



Centre Technique Forestier Tropical
Département du CIRAD

LA SCIE A RUBAN

**Théorie et Pratique
du sciage des bois en grumes**

par

Christian SALES



LA SCIE A RUBAN

**Théorie et Pratique
du sciage des bois en grumes**

par

Christian SALES
Docteur-Ingénieur en Sciences du Bois

JUIN 1990

CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL

45bis, avenue de la Belle Gabrielle

94736 NOGENT-SUR-MARNE CEDEX — (FRANCE)

Tél. (1) 43 94 43 00 - Télécopie : (1) 43 94 43 29

CIRAD

Le CIRAD, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, est un organisme scientifique spécialisé en agriculture des régions tropicales et subtropicales. Il réalise, dans une cinquantaine de pays, des opérations de recherche, de développement agricole et de formation. Il emploie 1 900 personnes, dont 900 cadres. Son budget s'élève à près de 1 milliard de francs, dont plus de la moitié provient de fonds publics.

Centre de coopération internationale
en recherche agronomique pour le développement

Siège social
42, rue Scheffer
75116 Paris
France
Téléphone : (1) 47 04 32 15
Télécopie : (1) 47 55 15 30
Télex : CIRAD 648729 F

Centre de recherche de Montpellier

Avenue du Val de Montferrand
BP 5035
34032 Montpellier CEDEX 1
France
Téléphone : 67 61 58 00
Télécopie : 67 61 59 86
Télex : CIRAD 480762 F

SOMMAIRE

Préface	1
Avant-propos	3

THÉORIE DU SCIAGE DES BOIS EN GRUMES

Symboles	5
Glossaire	7

1 — LE TRAVAIL DE LA DENT DE SCIE

1.1. Géométrie de l'outil de coupe	9
1.2. Conséquences de l'anisotropie du bois sur le sciage	10
1.2.1. Rappels sur l'anisotropie du bois	10
1.2.2. Les différents modes de coupe	10
1.3. Mécanisme de la formation du copeau	11
1.4. Notion d'effort de coupe	13
1.4.1. Les différentes actions mécaniques exercées par la dent sur le bois	13
1.4.2. Distribution des efforts sur l'outil théorique parfait	13
1.4.3. Distribution des efforts sur la dent réelle	14
1.4.4. Les interactions entre la dent et le bois : conséquences de certains paramètres de coupe	15
1.4.5. Variations de direction et d'intensité de l'effort de coupe au cours du sciage	16
1.5. Conditions optimales de coupe	17
1.5.1. Épaisseur de copeau et paramètres de coupe	17
1.5.2. La zone de bonne coupe	17
1.5.3. L'évacuation du copeau	18
1.6. Influence des différents paramètres de sciage sur l'effort de coupe	19
1.6.1. Vitesse de coupe	19
1.6.2. Température du bois	19
1.6.3. Humidité du bois	19
1.6.4. Masse volumique du bois	20
1.6.5. Influence de l'usure	21
1.6.6. Épaisseur des copeaux et longueur d'arête	22
1.6.7. Angle d'attaque	24
1.6.8. Angle de dépouille et angle de bec	26
1.7. Calcul pratique des efforts de coupe à partir des résultats expérimentaux	26
1.8. Conclusion	28

2. COMPORTEMENT ET CONDITIONS DE TRAVAIL DE LA LAME DE SCIE

2.1. Conception des scies à ruban et principe de fonctionnement	29
2.1.1. Installation de la lame et tension de montage	29
2.1.2. Forme des volants	30
2.1.3. Position géométrique des volants — inclinaison (dévers)	31
2.1.4. Facteurs influençant la position d'équilibre de la lame	32
2.1.5. Approche mécanique de la situation d'équilibre des lames	33

2.2. Rigidité de la lame : notion de charge critique	35
2.2.1. Déformation élastique de la lame	35
2.2.2. Notion de charge critique : influence de l'état des contraintes mécaniques dans la lame	37
2.3. Comportement de la lame en fatigue	40
2.3.1. Étude statique de la lame installée sur les volants	40
2.3.2. Théorie de la fatigue appliquée aux rubans	41
2.4. Les contraintes mécaniques dans la lame en service	43
2.4.1. Tension de montage et force centrifuge	44
2.4.2. Les efforts thermiques dus à la coupe et leurs conséquences sur la distribution des contraintes dans la lame	45
2.4.3. Inclinaison des volants et efforts de coupe	46
2.4.4. Niveau de tensionnage	47
2.4.5. Forme des jantes — Interaction lame-volant	50
2.5. Les contraintes dans la lame : synthèse et conséquences sur les techniques de sciage	51
2.5.1. Contrainte limite admissible dans la lame en service	51
2.5.2. Conséquences sur la rigidité de la lame et sa charge critique	53
2.6. Le tensionnage	56
2.6.1. Sciage en forte tension de montage	56
2.6.2. Sciage en tension de montage conventionnelle	57
2.6.3. Réalisation pratique du tensionnage	59
2.6.4. De la nécessité du tensionnage	60
2.7. Performances de la lame : productivité et précision du sciage	61
2.7.1. Performances de la lame et précision du sciage	61
2.7.2. Performances de la lame et productivité de la scie	64
2.8. Modification des tensions dans la lame en travail et conséquence sur l'entraînement des scies (moteurs et transmission de puissance)	64
2.9. Comportement dynamique de la lame : vibration, résonance et conséquences sur les paramètres de sciage	67

3. USURE DES OUTILS DE COUPE ET APPLICATION AU CAS DES LAMES DE SCIES A RUBAN

3.1. Méthode d'appréciation de l'usure	70
3.1.1. Usure et aptitude au sciage d'une lame	70
3.1.2. Matérialisation du phénomène d'usure	71
3.2. Les origines physiques de l'usure	72
3.2.1. Echauffement de la dent et usure	72
3.2.2. Influence de l'essence	74
3.2.3. Phénomènes physico-chimiques	76
3.3. Influence de certains paramètres de coupe sur l'usure des dents	77
3.3.1. Taux d'humidité du bois	77
3.3.2. Vitesse de coupe et hauteur de sciage	77
3.3.3. Épaisseur de copeau	82
3.4. Influence de la nature du matériau constitutif des dents sur la résistance à l'usure	90
3.4.1. Les différents matériaux de coupe et leur utilisation	90
• Aciers rapides	91
• Stellite	91
• Carbures métalliques	92
• Céramiques	93
• Diamants	93
3.4.2. Les traitements de surface	94
• Chromage dur	94
• Chromisation	94
• Rocklinisation	94
3.4.3. Les traitements thermiques	95
3.5. Le stellitage appliqué au sciage des bois tropicaux	95

II — PRATIQUE DU SCIAGE DES BOIS EN GRUMES

1 — LA SCIE A RUBAN ET SON ENVIRONNEMENT

1.1. Les différents modèles de scies	101
1.1.1. Éléments de classification des scies à ruban	101
1.1.2. Scies monocoupes et scies bicoupes	102
1.1.3. Techniques associées aux déplacements relatifs du bois par rapport à la lame	103
1.2. Machines à bâti mobile et bois fixe	103
1.3. Machines à bâti fixe et bois mobile	104
1.4. Dispositifs mixtes : bâti et bois mobiles	107

2 — CHOIX DES ÉQUIPEMENTS ET ORGANISATION DE LA SCIERIE

2.1. Positionnement du bâti : scie verticale, horizontale ou inclinée	111
2.1.1. De la qualité du déplacement du bois par rapport à la lame	111
2.1.2. Stabilité de la grume sur le chariot	112
2.1.3. Evacuation des produits sciés	112
2.1.4. Chargement et retournement des grumes	113
2.1.5. Division et dégagement	113
2.2. Mécanisation et organisation des scieries	114
2.3. Choix d'un équipement	121
2.3.1. Les éléments techniques du choix	121
2.3.2. La scie de tête dans les scieries d'essences de forêt tropicale dense humide	124
2.3.3. La scie de tête dans les scieries de bois de plantation	127
2.3.4. Conclusions sur le choix des équipements	130
2.4. Réflexions sur la productivité : notion de profitabilité	131

3 — UTILISATION DES MATÉRIELS ET INCIDENTS DE FONCTIONNEMENT

3.1. Le choix de la lame	133
3.2. Identification des causes de mauvais fonctionnement	133
3.2.1. Entraînement et transmission de puissance	142
3.2.2. Tenue insatisfaisante de la denture dans le temps	142
3.2.3. Lame défectueuse à la sortie de l'atelier d'affûtage	143
3.2.4. Comportement anormal de la lame en cours de sciage	143
3.2.5. Criques et rupture des lames	146
3.3. Défauts altérant la qualité des produits sciés	147
3.4. Les méthodes de contrôle et de réglage de la scie et du chariot	149

© CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL

Toute imitation, copie, traduction, reproduction, même partielle de cet ouvrage est interdite, quel que soit le procédé employé, sans autorisation expresse de l'éditeur.

ISBN 2-85411-011-0

PRÉFACE

Si la pratique du sciage des bois des forêts tempérées est communément exercée dans des milliers d'entreprises françaises, grandes et petites, et si les professionnels de ce secteur industriel maîtrisent maintenant assez bien les difficultés techniques que présente l'usinage de nos bois indigènes, les mêmes opérations, exécutées sur les bois tropicaux, posent des problèmes spécifiques et dépendent des essences, elles-mêmes fort différentes les unes des autres.

En matière de sciage des grumes tropicales, leurs dimensions, généralement plus fortes que celles des bois des forêts tempérées ou septentrionales, sont souvent perçues comme la première et principale différence ; sur le plan technique, c'est pourtant la plus facile à résoudre et ces dimensions ne sont pas le facteur déterminant dans le choix de matériel convenable. On verra combien peuvent être précieuses aux entreprises l'assiduité et la continuité qui ont présidé aux travaux du Centre Technique Forestier Tropical dans le domaine de l'usinage, et spécialement du sciage des bois tropicaux depuis une trentaine d'années, et combien la technicité acquise peut éviter d'échecs économiques.

Notre Centre, placé par vocation au confluent des filières professionnelles concernées, soutenu et consulté tant par les entreprises de production que par les industriels de transformation et les fabricants de matériel, a développé à la fois des recherches et leurs applications, accumulant ainsi une expérience irremplaçable, dont Christian Sales, l'auteur du présent ouvrage, est le digne dépositaire.

Il a le mérite d'avoir perçu la nécessité de rassembler les fruits de toute cette expérience accumulée et le grand courage d'avoir entrepris la tâche épineuse d'en faire une présentation utile à tous.

Le volume concernant la scie à ruban constitue une première étape, certes importante, dans l'ensemble qu'il a projeté d'écrire. Mais d'autres modes de transformation que le sciage (déroulage, etc.), d'autres machines que la scie à ruban (scie circulaire, etc.) posent encore des questions que les lecteurs souhaitent voir éclairées de la même façon.

La rédaction de ce manuel met à la disposition de chacun une foule d'informations très attendues, tant pour la compréhension fondamentale des phénomènes d'interaction entre l'outil et le bois que pour la conception des meilleures solutions, la diffusion de conseils concrets et leur mise en pratique directe.

Ces informations ne peuvent manquer d'être précieuses tant au théoricien qu'au praticien, tant à l'ingénieur-conseil qu'au chef d'entreprise et au responsable technique, tant au scientifique qu'au technicien, au professeur qu'à l'étudiant.

Des spécialistes expérimentés verront à coup sûr se confirmer et s'expliquer certaines pratiques qu'ils ont acquises empiriquement et sur le tas, mais trouveront aussi des notions trop souvent ignorées, mises ici en relief et bon nombre de mythes tenaces courageusement dénoncés.

Parler de mythes peut sembler étrange dans un monde aussi technique que celui du sciage, qui se devrait d'être rigoureux dans ses approches et cartésien dans ses doctrines, mais force est de constater que les règles de l'art, dans ce domaine, relèvent encore pour une part de l'empirisme : l'un des objectifs de ce manuel étant de réduire cette part ; son apport à l'édifice des sciences et techniques de l'ingénieur est donc très positif.

Paul GUÉNEAU
Centre Technique Forestier Tropical

AVANT-PROPOS

Toute fabrication d'un produit à base de bois implique nécessairement la réalisation d'un certain nombre d'opérations d'usinage plus ou moins complexes selon l'objet à obtenir.

Le sciage des bois en grumes prend place au tout début de la chaîne de transformation. Toute pièce sciée, quelles que soient ses dimensions, est issue de cette nécessaire et indispensable opération. De tous les travaux d'usinage, le sciage des bois ronds est de loin le plus difficile. Le produit est de taille importante, lourd et encombrant, et fait appel à un matériel puissant et coûteux. Le débit doit être organisé de façon à tirer des pièces de forme parallélépipédique d'une matière première de forme cylindrique avec un rendement matière et une productivité maximale dépendant fortement du plan de découpe suivi. En sciage de bois tropicaux, il convient généralement d'ajouter à cette complexité la grande diversité des espèces. Les conditions de sciage peuvent se trouver totalement modifiées en quelques minutes par la simple succession de rondins d'essences différentes.

Pour répondre aux difficultés ainsi rencontrées par l'industrie de transformation des bois tropicaux, le C.T.F.T a assumé depuis plus de 30 ans un effort de recherche particulièrement important. Cette action a bénéficié, ces dix dernières années, du large mouvement associant laboratoires universitaires, centres de recherches, centres techniques, développé à l'initiative de l'ancienne Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique. L'élan ainsi créé a permis d'atteindre, en peu de temps, un niveau de connaissances qui, s'il est loin d'égaliser celui des pays industrialisés les plus performants en matière de technologie du bois, doit faire progressivement l'objet d'une valorisation technologique au service de l'industrie.

Les livres consacrés au sciage ou à l'usinage ne manquent pas mais il y a lieu de constater que les ouvrages en langue française sont rares ou pour le moins relativement anciens. Une telle absence se faisant cruellement sentir, nous nous sommes orientés vers un ouvrage général sur l'utilisation des scies à ruban, associant à la fois une large approche théorique des problèmes afin de répondre au « pourquoi » (première partie) sans pour autant négliger le « comment » (deuxième partie). Compte tenu de la vocation tropicale de l'organisme ayant présidé à cette démarche (Centre Technique Forestier Tropical), le livre traite, en priorité, de la transformation des bois tropicaux. L'ensemble des résultats et recommandations sont, toutefois, aisément transposables aux essences de régions tempérées. L'évolution des techniques de sciage, la diminution progressive du diamètre des grumes commercialisées, le développement des plantations à croissance rapide en zone tropicale, contribuent à atténuer les différences pouvant subsister dans la transformation mécanique des bois d'origines géographiques diverses.

La Division de Mécanique et Usinage du C.T.F.T fut créée au début des années cinquante. Elle devint en 1981 la Division de Physique, Mécanique et Usinage, étendant ainsi son champ d'activité à la mécanique du matériau bois, domaine indispensable à une meilleure maîtrise de sa transformation et de son conditionnement. André CHARDIN en fut le premier Chef de Division et le resta jusqu'à son départ en retraite en 1983. Décédé subitement en février 1987, il laisse un héritage scientifique considérable repris dans cet ouvrage, notamment sous forme de schémas dont l'origine pourra être clairement identifiée en se référant aux références bibliographiques.

Ce livre établit le bilan de notre acquis en matière de sciage des bois tropicaux et fait le point sur les développements techniques les plus récents. Il est fondé sur une large bibliographie internationale mais présente, également, une part importante de résultats inédits obtenus au C.T.F.T et non encore publiés à ce jour. Il trace les grandes lignes de l'évolution des scies et du matériel de sciage associé.

La première partie aborde les fondements du sciage concernant :

- le travail de la dent de scie et son usure,*
- le comportement de la lame qui la porte et transmet l'énergie nécessaire à la coupe.*

La deuxième partie est conçue de façon que le lecteur, qui ne disposerait que de très peu de temps, puisse en extraire rapidement les enseignements indispensables au choix d'un matériel adapté au travail désiré et en retirer l'essentiel des précautions à prendre pour en assurer le bon fonctionnement. Malheureusement, notre expérience en ce domaine montre que de nombreuses erreurs dans le choix ou le fonctionnement d'une installation de sciage ont très souvent pour origine la méconnaissance des principes fondamentaux du sciage. On ne pourra donc que

conseiller au lecteur de s'attacher à une lecture exhaustive. Une bonne compréhension des principes élémentaires, démontrés dans la première partie, lui permettra alors de conforter, à la lecture de la seconde, la philosophie qu'il se sera progressivement forgée.

L'ouvrage s'adresse à une large famille de lecteurs :

- ingénieurs et techniciens de la profession,
- étudiants des Écoles d'Ingénieurs et des divers établissements de formation technique,
- chercheurs pour lesquels il devrait constituer une revue des connaissances actuelles et permettre de dégager des thèmes d'action à court terme.

Compte tenu de cette diversité, des choix inévitables aboutissant à une situation de compromis ont dû être consentis. Nous espérons qu'ils satisfairont néanmoins l'éventail le plus large possible de lecteurs.

Christian SALES

Ancien Chef de la Division Physique Mécanique
et Usinage du C.T.F.T.
Conseiller en Recherche et Technologie au C.T.B.A.

Note au lecteur :

- [] : les chiffres mis entre crochets, dans le cours de l'ouvrage, indiquent des références bibliographiques.
() : les chiffres entre parenthèses sont utilisés pour le numérotage des expressions mathématiques.

La rédaction de cet ouvrage a été achevée en décembre 87.
Les coûts de matériel figurant dans la 2^e partie sont ceux en vigueur à cette date-là.
Le lecteur pourra globalement extrapoler à 1990 en prévoyant une augmentation moyenne de 10 à 15 %.

REMERCIEMENTS

Je dédie ce livre à la mémoire d'André CHARDIN, pour son œuvre et sa passion de la transformation mécanique du bois qu'il a su me faire partager au cours des années de travail en commun.

Je remercie,

- Paul GUENEAU qui m'a fait l'honneur d'en rédiger la préface.

Tous ceux qui par leur lecture critique et constructive ont permis de corriger et d'enrichir cet ouvrage :

- Daniel GUITARD, de l'Institut National Polytechnique de Lorraine
- Patrick MARTIN de l'Université Nancy I
- Bernard THIBAUT de l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc
- Meriem FOURNIER et Denis GARIN, élèves du DEA Sciences du Bois (année scolaire 1986/1987), pour leur précieuse collaboration.

J'exprime ma profonde gratitude pour cet ouvrage à :

- Pierre-Antoine BORDONNÉ, Pierre CEYRIAC, André MAROUEIX et André GROSSMANN.
- Hélène MARFAING pour son talent de dessinatrice, sa patience et sa collaboration permanente.
- France LAVAUX, chargée de la mise en pages et du secrétariat de rédaction.
- Monique BELLOT, Jacqueline FICOT, Simone LOWINGER et Evelyne LEHMANN (cette dernière, du Centre Technique du Bois et de l'Ameublement), qui en ont successivement assuré la dactylographie.

Christian SALES

SYMBOLES

- A** : vitesse d'aménagement également appelée vitesse d'avance du bois
- C_u** : couple utile du moteur d'entraînement de la scie
- D₁₂** : masse volumique du bois par rapport à l'eau à 12 % d'humidité
- D_v** : diamètre des volants
- E** : module de Young de l'acier
- E_L** : module de Young longitudinal du bois
- E_R** : module de Young radial du bois
- E_T** : module de Young tangentiel du bois
- F** : résultante de l'ensemble des forces appliquées à la dent
- F_a** : composante de F perpendiculaire à la trajectoire de la dent
- F_∑** : effort total résultant de la somme des f_a exercés sur chaque dent engagée dans le bois
- F_b** : effort minimal à fournir pour tourner la bille sur le chariot
- F_o** : composante de F parallèle à la trajectoire de la dent
- F_c** : effort total résultant de la somme des f_o exercés sur chaque dent engagée dans le bois
- F_f** : résultante des forces de frottement au niveau de la face d'attaque
- F_n** : composante de F perpendiculaire à la face d'attaque
- F_p** : effort nécessaire au sectionnement des fibres (effort de pointe)
- F_u** : effort de coupe unitaire
- F_ψ** : effort dû aux pressions latérales (cisaillement latéral)
- F_φ** : effort dû à la pénétration de l'outil et au fractionnement du copeau
- F'** : résultante des forces s'exerçant sur la face d'attaque
- F'_a** : composante de F' perpendiculaire à la trajectoire de la dent
- F'_o** : composante de F' parallèle à la trajectoire de la dent
- F'_f** : composante de F' parallèle à la face d'attaque
- F'_n** : composante de F' perpendiculaire à la face d'attaque
- G** : module de cisaillement de l'acier
- G_{RL}** : module de cisaillement du bois dans le plan RL
- G_{RT}** : module de cisaillement du bois dans le plan RT
- G_{TL}** : module de cisaillement du bois dans le plan TL
- H** : taux d'humidité du bois
- H_s** : hauteur de sciage
- K_c** : coefficient de concentration de contraintes
- K_d** : coefficient de dilatation de l'acier
- K_φ** : coefficient de glissement des moteurs asynchrones
- L** : entraxe des volants
- L_b** : direction longitudinale du bois
- L'** : écartement des guide-lames
- P** : puissance à fournir pour la coupe
- P̄** : puissance totale à fournir au cours du sciage
- P₁** : puissance nécessaire à l'entraînement de la scie à vide
- Q** : charge critique de la lame pour une distribution uniforme de contraintes internes
- Q₁** : charge critique prenant en compte une distribution non uniforme des contraintes de tension dans la lame
- R** : rayon des volants
- R_b** : direction radiale du bois
- R_r** : contrainte de rupture de l'acier
- R ±** : limite d'endurance
- S_o** : surface du creux de dent
- S₁** : section de la lame dans la partie du brin libre coupant
- S₂** : section de la lame dans la partie de brin libre non coupant
- T** : tension de montage
- T_b** : direction tangentielle du bois
- T_c** : température d'arête
- T_φ** : effort dû aux effets centrifuges
- T'** : effort de traction appliqué à la lame résultant de la tension de montage et des forces centrifuges.
- T_o** : effort appliqué par le dispositif de mise en tension
- T₁** : tension de montage dans le brin coupant
- T₂** : tension de montage dans le brin non coupant
- V** : vitesse de coupe
- V₁** : vitesse linéaire de la lame dans la partie du brin coupant
- V₂** : vitesse linéaire de la lame dans la partie du brin non coupant
- Z_o** : position de la lame correspondant à une inclinaison θ_o

a₁ : paramètre des dispositifs de mise en tension par système de levier
b : largeur de la lame hors-denture
b_v : largeur des jantes des volants
b_t : paramètre des dispositifs de mise en tension par système de levier
b' : largeur hors-tout de la lame
e : épaisseur
f : résultante des forces de la lame s'exerçant au voisinage de l'arête
f_n : composante de **f** perpendiculaire à la trajectoire de l'outil
f_c : composante de **f** parallèle à la trajectoire de l'outil
f_t : composante de **f** tangentielle à la courbure de l'arête
f_n : composante de **f** perpendiculaire à **f**_t
f_o : flèche liée à la courbure transversale de la lame introduite par le tensionnage

α : angle d'attaque
β : angle de bec
γ : angle de dépouille
γ_f : angle de dépouille latérale frontale
γ_s : angle de dépouille latérale dorsale
δ : épaisseur de copeau
δ' : avance de l'outil par rapport au bois ou morsure
ν : coefficient de Poisson de l'acier
σ_n : contrainte due à l'amplitude des sollicitations cycliques
σ_{ar} : contrainte maximale au dos de la lame
σ_{av} : contrainte maximale au voisinage de la denture
σ_c : contrainte cyclique
σ_D : contrainte due à une distribution non symétrique en un point donné de la lame
σ_{Do} : niveau de contrainte dû à une distribution non symétrique des contraintes dans la lame
σ_e : limite élastique de l'acier à lames de scies
σ_F : contrainte maximale due à la flexion de la lame sur les volants
σ_i : contrainte due à l'inclinaison des volants
σ_{max.} : contrainte maximale en fatigue

$$\sigma_{max.} = \sigma_p + \sigma_c$$
σ_{min.} = **σ**_c : contrainte minimale en fatigue
σ_{moy} : contrainte moyenne en fatigue
σ_p : contrainte due aux charges permanentes
σ_r : contrainte de rupture en traction pour l'acier
σ_T : contrainte de traction due à la tension de montage
σ_t : contrainte due au tensionnage en un point donné de la lame

f₁ : paramètre de caractérisation du bombé du volant
f₂ : flèche due à la courbure du dos de lame mesurée sur une longueur unitaire
f* : paramètre caractérisant le contact lame-volant
h : hauteur des dents = profondeur du creux
k : coefficient caractérisant l'élasticité du dispositif de mise en tension
m : moment d'extrémité du brin libre
m_t : paramètre des dispositifs de mise en tension par système de levier
m' : moment fléchissant induit par **F**_a dans le plan de la lame
m₁ : masse du volant moteur
m₂ : masse de la poulie réceptrice (volant non moteur)
p : pas de la denture
r_a : rayon de courbure du creux de dent

σ_{lo} : niveau de contrainte de tensionnage
σ_{lv} : contrainte résultant de la mise en place de la lame en contact avec les volants
σ'_{lo} : contrainte due au tensionnage dans la portion de lame fléchie sur les volants
σ_r : contrainte induite par l'échauffement de la lame
σ*_r : surtension introduite dans la lame par la courbure du dos
η : longueur moyenne du copeau fractionné
λ : longueur d'arête de la dent ou épaisseur du trait de scie
ρ : masse volumique de l'acier
ρ' : poids volumique de l'acier
μ : recul de l'arête sous l'effet de l'usure
ω : fréquences propres d'oscillation du brin libre en flexion
ω_s : vitesse de synchronisme
ω₁ : vitesse angulaire du volant moteur
ω₂ : vitesse angulaire du volant libre
ω* : vitesse de rotation du moteur d'entraînement de la scie
Φ : plan de cisaillement du copeau et angle avec la trajectoire de l'outil
θ : angle d'inclinaison des volants ou dévers
θ_o : angle d'inclinaison des volants correspondant à la position idéale de la lame
θ_∞ : angle d'inclinaison des volants correspondant à la limite d'instabilité de la lame
τ : période de rotation de la lame
τ_T : température en un point donné de la lame en service

GLOSSAIRE

	Paragraphes	Parties		Paragraphes	Parties
Affûtage (défaut d')	3.2.3.	II	Humidité (du bois)	1.6.3.	I
Anisotropie	1.2.	I	Incident (fonctionnement)	3	II
Arête	1.1./1.6.6.	I	Incliné (bâti)	1.1./2.1.	II
Arrachage	1.5.2.	I	Instabilité (de la lame)	3.2.4.	II
Attaque	1.1./1.5.2./1.6.7.	I	Investissement (coût)	2.3.2.	II
	3.1.	II	Lame	1.1./2.	I
Bec (angle de)	1.1/1.6.8.	I		3.1.	II
	3.1.	II	Largeur (de la lame)	3.1.	II
Bicoupe (scie)	1.1.	II	Longitudinal	1.2.	I
Charge critique	2.2.	I	Longueur (de la lame)	3.1.	II
Chargeur (à grumes)	2.2.	II	Manutention (des grumes)	2.1.4./2.2.	II
Chariot	1.3./2.1.1./2.1.2.	I	Masse volumique (du bois)	1.6.4.	I
Contrôle et réglages	3.4.	II	Mécanisation	2.2.	II
Copeau	1.1./1.5.2./1.6.6.	I	Module de cisaillement	1.2.	I
Copeau projeté	1.4./1.5.3.	I	Module de Young	1.2.	I
Creux (de dent)	1.5.3.	I	Monocoupe (scie)	1.1.	II
	3.1.	II	Pas (de la denture)	1.5.	I
Crique	2.2.	I		3.1.	II
	3.2.5.	II	Plantation (bois de)	1.3.	II
Défaut (de sciage)	3.3.	II	Précision (du sciage)	2.3.1.	II
Dégageante (denture)	1.3.	II	Puissance	2.3./3.2.1.	II
Dent	1.1.	I	Radial	1.2.	I
Dépouille	1.1./1.6.8.	I	Rendement	2.3.	II
	3.1.	II	Rupture (des lames)	3.2.5.	II
Dévers (inclinaison)	2.1.3.	I	Suspendu (chariot)	1.4.	II
Déviation (du trait)	3.2.4.	II	Tangentiel	1.2.	I
Diagramme de performance	2.1.5.	I	Température (du bois)	1.6.2.	I
Division	1.3./2.1.5.	II	Température (lame)	2.	I
Echauffement (lame)	2.4.2./3.2.1.	I	Température (dent)	3.	I
	3.2.4.	II	Tension de montage	2.1./2.3.	I
Ecorceuse	2.2.	II	Tensionnage	2.1.2.	I
Effort de coupe	1.4./1.6.	I	Usure	1.6.5./1.6.6./3.	I
Endurance (limite d')	2.3.2.	I		3.2.2.	II
Épaisseur (lame)	1.1.	I	Utilisation (matériel)	3.	II
	3.1.	II	Vitesse d'aménagement	1.5.	I
Équipement (choix d'un)	2.3.	II	Vertical (bâti)	1.1./2.1.	II
Évacuation (produits)	2.1.3.	II	Vibration	2.2.	I
Évacuation (déchets)	2.2.	II		3.2.4.	II
Fatigue	2.3.	I	Vitesse de coupe	1.1./1.5./1.6.1.	I
Griffe	1.3./2.1.2.	II	Voie	1.1.	I
Guide-lame	2.4.1./2.4.2.	I		3.1.	II
Hauteur (trait de scie)	1.5.3.	I	Volant	2.1./2.1.2.	I
Horizontal (bâti)	1.1./2.1.	II			

I. — THÉORIE DU SCIAGE DES BOIS EN GRUMES

1. LE TRAVAIL DE LA DENT DE SCIE

La réalisation du trait de scie nécessite un enlèvement de matière. Cette opération est réalisée par la dent qui, à chaque intervention, retire une quantité de bois appelée copeau. La position de la dent dans l'espace est définie par la lame qui la porte. La scie est le dispositif mécanique assurant la mise en mouvement de la lame.

1.1. GÉOMÉTRIE DE L'OUTIL DE COUPE

La dent est une pièce le plus souvent métallique pénétrant dans le bois selon des conditions de coupe dépendant :

- de sa géométrie (fig. 1a) ;
- des efforts qui lui sont appliqués, fonction de la résistance qu'oppose le bois à la pénétration de la dent et des conditions d'évacuation du copeau ;
- de la tenue mécanique de la lame, qui définit la position de la dent dans l'espace et transmet l'énergie mécanique fournie par le moteur de la machine.

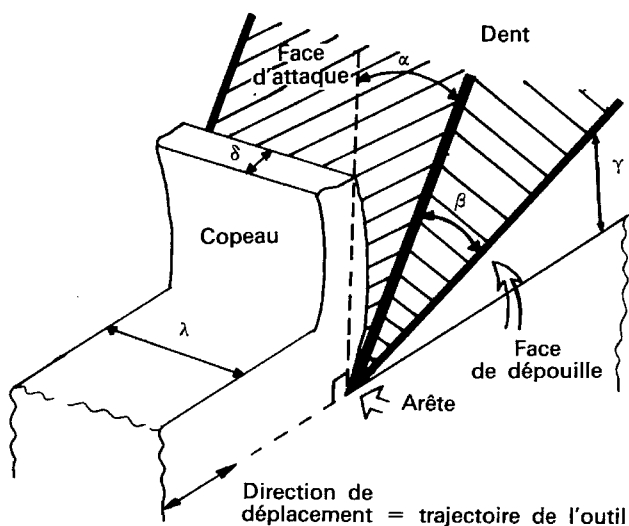


Figure 1a. — Représentation géométrique de la dent et du copeau.

La géométrie de la dent (fig. 1a) est définie par :

- L'angle d'attaque (α) : angle entre la face de l'outil le long de laquelle s'évacue le copeau et un plan perpendiculaire à la direction de déplacement de la dent.

- L'angle de bec (β) : angle compris entre le plan de la face d'attaque et le plan de la face arrière de l'outil appelée aussi face de « dépouille ». Il représente l'angle solide à l'intérieur duquel se trouve le matériau constituant la dent.

- L'angle de dépouille dorsale (γ) : angle compris entre la face arrière de l'outil et le plan défini par l'arête et la direction de déplacement de l'outil. Il a pour but d'éviter le talonnement de la face de dépouille au cours du sciage et réduit les frottements.

On distingue également (fig. 1b) :

- L'angle de dépouille latérale dorsale (γ_s) : angle entre les arêtes de la face de dépouille dorsale et un plan perpendiculaire à l'arête de coupe.

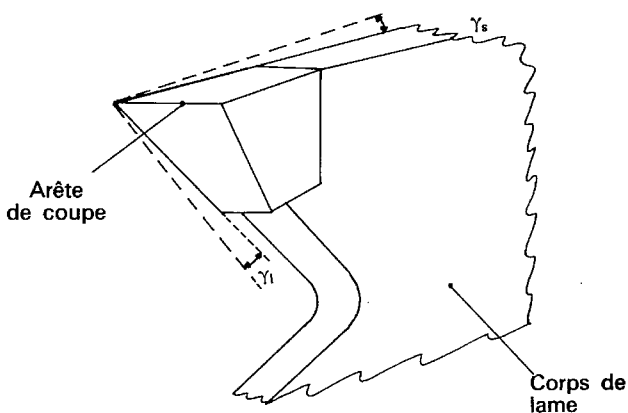


Figure 1b. — Représentation schématique des dépouilles latérales.

- L'angle de dépouille latérale frontale (γ_f) : angle entre les arêtes de la face d'attaque et un plan perpendiculaire à l'arête de coupe.

La somme des angles $\alpha + \beta + \gamma$ vaut, par définition, 90° . β et γ sont toujours positifs. L'angle α peut, pour certains outils, être négatif. Pour les scies à ruban, il est toujours positif.

Les angles de dépouille latérale permettent de réduire le frottement du corps de lame à l'intérieur du trait de scie.

Sur les petits rubans on conserve souvent le principe de la denture dite « avoyée par torsion ». Dans ce cas, la dépouille latérale dorsale est donnée par une torsion alternée des dents (fig. 1c). On appelle voie l'excédent de matière introduit de part et d'autre du corps de lame par les dépouilles latérales.

$$\text{voie} = (\lambda - e) / 2$$

λ : longueur d'arête ou épaisseur théorique du trait de scie

e : épaisseur de la lame

La dent est mise en mouvement par la lame qui la porte. Sa vitesse de déplacement selon une direction perpendiculaire à l'arête de coupe (trajectoire de l'outil) est appelée vitesse de coupe (V).

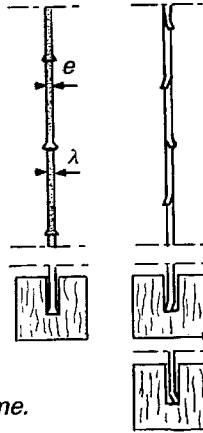


Figure 1c. — Voie et épaisseur de lame.

1.2. CONSÉQUENCES DE L'ANISOTROPIE DU BOIS SUR LE SCIAGE

1.2.1. RAPPELS SUR L'ANISOTROPIE DU BOIS

Les différents modes de coupe ne peuvent être abordés sans une définition préalable du comportement anisotrope du bois. En raison de la structure ordonnée de la matière ligneuse (fibres, vaisseaux, rayons) les propriétés physiques et mécaniques varient selon la direction considérée. Il existe trois directions d'anisotropie (fig. 2 et 3) :

- longitudinale (L_b) ou axiale — direction définie par le fil du bois, parallèle aux fibres et aux vaisseaux (trachéides pour les conifères) ;
- radiale (R_b) — direction perpendiculaire à la précédente, parallèle aux rayons ligneux ;

- tangentielle (T_b) — direction perpendiculaire aux rayons, définie en un point donné par la tangente aux cernes d'accroissement.

La direction longitudinale induit un comportement fortement anisotrope par rapport au plan transversal défini par R_b et T_b . Le module de Young selon L_b (E_L) est très supérieur aux modules transversaux. Le module de Young selon R_b (E_R) est lui-même supérieur au module tangentiel (E_T)

$$E_L \gg E_R > E_T$$

Les résistances mécaniques en cisaillement sont régies par la même anisotropie. Les modules de cisaillement dans un plan contenant la direction longitudinale ($L_b R_b$ ou $L_b T_b$) sont supérieurs au module de cisaillement dans le plan transversal. L'anisotropie de comportement mécanique diminue quand la masse volumique du bois augmente.

Elle est illustrée par les trois exemples suivants (tableau I).

1.2.2. LES DIFFÉRENTS MODES DE COUPE

Au stade de la première transformation, on rencontre principalement :

- la coupe en long,
- la coupe en travers,

utilisées sur grumes comme sur pièces déjà débitées (fig. 2).

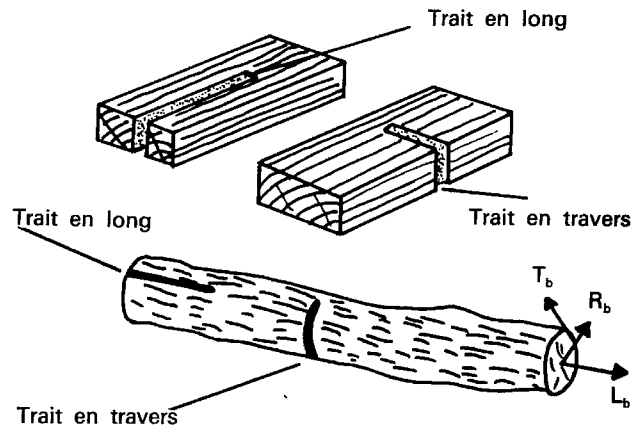


Figure 2. — Sciage en long et sciage en travers.

Tableau I. — Propriétés mécaniques élastiques relatives de 3 essences tropicales

Nom	Masse volumique (en kg/m ³)	E_L	E_R	G_{RL}	G_{TL}
BALSA	200	58 E_T	2,8 E_T	10,7 G_{RT}	7 G_{RT}
LIMBA	550	9,4 E_T	1,4 E_T	2,0 G_{RT}	1,7 G_{RT}
BALATA ROUGE	1 100	8,4 E_T	1,3 E_T	1,9 G_{RT}	1,6 G_{RT}

E_T : Module de Young selon T_b ; G_{RT} : Module de cisaillement dans le plan $R_b T_b$;
 E : Modules de Young ; G : Modules de cisaillement.

Les modes de coupe sont définis par deux angles :

- l'angle entre la direction définie par l'arête de coupe et le fil du bois,
- l'angle entre la direction de déplacement de l'outil et le fil du bois.

En sciage en long, l'arête est perpendiculaire au fil et l'outil se déplace perpendiculairement à ce dernier. Il s'agit d'un mode de débit à dominante 90-90 (fig.

3a). En sciage en travers, l'arête est parallèle au fil et le déplacement lui est perpendiculaire ; le mode dominant est de type 0-90.

Remarque : dans les opérations d'usinage liées à la deuxième transformation, telles que dégauchissage, rabotage ou toupillage, le mode de coupe est de type 0-90. Ce mode de coupe peut également se rencontrer en sciage (fig. 3c) dans certains travaux de menuiserie.

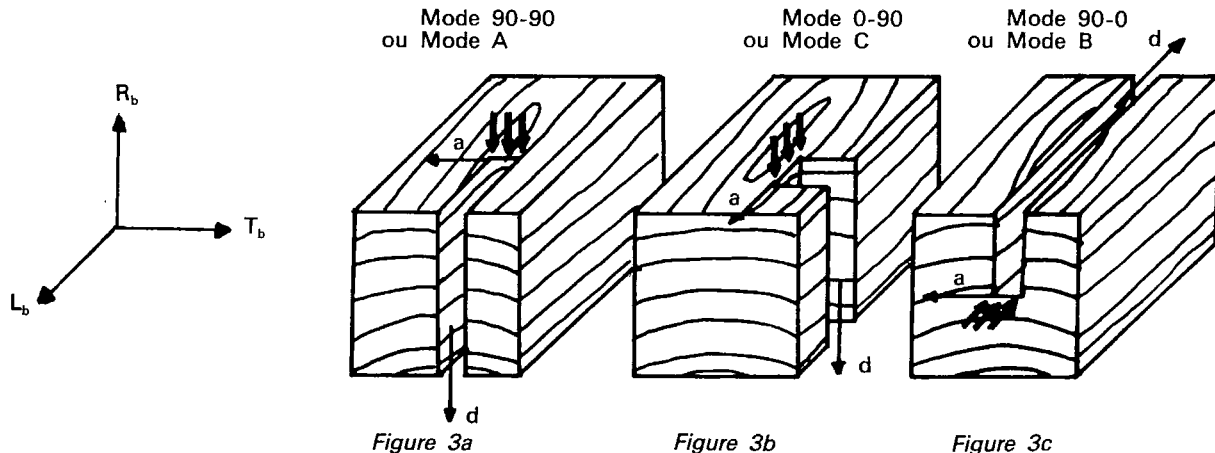


Figure 3a

Figure 3b

Figure 3c

Figure 3. — Modes de coupe [2] :

- a) Direction de l'arête
d) Direction de déplacement de l'outil.

1.3. MÉCANISME DE LA FORMATION DU COPEAU

Seul, le mécanisme théorique de la formation d'un copeau en mode 90-90 (sciage en long), tel que défini fig. 1a et fig. 3a, est abordé dans ce paragraphe. Les phénomènes induits par l'action du bois sur les faces latérales de dépouille ne sont pas pris en compte et la longueur d'arête est supposée supérieure à la largeur de la pièce usinée.

Le processus de formation du copeau déduit des observations réalisées en cinématographie ultra-rapide peut très schématiquement se décomposer en deux phases :

- Dans un premier temps, la dent comprime et fléchit les fibres. Les contraintes qui se développent de part et d'autre du plan de coupe sous l'effet de la poussée de l'outil entraînent la rupture des fibres (fig. 4). Le phénomène de compression-flexion est d'autant plus marqué que la résistance mécanique du bois à la compression transversale est faible (bois tendres).
- Dans un deuxième temps, les fibres tranchées s'écoulent de part et d'autre de la dent. Sur la face d'attaque, elles forment le copeau qui se fractionne en particules plus ou moins fines, appelées sciures.

L'étude du copeau au voisinage de l'arête fait apparaître une zone de grandes déformations, très localisée. Schématiquement, on peut représenter le

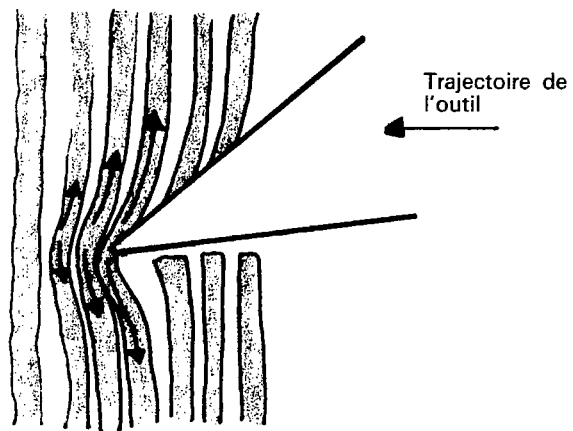


Figure 4. — Représentation schématique du tranchage des fibres.

phénomène par une déformation dans un plan (appelé généralement : plan de cisaillement) formant un angle Φ avec la trajectoire de l'outil (fig. 5). Le fractionnement du copeau ne provient pas uniquement d'un phénomène de cisaillement. Il s'agit en fait d'un mode de rupture beaucoup plus complexe, dans lequel interviennent à la fois la flexion du copeau, l'écrasement et la déformation des fibres, ainsi que le cisaillement selon le plan AB.

Les valeurs de Φ ne sont pas constantes et varient avec les conditions de coupe (épaisseur de copeau, angle d'attaque). Lorsque l'outil a pénétré dans la pièce, le volume de matière ABCD, situé au voisinage

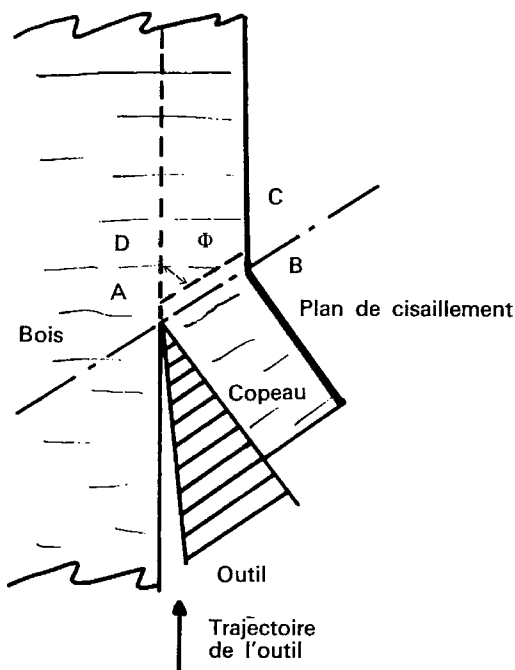


Figure 5. — Représentation schématique de la formation du copeau [3].

de l'arête, est comprimé. Il s'écoule ensuite progressivement le long de la face d'attaque sous l'effet de l'avance de l'outil. Les pressions se transmettent ensuite au volume élémentaire suivant A'B'C'D', et ainsi de suite (fig. 6).

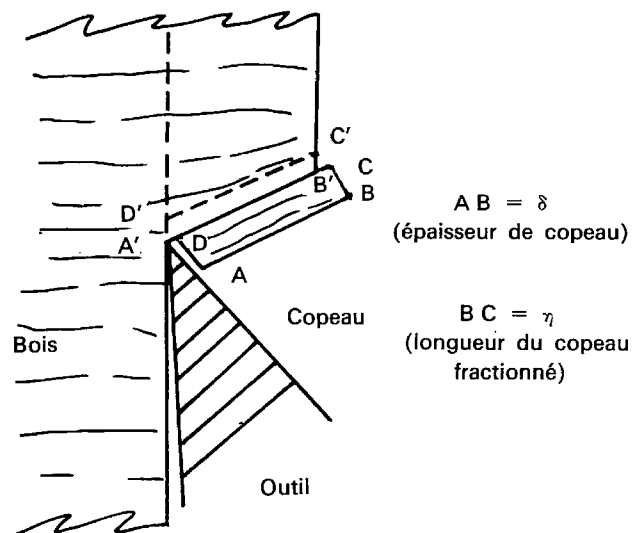


Figure 6. — Fractionnement du copeau.

Au-delà d'une certaine valeur d'effort appliqué par l'outil, il y a séparation du copeau et de la pièce de bois le long du plan faisant l'angle Φ avec la trajectoire de l'outil.

Le mécanisme de formation du copeau résulte :

- d'une compression-flexion entraînant la rupture des fibres,
- d'un écoulement au voisinage de l'arête avec frottements sur la face d'attaque,

- d'une rupture dans le plan Φ .

La dimension et la forme du copeau dépendent :

- du comportement mécanique du bois en compression, cisaillement et flexion,
 - de la géométrie de l'outil,
 - de l'orientation des directions d'anisotropie du bois par rapport à l'arête de l'outil et à sa trajectoire.
- La forme des copeaux est étroitement dépendante de ce facteur.

En théorie de la coupe, l'épaisseur de copeau δ (fig. 6) n'est pas forcément égale à la « morsure » de l'outil δ' (fig. 7a).

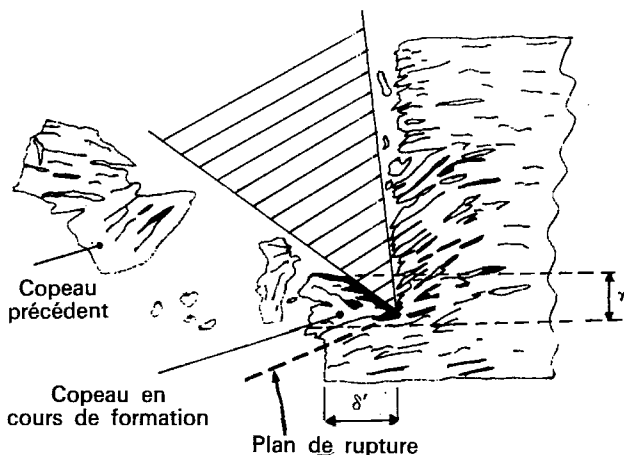


Figure 7a. — Formation du copeau en mode 90-90 (représentation schématique de photographies obtenues en cinématographie ultra-rapide) [4].

La condition d'égalité est donnée par la relation :

$$\operatorname{tg} \Phi = \frac{\cos \alpha}{1 - \sin \alpha}$$

soit une valeur de Φ voisine de 60° , pour des angles d'attaque compris entre 20 et 40° (valeurs les plus courantes en matière de sciage des bois en grumes). Les observations en cinématographie ultra-rapide confirment que l'angle du plan de cisaillement avec la direction de déplacement de l'outil est, pour ces valeurs d'angle d'attaque, très voisin de 60° (fig. 7b).

Remarque : en coupe transversale, les conditions de travail de l'outil sont très différentes. En sciage en long, la dent sectionne un nombre de fibres important sur une distance égale à la longueur de l'arête (plusieurs mm), fig. 8a. En sciage en travers, le nombre de fibres concernées est beaucoup plus faible, car le travail ne s'effectue plus que sur une distance correspondant à l'épaisseur de copeau (quelques dixièmes de millimètres), fig. 8b. Il en résulte que le travail à fournir pour effectuer un trait de scie perpendiculairement au fil du bois est très inférieur (environ 3 à 4 fois) au travail nécessaire à l'exécution d'un trait comparable en sciage en long.