pour ces travaux, trois types d'outils peuvent être utilisés : la *scie à ruban*, la *scie circulaire* et, très marginalement, la *scie sauteuse*.

1.3.1.1 Sciage à la scie à ruban

Cette machine est utilisée pour dédoubler certaines pièces épaisses, déligner, tronçonner et chantourner. Elle est moins productive que la scie circulaire, mais bien plus souple puisqu'elle permet le sciage selon des trajectoires curvilignes. Son second intérêt, toujours relativement à la scie circulaire, est la perte au trait (largeur de trait de scie) plus faible (moitié ou tiers) à épaisseur sciée égale.

L'avance des bois est souvent manuelle soit en plaquant la pièce contre un guide pour les débits droits, soit en suivant un tracé pour les débits courbes. Actuellement, il existe quelques dispositifs de copiage automatique pour reproduire des formes courbes, qui ne fonctionnent que lorsque les rayons de courbure sont grands.

Les scies à ruban (figure 4) de menuiserie sont équipées de volants de diamètre allant, en général, de 600 à 1 100 mm. Leur vitesse de rotation est donnée par construction et correspond à une vitesse de coupe de 27 à 35 m/s. La puissance installée est de quelques kilowatts.

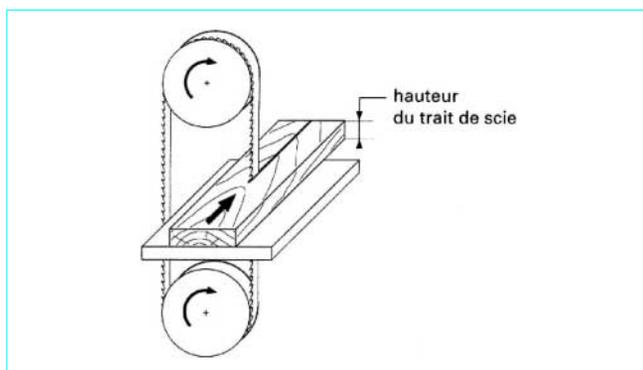


Figure 4 – Scie à ruban : schéma de principe (sans protecteur)

Les **règles de fonctionnement** de ces outils sont identiques à celles énoncées pour le matériel de scierie (§ 1.2), à l'exception de quelques paramètres qui changent :

- le bois est sec, ce qui lui confère une rigidité et une dureté plus grande ;
- les volants sont de dimensions plus faibles ;
- l'aménagement est souvent manuel.

Les conséquences sur l'outil sont :

- le tensionnage n'est réalisé que pour les rubans de plus de 50 mm de largeur ;
- les volants sont généralement plats, garnis de liège ou de matériau semi-souple ;
- la denture est couchée ou gencive (figure 2), plus rarement crochet ou perroquet qui sont réservées aux débits de fortes épaisseurs ;
- l'angle de coupe est de 6 à 10°. Si l'angle est plus élevé, le bois est happé par l'outil ; l'opérateur ne peut plus alors suivre le tracé, et peut être blessé. Si l'angle est plus faible, l'effort de poussée augmente en même temps que la fatigue de l'opérateur. De plus, le ruban est repoussé sur l'arrière du volant.

L'avoyage est donné par torsion. Seule l'extrémité de la dent doit être avoyée (entre la moitié et le tiers supérieur). La valeur de la voie doit être comprise entre 1,5 et 1,8 fois l'épaisseur du ruban. Pour le chantournage, on augmente cette valeur de voie pour limiter les frottements dans les parties courbes, surtout lorsque les rayons sont petits.

Le stellite n'est pas réalisable, à cause de l'écartement entre deux dents trop faible. Pour améliorer la tenue de coupe, il est possible d'utiliser des rubans à pointes de dents trempées. On peut les affûter quelques fois, mais l'avoyage est impossible. Après plusieurs affûtages, la partie trempée a disparu, et le ruban est devenu identique aux modèles classiques.

1.3.1.2 Sciage à la scie circulaire

L'outil doit être parfaitement adapté aux conditions de travail. C'est ce qui explique la grande variété de scies proposées, qui se distinguent essentiellement par la forme de leur denture, les angles et leur nombre de dents. Accessoirement, elles possèdent ou non des raidisseurs et des découpes de refroidissement (ouvertures dans le corps de la lame).

La figure 5 donne le schéma de principe d'une scie circulaire.

À l'exception de quelques cas particuliers, il est actuellement indispensable d'employer des scies à mises rapportées (dents rapportées) en carbure de tungstène, quel que soit le matériau usiné, dur ou tendre, abrasif ou non.

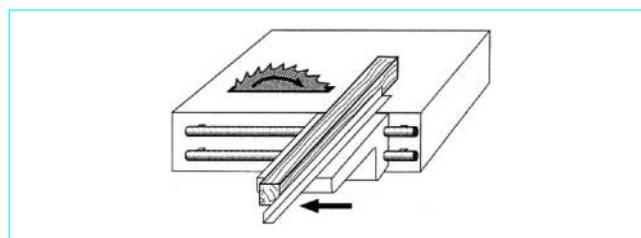


Figure 5 – Scie circulaire à table de menuisier : schéma de principe (sans protecteur)

Pour obtenir un résultat satisfaisant, il est nécessaire que le voile et le faux-rond de la scie soient les plus faibles possible et, en tout cas, inférieurs à des prescriptions définies par une norme (figure 6) : les flasques de maintien de la lame doivent avoir un diamètre voisin du tiers du diamètre de celle-ci. Les flasques évidés sont à préférer, car ils maintiennent la lame dans de bien meilleures conditions. Ne pas respecter ces conditions, c'est s'exposer à des défauts (stries, arrachements, etc.). Ces machines sont précises (quelques dixièmes de millimètres).

1.3.1.2.1 Sciage du bois massif

■ **Délinage** : cette coupe dans le sens du fil ne pose aucune difficulté. La denture doit être plate (figure 7), l'angle de coupe étant de l'ordre de 20 à 25°. Lorsque l'on utilise des lames à épaisseur réduite (pour un meilleur rendement matière), il est préférable de choisir une lame munie de raidisseurs, qui faciliteront également l'évacuation des sciures des bois résineux (c'est pourquoi on les appelle parfois *racleurs*).

Lorsque l'on est amené à diminuer le plus possible le trait de scie, parce que l'on débite de petites pièces dans des bois coûteux, il peut être intéressant de choisir des outils en acier pour leur voie réduite. Si l'on cherche encore à réduire le trait, le choix se portera sur une lame en acier extramince, dont les faces ne sont pas parallèles (figure 8). Le gain est alors appréciable, mais s'obtient par une préparation délicate (en particulier, le tensionnage et l'avoyage très minutieux qui font appel à un personnel hautement qualifié) qui limite l'emploi de ces outils à quelques cas exceptionnels.

Si les conditions de travail le permettent, il est préférable de travailler avec des copeaux épais (0,2 mm et plus) et, pour cela, d'utiliser des outils à nombre de dents réduit (par exemple 16 dents pour une scie de 350 mm de diamètre) : les frottements latéraux sont diminués, les échauffements et la puissance absorbée sont limités.

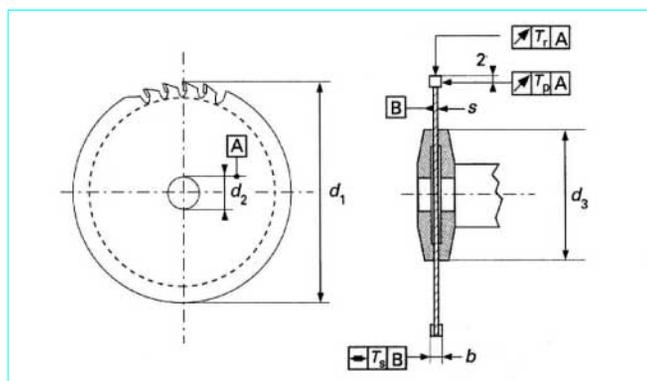
La figure 9 montre le schéma d'une scie délinieuse à lames multiples.

■ **Tronçonnage** : selon qu'il s'agit d'un travail d'ébauche ou de finition, il faut s'équiper d'outils différents.

Pour les *travaux d'ébauche*, les caractéristiques de l'outil sont :

- une denture alternée (figure 7) ;
- un angle de coupe de 10 à 15° ;
- une épaisseur de copeau allant de 0,1 à 0,2 mm, la valeur haute pour des bois faciles à tronçonner et/ou des exigences en qualité peu élevées, la valeur basse dans les cas opposés, ce qui donne souvent 32 à 48 dents pour une scie de 350 mm de diamètre.

Lorsque cette opération est réalisée sur une scie radiale, il convient de prendre une précaution particulière, due à l'obligation de travailler en avant pour plaquer la pièce contre le guide situé à l'arrière de la table : il faut choisir une *scie munie de talons limiteurs d'avance*, encore appelés *antirecul* (figure 10).



Tolérance sur le faux-rond et le voile.

Diamètre extérieur d_1	Tolérance sur s	T_p (voile)	T_r (faux-rond)	Symétrie de la mise rapportée T_s
100	+ 0,05 0	0,12	0,12	0,10
125				
140				
160		0,15		
180				
200				
225	0,20			
250				
280				
315	+ 0,08 0	0,25	0,15	0,15
355				
400				
450	+ 0,10 0	0,30	0,20	0,20
500				
560				
630				

Diamètre de flasques recommandés.

Scie			Scie		
Diamètre extérieur d_1	Diamètre alésage d_2	Diamètre flasque d_3	Diamètre extérieur d_1	Diamètre alésage d_2	Diamètre flasque d_3
100	20	50	315	30	80
125	20	50		60	100
140	20	50		85	125
160	20	50	355	30	100
	30	60		60	125
180	30	60	400	85	160
	60	60		30	100
200	30	80	450	60	125
	60	60		85	160
225	30	60	500	30	125
	60	100		85	200
250	30	60	560	30	160
	60	100		85	200
280	85	125	630	30	160
	30	80		85	200
	60	100			
	85	125			

Figure 6 – Scies circulaires à mises rapportées en métal dur : dimensions normalisées (d'après E 73-044)

Sur certains postes (tenonneuses par exemple), on cherche à éviter les chutes, toujours plus difficiles à évacuer que les copeaux. On équipe donc la machine d'un déchiqueteur qui transforme la chute en copeaux facilement aspirables. Fixé sur la scie, ce déchiqueteur peut être :

- composé d'un empilage de scies imbriquées les unes dans les autres : ce système ancien est actuellement pratiquement abandonné ;

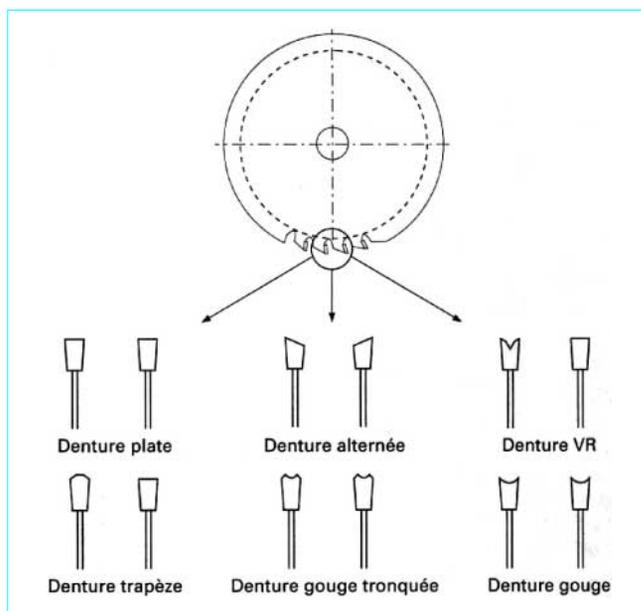


Figure 7 – Formes de dentures de scies circulaires en carbure

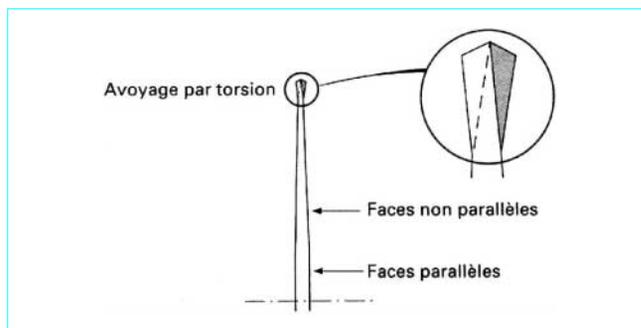


Figure 8 – Lame extra-mince à faces non parallèles : profil

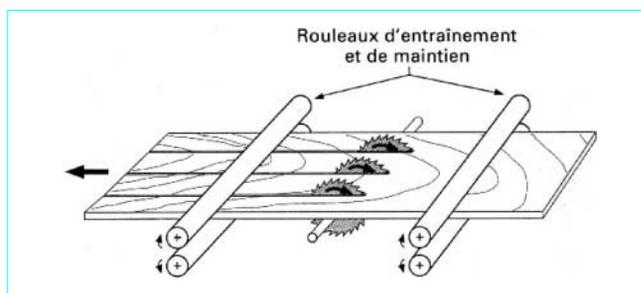


Figure 9 – Scie déligneuse à lames multiples : schéma de principe

- un disque sur lequel sont fixés des segments dentés affûtables ;
- un disque équipé de plaquettes réversibles et jetables.

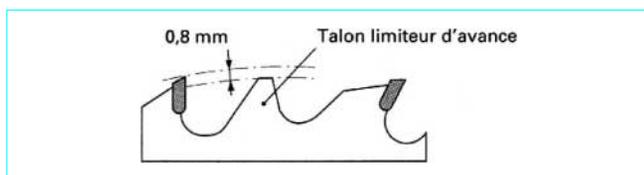


Figure 10 – Denture à talon limiteur d'avance

Pour obtenir une bonne qualité de travail, le diamètre du déchiquteur doit être inférieur à celui de la scie sur laquelle il est monté.

Pour les travaux de finition, on est amené à choisir des outils différents :

- l'angle de coupe est réduit d'autant plus que le matériau est délicat. On peut descendre à 5° et même, dans certains cas, jusqu'à -5° ;

- la denture est plus complexe : biseau alterné ou trapèze bien souvent, et pour les cas difficiles, on peut choisir la denture gouge ou VR (E73-044) (figure 7). Les scies en acier avec un biseau sur la face de coupe donnent aussi de bons résultats ;

- le copeau est réduit jusqu'à une valeur compatible avec les exigences de qualité, jusqu'à 0,05 mm parfois, ce qui nécessite des outils à grand nombre de dents : 96 ou 108 pour une lame de 350 mm de diamètre ;

- sans oublier que l'équipement de la machine est également très important : présence de pare-éclats, d'un inciseur, etc.

1.3.1.2.2 Sciage des panneaux

Le sciage de panneaux non revêtus ne pose que peu de problèmes, car c'est souvent un sciage d'ébauche. On choisit, dans ce cas, une denture plate, à angle de coupe de 20° et un nombre de dents réduit.

Le débit de panneaux revêtus d'un décor est bien plus délicat, parce que le matériau est plus fragile, mais aussi parce que c'est parfois une opération de finition (débit à la cote finale, sans reprise ultérieure). Il faut donc être particulièrement vigilant dans le choix de l'outil :

- pour le sciage en paquet de plusieurs panneaux superposés, une denture plate peut suffire, bien qu'une denture trapèze soit nettement préférable ;

- pour le débit de panneaux à l'unité, une denture trapèze convient bien, mais une denture gouge peut être préférable, ou encore des dentures spécialement adaptées (de nombreux fabricants ont développé leur propre forme de denture). La denture gouge donne d'excellents résultats (car la face de coupe concave permet une coupe de très bonne qualité), mais elle doit être entretenue par un atelier spécialement équipé pour l'affûtage de la partie creuse. La gouge tronquée (figure 7) est à préférer, car elle est moins fragile et donne d'aussi bons résultats ;

- choisir un nombre de dents élevé pour que les copeaux soient minces (d'autant plus minces que les revêtements sont fragiles) ;
- la machine doit être équipée d'un inciseur (figure 11), travaillant en avalant, aux caractéristiques suivantes :

- denture légèrement trapézoïdale, éventuellement plate si l'outil est en deux parties extensibles,
- angle d'attaque de 5 à 10° ,
- nombre de dents de 36 à 60 pour un diamètre de 200 mm,
- pour le sciage de pièces non planes, ou celles dont les chants sont plaqués, l'inciseur doit se déclencher en sortie (figure 11).

Le mauvais réglage de l'outil est aussi une cause d'éclats. En effet, l'outil doit exercer un effort de compression sur le panneau, et jamais de traction. Si le poste de travail n'est pas équipé d'inciseur :

- l'angle de coupe doit être négatif (-5°) ;
- le dépassement de la lame du côté de l'entrée doit être de 5 à 8 mm ;
- l'outil doit avoir un diamètre plutôt élevé.

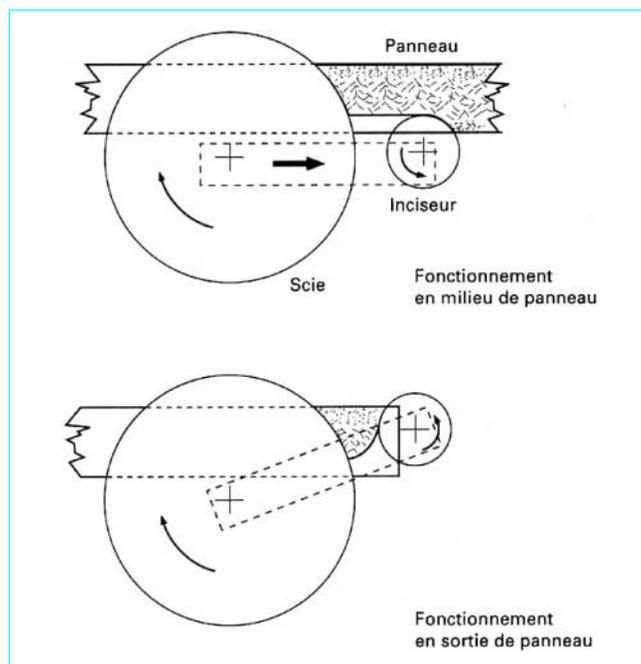


Figure 11 – Groupe de sciage équipé d'un inciseur

Lorsqu'il y a un inciseur, le dépassement optimal est donné par la relation :

$$f = D [1 - \sin(\gamma + 50)] / 2$$

avec f (mm) dépassement,
 D (mm) diamètre,
 γ angle de coupe.

Dans ces conditions, f varie en général de 15 à 30 mm.

Toute vibration due à un roulement usé, à un panneau mal maintenu ou à une avance irrégulière entraîne des conditions de travail médiocres, donc une dégradation de la qualité. De même, un voile de la lame, souvent dû à des flasques abîmés ou encrassés, ne peut être que néfaste.

Les panneaux usant rapidement les outils et les exigences en matière de qualité et de tenue de coupe étant de plus en plus grandes, le développement des applications du diamant est spectaculaire. De tels outils donnent toujours de bons résultats si l'on prend soin :

- de les installer sur des machines en bon état ;
- de s'approvisionner en panneaux absolument exempts de corps étrangers métalliques ou minéraux, qui créent des accidents coûteux. L'installation de détecteurs de métaux en entrée de machine limite les risques d'accidents, mais on ne sait pas encore détecter les corps minéraux dans un environnement industriel.

1.3.1.3 Sciage à la scie sauteuse

Sous cette même dénomination sont regroupés des matériels très différents : la *scie sauteuse portative* (machine de chantier ou d'amateur) et la *scie d'atelier* utilisée pour le modelage ou la marqueterie. L'outil est toujours animé d'un mouvement vertical alternatif, mais sa conception change selon son emploi :

- les machines portatives sont équipées d'outils courts et rigides ;
- les machines d'établi ou d'atelier sont conçues pour utiliser des lames prises à leurs deux extrémités et travaillant de façon à être en traction permanente : c'est alternativement l'extrémité supérieure et inférieure de la lame qui est tractée.

L'utilisateur a un choix d'outils réduit, car les fournisseurs sont peu nombreux : les systèmes de fixation de l'outil sur la machine n'étant pas standardisés, l'utilisateur est lié à son fabricant de machine.

Les règles générales sont les suivantes :

- toujours utiliser la lame la plus large et la plus épaisse compatible avec le tracé souhaité ;
- choisir une lame dont le pas (distance séparant deux dents) est le plus grand, compatible avec la qualité recherchée ;
- changer fréquemment d'outil, car l'usure est rapide et ces outils ne s'affûtent pas.

Le suivi du tracé est toujours manuel, les outils sont fragiles, la dextérité de l'opérateur est donc un facteur de durée de vie primordial.

1.3.2 Corroyage

Les pièces de bois massif se rétractent et se déforment lors du séchage. Il est donc difficile, voire même impossible, d'usiner précisément si l'on n'a pas pris le soin de réaliser, en tout premier lieu, une ébauche aux formes et dimensions précises. C'est le rôle du corroyage que d'usiner un parallélépipède de largeur et épaisseur définies, en partant d'une pièce brute de sciage et après séchage.

Le corroyage est l'ensemble de quatre opérations différentes, qui peuvent être menées sur la même machine ou sur des postes séparés :

- **dégauchissage** d'une face ;
- dégauchissage d'un chant, perpendiculaire à la face dégauchie ;
- **rabotage** du deuxième chant, parallèle au premier ;
- rabotage de la deuxième face, parallèle à la première.

En exécution manuelle, l'ensemble de ces usinages fait appel à deux machines distinctes, la dégauchisseuse et la raboteuse qui sont équipées d'outils identiques. Ces outils sont composés de couteaux droits affûtés (3 ou 4 selon les matériels), que l'on vient bloquer dans des rainures en forme de queue d'aronde usinées dans le porte-outil. Sur ces machines, le porte-outil est particulier puisque c'est un arbre installé à demeure (figure 12). Quelques tentatives ont été faites pour équiper ces arbres de couteaux hélicoïdaux, ce qui diminue sensiblement le niveau sonore, mais n'ont pas connu de succès commercial, car l'entretien de tels outils est très délicat. Il est donc obligatoire de démonter les couteaux pour l'affûtage, puis de les remonter. Bien que des dispositifs d'aide au repositionnement des couteaux facilitent l'opération, les arêtes de coupe sont rarement sur le même cercle. Il existe bien des petites affûteuses portatives qui rectifient les couteaux directement sur la machine, donc sans démontage, mais cette solution n'est pas non plus satisfaisante car :

- l'affûteuse prend appui sur l'arbre qui n'est pas toujours en bon état ;
- les grains d'abrasifs qui se détachent de la meule se répandent partout dans la dégauchisseuse ou la raboteuse.

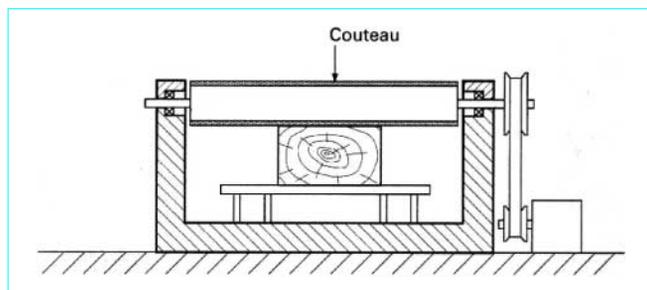


Figure 12 - Raboteuse : schéma de l'arbre porte-outil

Sur ces machines, il est impossible d'adapter les angles à l'essence de bois usinée.

En fait, ces machines servent de plus en plus d'appoint, même dans les entreprises artisanales, où elles ont perdu, en grande partie, leur fonction de production. On peut donc tolérer quelques défauts.

Actuellement, industriellement mais aussi dans les petits ateliers, toutes ces opérations de corroyage se font en une seule fois, au défilé, sur une machine unique : la corroyeuse. Cette machine est équipée de quatre porte-outils qui usinent, chacun, une des faces de la pièce (figure 13). Ces porte-outils sont amovibles et cylindriques. Les couteaux sont :

- droits, en acier ou en carbure de tungstène, de la longueur du porte-outil. Ils sont affûtés ;
- des plaquettes réversibles et jetables en carbure. Ces plaquettes peuvent être décalées les unes par rapport aux autres, le long d'une génératrice hélicoïdale (figure 14), ce qui diminue les chocs à l'attaque du bois et le bruit. Pour éviter des traces à la surface du bois, il est impératif que toutes les arêtes soient bien sur le même diamètre.

La vocation principale de la corroyeuse est d'établir les bois. En général, on ne recherche pas un état de surface parfait : il est donc inutile d'installer des systèmes d'outils performants, mais coûteux. Les outils précédemment décrits conviennent bien pour ces machines qui travaillent le plus souvent à des vitesses d'avance réduites (5 à 25 m/min).

La qualité d'une telle machine est sa précision ($\pm 0,2$ mm) ainsi que sa rapidité de réglage. Chaque outil est équipé d'un moteur de puissance variant de 3 à 10 kW.

1.3.3 Profilage

La quasi-totalité des pièces sont profilées, soit pour des raisons esthétiques, comme la mouluration, soit pour des raisons techniques, comme l'assemblage de deux pièces. Cette opération peut être réalisée sur du bois massif ou sur des panneaux. Outre la précision, on recherche une très bonne qualité de surface.

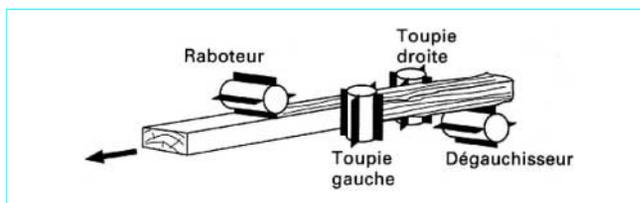


Figure 13 - Corroyeuse : schéma de principe

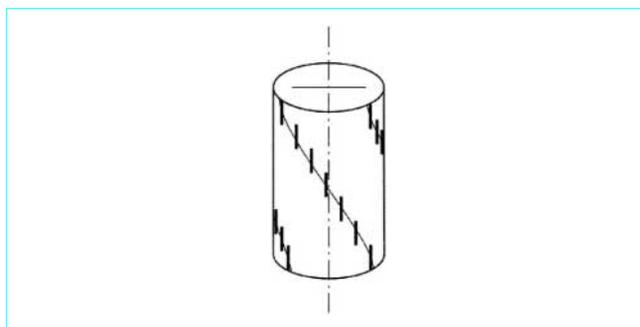


Figure 14 - Porte-outil à plaquettes décalées

1.3.3.1 Profilage du bois massif

■ Profilage longitudinal

Après avoir été corroyées, les pièces sont profilées sur diverses machines : **toupie, moulurière, calibreuse, défonceuse**, dont le mode d'usinage est voisin : la trajectoire de la dent par rapport au bois est toujours une trochoïde. L'outil est souvent un outil à alésage (fraise ou porte-outil), cylindrique, venant se monter sur un arbre vertical ou horizontal. Sur la défonceuse, on installe le plus souvent un outil à queue.

La qualité du travail dépend de plusieurs facteurs :

— *la machine* : son état mécanique a des conséquences considérables sur l'état de surface. Des roulements ou une table usés, du jeu dans les glissières, et bien d'autres défauts, sont souvent à l'origine de pièces défectueuses ;

— *l'outil* : le diamètre, la géométrie, le nombre de dents sont des facteurs importants qui conditionnent le résultat final :

- le diamètre : pour limiter l'effort perpendiculaire et réduire la profondeur de l'ondulation, il est toujours préférable d'utiliser un outil de grand diamètre : 160 à 180 mm est assez courant, mais en super finition, il est souhaitable de dépasser ces valeurs (250 mm par exemple),

- la géométrie : le facteur primordial est l'angle de coupe, qui doit être de 12 à 18° pour le profilage de bois durs et/ou contrefilés, et de 18 à 25° pour les essences tendres et de droit fil. Pour les usinages d'arêtes (chanfrein, feuillure, moulure, etc.), un angle d'inclinaison de 10 à 15° (figure 15a) permet de limiter les éclats, grâce à la composante normale de l'effort de coupe qui contribue à comprimer le bois. Lorsque l'usinage à réaliser est profond, on privilégie, quand c'est possible, le sens d'usinage où la différence entre le diamètre maximal et le diamètre minimal est la plus faible (figure 15b). Il faut parfois décomposer le profil pour que l'outil travaille dans les meilleures conditions,

- le nombre de dents : il doit être déterminé en fonction de l'épaisseur de copeau choisie. Un copeau épais est avantageux en ébauche ou avec des bois faciles à travailler, un copeau fin est préférable pour la finition ou pour des usinages difficiles.

Pour les usinages à grande vitesse d'avance, sur les machines quatre faces, il est indispensable que toutes les arêtes de coupe soient rigoureusement sur le même cercle de coupe, pour que l'usure soit uniforme et que l'état de surface soit régulier. Ce résultat ne peut être atteint que si plusieurs conditions sont remplies, concernant autant la machine que l'outil et son entretien :

— *l'outil* doit être à centrage hydraulique, solution efficace pour supprimer le jeu entre l'arbre et l'alésage ;

— *les couteaux* doivent être affûtés une fois montés sur le porte-outil. Tout démontage et remontage entraînent des approximations incompatibles avec la précision recherchée ;

— *la machine* doit être équipée d'un système *jointer*, qui consiste à passer une pierre abrasive sur les couteaux, alors que l'outil est en rotation sur la moulurière (figure 16). Ce système présente l'inconvénient de détruire l'arête de coupe en faisant un petit arc de cercle sur la pointe du couteau. Si ce méplat est petit (0,3 mm par exemple), il n'est pas suffisant pour que le talonnage qui s'ensuit ait de graves conséquences, et il présente l'avantage de supprimer le faux-rond résiduel, provenant de l'affûtage, de la concentricité de l'arbre et du jeu des roulements. Par contre, si cette opération n'est pas menée avec l'attention nécessaire, les conséquences sont graves et rapides : brûlage des surfaces et tenue de coupe réduite. Le *jointer* ne peut s'envisager que si l'on dispose d'une machine en excellent état, d'un outil à centrage hydraulique affûté très précisément. Il est recommandé de réduire l'angle de taillant (en augmentant celui de la dépouille) pour diminuer la dimension du méplat. Ce système est bien mieux accepté des outils en acier que de ceux en carbure (à cause des chocs) ;

— *les conditions de travail* : le principal paramètre est l'épaisseur de copeau que l'on fait varier : un copeau mince est préféré lorsque l'on recherche un bon état de surface, surtout lors du travail des bois difficiles. On peut agir sur la vitesse d'avance – mais on modifie en

conséquence la production, donc la rentabilité – ou bien, sur moulurière ou sur calibreuse, en utilisant deux porte-outils, qui travaillent en temps masqué : le premier ébauche la pièce, c'est-à-dire qu'il usine en laissant une légère surépaisseur. La vocation de ce porte-outil est d'enlever la plus grande partie de la surépaisseur, sans rechercher un état de surface exceptionnel. Un second porte-outil, de plus grand diamètre (250 mm), équipé d'un plus grand nombre de couteaux (8 à 12), réalise l'usinage de finition, en enlevant les quelques dixièmes de millimètres laissés par l'outil d'ébauche. Ce porte-outil porte le nom de *rotaplan*.

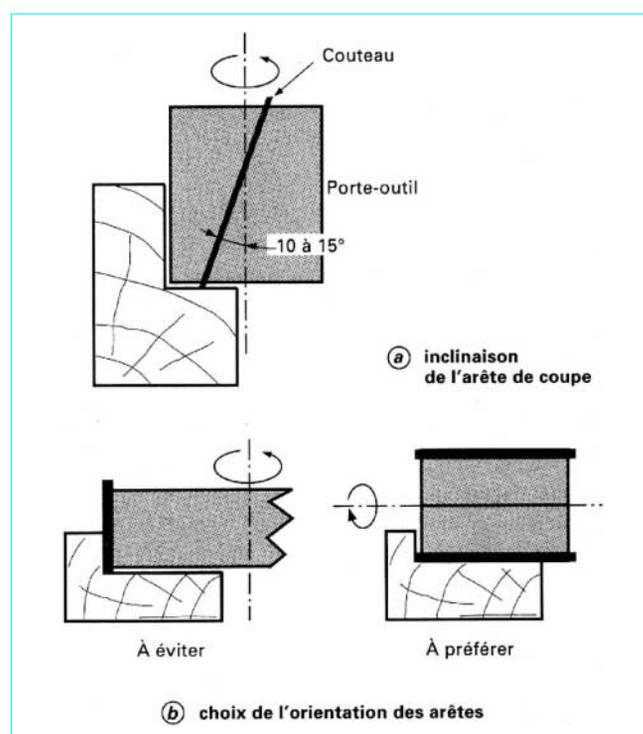


Figure 15 - Profilage longitudinal

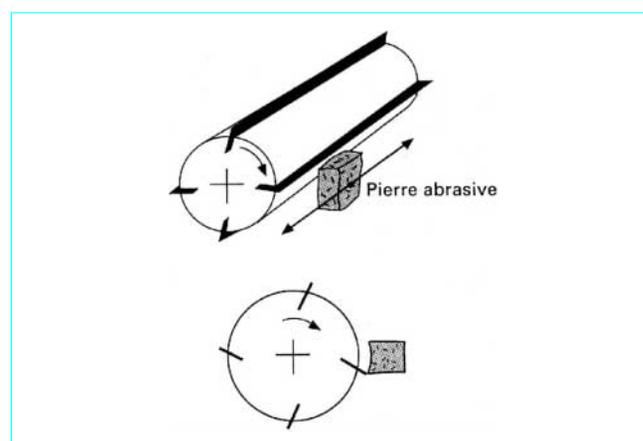


Figure 16 - Principe du système jointer

■ Profilage en travers du fil

L'usinage dans le sens perpendiculaire aux fibres est toujours plus délicat. Il faut adapter l'outil et les conditions de travail à ce sens particulier.

Pour éviter les éclats en sortie, l'outil doit être de grand diamètre (250 à 300 mm) et avoir un angle de coupe voisin de 30°. Un angle d'inclinaison d'arête de 15° est favorable à une coupe progressive, donc génératrice d'un meilleur état de surface. Mais souvent, cela ne suffit pas à éviter totalement les éclats en sortie d'outil. Il faut avoir recours au *pare-éclats* ou aux *outils à déclenchement* (communément appelés *outils drapaux*).

Le *pare-éclats* est un martyr qui suit la pièce et empêche que les dernières fibres fléchissent. Ce *pare-éclats* doit rester en bon état pour conserver son efficacité, ce qui implique de le changer dès qu'il est abîmé.

Les outils à déclenchement opèrent par paire : l'outil A travaille en opposition sur la majeure partie de la pièce ; l'effort de coupe à l'entrée est orienté de façon à comprimer le bois, pour éviter les éclats. L'outil B, rigoureusement identique, mais symétrique du premier, procède en avalant. Jusqu'alors en retrait, il se met en position de travail quand approche la face de sortie, et le premier outil se retire. La fin du profilage se fait donc en avalant, sens de travail privilégié pour éviter les éclats en sortie (figure 17). Ce système est très performant, mais il a ses propres contraintes ; il faut en effet :

- posséder une machine munie d'un tel équipement ;
- doubler le jeu d'outils ;
- avoir des outils ayant des profils parfaitement identiques, donc à plaquettes jetables ;
- usiner des pièces suffisamment larges pour que le changement d'outil puisse s'opérer.

Le profilage sur défonceuse, ou centre d'usinage si la machine est équipée d'un changeur d'outils, est un peu particulier dans la mesure où il est fréquent que l'on usine la totalité du pourtour de la pièce avec le même outil. Cette méthode interdit toute adaptation de l'outil au sens de travail par rapport au bois. Pour éviter des problèmes de qualité de surface, on adapte l'outil à la zone la plus délicate à usiner, on programme la machine, lorsqu'elle est à commande numérique, pour ralentir dans les endroits difficiles, et l'on choisit judicieusement le début du trajet pour terminer par un usinage en droit fil, moins propice à générer des éclats.

Sur ces machines, le diamètre limité des outils impose des vitesses de rotation élevées (18 000 tr/min et même plus avec des broches spéciales), d'où la nécessité d'un équilibrage soigné. Sur ces postes, où l'on maîtrise parfaitement les paramètres d'usinage, l'acquisition d'outil en diamant doit être étudiée systématiquement.

1.3.3.2 Calibrage des panneaux

Cet usinage s'opère le plus souvent sur des panneaux revêtus qui ont préalablement subi une opération de débit d'ébauche par sciage. Il consiste à fraiser les chants pour mettre les panneaux à la cote souhaitée, tout en respectant un profil particulier (souvent droit) avec l'obligation d'avoir des faces exemptes d'éclats. Cela s'obtient *sur toupie* (artisanalement), mais surtout *sur calibreuse*, ou encore *sur centre d'usinage*. Les outils sont de géométrie proche de celle des outils utilisés pour calibrer le bois massif. Les différences portent sur la géométrie des copeaux et sur la nécessité d'utiliser le carbure de tungstène ou le diamant comme matériau de coupe.

Sur les calibreuses, hormis les fraises en diamant, les porte-outils à plaquettes jetables sont une excellente réponse au problème posé par l'usure rapide des arêtes de coupe. Pour éviter les éclats sur les faces, il faut choisir des outils à inclinaison d'arête afin que la composante compression de l'effort de coupe limite la dégradation du revêtement décoratif. Lorsque l'on doit dresser des panneaux dont les deux faces sont revêtues, la solution consiste à utiliser des outils à *chevron*, dont les dents sont alternativement inclinées dans les deux sens (figure 18). En usinant ces matériaux, dont le

revêtement mélaminé est plus abrasif que le panneau support, l'outil s'use rapidement au niveau des faces. Si l'on veut augmenter la durée de vie des plaquettes, il faut employer des outils extensibles, qui permettent de répartir l'usure sur la totalité de l'arête.

Pour préparer les chants à un plaquage ultérieur d'un revêtement mince, il est parfois souhaitable de les surfer avec un disque métallique garni d'abrasif (diamant en général), dont le profil est exactement celui de l'outil qui a servi à fraiser le chant. Cela améliore l'état de surface et rectifie certains petits défauts de profils.

1.3.4 Tenonnage

L'*assemblage par tenon-mortaise* est encore très utilisé aussi bien pour la réalisation de meubles, de menuiseries, que de pièces de charpente. Bien que souvent remplacé par d'autres types d'assemblages, plus facilement industrialisables et faisant une part plus grande à la résistance mécanique du joint de colle, il reste une référence pour les assemblages en bois massif (figure 19).

La résistance des assemblages est fonction des jeux entre les pièces. C'est pourquoi le tenonnage et le mortaisage sont des travaux demandant une bonne précision ($\pm 0,15$ mm). Ces machines travaillant souvent lentement, les puissances nécessaires sont faibles (souvent inférieures à 10 kW, quelquefois 15 kW).

Cette opération peut être réalisée avec des outils très différents : des scies, des plateaux à tenonner ou des outils dérouleurs.

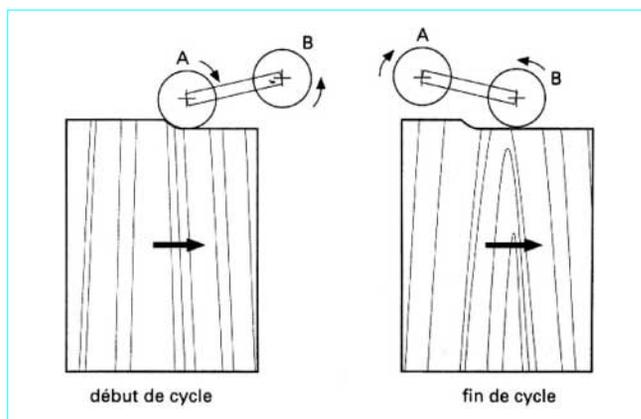


Figure 17 – Principe de fonctionnement des outils à déclenchement : position des outils

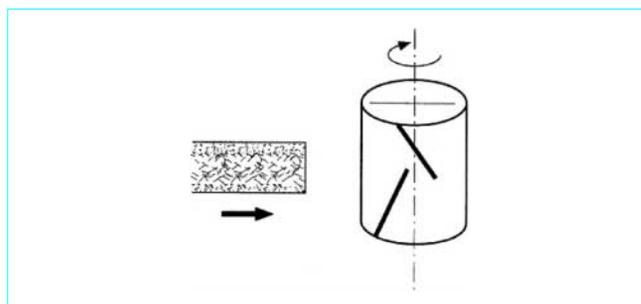


Figure 18 – Outil à double inclinaison d'arête, dit à chevron

1.3.4.1 Tenonnage par sciage

Ce mode de tenonnage est limité aux tenons droits (figure 20). Les formes contre-profilées sont impossibles à réaliser.

■ Sciage en travers fil

L'outil doit avoir les caractéristiques suivantes :

- une denture alternée ;
- une voie réduite au maximum ;
- un angle de coupe faible de 3 à 5° ;
- un diamètre le plus petit possible compatible avec la machine ;
- un grand nombre de dents.

■ Sciage dans le sens du bois

La scie doit être :

- à denture plate ;
- à angle de coupe de 5 à 10° ;
- de diamètre moyen ;
- à faible dépouille radiale ;
- à grand nombre de dents.

■ Sciage en travers de bois non abrasifs

On peut préférer les scies en acier, car leur voie est plus faible que celle des outils en carbure, d'où des risques d'éclats en sortie réduits.

Le tenonnage par sciage est intéressant pour la qualité du travail et la faible énergie absorbée, puisqu'on transforme peu de bois en copeaux. Par contre, les chutes de bois encombrant la machine et sont parfois éjectées violemment au risque de blesser un opérateur ou de détériorer des organes de la machine. En outre, le profil est limité aux tenons droits, et ce mode d'usinage nécessite un minimum de trois arbres porte-outils.

Le tenonnage par sciage est donc *peu utilisé, sauf pour la réalisation de tenons de grandes dimensions* (charpente par exemple).

1.3.4.2 Tenonnage avec plateaux à tenonner

Les outils sont montés sur des porte-outils de grand diamètre (250 à 350 mm) et détachent les copeaux perpendiculairement aux fibres (mode d'usinage 90-90). Ces copeaux peuvent être droits ou profilés, ce qui permet les usinages par contre-profilés (figure 21). La coupe est quelquefois droite, mais il est préférable qu'elle soit biaise : une inclinaison d'arête de 15° permet un meilleur état de surface. L'angle de coupe doit être élevé pour trancher les fibres : 30° est une valeur correcte. Malgré ces valeurs optimales, souvent respectées, il n'est pas rare de voir apparaître des éclats sur la face de sortie. Ils sont dus à une rupture des fibres par flexion. Lorsque l'on usine ainsi des pièces étroites, la seule solution efficace consiste à installer un pare-éclats, solution contraignante, car il faut le maintenir en bon état (un remplacement après quelques réglages s'impose). Pour les pièces larges, l'adoption d'outils à déclenchement évite ces pare-éclats avec un résultat très satisfaisant, mais nécessite une machine équipée en conséquence.

Le *tenonnage par fraisage* est la solution la plus utilisée car les résultats obtenus sont bons, toutes les formes de profils peuvent être réalisées et un seul arbre porte-outil suffit. De nombreuses machines récentes, à commande numérique, sont équipées d'un arbre très long (700 mm, voire même plus), sur lequel on vient empiler des outils de profils différents. Au changement de série, le réglage pour un nouveau profil est obtenu simplement en repositionnant verticalement l'arbre. Cela évite tout démontage d'outil, de capot d'aspiration, etc. Le gain de temps est appréciable, ce qui diminue considérablement la taille de la série économique, et fait donc chuter le volume d'en-cours et l'importance des frais financiers, sous réserve que l'ensemble du processus de fabrication soit cohérent. Un tel système implique pratiquement que tous les outils soient à plaquettes jetables, parce que :

- le profil et le diamètre doivent être constants ;
- le démontage de tout l'empilage d'outils est fastidieux et peu recommandé.

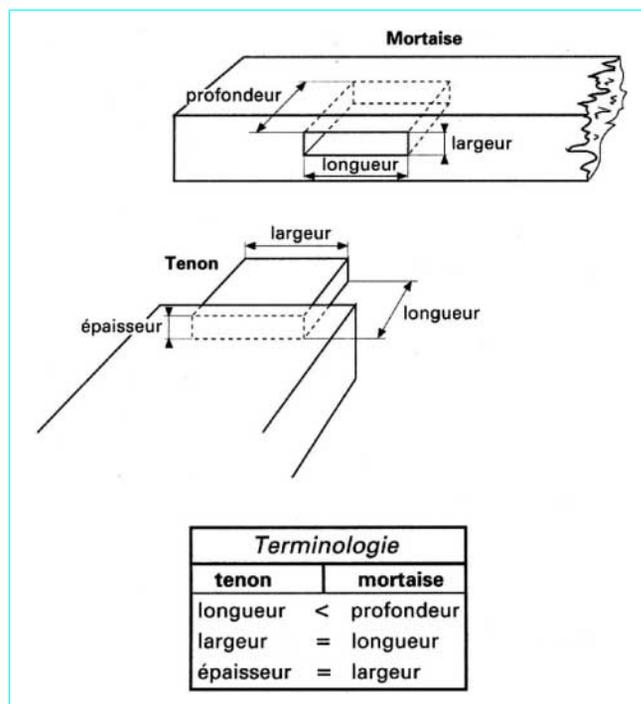


Figure 19 – Assemblage par tenon-mortaise : principe et terminologie

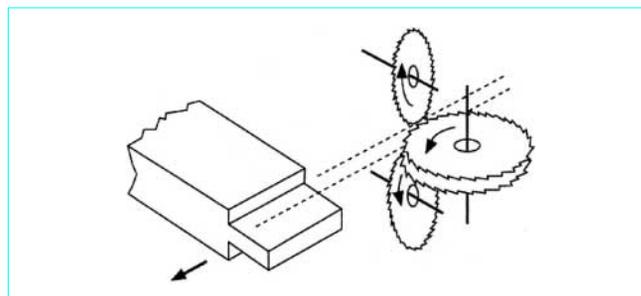


Figure 20 – Tenonnage par sciage : schéma de principe

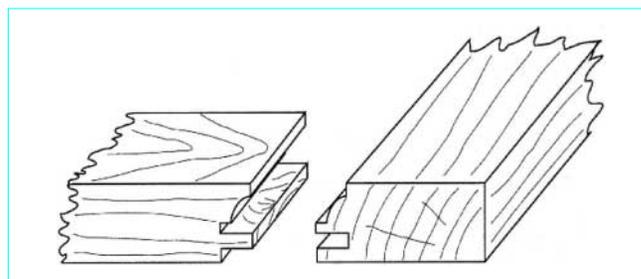


Figure 21 – Assemblage par contre-profilés

1.3.4.3 Tenonnage avec outils dérouleurs

Ce sont des porte-outils cylindriques dont les arêtes de coupe sont parallèles au fil du bois (figure 22) ; le mode d'usinage est 0-90. Longtemps, ces outils ont eu des couteaux en acier, inclinés de 10 à 15° par rapport à l'axe de rotation, pour permettre une coupe progressive et un meilleur état de surface. Mais une droite tournant autour d'un axe qui ne lui est pas parallèle n'engendre pas un plan, mais une surface hyperbolique. Pour les petites surfaces, ou quand l'inclinaison de l'arête de coupe est faible, la surface engendrée n'est que très peu bombée et peut être acceptable (figure 22). Sinon, il faut que l'arête de coupe soit courbe, pour pouvoir engendrer un plan. On imagine aisément la difficulté d'affûtage qui en découle.

Pour obtenir une bonne qualité des joues du tenon et l'absence d'éclats, le porte-outil est muni de deux dents, parfois appelées *peignes*, qui incisent les fibres (figure 23). Ces outils ne permettent pas la réalisation de tenons aux arasements profilés. Actuellement, ce mode d'usinage est peu utilisé, sauf pour la fabrication de tenons à bouts ronds. Dans ce cas, les outils circulent autour de la pièce et leurs trajectoires définissent la forme et les dimensions du tenon (figure 24).

L'état de surface est bon, si les tenons ne sont pas trop minces, sinon ils vibrent sous l'action de l'outil et de grosses ondulations apparaissent.

Pour éviter les contraintes de l'affûtage et profiter d'une longue tenue de coupe, il est recommandé d'utiliser des porte-outils à plaquettes jetables. Souvent, des dents supplémentaires usinent simultanément le chanfrein en bout de tenon. L'angle de coupe doit être de 20 à 30° et il est préférable que les arêtes soient segmentées.

Sur certains outils se fixe une scie qui met le tenon à la longueur désirée.

1.3.5 Mortaisage

C'est l'opération qui consiste à réaliser la mortaise, logement du tenon. Cet usinage doit être précis pour éviter tout jeu excessif entre les deux pièces assemblées qui affaiblirait la résistance de l'ensemble.

Cet usinage peut se faire avec différents outils, chacun correspondant à une machine spécifique.

1.3.5.1 Mortaisage au bédane vibrant unique

C'est probablement le mode le plus répandu. L'outil (figure 25a) est animé d'un mouvement elliptique, la coupe ne s'effectuant que durant la moitié de la trajectoire. Sur un bédane de forme simple, les dents se situent sur l'extrémité et parfois sur une face latérale. Les premières détachent les copeaux, en *piochant* le bois, les secondes servent à évacuer les copeaux ainsi formés. Ces outils sont le plus souvent en acier. Pour les bois exotiques, généralement abrasifs, on utilise aussi des outils à dents en carbure de tungstène brasé. Des accidents (dents ébréchées ou débrasées) peuvent se produire, car les conditions dans lesquelles fonctionnent ces bédanes sont très sévères (frottements intenses, vibrations, etc.).

La largeur de la mortaise est imposée par l'épaisseur de l'outil. Un même outil peut servir à réaliser des mortaises de différentes longueurs, en modifiant le réglage de la course par un système d'excentrique. Le fond est presque plan, mais il s'incurve nettement lorsque la course augmente. La particularité de fonctionnement de ces machines est d'avoir un outil qui déséquilibre totalement la broche porte-outil. Il est donc indispensable de rééquilibrer la broche à chaque changement d'outil, voire même à chaque nouveau réglage de la machine. Ce rééquilibrage consiste à positionner des masselottes selon des abaques fournies par les constructeurs. Quelques machines sont équipées de dispositifs ingénieux qui évitent ces réglages.

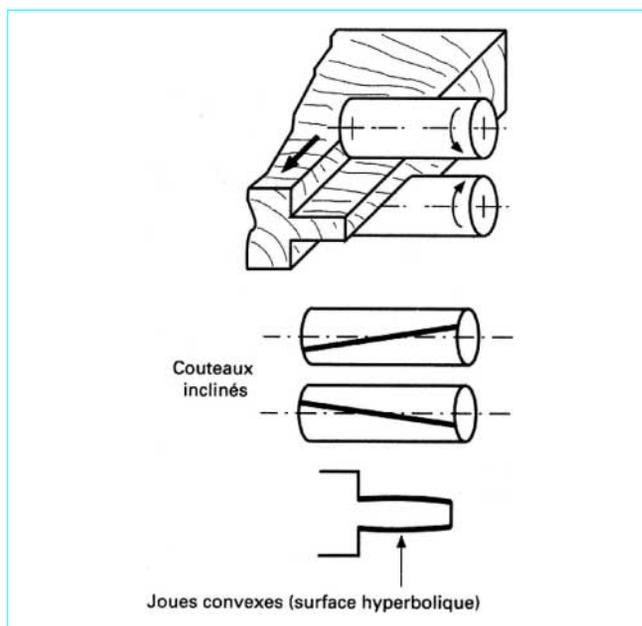


Figure 22 – Tenonnage par outils dérouleurs : schémas de principe

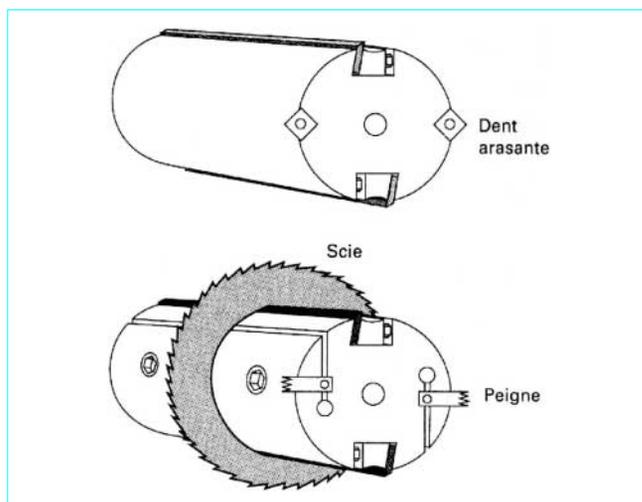


Figure 23 – Outils dérouleurs

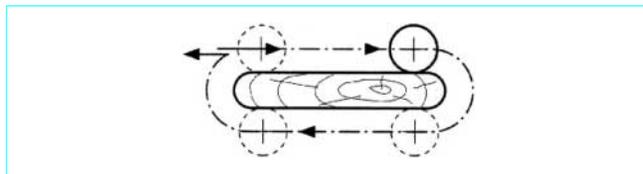


Figure 24 – Fraisage d'un tenon rond : schéma de principe

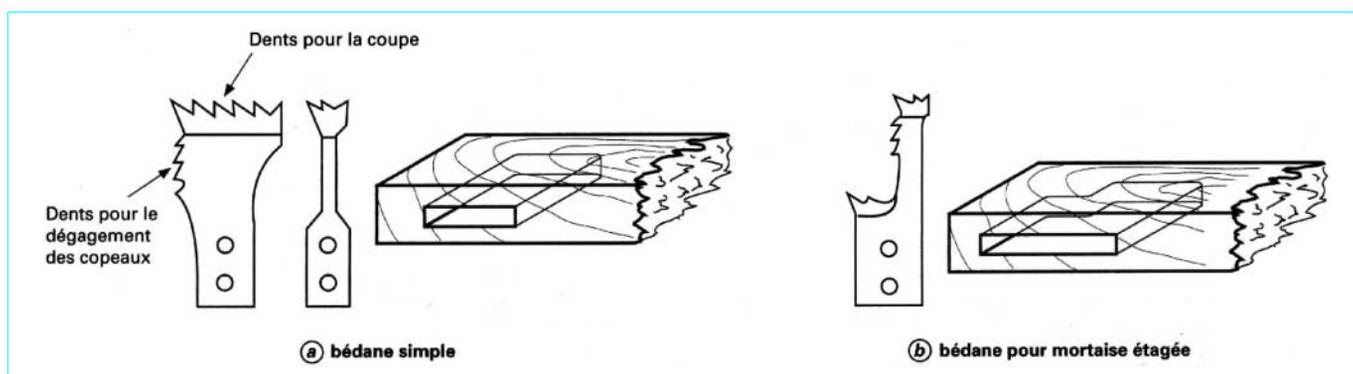


Figure 25 – Mortaisage au bédane vibrant unique : principes

Ce mode de mortaisage est apprécié pour sa rapidité et sa précision et correspond à une forme de tenon facile à exécuter. Le fond, quasi plat, permet d'utiliser au maximum la profondeur de la mortaisage, ce qui améliore la solidité de l'assemblage. Des outils de formes particulières permettent l'exécution de mortaises étagées, encore utilisées en menuiserie (figure 25b).

1.3.5.2 Mortaisage au bédane triple

Ce procédé est exploité par une seule entreprise française, la société Parveau, qui exploite le brevet *Alternax*.

Un couteau central, animé d'un mouvement oscillant, creuse la mortaise en détachant la quasi-totalité des copeaux. De part et d'autre de sa course est installé un couteau animé d'un mouvement rectiligne alternatif (figure 26). Ces deux couteaux taillent les bouts de la mortaise et contribuent à l'évacuation des copeaux. L'épaisseur des couteaux détermine la largeur de la mortaise, alors que les autres dimensions sont fonction des réglages de la machine.

Ces outils sont assez fragiles, ils doivent donc être l'objet de soins particuliers pour leur affûtage et leur utilisation. Ce mode d'usinage est utilisé pour la réalisation de mortaises, mais aussi pour de nombreux entaillages de petites tailles, car la qualité de l'exécution est très élevée.

1.3.5.3 Mortaisage à la mèche

Son domaine d'application privilégié est la fabrication de sièges (chaises en particulier) et de petits objets. En effet, la mèche réalise une entaille oblongue, qui affaiblit moins la résistance mécanique des pièces entaillées que les mortaises rectangulaires (figure 27). Cette particularité est très intéressante lorsqu'il s'agit de fabriquer des objets soumis à des contraintes importantes et dont la section des pièces qui les composent est faible.

Ce moindre affaiblissement est dû à plusieurs facteurs :

- à longueur de mortaise égale, la section de bois restant est plus grande ;
- il n'y a pas d'arêtes vives, donc moins de concentrations de contraintes ;
- à l'autocentrage du tenon dans la mortaise, lorsque les usinages sont réalisés précisément, qui répartit la colle sur les deux faces de façon équilibrée.

1.3.5.4 Mortaisage à la chaîne

L'outil est une chaîne sans fin dont chacun des maillons est une dent. Cette chaîne est guidée par une lame métallique qui permet à l'outil de pénétrer dans le bois sans déviation (figure 28). La chaîne est animée du mouvement de coupe par l'intermédiaire d'un pignon installé en bout de l'arbre moteur, sur lequel elle vient s'enrouler. Les deux pas du pignon et de la chaîne doivent correspondre.

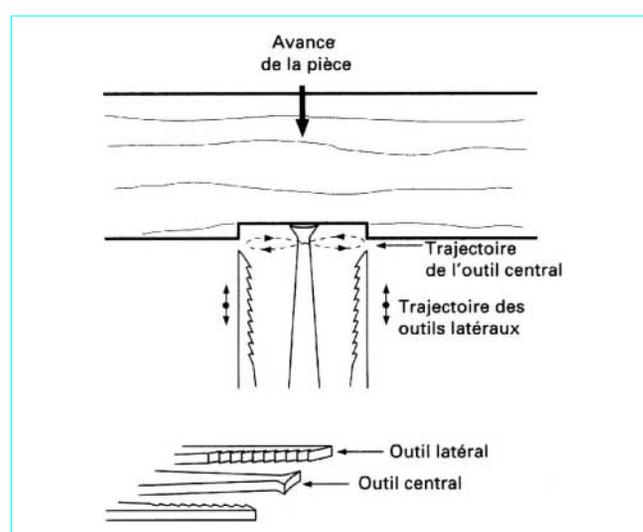


Figure 26 – Mortaisage au bédane à trois couteaux : principe

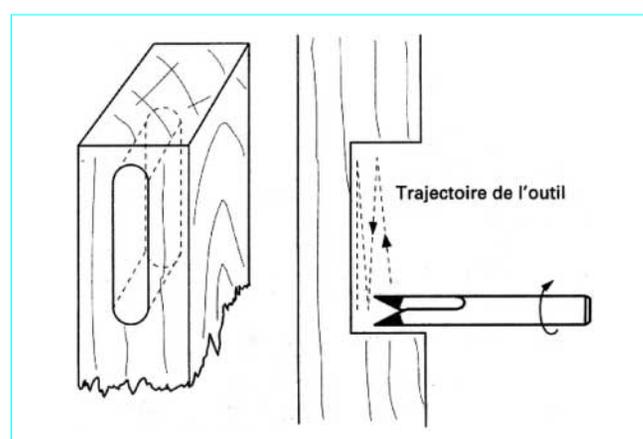


Figure 27 – Mortaisage à la mèche : principe

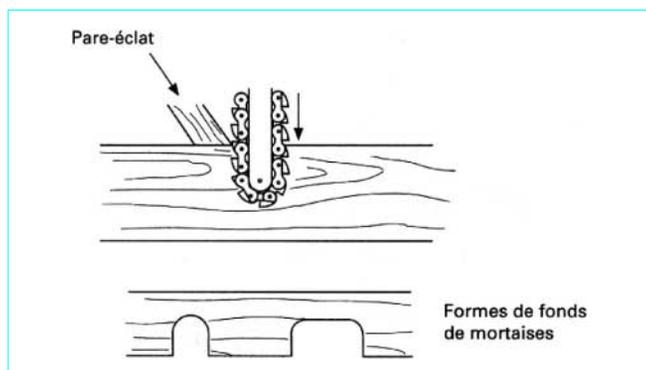


Figure 28 – Mortaisage à la chaîne : principe

Les caractéristiques des chaînes sont l'épaisseur, qui détermine la largeur de la mortaise, le pas (distance entre deux maillons) variant selon les modèles de 13,7 à 22,6 mm, la longueur correspondant à la machine. Les angles de coupe sont faibles (de 4 à 8°), ainsi que ceux de dépouille (8 à 10°).

Les mortaises sont à fond arrondi pour les plus étroites et à angles arrondis pour les plus larges (figure 28). La pénétration du tenon est ainsi réduite, ce qui limite les possibilités d'emplois.

Bien qu'un pare-éclats soit installé à la sortie des maillons, la qualité et la précision d'exécution ne sont pas parfaites. Ces machines sont appréciées lorsque les mortaises sont de grandes tailles ou qu'une qualité parfaite n'est pas recherchée. Il existe des modèles portatifs, très utiles en charpente.

1.3.6 Perçage

Cette opération est souvent préliminaire à un assemblage : pose de tourillon, installation d'une quincaillerie, etc. En général, les exigences de l'utilisateur sont de deux ou trois ordres : évacuation des copeaux, absence d'éclats sur les faces d'entrée et de sortie et, parfois, rectitude du trou.

Le faible volume de copeaux à réaliser autorise de faibles puissances (quelques kilowatts).

1.3.6.1 Évacuation des copeaux

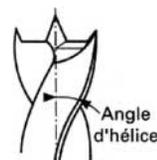
Chaque fois qu'un trou est réalisé, il faut évacuer les copeaux formés. Cette contrainte ne pose pas de problème particulier lorsque la profondeur de perçage est faible. Par contre, dès que l'on atteint des profondeurs de l'ordre de sept à dix fois le diamètre, l'évacuation des copeaux commence à devenir délicate.

Schématiquement, on peut considérer qu'il y a **deux façons d'évacuer des copeaux**.

— Dans la **première**, le copeau détaché par l'arête de coupe est poussé par le copeau suivant, qui est lui-même poussé par son successeur, etc. On conçoit très bien que cette façon de procéder est efficace, à condition que le dernier copeau n'ait pas trop de matière à chasser devant lui : c'est le cas lorsque le trou n'est pas profond. Passé une certaine profondeur, variable selon les essences de bois, l'humidité et la forme de l'outil, les frottements internes sont plus grands que l'effort développé par le dernier copeau. Il ne peut plus avancer, il y a *bourrage*. Il faut alors retirer l'outil du trou, évacuer l'amalgame de copeaux carbonisés et reprendre le cycle. C'est ce que l'on appelle la *débouillage*. Cette façon de procéder pénalise la production et accélère l'usure de l'outil.

— La **seconde façon** consiste à expulser dynamiquement chaque copeau par l'action de l'outil. Il ne se forme plus de bourrage, la qualité du perçage est ainsi améliorée, de même que la tenue de

coupe. Cette évacuation positive des copeaux se réalise dès lors que l'angle d'hélice atteint ou dépasse 42° et que la profondeur des goujures correspond au volume des copeaux formés (il ne faut pas oublier que le foisonnement – volume total de copeaux divisé par volume réel de matière – augmente de 2 à 2,5 fois le volume des copeaux formés). Ces deux contraintes diminuent quelque peu la rigidité de l'outil, surtout dans les faibles diamètres, ce qui peut occasionner des déviations.



Le bourrage peut également avoir pour origine un affûtage mal conduit. Si une arête n'est pas au même niveau que l'autre (cas fréquent d'outil à deux coupes), les copeaux sont détachés par une seule dent, ou tout au moins sont plus épais sur une dent que sur l'autre, et le volume à évacuer n'est pas uniformément réparti entre les deux goujures. Il y a alors bourrage de la goujure la plus chargée.

Ce défaut est facilement diagnostiqué par l'examen de l'outil, où l'on ne trouve des copeaux carbonisés que dans une seule goujure. L'affûtage à *la volée* est à proscrire absolument car il ne permet pas la précision requise.

1.3.6.2 Qualité des faces

Le critère de qualité est généralement l'absence d'éclats sur les faces d'entrée et de sortie. Il est directement **fonction de la forme de la pointe de l'outil**.

En effet, il en est du perçage comme des autres opérations d'usinage : le bois et les matériaux dérivés ont un piètre comportement sous une action mécanique de traction perpendiculaire aux fibres. Lorsque la mèche pénètre dans le matériau, elle opère par compression et peu de défauts apparaissent. Lorsque c'est le cas, ils proviennent d'une rupture des fibres par flexion, et non par cisaillement. Pour les supprimer, il faut inciser les fibres avant de les détacher : c'est le rôle des *traceurs* (figure 29a). Par contre, en sortie, il y a flexion des fibres, donc arrachement en périphérie du trou, surtout si l'outil est muni de traceurs.

Il y a donc une contradiction à obtenir de bons résultats, à la fois à l'entrée et à la sortie de l'outil, lorsque le trou est débouchant.

Comme la solution du pare-éclats n'est pas facile à mettre en œuvre au perçage, on choisira un compromis qui satisfait à la fois la qualité à l'entrée et à la sortie : l'adoption d'outil à angle de pointe très faible, de l'ordre de 60° (figure 29b). Ces outils, souvent exécutés en carbure de tungstène, conviennent bien aux perçages débouchants de panneaux mélaminés.

Pour les trous non débouchants de diamètre relativement élevé, à partir de 18 mm, il est possible d'utiliser des outils à plaquettes jetables en carbure de tungstène, qui suppriment l'affûtage, toujours difficile à exécuter sur ces outils.

1.3.6.3 Déviation

C'est un défaut qui n'apparaît que lors de perçages profonds. Il est un peu la conséquence de l'amélioration de l'efficacité de l'évacuation des copeaux. Il s'agit de trouver un juste équilibre entre ces deux objectifs contradictoires, évacuation et rectitude. Une pyramide ou un cône de centrage contribue à limiter les écarts.

Il faut savoir que la propension à la déviation est considérablement augmentée avec un outil mal affûté, quand les arêtes de coupe ne sont pas rigoureusement identiques. Les efforts de coupe ne sont plus symétriques et contribuent à entraîner l'outil dans une trajectoire non contrôlée. De même, un outil désaffûté ne garantit pas une bonne trajectoire.

1.3.7 Tournage

Le tournage permet l'obtention de pièces de formes de révolution mais aussi, grâce à des dispositifs et matériels spéciaux, des objets de formes variées (croses de fusils, manches d'outils, sabots, etc.).

■ Tour à bâtons ronds

L'ébauche de section carrée passe sans tourner dans un anneau muni de couteaux animés d'un mouvement de rotation. Le choix de l'outil détermine le diamètre du bâton obtenu.

■ Tour classique

La pièce est animée d'un mouvement de rotation, qui génère la vitesse de coupe. Elle varie de 3 m/s pour les pièces longues, à 15 m/s lorsqu'elles sont courtes.

Les outils peuvent se présenter de différentes façons face à la pièce :

— le mouvement d'avance est pratiquement parallèle à l'axe de rotation ; c'est le **chariotage**. Souvent, la trajectoire de l'outil est imposée par le copiage d'un gabarit, qui permet d'obtenir la forme souhaitée, et de façon répétitive. L'angle de coupe, fonction de la position de l'outil par rapport à l'axe de rotation et du diamètre de la pièce, doit être de 50° environ ;

— le mouvement d'avance est perpendiculaire à l'axe de rotation ; on travaille en **plongée**. L'outil a la forme exacte de la pièce à obtenir. L'angle de coupe est de 60° .

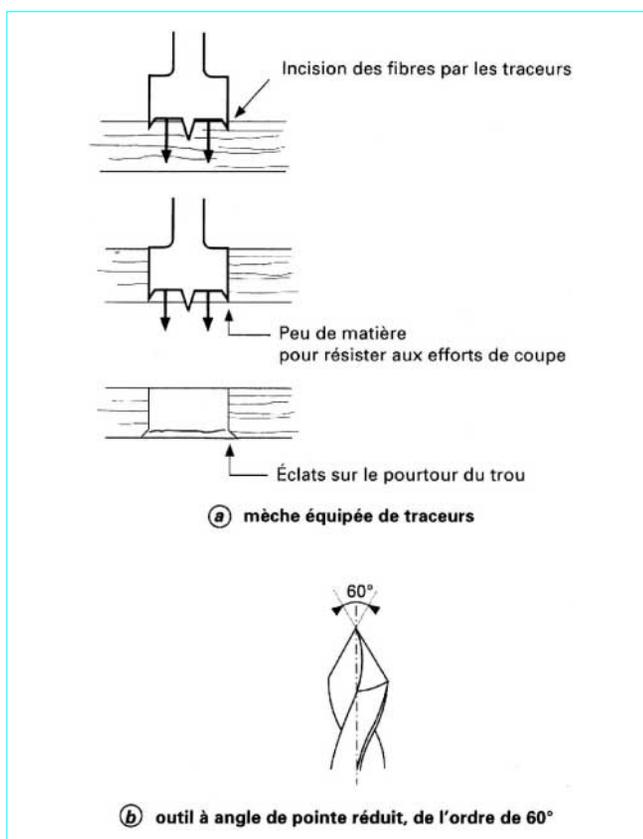


Figure 29 – Qualité des faces en fonction de la forme de la pointe de l'outil

De nombreux tours automatiques combinent ces deux formes d'action. Pour la réalisation de pièces creuses (bols, saladiers, etc.), on utilise un tour où la pénétration de l'outil se fait sur une face, parallèlement à l'axe. Dans ce cas, l'angle de coupe est voisin de 20 à 30° .

Dans tous les cas, l'angle de taillant est de 25 à 35° . Les outils sont souvent en acier. Pour le tournage de bois abrasifs, on utilise aussi le Tantung et plus rarement le carbure de tungstène.

Lorsque la pièce est élançée, il est indispensable de la maintenir le plus près possible de l'outil, pour éviter sa flexion. C'est le rôle dévolu à la lunette qui se déplace tout le long de la pièce.

■ Tour à reproduire

Ce tour usine, le plus souvent, plusieurs pièces simultanément. Elles sont toutes fixées parallèlement les unes aux autres, et leur mouvement de rotation est lent. Un ensemble de fraises, montées sur un berceau, se déplace selon une trajectoire définie par une pièce modèle en bois dur ou en métal. Chaque fraise est animée d'une vitesse de rotation élevée qui lui confère une vitesse de coupe de 35 à 50 m/s environ. Le mouvement d'avance des fraises est continu, parallèle à l'axe des pièces.

■ Tour à torsades ou à cannelures

C'est un tour classique, équipé d'une tête de défonçage qui se déplace parallèlement à l'axe de la pièce. La pièce peut être immobile pendant que la fraise de défonçage avance, et l'on obtient une cannelure. Si la pièce tourne lentement, l'avance de la fraise lui est asservie mécaniquement, et l'on usine une torsade. Les angles de ces outils, fraises à défoncer, sont ceux des outils à profiler (angle de coupe de 15 à 25° selon les bois, 12° de dépouille).

1.3.8 Ponçage

Le ponçage est une opération d'usinage par abrasion destinée à obtenir une cote (**calibrage**, **affleurage**) ou un état de surface déterminés. Le ponçage peut être effectué sur des pièces déjà vernies : on le qualifie alors d'**égrenage** (il s'agit dans ce cas d'une opération de finition).

L'outil est particulier dans la mesure où il est composé d'une multitude de grains abrasifs, déposés sur un support souple (bande, figure 30) ou noyés dans une structure semi-rigide (roue abrasive, meule souple). Chaque grain se comporte comme une arête de coupe et détache un copeau lors de son passage sur le bois. À la différence des outils tranchants, on ne maîtrise pas la géométrie du grain abrasif et, en particulier, on ignore l'angle de coupe (on le considère systématiquement négatif). Chaque grain réalise un sillon que l'on veut d'autant plus fin que le degré de finition recherché est grand.

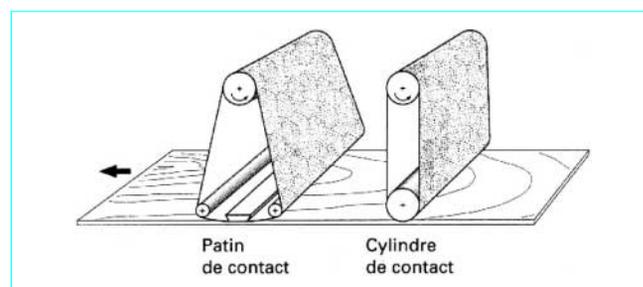


Figure 30 – Ponçeuse à large bande (à 2 bandes) : schéma de principe

1.3.8.1 Outils

Nota : le lecteur se reportera utilement à l'article *Abrasifs* [B 7 050] dans ce traité.

■ Abrasifs

Le grain abrasif, comme tout outil, doit être dur, tranchant et résistant à l'usure et à l'élévation de température. Parmi les matériaux connus répondant à ces critères, certains sont d'origine naturelle, d'autres sont élaborés synthétiquement.

Les *abrasifs naturels* sont le silex, le rubis, le grenat ou l'émeri. Ils sont connus depuis longtemps et sont encore employés, essentiellement pour des travaux manuels, mais leur part de marché diminue.

Les *abrasifs artificiels* sont essentiellement le corindon (cristal d'alumine Al_2O_3) et le carbure de silicium SiC. Le corindon est utilisé pour le ponçage du bois massif, car ses arêtes s'arrondissent par l'usure et son pouvoir tranchant diminue progressivement. Le carbure de silicium se comporte différemment : lorsque ses arêtes commencent à s'émousser et que les efforts de coupe croissent, le grain se brise (on parle de *clivage*) et génère ainsi de nouvelles arêtes de coupe tranchantes. Cette capacité à se régénérer est très appréciée pour les ponçages de finition, à l'égrenage en particulier, car les sillons tracés dans la matière restent fins.

Le *diamant synthétique* est aussi un abrasif intéressant, mais son prix très élevé limite ses applications : il est actuellement utilisé pour le ponçage d'autres matériaux que le bois et les panneaux.

■ Bandes abrasives

Elles sont composées d'un support souple sur lequel sont fixés les grains abrasifs par l'intermédiaire d'un liant (article *Abrasifs* [B 7 050] dans ce traité). La combinaison de ces trois paramètres définit les cas d'emplois :

- *le support* : il peut être en papier, en toile, en fibre, ou une combinaison de ces matériaux. Pour des enlèvements de matière importants et plans, un support raide est préférable (toile ou papier épais). Au contraire, le ponçage manuel de moules nécessite un support souple (papier ou toile très fine) pour épouser les formes de la pièce ;

- *le liant* : il est utilisé pour fixer les grains abrasifs sur le support. Le maintien des grains se fait par deux couches de liant, qui peuvent être de natures identiques ou différentes. Les liants sont la colle d'origine animale, souple mais peu résistante aux efforts et à la chaleur, et les résines synthétiques, rigides et résistantes. On combine souvent les deux familles : première couche à la colle animale et surcollage à la résine synthétique, pour obtenir un ensemble à la fois souple et résistant.

Les caractéristiques d'une bande abrasive sont :

- la nature du support (papier ou toile) et son grade de résistance ;

- la nature de l'encollage et du surcollage ;
- la nature de l'abrasif ;

- la dimension de ses grains : elle est caractérisée par un nombre correspondant au nombre de mailles du tamis de 25,4 mm de côté qui a servi au tri des grains. Plus le nombre est élevé, plus le grain est fin ;

- la structure qui correspond à la densité du poudrage : une structure fermée signifie la juxtaposition des grains d'abrasif sur la bande. Au contraire, une structure ouverte correspond à un espacement plus ou moins grand entre les grains.

■ Roues abrasives

Il existe deux grandes familles de roues à abrasifs incorporés : celle où les abrasifs sont fixés sur des fils enchevêtrés et celle où les abrasifs sont noyés dans un liant.

Dans le premier cas, les grains sont déposés sur des fils de nylon qui sont assemblés dans une structure non tissée. La nappe ainsi constituée est soit enroulée en spirale autour d'un moyeu (il est important de respecter le sens de rotation de telles roues pour éviter de les « dévider »), soit découpée en lamelles assemblées radialement sur un moyeu (il n'y a pas de sens de rotation privilégié).

Dans le second cas, les grains sont déposés dans un liant (de la mousse polyuréthane) et la roue ressemble à une meule (on les appelle d'ailleurs *meules souples*).

La particularité de toutes ces roues est de s'user lors de leur utilisation, ce qui oblige l'utilisateur à de fréquents réglages ou bien à les monter sur des machines à rattrapage d'usure automatique, tout en augmentant régulièrement leur vitesse de rotation pour conserver une vitesse de coupe quasi constante.

Comparativement aux bandes abrasives, ces roues ont des capacités d'enlèvement de matière très faibles et ne doivent être utilisées que lorsque l'état de surface après usinage est exempt de tout défaut. Elles servent essentiellement à préparer les opérations de vernissage ou de laquage ultérieur.

Pour le ponçage manuel (reprises, cassage d'arêtes ou finition de pièces moulurées), des *éponges* garnies d'abrasifs sont apparues récemment. Leur souplesse et leur prise en main aisée contribuent à leur développement.

1.3.8.2 Règles générales du ponçage

De nombreux facteurs influent sur la qualité du ponçage et la quantité de matière enlevée. Ces deux critères sont en général contradictoires : un gros enlèvement de matière se traduit par une surface rayée assez profondément, donc peu esthétique. Lorsqu'il y a beaucoup de matière à enlever, il est obligatoire de procéder en plusieurs étapes, la première passe ayant pour objet de calibrer, alors que les suivantes vont devoir supprimer les sillons de la première. À chacune de ces passes successives, la quantité de matière supprimée diminue et la qualité augmente.

Les ponceuses doivent être précises ($\pm 0,05$ mm) car c'est une opération de finition. Selon les travaux à exécuter, les puissances peuvent être très élevées : plusieurs millimètres à enlever nécessitent une puissance de 50 ou 60 kW ! Des travaux plus simples sont faits sur des machines de 10 à 30 kW.

Les critères influant sur la **qualité du ponçage** sont nombreux. Parmi ceux-ci, les plus importants sont les suivants :

- **la grosseur du grain** : toutes conditions égales par ailleurs, un gros grain (80 par exemple) enlève davantage de bois mais laisse des traces plus visibles qu'un grain fin (180 par exemple). Pour le travail du bois brut, les grosseurs courantes vont de 60 à 180, selon une progression particulière. En finition, on atteint 220 ou 250 ;

- **la pression exercée** : le paramètre à retenir est la pression spécifique, c'est-à-dire l'effort d'application de l'abrasif sur le matériau divisé par la surface de contact. Cette pression est difficilement mesurable mais on connaît son évolution :

- elle est proportionnelle à l'effort exercé,
- elle augmente avec la grosseur des grains,
- elle est plus grande avec une bande à structure ouverte,
- elle est plus faible sous un patin que sous un cylindre,
- elle diminue lorsque le diamètre du cylindre augmente,
- elle augmente en même temps que la dureté du cylindre ou du patin,
- elle est accentuée par la présence de cannelures sur le cylindre,
- elle est inversement proportionnelle à l'inclinaison d'éventuelles cannelures.

La quantité de matière enlevée est proportionnelle à cette pression spécifique ;

- **la nature de l'abrasif** : l'oxyde d'aluminium trace des sillons larges et peu profonds, comparativement au carbure de silicium ;

- **la vitesse de coupe** : une vitesse élevée diminue la pénétration de l'abrasif dans le bois, entraîne un échauffement plus grand, une usure et un encrassement plus rapides. Il est recommandé de travailler à :

- 25 à 30 m/s avec du corindon sur du bois massif tendre et 20 à 25 m/s sur du bois dur ou des panneaux,
- 20 à 25 m/s avec du carbure de silicium sur du bois brut,
- 10 m/s pour l'égrenage de vernis avec du carbure de silicium ;

- **le sens de ponçage par rapport aux fibres** : la quantité de matière enlevée est plus grande en ponçage en travers du fil qu'en long. Les traces sont plus profondes et aussi plus visibles car elles

ne se confondent pas avec les fibres. Ces deux raisons expliquent pourquoi on est amené à poncer bien plus finement en travers du fil qu'en long, pour un résultat parfois moins esthétique ;

— **l'encrassement de la bande** : chaque grain abrasif détache un copeau qui doit être évacué. S'il reste sur la bande, il n'existe plus de possibilité pour loger les copeaux suivants et, rapidement, la bande perd son pouvoir coupant. Le colmatage s'accélère très vite avec l'élévation de température. Pour éviter ce colmatage, il faut une aspiration performante, accompagnée éventuellement de rampes de buses d'air comprimé qui aident au décollement des copeaux. Une bande colmatée n'enlève plus de matière, lustre ou brûle la surface poncée. L'encrassement survient plus souvent lors du ponçage de bois résineux. Pour le limiter, on utilise des bandes à structure ouverte, où les copeaux ont plus d'espace pour se loger. Si, malgré ces précautions, la bande se colmate avant de s'user, il est possible de la décrocher soit chimiquement en la laissant tremper dans un bain dissolvant les résines (la composition du bain doit être choisie en fonction de la nature du support), soit mécaniquement en ponçant du crêpe (cette opération est impossible sur certaines machines). Il existe également des bandes dites *antistatiques* (elles sont traitées superficiellement au stéarate de zinc) qui s'encrassent moins rapidement.

1.3.8.3 Principales formes de ponçage

Les opérations de ponçage se classent en deux grandes familles, selon que l'on traite des pièces planes ou moulurées.

■ Ponçage des surfaces planes

La machine la plus simple est celle équipée d'une bande longue et d'un patin appliqué manuellement sur la pièce. Sa production est limitée et la qualité du travail est bonne mais tributaire de l'opérateur.

Plus performantes sont les ponceuses larges-bandes (figure 30), qui peuvent parfois calibrer et égrener. Elles peuvent être équipées :

— d'une poutre transversale, montée en premier poste. La pression est souvent appliquée par une succession de patins actionnés indépendamment les uns des autres. Cette poutre a pour vocation de préparer les pièces avant le passage sous le patin ;

— d'un (ou deux) cylindre(s) de contact. Pour le calibrage, un cylindre de 85 à 90 shore (indice de dureté des corps mous comme le caoutchouc) s'impose, alors qu'il ne sera que de 60 shore pour un ponçage universel et descendra jusqu'à 40 shore pour les ponçages de grande finition ;

— d'un patin, revêtu d'une toile graphitée ou chargée de micro-billes, facilitant le glissement de la bande et évitant son échauffement. Ce patin est parfois proposé sectionné pour le ponçage précis des seuls montants de cadres. Il évite ainsi le ponçage des traverses, toujours disgracieux car les traces sont en travers du fil.

La table sur laquelle défilent les pièces peut être fixe ou flottante, ce dernier cas étant réservé au ponçage de panneaux plaqués. Lorsqu'elle est flottante, l'opérateur a la possibilité de la bloquer pour pouvoir calibrer.

Ces ponceuses ont remplacé les ponceuses à cylindre, qui ne sont plus utilisées que dans de très rares cas, car la bande est courte et s'encrasse rapidement. Ce type de machine ne subsiste plus que pour l'égrenage, avec un cylindre très mou (16 à 20 shore).

Selon la qualité de l'usinage amont et de la finition recherchée, la séquence (succession des bandes) peut varier, mais, pour la finition de bois massif sur une ponceuse à deux cylindres et un patin, elle est voisine de 100, 150 puis 180.

■ Ponçage des moulures ou des chants moulurés

Selon que les pièces seront courbes ou rectilignes, on utilise des systèmes différents.

● **Ponçage des pièces courbes** : la seule solution consiste à utiliser des roues soit à abrasifs incorporés, soit à abrasifs appliqués. Dans le *premier cas*, la roue est taillée au contre-profil exact de la pièce, qui est ensuite poncée au défilé. Le profil se conserve au fur et à mesure de l'usure, si l'on prend soin de bien orienter la roue par

rapport à la pièce (figure 31a). Il faut rattraper l'usure en permanence et augmenter de temps à autre la vitesse de rotation. Dans le *second cas*, la roue est en caoutchouc, ou toute matière équivalente, taillée également à la contre-forme de la pièce. Une fois cette opération terminée, on colle à sa surface une bande abrasive, souvent découpée en lamelles. Cette opération, longue et délicate si l'on veut respecter le profil initial, doit être répétée chaque fois que l'abrasif est usé et doit être remplacé. Ces roues ne s'usent pas lors du travail, et le ponçage s'en trouve facilité, d'autant que l'utilisateur a un grand choix d'abrasifs, alors que ce n'est pas le cas pour les roues à abrasifs incorporés.

Il existe également des roues munies d'un réservoir de bande abrasive taillée en lamelles. Ces bandes sont appliquées à la surface de la pièce par des poils de brosse (figure 31b). Ces roues ne respectent pas les profils (les arêtes vives sont arrondies), ne permettent pas un ponçage régulier et l'enlèvement de matière est des plus limités.

Un fabricant allemand, la société Arminius, a développé un système original constitué d'une roue métallique sur laquelle se monte un bandeau souple (figure 31c). Sur ce bandeau, on vient fixer un disque préparé par ce même fabricant et garni à sa périphérie d'une bande abrasive. L'utilisateur jette ce disque après usure et le remplace par un neuf. Cette solution n'est envisageable que pour de grandes séries. Elle présente également l'inconvénient de lier l'utilisateur à un seul fournisseur.

● **Ponçage des pièces rectilignes** : les mêmes roues peuvent être employées, mais l'on peut avoir recours à d'autres solutions, comme le patin vibrant. Un patin, en liège ou caoutchouc, taillé au contre-profil de la pièce est revêtu d'une bande abrasive. Ce patin est animé d'un mouvement alternatif imitant le mouvement de la main. Cette solution est simple, mais le patin s'encrasse assez vite. Des systèmes astucieux (nettoyage par air comprimé par exemple) limitent cet inconvénient.

On peut utiliser également une bande longue et souple, en l'appliquant sur la pièce par un patin de forme. Cette technique est très performante (qualité et production élevées), mais impose une machine onéreuse et longue à régler. C'est la solution idéale pour les séries importantes.

1.3.8.4 Défauts du ponçage

Hormis le brûlage et le lustrage, déjà évoqués, bien d'autres défauts peuvent apparaître sur les pièces poncées.

— **Marques transversales régulières** : ces traces proviennent souvent du joint de la bande. En effet, la bande est réalisée à partir d'un ruban dont les deux extrémités sont réunies par collage. Il faut bien sûr éviter toute surépaisseur ; c'est pourquoi les joints classiques sont biseautés, puis meulés (figure 32). À cet endroit, il n'y a plus de grains abrasifs, et c'est le support qui frotte sur le bois, d'où des marques régulières. Lorsqu'elles apparaissent, il faut trouver avec son fournisseur un autre type de joint (figure 32). Ce défaut peut aussi avoir pour origine un défaut d'équilibrage du cylindre ou, plus rarement, une avance irrégulière des pièces.

— **Sillons visibles après un ponçage longitudinal** : il faut poncer avec un grain plus fin, diminuer la pression d'application, travailler avec un cylindre de plus grand diamètre et moins dur ou, mieux, avec un patin de contact.

— **Sillons visibles après un ponçage transversal** : il faut appliquer les mêmes règles que précédemment, en diminuant davantage encore la grosseur des grains et en inclinant si possible les pièces par rapport au défilement de l'abrasif.

— **Traces éparses et irrégulières** : elles sont dues à des grains abrasifs qui se sont détachés de la bande et naviguent entre elle et la pièce. Il faut éviter que des grains se détachent (il faut supprimer tout choc entre la bande et la pièce), bien dépoussiérer et aspirer.

— **Zones non poncées** : la bande a été détériorée, les abrasifs ayant été arrachés à un endroit de la bande (présence d'agrafe par exemple). Le remplacement de la bande s'impose.

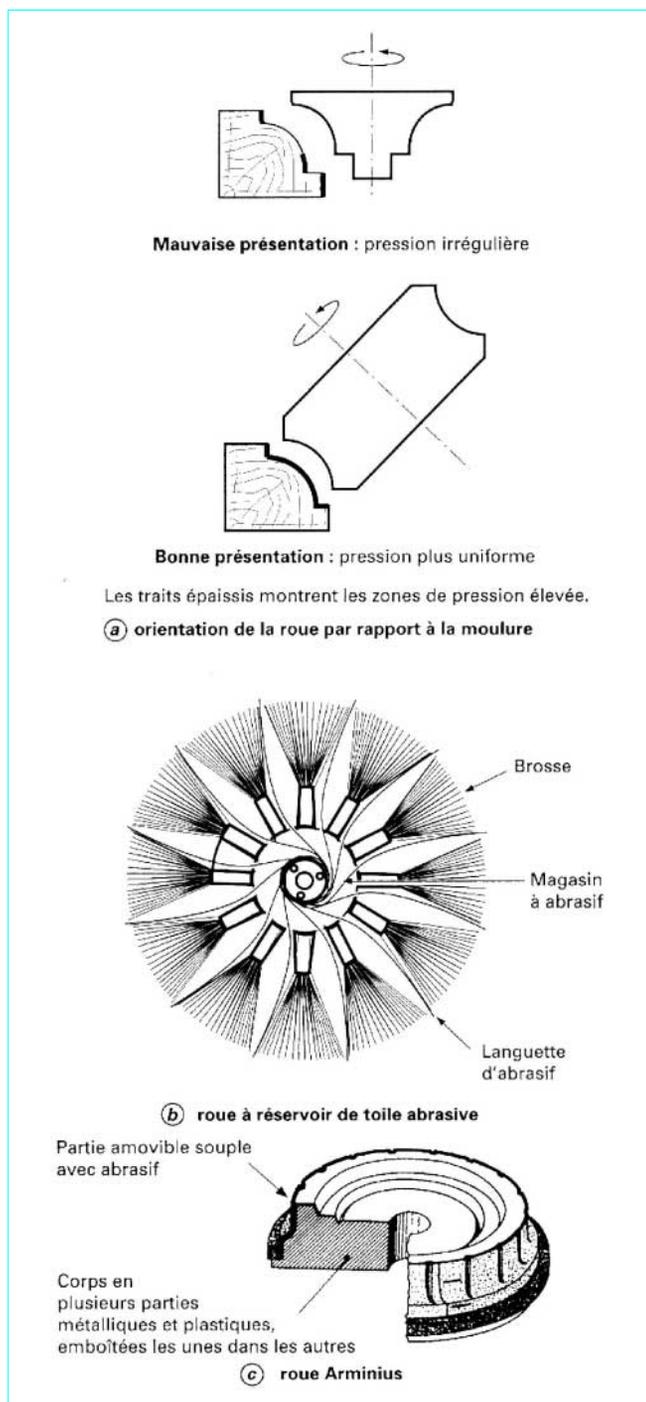


Figure 31 – Différents systèmes de ponçage des moules ou chants moulurés (pièces courbes)

— **Perce** (ponçage total du placage jusqu'à l'apparition du support) : le ponçage de pièces plaquées est délicat, car le revêtement est très mince. Pour éviter de « percer », il est préférable de calibrer les panneaux-soutiens avant de les plaquer, de façon à avoir une épaisseur rigoureusement constante. Sinon, on peut utiliser une

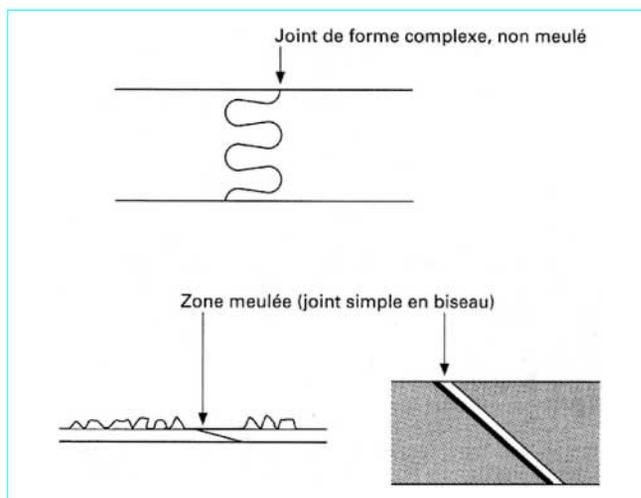


Figure 32 – Défauts de ponçage : formes de joints de bande laissant des marques transversales

ponceuse à bande longue où le patin est appliqué manuellement et où l'opérateur doit maîtriser en permanence sa pression. Mais, dans l'industrie, la ponceuse large bande équipée d'une table flottante qui va s'adapter aux éventuelles variations d'épaisseur est préférable.

— **Mouchage des arêtes des pièces en entrée et sortie** : ce défaut est dû à la compressibilité du support de la bande (cylindre ou patin). La meilleure façon de l'éviter est d'utiliser une machine équipée d'une poutre sectionnée, où la pression n'est réellement appliquée qu'aux endroits souhaités.

1.3.8.5 Ponçage par tribofinition

La tribofinition est utilisée depuis des décennies pour ébarber et polir des pièces métalliques. Ce procédé est appliqué au bois depuis quelques années ; il consiste à immerger la pièce à poncer dans un bain constitué de billes abrasives de quelques millimètres de diamètre et à animer l'ensemble d'un mouvement vibratoire. Le frottement des billes enlève de la matière en surface. L'avantage de ce système est de permettre le ponçage de pièces de toutes formes sans aucun réglage, y compris lorsque les pièces sont déjà assemblées, comme des chaises par exemple. Ses limites sont l'impossibilité de poncer l'intérieur d'angles aigus (les billes n'y pénètrent pas), l'enlèvement de matière très faible et inégal, l'immobilisation d'un très grand volume d'abrasif. Ce système est actuellement développé pour l'égrenage.

2. Usinage sans formation de copeau

2.1 Fendage

Le fendage sépare le bois dans le sens des fibres. On y arrive en faisant pénétrer un coin. Le fendage est impossible dans la direction perpendiculaire aux fibres. Pour faciliter la pénétration, le coin a une conicité très faible, de 10 à 15°.

La fente se propage bien en avant de l'arête du coin, selon la direction du plan de moindre résistance. Les fibres ne sont pas tranchées, mais séparées.

Outre le bois de chauffage, cette opération sert à préparer des pièces de tonnellerie, les douelles.

2.2 Déroulage

Le déroulage sert à réaliser un placage continu, par la combinaison d'un mouvement de rotation du bois et de l'avance en plongée de l'outil. Le mouvement relatif est une spirale dont le pas est égal à l'épaisseur du placage (figure 33). Les placages obtenus par déroulage sont généralement destinés à la fabrication de panneaux contreplaqués. Le déroulage nécessite que les bois soient verts (chargés d'eau au-delà du point de saturation des fibres) et exempts de grosses fentes ou gerces, qui altèrent la qualité du placage. De nombreuses essences ne sont déroulables qu'après étuvage dans de l'eau chaude. La durée et la température du traitement vont varier de 15 à 72 h et de 60 à 90 °C selon les essences, le diamètre des billes de bois et l'épaisseur des placages à fabriquer. Cet étuvage sert à plastifier les fibres et, par là-même, à diminuer la fissilité, mais aussi à ramollir les nœuds, ce qui limite les risques d'ébrécher l'arête de coupe.

■ Principe du déroulage

Le mouvement de rotation est transmis à la bille par des broches de différentes formes adaptées à la dureté des essences. Pour tirer le meilleur parti du bois disponible, on réduit le diamètre du noyau résiduel en utilisant des broches télescopiques.

Par l'intermédiaire d'une pignonerie, l'avance du couteau est indexée à la rotation de l'arbre.

Pour pénétrer dans le bois, selon une direction 0-90, le couteau doit avoir un bec le plus fin possible, compatible avec la résistance mécanique du matériau de coupe. C'est l'acier qui est retenu, l'angle de bec pouvant être de 18 à 22°.

La face de dépouille du couteau doit rester en appui sur la bille sur une distance de 3 à 4 mm environ, et cela quel que soit le diamètre du bois. Cela impose un angle de dépouille variant en continu de +2°, lorsque la bille est de grand diamètre, à -1° vers la fin du déroulage. Cette variation est automatique, grâce à un dispositif qui incline progressivement le couteau lorsqu'il se rapproche du centre de rotation.

Pour éviter qu'une fente se propage en avant de l'arête de coupe, il est nécessaire de comprimer le bois. C'est le rôle dévolu à une **barre de compression**, généralement statique, bien que des barres rotatives soient fréquemment utilisées aux États-Unis ou au Canada. Le réglage de cette barre définit le taux de compression qui doit être de 2 à 25 % (figure 34). L'angle de compression est de 10 à 25° selon les essences. La vitesse de coupe, vitesse périphérique du billon, varie selon les entreprises de 20 à 250 m/min, mais elle demeure constante lors du déroulage d'une bille, par accélération progressive de la vitesse de rotation (par un variateur hydraulique) au fur et à mesure de la diminution du diamètre.

Lorsque l'outil se rapproche du centre, la résistance mécanique du cylindre de bois diminue. Il est de plus en plus soumis à une flexion due aux efforts de coupe et, surtout, à l'effet de la barre de compression. Cette flexion engendre un placage irrégulier. Pour l'éviter, on installe un dispositif dit « antiflambage » à l'opposé de la barre de compression.

Ces machines permettent le déroulage de placages de 0,2 à 10 mm d'épaisseur, la qualité chutant lorsque l'épaisseur augmente.

Sur ces machines (ainsi que sur les trancheuses), on recherche simultanément la précision (quelques centièmes de tolérance sur l'épaisseur du placage) et l'état de surface, car des placages minces ne peuvent pas être poncés profondément. Ces installations demandent plusieurs dizaines de kilowatts.

■ Conseils pratiques

Un placage de bonne qualité doit être lisse, d'épaisseur régulière, serré (sans fentes de déroulage) et sans rayures. Il arrive pourtant que des placages soient défectueux. Les causes les plus fréquentes sont les suivantes :

- *placages ouverts* : une face est fissurée. L'origine peut être :
 - un taux de compression incorrect,

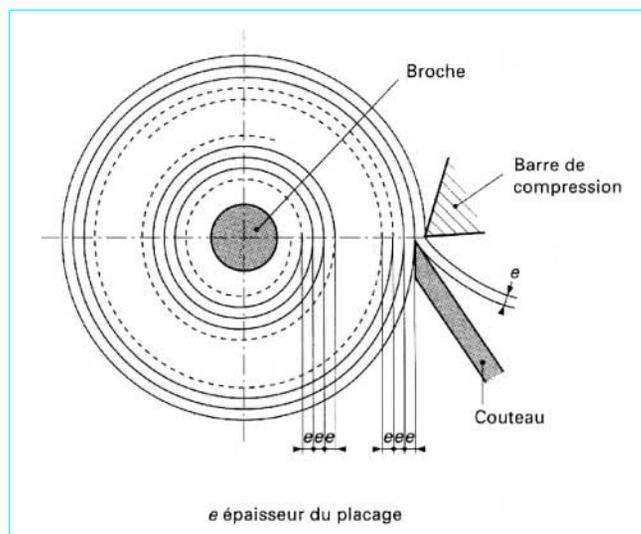


Figure 33 - Déroulage : schéma de principe

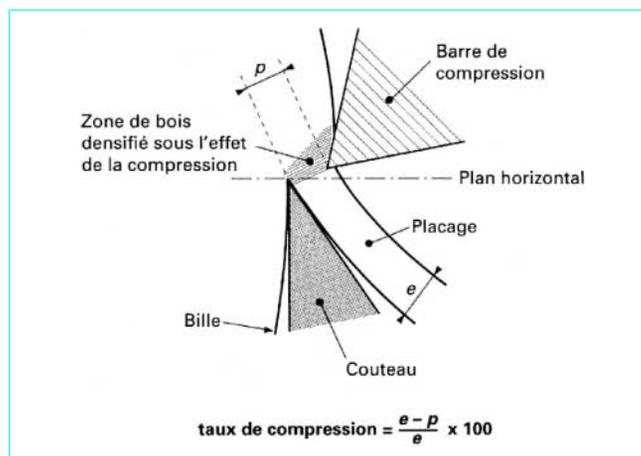


Figure 34 - Déroulage : effet de la barre de compression

- un étuvage insuffisant : la température lors du déroulage est trop basse, surtout si le bois est dur,
- un angle de bec trop grand,
- une cote verticale trop grande,
- un bois trop ancien, trop sec ;
- *placages rugueux* :
 - angle de bec trop grand,
 - bois insuffisamment étuvé ;
- *placages pelucheux* :
 - bois trop étuvé ou trop chaud,
 - couteau usé,
 - arête de la barre de compression trop vive. Il faut la pierrer pour faire un rayon de 0,3 mm ;
- *fil arraché* : angle de bec de la barre de compression trop faible ;
- *fil soulevé* :
 - bois contrefilé,
 - température d'étuvage insuffisante ;
- *placages striés* :
 - barre de compression ébréchée : stries sur la face fermée,
 - couteau ébréché : stries sur les deux faces ;

- placages ondulés :
 - bois trop sec,
 - angle de dépouille trop faible, talonnage trop grand ;
- placages d'épaisseurs irrégulières :
 - défaut de parallélisme entre le couteau et la barre de compression,
 - système anti-flambage absent ou mal réglé,
 - dilatation du couteau et de la barre de compression ;
- placages écaillés :
 - taux de compression trop grand,
 - barre de compression mal réglée.

2.3 Tranchage

Cette opération est très voisine du déroulage (§ 2.2), et elle obéit aux mêmes règles générales. Les principales différences sont :

- les placages obtenus sont de meilleure qualité. C'est ainsi que sont fabriqués les placages d'ébénisterie ;
- les feuilles sont de dimensions limitées, qui correspondent à celles de la section de la pièce tranchée ;
- le mouvement de coupe est alternatif, provenant de la pièce, de l'outil ou d'une combinaison des deux ;
- la lame est légèrement inclinée, ou bien animée d'un mouvement latéral.

Les outils, couteau et barre de compression (figure 35a), sont identiques à ceux de la dérouleuse, les réglages également, à l'exception de l'angle de dépouille qui reste constant tout au long du travail. Sa valeur est de quelques degrés.

Pour la fabrication de planchettes, destinées à l'emballage, on utilise des trancheuses à course réduite, mais aussi des machines où le bois est fixe et les couteaux fixés sur un cylindre tournant. La production de telles machines est élevée. Les planchettes ainsi fabriquées sont tuilées (déformées).

C'est pour éviter ce défaut de tuilage que deux collaborateurs du CTBA ont développé une trancheuse circulaire à rayon constant (figure 35b). Le bois se déplace dans le cylindre sur lequel sont fixés les couteaux. Le principe de la coupe reste inchangé, mais le rayon de rotation du cylindre est du côté de la face ouverte, ce qui a pour effet de fabriquer des produits plans.

2.4 Massicotage

Cette opération s'apparente au cisailage. Elle s'effectue sur un massicot et sert à découper les feuilles de placage.

L'outil est un couteau effilé (l'angle de bec est de 20°) qui pénètre le bois perpendiculairement ou tangentiellement aux fibres. Le massicot peut être :

- installé en sortie de dérouleuse pour purger le placage de défauts et découper les feuilles aux dimensions voulues. Ce massicot est entièrement automatique, équipé de systèmes de détection des défauts et de mesure des dimensions, pour autoriser des cadences élevées : jusqu'à 1 000 coupes par minute ;
- utilisé pour le jointage de placages d'ébénisterie. Il sert à affranchir les chants des placages, pour les assembler jusqu'à faire des feuilles de grande largeur. Certains massicots sont équipés de deux couteaux, légèrement décalés l'un par rapport à l'autre. Le second fait la coupe de finition.

Pour la fabrication de petits objets en placage, il existe un massicot rotatif s'installant à l'arrière de la dérouleuse (figure 36). Le couteau incise la bille, d'une profondeur rigoureusement identique à celle du placage. Au moment où le bois est déroulé, les planchettes se détachent d'elles-mêmes.

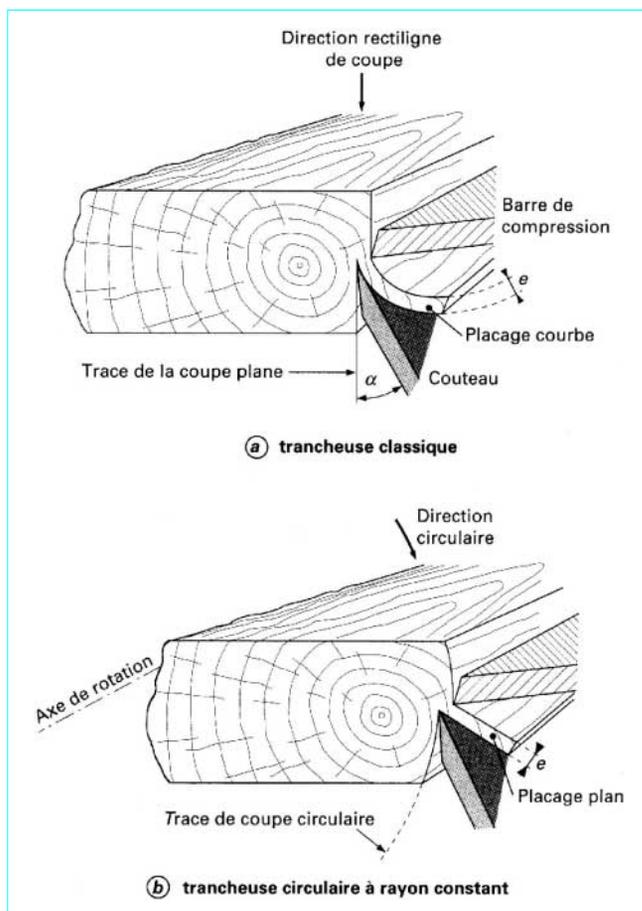


Figure 35 – Tranchage : schémas de principe

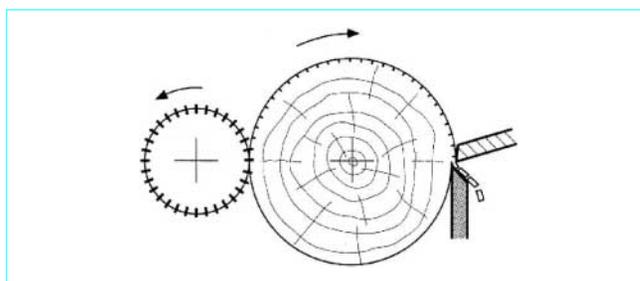


Figure 36 – Entaillage avant déroulage

2.5 Emporte-pièce

Cette technique permet de découper des pièces de formes diverses, correspondant à celles des matrices. Elle est très utilisée pour découper d'autres matériaux (carton, tissu, cuir, etc.), mais aussi pour les panneaux.

L'usinage par emporte-pièce donne des résultats médiocres pour le bois massif épais, car les fibres sont arrachées, mais les placages, les contreplaqués minces, les panneaux de fibres et de particules se découpent parfaitement de cette façon.

L'outil est une matrice équipée de filets en acier. L'angle de bec est très faible (20°). L'angle de coupe fait 70° , car l'angle de dépouille est nul.

Cette technique permet d'atteindre des cadences élevées, mais l'investissement (coût des matrices) exige des séries importantes, qui sont de plus en plus rares. Ce manque de souplesse explique le peu d'intérêt des professionnels pour ce mode d'usinage.

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 BESSET (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. Eurologna (1992).

Autres références

CAMPREDON (J.). – *Le bois*. 128 p. (coll. Quesais-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 54-171	12-71	Contreplaqué à plis (d'usage général). Classement d'aspect des panneaux à plis extérieurs d'essences feuillues tropicales.
NF B 50-002	8-61	Bois. Vocabulaire.	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 50-003	4-85	Bois. Vocabulaire (seconde liste).	NF B 56-010	10-80	Panneaux fibragglo. Définitions. Désignation.
B 50-004	4-69	Contreplaqué. Vocabulaire (EQV ISO 2074).	NF B 56-029	10-80	Panneaux fibragglo. Spécifications.
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).	Outillage coupant		
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).	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).
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.	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).
EXP B 53-100	7-88	Bois. Sciages de bois résineux et feuillus tendres. Dimensions nominales. Sections et longueurs.	NF E 66-506	6-85	Grandeurs de base en usinage et rectification. Grandeurs géométriques et cinématiques en usinage.
EXP B 53-520	7-88	Bois. Sciages de bois résineux. Classement d'aspect. Définitions des choix.	Outillage tranchant. Outillage à bois		
EXP B 52-521	12-91	Bois. Sciages feuillus durs tempérés. Classement d'aspect.	NF E 66-507	6-85	Grandeurs de base en usinage et rectification. Forces, énergie et puissance.
NF EN 309	10-92	Panneaux de particules. Définition et classification (indice de classement : B 54-101).	NF E 73-010	7-84	Lames de scies à bois. Forme du profil de la denture. Terminologie et désignation (EQV ISO 7294).
NF B 54-110	10-85	Panneaux de particules. Caractéristiques dimensionnelles.	EXP E 73-044	4-80	Scies circulaires à bois à mises rapportées en métal dur.
NF B 54-113	5-91	Panneaux de particules surfacés mélaminés. Spécifications.	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 B 54-150	12-88	Contreplaqué. Classification. Désignation.	NF E 73-504	12-84	Outillage mécanique à bois. Équilibrage des fraises à bois à alésage.
NF EN 313-1	10-92	Contreplaqué. Classification et terminologie. Partie 1 : classification (indice de classement : 54-151-1).	Produits de protection du bois		
NF B 54-154	10-78	Contreplaqué à plis. Types de collage. Définitions. Essais. Qualification.	EXP T 72-081	9-91	Produits de protection du bois. Lasures. Spécifications.
NF B 54-160	7-70	Contreplaqué à plis (d'usage général). Caractéristiques dimensionnelles des panneaux.	International Organization for Standardisation ISO		
NF B 54-170	12-71	Contreplaqué à plis (d'usage général). Règles générales de classement d'aspect.	ISO 1940-1	1986	Vibrations mécaniques. Exigences en matière de qualité dans l'équilibrage des rotors rigides. Partie 1 : détermination du balourd résiduel admissible.