

L'ÉTUDE DU SCIAGE PAR PHOTOGRAPHIE ULTRA-RAPIDE

par A. CHARDIN,
Ingénieur de Recherches au C. T. F. T.

SUMMARY

SAWING STUDIED BY MEANS OF ULTRA-SHORT PHOTOGRAPHIC EXPOSURE

In order to study, under laboratory conditions, how the chips flow through the gullet of a saw tooth a flash generator called « DEFATRON » is being used. The device is such that ultra-short flashes ($1/1.000.000$ th of a second) and yet emitting an energy of 200 joules are obtained.

The pictures thus achieved stress the effect of the thickness of chips, of cutting angle, of cutting speed, of the species and of the height of sawings.

Colour photography allows to obtain additional data.

RESUMEN

ASERRADURA DE LA MADERA ESTUDIADA MEDIANTE FOTOGRAFÍAS ULTRA-RÁPIDAS

Para estudiar en condiciones de laboratorio como pasan las virutas en el huco de la diente de una sierra se utiliza hoy día un aparato llamado « DEFATRON » realizando un flash muy breve ($1/1.000.000$ parte de segunda) pero muy poderosas (200 joules).

Las fotografías obtenidas evidencian la influencia del espesor de las virutas, del ángulo de corte, de la rapidez de aserradura, de la especie y de la altura de la madera a aserradizar.

Mediante la fotografía de colores pueden obtenerse datos complementarios.

Les recherches effectuées dans quelques laboratoires au cours des dernières années ont permis d'obtenir d'utiles informations sur le mécanisme de la coupe d'un outil à bois et particulièrement d'une dent de scie (1). Cette connaissance des lois

de la coupe aide à choisir l'équipement et les conditions de travail de telle sorte que le sciage soit mécaniquement possible et avantageux, mais elle ne permet pas de prévoir les conditions d'évacuation des copeaux enlevés par chaque dent.

(1) Cf. REINEKE : *Sawteeth in action*-Madison ; KIVIMAA : *Cutting force in woodworking*, Helsinki. *Peut-on scier tous les bois avec la même denture ?* Bois et Forêts des Tropiques, n° 33.

Pour combler cette lacune, on est conduit tout naturellement à rechercher un moyen d'observer le mécanisme d'écoulement des copeaux.

STROBOSCOPIE

Si, pendant le sciage, on examine la lame à sa sortie du bois à l'aide d'un éclairage puissant et bien concentré sur cette région, on peut déjà recueillir quelques informations, mais le mouvement est si rapide que les dents ne sont pas visibles et les sciures semblent former une gerbe continue.

On peut rendre les dents visibles et mettre en évidence la discontinuité du flux des sciures en remplaçant l'éclairage continu d'une lampe à incandescence par un éclairage discontinu et convenablement réglé d'un tube à décharge. Les stroboscopes électroniques modernes réalisent parfaitement ce type d'éclairage, leur emploi est assez spectaculaire car ils permettent d'obtenir à volonté une apparence d'immobilité ou de déplacement très lent de la lame. On peut alors examiner sans difficulté la position des copeaux à la sortie du bois. L'intérêt de cette méthode réside dans sa simplicité et on devrait savoir l'utiliser beaucoup plus largement, surtout pour des observations pratiques rapides. Il faut noter cependant deux inconvénients importants :

a) S'il est possible de donner à une lame de forme géométrique bien régulière une apparence d'immobilité, il n'est pas possible d'obtenir le même résultat pour les copeaux dont la répartition n'est pas suffisamment identique d'une dent à l'autre. Cette méthode ne peut donc fournir qu'une information globale et ne permet en général l'observation d'aucun détail. La superposition de phénomènes très différents peut aussi quelquefois conduire à des interprétations erronées.

b) L'image n'est évidemment observable que par les personnes présentes. Les autres ne peuvent en avoir communication que par des descriptions ou des croquis qui sont inévitablement incomplets. L'observateur lui-même peut difficilement comparer valablement des observations faites à plusieurs mois d'intervalle.

Ces inconvénients sont assez graves pour une étude détaillée au laboratoire, c'est pourquoi on est conduit à faire appel à des méthodes photographiques.

CINÉMATOGRAPHIE

On peut être tenté, puisque c'est avant tout un mouvement qu'on désire observer, de chercher à tirer parti des méthodes cinématographiques. On trouve actuellement des caméras commerciales permettant une prise de vue à une cadence 250 fois plus rapide, et même parfois davantage, que les caméras ordinaires. Si on filmait dans ces conditions une lame animée d'une vitesse de 25 m par seconde on obtiendrait à la projection le même effet que si on avait filmé dans les conditions habituelles une lame se déplaçant de 10 cm par seconde seulement (vitesse vingt fois plus faible que celle d'un homme au pas).

Ce ralentissement n'est pas suffisant, le champ utile à observer étant, en effet, très réduit, il est nécessaire pour l'examiner avec suffisamment de détails de le filmer de très près. On montrerait facilement que pour obtenir un film utilisable il faudrait réaliser un ralentissement tel que le mouvement apparent soit de moins de 1 cm par seconde.

On peut obtenir ce résultat en diminuant la vitesse linéaire de la lame, mais nous verrons que la vitesse de coupe a une grande influence sur les conditions d'écoulement des copeaux, si bien que les résultats obtenus seraient entièrement faussés. On peut également essayer de recourir à des techniques de prise de vue à une cadence beaucoup plus élevée, mais les moyens à mettre en œuvre seraient probablement peu compatibles avec les possibilités financières de la plupart des laboratoires de recherches sur l'usinage du bois.

On doit d'ailleurs remarquer que les phénomènes les plus intéressants à filmer sont ceux qui se produisent à l'intérieur du bois. Il faudrait recourir à une cinématographie ultra-rapide, ce qui n'est pas tout à fait inimaginable mais ne semble pas pouvoir être entrepris pour le moment. On est donc conduit à utiliser plus simplement la photographie, complétée éventuellement par une pseudo-cinématographie.

TECHNIQUES DE PHOTOGRAPHIE ULTRA-RAPIDE

Les techniques d'observation photographique de phénomènes ultra-rapides sont très variées, cependant, dans les études sur le sciage du bois on n'a eu recours qu'à un très petit nombre de méthodes que nous pouvons rapidement rappeler avant de décrire

celle que nous employons au C. T. F. T. Dans tous les cas, on utilise des sources lumineuses dont les temps d'éclairement sont extrêmement brefs (de 0,5 à 5 millièmes de seconde suivant les cas).

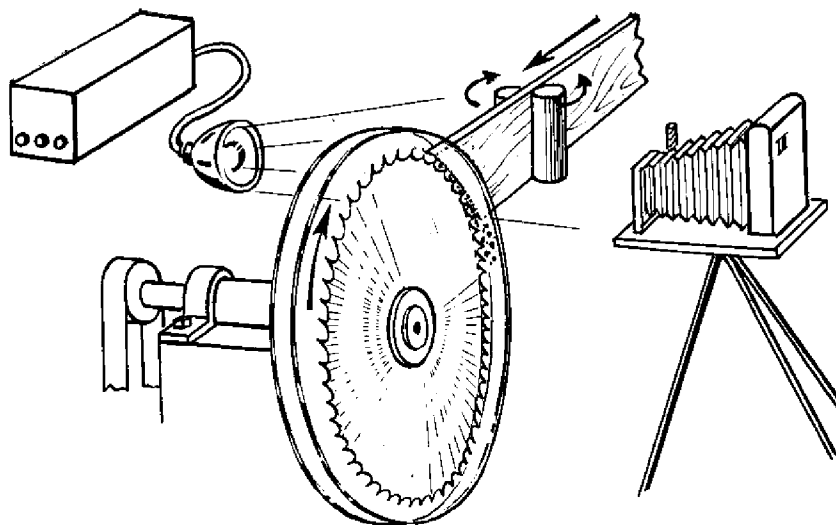
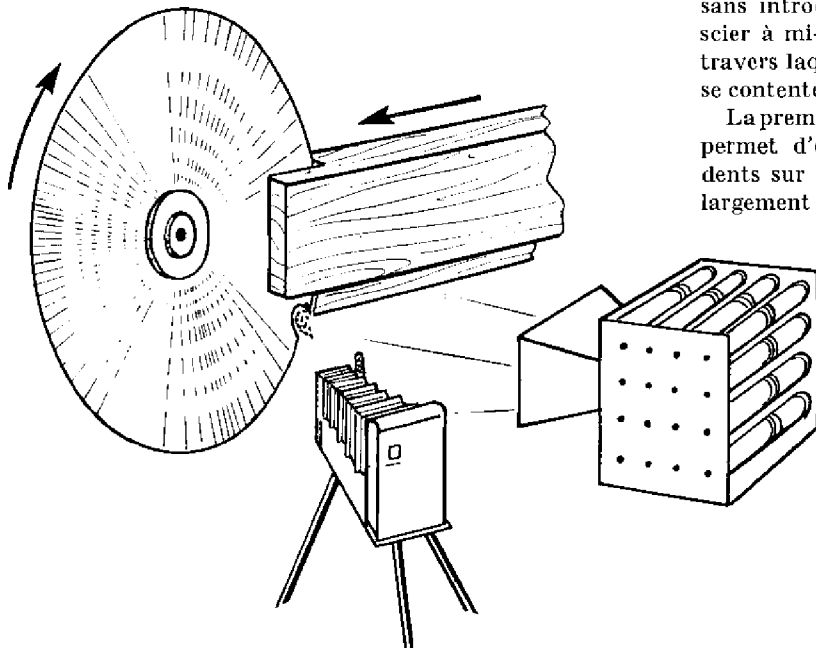


FIG. 1. — Schéma du principe de la photographie par transparence.

Photographie par transparence

Cette méthode consiste à placer l'appareil photographique et la source lumineuse de part et d'autre de l'objet à photographier (voir fig. 1) la photographie se présente ainsi comme une ombre de l'objet. Cette méthode a le grand avantage de ne nécessiter qu'une source lumineuse de très faible puissance, ce qui permet d'obtenir une durée d'éclair très faible ($0,5 \mu$ sec environ) et par conséquent des clichés très précis. Elle a été employée

FIG. 2. — Schéma du principe de la photographie par réflexion.



surtout au laboratoire de Stockholm. La prise de vue n'est possible qu'à condition de scier entre deux plaques de plexiglas une planche dont l'épaisseur n'excède pas l'épaisseur de la lame de scie. Ce mode de sciage risque d'entraîner des modifications importantes des conditions de travail de la dent et d'écoulement des copeaux, les résultats obtenus doivent donc être interprétés avec une très grande prudence. D'autre part, les copeaux ne sont visibles que s'ils n'encombrent pas trop le creux de dent et s'ils ne vont pas se loger entre la lame et le plexiglas. C'est pourquoi cette méthode, par ailleurs intéressante en raison de la précision des observations qu'elle permet, n'offre que des possibilités limitées.

Photographie par réflexion

C'est la méthode de photographie habituelle dans laquelle l'appareil et la source lumineuse se trouvent du même côté par rapport à l'objet. Elle nécessite l'emploi d'une source lumineuse beaucoup plus puissante que dans le cas précédent, ce qui se traduit en général par une augmentation de la durée d'éclair (1μ sec à 5μ sec suivant la source-éclair utilisée).

Le choix d'une source lumineuse et des caractéristiques de l'installation ne posent en général pas de problèmes. La seule difficulté tient au choix de la méthode de prise de vue. Il est, en effet, impossible de photographier la lame en action dans le bois sans introduire un artifice. On est conduit soit à scier à mi-bois derrière une plaque de plexiglas à travers laquelle on observe la dent en action, soit à se contenter d'observer la dent à la sortie du bois (1).

La première méthode, assez séduisante puisqu'elle permet d'observer l'évolution du remplissage des dents sur toute la hauteur de la coupe a été assez largement utilisée en France et à l'étranger. Elle a l'inconvénient d'introduire un risque de perturbation importante des conditions de coupe et d'écoulement des copeaux; d'autre part le plexiglas, qui est facilement rayé, se couvre rapidement de poussières de bois et entraîne des réflexions gênantes, nuit parfois à la bonne qualité des photos.

Nous avons préféré employer à Nogent la deuxième méthode.

(1) REINEKE, du Forest Products Research Laboratory de Madison, a employé une autre méthode consistant à ménager de place en place dans la pièce à scier des lucarnes à travers lesquelles il photographie la dent. Cette méthode n'est pas en fait bien différente de la photographie à la sortie du bois.

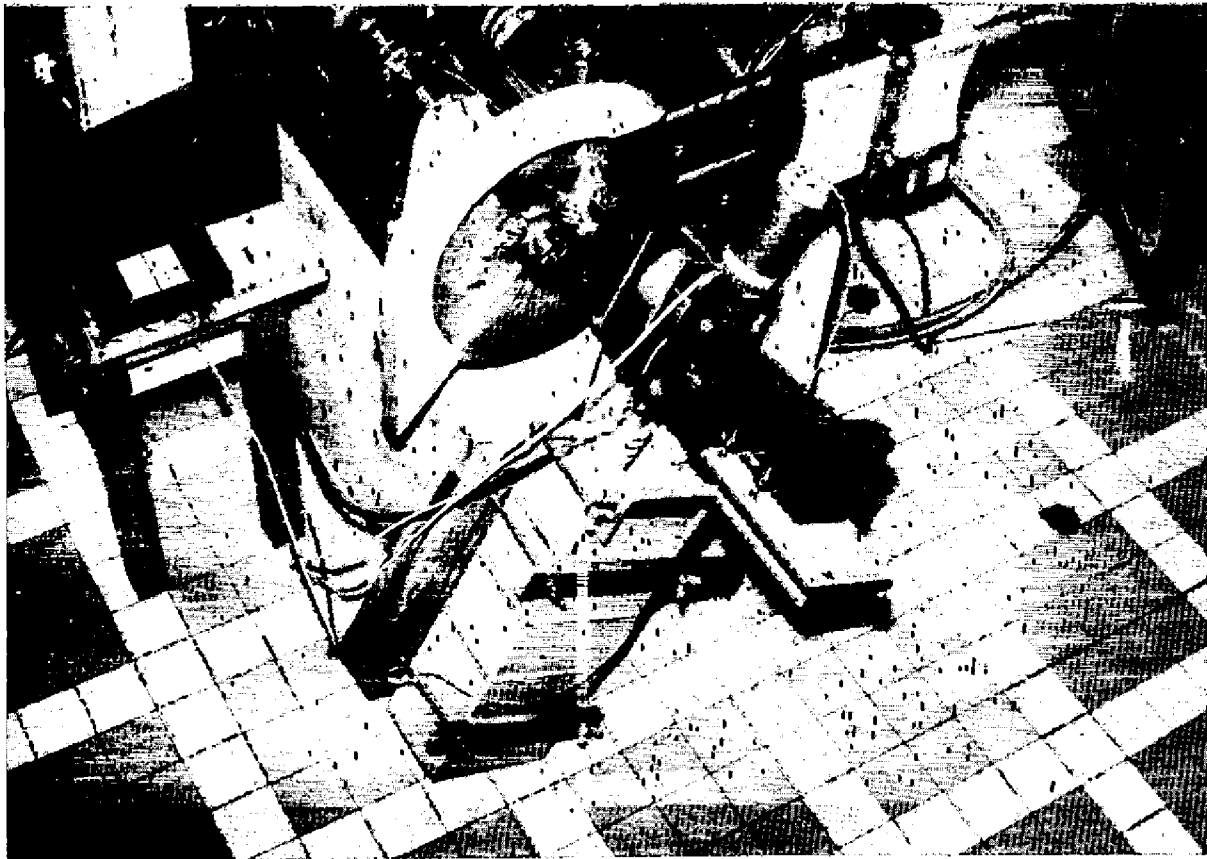


Photo Lepitre.

Ensemble de l'équipement utilisé au Centre Technique Forestier Tropical pour l'étude du séchage par photographie.

MÉTHODE EMPLOYÉE AU CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL

Source lumineuse

On peut montrer facilement que pour obtenir des photos d'une bonne qualité dans les conditions habituelles du séchage, il est nécessaire d'utiliser une source-éclair d'une durée ne dépassant pas la micro-seconde (1). Il est possible d'autre part d'obtenir des clichés d'autant plus fins qu'on peut éclairer l'objet à photographier plus intensément. C'est pourquoi nous avons choisi un appareil donnant un éclair très puissant en moins d'une micro-seconde appelé défaltron (2), mis au point par M. DEVAUX au Laboratoire Central de l'Armement.

L'éclair est produit par la décharge devant la surface d'une matière isolante (silice, plexiglas, araldite, etc.) d'un condensateur de $0,8 \mu F$ sous une tension de 25.000 volts.

Malgré l'importance de la puissance dissipée, il y a toujours intérêt pour obtenir de très bons clichés à concentrer le maximum de lumière produite sur

la plage à photographier. Ce résultat peut être obtenu par l'utilisation de réflecteurs et surtout par le rapprochement de la source. Dans le cas de champs très petits qui doivent être photographiés de très près, il est difficile d'approcher simultanément l'éclair et l'appareil surtout si on tient compte des précautions à prendre avec un appareillage haute tension de grande capacité.

Pour concilier néanmoins ces deux facteurs, en vue d'obtenir des clichés en couleur avec une grande profondeur de champ, nous avons été amenés à utiliser un éclateur spécial (3) de forme circulaire au travers duquel nous faisons la prise de vue.

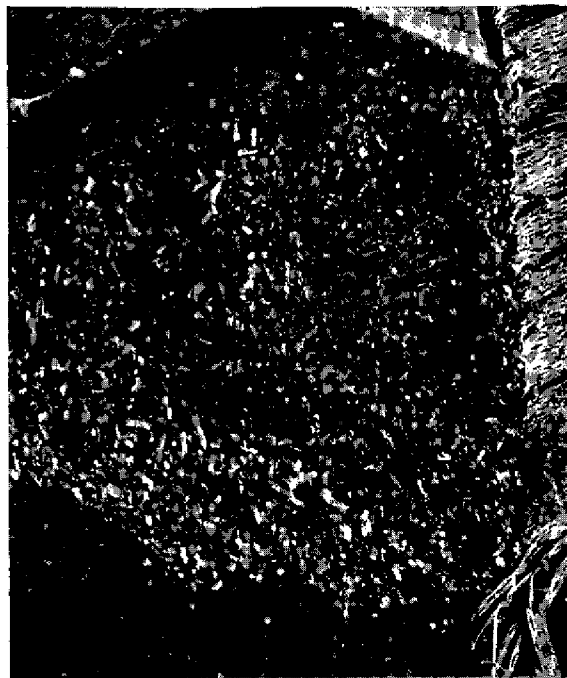
Dispositif de sciage

Les travaux que nous avons effectués avaient avant tout pour but de préparer l'étude du séchage au ruban. Ne disposant pas de ruban utilisable au laboratoire, nous avons cherché à utiliser une scie circulaire travaillant dans des conditions aussi voisines que possible d'une scie à ruban.

(3) Cet éclateur dérive directement d'un éclateur en araldite mis au point dans le laboratoire de M. TAWIL attaché aux fabrications d'armement.

(1) Voir à ce sujet : *L'utilisation de la Photographie ultra-rapide pour l'étude du séchage et de l'ustrage du bois*. Publication C. T. F. T. qui sortira des presses en juillet 1957.

(2) Nom venant de D. E. F. A. Direction des Etudes et Fabrication d'Armement.



Une scie circulaire de 40 cm de diamètre et portant une dent unique (1) dont on étudie le comportement est entraînée par un moteur dont la vitesse peut varier d'une façon continue dans un très large domaine.

La pièce à scier est entraînée par un dispositif d'aménagement hydraulique permettant d'obtenir un mouvement précis, facilement réglable et de course limitée. L'aménagement se fait dans la direction du centre de la lame de telle sorte que la trajectoire de la dent soit toujours aussi voisine que possible de la perpendiculaire aux fibres du bois. Une légère inclinaison est inévitable surtout si on veut présenter des pièces de bois larges et monobloc (2).

Dans la pratique on limite la hauteur des planches à 18 cm. Il est peu probable que dans ces conditions l'inclinaison des fibres soit un élément perturbateur important. L'action des forces centrifuges liées au mouvement de rotation de la lame pourrait être moins négligeable. Ces forces sont cependant relativement faibles devant l'effort de coupe et l'observation des clichés ne conduit pas à penser qu'elles modifient beaucoup le mécanisme d'écoulement des copeaux.

Les essais qui pourront être faits ultérieurement à l'aide d'une scie à ruban permettront de préciser ce point.

Synchronisation

Le déclenchement de l'éclair doit se faire exactement au moment où la dent sort du bois et alors qu'elle vient effectivement d'enlever un copeau. Il doit donc être synchronisé à la fois avec le déplacement du bois et avec le déplacement de la lame. Ceci est obtenu très simplement par l'emploi de deux contacts électriques disposés en série.

Les éprouvettes sont préparées de telle sorte qu'au moment du déclenchement de l'éclair, la dent se trouve soit entièrement à l'extérieur du bois, soit complètement visible mais effectuant encore une coupe à mi-bois. Les photographies données ici en noir et blanc sont exécutées en suivant ce dernier procédé. Les clichés en couleurs ont été obtenus par la première méthode.

(1) Cette dent est unique pour permettre une faible consommation de puissance, une faible consommation d'éprouvettes, une grande sûreté dans le réglage des épaisseurs de copeaux et une grande facilité de changement de la forme du creux de dent.

(2) L'utilisation de planches formées d'éléments assemblés dont les fibres sont spécialement orientées permet d'éviter ce défaut.

Influence de l'épaisseur des copeaux : Coupe d'une pièce de Niangon sec à l'air.

*Hauteur 20 cm. Vitesse de coupe 30 m/sec.
Angle d'attaque 28°.*

*Épaisseur des copeaux, de haut en bas : 0,2-0,3-0,45 mm.
Echelle 2/1.*

Résultats obtenus

Les résultats obtenus doivent être jugés avant tout par l'examen des clichés. Cependant, comme nous avons été amenés à faire déjà plus de mille vues et qu'il n'est pas possible de les reproduire toutes ici (1), il n'est pas inutile d'accompagner celles que nous présentons de quelques commentaires. Nous passerons successivement en revue les divers facteurs étudiés.

INFLUENCE DE L'ÉPAISSEUR DES COPEAUX

D'une façon générale, les copeaux très minces ($2/10^e$ et $3/10^e$ de mm surtout), ont tendance à passer abondamment entre la lame et le bois, ce qui d'autant plus en général que la vitesse est plus grande. Aux épaisseurs moyennes ($4, 5/10^e$ et $7/10^e$) la tendance au maintien des copeaux dans le creux de dent est plus grande, surtout aux faibles vitesses. On observe une assez grande différence de comportement d'une essence à l'autre.

Aux épaisseurs assez fortes ($10/10^e$ et $14/10^e$) le maintien des copeaux dans le creux de dent est bien réalisé, souvent même aux grandes vitesses de coupe, surtout lorsque l'angle d'attaque est important.

INFLUENCE DE L'ANGLE D'ATTAQUE

D'une façon générale une réduction de l'angle d'attaque se traduit par une dispersion plus grande des copeaux, surtout pour les épaisseurs moyennes. Cette dispersion est un peu masquée aux fortes vitesses par la dispersion résultant de la vitesse elle-même.

INFLUENCE DE LA VITESSE DE COUPE

Une augmentation de la vitesse de coupe se traduit en général par une augmentation de la dispersion des copeaux. L'augmentation de la dispersion est surtout sensible pour les épaisseurs moyennes de copeaux. Aux fortes épaisseurs, la dispersion est peu marquée aux grandes vitesses pour certaines essences, elle reste très marquée pour d'autres, particulièrement pour les essences très fibreuses.

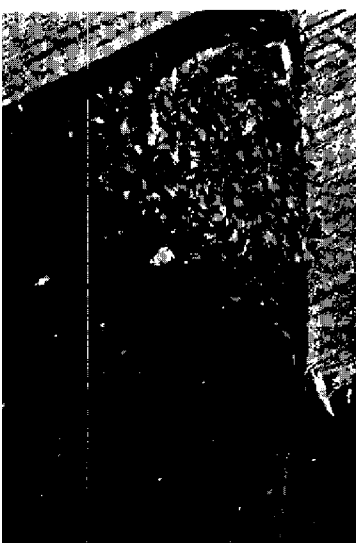
(1) L'examen de clichés en couleurs est beaucoup plus facile que l'examen de clichés en noir et blanc. Cependant, en raison des frais très élevés de reproduction de clichés en couleur nous présentons presque uniquement des clichés en noir et blanc.

Influence de l'épaisseur des copeaux : Coupe d'une pièce de Niangon sec à l'air.

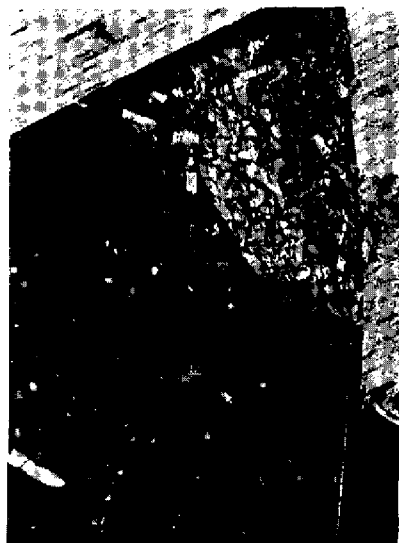
*Hauteur 20 cm. Vitesse de coupe 30 m/sec.
Angle d'attaque 28°.*

*Épaisseur des copeaux, de haut en bas : 0,7-1-1,4 mm.
Échelle 2/1.*

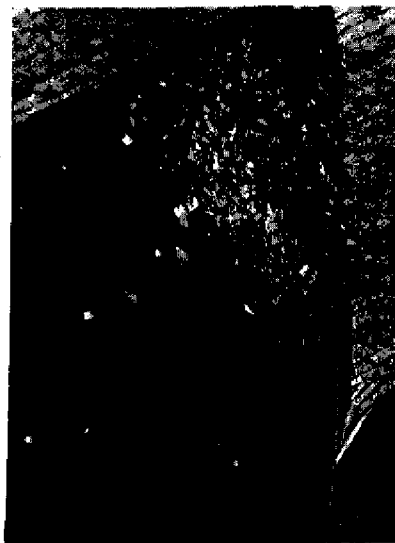




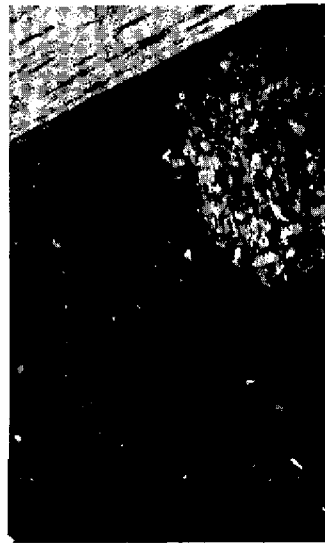
21 m/sec.



30 m/sec.



43 m/sec.



60 m/sec.

*Influence de la vitesse de coupe : Coupe d'une pièce de Limba sec à l'air.
Hauteur 20 cm. Angle d'attaque 28°. Epaisseur des copeaux 1 mm. Echelle 1,4/1.
Vitesse de coupe : 21 m/sec., 30 m/sec., 43 m/sec., 60 m/sec.*

INFLUENCE DE L'ESSENCE

La dispersion des copeaux varie beaucoup d'une essence à l'autre, surtout dans le domaine des faibles et moyennes épaisseurs. Aux fortes épaisseurs la différence est en général assez peu marquée à faible vitesse comme on le voit sur la page ci-centre. La vitesse à laquelle une dispersion apparaît aux fortes épaisseurs est extrêmement variable d'une essence à l'autre.

INFLUENCE DE LA HAUTEUR DE SCIAGE

La variation de la hauteur de sciage permet avant tout d'observer la progression de l'occupation du creux de dent par les copeaux. En prenant un grand nombre de photographies successives de coupe de pièces dont on modifie progressivement la hauteur, on peut réaliser une pseudo-cinéma-

graphie. Cette pseudo-cinématographie est utilement complétée par la photographie en couleurs d'une éprouvette polychrome.

Utilisation de la photographie en couleurs

Une des difficultés de la photographie en couleurs est due à l'impossibilité de trouver dans le commerce des émulsions spéciales ultra-sensibles comme on en trouve pour la photographie en noir et blanc. En pratique, si on veut obtenir des clichés en couleurs aussi précis qu'en noir, il est nécessaire d'aug-

Influence de l'essence : Coupe de neuf pièces d'essences différentes. De gauche à droite et de haut en bas : Sapin, Epicéa, Niangon, Avodiré, Kondroti, Ekop Naga, Okoumé, Sipo, Limbo.

Hauteur de coupe 20 cm. Angle d'attaque 28°. Epaisseur de copeau 1 mm.

Vitesse de coupe 30 m/sec. Echelle 1,6/1.

*Influence de la vitesse de coupe : coupe d'une pièce de Kondroti tombant de scie.
Hauteur 20 cm. Angle d'attaque 28°. Epaisseur des copeaux 1 mm. Echelle 1,4/1.
Vitesses de coupe : 21 m/sec., 30 m/sec., 43 m/sec., 60 m/sec.*

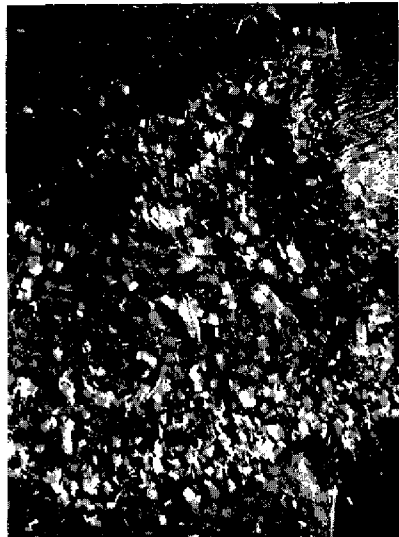
21 m/sec.



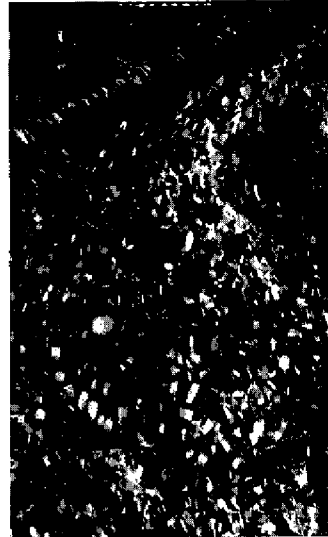
30 m/sec.



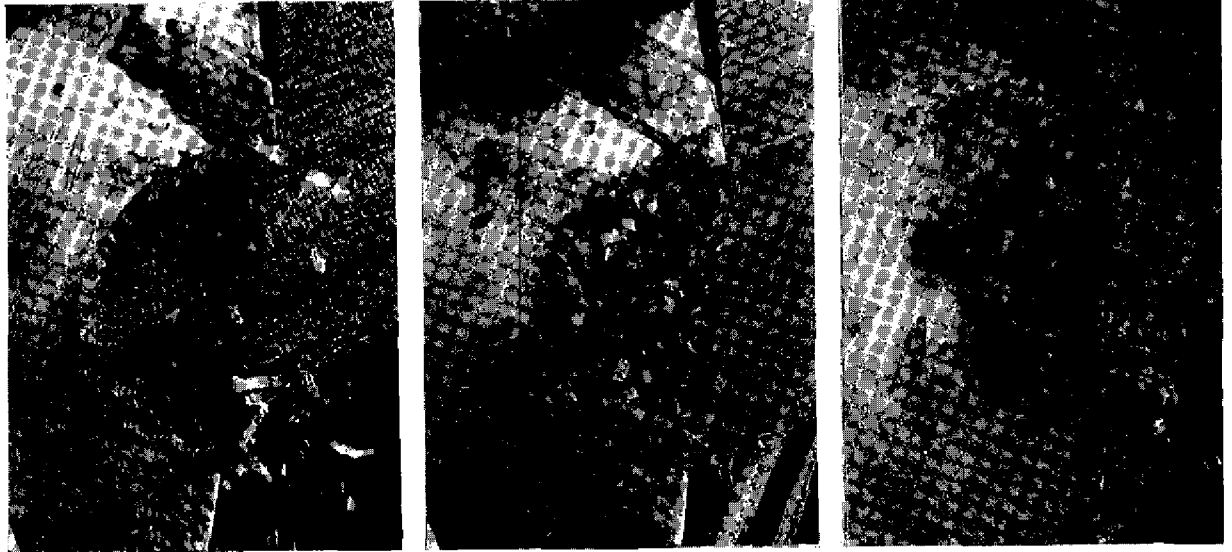
43 m/sec.



60 m/sec.







7 cm.

12 cm.

17 cm.

*Influence de la hauteur de coupe : Coupe d'Ekop Naga sec à l'air.
Angle d'attaque 28°. Epaisseur des copeaux 1,4 mm. Vitesse de coupe 30 m/sec.
Photographies prises après 7 cm, 12 cm, 17 cm de coupe. Echelle 1,5/1.*

menter l'éclairage de l'objet dans le rapport de 8 à 1. Nous avons vu que ce problème avait été résolu par l'utilisation d'un éclateur spécial qu'on peut placer à quelques centimètres seulement de l'objet.

La photographie en couleurs présente par rapport à la photographie en noir de nombreux avantages :

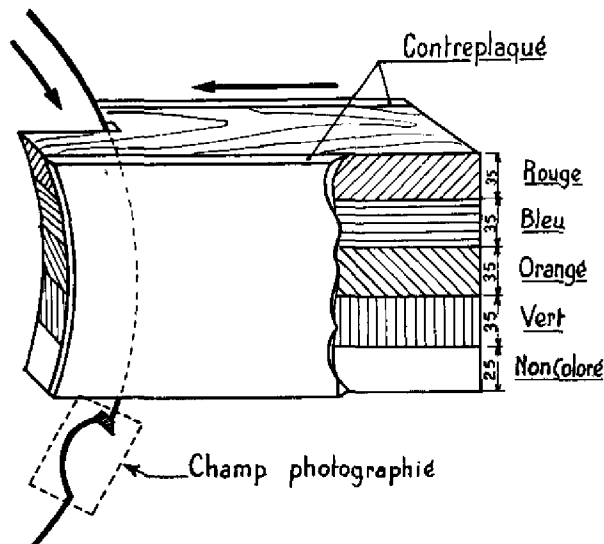
a) le contraste entre les couleurs du bois, de la lame et du fond facilite beaucoup la lecture du cliché, bien des erreurs d'interprétation peuvent être évitées ;

b) l'éclair produit par le défatron donne un éclairage extrêmement intense pendant une micro-

seconde environ, suivi d'un éclairage beaucoup plus faible d'une durée de 10 micro-secondes environ.

Cette permanence lumineuse fait que l'image du copeau est suivie d'une petite traînée presque invisible sur les clichés en noir, mais que le contraste des couleurs fait apparaître très nettement, surtout bien entendu aux très grandes vitesses de coupe. On peut ainsi évaluer la vitesse et la direction du déplacement de chaque copeau ;

c) Les photographies en noir ne donnent qu'une information globale sur la disposition des copeaux au moment où la dent sort du bois. On ne peut que faire des hypothèses sur la provenance des copeaux situés dans les différentes parties du cliché. La photographie en couleurs permet au contraire de fournir de précieuses informations à ce sujet. Si on



Ci-contre : Mode de réalisation de l'éprouvette et disposition des couleurs.

Sur la planche de droite.

En haut : Sciage du Limbo.

Vitesse de coupe : 30 m/sec. Echelle 2,6/1.

Epaisseur de copeaux : à gauche 0,45 mm, à droite 1,4 mm.

On remarque que les copeaux les plus minces (cliché de gauche) chassent moins facilement devant eux les copeaux qui les précèdent que les copeaux épais (cliché de droite) qui suivent beaucoup mieux le contour du creux de dent et décrivent une sorte de spirale.

En bas : Sciage d'un bois fibreux, le Tobitoutou.

Vitesse de coupe : 30 m/sec. Echelle 2,6/1.

Epaisseur de copeaux : à gauche 0,45 mm, à droite 1 mm.

Le cheminement des copeaux est analogue à celui qu'on peut observer pour le limbo mais on remarque : la tendance à un passage plus important entre la lame et le bois, la plus grande confusion dans la répartition des copeaux et une influence plus marquée de la résistance de l'air.



teint en effet les différentes parties du bois en couleurs différentes, la provenance des copeaux peut être déterminée immédiatement. La difficulté principale réside dans l'obtention de bois colorés dans la masse d'une façon homogène. Même en employant la technique classique de vide et pression nous n'avons réussi à obtenir jusqu'ici une bonne coloration que pour 30 % des bois tropicaux environ. Beaucoup de bois ne peuvent donc pas être étudiés par cette méthode, mais la gamme des bois faciles

à colorer est déjà suffisante pour qu'on puisse y trouver un échantillonnage assez complet de densités et de textures.

Cette méthode a été utilisée au Centre Technique Forestier Tropical trop récemment pour qu'il soit possible d'en prévoir tous les développements, elle permet cependant de mettre clairement en évidence le mécanisme d'écoulement des copeaux comme le montrent les clichés ci-joints qu'on peut comparer aux figures précédentes.

CONCLUSIONS PRATIQUES

Les différents clichés que nous avons présentés permettent de se faire une idée de l'influence des principaux facteurs qui conditionnent l'écoulement des copeaux dans une dent de scie. Bien que ces résultats soient encore un peu trop partiels pour qu'il soit possible de les considérer comme très sûrs on peut, à titre provisoire, en tirer les conclusions suivantes :

1° L'évacuation des copeaux est nettement meilleure aux fortes épaisseurs qu'aux faibles épaisseurs. On a donc intérêt à utiliser des moyens de sciage qui permettent de scier avec une avance très rapide du bois.

2° L'augmentation de la vitesse linéaire d'un ruban est quelquefois sans inconvénients mais ne

se traduit jamais par une amélioration de l'évacuation des scatures.

3° L'évacuation des copeaux est meilleure quand l'angle d'attaque est plus grand.

Il est intéressant de constater que les conclusions qu'on peut tirer d'une étude de l'écoulement des copeaux sont absolument conformes à celles que nous avons déjà pu tirer d'une étude mécanique (1) ainsi qu'aux résultats qui ont été acquis dans les études sur l'usure des lames de scies. Tout conduit à recommander la même politique de sciage : enlever de gros copeaux à vitesse réduite avec un fort angle d'attaque.

(1) Cf. : *Peut-on scier tous les bois avec la même denture ?*

