



PHOTO 1. — Rondins de Wapa peu fendus après sélection
grâce au capteur C.T.F.T. (Photo C. SALES).

LA TRANSFORMATION MÉCANIQUE DES BOIS GUYANAIS

par C. SALES

*Ancien Chef de la division Physique, Mécanique et Usinage
du Centre Technique Forestier Tropical
Conseiller Recherche et Technologie
au Centre Technique du Bois et de l'Ameublement*

SUMMARY

MECHANICAL PROCESSING OF GUIANESE WOODS

Guianese woods are usually of regular shape, but their density is often rather high. However, the difficulties encountered during their processing mainly come from risk of splitting in some species. Splitting occurs because of the presence of internal stress, called « growth stress ».

In this article, the author shows the means to minimize this defect to a satisfactory level. He also mentions what should be known about sawing, choice of equipment and the various cutting materials.

RESUMEN

LA MANUFACTURA MECANICA DE LAS MADERAS DE GUAYANA

Las maderas de Guayana presentan generalmente una forma regular, pero su densidad es frecuentemente bastante elevada. No obstante, las dificultades con que se ha tropezado durante el transcurso de su manufactura proceden, fundamentalmente, de la aptitud a la formación de grietas de ciertas especies. Estas grietas se derivan de la liberación de tensiones internas, denominadas « tensiones de crecimiento ».

El el presente artículo, el autor indica los medios para reducir de forma apreciable semejante inconveniente. También se precisan las principales nociones que es de entetés conocer acerca del aserrío, la opción de un equipo o máquina y, asimismo los distintos materiales de corte.

INTRODUCTION

Les bois de Guyane actuellement commercialisés se caractérisent par une masse volumique assez élevée, supérieure à 700 kg/m³ pour près des trois quarts des essences. Les seules exceptions concernent un petit nombre d'essences comme Gonfolo, Grignon-Franc, Jaboty, de masse volumique comprise entre 500 à 600 kg/m³ à l'état sec. Il n'existe pas pour l'instant de commercialisation suivie de bois légers. Une opération de promotion des essences peu connues de bois dits « blancs » est en cours.

L'abrasivité des bois guyanais est très variable. La forte proportion de bois denses dans la liste des espèces commercialisées a contribué à donner aux bois de Guyane une réputation de bois plutôt difficiles à travailler.

Comparée à celle des bois africains, la taille moyenne des grumes (50 à 80 cm de diamètre), a pu apparaître pendant très longtemps comme un handicap affectant la productivité des exploitations et des scieries. Ce caractère est de moins en moins pénalisant dans la mesure où les diamètres des grumes de sciage sont en diminution dans toutes les régions forestières. En Europe, une

grume de chêne bien conformée de 40 cm de diamètre est considérée comme un produit de haute qualité.

En Guyane, la forme des rondins est généralement régulière. Les difficultés rencontrées au cours de la transformation ne résident pas dans les dimensions, ni la forme des arbres, mais essentiellement dans l'aptitude à la fente présentée par certaines essences. Ce phénomène est la manifestation visible de la destruction de la situation d'équilibre mécanique induite par les contraintes internes présentes dans l'arbre sur pied où subsistent dans les grumes. Elles sont imputées aux transformations subies par la matière ligneuse au cours du développement de l'arbre (photo 1).

Pour cette raison, elles sont appelées contraintes de croissance. Elles sont à l'origine des éclatements survenant dès l'abattage ainsi que des fentes affectant les extrémités des rondins et se propageant sur le roulant. A cet égard, il est indéniable que la forêt guyanaise présente, parmi les bois potentiellement commercialisables, une proportion d'essences à niveau de contraintes de croissance sensiblement plus élevé qu'en Afrique ou en Asie.



PHOTO 2. — *Wapa* éclaté immédiatement après abattage (C.T.F.T.).

LES CONTRAINTES DE CROISSANCE

Elles se manifestent dès l'abattage sous la forme de fentes radiales plus ou moins importantes pouvant rendre la grume impropre au sciage. Elles affectent, plus particulièrement, les différentes espèces de *Wapa* (*Eperua spp*) mais aussi d'autres essences telles que Simarouba, Manil, Assao... L'aptitude des bois à la fente dépend très schématiquement :

- de la fissilité qui est une propriété caractéristique de l'espèce et relativement peu variable d'un individu à l'autre,

- du niveau de contraintes de croissance qui peut, par contre, varier fortement entre individus d'une même espèce.

Les bois fissiles, comme le *Wapa*, sont particulièrement sensibles au phénomène et peuvent présenter des fentes très importantes même sous des niveaux de contraintes moyens. A l'inverse, des essences telles que le Chawari, qui donnent un bois souvent contrefilé présentant une bonne cohésion transversale, sont moins sensibles à l'éclatement et à la fente tout en présentant des

niveaux de contraintes au moins aussi élevés que ceux du *Wapa*.

Le Centre Technique Forestier Tropical a mis au point une technique permettant d'apprécier le niveau des contraintes de croissance dans l'arbre sur pied. La méthode qui utilise un dispositif léger et de taille très réduits (cf. photo 3) permet d'évaluer en quelques minutes le niveau de tension à la périphérie des arbres sur pied. Cette mesure, par référence à une abaque établie pour chaque espèce, permet, si on le désire, de limiter les opérations d'abattage aux seuls individus peu susceptibles de se déformer. Dans les cas litigieux correspondant à des niveaux moyens de contraintes, les arbres peuvent être cerclés par des systèmes légers et facilement transportables constitués de ceintures de nylon. La campagne d'essais systématiques menée sur les trois espèces de *Wapa* a montré que les individus pouvaient être rangés en trois classes en fonction de leur niveau de contraintes et des conséquences sur l'aptitude à la fente. Chaque groupe représentait très sensiblement le tiers des individus testés.

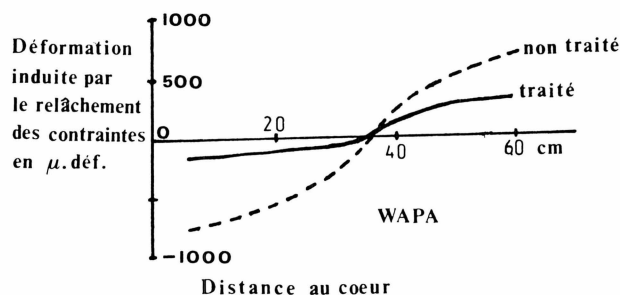


FIG 1. — Influence du traitement thermique sur la relaxation des contraintes.

Le groupe à haut risque (plus fort niveau de contraintes) ne peut pas faire l'objet d'une utilisation rationnelle en scierie. Les individus du groupe à faible niveau de contraintes donnent, à l'opposé, des rondins de sciage d'assez bonne qualité. Ils sont susceptibles de faire l'objet d'une valorisation optimum. Les grumes provenant d'arbres de la classe intermédiaire présentent des risques de fente limités mais suffisants pour entraîner des pertes de rendement matière au sciage assez considérables. Dans ces conditions, il est possible d'abattre les arbres et de tronçonner les grumes en limitant l'ouverture des fentes par les ceintures précédemment décrites.

Le C.T.F.T. étudie actuellement un procédé thermique destiné à activer la relaxation des contraintes avant sciage. Des résultats très encourageants ont été obtenus après immersion des rondins dans de l'eau chauffée à des températures comprises entre 80 et 95 °C. La durée d'application du traitement est fonction du diamètre des grumes. Le niveau des contraintes a ainsi pu être réduit d'environ 75 % (cf. fig. 1). Le risque d'aggravation des fentes en cours de traitement nécessite le maintien des dispositifs spéciaux pendant toute la durée d'application du processus. Les ceintures de nylon sont inutilisables dans la gamme de température envisagée. Elles peuvent être avantageusement remplacées par des plaques métalliques (type connecteur de charpente), clouées aux extrémités avant l'enlèvement des ceintures. Elles sont laissées en place pendant toute la durée du traitement puis éliminées par tronçonnage des extrémités avant sciage.

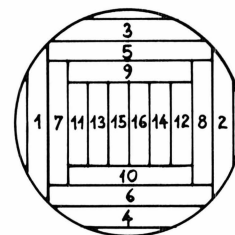


FIG 2. — Mode de débit destiné à réduire les déformations au cours du sciage.

D'autres méthodes peuvent également être employées avec succès à condition d'en connaître parfaitement les limites. Le stockage prolongé des grumes dans l'eau permet une réduction appréciable du niveau des contraintes. Dans ce cas on obtient un relâchement partiel des contraintes internes par relaxation différée. L'immersion des grumes a simplement pour but d'éviter le séchage en surface. Il entraînerait l'apparition de contraintes résiduelles se superposant aux contraintes de croissance.

Les conséquences des contraintes de croissance sur la qualité des sciages (déformations, fentes, ...) peuvent également être minimisées par l'adoption d'un plan de découpe adapté au problème. Pour cela, le débit est conduit en respectant, dans la mesure du possible, la symétrie axiale du rondin. Les parties externes de la grume sont d'abord retirées avant d'aborder un mode de débit plus conventionnel selon le schéma de la figure 2. Ce mode de sciage nécessite plusieurs retournements qui ne peuvent être réalisés aisément qu'à la condition de disposer d'un matériel spécialement adapté. Toutefois, il ne se traduit par des augmentations sensibles de rendement matière (2 à 10 %) qu'en présence de rondins peu fendus. Dans le cas contraire, il faut intervenir sur la grume afin de l'amener au sciage en bon état. Le choix d'une méthode de débit convenable n'est qu'un plus qui permet de gagner quelques pour cents supplémentaires et le gain dépend fortement de la dimension du produit fini. Le sciage en plots est le moins adapté au problème.

L'USINAGE DES BOIS

Rappels et généralités

L'opération de sciage ou d'usinage se traduit par l'enlèvement d'une certaine quantité de matière appelée copeau. La dent, le couteau, la fraise sont des pièces métalliques pénétrant dans le bois sous des conditions

bien définies, dépendant principalement :

- de la géométrie de l'outil,
- des pressions qui lui sont appliquées, fonction de la résistance opposée par le bois à l'action de coupe,
- de la tenue mécanique de la lame ou du porte-outil qui transmettent la puissance fournie par le moteur de la machine.

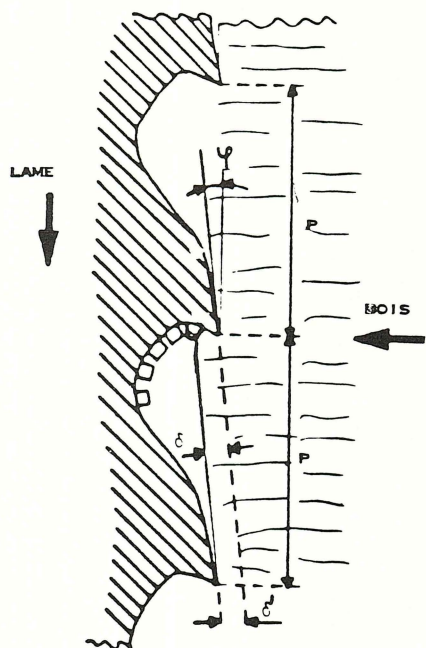


FIG. 3. — Définition des paramètres géométriques caractérisant la denture.

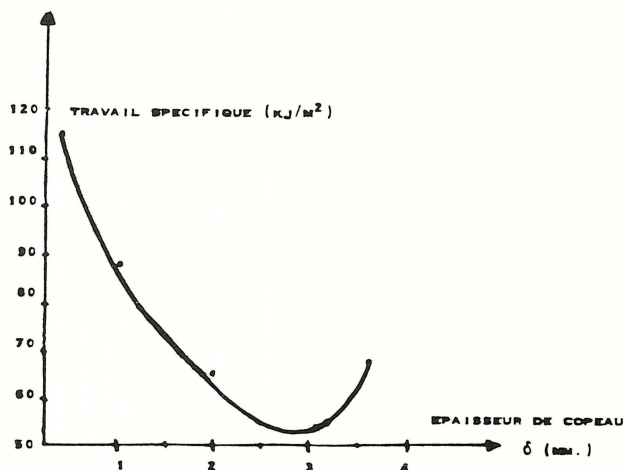


FIG. 4. — Travail spécifique en fonction de l'épaisseur de copeau.

Le sciage des bois en grume à la scie à ruban

La scie à ruban représente plus de 85 % des scies de tête, installées dans le monde pour le sciage des bois tropicaux.

Comment utiliser au mieux, avec le meilleur profit et une bonne productivité un matériel donné ?

Quel type de machine, et de quelle taille ? Quels sont les paramètres à prendre en compte dans le choix du matériel ?

Une bonne connaissance du fonctionnement des scies à ruban permet de définir des règles cohérentes répon-

dant à la première question. Il en va différemment de la seconde. Il ressort clairement des multiples situations auxquelles nous avons été confrontées que l'on peut pratiquement couper n'importe quel bois avec n'importe quel modèle de scie. Une tradition bien établie et fondée sur des règles mécaniques indiscutables veut que la taille des scies augmente avec le diamètre moyen des grumes. En pratique, il n'est toutefois pas exceptionnel de rencontrer dans les grandes scieries nord-américaines des rubans de 2,40 m à 2,70 m de diamètre de volants pour scier des pins d'Orégon de 40 à 50 cm de diamètre. Inversement, beaucoup de scieries artisanales de bois tropicaux débitent des rondins de 0,80 m à 1,50 m de diamètre avec de petites scies équipées de volants de 1,10 à 1,30 m. Entre ces situations extrêmes il existe des différences considérables que nous allons analyser par la suite.

PHOTO 3. — Capteur destiné à la mesure du niveau de « contraintes de croissance ». (Photo C. SALES).



Les difficultés de sciage augmentent avec la hauteur du trait de scie, la masse volumique et l'abrasivité des bois.

L'effort limite que peut supporter une dent dépend de sa rigidité elle-même fonction de sa géométrie. La denture la mieux adaptée au sciage des bois guyanais est la denture dite à « Copeaux projetés » qui assure à la fois une bonne rigidité des dents et une évacuation satisfaisante des sciures.

L'effort de coupe augmente avec l'épaisseur de copeau (cf. fig. 4). Une fois le pas de la denture et la vitesse de coupe fixés, la vitesse d'amenage du bois conditionne l'épaisseur de copeau. L'épaisseur moyenne des copeaux est donnée par la relation :

$$\delta = (A \times p) / (60 \times V)$$

Avec :

- A : vitesse d'amenage en m/mn,
- p : pas de la denture en mm,
- V : vitesse de coupe en m/s,
- δ : épaisseur de copeau en mm.

En pratique, quatre facteurs essentiels limitent la vitesse de coupe (V) :

- la résistance mécanique des volants, arbres de transmission, paliers, ... aux grandes vitesses de rotation,
- le comportement dynamique de la lame en mouvement (vibrations),
- l'usure qui est fortement aggravée par la vitesse de coupe surtout pour les bois denses et abrasifs.

Pour les bois légers et peu abrasifs tels que certains conifères, les vitesses de coupe peuvent atteindre 60 m/s. **Pour le sciage des bois guyanais, on conseillera une vitesse de coupe standard d'environ 35 m/s.**

La scie ne travaille dans de bonnes conditions de coupe que sur une plage limitée d'épaisseur de copeau. Pour les fortes épaisseurs, l'effort de coupe augmente plus vite que l'épaisseur ce qui rend le sciage moins économique du point de vue énergétique (cf. fig. 4). Par ailleurs, la lame dévie et le sciage devient très difficile à partir d'une certaine épaisseur de copeau en raison de l'augmentation d'effort. Pour les faibles épaisseurs (moins de 0,2 mm), la lame est repoussée par le bois ; le sciage se fait par raclage et non par enlèvement de copeau. Le bilan énergétique est désastreux (fig. 4) et l'usure maximale. La rigidité de la denture et de la lame étant fonction de son épaisseur, la dimension optimum de copeau en dépend. Elle se situe entre :

- 0,7 à 1,5 fois l'épaisseur de la lame pour les bois légers à mi-lourds (Gonfolo, Grignon-Franc, Jaboty, ...)
- 0,4 à 0,8 fois l'épaisseur de la lame pour les bois plus denses (plus de 700 kg/m³ à l'état sec).

À l'intérieur de ces fourchettes, l'optimum d'épaisseur dépend de nombreux autres paramètres de coupe. Toute action entraînant une diminution d'effort de coupe permet une augmentation de l'épaisseur de copeau. L'effort de coupe diminue quand augmentent :

- la qualité d'affûtage,

- l'angle d'attaque,
- le taux d'humidité du bois.

Il y aurait, théoriquement, intérêt à adopter le plus grand angle d'attaque possible. La résistance mécanique de la dent impose un angle de bec minimum de 40 à 45°. En dessous de cette valeur, l'arête est très rapidement détruite. Par ailleurs, un angle d'attaque trop élevé entraîne sur les petites machines sciant des bois durs des phénomènes dits de broutage dus à l'aspiration de la lame par le bois. **L'angle d'attaque des dentures des lames destinées à être montées sur des bâtis de moins de 1,60 m est ainsi limité à 25°. Pour de plus gros bâtis il peut être porté à 30° et même à 35° pour le sciage de bois peu difficiles.**

La qualité de l'affûtage (finition, tranchant de l'arête, état de surface des faces d'attaque et de dépouille) permet de diminuer l'effort de coupe. En pratique, il n'y a intérêt à affûter finement les lames que si la résistance à l'usure est suffisante pour ne pas réduire à néant, après quelques mètres de sciage, le soin apporté à leur préparation. L'affûtage fin de lames stellitées est particulièrement intéressant. Jusqu'à ces dernières années, il était impossible d'obtenir avec la stellite la même qualité d'affûtage qu'avec les aciers. Les rectifieuses et affûteuses de la nouvelle génération le permettent. Équipées de meules Borazon (Nitrure de Bore à structure cristalline cubique) et travaillant sous arrosage, elles sont d'une grande précision et permettent d'obtenir une qualité remarquable d'état de surface et de tranchant.

La dimension des grumes conditionne en partie la hauteur de trait de scie et, par conséquent, le nombre de dents en travail. Celui-ci est égal à la hauteur de sciage divisée par le pas. Plus le nombre de dents en travail est élevé, plus les efforts mécaniques exercés sur la lame sont importants. Il existe, pour chaque couple lame-machine, un niveau d'effort limite à partir duquel les déviations du trait de scie sont telles qu'un sciage correct devient impossible. Plus les bois sont difficiles à scier et plus la hauteur de coupe devient un paramètre critique car plus rapidement sont atteintes les limites de la scie (fig. 5).

Les efforts imposés à la lame (une fois le pas et la vitesse de coupe fixés) peuvent être réduits en diminuant l'épaisseur de copeau, c'est-à-dire, la vitesse d'amenage et donc, également, la productivité de la machine. L'utilisation optimale d'une scie implique d'adapter la vitesse d'amenage à la hauteur du trait de scie. Il est également possible d'agir sur la rigidité de la lame qui augmente avec :

- son épaisseur et sa largeur,
- la tension de montage,
- le niveau de tensionnage,

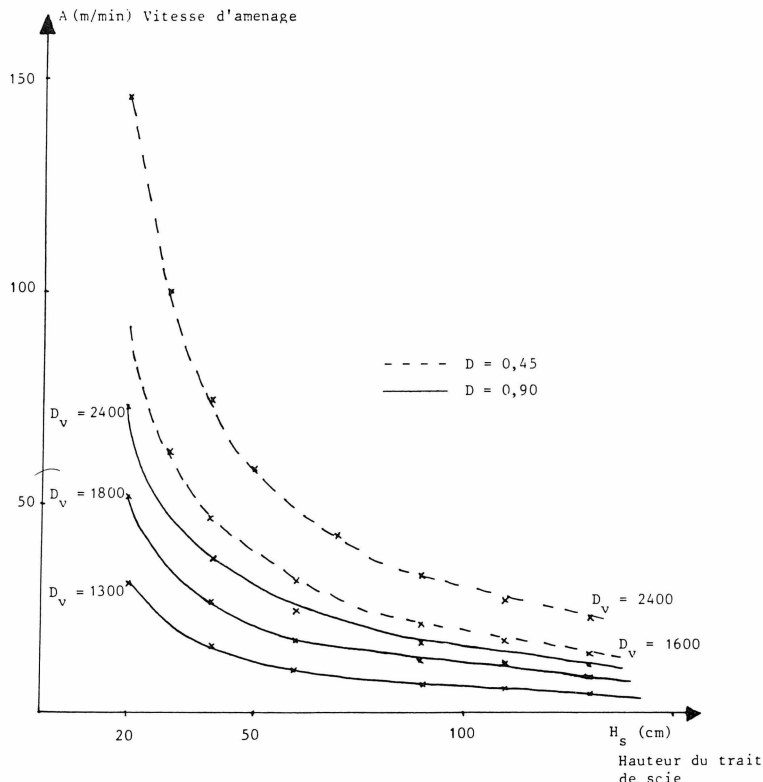
et diminue avec :

- la longueur du brin coupant (entre-axe des volants).

Il est possible de tendre plus fortement les lames à condition de réduire les efforts cycliques dus à la flexion sur les volants à l'origine de la détérioration des lames par fatigue. Les bâtis spécialement conçus pour travailler sous forte tension de montage (le double des tensions

FIG. 5. — Vitesse d'amenage en fonction de la hauteur de sciage et de la taille du ruban (déviations maximale du trait de 1 mm) (D_v : diamètre des volants, b : largeur de la lame, L : entre-axe des volants).

usuelles, soit 300 à 350 MPa — 30 à 35 DaN/mm²) sont un progrès considérable en matière de sciage et tout particulièrement de sciage de bois denses de fort diamètre. Les lames sont moins épaisses (jusqu'à $D/1.500$) mais fortement tendues. Elles présentent une rigidité très supérieure aux lames travaillant sous des tensions conventionnelles (150 MPa) tout en subissant des efforts de coupe moins importants du fait de la réduction de voie associée à une plus faible épaisseur de lame. La diminution de perte de matière au trait de scie peut se traduire par un gain de 2 à 3 % sur le rendement matière. Par ailleurs, l'augmentation de tension de montage peut compenser un manque de tensionnage et simplifier considérablement l'entretien des lames.



CARACTERISTIQUES DES LAMES POUR LES DIFFERENTES SIMULATIONS :

D_v (mm)	1300	1600	1800	2100	2400
e (mm)	1,2	1,4	1,6	1,9	2,2
b (mm)	175	225	250	294	336
L (mm)	2340	2880	3240	3780	4320

α (°) constant et égal à 25°
 σ_T (contrainte de traction dans la lame) constante et égale à 150 DaN/mm²

RÉFLEXIONS SUR LE CHOIX D'UN ÉQUIPEMENT POUR LE SCIAGE DES BOIS GUYANAIS

A partir d'un volume de 40 à 70 m³ de grumes à transformer par jour on conseillera l'installation d'un ruban de 1,80 m de diamètre de volants comme scie de tête. En production minimum (40 m³ de grumes/jour), on retiendra le schéma classique sciage-déblignage-tronçonnage. Des niveaux de production plus importants peuvent être atteints en ajoutant un ou deux rubans de reprise supplémentaires (diamètres de volants 1,30 à 1,50 m). Bien que des productions plus élevées puissent être obtenues par l'adjonction de rubans de reprise supplémentaires, l'installation d'une scie de tête de 2,10 m est à conseiller lorsque le niveau de production escompté atteint les 100 m³/jour de bois ronds. Outre les conséquences sur la productivité illustrées par les vitesses d'amenage données dans les tableaux 1, 2 et 3, le fait de disposer de

machines à plus forts diamètres de volants entraînant une amélioration de la rigidité des lames en travail, augmente la précision du sciage et la qualité des produits finis. Le prix d'un bâti en fonte coulée pour une scie de 1,30 m diamètre de volants est compris entre 180 et 220 kF ; il est d'environ 300 kF pour une scie de 1,50 m et compris entre 350 et 400 kF pour une scie de 1,80 m. Le coût d'un chariot de 6 m à 4 griffes est compris entre 500 et 600 kF. Ces prix donnés à titre indicatif étaient ceux en vigueur en 1987. Les surcoûts d'investissement d'un ensemble bâti-chariot, lorsqu'on augmente la taille du bâti, sont relativement limités :

- 1,30 m à 1,50 m : 10 à 15 %
- 1,50 m à 1,80 m : 10 à 15 %
- 1,30 m à 1,80 m : 20 à 25 %

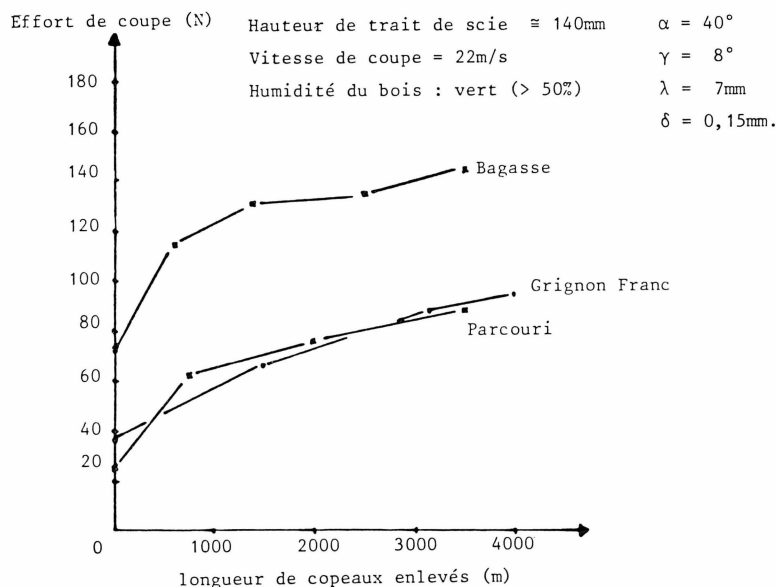


FIG. 6. — Influence de l'usure sur l'effort de coupe pour trois essences guyanaises.

TABLEAU 1

CONDITIONS OPTIMALES DE SCIAGE SUR PETITS RUBANS
(TENSION DE MONTAGE CONVENTIONNELLE)

DIAMÈTRE DES VOLANTS DE LA SCIE : 1,30 m				
Épaisseur des lames : 1,10 à 1,30 mm			Puissance du moteur : 50 à 60 CV	
Largeur des jantes Largeur des lames neuves		plus de 180 mm plus de 200 mm	140 à 170 mm 160 à 190 mm	110 à 130 mm 130 à 150 mm
BOIS LOURDS	Pas	50 à 60 mm	45 à 55 mm	40 à 50 mm
	Profondeur (1)	18 à 22 mm	17 à 21 mm	14 à 18 mm
	Angle d'attaque	24 à 28°	22 à 26°	20 à 24°
	Angle de dépouille	10 à 12°	10 à 12°	14 à 16°
	Voie (2)	0,40 à 0,50 mm	0,35 à 0,45 mm	0,30 à 0,40 mm
	Vitesse de coupe	30 à 40 m/s	30 à 40 m/s	30 à 40 m/s
	Vitesse d'amenage (3)	5 à 10/5 à 10/20 à 25	< 5/5 à 10/15 à 20	< 5/ < 5/10 à 15
BOIS LÉGERS	Pas	55 à 65 mm	50 à 60 mm	45 à 55 mm
	Profondeur (1)	21 à 25 mm	18 à 22 mm	17 à 21 mm
	Angle d'attaque	28 à 32°	26 à 30°	24 à 28°
	Angle de dépouille	10 à 12°	10 à 12°	10 à 12°
	Voie (2)	0,50 à 0,60 mm	0,45 à 0,55 mm	0,40 à 0,50 mm
	Vitesse de coupe	35 à 45 m/s	35 à 45 m/s	35 à 45 m/s
	Vitesse d'amenage (3)	15 à 20/25 à 30/50 à 55	10 à 15/20 à 25/45 à 50	10 à 15/20 à 25/40 à 45

Bois légers : bois de masse volumique inférieure à 700 kg/m^3 à l'état sec.

Bois lourds : bois de masse volumique supérieure ou égale à 700 kg/m^3 à l'état sec.

(1) Profondeur du creux de dent = hauteur de la denture.

(2) Voie = $(\lambda - e)/2$.

(3) En m/mn ; la première fourchette correspond à une hauteur de sciage de 0,90 m, la seconde de 0,60 m et la troisième de 0,30.

TABLEAU 2

CONDITIONS OPTIMALES DE SCIAGE SUR RUBANS D'ASSEZ FORTES DIMENSIONS
(TENSION DE MONTAGE CONVENTIONNELLE)

DIAMÈTRE DES VOLANTS DE LA SCIE : 1,80 m				
Epaisseur des lames : 1,50 à 1,80 mm			Puissance du moteur : 100 à 150 CV	
Largeur des jantes Largeur des lames neuves		plus de 250 mm plus de 270 mm	240 à 200 mm 260 à 220 mm	190 à 160 mm 210 à 180 mm
BOIS LOURDS	Pas	60 à 70 mm	55 à 65 mm	50 à 60 mm
	Profondeur (1)	23 à 26 mm	21 à 24 mm	19 à 22 mm
	Angle d'attaque	26 à 30°	24 à 28°	22 à 26°
	Angle de dépouille	10 à 12°	10 à 12°	10 à 12°
	Voie (2)	0,50 à 0,70 mm	0,55 à 0,65 mm	0,50 à 0,60 mm
	Vitesse de coupe	30 à 35 m/s	30 à 35 m/s	30 à 35 m/s
	Vitesse d'amenage (3)	10 à 15/15 à 10/35 à 40	5 à 10/10 à 15/25 à 30	< 5/5 à 10/15 à 20
BOIS LÉGERS	Pas	65 à 75 mm	60 à 70 mm	55 à 65 mm
	Profondeur (1)	26 à 29 mm	24 à 27 mm	22 à 25 mm
	Angle d'attaque	30 à 34°	28 à 32°	26 à 30°
	Angle de dépouille	10 à 12°	10 à 12°	10 à 12°
	Voie (2)	0,70 à 0,80 mm	0,65 à 0,75 mm	0,60 à 0,70 mm
	Vitesse de coupe	40 à 45 m/s	40 à 45 m/s	35 à 45 m/s
	Vitesse d'amenage (3)	20 à 25/30 à 35/65 à 70	15 à 20/25 à 30/60 à 65	15 à 20/25 à 30/50 à 55

Bois légers : bois de masse volumique inférieure à 700 kg/m³ à l'état sec.

Bois lourds : bois de masse volumique supérieure ou égale à 700 kg/m³ à l'état sec.

(1) Profondeur du creux de dent = hauteur de la denture.

(2) Voie = $(\lambda - e)/2$.

(3) En m/mn ; la première fourchette correspond à une hauteur de sciage de 0,90 m, la seconde de 0,60 m et la troisième de 0,30.

Les dentures conseillées et les performances attendues en fonction des essences et de la taille de la scie sont indiquées dans les tableaux 1, 2 et 3.

TABLEAU 4

OUTILLAGE RECOMMANDÉ
POUR LA TRANSFORMATION MÉCANIQUE
DES BOIS DE GUYANE MOYENNEMENT
A FORTEMENT ABRASIFS

ABRASIVITÉ, USURE ET CHOIX DE L'OUTILLAGE

L'usure des dents ou des outils est un phénomène complexe dépendant de l'interaction de nombreux facteurs fonction :

- de la nature du bois,
- de l'outil (forme géométrique et matériau constitutif),

Opérations d'usinage	Bois vert	Bois sec
Sciage au ruban	Stellite	Stellite
Sc. à la scie circulaire	Stellite	Stel. ou Carbu.
Rabotage, dégauchissage	Acier HSS	HSS ou Carbure
Profilage (toupie, moul.)	néant	HSS ou Carbure
Perçage	Acier HSS	Acier HSS

TABLEAU 3
CONDITIONS OPTIMALES DE SCIAGE SUR RUBANS DE TRÈS FORTES DIMENSIONS
(TENSION DE MONTAGE CONVENTIONNELLE)

DIAMÈTRE DES VOLANTS DE LA SCIE : 2,40 m				
Epaisseur des lames : 2,00 à 2,30 mm			Puissance du moteur : 170 à 250 CV	
Largeur des jantes Largeur des lames neuves		plus de 280 mm plus de 310 mm	240 à 280 mm 270 à 310 mm	200 à 240 mm 230 à 270 mm
BOIS LOURDS	Pas	70 à 80 mm	65 à 75 mm	60 à 70 mm
	Profondeur (1)	26 à 29 mm	24 à 27 mm	23 à 26 mm
	Angle d'attaque	30 à 34°	28 à 32°	26 à 30°
	Angle de dépouille	10 à 12°	10 à 12°	10 à 12°
	Voie (2)	0,80 à 1,00 mm	0,70 à 0,90 mm	0,60 à 0,80 mm
	Vitesse de coupe	35 à 40 m/s	35 à 40 m/s	35 à 40 m/s
	Vitesse d'amenage (3)	20 à 25/30 à 35/60 à 65	15 à 20/25 à 30/55 à 60	15 à 20/25 à 30/45 à 50
BOIS LÉGERS	Pas	75 à 85 mm	70 à 80 mm	65 à 75 mm
	Profondeur (1)	27 à 30 mm	26 à 29 mm	24 à 27 mm
	Angle d'attaque	32 à 36°	30 à 34°	28 à 32°
	Angle de dépouille	10 à 12°	10 à 12°	10 à 12°
	Voie (2)	0,90 à 1,10 mm	0,80 à 1,00 mm	0,70 à 0,90 mm
	Vitesse de coupe	40 à 45 m/s	40 à 45 m/s	40 à 45 m/s
	Vitesse d'amenage (3)	25 à 30/35 à 40/70 à 80	25 à 30/35 à 40/65 à 75	20 à 25/30 à 35/60 à 70

Bois légers : bois de masse volumique inférieure à 700 kg/m³ à l'état sec.

Bois lourds : bois de masse volumique supérieure ou égale à 700 kg/m³ à l'état sec.

(1) Profondeur du creux de dent = hauteur de la denture.

(2) Voie = $(\lambda - e)/2$.

(3) En m/mn ; la première fourchette correspond à une hauteur de sciage de 0,90 m, la seconde de 0,60 m et la troisième de 0,30.

TABLEAU 5
PARAMÈTRES DE COUPE CONSEILLÉS POUR DES LAMES DE 500 mm DE DIAMÈTRE ENVIRON

Mode de sciage	État de surface	Lames monobloc acier ou stellite			Lames à mise rap. de carbure		
		α en °	γ en °	pas en mm	α en °	γ en °	pas en mm
En long (1)	Moyen	25	10 à 15	70 à 90	20	15	60 à 70
	Bon	20	10 à 15	40 à 60	15 à 20	15	40 à 50
En travers (2)	Moyen	15	10	35 à 45	15	10	30 à 40
	Bon	10 à 15	10	30 à 35	10	10	20 à 25

(1) Denture droite.

(2) Denture biseau alterné.

α : Angle d'attaque.

γ : Angle de dépouille.

— des conditions de coupe (hauteur de coupe, vitesses de coupe, d'amenage...).

L'effort de coupe augmente avec l'usure (cf. fig. 6). La dégradation des conditions de travail se manifeste surtout par des déviations de plus en plus importantes du trait jusqu'à ce que le scieur considère que les conditions d'un sciage acceptable (rectitude du trait, vitesse d'amenage, ...) ne sont plus remplies. Une remise en état de la lame s'impose. L'opération ne concerne pas seulement l'affûtage, mais aussi, mais de façon moins fréquente, la remise en état du corps de lame (planage, tensionnage, ...).

L'usure résultant du frottement bois-outil a pour origine des phénomènes mécaniques et des phénomènes physico-chimiques (corrosion). Dans le sciage des bois tropicaux, en général, et des bois guyanais, en particulier, l'usure mécanique est prépondérante.

Deux éléments fondamentaux indispensables à la compréhension du phénomène d'usure complètent les notions précédentes. Il s'agit, d'une part, de l'élévation de température engendrée par les frottements bois-métal, et, d'autre part, de la présence dans le bois de silice, élément minéral plus dur que les matériaux de coupe habituels.

La température des dents en service a une influence déterminante sur la résistance à l'usure. A température ambiante les aciers ont une dureté satisfaisante. Par contre, celle-ci et l'ensemble de leurs performances mécaniques, diminuent rapidement, pour un acier non allié, quand la température atteint 250 à 260°. La perte de dureté se traduit par une usure excessive de l'arête sous l'effet des pressions exercées par le bois. L'élévation de température de la dent dépend de l'essence et des conditions de coupe. Elle augmente avec l'épaisseur de copeau et la hauteur de trait de scie et la température d'arête peut très rapidement dépasser 300° dans le cas du sciage de bois durs tel que Amarante, Angélique, Cœur Dehors, Courbaril, Saint-Martin Rouge, Wacapou, Wapa, etc... Le comportement des aciers standards non alliés est très insuffisant dans ce cas et il convient de faire appel à des matériaux plus performants.

La silice se rencontre dans le bois sous forme de cristaux de tailles très variables. Ceux-ci, plus durs que les aciers entraînent des micro-usinages de la dent chaque fois qu'elle entre en contact avec un grain de silice. La densité du bois, par l'échauffement qu'elle entraîne, aggrave le degré d'abrasivité.

Une nomenclature basée sur une classification décimale permet de définir le degré d'abrasivité de chaque essence. La classe 1 correspond à l'abrasivité minimale, la classe 10 à l'abrasivité maximale. Compte tenu, de l'hétérogénéité naturelle du bois vis-à-vis du facteur « taux de silice », il est courant et normal qu'une même essence couvre plusieurs classes. Les principaux bois guyanais étudiés au C.T.F.T. sont rangés ci-dessous par ordre décroissant d'abrasivité. Ils sont comparés à quelques essences africaines et européennes de référence.

Les *Lycania* (Gaulette) ne figurent pas sur la liste suivante car leur abrasivité très élevée les rend impropres à tout sciage industriel. Les essences des classes 6 à 10

nécessitent l'emploi d'un outillage spécial. Celui-ci n'est pas indispensable pour les classes intermédiaires 4 à 5 si le matériel utilisé permet de limiter l'usure en pratiquant le sciage en copeaux suffisamment épais.

ESPÈCES		CLASSES D'ABRASIVITÉ
Noms vernaculaires	Noms scientifiques	
MAKORE	<i>Tieghemella spp</i>	9 à 10
ANGÉLIQUE	<i>Dicorynia guianensis</i>	8 à 10
BALATA BLANC	<i>Micropholis guianensis</i> et <i>M. melinoniana</i>	8 à 9
SAINT-MARTIN		
JAUNE	<i>Hymenolobium spp</i>	8 à 9
PADOUK	<i>Pterocarpus soyauxii</i>	8 à 9
AMARANTE	<i>Peltogyne spp</i>	7 à 9
MAHOTCIGARE	<i>Couratari spp</i>	7 à 8
KOTIBE	<i>Nesogordonia spp</i>	6 à 7
COURBARIL	<i>Hymanaea courbaril</i>	6 à 7
ASSAO	<i>Macrosamanea pedicellaris</i>	5 à 7
ALIMIAO	<i>Newtonia suaveolens</i>	5 à 6
ACACIA FRANC	<i>Enterolobium schomburgkii</i>	5 à 6
CHENE	<i>Quercus spp</i>	4 à 5
SALI	<i>Tetragastris spp</i>	3 à 5
DODOMISSINGA	<i>Parkia spp</i>	3 à 5
NIANGON	<i>Tarrietia spp</i>	3 à 5
BAGASSE	<i>Bagassa guianensis</i>	2 à 5
WAPA	<i>Eperua spp</i>	3 à 4
AIEOUEKO	<i>Dimorphandra polyandra</i>	3 à 4
MANIL	<i>Symphonia globulifera</i>	3 à 4
GRIGNON FRANC	<i>Ocotea rubra</i>	2 à 4
LACASSI	<i>Caraipa densifolia</i>	3 à 4
CÈDRE APISSI	<i>Nectandra spp</i>	2 à 3
GONFOLO ROSE	<i>Qualea rosea</i>	2 à 3
HÊTRE	<i>Fagus sylvatica</i>	2 à 3
JABOTY	<i>Erismia uncinatum</i>	2 à 3
CHAWARI	<i>Caryocar glabrum</i>	2 à 3
KOBE	<i>Sterculia pruriens</i>	2 à 3
PARCOURI	<i>Platonia insignis</i>	2 à 3
GOUPI	<i>Goupia glabra</i>	1 à 3
SIMAROUBA	<i>Simarouba amara</i>	1 à 2
JACARANDA	<i>Jacaranda copaia</i>	1 à 2
SIPO	<i>Entandrophragma utile</i>	1 à 2
KOUALI	<i>Vochysia spp</i>	1 à 2
TOBITOUTOU	<i>Schefflera paraensis</i>	1 à 2
YAYAMADOU	<i>Virola spp</i>	1 à 2

En sciage en copeaux minces (moins de 0,5 mm), l'usure se manifeste surtout en dépouille. En copeaux épais, elle se répartit de façon plus régulière entre face d'attaque et face de dépouille. L'acuité de la dent est mieux préservée et son profil reste plus longtemps favorable à la coupe. Par ailleurs, à longueur de sciage (lon-

gueur de copeau) identique la surface sciée est plus importante en copeaux épais. Elle augmente proportionnellement à l'épaisseur de copeaux alors que le degré d'usure progresse beaucoup moins vite. Toutefois, il est indispensable de disposer d'un matériel suffisamment fort, capable de supporter les efforts de coupe induits par le sciage en copeaux plus épais. Si tel n'est pas le cas, il est nécessaire de faire appel même pour les bois d'abrasivité moyenne à un outillage particulier.

Il est également possible de diminuer fortement l'usure :

- en sciant les bois à l'état vert (diminution des frottements et refroidissement par l'eau contenue dans le bois)
- en pratiquant l'arrosage des lames
- en évitant les fortes hauteurs de sciage (élimination du sciage en plots au profit du sciage par retournement)
- en limitant la vitesse de coupe à 35 m/s.

LES DIFFÉRENTS MATÉRIAUX DE COUPE ET LEUR APPLICATION A LA TRANSFORMATION MÉCANIQUE DES BOIS GUYANAIS

Parmi le différents matériaux de coupe actuellement disponibles pour l'usinage du bois on distingue :

<i>Matériaux</i>	<i>Dureté Rockwell à froid</i>
— Aciers usuels	40 à 50
— Aciers rapides	60 à 65
— Stellites	50 à 70
— Carbures durs	85 à 95
— Céramiques	90 à 95
— Diamant	?

La dureté des aciers usuels n'est pas de beaucoup inférieure à celle des aciers rapides ou des stellites mais ils perdent très rapidement leur résistance dès que la température de l'arête dépasse 250°, alors que les aciers rapides conservent une dureté suffisante jusqu'à 600° et les stellites jusqu'à 800°. A l'exception du diamant, il n'est pas de matériau plus dur que la silice parmi ceux cités précédemment. L'usure mécanique due à la silice est aggravée par la perte de résistance du matériau de coupe liée à l'échauffement. Chaque matériau présente des propriétés spécifiques définissant son domaine d'application. Celui-ci tient compte, à la fois, de la tenue à la coupe et des problèmes de mise en œuvre.

— **Aciers rapides** : Il s'agit du matériau de coupe permettant d'obtenir la qualité d'affûtage la plus élevée. La tenue est inférieure à celle de la stellite surtout pour l'usinage des bois denses (fig. 7). Plus récemment, sont apparus sur le marché des aciers au tungstène dits super-rapides (HSS ou « High Speed Steel »). Les outils HSS présentent le rapport qualité-prix le plus avantageux pour toutes les applications du type couteaux de raboteuses ou dégauchisseuses.

— **Stellite** : Cet alliage composé de chrome, tungstène, cobalt, constitue maintenant le matériau de base pour la plupart des opérations de sciage. La préparation et l'entretien des lames est réalisé sur le site par l'affûteur contrairement à la plupart des autres matériaux. En outre, des progrès récents en matière d'affûtage des lames stellitées (machines plus précises, meules au Bora-zon) permettent d'obtenir une finition (état de surface, qualité de tranchant) comparable à celle des aciers. Cette évolution dans l'affûtage, permettant de travailler

sous des efforts de coupe similaires sur outil neuf tant en stellite qu'en acier, devrait conduire à généraliser l'emploi de la stellite quelle que soit l'essence à scier. Depuis quelques années, le stellitage des lames de scies à ruban à grumes est même pratiqué pour les conifères (Epicéa, Pin, Sapin, ...). Les améliorations apportées par le procédé dans le sciage des bois abrasifs sont très spectaculaires dès que les conditions de coupe deviennent un peu difficiles (forte hauteur de sciage, grandes vitesses d'amenage, ...) (fig. 7). Certains fabricants proposent des couteaux stellités pour le rabotage ou le dégauchissage. Leur tenue est supérieure à celle des couteaux HSS mais leur coût élevé est largement dissuasif. Pour des applications plus ponctuelles le C.T.F.T. a mis au point une technique artisanale de stellitage applicable par l'affûteur.

— **Carbures** : A l'exception des céramiques et des outils diamants qui ne sont cités ici que pour mémoire, les carbures, principalement de tungstène, éventuellement de tantale-tungstène ou de titane-molybdène, sont des matériaux de coupe à la fois les plus durs et les plus résistants à l'échauffement. Leur tenue de coupe est au moins deux fois supérieure à celle de la stellite (fig. 8). Ils sont, par contre, plus fragiles. Leur efficacité comparée à la stellite est d'autant marquée que les bois à usiner sont secs et siliceux. Les outils « carbure » sont chers (environ 4 à 5 fois le prix moyen d'un outil acier rapide standard) et leur affûtage nécessite un matériel spécial. Leur utilisation est, de ce fait, plutôt dévolue aux opérations de deuxième transformation (tableau 4).

LE DÉBIT A LA SCIE CIRCULAIRE

La scie circulaire s'utilise, soit en sciage en long (délignage, dédoubleage...), soit en sciage en travers (tronnage, éboutage...).

La hauteur de sciage détermine le diamètre de la lame et la puissance de la machine. Son épaisseur est comprise, pour les lames usuelles, entre D/180 et D/90 où D représente le diamètre hors tout de la lame neuve. Les

lames de plus forte épaisseur (D/90 à D/120) sont destinées aux travaux les plus difficiles, en particulier le délinage de plateaux épais. Elles sont d'un entretien beaucoup plus aisé que les lames minces (opérations de tensionnage et de planage réduites). La largeur du trait de scie ou voie est généralement comprise entre 1,3 et 1,6 fois l'épaisseur du corps de lame.

Pour le sciage des bois guyanais, on adoptera une vitesse linéaire de coupe comprise entre 60 et 80 m/s. Les différents paramètres de coupe conseillés sont rassemblés dans le tableau 5 en tenant compte de la qualité de l'état de surface requis.

L'USINAGE DES BOIS CONTREFILÉS

La proportion de zones contrefilées peut être importante chez certains bois. Ce défaut est particulièrement gênant au rabotage. Il se traduit par des surfaces pelucheuses entraînant une dévalorisation esthétique du produit. Il n'existe pas de solution miracle pour résoudre le problème de l'usinage des bois contrefilés car les conditions optimums de coupe d'un outil travaillant parallèlement ou perpendiculairement au fil sont trop différentes. La difficulté réside dans le fait qu'un outil adapté à l'usinage du contrefil usinera mal le bois non contrefilé et réciproquement.

L'usinage des zones contrefilées peut être facilité en jouant sur les deux paramètres suivants :

- angle d'attaque,
- qualité du tranchant.

Les interventions sur ces deux paramètres ont pour principal objectif d'empêcher l'outil d'arracher les fibres au lieu de les trancher, soit, en évitant de sectionner le copeau très profondément en avant de l'arête de coupe (angle d'attaque), soit en diminuant les frottements sur la face d'attaque et, en conséquence, l'effort de coupe. Les améliorations à apporter sont différentes selon le type d'outil et la machine sur laquelle ils sont destinés à être montés.

Angle d'attaque : Il doit être réduit. En toupillage, il est presque toujours impossible de modifier l'angle d'attaque d'une fraise existante sans conséquence immédiate sur les profils obtenus lors de l'usinage (sauf en cas de coupe droite). Par contre, le fabricant peut réaliser cette modification à la commande. Sur les raboteuses l'angle d'attaque est fixé par les caractéristiques du porte-couteau. L'angle d'attaque des porte-outils usuels est compris entre 25 et 30°. Les fabricants d'outillage produisent à la demande des porte-outils qui permettent de travailler, fers montés, avec des angles d'attaque de 15 à 20°. On peut aussi améliorer les conditions de travail tout en conservant les porte-outils d'origine. Pour cela, il faut réaliser, à l'affûtage un contre-biseau sur la face d'attaque sur une hauteur d'environ 2 à 3 mm de façon à augmenter l'angle de bec de 3 à 5°.

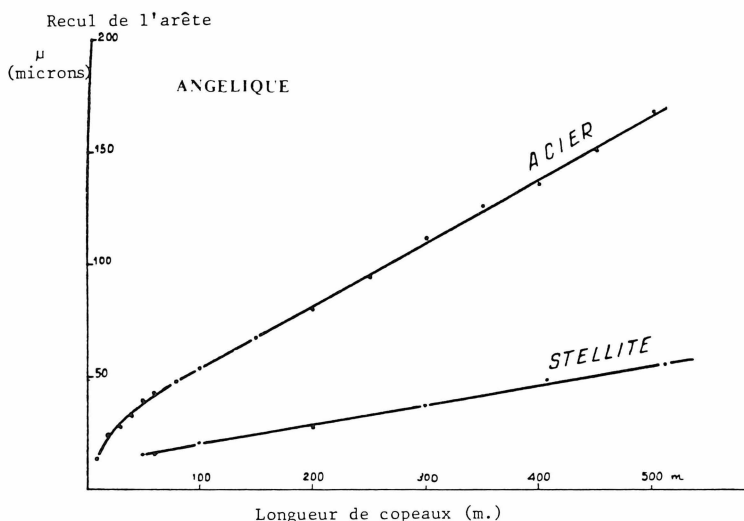


FIG. 7. — Résistance à l'usure du stellite comparée à un acier standard (d'après A. CHARDIN, B.F.T. n° 85).

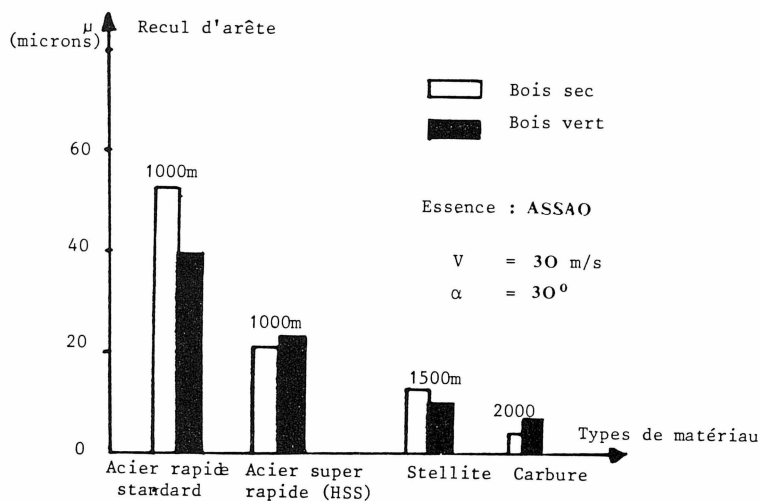


FIG. 8. — Étude comparée de la résistance à l'usure de divers matériaux de coupe.

— **Qualité du tranchant :** La qualité du tranchant est le facteur prépondérant et peut être améliorée quels que soient l'outil ou le travail demandé. Les outils « carbure » ont une résistance à l'usure supérieure mais la qualité de l'état de surface du bois, comparée à celle obtenue avec un outil acier bien affûté, est très inférieure. Cette différence est souvent peu perceptible dans le cas d'un usinage normal, mais est, par contre, aggravée par la présence de contrefil. La plupart des fabricants d'outillage proposent des outils en acier fortement allié de type acier super (HSS). Comme pour l'outillage carbure, le corps de l'outil est constitué d'acier standard et seule la zone

active est en acier HSS rapporté. La qualité d'affûtage est très supérieure à celle d'un outil carbure et la résistance à l'usure est très satisfaisante si les bois ne sont pas

trop abrasifs (Angélique, Balata Blanc, Saint-Martin Jaune, sont à éviter dans ce cas). Le coût de ces outils est au moins deux fois inférieur à celui des carbures.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEN (F. E.). — High strain : Theorie and applications Proceedings of the Heighth Wood Machining Seminar. University of California Berkeley, 1985.
- ALLEN (F. E.). — High strain/thin kerf. Modern Sawmill Techniques, Proceedings of the First North American Sawmill Clinic, Portland, 1973.
- ANTOINE (R.). — Le sciage des bois tropicaux : Principes fondamentaux et applications. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 74, 1960.
- CHARDIN (A.). — Peut-on scier tous les bois avec la même denture. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 33, 1954.
- CHARDIN (A.). — L'étude du sciage par photographie ultrarapide. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 51, 1957.
- CHARDIN (A.). — Utilisation du pendule dynamométrique dans les recherches sur le sciage des bois. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 58, 1958.
- CHARDIN (A.) et FROIDURE (J.). — Étude de l'usure des dents de scie, Vol. I et II. Centre Technique Forestier Tropical, 1966.
- CHARDIN (A.). — Déplacement des lames de scies à ruban sur leurs volants. Centre Technique du bois/Centre Technique Forestier Tropical. Courrier de l'Exploitant et du Scieur. C.T.B., 1983.
- CHARDIN (A.) et FROIDURE (J.). — L'utilisation des lames de scies à dents stellées : Choix du grade et conditions de coupe. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 85, 1962.
- CHARDIN (A.). — Le stellitage des lames de scies à ruban. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 50, 1956.
- CHARDIN (A.). — Étude de l'usure des dents de scies. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 114 et 115, 1967.
- CHARDIN (A.). — Laboratory Studies of temperature distribution of the face of a sawtooth. Proceedings of the Fourth Wood Machining Seminar, University of California, Berkeley, 1973.
- CHARDIN (A.) et SALES (C.). — Étude des espèces à fortes contraintes de croissance de la forêt guyanaise. Proceedings of I.U.F.R.O. P5.01/Group Seminar, Manaus, November, 1984.
- DALOIS (C.). — Manuel de sciage et d'affûtage. Centre Technique Forestier Tropical, 1977.
- FOSCHI (R. O.). — The light gap technique as a tool for measuring residual stresses in bandsaw blades. Wood Sciences and Technology, Vol. 9, 1975.
- KOCH (P.). — Wood machining process, Ronald Press Company, 1964.
- MOTE (C. D.) Jr. — Some dynamic characteristics of band saws. Forest Products Journal, Vol. 15, n° 1, 1965.
- NININ (L.). — Relations entre l'aptitude au sciage et certaines propriétés physiques, mécaniques et chimiques de 4 bois tropicaux. Doctorat Université de Louvain, 1969.
- OKUMURA (S.) et OKUDA (T.). — Temperature distribution on the side face of a saw tooth in interrupted cutting. Mokuzai Gakkaishi, Vol. 29, n° 2, 1983.
- PORTER (A. W.). — Some engineering considerations of high strain band saws. Forest Products Journal, Vol. 21, n° 4, 1971.
- SALES (C.) et CHARDIN (A.). — Sawing tropical woods : Control of the performance of bandsaw blades. Proceedings of the Forest Product Research Society. Annual Meeting, Norfolk, 1983.
- SALES (C.) et CHARDIN (A.). — Bandsaw blade stability : Effects of wheel geometry and tensioning. Proceedings of the Eighth Wood Machining Seminar, University of California Berkeley, 1985.
- SALES (C.). — Knife wear during tropical hardwoods planing. Proceedings of the Eighth Wood Machining Seminar. University of California Berkeley, 1985.
- SALES (C.). — Growth stresses : Main results obtained on the study of some Guyana species and consequences for end use. Proceedings of the 18th I.U.F.R.O. World Congress, Ljubljana, 1986.
- SANWO (S. K.). — Wood utilization in the small scale sawmill in Nigeria. Nigerian Journal of Forestry, 1981.
- SIMMONDS (A.). — Wide bandsaws : The art of saw doctoring. Stobart and Son Ltd., London, 1980.
- STEWART (H. A.). — High temperature corrosion of tungsten carbide from machining medium density fiberboard. Proceedings of the Eighth Wood Machining Seminar, University of California Berkeley, 1985.
- SUGIHARA (H.). — Sur les forces s'appliquant à la lame de scie à ruban (traduit du Japonais) Mokuzai Kogyo, Vol. 8, n° 74, 1952.
- TANAKA (C.). — Tool wear of wood cutting tools made of five different materials. Proceedings of the Eighth Wood Machining Seminar, University of California Berkeley, 1985.
- TANAKA (C.). — Experimental studies of vibration of band saw blades. Proceedings of the Seventh Wood Machining Seminar. University of California Berkeley, 1982.
- THUNELL (B.). — Schnittkraftbestimmung bei der Holzbearbeitung, Holz als Roh und Werkstoff, 16 (4), 1958.
- ULSOY (A. G.), MOTE (C. D.) Jr. — Analysis of bandsaw vibration. Wood Science, Vol. 13, n° 1, 1979.
- WILLISTON (Ed. M.). — Saws : Design, selection, operation, maintenance. Miller Freeman Publications San Francisco, 1978.
- Manual de acondicionamiento y mantenimiento de la sierra de cinta. Proyecto PNUD/FAO/PER/81/002, Lima, 1983.
- Manuel d'entretien et d'affûtage des lames de scies à ruban et scies alternatives, Cahiers du Centre Technique du Bois, Paris, n° 96, 1975.