

Sciage

par **Christian SOUCHON**

Responsable Recherche et Développement
Demurger S.A.

et **Sauveur MARTINEZ**

DEST de mécanique du Conservatoire national des arts et métiers
Responsable du centre d'Essais
Demurger S.A.

1. Principales caractéristiques du sciage	BM 7 096 - 2
1.1 Généralités	— 2
1.2 Modes de sciage	— 2
1.2.1 Sciage à froid	— 2
1.2.2 Sciage à grande vitesse	— 3
1.3 Géométrie de l'outil	— 3
1.3.1 Scies alternatives	— 3
1.3.2 Scies circulaires pour sciage à froid	— 5
1.3.3 Scies circulaires à grande vitesse	— 5
1.3.4 Scies à ruban	— 5
1.4 Matériaux de l'outil	— 8
1.4.1 Aciers au carbone	— 8
1.4.2 Aciers rapides	— 8
1.4.3 Autres matériaux	— 9
1.4.4 Traitement de surface	— 9
2. Mise en œuvre	— 9
2.1 Conditions de coupe pour le sciage à froid	— 9
2.1.1 Sciage alternatif mécanique	— 9
2.1.2 Sciage alternatif électroportatif	— 9
2.1.3 Sciage circulaire	— 9
2.1.4 Sciage à ruban	— 10
2.2 Conditions de coupe pour le sciage à grande vitesse	— 12
2.2.1 Sciage à chaud	— 12
2.2.2 Sciage par friction	— 12
Pour en savoir plus	Doc. BM 7 096

Le sciage est un procédé de découpe de matériaux de natures diverses. Il s'effectue par enlèvement de matière, à l'aide d'un outil appelé lame. Cet outil est pourvu de dents dont les formes sont censées répondre aux besoins de l'opération en termes de qualité d'exécution et d'intérêt économique. La denture est dans certains cas remplacée par des concrétions, dépôts de grains de haute dureté dont le rôle est de faire office d'arête coupante.

La coupe par outils abrasifs, tels que la meule à tronçonner, présente un caractère spécifique ayant très peu de point en commun avec le sciage.

En sciage, l'enlèvement de métal s'effectue, en règle générale, à froid, autrement dit, le matériau coupé n'est pas dénaturé au niveau de la coupe. Cependant, dans les techniques de coupe à grande vitesse, la coupe s'effectue soit sur un matériau dont la haute température est obtenue par le frottement de l'outil, soit sur un matériau dont la température est initialement élevée.

1. Principales caractéristiques du sciage

1.1 Généralités

■ Matériaux sciés

Les métaux, les bois, les matières plastiques, les matériaux composites, les minéraux tendres sont les principaux matériaux que l'on peut scier.

■ Métiers du sciage

Ce sont principalement :

- les métiers de l'industrie mécanique et de la construction métallique ;
- la sidérurgie ;
- l'industrie de la filière du bois ;
- les métiers du bâtiment.

De façon générale, ce sont tous les métiers nécessitant de tronçonner des matériaux sans les dénaturer.

■ Matériaux utilisés pour réaliser l'outil

Les matériaux utilisés pour réaliser les outils de sciage peuvent être monoblocs ou multimatériaux.

- Les **outils monoblocs** sont en général en aciers à outil :
 - aciers non alliés à forte teneur en carbone ;
 - aciers alliés ;
 - aciers rapides.
- Les **outils multimatériaux** sont répartis en plusieurs familles :
 - les *Bimétals* ;
 - les outils à arêtes rapportées (plaquettes en carbure de tungstène) ;
 - les outils à concrétion.

1.2 Modes de sciage

1.2.1 Sciage à froid

■ Sciage alternatif

L'outil coupant est constitué d'une lame droite pourvue de dents, dont l'épaisseur est très réduite en regard de ses autres dimensions. La lame est tendue par ses extrémités sur une monture ou un archet, pour ne pas flamber exagérément sous l'effort de coupe. Le sciage est réalisé par le mouvement rectiligne alternatif de la lame. Ce mode de sciage peut être manuel ou mécanique et se rencontre aussi sur des machines électroportatives (machines « scie sauteuse », « scie sabre ») ; dans ce cas, la lame n'est maintenue que par une seule extrémité.

● Sciage manuel

Pratiquement tous les métiers sont concernés par ce type de sciage. Il est adapté aux coupes de petites dimensions (métaux : \varnothing 50 mm maximum ; matériaux tendres : \varnothing 120 mm maximum) aux conditions précaires de position, de maintien de pièce ou d'accès. Il n'est pas adapté aux travaux répétitifs ou de séries nécessitant des efforts de coupe importants.

● Sciage mécanique

On trouve ce mode de sciage actuellement dans tous types d'industries, plutôt dans les services d'entretien ou chez les petits artisans de la mécanique pour la découpe de métaux et pour des dimensions moyennes (\varnothing 250 mm). C'est un procédé qui tend à être remplacé par le sciage à ruban dans les pays industrialisés. Il est

encore présent dans les pays en voie de développement et dans les pays de l'Europe de l'Est.

● Sciage électroportatif

L'outil de sciage électroportatif le plus populaire, aussi bien en marchés professionnels qu'en marchés particuliers, est sans doute la scie sauteuse.

Ce type de sciage est destiné à la coupe droite ou curviligne de matériaux de faible épaisseur, tels que métaux, bois, plastiques... Les machines portatives utilisées ont une puissance de 500 à 1 000 W, une fréquence variable et, sur de nombreux modèles, un mouvement de lame rectiligne circulaire (appelé pendulaire). Il existe encore aujourd'hui de nombreux types de fixation, développés par les différents fabricants de machines. On note aussi la généralisation des systèmes de fixation automatique sans outil. Les machines se présentent quant à elles sous deux formes ergonomiques : prise en main par poignée pommeau ou par poignée fermée. Ajoutons que ces machines portatives existent en alimentation pneumatique.

■ Sciage circulaire

L'outil coupant est constitué d'un disque pourvu de dents sur toute sa circonférence. L'épaisseur de la lame est très réduite par rapport à son diamètre. La lame est montée et fixée sur un arbre motorisé. Le sciage est réalisé par le mouvement circulaire uniforme de la lame. Ce mode de sciage est mécanique.

On distingue deux familles de machines : les machines stationnaires, les machines électroportatives.

● Machines stationnaires

Les lames sont appelées fraises scies et sont destinées au tronçonnage. Elles ont un diamètre compris entre 175 et 400 mm et sont généralement en acier rapide monobloc. Les services d'entretien d'usine et les petits artisans sont généralement utilisateurs des machines les plus simples. Les machines automatisées sont, quant à elles, encore très présentes dans la construction métallique.

On trouve également les lames à segments rapportés dont les diamètres sont compris entre 400 et 2 000 mm. Les segments sont en acier rapide, le corps de lame est en acier du type faiblement allié au chrome/vanadium. Ce sont des lames utilisées en sidérurgie ou en grosse mécanique.

● Machines électroportatives

Les lames utilisées peuvent être faites en acier allié au chrome/vanadium (corps et denture) ou bien constituées d'un corps en acier faiblement allié et d'une denture en carbure de tungstène. Leurs diamètres sont généralement compris entre 120 et 400 mm.

Le sciage circulaire électroportatif est principalement utilisé pour la coupe de bois, de plastiques, voire d'alliages légers sur les chantiers du bâtiment, en menuiserie, et toujours en coupe droite.

■ Sciage à ruban

L'outil coupant est constitué d'une lame souple sans fin dont l'épaisseur est très réduite par rapport à ses autres dimensions. La lame est dentée sur toute sa longueur. Elle est montée et tendue entre deux volants ou plus animés d'un mouvement de rotation. Le sciage s'effectue sur un des brins tendus où la lame est rectiligne, par un mouvement continu de défilement à travers la pièce à couper.

● Machines électroportatives

Elles sont essentiellement à mouvement d'archet pendulaire. Ces machines utilisent des lames rubans de faible section ($13 \times 0,65$ mm par exemple). Elles sont destinées à la coupe occasionnelle de tubes, profilés, barres pleines de petites dimensions, en acier, alliages légers et cuivreux, plastique. Leur utilisation est plus fréquente dans l'artisanat du bâtiment, dans les ateliers d'entretien et chez les particuliers.

● Machines d'atelier

● À ruban vertical : il existe deux familles de machines :

— celles destinées à l'industrie du bois (scieries, menuiseries industrielles...) pour le délignage, le refendage. Ce sont des machines de grandes dimensions (volants de 800 mm de diamètre et plus), à col de cygne, utilisant des rubans de grandes largeurs (200 mm en moyenne), dont les vitesses de défilement sont de plusieurs centaines de mètres par minute ;

— celles dont l'usage est plutôt tourné vers la coupe des métaux, droite ou curviligne, à l'unité ou en série (chantournage, démasselotage...). On les trouve principalement dans les ateliers de chaudronnerie, de mécanique générale, dans les fonderies... Les rubans ont des largeurs comprises entre 3 et 34 mm. D'autres machines de taille importante sont dédiées au refendage dans la sidérurgie et le négoce de matériaux. Il s'agit de machines utilisant des rubans de fortes sections jusqu'à 100 mm de large.

● À ruban horizontal : il existe aussi deux familles de machines :

— celles dont le mouvement d'archet est pendulaire. Ce sont en général des machines de petites et moyennes capacités (coupe jusqu'à 650 mm maximum) ;

— celles dont le mouvement d'archet est vertical et monté sur colonnes ou glissières. Ce sont en revanche des machines destinées à la coupe de moyennes et grandes sections.

Ces deux types de machines peuvent être à fonctionnement automatique ou semi-automatique, alors que seules les machines pendulaires peuvent avoir un mouvement d'archet manuel. Dans les deux cas, ce sont des machines utilisées dans l'industrie de la mécanique, de la sidérurgie, pour la coupe de moyennes et grandes séries. Elles réalisent la coupe de tous les métaux, pleins ou profilés, en paquets ou à l'unité, d'une dimension maximale de 1 300 mm, exceptionnellement 2 000 mm.

1.2.2 Sciage à grande vitesse

Ce mode de sciage est réalisé à très grande vitesse de défilement de ruban et à forte pression de coupe. De cette façon, la surface de la pièce en contact avec l'outil atteint une température proche de la température de fusion, tandis que la denture de l'outil, qui se renouvelle rapidement (par le défilement très rapide de la lame), conserve sa dureté.

On distingue :

— le sciage à grande vitesse à chaud, appelé aussi sciage thermique, pour lequel la température initiale de la pièce est d'au moins 700 °C ;

— le sciage à grande vitesse à froid, appelé aussi sciage par friction, pour lequel la pièce est à la température ambiante (l'énergie thermique est apportée dans ce cas par le frottement de la lame sur la pièce).

■ Sciage circulaire

● Sciage thermique (ou à chaud)

L'outil est généralement non dépouillé ; il peut être denté ou non. Les diamètres sont compris entre 400 et 2 500 mm pour des épaisseurs de 6 à 18 mm. Ce genre de sciage est essentiellement utilisé en aciérie. Les vitesses tangentielles sont de l'ordre de 4 300 à 5 500 m/min pour le sciage des barres pleines et de 5 500 à 7 600 m/min pour les tubes et profilés.

● Sciage par friction (ou à grande vitesse)

L'outil est denté, les flans sont dépouillés. Les diamètres vont de 400 à 1 000 mm pour des épaisseurs allant de 3 à 8 mm. Ce type de sciage est réservé à la coupe de tubes et de profilés. Les vitesses sont de l'ordre de 4 800 à 7 200 m/min.

■ Sciage à ruban

Avec ce type d'outil, on ne réalise que de la coupe à grande vitesse sur matériaux froids. Les coupes se font sans arrosage à des vitesses

de 2 000 à 5 000 m/min, avec des machines verticales spéciales permettant d'atteindre de telles vitesses. Les volants de ces machines sont surdimensionnés pour réduire la fatigue du ruban.

Les lames rubans ont des largeurs comprises entre 6 et 32 mm pour des épaisseurs inférieures ou égales à 1 mm. La denture est de géométrie classique avec des tailles de dents de l'ordre de 8 à 14 dents par pouce (25,4 mm). On utilise des rubans en acier faiblement allié dont seule la denture est trempée. Ce type de sciage concerne la coupe des métaux en général jusqu'à des épaisseurs maximales de 25 mm. Au-delà, l'échauffement est insuffisant pour rendre la découpe possible.

1.3 Géométrie de l'outil

1.3.1 Scies alternatives

■ Sciage alternatif manuel

En sciage manuel, il existe deux longueurs normalisées de lames (NF E 73-071, NF E 73-072/ISO 2336 ; cf. [Doc BM 7 096]), correspondant à l'entraxe des trous de fixation :

— 250 mm ou 10", modèle surtout utilisé en Amérique du Nord et dans certains pays d'Asie ;

— 300 mm ou 12", modèle le plus répandu au monde.

Les lames pour le sciage alternatif manuel, appelées lames de scie à main pour métaux, ont essentiellement une petite denture, de 6 à 12 dents au centimètre, dont l'angle de coupe est pratiquement nul (inférieur ou égal à 1°). Il existe des lames à « denture progressive » pour lesquelles on a réalisé, sur la longueur totale, trois secteurs dentés de grosseurs de dent différentes (ce type de lame est peu répandu).

Le passage de la lame dans la coupe est obtenu par avoyage (écartement latéral des dents) de deux façons différentes : l'ondulation ou l'avoyage dent par dent (figure 1).

On peut ajouter que, dans le cas de la denture avoyée dent par dent, la lame gagne en confort de coupe et en agressivité par rapport à la denture ondulée.

Cependant, pour les dentures très fines (12 dents au centimètre), l'avoyage dent par dent n'est pas possible.

■ Sciage alternatif mécanique

Les lames ont la même configuration que les lames de scies à main. Elles ont des dimensions cependant plus variées dépendant du type de machine. Les longueurs sont comprises entre 300 et 1 000 mm pour des sections de 25 × 1,25 à 123 × 3 mm.

Les dentures sont généralement à angle de coupe nul, mais certains modèles existent avec un angle de coupe positif de 7 à 13°. On trouve également des lames à denture progressive, divergente, convergente (figure 2).

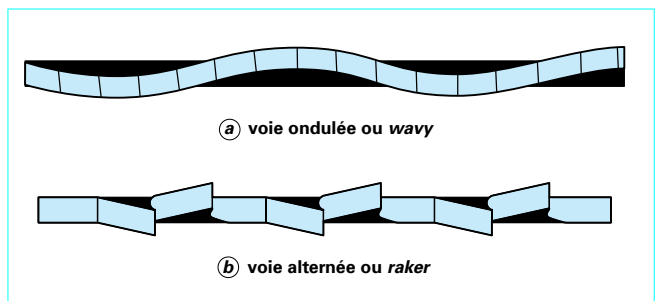


Figure 1 – Avoyage (d'après doc. Ultra)

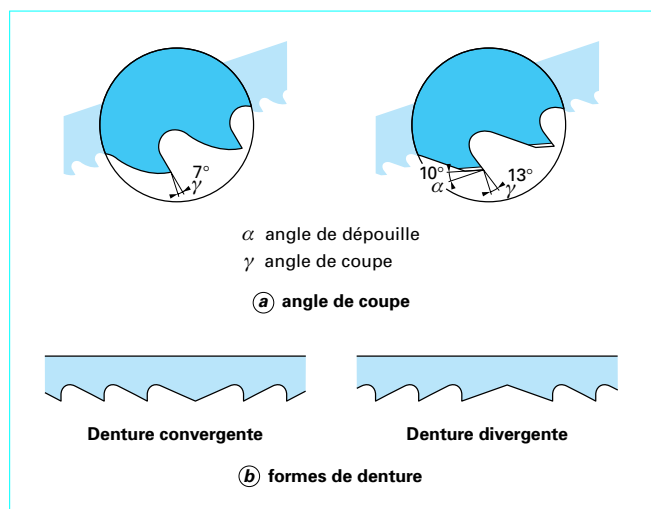


Figure 2 – Différentes formes de denture pour sciage alternatif mécanique

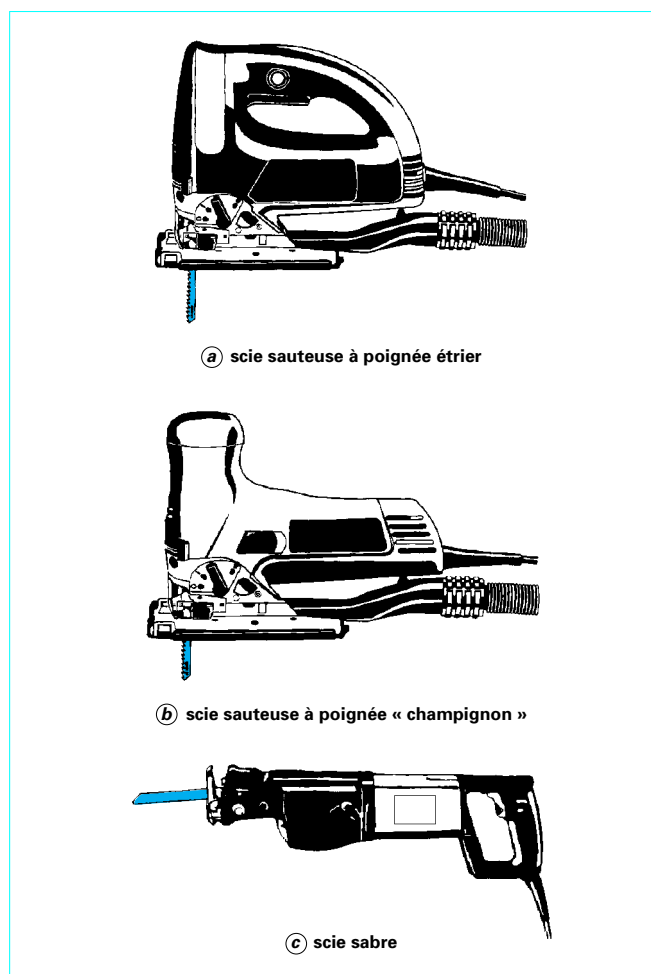


Figure 3 – Machines à scie sauteuse et à scie sabre

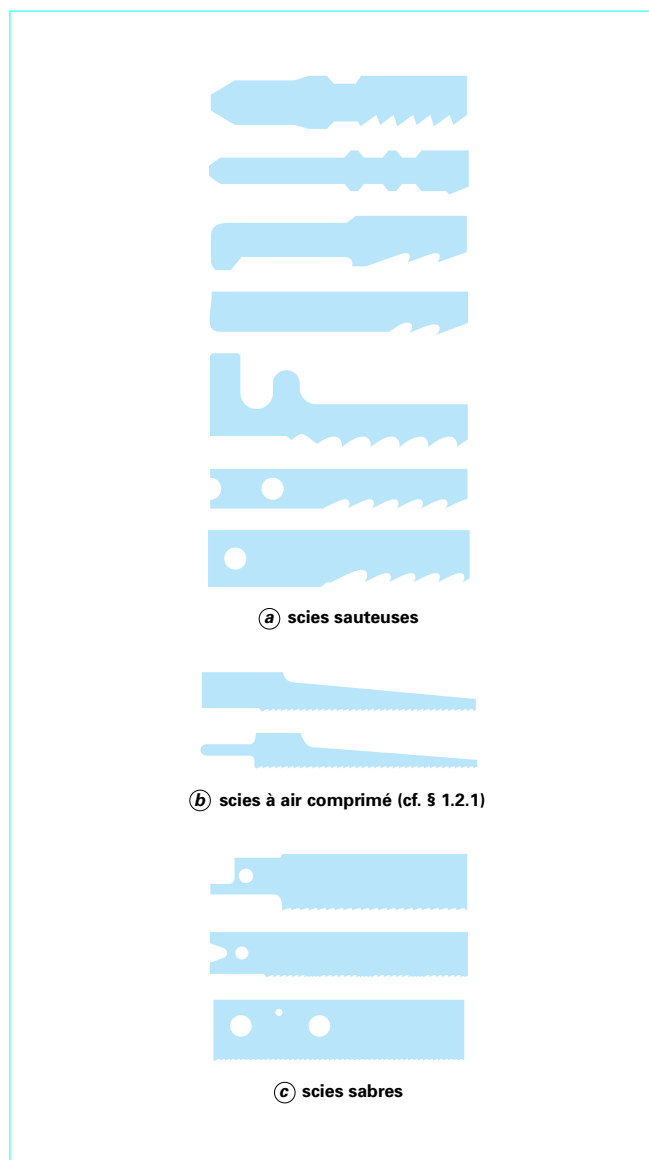


Figure 4 – Différentes attaches des lames de scies sauteuses et de scies sabres (d'après doc. Ultra)

■ Sciage portatif électrique ou pneumatique

Il existe deux grandes familles de lames, les scies sauteuses dont la course est perpendiculaire à l'axe de la machine, les scies sabres dont la course est dans l'axe de la machine (figure 3). Dans chacune de ces deux familles on trouve plusieurs formes de fixation, propres à chaque constructeur de machine (figure 4).

La longueur des scies sauteuses peut atteindre 150 mm, la plus courante étant de 100 mm. Les scies sabres, quant à elles, peuvent atteindre 600 mm, la longueur moyenne étant de 200 mm. C'est sans doute dans ces deux familles de lames de scie que l'on trouve la plus grande variété de denture, depuis la forme de dents la plus classique avec ou sans angle de coupe, jusqu'à la forme isocèle, gencive, crochet ou américaine, avec ou sans angle d'inclinaison

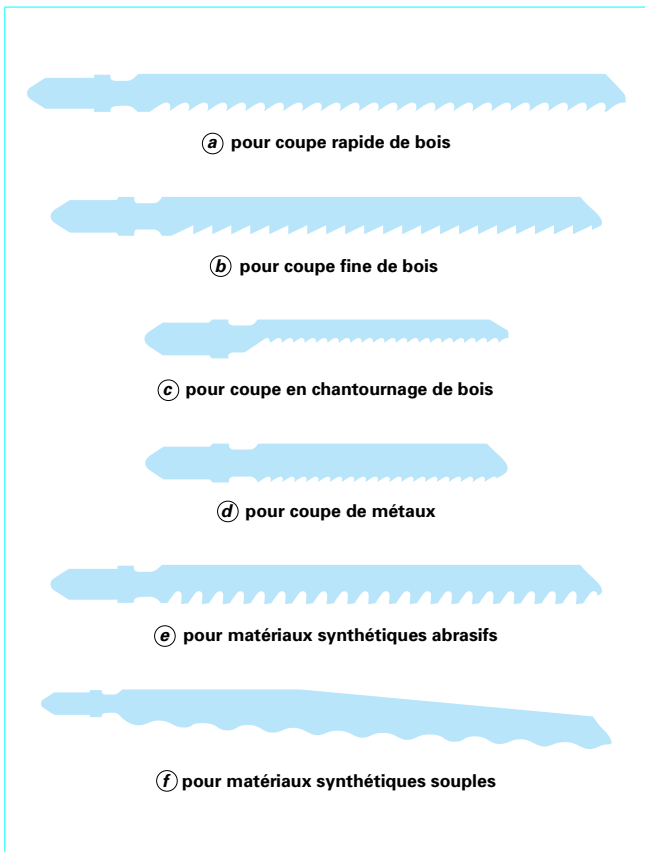


Figure 5 – Différentes formes de dents de lames de scies sauteuses et de scies sabres (d'après doc. Ultra)

d'arête, à pas variable ou à pas constant, à concrétion de carbure... et parfois même des formes originales développées par des fabricants pour des applications particulières (figure 5).

Le passage de la lame est réalisé soit par avoyage, dent par dent ou ondulation, soit par dépouille des flans de la lame (figure 6).

1.3.2 Scies circulaires pour sciage à froid

La fixation de ces lames se fait sur un alésage de diamètre compris entre 12,7 et 40 mm pour les lames à dents en carbure, entre 25,4 et 40 mm pour les lames en acier rapide monobloc et sur un alésage de diamètre compris entre 32 et 160 mm pour les lames à segments rapportés.

L'entraînement, selon la machine employée (stationnaire ou portable), peut se faire par pincement ou sur ergots.

Les lames en acier rapide monobloc ont un diamètre extérieur compris entre 160 et 400 mm pour des épaisseurs de 1,6 à 4 mm. Les lames à dents en carbure ont un diamètre extérieur compris entre 120 et 1 530 mm ; celles à segments rapportés un diamètre extérieur compris entre 275 et 2 040 mm.

Pour le sciage circulaire à froid, les lames sont systématiquement dépouillées (pour les lames à segments rapportés, seul le segment est dépouillé) (figure 7).

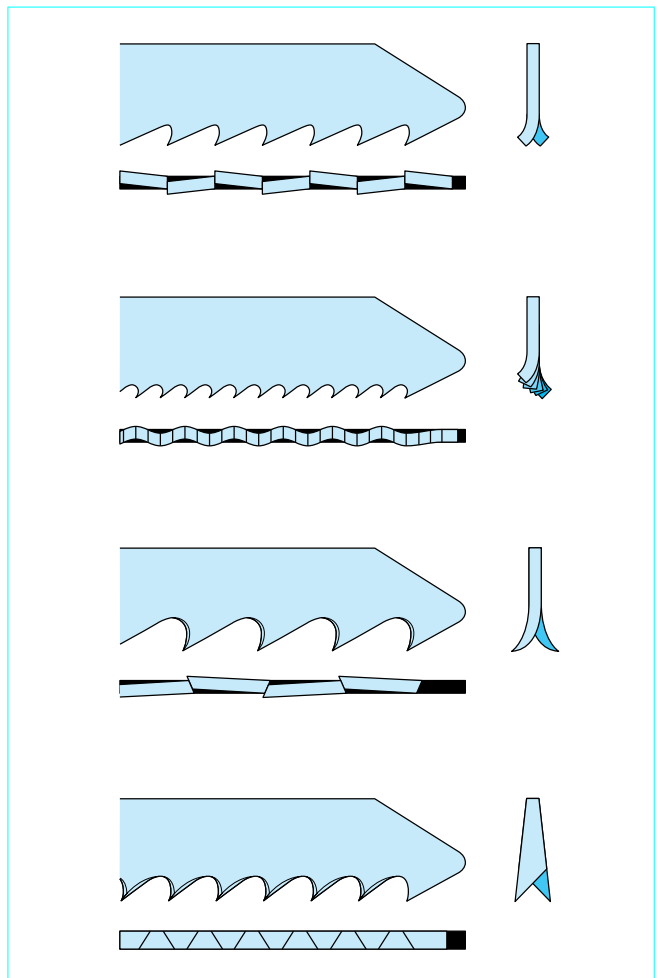


Figure 6 – Différents avoyages ou passages de scies sauteuses et de scies sabres

1.3.3 Scies circulaires à grande vitesse

■ Sciage thermique

La fixation de ces lames se fait sur un alésage pouvant aller jusqu'à 160 mm avec entraînement par ergots. Les flans peuvent être bruts ou rectifiés (figure 8, p. 7).

■ Sciage par friction

La fixation des lames se fait généralement sur un alésage de 40 mm de diamètre, avec un entraînement par pincement. Les flans sont rectifiés et dépouillés. Ces lames sont quelquefois sans denture (figure 9, p. 7).

1.3.4 Scies à ruban

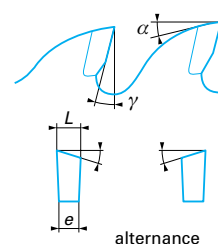
■ Denture

Il est possible de classer les formes de dentures en deux familles : celles dont le pas est fixe et celles dont le pas est variable. Dans les deux cas, on rencontre des dentures avec angle de coupe positif

Profil	Type	Abréviation	Application
	Droite couchée	A	Matériaux minces Rainurage peu profond
	Droite ACME	Aw	Rainurage peu profond
	Simple ou crochet	B	Rainurage
	ACME	Bw	Tubes et profilés minces
	Heller ou Cochrane	C ou HZ	Tubes et profilés forte section
	Alternée	CNS	Profilés minces acier et non ferreux

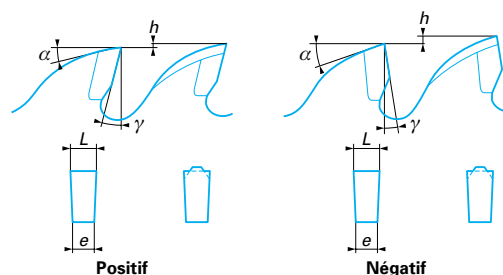
α angle de dépouille γ angle de coupe κ angle d'inclinaison d'arête

Ⓐ en acier rapide monobloc

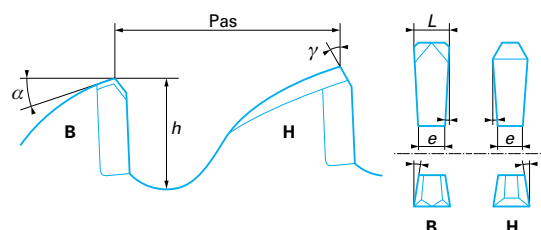


Affûtage alterné

h profondeur = $\frac{\text{pas}}{2}$
B dent basse
H dent haute
L largeur de coupe
e épaisseur du disque
 α angle de dépouille
 γ angle de coupe

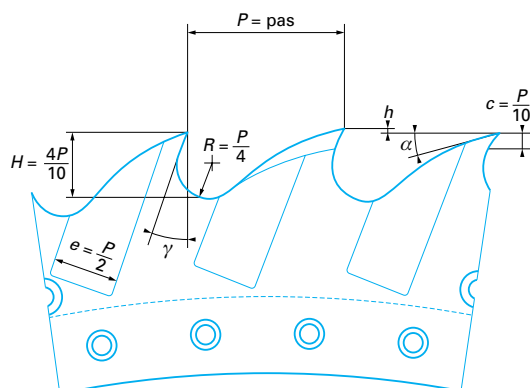


Affûtage Cochrane

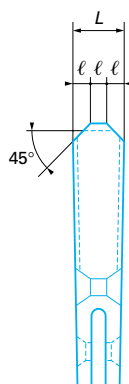


Affûtage trapézoïdal

Ⓑ dents en carbure



Ⓒ à segments rapportés



Valeurs de h (en mm) en fonction du pas (en mm)	
Pas P	h
7 à 12	0,20
13 à 17	0,30
18 à 20	0,35
21 à 24	0,45
25 à 32	0,50
32 à 40	0,60
40 et >	0,75

Figure 7 – Différentes formes de denture et caractéristiques de lames circulaires (sciage à froid)

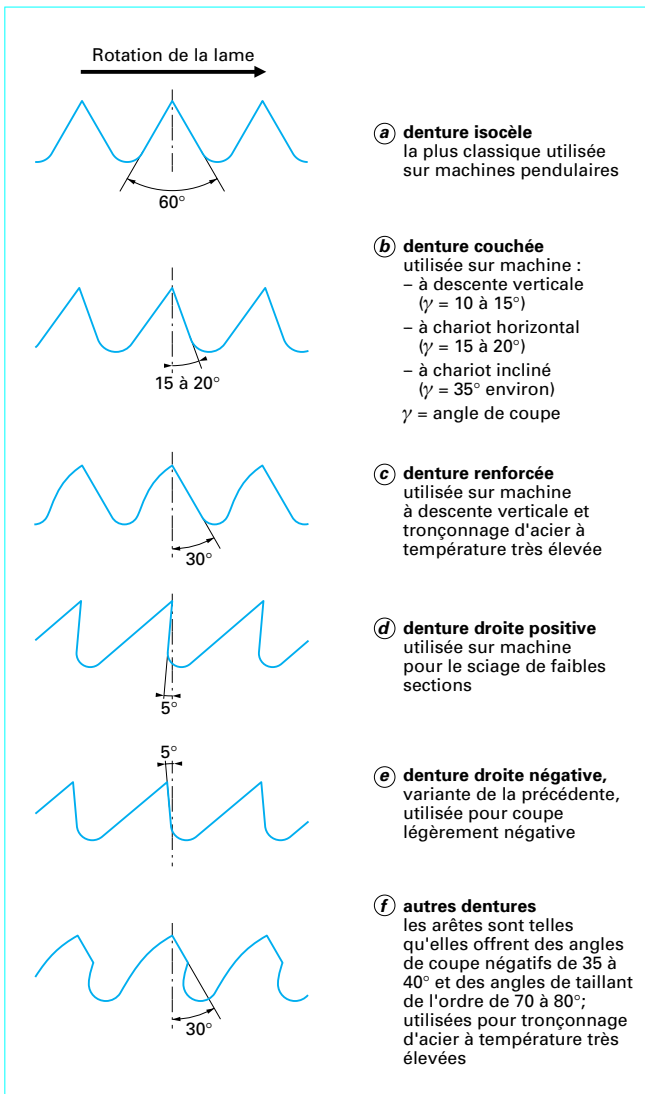


Figure 8 – Différentes formes de dents de lames circulaires (sciage thermique)

et sans angle de coupe. La forme de la denture est un compromis entre la nécessité de loger un certain volume de copeaux et la résistance mécanique de la dent.

Pour s'adapter aux diverses conditions de coupe (section et résistance mécanique du matériau coupé), il faut disposer d'une variété importante de formes et de dimensions de denture (figure 10).

Afin d'éviter le coincement de la lame dans la coupe, on effectue, comme pour le sciage alternatif, un avoyage de la denture. Il est réalisé dent par dent ou par ondulation, quelquefois par dépouille dans le cas des rubans à dents en carbure.

● Les **dentures à pas variable** font l'objet d'un avoyage particulier appelé : « avoyage groupé », apparenté à l'avoyage de type « Racker » (figure 11).

- Pour les **dentures à pas fixe**, l'avoyage peut être :
 - ondulé (généralement, dentures de petite taille) ;
 - alterné ou TDA (toutes dents avoyées, sans dent neutre) ;

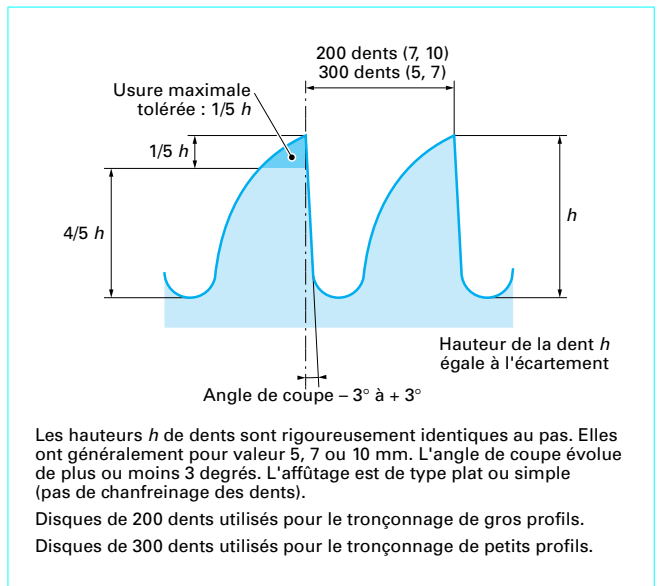


Figure 9 – Forme de dents de lames circulaires (sciage par friction)

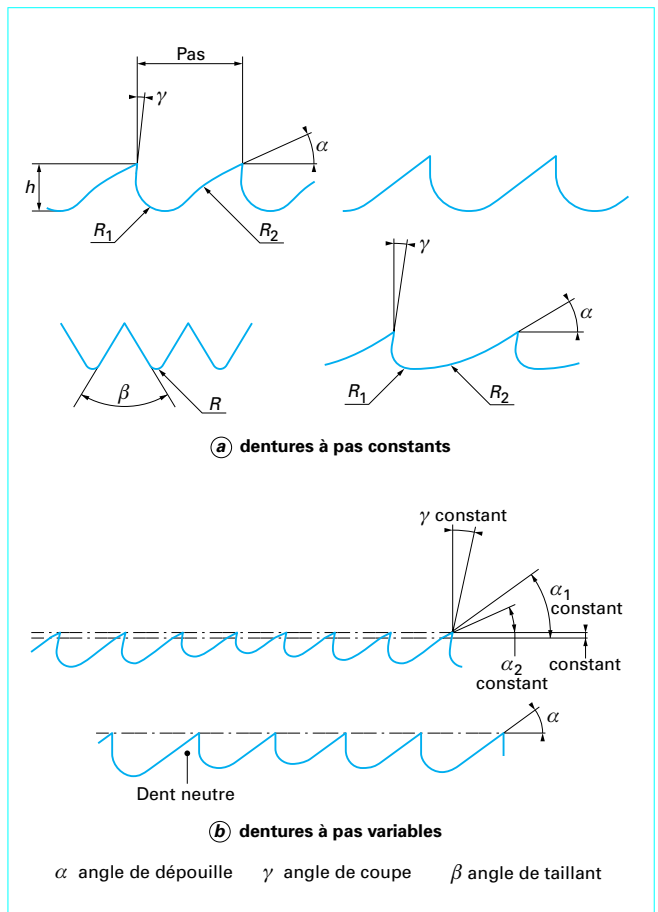


Figure 10 – Différentes formes de dents de lames rubans

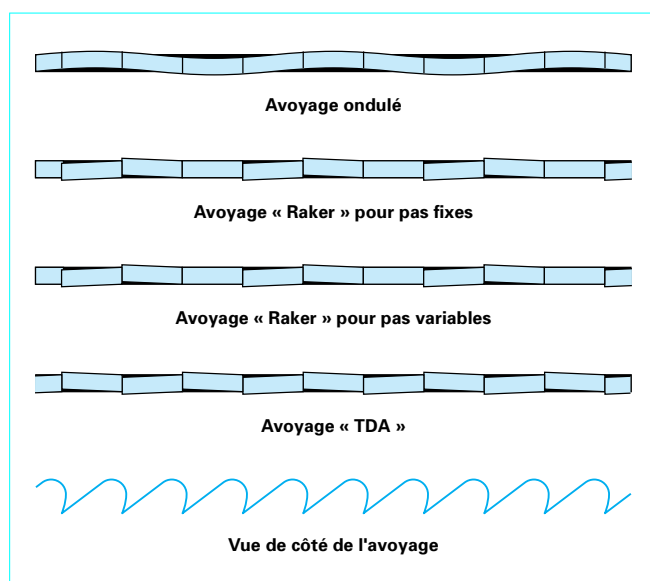


Figure 11 – Différents avoyages de lames rubans

- « Raker » (avoyage alterné avec dent neutre) ;
- groupé (dents avoyées par groupes de 2 ou 3) (figure 11).

Les valeurs que l'on donne à la largeur de voie dépendent, d'une part, de la taille de la dent et, d'autre part, du matériau coupé. La voie a une influence sur les efforts de coupe (ils croissent avec l'augmentation de la valeur de voie), ainsi que sur la qualité de l'état de surface coupée.

■ Dimensions

Les longueurs des rubans ne sont pas normalisées. Chaque constructeur de machine à scier adapte les longueurs des lames rubans à la conception de ses modèles. On note tout de même deux paramètres influant sur la longueur des lames rubans :

- le type de machine à scier (à ruban vertical ou à ruban horizontal) ;
- la capacité de coupe de la machine à scier (section coupée admissible).

Pour les machines à scier destinées à la coupe des métaux, les longueurs des lames rubans s'échelonnent, suivant les capacités et les constructeurs, de 1,2 m à environ 15 m. Les sections des rubans sont, quant à elles, normalisées (normes NF E 73-076, ISO 4875/I).

Pour la réalisation d'une lame ruban, on soude bout à bout les deux extrémités d'une portion de ruban. La technique industrielle généralement adoptée est le soudage par étincelage. Pour réduire la fragilité de la soudure, on pratique un « recuit d'adoucissement » sur la zone thermiquement affectée. On ramène la dureté de la soudure au niveau de celle du corps de la lame. On pratique ensuite un certain nombre d'opérations de finition après soudure, afin de reconstituer la forme de la denture et de redonner à la zone soudée ses caractéristiques géométriques d'avant soudure. Une soudure de bonne qualité est pratiquement invisible à l'œil nu.

1.4 Matériaux de l'outil

1.4.1 Aciers au carbone

On distingue dans cette appellation :

- les aciers à haute teneur en carbone comme XC75, XC100 par exemple ;
- des aciers alliés (58CrV4, 125Cr1...) contenant jusqu'à 2 % d'éléments d'alliage tels que : Cr, V, W.

On peut appliquer à ces matériaux d'outils de la trempe totale ou de la trempe localisée. Pour certaines dimensions ces matériaux peuvent être livrés, à l'outilier, prétraités (barreaux, feuillards). Les outils fabriqués avec ces matériaux ne peuvent couper que des matières générant peu d'échauffement ou doivent être utilisés occasionnellement seulement.

L'intérêt de ce type d'outil réside dans son faible coût d'achat.

1.4.2 Aciers rapides

Au même titre que pour un outil d'usinage conventionnel, les nuances d'aciers rapides (tableau 1) utilisés en sciage doivent se caractériser par une bonne résistance à l'usure et à l'échauffement.

Globalement, toutes les familles d'acier rapide sont utilisées. Cependant, la spécificité du sciage nécessite un compromis entre dureté et ténacité que l'on obtient en grande partie par un traitement thermique approprié.

Compte tenu de leurs spécificités, les aciers rapides gardent leurs caractéristiques mécaniques (dureté) jusqu'à 550 °C. Cette propriété leur permet d'accepter des conditions de coupe sévères, expliquant par là même leur développement plus important que celui des autres aciers à outils. Le traitement thermique de ces aciers se pratique à de hautes températures avoisinant 1 200 °C. À ces températures, une protection contre la décarburation de l'acier par l'oxygène est indispensable. On l'obtient par différents procédés :

- trempe sous vide ;
- trempe sous atmosphère neutre ;
- trempe en bains de sels (procédé en déclin).

Tableau 1 – Appellation des aciers rapides

Composition (%)						Appellations normalisées selon			
C	Cr	Mo	W	Co	V	AISI A600-86 USA	AFNOR A35-590 France	DIN 17350-80 Allemagne	ISO 4957-80 (internationale)
0,85	4,2	5,0	6,4	–	1,8	M2	Z90WDCV.6.5.4.2	1.3343	HS 6.5.2
1,05	4,2	6,3	6,3	–	2,5	M3:1			
1,20	4,1	5,0	6,2		3,0	M3:2	Z120WDCV.6.5.4.3	1.3344	HS 6.5.3
0,72	4,0	5,0	1,0	8,0	1,0				
1,08	3,8	9,4	1,5	8,0	1,2	M42	Z1110WSCKV.9.8.4.2.1	1.3247	HS 2.9.1.8
1,27	4,0	3,6	9,5	10,0	3,2	(T42)	Z130WKCDV.10.10.4.4.3	1.3207	HS 10.4.3.10

Les cycles de traitements thermiques des aciers rapides sont plus complexes que ceux des aciers à outils en général.

1.4.3 Autres matériaux

■ Bimétal

Il est composé d'un fil en acier rapide, de section carrée, rectangulaire ou quelquefois trapézoïdale, soudé par faisceau d'électrons ou laser sur un support en acier allié. La combinaison de l'acier rapide et de l'acier allié offre l'avantage de conjuguer la résistance à l'usure et aux hautes températures du premier, à la souplesse et à la tenue en fatigue du second.

Les nuances des fils d'aciers rapides sont celles employées pour les outils monoblocs. Quant aux supports, ils sont généralement fait de nuances d'aciers alliés de 1 à 4 % de chrome et de molybdène. Le *bimétal* d'acier rapide et l'acier rapide monobloc peuvent être soumis aux mêmes traitements thermiques.

Les applications de ce type de matériau sont celles qui répondent à un besoin de souplesse générale de l'outil et de dureté de la partie active. On peut citer par exemple la lame de scie ruban.

■ Carbure de tungstène

On rencontre deux types d'utilisations du carbure de tungstène dans le sciage :

- la pointe de dent rapportée, taillée ou affûtée ;
- la concrétion de grains de carbure.

Dans ces deux cas, les nuances de carbure utilisées sont les mêmes que celles utilisées en fraisage (sans revêtement). Le domaine d'application est celui des matériaux à la fois et séparément à faible usinabilité et très abrasifs.

■ Diamant

Dans le domaine du sciage, la seule technique rencontrée est la concrétion de diamant, pour la coupe de matériaux très durs et très abrasifs comme les céramiques, les faïences, les verres...

1.4.4 Traitement de surface

L'intérêt d'un revêtement est de réunir les qualités de résistance à l'usure du dépôt et la ténacité du support.

■ PVD (*Physical Vapor Deposition*)

Parmi les différents procédés existants, le PVD est un procédé physique de dépôt métallique ou céramique en phase vapeur.

Dans le but d'améliorer la durée et les performances des outils de sciage, apparaissent des revêtements similaires à ceux employés pour les outils d'usinage conventionnel, à savoir : TiN, TiCN, TiAlN... Ce type de traitement est encore peu répandu et se trouve être en phase de développement. Les applications restent cependant les mêmes que pour les outils non revêtus.

■ Dépôt électrolytique

Outre l'usage qui en est fait pour fixer les concrétions de grains de carbure de tungstène ou de diamant, on ne rencontre pratiquement aujourd'hui que le dépôt électrolytique de chrome sous forme de chromage dur. Les caractéristiques essentielles de ce chromage particulier sont une dureté superficielle relativement élevée et un coefficient de frottement réduit. Ces propriétés destinent ce revêtement, dans le domaine du sciage, à la coupe de matériaux « collants » tels que le cuivre, l'aluminium et leurs alliages...

2. Mise en œuvre

2.1 Conditions de coupe pour le sciage à froid

2.1.1 Sciage alternatif mécanique

■ Descriptif

Le matériau à couper est maintenu dans un étau. Le mouvement de coupe est donné à la lame. Le cycle se déroule en deux temps : mouvement « aller », on coupe en donnant une avance à l'outil ; mouvement « retour », l'outil est légèrement relevé pour le dégager de la coupe et éviter le frottement des dents.

Compte tenu des faibles vitesses de coupe et d'avance, les performances de ce mode de sciage restent modestes. Il est cependant possible de couper pratiquement tous les types de matériaux, y compris les alliages réfractaires et autres matières à faible usinabilité, sur les machines les plus perfectionnées, c'est-à-dire équipées d'une pression de coupe hydraulique.

■ Vitesse de coupe et avance

Elles sont indiquées dans le tableau 2.

2.1.2 Sciage alternatif électroportatif

■ Descriptif

Le mouvement de coupe est donné à la lame de scie sauteuse ou de scie sabre. L'avance est faite par déplacement de l'ensemble machine et lame sur le matériau à couper. La lame coupe dans sa phase de remontée, ce qui permet d'utiliser les efforts de coupe pour plaquer la semelle de la machine contre le matériau. Dans certains cas, les machines à scie sauteuse offrent la possibilité de dégager la lame de la coupe dans sa phase de descente afin d'éviter le frottement de la denture.

Les limites d'usage, en épaisseur coupée, sont déterminées par la longueur des lames et la course des machines utilisées. Hormis la coupe de superalliage, il n'y a pas de restriction dans la nature des matériaux coupés. De manière générale, on limite l'usage de ce type de sciage à la mécanisation du sciage manuel.

■ Vitesse de coupe et avance

Ces paramètres dépendent, d'une part, de l'opérateur et de la puissance disponible sur la machine, d'autre part, de la nature de l'outil et du matériau coupé. En général, et si la machine l'autorise, on adopte des fréquences de coupe permettant un compromis acceptable entre performance et usure.

2.1.3 Sciage circulaire

■ Descriptif

● Machines stationnaires pour la coupe des métaux

La lame est appelée **fraise-scie** ; elle est en acier rapide. Les mouvements de coupe et d'avance sont donnés à la lame. Le matériau coupé est maintenu dans un étau. L'avance peut être manuelle ou automatique. L'effort d'avance peut être fourni par l'opérateur, par un vérin hydraulique, par une masse appliquée au support de la lame. Certaines de ces machines sont automatisées ou programmables. Les coupes sont presque toujours réalisées avec lubrification.

● Machines stationnaires pour la coupe de bois, de plastique

La lame est appelée **scie circulaire** ; elle est en acier allié avec denture en carbure ou denture de même nature que le corps de lame. Le mouvement de coupe est donné à la lame, cependant que l'avance est donnée au matériau coupé.

Tableau 2 – Vitesses de coupe pour le sciage alternatif mécanique

Matériaux		Nombre de dents/cm selon l'épaisseur (en mm)					Lubrifiant			Vitesse de coupe (m/min)	Pression de sciage (1)
		< 15	15/40	40/70	70/100	> 100	Sans	Huile soluble	Huile entière		
Aciers	doux	8 à 6	6 à 4	2,5	1,5	1,2		●		50 à 70	++
	mi-durs	8 à 6	6 à 4	2,5	1,5	1,2		●		50 à 60	++
	durs	8 à 6	6 à 4	2,5	1,5	1,2		●	●	50 à 60	+++
	alliés	8 à 6	6 à 4	2,5	1,5	1,2		●	●	40 à 50	+++
	prétraités	8 à 6	4	2,5 à 1,2	1,2	1,2		●	●	30 à 45	+++
Aciers à outils	non alliés	8 à 6	4	2,5	1,2	1,2		●	●	30 à 45	+++
	alliés	8 à 6	4	2,5	1,2	1,2		●	●	30 à 45	+++
Aciers rapides		8 à 6	6 à 4	2,5	1,5	1,2		●	●	30 à 45	+++
Aciers inoxydables		8 à 6	6 à 4	2,5	1,5	1,2			●	30 à 45	+++
Aciers réfractaires		8 à 6	6 à 4	2,5	1,5	1,2			●	30 à 45	+++
Fontes	aciérées	8 à 6	6 à 4	2,5	1,5	1,2	●			45 à 55	++
	GS	8 à 6	6 à 4	2,5	1,5	1,2	●			45 à 60	++
Cuivre		8 à 6	6 à 4	2,5	1,5	1,2			●	45 à 60	++
Laitons		8 à 6	6 à 4	2,5	1,5	1,2		●		45 à 60	++
Bronzes		8 à 6	6 à 4	2,5	1,5	1,2		●		45 à 60	++
Aluminium		8 à 6	4	2,5	1,2	1,2		●		60 à 75	+
Titane et alliages		8 à 6	4	2,5	1,2	1,2			●	30 à 40	+++
Plastiques durs		8 à 6	4	2,5	1,2	1,2		●		50 à 70	+

(1) + faible ; ++ moyenne ; +++ forte.

Le matériau est plaqué contre un référentiel et se déplace devant la lame. Pour les petites machines, le matériau est maintenu par l'opérateur. Pour les machines plus importantes, c'est le poids du matériau qui suffit à son maintien.

L'effort d'avance peut être manuel ou automatique. La coupe est faite à sec, les copeaux sont le plus souvent aspirés.

● Autres types de machines stationnaires

Un nouveau type de machine, apparenté à la scie circulaire, se développe. La lame est appelée **scie circulaire** ; elle est en acier allié et à dents en carbure. La configuration de ces machines, ainsi que leur fonctionnement, est comparable à celle des machines à fraise-scie.

■ Vitesse de coupe et avance

Ces données sont regroupées dans les tableaux 3 et 4.

2.1.4 Sciage à ruban

■ Descriptif

La lame ruban est montée tendue sur des volants (généralement 2 pour les machines de type horizontal et pendulaire, 2 ou plus pour les machines verticales). L'un de ces volants est motorisé et transmet la vitesse de coupe à l'outil.

Le mouvement d'avance peut être transmis à la pièce coupée ou à l'archet sur lequel est montée la lame ruban. Pour les machines horizontales ou pendulaires, la pièce est maintenue dans un étau. L'avance est souvent hydraulique, parfois manuelle, utilisant le poids de l'archet.

Pour les machines verticales, le matériau à couper peut être soit maintenu sur une table mobile à avance automatique ou manuelle,

soit déplacé devant la lame ruban sur une table fixe ou encore fixé devant la lame ruban qui, dans ce cas, est animée du mouvement d'avance.

Dans tous les cas d'usage de la lame ruban, le tensionnement revêt une importance capitale. La contrainte de traction opérée donne à la lame la rigidité nécessaire à la coupe et permet d'éviter les phénomènes de déviation de coupe appelés « chasse ». Le tensionnement est réalisé par déplacement d'un des volants. Ce déplacement peut être obtenu par un ensemble vis-écrou, par un dispositif à came ou par un vérin hydraulique. Sur la plupart des machines, la valeur minimale du tensionnement est indiquée par un système électromécanique.

La lubrification, pour ce mode de sciage, est impérative comme pour l'usinage conventionnel. Il est réalisé avec des huiles entières, des émulsions d'huiles solubles et, parfois, avec des huiles végétales ou synthétiques pulvérisées. Le sciage de certains matériaux (fontes, graphite...) se fait sans lubrification.

■ Vitesse de coupe et avance

De façon générale, les vitesses de coupe en sciage à ruban sont beaucoup plus élevées qu'en usinage conventionnel à natures d'outils et matériaux coupés équivalents. Elles dépendent du type de matériau de ruban utilisé (« carbone », *Bimétal*, carbure...) et du matériau coupé. Elles sont couramment indiquées en intervalles admissibles. Le choix, dans une plage de vitesses, est dicté par l'objectif fixé (performance, durée de vie, qualité de la coupe) ou par l'état de la machine (puissance moteur, rigidité, vétusté).

Il est à noter qu'il existe des machines à vitesse variable par variateur mécanique ou à vitesse fixe par réducteur.

Tableau 3 – Sciage circulaire par fraise-scie (acier rapide monobloc)

Nature des matériaux		Dureté (kgf/mm ²)	Angles d'affûtage (1)		Vitesse de coupe (m/min)	Avance (mm/min)
			γ	α		
Aciers	doux	35 à 50	18 à 20	8 à 10	28 à 35	70 à 160
	demi-durs	50 à 65	16	8	20 à 28	60 à 120
	durs	70 à 85	16	8	15 à 22	40 à 100
	alliés et traités	100	12	6	12 à 18	25 à 50
Aciers inoxydables	austenitiques	50 à 70	18 à 20	8	8 à 12	30 à 45
	martensitiques	50 à 80	16	6 à 8	7 à 10	20 à 35
Profilés	roulés à froid	35 à 45	15	8 à 10	25 à 40	80 à 130
Tubes	paroi mince	35 à 60	12 à 15	10	40 à 80	80 à 150
	paroi épaisse	35 à 60	15	10	30 à 50	70 à 130
Poutrelles		35 à 60	18	8	19 à 30	70 à 130
Fonte grise		15 à 30	12	8	15 à 25	80 à 110
Métaux non ferreux	aluminium		20 à 24	10	900 à 1 500	1 200 à 2 400
	cuiivre	> 60	18 à 20	10	80 à 400	400 à 600
	laiton		14	10	400 à 600	800 à 1 000
	bronze	20	10	8	40 à 120	400 à 800
Plastiques durs			8 à 10	25	900 à 1 500	1 200 à 2 400

(1) α angle de dépouille.
 γ angle de coupe.

Tableau 4 – Sciage circulaire par scie circulaire (dents en carbure de tungstène)

Matériau		Vitesse de coupe (m/s)			Avance			Denture type			Angle de coupe		Nombre de dents	
		Basse	Moyenne	Élevée	Faible	Moyenne	Forte	Plate	Alternée	Heller	Positif	Négatif	Faible	Élevé
Bois tendres	En long			60 à 100			●	●	●		●		Pour épaisseurs fortes, sans état de surface soigné	Pour un bon état de surface ou épaisseurs faibles
	En travers			60 à 100		●			●		●			
Bois durs	En long		50 à 80			●		●	●		●			
	En travers		50 à 80		●				●		●			
Contreplaqués				60 à 90		●		●	●		●			
Agglomérés			50 à 80		●			●	●		●			
Panneaux stratifiés			50 à 70		●				●	●		●		
Panneaux de plâtre			40 à 60				●	●			●			
Fibrociment		10 à 40				●		●			●			
Plastiques durs		20 à 40			●				●	●	●	●		
Plastiques tendres			30 à 70		●				●	●	●	●		
Métaux non ferreux	Profilés		50 à 80		●					●		●		

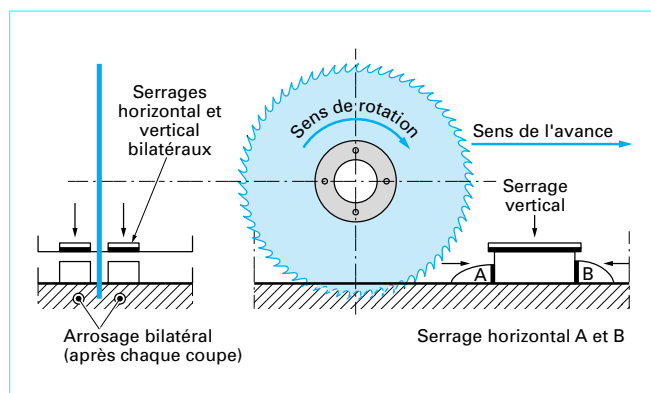


Figure 12 – Montage de la pièce pour le sciage thermique

En sciage à ruban, on définit l'avance en utilisant la notion de taux de coupe. Le taux de coupe s'exprime en cm^2/min . La valeur des taux de coupe dépend du matériau coupé, de la taille et de la forme de la denture, de la nature du ruban, de l'objectif visé, de l'état de la machine.

2.2 Conditions de coupe pour le sciage à grande vitesse

2.2.1 Sciage à chaud

■ Descriptif

Le matériau est fixe et maintenu fortement par serrage latéral et souvent vertical. Les vitesses de coupe et d'avance sont très élevées de façon à minimiser l'échauffement de la lame lors du sciage. On procède à un arrosage grande pression entre chaque coupe (20 à 40 bar) (figure 12).

■ Vitesse de coupe et avance

La vitesse d'avance est souvent fixe (2 m/min). La vitesse de coupe est de l'ordre de 100 à 110 m/min en fonction de la machine utilisée.

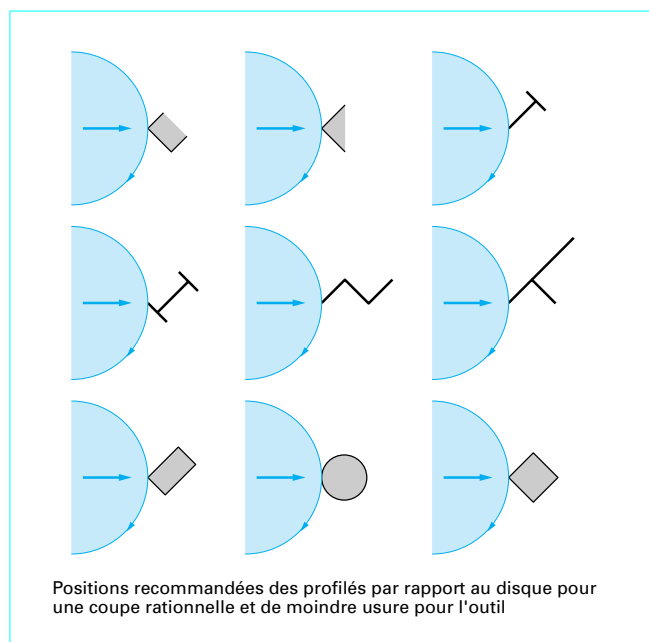


Figure 13 – Montage de la pièce pour le sciage par friction

2.2.2 Sciage par friction

■ Descriptif

Le principe est de porter le matériau coupé à sa température de ramollissement, voire de fusion, dans la zone de coupe, par frottement avec un outil coupant (lame ruban ou circulaire). On obtient de la sorte une diminution de sa résistance mécanique. On coupe le matériau suivant sa plus petite section (figure 13).

■ Vitesse de coupe et avance

Les vitesses de coupe et d'avance sont très élevées et choisies de façon à minimiser les échauffements de la lame (au minimum 80 m/min pour la vitesse de coupe).