

UTILISATION DU PENDULE DYNAMOMÉTRIQUE DANS LES RECHERCHES SUR LE SCIAGE DES BOIS

par A. CHARDIN,

Ingénieur de Recherches au C. T. F. T.

APPLICATION OF THE DYNAMOMETRIC PENDULUM TO RESEARCH ON THE SAWING OF WOOD

SUMMARY

The trend of research towards a closer analysis of the determining factors involved in sawing has led some laboratories to use the dynamometric pendulum to investigate the cutting process.

When operating conditions are such that the teeth of the saw actually and fully cut the force exerted on the teeth depends on the width of these and on thickness of the chips removed : this functional relationship is analysed here.

Study of force variations carried out, in accordance with a standard method described here, on the many species for which sawing conditions are poorly known and on a few well known woods, permits determination to be made, by comparison, of the size and power of the equipment to be installed in order to achieve economy in sawing any given wood. Furthermore, this study supplies laboratories with a means to advance the analysis of sawing because it makes it possible to isolate the force acting on the teeth from the other forces acting on the blade.

UTILIZACION DEL PENDULO DINAMOMETRICO EN LAS INVESTIGACIONES SOBRE LA ASERRADURA DE LA MADERA

RESUMEN

La evolucion de las investigaciones en el sentido de un análisis cada vez más riguroso de los diferentes elementos que condicionan la aserradura ha determinado que ciertos laboratorios utilicen el péndulo dinámico en el estudio de la corta de árboles.

Cuando las condiciones de trabajo son tales que los dientes de la sierra efectúan un corte real y completo, el esfuerzo que se ejerce sobre esos dientes varía en función de su anchura y del espesor de las virutas sacadas de acuerdo con el procedimiento que aquí se analizó.

El estudio de estas variaciones efectuado sobre numerosas maderas cuyas condiciones de aserradura son mal conocidas y sobre algunas maderas bien conocidas, de acuerdo con un patron unificado que se describe, permite el determinar por comparación las dimensiones y la potencia del material que se debe instalar para obtener ventajas económicas en la aserradura de una madera determinada. Además, permite a los laboratorios el hacer progresar el análisis de la aserradura, por cuanto facilita la separación del esfuerzo que se ejerce sobre los dientes de los restantes esfuerzos que se ejercen sobre la lámina.

LE PENDULE

Dans les premières années du XVIII^e siècle Jacques CASSINI mettait en évidence la possibilité d'utiliser le pendule pour effectuer des mesures d'énergie. Il a fallu attendre près d'un siècle et demi pour voir ce principe entrer dans la pratique avec la création du pendule balistique, puis plus d'un demi-siècle encore pour voir l'emploi du pendule se généraliser sous la forme du mouton-

pendule de CHARPY et enfin du pendule dynamométrique utilisé pour l'étude de la coupe des métaux, et, tout récemment, du bois.

Le principe d'utilisation du pendule sous ces dernières formes est très simple, il est illustré par la figure 1.

Un bras OM dont la masse est concentrée principalement au voisinage de l'extrémité M et pou-

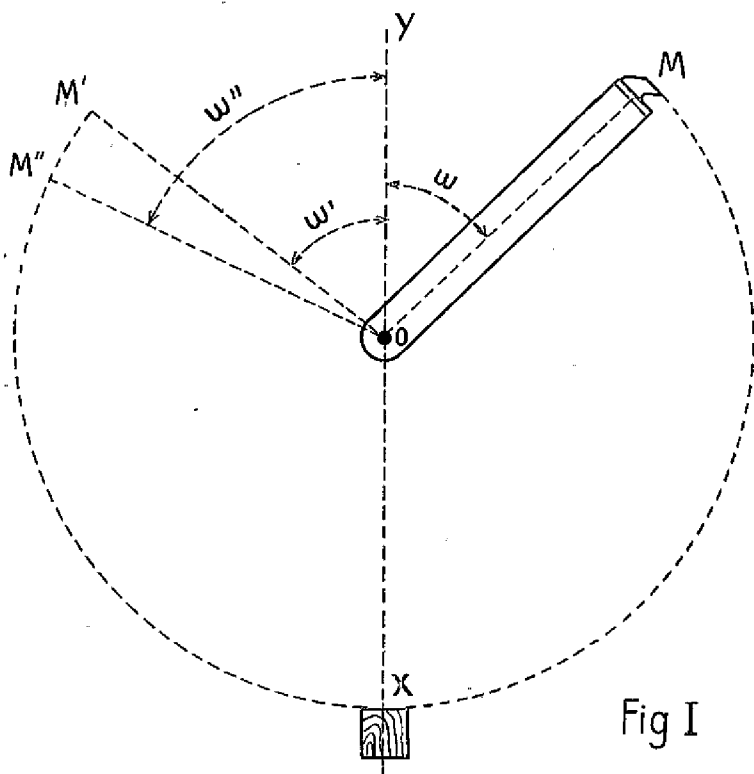


FIG. 1.

Principe d'utilisation du pendule dynamométrique.

vant osciller librement autour d'un axe horizontal O est tenu suivant la position OM faisant un angle ω avec la verticale OY. Si on lâche le bras dans cette position il va sous l'action de la pesanteur descendre jusqu'en OX puis remonter jusqu'à une position OM' faisant un angle ω' avec OY (1). Si le pendule oscille librement ω' ne dépend que de ω , le bras lâché en OM remonte toujours en OM'

ÉVOLUTION ACTUELLE DE L'ÉTUDE DU SCIAGE

Tant que les expérimentateurs ont été peu nombreux et ont disposé de peu de moyens, ils ont procédé principalement à des mesures de consommation d'énergie des machines usuelles en faisant varier les conditions de sciage. L'augmentation importante depuis 1945 du nombre et de l'activité des laboratoires effectuant des recherches sur le sciage a fait apparaître de plus en plus évidente la nécessité de passer dans ce genre de recherches de l'empirisme à l'analyse. Il en est résulté une conception plus « mécaniste » du sciage ; à titre d'exemple, un ruban n'est plus considéré comme un être capricieux dont il faut conjurer la fâcheuse tendance à mal accepter le sciage de certains bois par une combinaison plus ou moins cabalistique

(1) ω' est plus grand que ω car du fait des frottements sur l'axe et surtout de la résistance de l'air le bras du pendule est freiné au cours de son oscillation.

avec une extrême précision. Si on place en X une pièce de bois sur laquelle un outil fixé en M devra enlever un copeau, le travail déposé à la coupe se traduira par un ralentissement du mouvement du bras qui lâché en OM remontera en OM'' (suivant un angle ω'') au lieu de remonter en OM'.

La connaissance de ω'' permet, moyennant un étalonnage préalable du pendule, de calculer le travail effectué par l'outil (2).

En divisant ce travail par la longueur de coupe on obtient l'effort moyen s'exerçant sur l'outil (3).

On voit que cette méthode est extrêmement simple, elle ne nécessite qu'un matériel relativement rustique et par conséquent peu coûteux et elle permet d'obtenir facilement une précision de 1 % dans la mesure du travail, résultat qui n'est pratiquement jamais atteint et n'est que très rarement approché par les autres méthodes classiques de mesures.

On peut se demander dans ces conditions pourquoi il s'est écoulé 240 ans entre le moment où Jacques CASSINI recommandait l'emploi du pendule et le jour où les laboratoires suédois et américains l'ont utilisé pour la première fois à la mesure de l'effort de coupe d'une dent de scie à bois. Les objections qui sont faites d'habitude à l'utilisation du pendule dynamométrique pour l'étude de la coupe du bois seront examinées plus loin, il ne semble pas qu'elles puissent expliquer un tel décalage. Il serait plus logique de voir dans le développement actuel de l'utilisation du pendule dynamométrique une conséquence de l'extension des recherches sur le sciage et de l'évolution de leur conception.

du pas, de l'angle d'attaque et de la vitesse, mais comme une poutre en mouvement (soumise à certaines tensions et sujette à certaines vibrations) portant des outils tranchants. — L'art du scieur consiste à donner à la poutre une rigidité proportionnelle aux efforts qui lui sont imposés du fait de la résistance du bois à la pénétration des dents, à lui transmettre une puissance suffisante et à donner au tranchant des outils une résistance en rapport avec l'abrasivité du bois.

(2) L'étalonnage doit être fait bien entendu en tenant compte de la différence entre la résistance de l'air s'exerçant sur le bras libre et celle s'exerçant sur le bras ralenti par la coupe.

(3) En fait, cette méthode ne permet de déterminer que la valeur moyenne de la composante de l'effort parallèle au déplacement de l'outil. La composante perpendiculaire au déplacement ne travaille pas et n'est donc pas mesurable par cette méthode.

Nous n'avons pas à analyser en détail cette évolution, mais il est nécessaire d'en signaler rapidement les conséquences pour comprendre le rôle et la portée des mesures d'effort de coupe.

Tout d'abord, le nombre et l'importance des éléments à analyser sont trop grands pour qu'un seul laboratoire puisse entreprendre l'étude de tous les aspects du sciage. Une spécialisation devient indispensable. Certains étudieront la répartition des contraintes dans la lame, sa rigidité, son comportement vibratoire, d'autres en examineront l'équilibre thermique. Certains analyseront le mécanisme d'évacuation des copeaux, d'autres étudieront le travail de l'outil proprement dit, c'est-à-dire avant tout, la coupe et l'usure. (4) On voit que si la connaissance des lois mécaniques de la coupe est un élément de base indispensable pour la connaissance du sciage, le profit que l'on peut en tirer sur le plan pratique est en partie subordonné à la connaissance que l'on a des autres facteurs.

Cette subordination et cette spécialisation impliquent l'utilisation réciproque des résultats obtenus dans des laboratoires différents et souvent très éloignés. Il y a là une difficulté qui ne doit

pas être sous-estimée, mais qu'il faut s'employer à réduire progressivement.

L'Ingénieur russe VLASOV publiait en 1933 une étude comparée des puissances dépensées au sciage indiquées par les principaux expérimentateurs de l'époque (5). Cette étude fait apparaître des divergences considérables. Une confrontation plus récente (6) révèle une cohérence beaucoup plus grande des travaux actuels, mais laisse subsister des différences très supérieures à ce qu'une dispersion des résultats, inévitable dans toute expérimentation, pourrait permettre de prévoir. Ces différences doivent être attribuées pour une part importante au fait qu'on emploie bien souvent les mêmes mots ou les mêmes chiffres pour traduire des éléments ou des phénomènes qui ne sont pas de même nature. L'évolution actuelle vers une spécialisation plus poussée des laboratoires conduit donc à préconiser une définition internationale précise des termes employés dans la publication d'essais de sciage. C'est dans cet esprit qu'avant d'étudier les résultats obtenus dans les mesures effectuées à l'aide du pendule dynamométrique nous définirons la zone de bonne coupe.

LA ZONE DE BONNE COUPE

Si on cherche à faire enlever un copeau par une dent de scie sur un échantillon de bois donné, (essence, structure, densité et humidité étant déterminées) on constate que l'on n'obtient une coupe franche que dans certaines limites d'épaisseur de copeaux et de caractéristique d'outils.

a) Au-dessous d'une certaine épaisseur de copeaux, l'outil refuse la coupe. Suivant les cas : il comprime simplement le bois, il opère une sorte de grattage, ou il sectionne seulement une partie des fibres. Le copeau se présente dans ce dernier cas comme une coupe microtomique dans laquelle il y aurait des parties manquantes. Il y a donc un seuil d'épaisseur au-dessous duquel il n'y a pas de coupe réelle et complète ; la valeur de ce seuil dépend de la qualité de l'arête et de l'angle d'attaque. (Bien entendu d'un échantillon à l'autre, le seuil varie avec l'essence, la densité et l'humidité du bois). Pour des outils très finement affûtés, ce seuil se situe suffisamment en dessous des épaisseurs pouvant présenter un intérêt pour la pratique industrielle et n'est pas, en général, une source de perturbation pour les essais.

b) Au-dessous d'une certaine valeur de l'angle d'attaque, le bois est écrasé et les fibres sont arrachées au lieu d'être sectionnées. L'angle limite

est difficile à fixer avec une très grande précision car en faisant varier l'angle d'attaque très lentement on observe un passage progressif d'une coupe très franche à un écrasement et arrachage total, cependant on peut fixer sans difficulté une limite pratique ; celle-ci est très variable d'une essence à l'autre : pour un Balsa tendre on n'a pas encore de coupe franche pour un angle d'attaque de 45°, alors que pour un bois très dur on a encore une coupe franche avec une attaque négative de 15°.

c) Au-dessus d'une certaine valeur de l'angle d'attaque, qui dépend beaucoup de la valeur de l'angle de dépouille, l'arête de coupe est détériorée instantanément. Cette valeur dépend naturellement de la nature du matériau constituant la pointe de la dent et varie en fonction de la dureté du bois.

d) Au-dessus d'une certaine épaisseur de copeau, même pour des arêtes très fines et pour des angles d'attaque compris entre les deux limites indiquées ci-dessus, on constate un certain arrachage des fibres. Ce phénomène est surtout marqué pour les bois tendres. Il apparaît souvent très progressivement pour des épaisseurs variables avec l'angle d'attaque. Pour des outils finement affûtés, il présente pour les épaisseurs pratiques que nous considérerons plus loin, une importance généralement mineure.

(4) Nous ne pouvons signaler ici tous les aspects de l'étude du sciage, on trouvera une bibliographie très importante des travaux effectués dans un rapport rédigé par James L. LUBKIN de l'American Machine and Foundry Co. Greenwich-Connecticut U. S. A. ou dans le fichier de l'Imperial Forestry Bureau à Oxford.

(5) Lesopromitslenoe Delo, n° 2.

(6) Cf : le rapport de James L. LUBKIN cité dans la note (4).

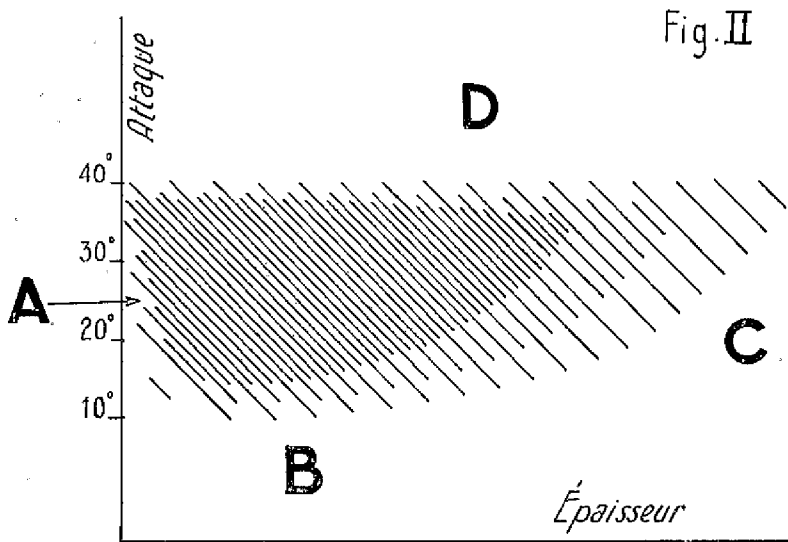


FIG. II.

Représentation schématique de la zone de bonne coupe

- Partie hachurée : Zone de bonne coupe.
- Région A : L'outil refuse la coupe ou effectue une coupe partielle.
- Région B : L'outil écrase le bois.
- Région C : L'outil arrache le bois au-dessous du plan de coupe.
- Région D : L'arête de l'outil est détériorée très rapidement.

Ces quatre limites définissent ce qu'on pourrait appeler la zone de bonne coupe (Fig. 2) C'est à l'intérieur de ces limites que l'on peut parler proprement d'« effort de coupe ». En conservant ce même terme pour désigner l'effort qui s'exerce sur

l'outil dans le laminage des fibres, le grattage ou l'arrachage du bois, on introduit une source de confusion qui est à la base d'une partie des divergences constatées dans l'interprétation de certains essais de sciage (7).

Les limites de cette zone de bonne coupe sont avant tout fixées dans la pratique par les angles d'attaque des dents. L'éventail des angles possibles est en général d'autant plus ouvert que le bois est plus dur. Pour les bois très tendres, l'éventail est très fermé, à la limite pour un Balsa très tendre, on pourrait même dire que l'ouverture de l'éventail est négatif, l'outil se détériorant pour un angle qui ne permet pas encore une bonne coupe. Si on excepte ce bois et quelques bois exceptionnellement durs, on constate qu'un angle d'attaque de 35° est commun à tous les éventails. Si on veut bien en outre exclure quelques autres bois tendres, la zone d'angle d'attaque comprise entre 20° et 35°, permet une bonne coupe pour presque tous les bois, c'est ce qui nous a conduit à choisir pour notre essai standard les angles que nous indiquerons plus loin.

Dans la zone de bonne coupe l'effort s'exerçant sur une dent de scie varie très régulièrement en fonction de l'épaisseur des copeaux, de l'angle d'attaque, de la largeur de la dent, etc., suivant des lois que nous allons maintenant examiner (8).

VARIATION DE L'EFFORT DE COUPE

Considérons d'abord l'influence de la seule variation d'épaisseur pour un outil dont la qualité d'affûtage est excellente. Si on effectue des mesures de dépense d'énergie pour des enlèvements de copeaux de 2/10^e, 4/10^e, 6/10^e, 8/10^e et 10/10^e de millimètre, en effectuant seize coupes successives pour chaque épaisseur, on peut relever les valeurs des efforts de coupe moyens correspondants sur un graphique dont la figure 3 représenté un cas très typique (9). On voit que pour l'enlèvement de copeaux de 2/10^e m/m, l'effort de coupe moyen est très constant, il en est pratiquement toujours ainsi, aux épaisseurs supérieures on voit apparaître certaines variations, suivant un processus qui a été analysé par M. REINEKE (10). On constate que la première coupe pour chaque épaisseur demande presque toujours une énergie plus importante que les coupes suivantes. En prenant comme valeur de l'effort pour chaque épaisseur la moyenne des 16 valeurs mesurées, on peut établir un diagramme de varia-

tion d'effort en fonction de l'épaisseur du copeau (Fig. 4). On constate qu'en première approximation la variation est sensiblement linéaire, le point.

(7) De même, il serait souhaitable qu'on cesse de désigner par le terme « Effort de coupe », le résultat de la division de l'énergie dépensée au sciage par la longueur totale du cheminement de l'ensemble des dents dans le bois.

(8) Nous examinons seulement ici l'influence de quelques facteurs de la coupe; on trouvera les indications sur l'influence des facteurs qui ne sont pas étudiés ici dans : — KIVIMAA : *Cutting force in Woodworking*. — Helsinki 1950.

— CHARDIN : *Peut-on scier tous les bois avec la même denture ? Bois et Forêts des Tropiques*, n° 33.

— CHARDIN : *Etat actuel des recherches techniques sur l'usinage du bois*. in : Actes Officiels du Congrès National du Bois Paris 1954.

(9) De la dépense d'énergie on déduit un effort moyen qui est la somme de l'effort de coupe moyen et de la poussée de la lame sur les copeaux pour en assurer l'évacuation. Cette poussée, bien que très faible devrait être mentionnée, nous la sous-entendons pour simplifier le texte. L'essentiel est de ne pas être dupe de cette substitution verbale.

(10) Cf : REINEKE : *Sawteeth in action Madison* 1951.

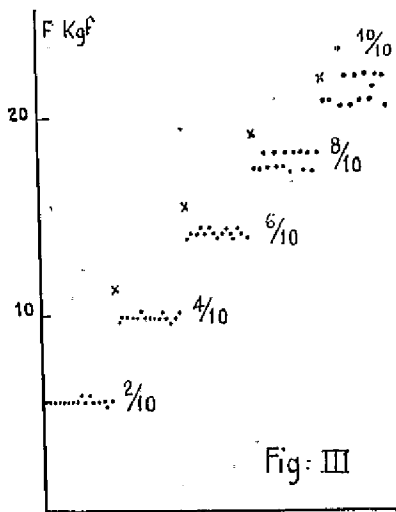


FIG. III.

Coupe du Niangon

(*Tarrietia utilis* Sprague n° : 7.023) (*).

Humidité : $H \% = 14,4 \%$.

Densité à l'humidité H : $d = 0,697$.

Outil : Dent - Angle d'attaque $\alpha = 35^\circ$.

Angle de bec : $\beta = 53^\circ$.

Angle de dépouille : $\gamma = 2^\circ$.

Largeur de l'outil : $\lambda = 4,9$ m/m.

Qualité d'affûtage = meule aux grains de 2μ .

Abscisse : Essais successifs.

Ordonnée : Effort de coupe moyen F en kilogramme-force.

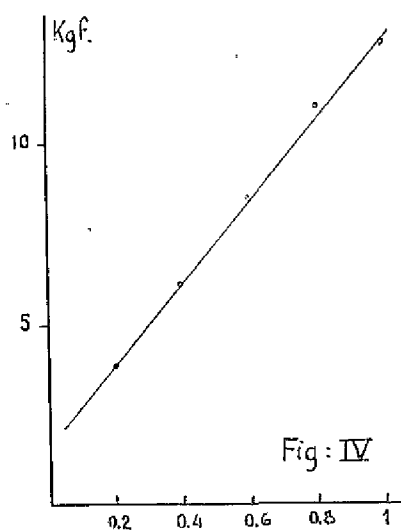


Fig: IV

Coupe de l'Okoumé

(*Aucoumea klaineana* Pierre n° 6.920).

$H = 14 \% - d = 0,432$.

Outil : Dent — $\alpha = 35^\circ - \beta = 53^\circ - \gamma = 2^\circ - \lambda = 4,9$ m/m.

Affûtage : grains de 2μ .

Abscisse : Epaisseur du copeau en m/m.

Ordonnée : $F - Kgf$.

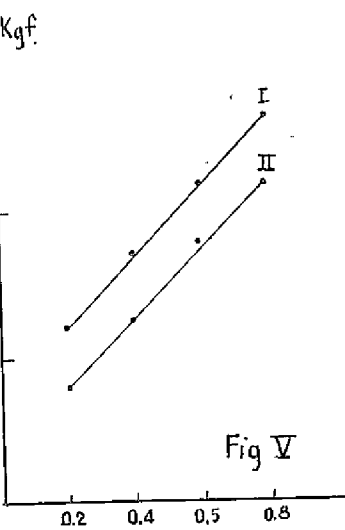


FIG. IV.

FIG. V.

Coupe du Limba

(*Terminalia superba* Engl. et Diels n° : 5.260).

$H = 10 \%$.

Outil : Dent — $\alpha = 37^\circ - \beta = 48^\circ - \gamma = 5^\circ - \lambda = 4,2$ m/m.

Abscisse : Epaisseur de copeau m/m.

Ordonnée : $F - Kgf$.

Affûtage : Courbe I meule aux grains 100μ .

Courbe II meule aux grains de 30μ .

(*) Les numéros indiqués dans les légendes après le nom botanique de chaque bois sont les numéros d'enregistrement du sujet à la réception au Centre Technique Forestier Tropical. Ce numéro est indiqué sur toutes les publications du Centre. Le lecteur pourra donc connaître les particularités technologiques, anatomiques, chimiques, etc. du bois cité, en se reportant aux publications du Centre Technique Forestier Tropical.

d'abscisse nul de la droite représentative ayant une certaine ordonnée positive. Plusieurs auteurs ont donné de ce diagramme l'interprétation physique suivante : le sectionnement des fibres en bout demanderait un certain minimum d'énergie, auquel s'ajouterait une certaine dépense d'énergie due à l'imperfection de l'arête qui occasionne des frottements de l'outil et un écrasement des fibres. La somme de ces énergies correspondrait à l'ordonnée à l'origine de la droite. L'énergie complémentaire nécessaire pour écraser le copeau, le cisailier et le détacher latéralement des parois de la saignée, serait, pour les épaisseurs de copeaux faibles et moyennes, proportionnelle à l'épaisseur du copeau, le facteur de proportionnalité, variable avec l'angle d'attaque, déterminerait la pente de la droite.

Cette interprétation serait confirmée par le fait qu'un essai réalisé avec deux dents de mêmes caractéristiques, mais de qualités d'affûtage différentes montre (Fig. 5), que la pente de la droite caractéristique n'est pas sensiblement modifiée et seule l'ordonnée à l'origine varie.

Un examen minutieux des diagrammes obtenus dans un grand nombre d'essais d'efforts de coupe fait cependant apparaître un certain nombre de difficultés ; nous dirons un mot des trois faits les plus marquants.

1° Tout d'abord une difficulté de principe : l'interprétation citée conduirait en toute rigueur à admettre que l'ordonnée à l'origine correspond à l'effort exercé sur l'arête de l'outil, l'effort proportionnel s'exerçant sur la face d'attaque. Or, en mesurant la surface de l'arête d'un outil très finement affûté, nous avons constaté que si l'on rapportait à cette surface l'effort correspondant à l'ordonnée à l'origine, on atteindrait dans certains cas des pressions supérieures à 350 kg/mm^2 , alors qu'on ne constate pas de détérioration de l'outil. On pourrait tourner cette difficulté en disant que l'analyse de la répartition des pressions par passage à la

limite n'est pas acceptable, l'interprétation ayant une valeur d'indication globale, mais pas de précision absolue.

Nous signalons donc seulement cette difficulté sans la retenir entièrement.

2° Quand on effectue des essais avec des outils de mêmes caractéristiques d'angles et de qualité d'affûtage, on devrait trouver des droites dont les ordonnées à l'origine soient proportionnelles à la largeur de l'outil, compte tenu d'un éventuel frottement latéral des pointes d'outil. C'est-à-dire que pour deux outils de largeur L et $L + M$, les ordonnées devraient être dans le rapport :

$$\frac{L + \varepsilon}{L + M + \varepsilon'}$$

ε et ε' étant des valeurs du même ordre et très petites.

Or, on constate qu'avec des outils d'excellente qualité, le rapport des ordonnées à l'origine est pratiquement toujours très inférieur à ce rapport résultant du calcul.

Fig. VI.

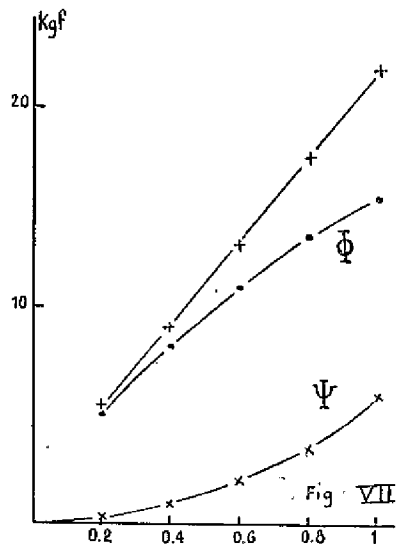
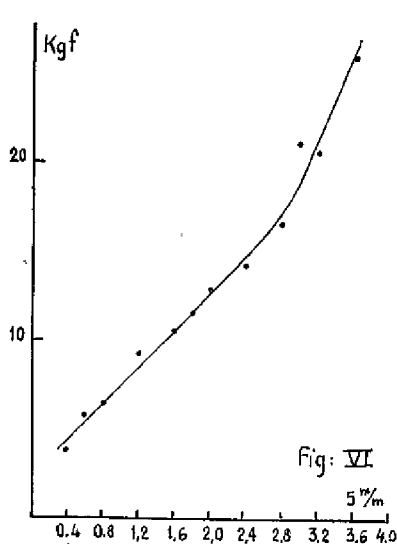
Coupe de l'Okoumé
(*Aucoumea klaineana* Pierre n° : 6.349).

H : 70 %.
Outil : Dent - $\alpha = 38^\circ - \beta = 48^\circ - \gamma = 4^\circ - \lambda = 2,8$ m/m.
Affûtage : Meule aux grains de 30 μ .
Abscisse : Epaisseur de copeau m/m.
Ordonnée : F — Kgf.

Fig. VII.

Coupe du Movingui
(*Distemonanthus benthamianus* Baill n° 4.197).

H : 9,7 % d : 0,616.
Outil : Dent et Couteau (courbe Φ).
 $\alpha = 35^\circ - \beta = 53^\circ - \gamma = 2^\circ$.
Pour la dent λ_1 : 4,9 m/m.
Pour le couteau effort mesuré pour une coupe de 15 m/m et rapportée par le calcul à 4,9 m/m.
Affûtage : Grains de 2 μ .



3° Il serait physiquement impossible d'admettre que l'ordonnée à l'origine soit nulle et à plus forte raison négative, or on constate que pour certains bois, (assez peu nombreux il est vrai) et avec certains outils, il en est ainsi sans qu'on puisse attribuer ce fait à une erreur d'expérience.

Il semble qu'en raison de ces faits, il soit nécessaire de modifier quelque peu l'interprétation du diagramme d'effort. Nous allons donner une ébauche d'interprétation nouvelle en raison des répercussions possibles sur la fixation des conditions dans lesquelles doivent être effectuées les mesures d'effort.

Notons tout d'abord que l'action de l'outil sur le bois se traduit physiquement par des pressions réciproques, et que la valeur moyenne de la projection sur une parallèle au déplacement de la force résultant de ces pressions nous est seule connue. Dans ces conditions la décomposition de l'effort en diverses composantes d'action dans le bois n'est pas possible directement et ne peut résulter que d'investigations spéciales qui sortent du cadre de ce que nous étudions ici.

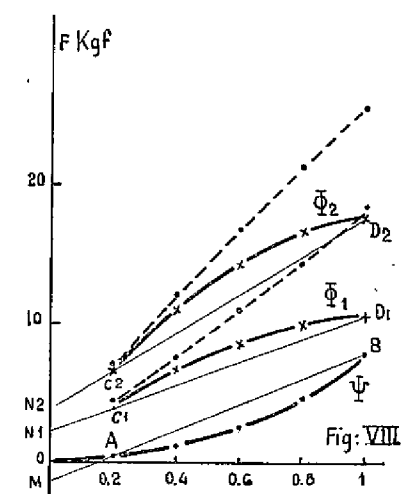
Abscisse : Epaisseur de copeau m/m.
Ordonnée : F — Kgf.

Fig. VIII.

Graphique illustrant les conséquences de l'addition des fonctions Φ et Ψ . Les courbes Φ n'ont pas été obtenues directement mais sont déduites de la forme des courbes représentant l'effort pour deux largeurs de dents différentes (courbes en traits interrompus).

Essai effectué sur *Macrolobium deweyrei* de Wild n° : 9.421 (4 éprouvettes).

Moyenne de H : $H_m = 17,8$ %.
Moyenne de d : $d_m = 0,856$.
Outils : Dents : $\alpha = 35^\circ - \beta = 53^\circ - \gamma = 2^\circ$.
 $\lambda_1 = 3,05$ m/m — $\lambda_2 = 4,9$ m/m.
Affûtage : Grains de 2 μ .
Abscisse : Epaisseur de copeau m/m.
Ordonnée : F — Kgf.



On constate d'autre part, que l'enlèvement d'un copeau non plus par une dent de scie, mais par un couteau attaquant le bois dans la même direction que cette dent, se traduit par un élargissement du copeau sur ses bords. Dans le sciage, cet élargissement n'est pas possible, ou ne l'est en tout cas que très peu.

Le copeau exerce donc sur les parois latérales une pression qui a pour conséquence une augmentation de l'énergie requise pour le cisaillement latéral. Cette pression croissant avec l'épaisseur du copeau, l'énergie requise pour le cisaillement latéral croît nécessairement plus que proportionnellement à cette épaisseur. Inversement la résistance des parois au cisaillement se traduit par une augmentation de la compression du bois au voisinage des parois, ce qui a pour effet d'augmenter l'énergie requise pour la réduction du copeau. On voit qu'il y a une interaction étroite entre les phénomènes qui ne sauraient donc être décomposés. Quand l'épaisseur des copeaux devient très forte, l'interaction ne se limite plus aux zones latérales,

mais affecte toute la masse du copeau. L'énergie totale requise pour le sciage croît alors considérablement comme le montre l'exemple de la figure 6.

Faute de pouvoir faire une décomposition, on peut cependant considérer l'effort, rapporté à la largeur d'une dent, s'exerçant sur un outil enlevant un copeau sur une grande largeur et voir ce qu'ajoute à cet effort l'ensemble des deux actions latérales. La figure 7 donne un exemple de cette décomposition. On voit que la courbe de l'effort s'exerçant sur un couteau a sa concavité tournée vers le bas, tandis que la courbe du complément d'effort pour action latérale, a sa concavité tournée vers le haut.

Si on considère des outils dont l'affûtage est très parfait, les pressions exercées sur la face d'attaque sont beaucoup plus importantes que les pressions exercées sur les autres faces qu'on peut provisoirement négliger.

Si on désigne l'épaisseur du copeau par δ la largeur de la dent par λ m/m, l'action latérale par Ψ (δ) et l'action s'exerçant par m/m de couteau

FIG. IX.

Coupe de l'Iroko

(*Chlorophora excelsa* Benth. et Hook. F. n° 9.420)
(4 éprouvettes).

$H_m = 14,2\%$ — $d_m = 0,655$.

Outils : Dents.

Courbes A : $\alpha = 35^\circ$ — $\beta = 53^\circ$ — $\gamma = 2^\circ$ — $\lambda_3 = 3,05$ m/m

— $\lambda_5 = 4,9$ m/m.

Courbes B : $\alpha = 23^\circ$ — $\beta = 65^\circ$ — $\gamma = 2^\circ$ — $\lambda_3 = 3$ m/m

— $\lambda_5 = 5$ m/m.

Affûtage : Grains de 2μ .

Abscisse : Epaisseur de copeau m/m.

Ordonnée : F — Kgf.

FIG. X.

Coupe du Parinari sp. n° 9.410.

$H_m = 16,32\%$ — $d_m = 0,98$.

Outils : Dents.

Courbes A : $\alpha = 35^\circ$ — $\beta = 53^\circ$ — $\gamma = 2^\circ$ — $\lambda_3 = 3,05$

m/m — $\lambda_5 = 4,9$ m/m.

FIG. XI.

Coupe du *Geltia mildbraedii* Engl. n° 9.412

(4 éprouvettes).

$H_m = 15,46\%$ — $d_m = 0,77$.

Outils : Dents.

Courbes A : $\alpha = 35^\circ$ — $\beta = 52^\circ$ — $\gamma = 2^\circ$ — $\lambda_3 = 3,05$ m/m

— $\lambda_5 = 4,9$ m/m.

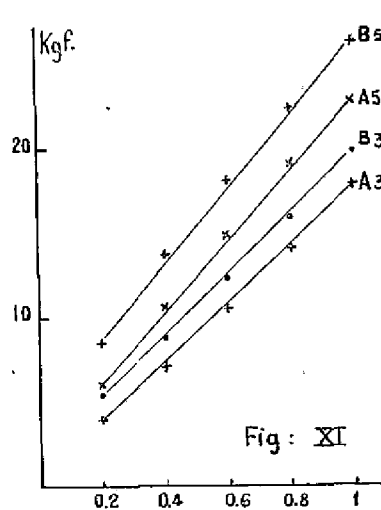
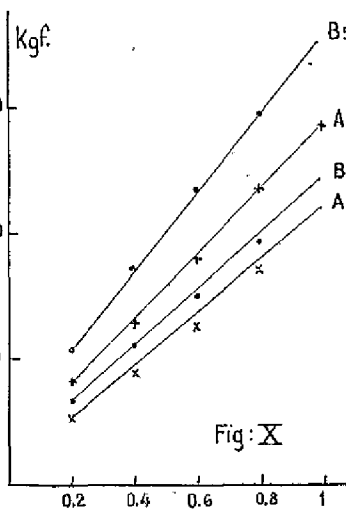
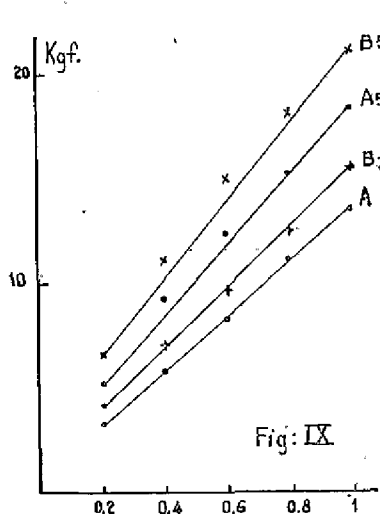
Courbes B : $\alpha = 23^\circ$ — $\beta = 65^\circ$ — $\gamma = 2^\circ$ — $\lambda_3 = 3$ m/m

— $\lambda_5 = 5$ m/m.

Affûtage : Grains de 2μ .

Abscisse : Epaisseur de copeau m/m.

Ordonnée : F — Kgf.



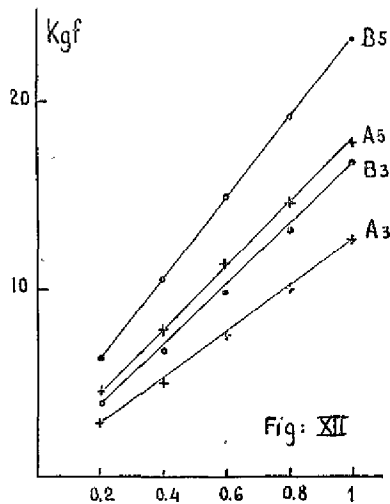


FIG. XII.

Coupe de *Allanblackia floribunda* Oliv. n° : 9.418
(4 éprouvettes).

$H_m = 16,07 - d_m = 0,865$.

Outils : Dents.

Courbes A : $\alpha = 35^\circ - \beta = 53^\circ - \gamma = 2^\circ - \lambda_3 = 3,05 \text{ m/m}$

$-\lambda_5 = 4,9 \text{ m/m}$.

Courbes B : $\alpha = 23^\circ - \beta = 65^\circ - \gamma = 2^\circ - \lambda_3 = 3 \text{ m/m}$

$-\lambda_5 = 5 \text{ m/m}$.

Affûtage : Grains de 2 μ .

Abscisse : Epaisseur de copeau m/m.

Ordonnée : F -- Kg.

par $\Phi(\delta)$ l'effort total sur la dent peut s'exprimer pour un angle d'attaque donné et δ inférieur à une certaine valeur limite fonction de λ

$$F(\delta, \lambda) = \lambda \Phi(\delta) + \Psi(\delta) \quad (1)$$

La forme de la courbe de la figure 6 permet de supposer que pour des largeurs d'outils supérieures à 3 m/m l'interaction entre les actions latérales de droite et de gauche de la dent ne se produit pas dans la limite des épaisseurs de copeaux que nous avons indiquée plus haut (0,2 à 1 m/m). On peut donc dans ces limites étudier les conséquences de la formule (1)

Tout d'abord, la courbe représentant $\Psi(\delta)$ ayant une courbure fixe et la courbe représentant $\lambda \Phi(\delta)$ ayant une courbure variable, $F(\lambda, \delta)$ aura, par voie de conséquence, une courbure variable avec λ . Pour une certaine valeur de λ $F(\delta)$ sera pratiquement représenté par une droite, pour une valeur de λ plus faible la courbe représentant F aura sa concavité tournée vers le haut et pour une valeur de λ plus forte sa concavité tournée vers le bas. Ce fait est pleinement vérifié par l'expérience. Les figures 9, 10, 11 et 12 en donnent quelques exemples.

La figure 8 illustre une deuxième conséquence relative à l'ordonnée à l'origine de la droite représentative de F . Pour des largeurs d'outils λ_1 et λ_2 , les courbes représentatives de F sont obtenues par l'addition des ordonnées des arcs AB et $C_1 D_1$,

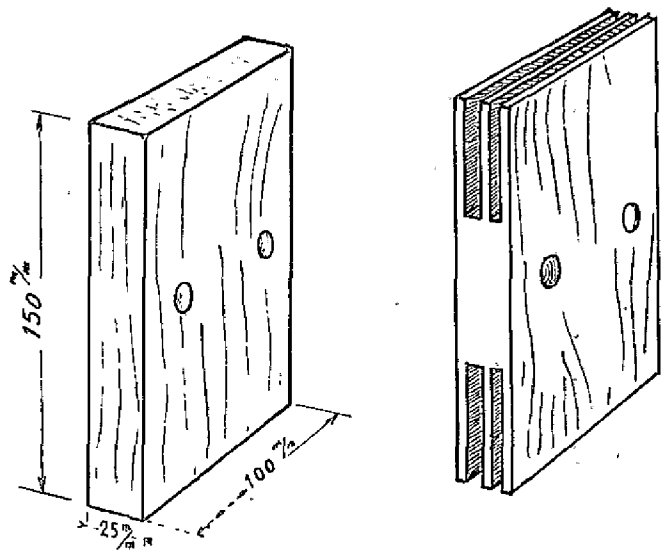


Fig. XIII a

Fig. XIII b

FIG. XIII a.

Forme et dimensions de l'éprouvette utilisée au Centre Technique Forestier Tropical.

FIG. XIII b.

Etat de l'éprouvette après exécution des quatre essais.

d'une part et AB et $C_2 D_2$ d'autre part. L'ordonnée apparente à l'origine de F est dans le premier cas égale à $ON_1 - OM$ et dans le second : $ON_2 - OM$.

comme

$$\frac{ON_1}{ON_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

$$\frac{ON_1 - OM}{ON_2 - OM} < \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

ce qui explique le phénomène que nous avons signalé plus haut. On voit également que pour certaines valeurs de λ $ON_1 - OM$ peut être nul ou même négatif.

Si nous avons un peu développé cette analyse de l'effort s'exerçant sur une dent de scie, c'est en raison de ses conséquences pour la pratique des mesures d'effort de coupe.

En effet, sauf dans le cas où on découvrirait entre les fonctions Φ et Ψ une relation qui permette de déduire l'une de l'autre, il n'est pas possible d'établir une relation entre les efforts s'exerçant sur deux dents de largeurs différentes. Il est donc essentiel, dans des essais de coupe, de travailler pour chaque angle d'attaque avec deux dents de largeurs différentes.

En ce qui concerne les possibilités d'établir une relation entre Φ et Ψ nous ne pouvons pas nous prononcer pour le moment. Nous n'avons déterminé Φ directement par des essais spéciaux que dans

un nombre de cas trop faible pour pouvoir rechercher une relation. Nous avons par contre déterminé Φ et Ψ pour plus de trente bois à partir de la connaissance de F pour deux valeurs diffé-

rentes de λ , même en tenant compte des risques d'amplification des erreurs accidentelles que cette façon de faire introduit, il semble qu'il n'y ait qu'une corrélation très faible entre Φ et Ψ .

RÉALISATION D'UN ESSAI STANDARD

Nous avons indiqué le principe d'exécution des mesures d'effort de coupe à l'aide du pendule et proposé une interprétation des résultats obtenus. Il reste à voir comment on peut utiliser pratiquement cette méthode.

Une des premières tâches à remplir consiste à comparer les bois les uns aux autres en ce qui concerne leur résistance à la coupe. Si en effet les résistances des bois à la coupe étaient publiées dans les répertoires de caractéristiques physiques et mécaniques au même titre que la densité, la dureté, la rétractibilité, la résistance à la traction ou à la flexion, etc...., les ingénieurs qui ont à réaliser une installation de scierie pourraient par comparaison des bois, qu'ils ont à scier avec d'autres dont le sciage est absolument classique fonder sur des bases sérieuses le choix de la dimension et de la puissance de chaque scie.

Pour pouvoir comparer les différents bois avec le maximum de facilité, il est souhaitable de les soumettre tous au même essai standard. Nous avons vu qu'en ce qui concerne l'angle d'attaque de l'outil il est possible de trouver une zone de bonne coupe commune à la grande majorité des bois, les angles compris dans cette zone correspondant aux angles les plus communément employés dans l'industrie, le choix se trouve donc être facile et réaliste. Les autres éléments peuvent être choisis avec une assez grande liberté. On est guidé dans le choix par le souci de réaliser un ensemble d'essais qui couvre aussi bien que possible le champ des conditions de travail rencontrées dans l'industrie, mais il subsiste une part d'arbitraire telle que les différents laboratoires, s'ils ne se concertaient pas, seraient conduits à adopter des standards différents. Une normalisation internationale est donc tout à fait souhaitable.

En attendant la création de cette norme, le Centre Technique Forestier Tropical a adopté les conditions d'essais qui sont décrites ci-dessous :

Choix du bois :

La figure 13a donne les dimensions de l'éprouvette que nous utilisons pour l'essai de coupe. La figure 13b montre l'état de cette éprouvette après l'essai des quatre outils standards. Les dimensions ont été choisies pour les raisons suivantes :

a) Largeur 10 cm afin que l'énergie dépensée en hectogramme-mètre soit exprimée par le même chiffre que l'effort de coupe moyen en kg.

b) Epaisseur, 23 à 25 m/m afin de permettre l'essai d'outils de 3 m/m et 5 m/m et de laisser 5 m/m de bois à droite et à gauche de chaque saignée.

c) Hauteur 150 m/m afin de permettre d'exécuter deux saignées à chaque extrémité de l'éprouvette et de serrer l'éprouvette sur le dispositif de fixation sans comprimer le bois dans la région de la coupe. Chaque saignée résulte de la coupe de 16 copeaux pour chacune des épaisseurs 0,2 — 0,4 — 0,6 — 0,8 et 1 m/m, ce qui représente 48 m/m.

Les éprouvettes sont réalisées dans des pièces saines et sans défauts de bois parfait. Des essais dans l'aubier peuvent être réalisés au titre de recherches, mais ne nous paraissent pas à retenir pour un essai standard.

Dans les bois tropicaux généralement très homogènes, nous préférons le débit sur faux quartier qui correspond le mieux aux conditions moyennes de sciage ; quand le bois disponible ne permet pas ce débit, nous acceptons les pièces sur plein quartier mais nous rejetons le débit sur dosse qui est susceptible d'introduire des erreurs systématiques dans le résultat des essais.

Pour chaque sujet nous préparons de préférence 20 à 30 éprouvettes qui sont stockées 2 à 3 mois au moins dans une salle conditionnée à la température de 21° centigrades et 72 % d'humidité. Quand la stabilisation semble atteinte on détermine la densité de chaque éprouvette à cet état sec à l'air et on choisit deux lots de quatre éprouvettes aussi équivalents que possible et aussi représentatifs que possible de la répartition de densité. Un des lots sera utilisé pour les essais de coupe de bois sec, l'autre sera humidifié en vue des essais de coupe de bois gorgé d'eau. Nous ne pensons pas en effet qu'il soit possible pratiquement de réaliser, sauf dans le cadre de certaines recherches, des essais à de nombreux taux d'humidité. Les deux états indiqués correspondent aux deux conditions de sciage les plus classiques : grumes stockées dans un bassin de dessevage et bois secs (dédoublage).

Caractéristiques de l'outil.

La dent est conçue en vue de pouvoir effectuer une saignée d'une profondeur minima de 50 m/m, il est souhaitable qu'elle dépasse son dispositif de fixation de 52 à 53 m/m.

Nous les réalisons en soudant une pastille sur une plaque d'acier dont l'épaisseur est inférieure d'un millimètre à la largeur de l'arête.

Pastille.

On choisit pour constituer l'extrémité de la dent un matériau dont la qualité d'affûtage se maintienne aussi constante que possible au cours des

essais. Dans les conditions actuelles de fournitures industrielles, les carbures de tungstène répondent bien à cette exigence. Le choix de la nuance n'a pas une grande influence sur les résultats si on contrôle très sévèrement la qualité d'affûtage et l'usure. L'emploi de carbures à granulométrie assez fine (genre H 1) est assez commode. Nous avons utilisé beaucoup le G 1 également.

Affûtage.

Le graphique de la figure 5 montre toute l'importance qu'il faut attacher à la qualité de l'affûtage. La figure 14 montre qu'en poussant très loin la précision de l'affûtage on n'obtient plus une baisse très importante de la courbe d'effort. Les risques d'indétermination diminuent donc beaucoup avec la qualité de l'outil, ce qui inciterait à choisir de préférence les très hautes qualités. On peut objecter que ce faisant on s'éloigne beaucoup des conditions industrielles ; il semble pourtant que ça soit là une nécessité tant qu'on n'aura pas mis au point une méthode sûre de qualification d'un affûtage grossier. La difficulté n'est d'ailleurs qu'apparente, nous reviendrons sur ce point en terminant. L'affûtage est réalisé à l'aide de meules diamantées en utilisant des granulométries de plus en plus fines. La dernière meule définit la qualité, elle est aux grains de 0,5 à 2 microns. Elle permet d'obtenir une finesse d'arête de l'ordre de 2 microns.

Largeur de la dent.

Nous avons vu que, tout au moins dans l'état actuel de nos connaissances, il était indispensable d'utiliser au moins deux largeurs de dents pour chaque essence. Nous pensons que pour ne pas surcharger les essais il est souhaitable de se limiter à ce nombre. Les largeurs doivent être choisies en vue de permettre par interpolation, et même par une légère extrapolation qui dans certaines limites peut être faite sans danger d'erreurs, d'obtenir les principales conditions de sciage d'une dent de scie à ruban, de scie alternative et de scie circulaire. Nous avons choisi des largeurs de 3 et 5 m/m qui permettent de calculer tous les efforts pour des dents de 2,5 à 6 m/m, et même moyennant une certaine prudence dans des limites un peu plus étendues. Pour permettre une utilisation assez longue de l'outil (nombreux réaffûtages) nous acceptons 0,1 millimètre d'excédent de largeur quand l'outil est neuf et nous éliminons l'outil quand il a 0,1 m/m de moins que la cote nominale. Ceci à condition bien entendu d'indiquer la largeur réelle de l'outil à 0,02 m/m près sur le procès-verbal de l'essai.

Angle d'attaque.

Nous avons dit l'intérêt qui s'attache au choix d'un angle d'attaque de 35 degrés qui permet d'es-

sayer pratiquement tous les bois. Nous avons d'autre part pour nos essais hors standard toute une gamme d'outils variant de 6 en 6 degrés, c'est pourquoi nous avons choisi pour l'essai standard, les deux outils extrêmes se trouvant dans l'éventail souhaitable de 20 à 35°, soit 23° et 35°. Ces deux angles encadrent les angles les plus usuellement choisis dans la pratique industrielle. On accepte une tolérance de $\pm 0,5^\circ$ à condition que la valeur réelle soit indiquée sur le procès-verbal d'essai.

Angle de dépouille.

Nous avons réalisé aussi bien dans des bois tendres que dans des bois très durs, des essais en vue de déterminer l'influence de l'angle de dépouille sur l'effort de coupe, en faisant varier la dépouille de 1° en 1° et nous n'avons pu mettre en évidence aucune variation d'effort. Nous avons constaté dans certains cas une légère différence dans la qualité du copeau sans avoir pu en déceler la raison. Comme la réduction de l'angle de dépouille permet de diminuer la fragilité de l'outil, ce qui est intéressant dans l'utilisation des carbures, nous choisissons pour tous nos essais un angle de dépouille de 2 degrés.

Dépouille latérale.

Dans les conditions d'outils très finement affûtés utilisés pour les essais au pendule, la dépouille latérale ne semble pas jouer un rôle plus important que la dépouille principale. Nous la donnons suivant un plan perpendiculaire au plan bissecteur du dièdre formé par les deux faces d'attaque et de dépouille et tel que la normale à ce plan fasse un angle de 3° avec l'arête.

Conditions de coupe.

Nous avons déjà eu l'occasion d'indiquer que nous effectuons la coupe pour des épaisseurs de copeaux de 0,2 — 0,4 — 0,6 — 0,8 et 1 m/m, en effectuant 16 coupes successives pour chaque épaisseur. Il pourrait sembler souhaitable d'effectuer des essais pour des épaisseurs plus fortes qui pourraient être pratiquées dans l'industrie. Pour ce faire, il faudrait soit réduire le nombre d'essais pour chaque épaisseur, soit augmenter la profondeur de la saignée. La première solution ne nous paraît pas souhaitable si on veut conserver un contrôle suffisant de la qualité de l'essai. La seconde solution conduirait à employer un corps d'outil plus long et une éprouvette dont la fixation serait plus éloignée du point d'application de l'effort. D'autre part, les risques de frottement du corps de l'outil sur les bords de l'éprouvette du fait de la déformation de celle-ci par suite de la libération de tensions internes augmenteraient. Ces solutions ne semblent donc pas souhaitables.

On pourrait également multiplier le nombre d'éprouvettes, mais alors on alourdirait l'essai qui comporte déjà 1.280 mesures pour bois sec et 1.280 pour bois humide.

En pratique, quelques essais annexes permettent de fixer les règles d'extrapolation qu'on peut effectuer sans difficulté jusqu'à 1,6 à 2 m/m.

Nous effectuons l'essai de coupe perpendiculaire aux fibres qui, pour les conditions de l'industrie française est le plus important. On pourrait de la même manière effectuer un essai de sciage du type scie circulaire. Il faudrait alors choisir un angle d'inclinaison des fibres.

Pare-éclat.

Pour éviter l'arrachement des fibres du bois à la sortie de l'outil, arrachement qui aurait pour effet de modifier la longueur de coupe, nous plaçons un pare-éclat à la sortie de l'éprouvette ; le pare-éclat est réglé à l'aide d'une feuille de cuivre servant de calibre à 0,1 m/m au-dessous du passage de l'outil.

Publication des résultats.

Il serait très commode de pouvoir qualifier la résistance à la coupe d'un bois à l'aide d'un chiffre comme on le fait pour les autres caractéristiques physiques et mécaniques. Nous avons vu pour

quelles raisons une telle simplification n'est pas possible dans l'état actuel de nos connaissances. Le plus simple est donc pour le moment de publier les résultats des essais sous forme d'un graphique comme ceux des figures 9, 10, 11 et 12.

IRREEMPLACABILITÉ DE LA MESURE D'EFFORT DE COUPE

On peut se demander si tous ces essais sont vraiment indispensables et si pour la pratique industrielle, la connaissance de la densité des bois ne suffirait pas, compte tenu d'un certain nombre d'informations résultant des recherches effectuées sur le sciage, à fixer l'effort de coupe avec une approximation acceptable.

La réponse à cette question ne peut se faire qu'a posteriori par étude de la corrélation entre effort de coupe et densité.

La figure 15 indique pour 24 essais complets de bois tropicaux à l'état sec à l'air la relation existant entre la densité du bois et la moyenne des 1.280 efforts de coupe mesurés. On voit que les efforts s'écartent parfois de plus de 25 % en plus

ou en moins de la valeur moyenne prévisible pour la densité du bois.

La connaissance de la densité d'un bois ne peut donc donner qu'une indication très grossière sur ses difficultés d'usinage, et pourrait conduire, dans le cas du sciage d'une quantité importante de bois, à des erreurs graves dans le choix d'une installation industrielle. Nous n'en citerons qu'un exemple : un scieur habitué au sciage du Niangon pourra penser usiner de la même façon des bois de densité voisine alors qu'en moyenne il faut compter une consommation de 35 à 40 % supérieure, un bois comme le *Newtonia leucocarpa* dont la densité est inférieure de 10 % à celle du Niangon offre même une résistance à la coupe supérieure de 60 %.

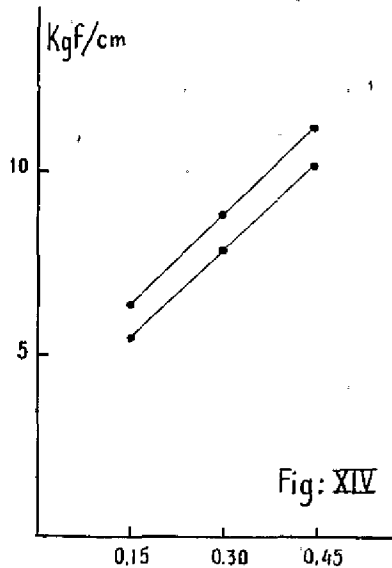


Fig. XIV.

Coupe de l'Okoumé (*Aucoumea klaineana* Pierre n° : 6.349).
 Ordonnée : F en kilogramme-force par centimètre de largeur de coupe.
 $H = 94 \%$.
 $d = 0,437$ à 5% d'humidité.
 Outil : Couteau.
 $\alpha = 39^\circ - \beta = 48^\circ - \gamma = 3^\circ$.
 Courbe II : Affûtage meule aux grains de 30μ .
 Courbe III : Affûtage meule aux grains de 2μ .
 Abscisse : Épaisseur de copeau m/m .

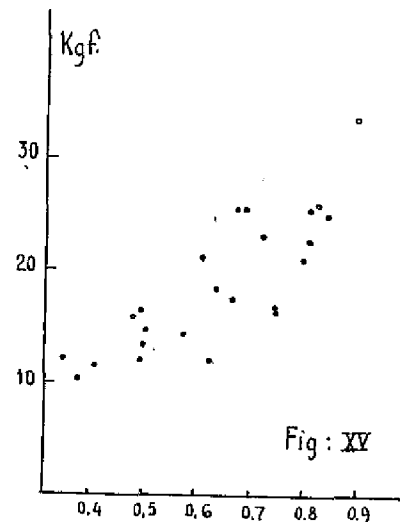


Fig. XV.

Relation entre effort de coupe et densité pour 24 bois tropicaux.

Abscisse : Densité du bois sec à l'air exprimée en gr. de matière sèche par centimètre cube de volume humide.
 Ordonnée : Moyenne des 1.280 mesures d'effort de coupe exécutées pour chaque bois dans l'essai standard.

UTILISATION DIRECTE DES RÉSULTATS D'UN ESSAI STANDARD

On peut se demander si indépendamment de l'intérêt qu'ils présentent pour la comparaison des bois entre eux, les essais standard permettent de déterminer directement la dimension et la puissance d'une scie destinée à scier une essence donnée.

En ce qui concerne le choix de la machine il est évidemment relatif à la vitesse et à la qualité du sciage que l'on veut effectuer. Il n'y a pas d'absolu en cette matière. Nous avons vu scier des grumes d'Azobé avec un ruban de menuiserie et des pins de 30 cm de diamètre avec des rubans de 3 m de diamètre. Le choix se fait donc nécessairement par comparaison avec des cas connus.

En ce qui concerne le calcul de puissance, on peut se demander si des essais de coupe effectués à la vitesse de 6 à 7 m/sec, avec un outil parfaitement affûté et sur une longueur de coupe de 10 cm restent

valables pour un outil de qualité imparfaite travaillant à plus de 30 m/sec sur une hauteur de coupe de l'ordre du mètre. Examinons séparément ces différents éléments.

Vitesse.

D'après les essais effectués par Kivimaa (11) la vitesse de coupe dans les limites de 1 à 50 m/sec, n'aurait pratiquement aucune influence sur la valeur de l'effort s'exerçant sur l'outil. Aucune expérience n'a permis jusqu'à présent de mettre en évidence un résultat contraire. Certaines expérimentateurs ne sont pas d'accord avec ce résultat mais ils confondent effort de coupe et poussée de la lame sur les sciures qui sont deux choses différentes. Il semble qu'en toute rigueur il devrait y avoir une différence due à la variation d'énergie cinétique du copeau en fonction de la vitesse de coupe, différence qui n'aurait pas été mise en évidence par Kivimaa en raison de la très faible masse des copeaux qu'il enlevait. On a proposé de faire la correction de vitesse en ajoutant à l'énergie dépensée à la coupe E , mesurée à faible vitesse, une énergie $E' = \frac{1}{2} m V^2$ (12) correspondant à l'énergie cinétique du copeau. Cette correction risque de ne pas correspondre à la réalité, d'une part parce que la vitesse du copeau n'est pas égale à la vitesse de coupe mais à la combinaison vectorielle de cette vitesse avec la vitesse d'écoulement du copeau devant la face d'attaque, d'autre part parce que dans certains cas on peut observer par photographie ultra-rapide de la coupe à faible vitesse une vitesse d'éjection des copeaux trois à quatre fois supérieure à la vitesse de coupe (Fig. 16).

De toutes façons dans la plupart des cas courants ce facteur est tout à fait mineur. La vitesse peut avoir une influence plus sensible en élevant la température de l'outil, ce qui modifie le coefficient de frottement outil-bois, et en modifiant le mécanisme d'évacuation des copeaux.

Qualité de l'arête.

Nous avons vu qu'une diminution de la qualité de l'arête se traduit par une augmentation de

(11) Cf note (8).

(12) m étant la masse du copeau et V la vitesse de coupe.

FIG. XVI.

Coupe de l'Okoumé à la vitesse de 7 m/sec (épaisseur de copeaux 3 m/m) montrant que la vitesse des copeaux est nettement supérieure à la vitesse de l'outil.



l'effort de coupe pratiquement indépendante de l'épaisseur du copeau. La correction à apporter pour imperfection de l'arête serait donc en valeur relative, d'autant plus faible que les copeaux sont plus épais ; ce qui est physiquement évident. Il resterait à préciser l'importance de cette correction, ce qui ne peut être fait qu'à partir de travaux spéciaux effectués dans ce but ; les bois peuvent avoir en effet des comportements très différents suivant leur nature. Dans la coupe des bois tendres, on constate par exemple que l'effort de coupe croît d'abord avec l'usure de l'outil puis décroît pendant un certain temps, cette décroissance étant probablement due à un changement du mode de travail de l'outil (passage de la coupe franche à l'arrachage des fibres). En attendant que les lois de variation d'effort soient bien établies, l'utilisation des résultats par comparaison avec des cas connus est suffisante pour la pratique industrielle.

Hauteur de sciage.

L'influence de la hauteur de sciage est pratiquement éliminée dans les essais effectués au pendule qui ont précisément pour but de séparer l'effort s'exerçant sur l'arête de coupe des efforts exercés par la lame sur les copeaux. Des études spéciales ont été entreprises dans divers laboratoires et doivent être poursuivies pour mettre clairement en évidence l'influence de la hauteur de sciage. Ces études sont délicates en raison de l'interaction étroite entre : Hauteur de sciage, vitesse de coupe et dimension et forme du creux de dent, il est certain que ces études seront grandement facilitées par la connaissance de base de l'effort de coupe obtenue par mesure au pendule, l'incidence des autres facteurs étant obtenue par différence.

De toutes façons, dans l'immédiat, on atteint ici encore une approximation suffisante pour l'industrie en opérant par comparaison.

* * *

On voit qu'en définitive les mesures d'effort de coupe effectuées au pendule suivant une méthode standard sont directement utiles pour l'industrie en raison de la comparaison qu'elles permettent d'établir entre les bois bien connus et les bois peu connus. La connaissance de la valeur absolue des

efforts ne profite à l'industrie que d'une manière plus indirecte par les progrès qu'elle permet de réaliser au laboratoire dans la connaissance du sciage. De toutes façons, il ne faut pas oublier que dans toute construction les fondations, même les plus solidement établies, ne remplacent pas l'édifice.

