

LE SCIAGE DES BOIS TROPICAUX

Principes fondamentaux et applications

par R. ANTOINE,

*Ingénieur des Eaux et Forêts
Ingénieur de l'École Supérieure du Bois
Professeur à l'Université de Louvain.*

SAWING OF TROPICAL WOODS FUNDAMENTAL PRINCIPLES AND APPLICATIONS

SUMMARY

Because of the great variety of species found in tropical forests, the sawing of tropical woods presents certain problems which, for their solution, demand consideration of the fundamental principles of wood-sawing: - characteristics of machine and tool, operating conditions (speed of feed, speed of tool, thickness of chip). Starting from these elements the author explains how to solve each particular problem. By way of examples, some applications are considered which deal with the most important tropical species.

EL SERRADO DE LAS MADERAS TROPICALES PRINCIPIOS FUNDAMENTALES Y APLICACIONES

RESUMEN

El serrado de las maderas tropicales plantea ciertos problemas debido a la diversidad de las especies que componen los bosques tropicales. Para su resolución, es indispensable tener en cuenta los principios fundamentales desde el punto de vista del serrado de las maderas: características de la máquina y de la herramienta de corte, modalidades de empleo (velocidad de alimentación, velocidad de la herramienta, espesor de la viruta). El autor, a partir de estos datos, explica cómo es posible resolver cada caso particular y da, a título de ejemplo, la explicación de algunas aplicaciones relacionadas con las principales des maderas tropicales.

Un récent voyage à travers les principales régions forestières de la République du Congo Léopoldville vient d'achever de nous convaincre, si la chose était encore nécessaire après les nombreuses doléances recueillies auprès des scieurs de bois tropicaux, de l'importance que revêt la connaissance des principes fondamentaux en matière de sciage des bois.

Les bois tropicaux ne sont pas nécessairement différents des nôtres, et il est de nombreux bois d'Afrique Centrale que l'on peut assimiler, sans grands risques d'erreur, à certains de nos bois indigènes bien connus.

Seulement, si nos forêts tempérées sont caractérisées par un nombre assez réduit d'espèces et par des associations forestières relativement homogènes, la majorité des forêts d'Afrique Centrale sont, au contraire, caractérisées par un mélange intime de quantités d'essences très différentes les unes des autres. Et il nous paraît indispensable,

avant d'aborder le problème du sciage des bois tropicaux, d'établir certaines distinctions de départ.

Il y a d'abord des bois que l'on peut qualifier de « faciles à scier » tels *Terminalia superba*, *Gossweilerodendron africanum* ou la plupart des *Entandrophragma* du Congo.

Ces bois posent généralement peu de problèmes aux utilisateurs qui les scient n'importe comment, s'en sortent toujours et sont souvent persuadés qu'ils font très bien les choses.

Une analyse plus détaillée des outils, des techniques ou de la comptabilité de ces scieries prouve cependant qu'il y a de grands progrès à faire dans ces différents domaines et que ces progrès ne nécessiteraient, dans bien des cas, que peu d'investissements. Il y a ensuite, d'un autre côté, les bois, assez nombreux, qui posent des problèmes de sciage spécifiques soit en raison de leur dureté, de leur abrasivité, des fantaisies d'orientation des éléments constitutifs, de l'adhérence de la sciure

à l'outil, ou simplement en raison des dimensions qu'ils présentent.

Nous aurions pu commencer par analyser, dans cet article, les techniques de sciage adoptées en Afrique pour chacune des principales essences et envisager ensuite les remèdes proposés. Comme les remèdes valent souvent pour des groupes assez

vastes de bois plus ou moins semblables et que les erreurs de technique sont souvent les mêmes, nous avons cru préférable d'envisager d'une manière générale les problèmes qui peuvent se poser au cours du sciage des bois et d'y incorporer, sous forme de cas particuliers, quelques applications aux principales essences tropicales.

1. LA MACHINE

Les conditions d'utilisation d'un matériel soumis à des mains souvent assez inexpertes requièrent que celui-ci, s'il est employé en Afrique, soit robuste. Il convient en outre qu'il soit simple et qu'il puisse être entretenu avec les moyens, souvent réduits, dont disposent les scieurs tropicaux.

Pour ce qui est du type de machine, il est évident que sauf cas particulier, la machine répondant le mieux aux besoins actuels en Afrique est la scie à ruban.

Les volants auront un diamètre supérieur à celui que nous conseillerions en Europe, soit 1,40 m et plus, et des jantes suffisamment larges permettant une bonne tenue des lames. Il est également souhaitable, devant la diversité des essences à débiter par nombre de scieries Africaines (sauf celles installées dans les régions à *Terminalia*, *Gilbertiodendron*, etc.) de prévoir la possibilité de faire varier la vitesse de l'outil. Ce qui peut être fait par un variateur de vitesses mécanique ou, plus simplement, par un jeu de poulies.

Au cas où la production serait centrée sur une essence bien définie, il conviendrait d'adopter la vitesse optimum c. à d. celle la plus élevée possible en regard des possibilités effectives d'aménagement qui sont fonction de la dureté du bois, de la hauteur de coupe, de la forme de l'outil et de la puissance disponible.

De toute manière, il est rare que les vitesses imposées par les constructeurs soient adaptées aux impératifs du sciage d'une essence donnée et, à plus forte raison, d'essences très différentes les unes des autres.

Il existe actuellement d'excellentes machines mais il est bon de savoir qu'une réduction de vitesse se traduit par un effort plus grand sur les axes des poulies dont les roulements sont soumis à une plus grande sollicitation. Il peut être prudent de prendre l'avis du constructeur avant de modifier les vitesses dans des proportions importantes.

2. L'OUTIL

Rappelons sommairement que tout ruban conventionnel est constitué de dents et d'un corps destiné à maintenir les dents entre elles.

Les dents, formant l'essentiel de l'outil, sont des coins de métal caractérisés par les facteurs suivants : (fig. 1).

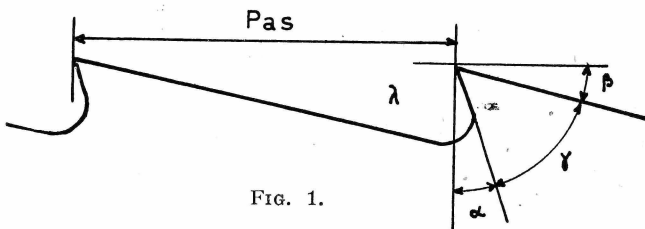


FIG. 1.

1) **L'angle d'attaque** (α) défini par la ligne de coupe et par une perpendiculaire abaissée sur la droite reliant les sommets de deux dents consécutives.

2) **L'angle de dépouille** (β) destiné à éviter le talonnement de l'outil dans le bois et défini par la ligne de dos et la droite reliant les sommets des dents.

3) **L'angle de bec** (γ) concrétisé par le métal de la dent.

4) **Le logement** (λ) dont le but est de véhiculer et d'évacuer le copeau détaché dans le bois.

5) **Le pas** (P) ou distance entre deux sommets de dents consécutives.

6) **La voie** qui n'est autre qu'une amplification de l'extrémité de la dent destinée à faciliter le passage du corps de l'outil dans le sillon.

Rappelons également que l'opération de sciage consiste à créer une solution de continuité dans le bois en détachant une succession de copeaux à l'aide des dents successives.

Chaque copeau est défini par ses trois dimensions qui sont :

1) **L'épaisseur** ou quantité linéaire de bois prise par dent dans le sens d'avancement de celui-ci et définie par la formule :

$$\frac{\text{Pas} \times \text{Am}}{\text{VL}}$$

où Am = la vitesse d'aménagement du bois, et VL = la vitesse de l'outil en m/min.

L'épaisseur de copeau est généralement exprimée en microns.

2) **la largeur** imposée par la voie.

3° **la longueur** fonction de la hauteur de coupe.

L'opération de sciage peut se décomposer en quatre composantes essentielles qui ont été mises en évidence par REINEKE (1) du Laboratoire Forestier de Madison (Wisconsin) et qui sont :

- le tranchage des fibres (a)
- le double cisaillement latéral (b)
- la réduction du copeau dans le logement (c')
- l'évacuation du copeau (c'')

Pour la facilité des choses nous employerons les symboles a, b et c pour désigner ces différentes composantes étant entendu que c, dont la dissociation ne s'impose que dans le problème de la hauteur de coupe, groupe les facteurs c' et c''.

Si le choix de l'angle d'attaque paraît n'avoir que peu, ou même peut être aucune influence énergétique tant qu'on se limite aux très petites épaisseurs de copeau, de nombreuses expériences prouvent que dès que l'épaisseur de copeau augmente, l'influence de l'angle d'attaque se manifeste progressivement en faveur des angles d'attaque les plus prononcés.

Cette loi paraît applicable aussi bien aux bois durs qu'aux bois tendres.

La figure 2 montre un exemple de comparaison d'angles dans *Pycnanthus angolensis*. Les résultats publiés par CHARDIN (2) (fig. 3) témoignent dans le même sens,

Nous en tirons un premier principe qui est que l'angle d'attaque doit être grand. Trop souvent les praticiens ont tendance à vouloir réduire cet angle dans les bois durs, prétextant qu'un angle d'attaque trop prononcé réduit l'angle de bec. Il est évident que les trois angles sont complémentaires et que toute augmentation de l'angle d'attaque se fait au détriment des deux autres. On peut toutefois réduire l'angle de dépouille et conserver ainsi toute sa solidité à la dent.

D'une manière générale on peut adopter, pour les plupart des bois tropicaux, un angle d'attaque de l'ordre de 25 à 30°. En cas de bois très tourmentés et, pour de grandes hauteurs de coupe, il faudra parfois veiller à réduire la vitesse d'amenage si l'on veut éviter le risque de voir avancer la lame sur les volants.

Si le rôle de l'angle de dépouille est d'éviter le talonnement de l'outil dans le sillon, il est facile de démontrer que pour un pas de 50 mm et une épaisseur de copeau de 1.000 μ il suffit que cet angle soit supérieur à 1°09'. Nous croyons par conséquent qu'une dépouille de 5° est suffisante dans la plupart des cas.

L'angle de bec résulte forcément de la part que l'on aura faite aux angles d'attaque et de dépouille. On le souhaite solide, bien sur, mais également favorablement disposé.

(1) REINEKE, L. H. — Sawteeth in action, Forest Products Research Society, 130 (1950).

(2) CHARDIN, A. — Utilisation du pendule dynamométrique dans les Recherches sur le sciage des bois. B. F. T. n° 58, mars-avril 1958.

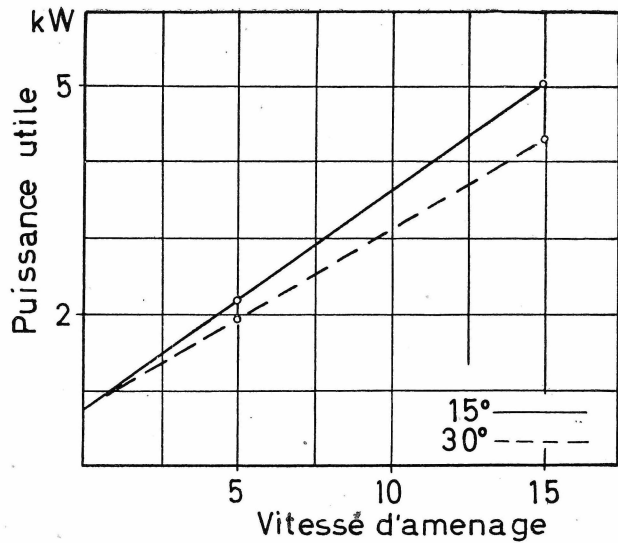


FIG. 2. — Puissance utile en fonction de la vitesse d'amenage du bois. Influence de l'angle d'attaque. Essai réalisé dans *Pycnanthus kombo*.

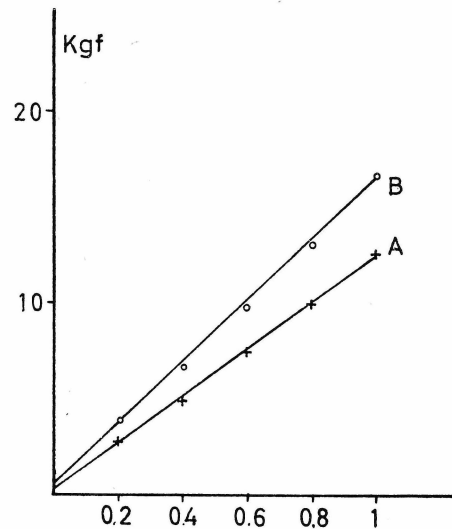


FIG. 3. — Coupe de *Allenblackia floribunda* Oliv., n° 9.418.

Courbe A : $\alpha = 35^\circ$; $\beta = 2^\circ$; $\gamma = 53^\circ$.

Courbe B : $\alpha = 23^\circ$; $\beta = 2^\circ$; $\gamma = 65^\circ$.

d'après Chardin (1958).

Il est certain qu'un même angle de bec peut être sollicité de manière différente suivant la répartition que l'on aura faite entre les angles d'attaque et de dépouille.

Le logement est défini par la surface délimitée entre deux dents consécutives et par la voie. C'est donc un volume dont le rôle est essentiellement de transporter et d'évacuer le copeau détaché par la dent précédente.

Il est important de noter que tout le volume du logement n'est pas nécessairement utilisé, ni même utilisable à cette fin.

De nombreuses observations stroboscopiques ont montré que, dans bien des cas, une partie réduite du logement seulement était occupée par la sciure. Pour qu'un logement soit efficient, il faut qu'il soit suffisamment vaste, mais aussi de lignes harmonieuses afin de ne pas faire obstacle à l'enroulement du copeau à l'intérieur de celui-ci.

Or nous avons fréquemment assisté en Afrique au sciage de bois de fort diamètre à l'aide de rubans dont la denture à gencives et à pas réduit n'offrirait que très peu de logement utile. La vitesse d'amenage, dans ce cas se voyait réduite au minimum et la solution appliquée par certains sciens était alors de multiplier le nombre de dents en augmentant la vitesse de l'outil, avec tous les inconvénients que comporte cette méthode.

Nous avons dit et répétons qu'en sciage, et particulièrement sur grandes hauteurs de coupe, la

première dent ne prend que ce que la dernière autorise.

C'est dire qu'il faut augmenter le volume utile du logement et, d'elle même, la vitesse d'amenage du bois aura tendance à s'accroître.

Le **Pas** doit théoriquement être fonction de la hauteur de coupe bien plus que de la dureté du bois. En fait, comme les hauteurs de coupe varient dans des limites relativement étroites et que les problèmes se posent surtout pour les grandes hauteurs, on peut admettre, pour le débit des bois tropicaux des pas de l'ordre de 50 à 75 mm.

L'étude des variations de la puissance utile au sciage en fonction du pas, pour des hauteurs de coupe différentes, donne lieu à des graphiques tels celui représenté à la figure 4. On peut en déduire que toute variation du pas se traduit exclusivement par une variation de l'effort de tranchage des fibres en fonction du nombre de dents engagées dans le bois.

La puissance requise par le cisaillement latéral (b) et par le transport du copeau (c) est indépendante du pas.

Les courbes de variation du pas sont des exponentielles et on constate qu'à partir d'une certaine dimension le bénéfice de puissance devient insignifiant.

En outre, comme le volume du logement varie suivant le carré du pas, on comprendra que les pas de 25, voire de 35 mm, soient nettement moins intéressants, surtout dans les grandes hauteurs de coupe que les pas plus grands.

De l'amplitude de la **voie**, il n'y a pas grand chose à dire si ce n'est qu'on a toujours intérêt à réduire la quantité de sciure produite, et, par conséquent, à utiliser la voie la plus étroite possible, compatible avec les exigences du bois. Autre chose est le mode de voie.

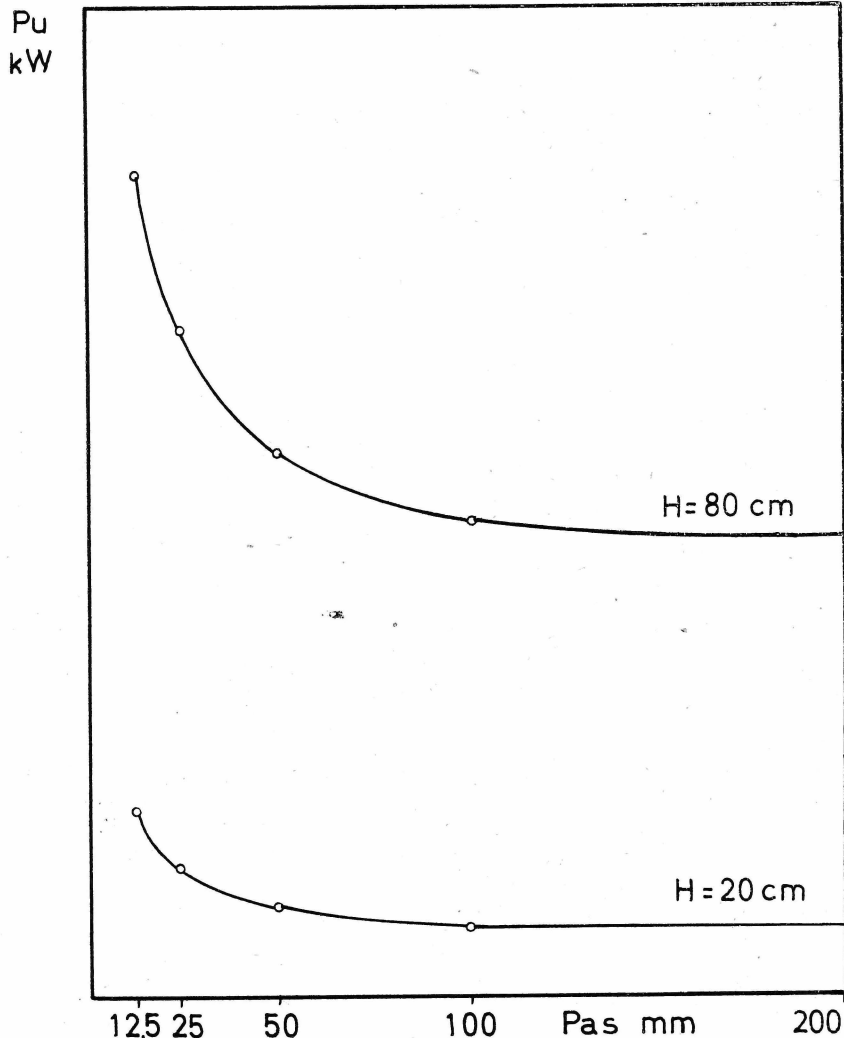
Est-il besoin de rappeler que, pour faciliter le passage du corps de l'outil dans le sillon, on peut donner de la voie à l'extrémité des dents soit par écrasement de ces extrémités, soit par torsion latérale alternative de celles-ci.

Du point de vue purement théorique, la voie conférée par écrasement est incontestablement la plus avantageuse.

A pas égal, la voie par torsion des dents, si elle réduit quelque peu l'effort de tranchage des fibres, n'en requiert pas moins un effort de cisaillement supplémentaire.

Un exemple fera mieux comprendre les choses. Supposons une lame de 1 mm

FIG. 4. — Puissance utile en fonction du pas. Influence de la hauteur de coupe



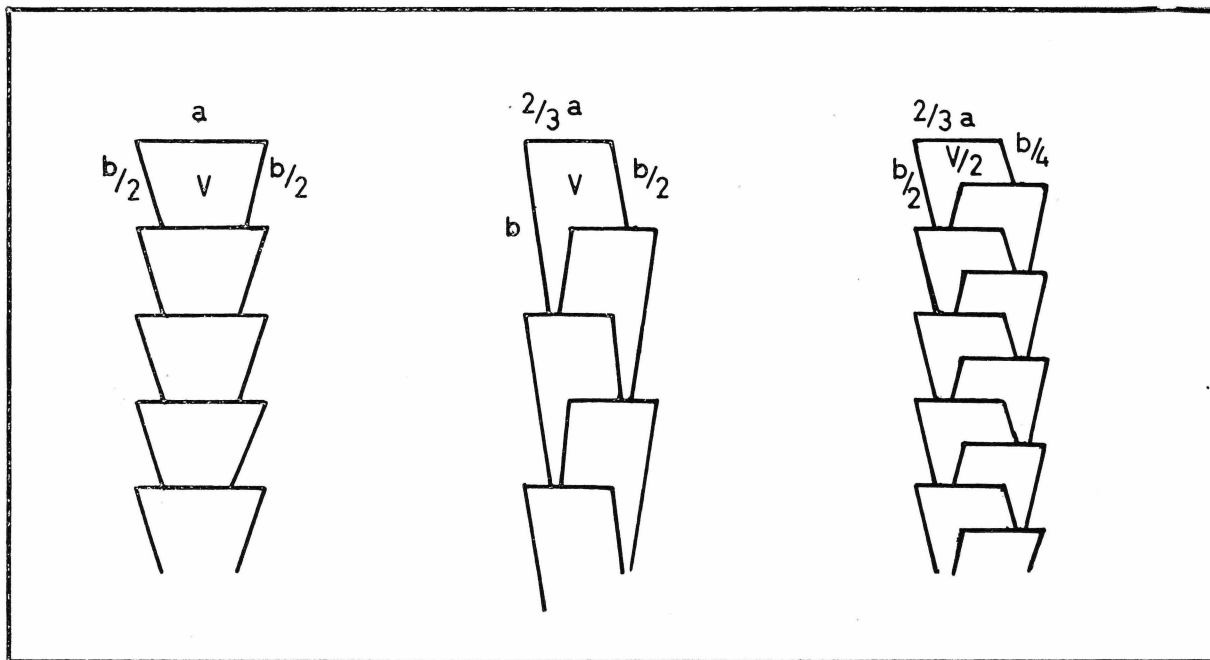


FIG. 5.

d'épaisseur à laquelle on désire conférer une voie de 1,5 mm.

Cette voie peut être donnée des deux manières dites précédemment. Dans le premier cas (fig. 5) conférons respectivement à l'effort de tranchage des fibres, au double cisaillement latéral et au transport ainsi qu'à l'évacuation du copeau les symboles a , b et c .

On constatera que pour chaque dent, dans le second cas (celui de la denture avoyée), le tranchage des fibres est égal à $2/3 a$ tandis que l'effort de cisaillement latéral est égal à $3/2 b$. Le transport et l'évacuation des copeaux requerront un effort identique dans les deux cas puisque le volume des deux copeaux est le même. Signalons également que la qualité du sciage est souvent plus grossière dans le cas de la denture avoyée, en raison des surfaces de cisaillement latéral plus grandes correspondant, en somme, à celles d'une denture écrasée de pas double.

Le maintien de la qualité de sciage imposerait une réduction de moitié du pas en cas d'avoyage par torsion.

Dans ce cas, par dent, la puissance au tranchage serait égale à $2/3 a$, le double cisaillement latéral à $3/4 b$ et la réduction et l'évacuation du copeau $c/2$. Cependant, comme le nombre de dents (nd) varie inversement proportionnellement au pas, ces valeurs deviennent, pour une hauteur de coupe définie, $2 nd (0,66 a + 0,75 b + 0,5 c) = nd (1,33 a + 1,5 b + c)$ contre $nd (a + b + c)$ pour la denture écrasée de pas double.

En outre le déséquilibre de l'effort, en cas d'avo-

yage par torsion, a tendance à écarteler les dents et n'autorise pas de grandes épaisseurs de copeau.

Assistant, à Yangambi, au débit d'une grume de *Brachystegia* de 50 cm de diamètre à l'aide d'un ruban de 40 mm de pas, denture avoyée par torsion et tournant aux environs de 2.000 m/min. à une vitesse d'amenage de l'ordre de 3 m/min, nous avons poussé cet amenage jusqu'à 8 m/min et avons replié les dents du ruban vers l'extérieur.

Il est évident que cette réaction ne se serait pas produite si les dents avaient été écrasées.

Signalons enfin que l'épaisseur du ruban a également son importance et qu'il ne faut pas chercher à tout prix à réduire celle-ci. REINEKE a mis ce point en évidence en posant la question « sciure ou copeaux de raboteuse ? ». En effet, à vouloir des rubans trop minces on risque des déviations du trait, d'où sur-mesures et rabotages inutiles.

Particulièrement dans les bois durs et difficiles à scier, tels qu'il s'en trouve en Afrique, on a souvent intérêt à adopter des rubans plus épais.

La qualité de l'acier est évidemment primordiale mais il faut reconnaître qu'actuellement la plupart des aciers répondent aux exigences du sciage.

QUEL TYPE DE DENTURE EMPLOYER ?

A la lumière de ces considérations, il est évident que l'on adoptera une denture caractérisée par un angle d'attaque prononcé, un angle de dépouille réduit, un logement utile efficient et un pas suffi-

sant. Cette denture sera avoyée par écrasement.

Du fait même, les dentures à gençives et mariées seront rejetées. Leur angle d'attaque, forcément limité, est généralement faible ; toute velléité d'augmentation de celui-ci se heurtant à un déformement d'un angle de bec déjà trop réduit. Leur angle de dépouille, par contre, est très grand et pratiquement inutile. Ajoutons que l'angle vif, constitué par l'arête de coupe et la gençive, favorise l'éclatement et la dispersion du copeau et, souvent, constitue l'origine de déchirures dans le corps du ruban.

Les dentures à crochet sont plus intéressantes du fait que la brisure du dos permet de concilier un angle d'attaque plus grand avec un logement plus vaste.

Les dentures rationnelles seront issues de ces principes et nous ne saurions assez conseiller les dentures dites « à bec de perroquet » (fig. 6 a) et LFL (1) (fig. 6 b) qui sont toutes deux des dentures renforcées et harmonieuses.

Ces dentures, et particulièrement la LFL ont été éprouvées avec succès dans de nombreux bois tropicaux.

La figure 7 illustre un essai comparatif réalisé dans *Chlorophora excelsa* (2). Des deux dentures

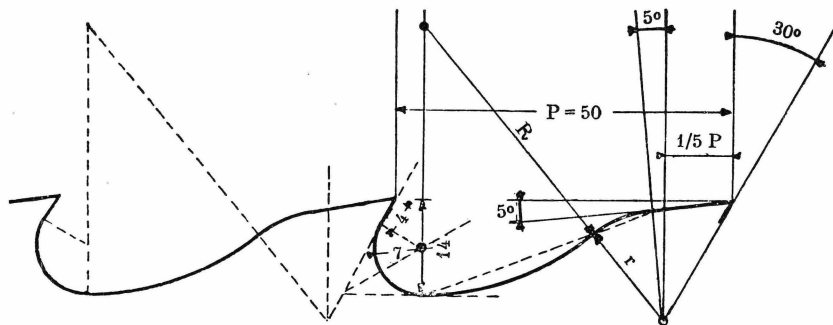


FIG. 6 a.

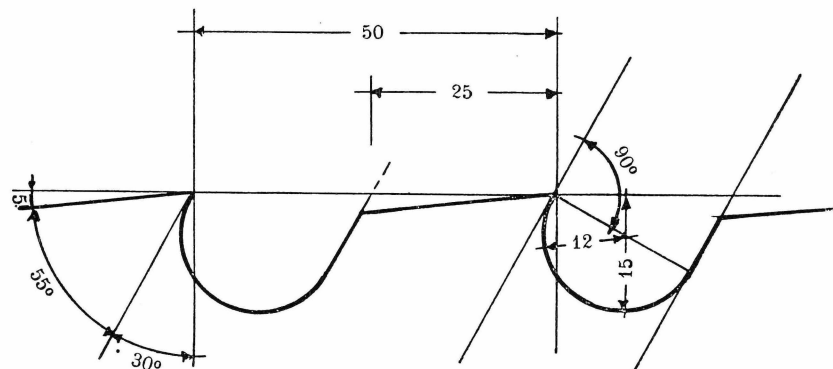


FIG. 6 b.

expérimentées, on constate que la LFL autorise une épaisseur de copeau sensiblement plus grande avant d'accuser une remontée du travail spécifique.

C'est dire qu'à l'image classique d'une lame sur laquelle seraient plantées les dents, nous préférons l'image d'un ruban dans lequel seraient ménagés des logements.

3. LES MODALITÉS D'EMPLOI DE LA MACHINE ET DE L'OUTIL

Il ne suffit pas de posséder une bonne machine, ni même un bon outil pour pouvoir scier correctement et plus que d'autres peut-être, la plupart des bois tropicaux requièrent un emploi rationnel de ceux-ci. Les variations d'utilisation de la machine et de l'outil se traduisent essentiellement par des variations de vitesse ; soit vitesse d'amenage du bois soit vitesse de passage de l'outil. Le sciage rationnel doit résulter, en fin de compte, de l'étude des variations des facteurs définissant le copeau, soient : le pas, la vitesse d'amenage du bois et la vitesse de l'outil pour l'épaisseur ; la voie pour la largeur et la hauteur de coupe pour la longueur.

L'épaisseur de copeau est la variable la plus intéressante parce que la plus directement liée à la rentabilité des scieries ; la hauteur de coupe est la variable la plus ingrate parce qu'elle est très exigeante du point de vue énergétique et qu'elle impose souvent une réduction de l'épaisseur de copeau. Nous passerons en revue ces différents facteurs en raison de leur influence sur les composantes du sciage, tout en veillant à mettre en évidence l'intérêt de certaines combinaisons pour le sciage des bois tropicaux.

a) La vitesse d'amenage du bois

Toute modification de la vitesse d'amenage du bois se traduit par une variation proportionnelle de l'épaisseur de copeau. C'est dire que les puissances requises par le cisaillement latéral, la réduction et l'évacuation du copeau varieront dans la même proportion que la vitesse d'amenage du bois.

(1) Laboratoire Forestier de Louvain.

(2) R. C. ANTOINE et L. E. LALOYEAUX. — Le débit des bois à la scie à ruban. II. Étude du sciage de *Chlorophora excelsa*. *Publications de l'INEAC*. Série Technique n° 47, Bruxelles 1955.

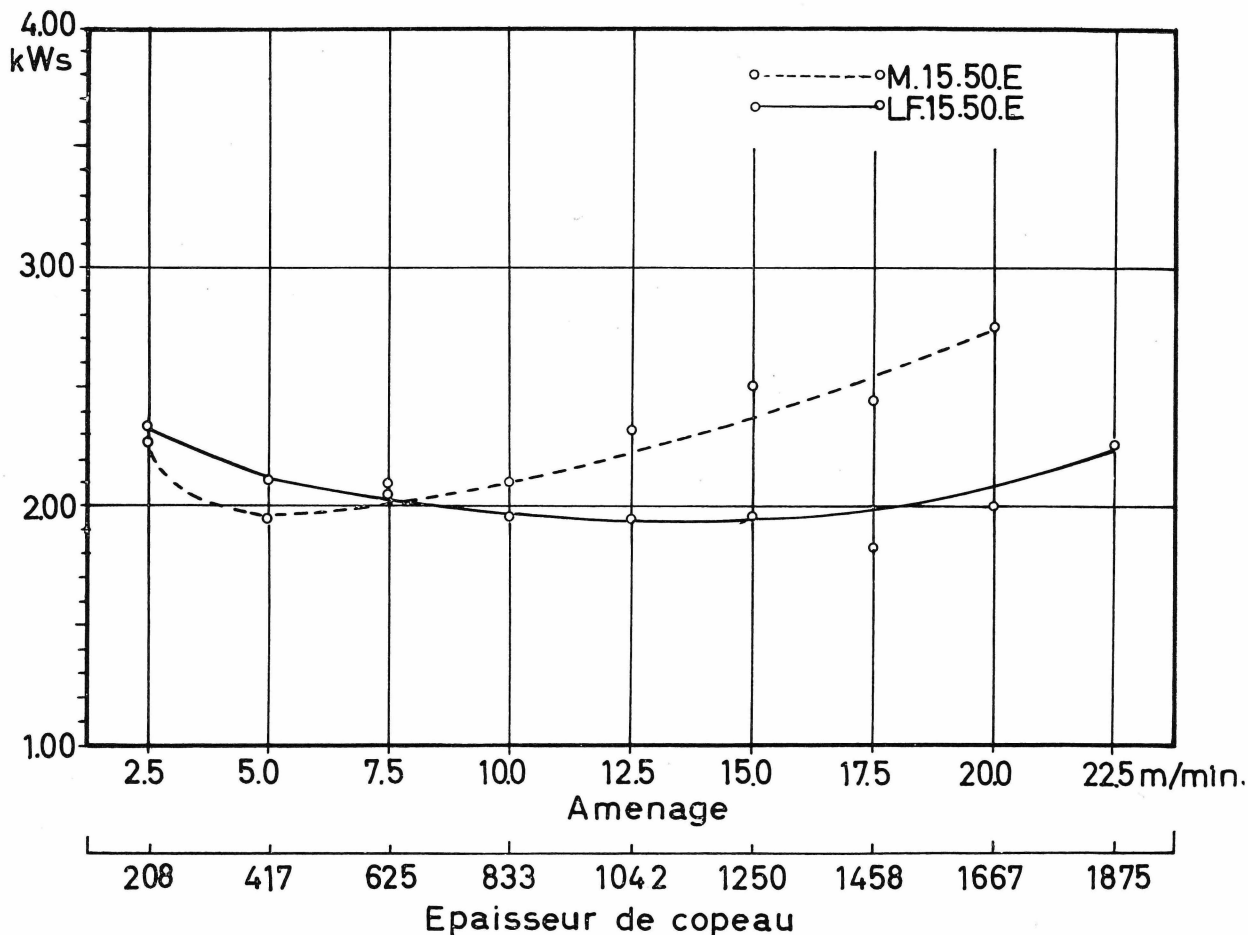


FIG. 7. — Travail spécifique en fonction de l'épaisseur de copeau. Comparaison entre une denture mariée et une denture LFL.

Seule la puissance requise par le tranchage des fibres reste constante, dépendant du nombre de fibres tranchées, soit de l'amplitude de la voie et de la vitesse d'application de la dent. On en tire que la puissance utile au sciage ne varie pas proportionnellement à la vitesse d'amenage du bois, mais selon la formule

$$Pu = nd[a + k'(b + c)]$$

où nd = le nombre de dents engagées dans le bois.

a , b et c les puissances requises respectivement pour le tranchage, le cisaillement latéral et le complexe réduction et évacuation d'un copeau de 100μ pour une vitesse de l'outil de 1.000 m/min .

k' = le rapport des vitesses d'amenage, étant entendu que la vitesse d'amenage de base est tirée de la formule

$$\frac{\text{Pas} \times \text{Am}}{\text{VL}} = e \text{ ou } \text{Am} = 2 \text{ m/min}$$

cette formule peut encore s'écrire

$$Pu = nd[k'(a + b + c) - (k' - 1)a]$$

soit $Pu_x = k' Pu_{\text{réf}} - (k' - 1) nd.a$

où Pu_x représente la puissance utile d'un cas hypothétique et $Pu_{\text{réf}}$ la puissance utile, connue, d'un cas de référence.

La représentation graphique des variations de Pu en fonction de la vitesse d'amenage du bois, d'après la formule proposée, donne lieu à une droite dont l'ordonnée positive à l'origine est égale à $Nd.a$. (fig. 8).

En fait, il est évident que cette droite ne correspond à la réalité que jusqu'à un certain point. Il est clair, en effet, qu'il existe une vitesse d'amenage limite, soit que l'épaisseur de copeau ne puisse être augmentée sans engendrer des phénomènes de frottement latéral (bois très durs), soit, plus simplement, que le logement utile soit saturé.

A titre d'exemple, nous représentons ci-après les courbes de variation de la puissance en fonctions de la vitesse d'amenage chez *Irvingia gabonensis*, et *Brachystegia laurentii* (fig. 9). Les deux essais ont été réalisés avec la même denture soit une LFL. 30.50 à une vitesse de l'outil constante fixée à 1.000 m/min et sur des équarris de $0,20 \text{ m}$ de hauteur.

On constate, chez *Irvingia*, que jusqu'à 500 μ correspondant à une vitesse d'amenage de 10 m/min les points expérimentaux sont parfaitement disposés sur une droite dont le coefficient angulaire pour 100 $\mu = \beta_{100 \mu}^{VL} \frac{1.000}{100} = 0,959$.

On en tire que la puissance absorbée pour le tranchage des fibres = 277 W/dent = a .

A partir de 500 μ on note un décrochage de la droite dû, probablement, au frottement des copeaux dans le sillon. En effet, le logement n'est certainement pas saturé et on est obligé d'admettre, pour la denture en question et la hauteur de coupe proposée, une épaisseur de copeau - d'où une vitesse d'amenage-limite.

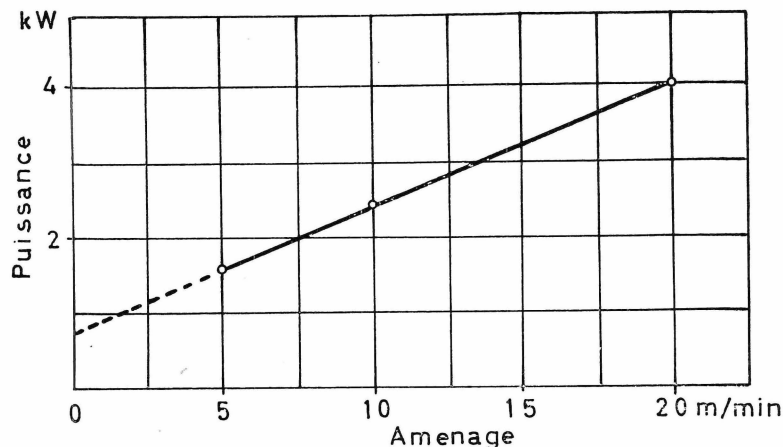


FIG. 8. — Puissance utile en fonction de la vitesse d'amenage du bois. Courbe théorique.

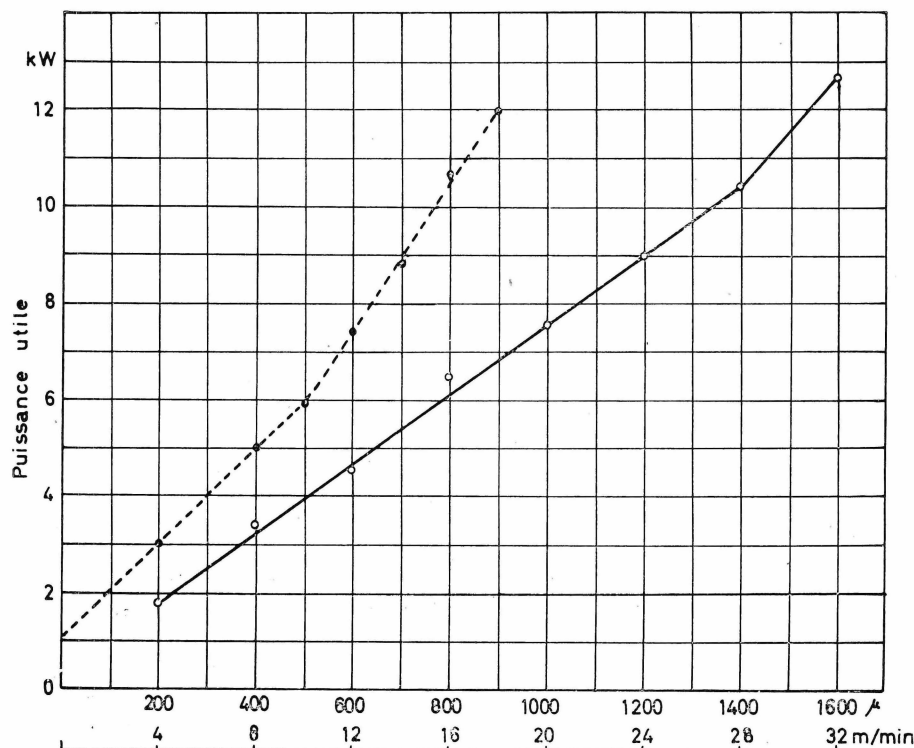


FIG. 9. — Puissance utile en fonction de la vitesse d'amenage du bois. Valeurs expérimentales dans *Irvingia gabonensis* et *Brachystegia laurentii*.

Par contre, dans *Brachystegia*, on note une distribution linéaire des points expérimentaux jusqu'à une épaisseur de copeau de 1.400 μ correspondant à une vitesse d'amenage de 28 m/min. Le coefficient angulaire de la droite est ici, pour 100 μ , de 0,7206 et la puissance au tranchage (a) ne vaut plus que 84 W/dent.

Il s'agit donc bien d'un bois nettement moins dur que *Irvingia* et on enregistre, du fait même une remontée plus tardive de la droite. Il se peut que le logement utile soit saturé, encore que certains bois aient, dans les mêmes conditions, atteint des épaisseurs de copeau de 1.600 μ , sans accuser de remontée.

La conclusion à tirer de ce qui précède est que les vitesses d'amenage les plus élevées sont théoriquement les plus intéressantes en raison de l'économie faite sur le tranchage des fibres. En pratique il existe, pour chaque bois, pour une forme de denture donnée et pour une hauteur de coupe définie, une épaisseur de copeau optimum qu'il convient de respecter. Cette épaisseur de copeau, souvent plus grande qu'on ne le croit, est toujours la plus économique.

b) La vitesse de l'outil.

Toute variation de la vitesse de l'outil se traduit d'abord par une variation proportionnelle de la puissance absorbée par le tranchage des fibres.

Pour ce qui est des autres composantes du sciage, celles-ci ne sont pas influencées par cette vitesse. En effet, si l'épaisseur de copeau varie inversement proportionnellement à la vitesse de l'outil, cette variation est compensée par une variation des facteurs b et c directement proportionnelle à la vitesse d'application de l'effort d'où la formule

$$Pu = nd [k''a + (b + c)]$$

où k'' = le rapport des vitesses de l'outil, sachant que la vitesse de base adoptée est celle de 1.000 m/min.

Encore une fois, on peut écrire cette formule

$$Pu = nd [(a + b + c) + (k'' - 1) a]$$

$$\text{ou } Pu_x = Pu_{rét} + (k'' - 1) nd . a$$

Il suffit donc de connaître la valeur de a pour déterminer, au départ d'un cas de référence, les variations de puissance en fonction des variations de la vitesse de l'outil.

La droite correspondant à cette équation de forme générale $Y = \alpha x + \beta$ est représentée à la figure 10.

L'ordonnée positive à l'origine est égale à la somme des facteurs b et c que multiplie le nombre de dents engagées dans le bois.

En pratique, ici encore, on constate qu'il existe, pour chaque épaisseur de copeau, une vitesse de passage de l'outil limite au delà de laquelle la puissance augmente suivant une loi totalement différente. Plus l'épaisseur de copeau est faible, plus cette limite paraît rapidement atteinte. La raison en est vraisemblablement le frottement latéral et il paraît logique d'admettre que, plus le copeau est mince, plus vite il éclatera sous l'effet de la vitesse et que sa dispersion sur les côtés du ruban est de nature à engendrer les frottements en question. Le problème de la vitesse de l'outil est un de ceux qui occasionnent le plus de déboires aux scieurs. Il est essentiellement imputable aux constructeurs de machines qui, trop souvent, imposent à l'outil une vitesse déterminée, nettement trop élevée pour le sciage de la plupart des bois tropicaux.

Il n'est pas mauvais, à cet égard, de rappeler qu'une machine moyenne de 1,40 m de diamètre de volant, tournant à 600 tours/min développe une vitesse circonférentielle de 2.640 m/min, soit près de 160 km/h.

Et l'on voudrait qu'un copeau qui, souvent, n'a que quelques centièmes de millimètres d'épaisseur n'éclate pas en passant, instantanément, d'un état statique à des vitesses qui sont de l'ordre de 150 km/h. Si on ajoute à ces considérations que la forme du logement est souvent fort peu harmonieuse, on comprendra que ce vœu est illusoire et que les grandes vitesses de l'outil sont généralement peu rentables et ce d'autant moins que l'épaisseur de copeau est plus faible.

Autre chose est le désaffûtage de l'arête de coupe dont nous avons, à différentes reprises, étudié et dénoncé la dépendance de la vitesse d'application de l'outil.

De nombreux essais ont été réalisés à cette fin à des vitesses variables et dans des bois particulièrement abrasifs.

La conclusion qui s'en dégage est que, s'il est pratiquement impossible de scier ces bois aux vitesses conventionnelles, il est, au contraire, relativement facile de les débiter pour peu qu'on se donne la peine de réduire la vitesse de l'outil. Nous avons reproduit à différentes reprises (1)

(1) Revue du Bois et de ses Applications. Vol. XIV, n° 4, avril 1959.

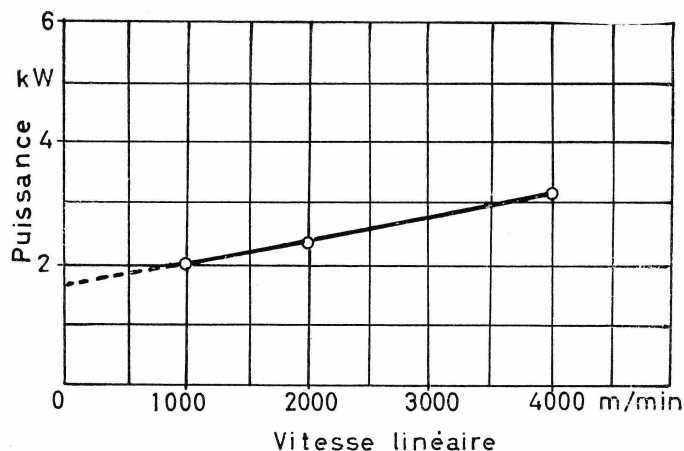


FIG. 10. — Puissance utile en fonction de la vitesse de l'outil. Courbe théorique.

une illustration très suggestive d'un essai réalisé dans du *Parinari*. Ces conclusions ont été confirmées en Afrique à la scierie expérimentale de l'INÉAC (Yangambi) où un essai fut réalisé à l'aide de deux lames préparées de manière identique et dont une fut affectée au sciage de *Parinari holstii* à la vitesse de l'outil de 2.500 m/min pour une vitesse d'amenage du bois de 3 m/min déterminant, pour un pas de 40 mm, une épaisseur de copeau de 48 μ .

Avec l'autre lame on débita le même *Parinari* à la même vitesse d'amenage, soit 3 m/min, mais à une vitesse de ruban de 530 m/min, correspondant à une épaisseur de copeau de l'ordre de 225 μ .

Nous ne pouvons mieux faire que de reproduire les graphiques enregistrés au cours de cet essai (fig. 11). Dans le premier cas on constate que la puissance à vide est de 12,5 kW et que la puissance totale requise pour scier du *Parinari* dans les conditions de l'essai est de l'ordre de 51 kW. Par contre à 530 m/min, la puissance à vide est tombée à quelques 7 kW et, tout en conservant la vitesse d'amenage de 3 m/min, la puissance totale absorbée par le sciage du même *Parinari* n'est plus que de l'ordre de 10 kW.

On constate donc, chose que nous avons démontrée à plusieurs reprises à Louvain, qu'un scieur débitant du *Parinari* à longueur de journée, dans les conditions du second exemple proposé, aurait consommé, en fin de journée, moins de force motrice que celui qui laisserait simplement tourner sa machine à vide à 2.500 m/min.

Ajoutons à cela que dès les 30 premiers centimètres de sciage, au cours de l'essai à grande vitesse, la lame recula sur les volants et qu'après un trait elle était totalement désaffûtée, tandis que plus de dix traits ont été réalisés et enregistrés à 530 m/min sans accuser d'augmentation significative de puissance ni de recul du ruban sur les volants.

Il va sans dire que, du point de vue énergétique,

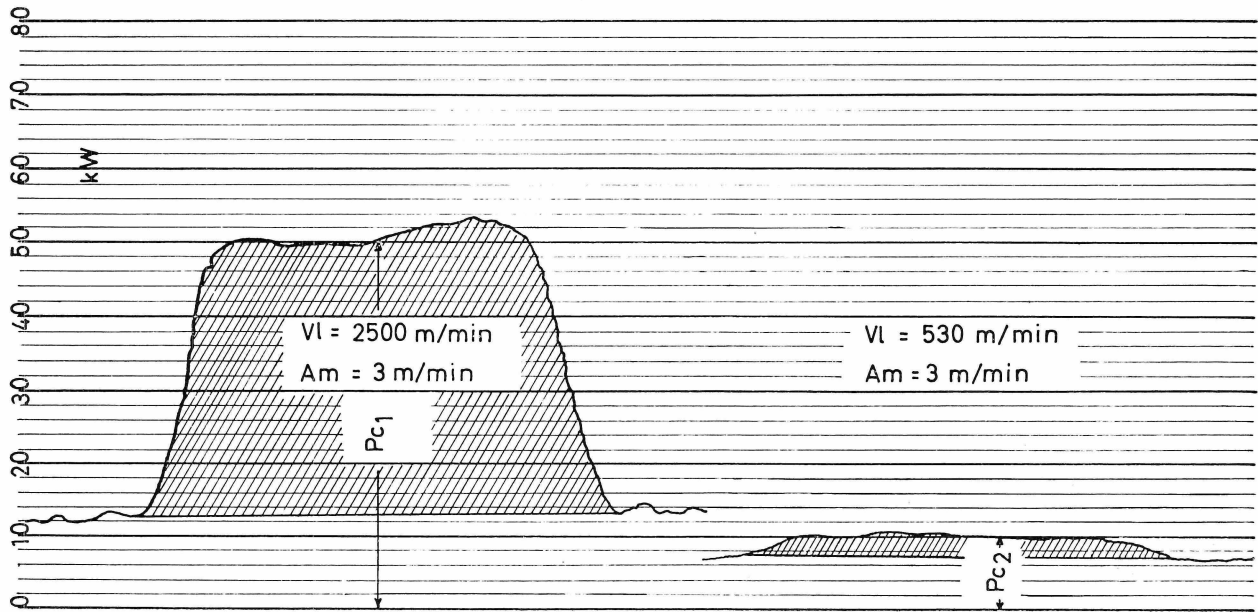


Fig. 11.

ces constatations sont de première importance.

Jugeant toutefois l'épaisseur de copeau de 225μ insuffisante nous avons, pour une vitesse de l'outil raisonnable, soit 1.000 m/min. , augmenté progressivement la vitesse d'amenage du bois et, partant, l'épaisseur de copeau.

Le tableau ci-après résume les résultats de cet essai.

Am m/min	épaisseur de copeau	Puissance totale kW
3	120	11.600
6	240	13.200
8	320	15.200
10	400	16.800
12	480	19.200
14	560	22.000
16	640	24.800

On y constate que, pour une vitesse de l'outil de 1.000 m/min , on peut scier du *Parinari* à une vitesse d'amenage de 16 m/min en consommant une puissance totale (y compris la puissance à vide) de 25 kW alors qu'il fallut, plus de 50 kW pour scier le même bois, de même hauteur, à 2.500 m/min et à une vitesse d'amenage qui ne dépassait pas 3 m/min . Signalons qu'avant d'entreprendre cet essai d'épaisseur de copeau croissante la lame avait déjà réalisé 28 traits dans du *Parinari* alors que la valeur de 52 kW a été enregistrée, à 2.500 m/min , pour une lame fraîchement affûtée.

Ce qui ne veut pas dire que les petites vitesses de l'outil soient nécessairement les seules à exploiter, et il est certain que, si le bois est suffisamment

tendre et peu abrasif, on a intérêt à adopter les plus grandes épaisseurs de copeau compatibles avec la qualité du sciage et, par conséquent, les plus grandes vitesses d'amenage du bois et, proportionnellement, les plus grandes vitesses de l'outil.

C'est ainsi que, pour une vitesse de l'outil de 1.000 m/min , nous avons débité du *Limba* en grumes (30 à 40 cm de hauteur de coupe) à une vitesse d'amenage de 48 m/min réalisant ainsi des épaisseurs de copeau de 1.920μ , c. à d. à peu près 2 mm par dent. En effet, la marque de la brasure se lisait approximativement tous les 60 cm, ce qui veut dire que, pour scier des planches de 3 m de long, chaque dent n'avait été sollicitée que 5 fois.

Cela veut dire aussi que si nous avions disposé de vitesses d'amenage plus élevées, nous aurions pu adopter, pour une vitesse de l'outil de 2.500 m/min un amenage de 120 m/min .

c) Les variations conjuguées des facteurs déterminant l'épaisseur de copeau.

Rappelons brièvement que ces facteurs, extraits de la formule déterminant l'épaisseur de copeau sont, le pas, la vitesse d'amenage du bois et la vitesse de l'outil.

Les variations conjuguées possibles sont donc les variations Pas/amenage, Pas/vitesse de l'outil, Amenage/vitesse de l'outil, et enfin les variations plus complexes des trois facteurs.

1° Les variations du pas et de la vitesse d'amenage du bois.

Nous avons vu que les variations du pas se traduisent exclusivement par une variation inver-

sement proportionnelle de la puissance au tranchage des fibres **fonction du nombre de dents**, sans altérer la puissance requise par le cisaillement latéral du copeau, ni par sa réduction ou son évacuation.

Par contre nous avons signalé que toute variation de la vitesse d'amenage du bois se traduisait par une variation proportionnelle des facteurs b et c (puissance absorbée par le double cisaillement latéral, par la réduction et par l'évacuation du copeau) sans modifier la puissance requise par le tranchage des fibres.

On comprendra, dans ce cas, qu'une variation conjuguée du pas et de la vitesse d'amenage, si elle se fait dans une même mesure et dans des sens opposés, doit se traduire par une variation de la puissance utile totale proportionnelle au degré de variation de la vitesse d'amenage (ou inversement proportionnelle à la variation du pas).

Si les variations se font en sens opposé mais ne sont pas égales, ou si elles se font dans le même sens, le facteur a varie inversement proportionnellement au pas et les facteurs b et c directement proportionnellement aux variations de la vitesse d'amenage.

La formule des variations de la puissance en fonction des variations conjuguées du pas et de la vitesse d'amenage peut alors s'écrire :

$$Pu = nd \left[\frac{1}{k} a + k'(b + c) \right]$$

où k est le rapport des pas, le pas de référence étant celui de 50 mm.

2° Les variations du pas et de la vitesse de l'outil.

Si les variations du pas impliquent une variation inversement proportionnelle de la puissance au tranchage des fibres, nous avons vu, par contre, que l'influence de la vitesse de l'outil se traduisait par une variation directement proportionnelle de cette même puissance.

Ni les variations du pas, ni celles de la vitesse de l'outil n'ont d'influence sur les facteurs b et c .

C'est dire que si les variations du pas et de la vitesse de l'outil se font dans une même mesure et dans le même sens, la puissance au sciage ne varie pas.

Si ces variations se font dans des proportions ou des sens différents, elles se traduisent par une variation exclusive de la puissance au tranchage des fibres, proportionnelle à la vitesse de l'outil et inversement proportionnelle au pas.

La formule des variations de la puissance en fonction du pas et de la vitesse de l'outil peut s'écrire

$$Pu = nd \left[\frac{1}{k} . k'' . a + (b + c) \right]$$

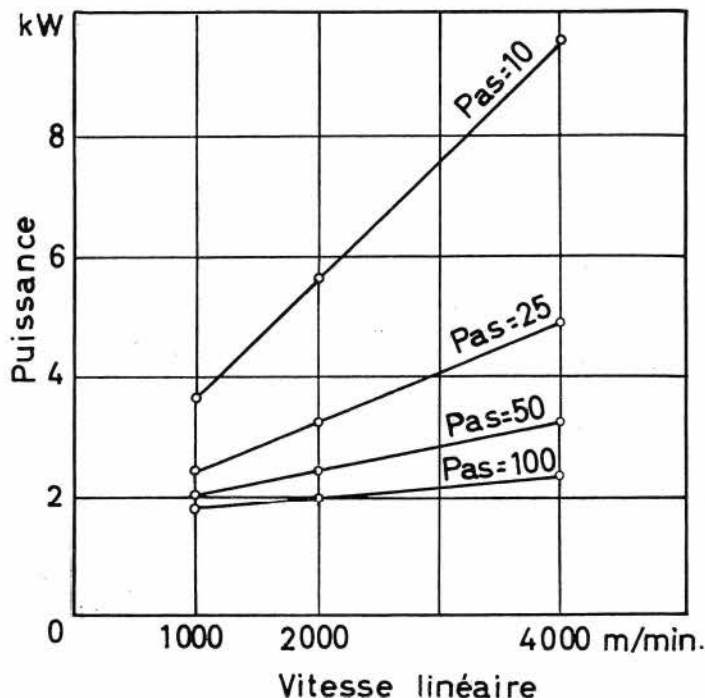
La figure 12 représente l'allure de ces variations ; on y notera l'important accroissement de puissance lorsque les variations du pas et de la vitesse de l'outil se conjuguent pour réduire l'épaisseur de copeau.

3° Les variations de la vitesse d'amenage du bois et de la vitesse de l'outil.

L'influence de la vitesse d'amenage du bois se traduisant par une variation proportionnelle des puissances requises par les composantes b et c , celle de la vitesse de l'outil par une variation proportionnelle de la puissance requise par la composante a (tranchage), il est clair que la variation combinée de ces facteurs, si elle se fait proportionnellement dans le même sens, doit se traduire par une variation proportionnelle de la puissance utile totale.

Un exemple, réalisé dans *Podocarpus usumbaren-sis* (fig. 13), pour une épaisseur de copeau constante de 800 μ . montre en effet que la puissance varie pratiquement proportionnellement à l'augmentation de la vitesse d'amenage ou de celle de l'outil. On note également que l'ordonnée de cette droite est nulle à l'origine, ce qui est normal, et qu'un décrochage se manifeste vers 1.800 m/min, qui doit approcher la vitesse de l'outil optimum.

Fig. 12. — Puissance utile en fonction de la vitesse de l'outil. Influence du pas. Courbes théoriques.



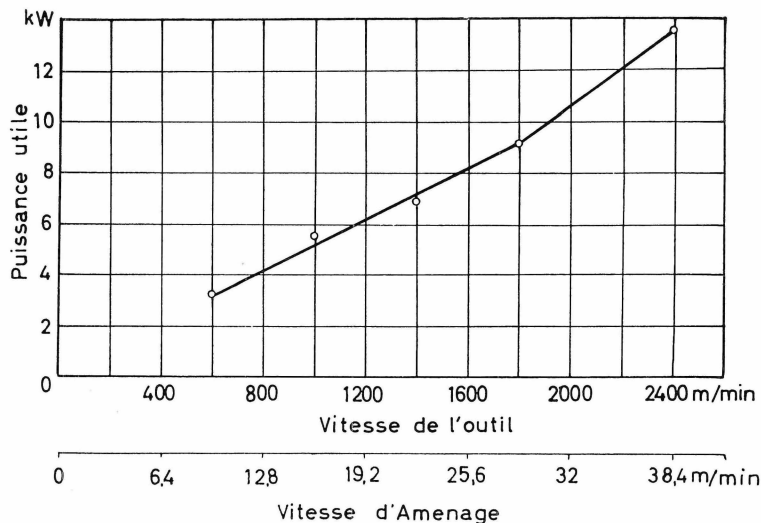


FIG. 13. — Puissance utile en fonction de la vitesse d'amenage du bois et de la vitesse de l'outil. (Épaisseur de copeau constante = 800 μ). Valeurs expérimentales dans *Podocarpus usambarensis*.

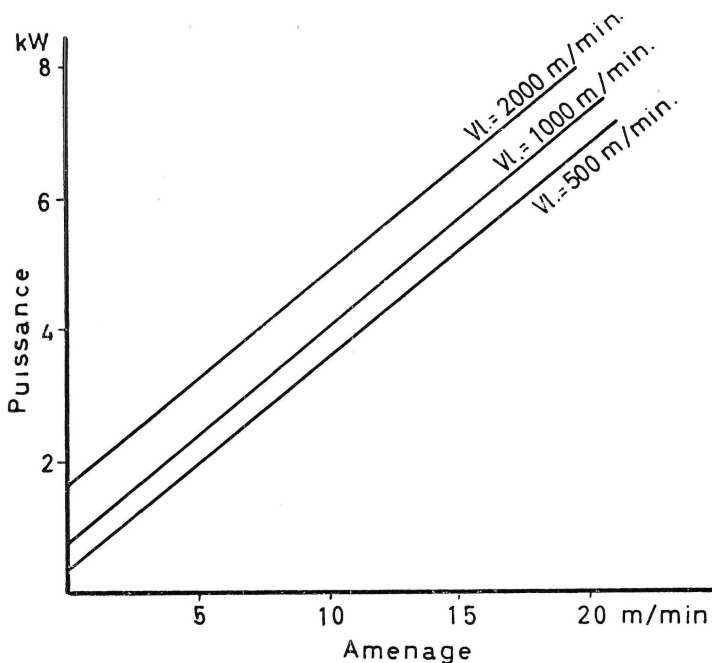


FIG. 14. — Puissance utile en fonction de la vitesse d'amenage du bois. Influence de la vitesse de l'outil. Courbe théorique.

Par contre, si les variations de la vitesse d'amenage du bois et de la vitesse de l'outil se font en sens opposé ou dans des mesures inégales, il suffit de se rappeler que les variations du facteur a sont directement proportionnelles à la vitesse de l'outil et celles des facteurs b et c à la vitesse d'amenage du bois.

La formule des variations de la puissance en fonction des variations conjuguées de la vitesse

d'amenage du bois et de la vitesse de l'outil peut s'écrire :

$$Pu = nd[k'' \cdot a + k'(b + c)]$$

L'allure de ces variations est représentée par la figure 14. On constatera qu'il s'agit d'une suite de droites parallèles de forme $Y = \alpha x + \beta$ où les ordonnées à l'origine sont respectivement égales à $nd a$ que multiplie le rapport de variation de la vitesse de l'outil.

On aurait évidemment pu représenter ces mêmes variations conjuguées en prenant pour abscisse les variations de la vitesse de l'outil. Dans ce cas, l'ordonnée à l'origine serait égale à $nd(b + c)$ que multiplie le rapport de variation de la vitesse d'amenage du bois.

4° Les variations complexes du pas, de la vitesse d'amenage du bois et de la vitesse de l'outil.

Ici, comme c'est d'ailleurs le cas en pratique, toutes les combinaisons sont possibles entre les trois facteurs déterminant l'épaisseur de copeau.

Il suffit de retenir, si l'on veut déterminer la puissance nécessaire dans n'importe quelles conditions de sciage, la nature des influences du pas, de la vitesse d'amenage et de la vitesse de l'outil sur les facteurs de sciage a (tranchage des fibres) b (cisaillement latéral), c (réduction, transport et évacuation du copeau).

	Pas	Am	VL
a	inversement proportionnelle	nulle	directement proportionnelle
b et c	nulle	directement proportionnelle	nulle

La figure 15 illustrant ces variations conjuguées met particulièrement en évidence les conditions défavorables au sciage des bois, soient les grandes vitesses de l'outil et les petits pas.

La formule générale de ces variations complexes des facteurs déterminant l'épaisseur de copeau serait la suivante :

$$Pu = nd \left[\frac{1}{k} \cdot k'' \cdot a + k'(b + c) \right]$$

Un exemple imparfait (fig. 16) réalisé dans *Gossweilerodendron balsamiferum* (1) montre une

(1) R. GÉRARD. — Influence de la valeur du pas et de la vitesse circonférentielle de l'outil dans les scies à ruban. Mémoire dactylographié. Université de Louvain, 1957.

dispersion des points très admissible autour de la droite théorique correspondant à la formule proposée.

II. — LA LARGEUR DU COPEAU

Les variations de la largeur du copeau sont fonction de la largeur de la voie et se traduisent par des variations proportionnelles des facteurs a et c .

Seul le facteur b reste constant et c'est d'ailleurs une méthode de détermination de ce facteur que de déterminer la puissance en fonction de la largeur de la voie.

III. — LA LONGUEUR DU COPEAU

Cette longueur peut être assimilée à la hauteur de coupe encore qu'en réalité elle soit égale à $\frac{H}{\cos \alpha}$ où α est l'angle formé par la hauteur de coupe (H) et par la droite définissant la progression d'une dent dans le bois.

La hauteur de coupe est directement liée à la notion d'épaisseur de copeau optimum pour autant que le critère de détermination de cette épaisseur de copeau soit le volume du logement utile.

En effet, le volume utile du logement étant défini pour une denture donnée, il est clair que toute augmentation de la hauteur de coupe doit se traduire par une réduction proportionnelle de l'épaisseur de copeau optimum déterminée pour une hauteur de référence.

C'est dire qu'en pratique à toute variation de la hauteur de coupe doit correspondre soit une variation inversement proportionnelle de la vitesse d'amenage du bois, soit une variation proportionnelle de la vitesse de l'outil, soit une variation du pas égale à la racine carrée du coefficient de variation de la hauteur de coupe.

Du point de vue énergétique, la formule de variation de la puissance en fonction de la hauteur de coupe peut s'écrire :

$$Pu = nd.k''' [(a + b + c) + (k''' - 1)c']$$

où nd = le nombre de dents engagées selon les données de référence c'est-à-dire pour un pas de 50 mm et une hauteur de coupe de 20 cm ; k''' le rapport des hauteurs, la hauteur de base étant de 20 cm ; c = la somme des puissances ab-

sorbées par la réduction (c') et le transport (c'') du copeau.

La figure 17 montre que les variations de la puissance ne sont pas proportionnelles à la hauteur mais que le facteur c'' grève sensiblement celles-ci.

Les variations multiples, au départ d'un cas de référence, peuvent se résumer dans la formule que nous proposons ci-après :

$$Pu = nd.k''' \left\{ \frac{1}{k} k'a + k' [(b + c) + (k''' - 1)c'] \right\}$$

On comprendra ainsi l'intérêt qu'il y a à connaître, pour les différents bois, les valeurs des facteurs a , b , c' et c'' , ou, même simplement de a , b , et c .

FIG. 15. — Puissance utile au sciage en fonction du pas. Influences de la vitesse d'amenage du bois et de la vitesse de l'outil.

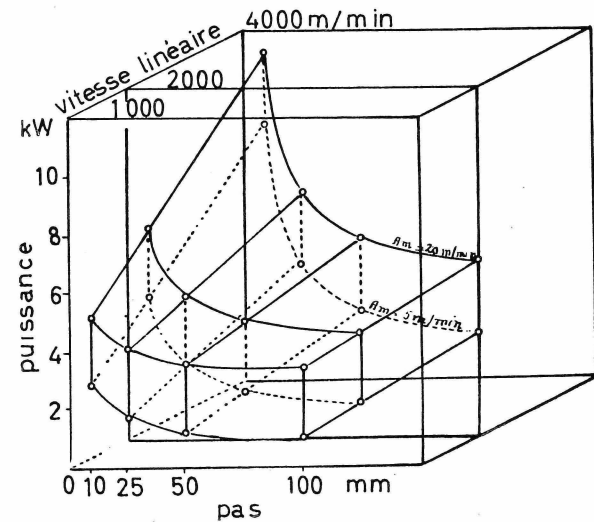
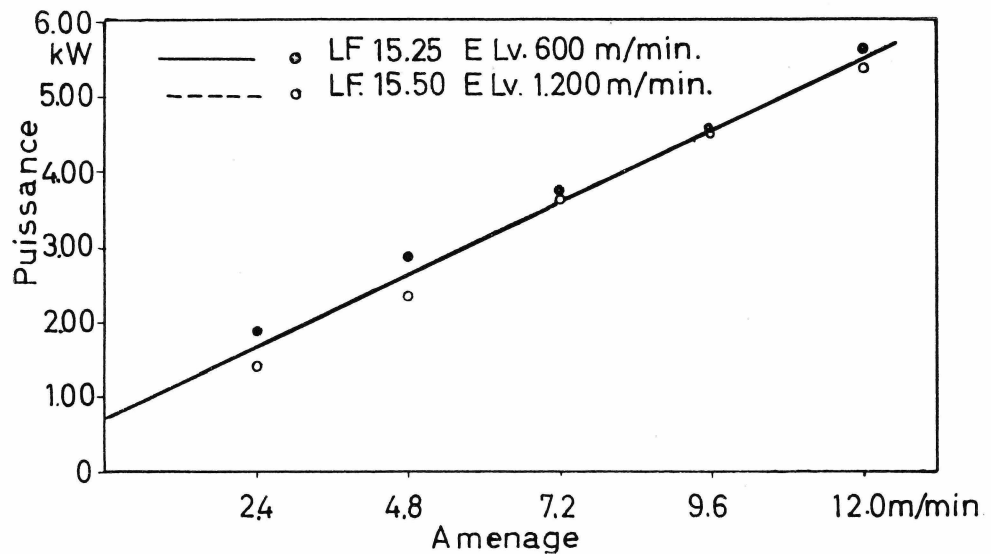


FIG. 16. — Puissance utile en fonction de la vitesse d'amenage du bois. Influence de la vitesse de l'outil et du pas. Valeurs expérimentales dans *Gossweilerodendron balsamiferum*.



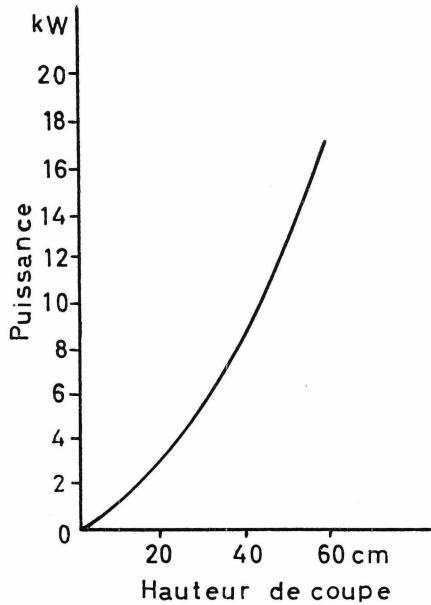


FIG. 17. — Puissance utile en fonction de la hauteur de coupe. Valeurs expérimentales dans *Gilbertiodendron dewevrei*.

Le facteur de tranchage a , s'obtient par simple variation de la vitesse de l'outil ; le facteur caractérisant la puissance au cisaillement latéral b , par variation de la voie et le facteur c'' par variation de la hauteur de coupe. c'' peut s'obtenir par simple différence. Les valeurs de ces différents facteurs peuvent servir à l'élaboration des abaques de sciage. La figure 18 représente l'abaque de *Staudtia stipitata* (1).

(1) R. C. ANTOINE et J. C. BERBEN. — Le débit des bois à la scie à ruban. Etude du sciage de *Staudtia stipitata*, *Guarea cedrata*, *Cynometra alexandrii*, et *Pycnanthus angolensis*. Publications de l'INEAC, Série technique n° 53, 1958.

La zone hachurée est une « zone interdite » en raison des limites du logement utile (petits pas ou grandes vitesses d'amenage). Les abaques de sciage permettent de connaître, pour n'importe quelles conditions de travail, la puissance utile (2) nécessaire au débit d'un bois déterminé.

La notice ci-après, illustrée par un exemple, expose la manière de se servir des abaques de sciage.

On relie, par une droite, la projection sur l'abscisse de 1.000 m du point de jonction de la vitesse de passage de l'outil (1.800 m/min) et du pas (50 mm) retenus au point correspondant, sur l'abscisse des amenages, à la vitesse d'amenage du bois imposée (8 m/min.)

Cette droite coupe la courbe de variations de la puissance correspondant à la vitesse d'amenage susdite en un point qui définit la puissance utile requise pour le sciage d'un bois de 20 cm de hauteur, dans les conditions exposées, soit par exemple, 6,5 kW.

A quelque distance de l'ordonnée de puissance, et parallèlement à celle-ci, on a édifié une verticale graduée suivant la même échelle et sur laquelle on reporte la valeur :

$$\text{Puissance} + \frac{\text{Amenage}}{10}, \text{ soit, dans l'exemple proposé, } 6,5 + \frac{8}{10} = 7,3.$$

On relie les deux points en question et la droite obtenue et prolongée donne, pour les différentes hauteurs de coupe, la valeur de la puissance utile.

La hauteur limite est définie, sur cette droite, par la valeur correspondant à la hauteur en centi-

(2) Il est évident qu'il faut ajouter à la puissance utile la puissance absorbée par la machine tournant à vide et que celle-ci est fonction de la vitesse de l'outil.

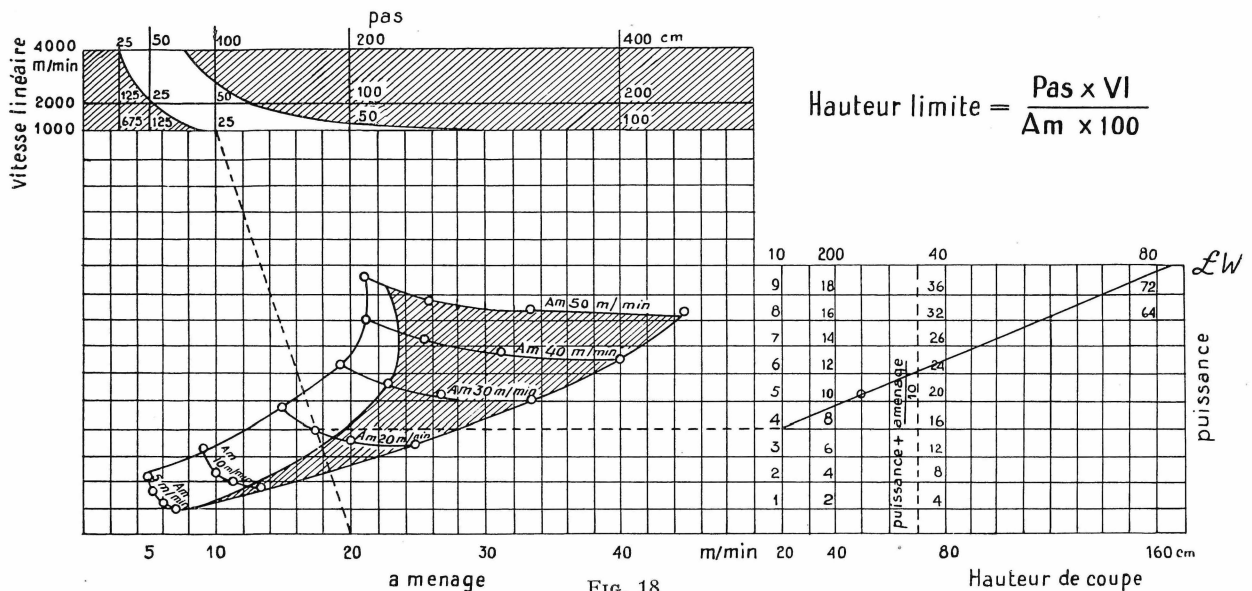


FIG. 18

mètres tirée de la formule : $\frac{\text{Pas} \times \text{LV}}{\text{Am} \times 100}$ soit, pour

l'exemple retenu, $\frac{50 \times 1.800}{8 \times 100} = 112,5$ cm. On

peut alors facilement, dans tous les cas, déterminer par interpolation la valeur de cette puissance. Dans le cas de l'exemple, il s'agirait de ± 52 kW.

De la même manière, on peut évidemment déterminer les valeurs de n'importe quel autre facteur, soit le pas, la vitesse d'amenage ou la vitesse de l'outil, les plus intéressantes pour une puissance utile imposée.

A titre d'exemple, nous avons groupé ci-après les valeurs expérimentales relatives à quelques bois tropicaux (3).

Rappelons que les conditions de références en sont :

pas : 50 mm
 VL : 1.000 m/min
 e : 100 μ
 Am : 2 m/min
 H : 20 cm

La denture est écrasée et l'affûtage, normal, de type industriel.

(3) Ces déterminations ont été effectuées dans le cadre de la Commission d'Etude des bois Congolais grâce aux subventions de l'INEAC qui a publié les résultats détaillés de l'étude du sciage de ces bois.

Nom latin	Nom commercial	Poids spécifique à 15 % kg/m ³	Angle d'attaque	a (kW)	b (kW)	c (kW)
Brachystegia laurentii (De Wild.) Louis		550- 740	30°	0,117	0,105	0,072
Celtis mildbraedii Engl.		700- 800	30°	0,138	0,144	0,081
Copaifera mildbraedii Harms			25°	0,191	0,236	0,018
Cynometra alexandri C. H. Wright	Angu	750- 900	25°	0,133	0,210	0,057
Drypetes Gossweileri			30°	0,241	0,173	0,059
Entandrophragma angolense C. DC		675- 775	30°	0,277	0,089	0,019
Entandrophragma candollei Harms	Kosipo	600- 800	30°	0,435	0,125	0,020
Ganophyllum giganteum		800- 900	30°	0,384	0,190	0,031
Gilbertiodendron grandistipulatum (De Wild.) J. Léonard			30°	0,408	0,233	0,010
Gilbertiodendron dewevrei (De Wild.) J. Léonard	Limbali Ditshipi	700- 950	30°	0,305	0,215	0,019
Gilbertiodendron grandiflorum (De Wild.) J. Léonard			30°	0,240	0,212	0,031
Gossweilerodendron balsamiferum (Vermoesen) Harms	Tola	450- 600	25°	0,160	0,081	0,037
Guarea cedrata (A. Chev.) Pellegr.	Bossé	550- 650	25°	0,235	0,211	0,013
Guibourtia arnoldiana (De Wild. et Th. Dur.) J. Léonard		800-1.000	30°	0,208	0,271	0,016
Holoptelea grandis (Hutch.) Mildbr.		600- 700	25°	0,152	0,227	0,005
Nesogordonia spp.		700- 900	30°			
Panda Oleosa Pierre		600- 650	20°	0,182	0,179	0,041
Pentacletra macrophylla Benth.	Mubala	900-1.000	20°	0,544	0,258	0,105
Podocarpus usambarensis Pilg.		500	30°	0,211	0,089	0,060
Scorodophloeus zenkeri Harms	Divida	650- 750	20°	0,352	0,103	0,129
Staudtia stipitata		800- 900	25°	0,256	0,261	0,035
Tessmannia Lescrauwaetii (De Wild.) Harms		800- 950	30°	0,320	0,187	0,069

