

Photos Chatefain.

ÉTUDE DE L'USURE DES DENTS DE SCIES ⁽¹⁾

PAR LE LABORATOIRE D'USINAGE
DU CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL

CHAPITRE I

NÉCESSITÉ D'UNE ÉTUDE DE L'USURE ET CHOIX D'UNE MÉTHODE DE TRAVAIL

(suite)

par André CHARDIN
Ancien Elève de l'Ecole Polytechnique

(1) Le début de cette étude a été publié dans le n° 110, novembre-décembre 1966 et dans le n° 114, juillet août 1967.

The first two parts of section I were published in issues 110 (November-December 1966) and 114 (July-August 1967).

Las dos primeras partes del capítulo I han sido publicadas en los números 110, noviembre-diciembre 1966, y 114, de julio-agosto 1967.

DIFFICULTÉS DE RÉALISATION DES ÉTUDES DE L'USURE DES DENTS DE SCIES

C) Le Choix des critères d'usure.

Nous avons vu que l'étude de la tenue des outils avait été entreprise beaucoup plus tôt et à une bien plus grande échelle dans le domaine de la coupe des métaux que dans celui du sciage du bois. Il est donc tout naturel, avant de rechercher les meilleurs critères d'appréciation de la tenue des dents de scies, d'essayer de profiter de l'expérience acquise par les spécialistes de la coupe des métaux. Dans le chapitre consacré à ce sujet, le « Tool Engineers Handbook » (16) édité sous le contrôle du Comité des publications techniques de l'American Society of Tool Engineers, présente cette expérience d'une façon qui paraît à la fois excellente et très classique ; la notoriété des membres du Comité d'usinabilité de cette société en est la meilleure garantie. D'après cet ouvrage, les six modes les plus courants d'expression de la tenue d'un outil de coupe sont les suivants :

1° Temps de travail effectif de la machine, tous les temps morts étant déduits. En scierie, ce temps correspond à celui pendant lequel la lame est engagée dans le bois. On pourrait l'appeler temps effectif de sciage. Ce temps représente environ vingt minutes par heure de fonctionnement pour la scie de tête d'une scierie industrielle installée dans d'excellentes conditions.

2° Temps effectif de coupe d'un outil pris individuellement. Pour une dent de scie appartenant à une lame de 10 m de longueur et effectuant un sciage sur 1 m de hauteur, ce temps serait égal au dixième du temps effectif de sciage, soit deux minutes par heure de fonctionnement pour une bonne scie à grumes.

3° Volume de métal coupé. - En scierie, on préférerait parler de surface sciée ce qui, pour des dents dont la voie est sensiblement constante, correspond exactement à la même réalité physique.

4° Nombre de pièces produites. — Ce mode d'expression de la tenue d'une lame ne pourrait être employé que dans le cas d'une production très standard, cas qui est évidemment beaucoup plus rare en scierie que dans les ateliers de travail des métaux.

5° Vitesse Taylor, c'est-à-dire vitesse pour laquelle on obtient un temps effectif de travail ou

un temps effectif de coupe (expressions : 1° et 2° ci-dessus) prédéterminé pour l'ensemble des conditions de coupe choisies. Le choix de ce mode d'expression se fonde sur l'existence de la loi de Taylor suivant laquelle la vitesse de coupe et le temps effectif de coupe sont liés par la relation :

$$VT^n = C$$

dans laquelle n et C sont des constantes dépendant des conditions de coupe et du matériau usiné.

Une loi analogue n'ayant pas jusqu'à présent été mise en évidence pour la coupe du bois, ce mode d'expression de la tenue des outils de coupe des métaux ne peut pas actuellement avoir d'équivalent en scierie.

6° Vitesse relative de coupe. — Ce mode d'expression se présente comme une variante du précédent. C'est soit le rapport entre les vitesses Taylor pour le métal étudié et pour un métal de référence, la coupe étant faite par le même outil, soit le rapport entre les vitesses Taylor pour l'outil étudié et pour un outil de référence usinant le même métal. Cette expression n'a actuellement, comme la précédente, pas d'équivalent en scierie. Quelle que soit l'expression choisie, il va de soi qu'elle n'a une signification précise que dans la mesure où l'on définit ce qu'est un outil usé. Les critères les plus couramment retenus sont :

A) Outil absolument incapable de continuer à couper. — Ce critère est trop souvent celui qui est retenu en pratique par les chefs de scie pour décider du changement d'une lame.

B) Première défaillance de l'outil, caractérisée par un changement de coloration, c'est-à-dire en général un brunissement de la pièce usinée. Il semble difficile d'introduire pour le sciage du bois un critère analogue qui soit valable pour toutes les essences. Des traces de brûlage apparaissent quelquefois sur la surface sciée, mais cette apparition est relativement peu fréquente et correspond dans certains cas à une usure des dents très prononcée qui ne devrait pas être industriellement acceptée. Avant d'utiliser ce critère, il faudrait établir la relation entre brûlage et usure en tenant compte de l'influence de l'humidité du bois, ce qui conduirait sans doute à un travail très important. Bien d'autres critères de première défaillance pourraient être envisagés, mais il semble pour le moment difficile d'en trouver un qui soit suffisamment universel.

(16) Cf. : Tool Engineers Handbook, 2nd Edition, New York, 1959 (2289 pages) chapitre 18, pp. 20 à 41.

C) *Usure du flanc de l'outil sur une certaine largeur définie à l'avance.* --- Il est difficile de retenir pour le sciage du bois un critère absolument identique ; les modes d'usure des dents de scies à bois et des outils de coupe des métaux sont en effet très différents. Nous verrons qu'il est cependant très pratique, sinon pleinement satisfaisant, de s'inspirer du même principe et de mesurer l'usure telle qu'elle peut être observée sur la face de dépouille de la dent.

D) *Changement brusque de la qualité de la surface usinée.* --- Dans certains cas particulièrement favorables, il est possible d'utiliser un critère analogue pour le sciage du bois, mais des difficultés se présentent très souvent : d'abord, parce que la détérioration de la qualité de la surface sciée est plus souvent progressive que brutale et, ensuite, parce que cette qualité peut dépendre davantage des variations de la structure du bois que de l'évolution de la qualité de l'outil. Il ne faut pas oublier également que le sciage est une opération d'ébauche et qu'en conséquence la qualité de la surface obtenue n'a pas la même importance que pour les métaux.

E) *Variation dimensionnelle de la pièce usinée d'une certaine quantité définie à l'avance.* --- Le principe de ce critère pourrait être appliqué au cas du sciage du bois. La tenue d'une lame serait réputée satisfaisante aussi longtemps que l'épaisseur des pièces sciées resterait comprise entre deux limites fixées à l'avance. Ceci suppose toutefois que l'on sache séparer les irrégularités dues au sciage proprement dit de celles qui sont dues aux imperfections du système d'aménagement du bois. Les variations de structure du bois peuvent, ici encore, rendre difficile l'emploi de ce critère.

F) *Augmentation de l'effort de coupe d'une certaine quantité définie à l'avance.* --- Ce critère peut évidemment être appliqué directement au sciage du bois si l'on sait distinguer l'effort de coupe des autres efforts appliqués à la lame. Il a été l'un des plus utilisés dans les études de l'usure des outils à bois.

G) *Accroissement de l'effort de poussée suivant l'axe de l'outil.* --- Dans la coupe du bois, il est possible d'utiliser des angles d'attaque beaucoup plus importants que dans la coupe de l'acier. Une dent de cette forme finement affûtée ne repousse pas le bois mais tend à l'aspirer. Une poussée ne commence à s'exercer que lorsqu'un certain niveau d'usure, variable en fonction de l'épaisseur des copeaux enlevés, est atteint. Cette inversion du sens de la réaction n'est nullement gênante ; si bien que l'on peut dire que dans la mesure où le comportement d'une lame est directement lié à l'effort qui lui est imposé, ce critère est, en conjugaison avec le précédent, utilisé quotidiennement dans les scieries. L'emploi de ce seul critère peut cependant se révéler

difficile comme nous en donnerons un exemple plus loin.

H) *Accroissement de l'effort de déplacement latéral de l'outil.* Ce critère, valable pour un outil de tour, n'a pas d'équivalent dans le cas du sciage, tout au moins si l'on ne considère que le cas des lames présentant un plan de symétrie, c'est-à-dire si l'on exclue l'avoyage par torsion.

Cet examen rapide montre que plus de la moitié des critères d'usure et des modes d'expression de la tenue de coupe utilisés par les spécialistes de la coupe des métaux peuvent l'être aussi par les spécialistes du sciage du bois. Il semble donc possible d'employer un langage commun et ceci n'est pas surprenant.

Les critères énumérés ici ne sont d'ailleurs que les plus courants, c'est-à-dire ceux qui expriment des réalités immédiatement perceptibles en atelier. Il est bien évident que les laboratoires utilisent quelquefois d'autres critères choisis en fonction de chaque recherche particulière ; si l'on passait ceux-ci en revue, on trouverait probablement une communauté de langage plus grande encore que précédemment entre spécialistes des métaux et spécialistes du bois. Mais nous n'avons en vue pour le moment, que les études très générales sur l'usure, nous cherchons à définir une politique de travail et les deux listes qui viennent d'être passées en revue semblent déjà assez longues pour nous mettre dans l'embarras. On peut penser qu'il n'est guère possible, ou tout au moins qu'il est très peu pratique d'utiliser simultanément plusieurs critères d'usure et plusieurs modes d'expression de la tenue de coupe. S'il faut choisir, sur quels éléments peut-on s'appuyer pour le faire judicieusement ?

Il peut être utile de savoir comment ce problème a été résolu pour la coupe des métaux. Si nous nous reportons aux tables, diagrammes et abaques présentés dans le *Tool Engineers Handbook* pour déterminer les meilleures conditions de coupe dans un certain nombre de cas pratiques, nous constatons que l'usage le plus courant consiste à caractériser la tenue de l'outil par la vitesse de coupe pour laquelle une largeur déterminée de la plage d'usure est atteinte en un temps donné (17).

Sous sa forme la plus classique, la tenue de coupe s'exprime donc en mètres par minute : ce fait peut paraître un peu surprenant dans son principe mais est tout à fait justifié par ses applications. A un stade donné du développement de la conception des machines-outils, il est relativement facile de fixer le temps de tenue des outils qui est économiquement le plus souhaitable dans la grande majorité des cas. Si ce temps est fixe, le temps nécessaire au change-

(17) Soit la combinaison ; critère « G »-expression de tenue « 5 », quelquefois remplacée par la combinaison : C-6.

ment des outils étant connu et étant fixe lui aussi, le rendement des machines est directement proportionnel à la vitesse de coupe et peut donc se calculer très facilement à partir de celle-ci. La tenue de coupe s'exprime donc dans une unité qui peut se traduire immédiatement en termes économiques. Il en est de même en ce qui concerne le critère d'usure ; la largeur de la plage d'usure pour laquelle un outil est considéré comme ayant terminé son service normal est variable d'un matériau à l'autre, relativement importante pour l'acier rapide, elle est faible pour la stellite et plus faible encore pour les carbures. Cette largeur est fixée dans chaque cas en fonction des conditions les plus économiques d'achat et d'entretien des outils, si bien que pour des outils céramiques que l'on ne réaffûte pas, mais que l'on jette après emploi, la largeur de la plage d'usure admise est assez importante.

Sauf erreur d'interprétation de notre part, les spécialistes de la coupe des métaux répondent donc bien clairement à la question que nous posions plus haut : expression de la tenue de coupe et critère d'usure sont choisis en fonction de leur rapport direct avec des réalités économiques. Il va de soi qu'il doit en être de même dans l'étude de l'usure des dents de scies ; quelle que soit la méthode choisie, le critère final est toujours le résultat industriel obtenu.

Il est facile de poser ce principe, mais son application au sciage du bois présente actuellement bien des difficultés.

Une première difficulté résulte du fait que la nature du résultat industriel recherché n'est pas bien clairement définie. Nous disions au début de ce chapitre que tous les scieurs aimeraient trouver des lames sciant mieux et plus longtemps ; scier mieux ce peut être : obtenir un sciage plus rapide, plus lisse, moins sinueux, au prix d'une moindre consommation d'énergie ou d'une plus faible perte de matière, etc... Il serait bien extraordinaire que tous ces résultats puissent être obtenus simultanément, un compromis est pratiquement inévitable. L'objectif à atteindre dépend de l'importance relative attachée à chacun de ces facteurs. Il varie d'une entreprise à une autre et dans une même scierie d'une machine à l'autre. La meilleure lame est, pour un scieur, celle qui débite en moyenne le plus grand nombre de mètres carrés entre deux affûtages, pour un autre, celle dont la tenue est la plus régulière. Il est inutile d'insister sur cette difficulté, qui est réelle et qu'il ne faut pas sous-estimer, mais qui n'est finalement pas bien gênante dans la mesure où il est possible d'exprimer les performances des outils en termes que chaque scieur peut convertir par un calcul simple en l'élément qui est pour lui important. Notons seulement que nous voyons déjà apparaître ici la nécessité d'utiliser simultanément plusieurs critères d'usure.

Une deuxième difficulté tient à ce que, sans doute

en raison du nombre et de la complexité des facteurs en jeu, la liaison entre l'état objectif et l'arête de coupe et la capacité de l'outil à effectuer un travail d'une qualité donnée est beaucoup plus faible — il faudrait peut-être dire : beaucoup plus aléatoire — dans le cas du sciage du bois que dans celui de la coupe des métaux. Ceci peut être dû en premier lieu à l'intervention de facteurs qui n'ont pas un rapport bien direct avec l'usure. On pourrait citer comme exemple les déformations du corps de la lame qui sont mises en évidence d'une façon particulièrement frappante lorsque l'on introduit en scierie une lame dont les dents ont une résistance à l'usure très élevée. Le chef de scie qui utilise une telle lame la fait travailler jusqu'à ce qu'elle présente quelques signes de faiblesse, puis la renvoie à l'affûteur. Celui-ci risque alors de lui faire subir tout le cycle normal d'entretien ; pourtant, si la lame est examinée au laboratoire, il est quelquefois manifeste que l'état des arêtes de coupe est tel qu'un réaffûtage est tout à fait inutile. Dans ce cas, l'examen du corps de la lame fait apparaître des déformations qui sont, pour l'essentiel, responsables de la mise hors de service ; après planage et tensionnage, la lame peut sans réaffûtage travailler aussi longtemps, sinon plus, que la première fois.

Une deuxième raison de la difficulté d'établir une relation précise entre état objectif des dents et capacité d'une lame à effectuer un sciage, réside dans la grande diversité de dureté et de dimension des différentes grumes. Tous les scieurs ont eu l'occasion de constater qu'une lame qui n'est plus capable de débiter une essence de densité élevée peut souvent scier longtemps encore une essence plus tendre. Il faudrait donc, pour être tout à fait objectif, adopter pour le critère d'usure une échelle variable en fonction des essences.

Une troisième raison importante de la difficulté d'exprimer d'une façon précise ce qu'est une dent usée réside dans la grande variation de dimension et de puissance des scies. Si tous les scieurs utilisaient des scies très fortes et surpuissantes, il est probable que l'on aurait pu établir empiriquement depuis longtemps pour quelques grandes catégories d'essences ce que l'on peut appeler une dent usée. La situation serait pour le bois très analogue à ce qu'elle est pour les métaux. Il n'en est malheureusement pas ainsi ; la relativité de la notion d'usure est telle qu'elle est extrêmement gênante. Nous avons eu souvent l'occasion de relever des exemples de cette relativité, l'un d'eux, mis en évidence à l'occasion d'un accident, est particulièrement frappant et mérite à ce titre d'être cité. Il y a un peu plus de dix ans, pour assurer le débit des bois nécessaires aux différents laboratoires du Centre Technique Forestier Tropical, nous disposions de deux scies à grumes. L'une de ces scies était un petit ruban horizontal dont les volants étaient de faible diamètre, étroits et très écartés ; la rigidité de la lame était inévitablement assez faible, malgré une tension

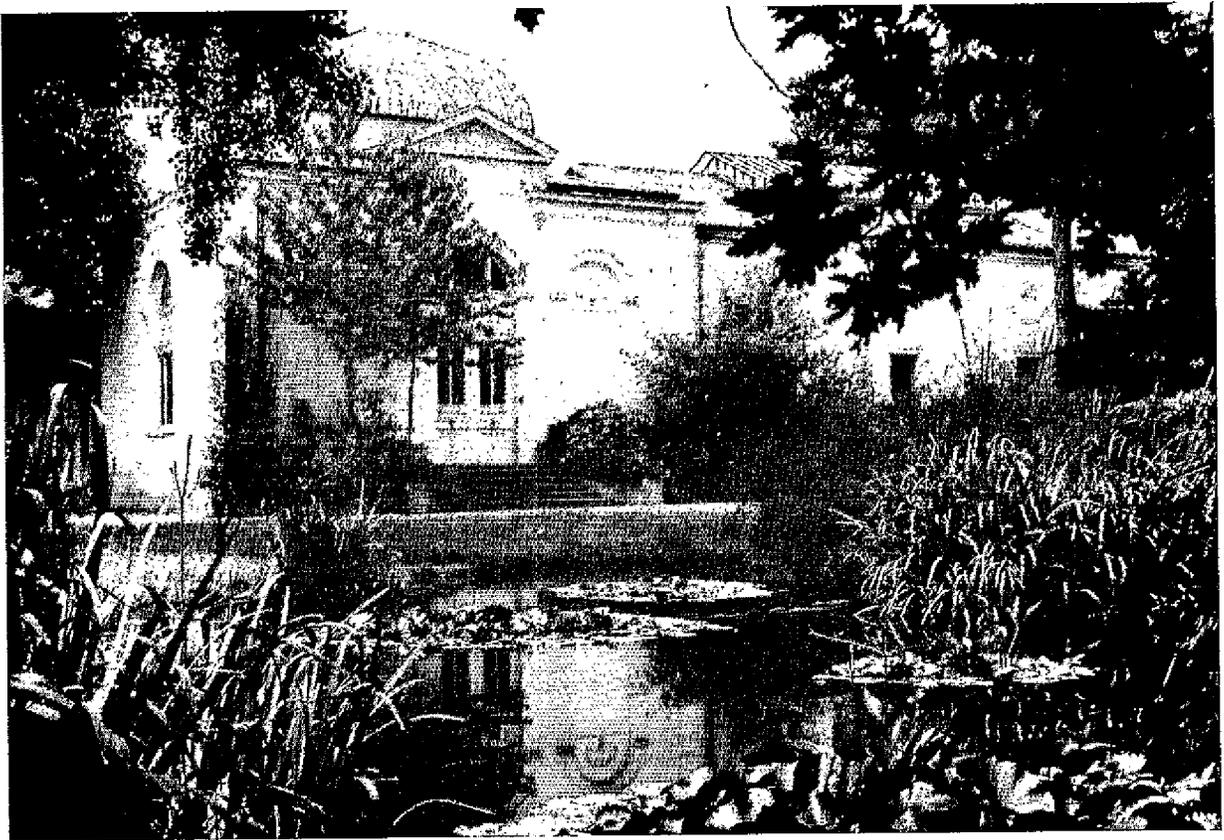


Photo Chatelain.

Le Laboratoire d'usinage du Centre Technique Forestier Tropical.

nominale de 3 tonnes pour l'ensemble des deux brins, si bien que compte tenu de la vitesse de coupe modérée — 30 m/s environ — la puissance du moteur — plus de 50 CV — paraissait assez largement calculée. La liaison entre le moteur et le volant de la scie était assurée par des courroies trapézoïdales qui, dans les conditions normales de tension, devaient transmettre si l'on se référait au catalogue du fabricant de courroies, un peu plus du tiers de la puissance du moteur. Ayant à débiter une bille d'Azobé dont le diamètre était manifestement trop grand pour une scie de cette force, le scieur constata que le premier découvert s'effectuait dans des conditions très médiocres, il se risqua cependant à entamer un deuxième trait en grande largeur, la lame faisait alors un bruit tout à fait anormal, le risque d'une rupture semblait sérieux et il paraissait de toutes façons évident qu'un changement de lame s'imposait. Pour ne pas interrompre le travail au milieu d'un trait, le scieur tentait cependant de pousser la scie jusqu'au bout quand brusquement elle cala. Le plateau ayant une épaisseur de l'ordre de 20 cm il était inutile d'espérer dégager la lame à l'aide de coins, il fallait donc tronçonner la grume au passe-

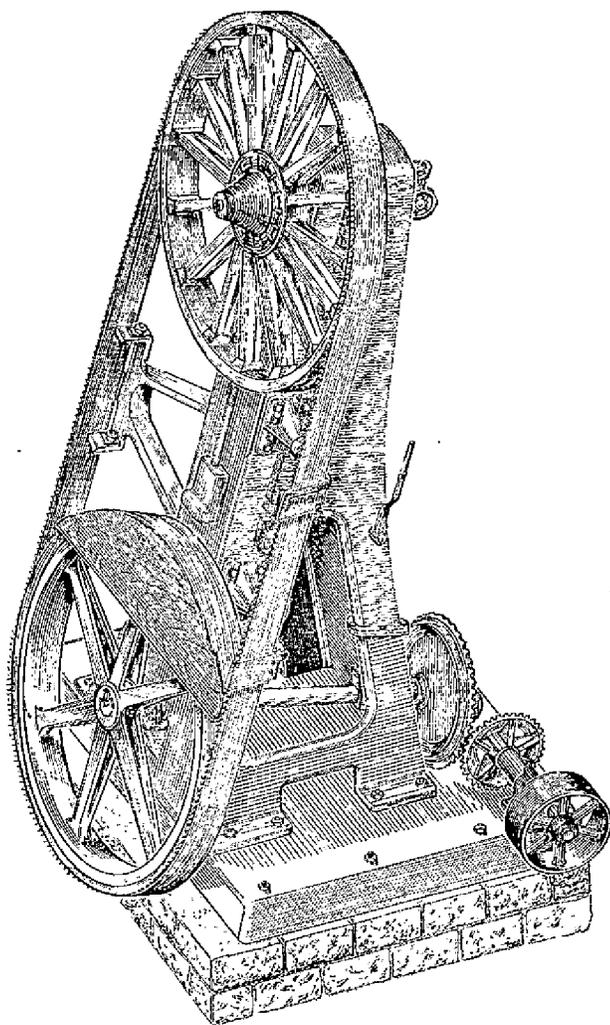
partout jusqu'au niveau de la lame, mais en opérant ainsi on perdait un grand nombre de pièces dont le débit en grande longueur était impératif. Pour éviter de recourir à cette extrémité, le scieur essaya de mettre la lame en mouvement pendant que des manœuvres tiraient fortement la scie vers l'arrière. Voyant que les courroies patinaient, il retendit celles-ci le plus fortement possible et, après quelques tentatives de remise en marche, il réussit finalement à dégager la scie. Il constata alors, à sa grande surprise, que les bruits anormaux avaient disparu, si bien qu'après une inspection rapide de la lame il exécuta non seulement le trait en cours mais encore le débit du reste de la grume dans des conditions acceptables compte tenu de l'exceptionnelle dureté du bois. Le doublement de la puissance qui lui était effectivement transmise avait transformé une lame « à réaffûter » en une lame capable de scier.

Dans la situation concrète actuelle nous ne pouvons que prendre acte de cette relativité de la notion d'usure et admettre que le rôle des études en cours est précisément d'en diminuer l'importance.

En raison de cette relativité, le choix des critères qui peut être fait au moment où l'on entreprend

une étude de l'usure a nécessairement un caractère un peu arbitraire ; même si nous espérons qu'il n'en est ainsi que temporairement et partiellement, nous devons examiner les conséquences pratiques de cette situation. Si nous considérons le critère qui est le plus souvent retenu dans les études de la coupe des métaux — largeur de la plage d'usure sur le flanc de l'outil — nous constatons qu'il est à la fois simple et objectif.

L'emploi d'un critère simple est évidemment pratique et, à ce titre, il est très tentant ; il est tout à fait justifié dans la mesure où son efficacité est confirmée par les résultats obtenus. Dans le cas du sciage cette confirmation étant, comme nous venons de le voir, aléatoire par nature, cette tentative est plutôt dangereuse et il vaut mieux considérer que la simplicité n'est pas nécessairement un avantage. Dans ces conditions, la qualité essentielle que nous pouvons demander à un critère c'est d'être



La « Cunningham diagonal band mill ».

objectif, et nous devons attacher à cette qualité un prix d'autant plus grand que c'est le seul élément sur lequel nous puissions vraiment compter.

La plupart des critères énumérés plus haut et un certain nombre d'autres tels que : masse de matière perdue par la dent, modification de la forme géométrique de la dent, mode d'évacuation des copeaux, échauffement de la dent, etc., sont des critères objectifs en ce sens qu'ils sont tous liés à la constatation d'un fait brut qui peut être contrôlé ou enregistré ; mais si nous nous demandons dans quelle mesure les informations qui servent de base à l'établissement des différents critères rendent compte sans ambiguïté et avec précision de l'évolution de l'état de l'outil et de sa capacité à effectuer le travail qui lui est demandé, il est évident que nous ne pouvons pas attribuer à chacune la même valeur. La variation de l'énergie dépensée pour la coupe est un bon indice de l'état d'une dent de scie, sa signification pratique semble assez claire ce qui explique son emploi fréquent dans les études de l'usure ; pourtant si dans certains cas cette énergie n'est pas une fonction constamment croissante de la quantité de travail effectué, on ne peut plus dire qu'elle traduit fidèlement l'évolution de l'outil. Il en est de même pour la largeur de la plage d'usure : le lecteur pourra constater en examinant les documents reproduits dans cette publication qu'elle n'a pas toujours la même signification. Il faut donc établir une hiérarchie entre les différents critères et les utiliser avec prudence.

Un exemple peut faire mieux comprendre le risque que comporte un choix fait *a priori*, même s'il repose sur une hypothèse qui paraît mécaniquement légitime. On peut voir dans un des catalogues du constructeur américain Filer and Stowell une gravure représentant une scie à ruban dite « Cunningham Diagonal band mill » construite vers 1880. Cette scie ressemble en bien des points aux rubans verticaux — le brin actif de la lame est dans un plan vertical, le chariot diviseur ou le dispositif de dédoubleage peuvent être les mêmes que pour les scies classiques — mais elle s'en distingue par la disposition des volants : ceux-ci sont inclinés afin que le déplacement des dents ne soit pas perpendiculaire au fil du bois. Nous avons constaté à plusieurs reprises que certains scieurs sont persuadés que cette inclinaison facilite grandement le sciage mais est malheureusement irréalisable en raison des difficultés de construction de bâtis appropriés. Ces difficultés n'existant pas pour les rubans horizontaux et ne représentant plus maintenant qu'un handicap bien minime pour les scies verticales, il serait utile de savoir si l'inclinaison peut réellement procurer un bénéfice et lequel. Nous n'avons pas étudié systématiquement ce problème, nous avons seulement examiné assez brièvement un de ses aspects dans le cadre d'une étude sur la relation entre pression exercée par le bois sur la lame et vitesse d'amenage. Pour cette étude nous avons muni un petit ruban

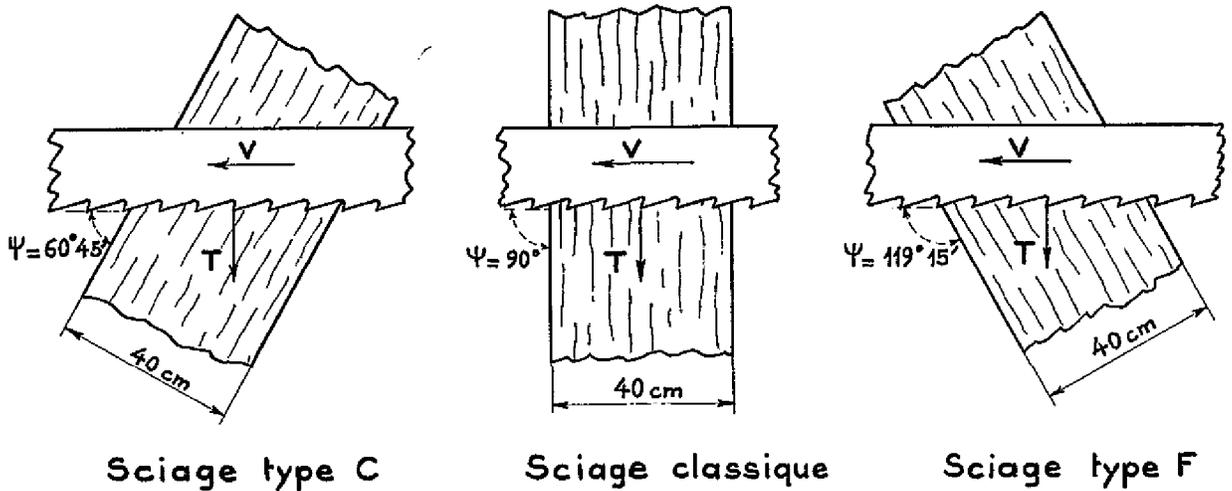
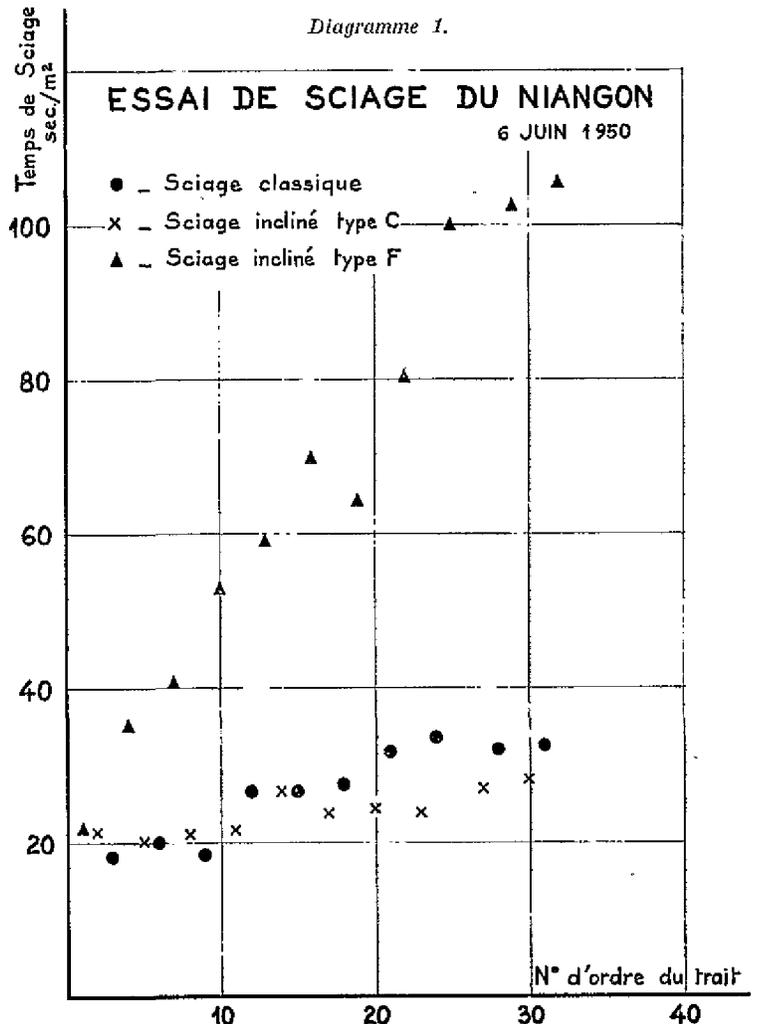


Fig. 1.

horizontal d'un dispositif d'avance à pression constante et d'un enregistreur de déplacement. On pouvait observer facilement les variations de la vitesse d'avance en fonction de la pression exercée, de la largeur du trait, de l'essence sciée et de l'usure de la lame. Le ruban étant très petit, la portée pratique des conclusions est assez limitée, mais dans le cas de l'étude de l'influence de l'inclinaison des fibres du bois faite sur un bloc de Niangon très homogène presque toutes les conditions de coupe sont maintenues constantes et les informations recueillies sont, au moins qualitativement valables. L'essai consistait à effectuer dans un bloc de 40 cm de largeur sur 1,75 m de longueur des traits successifs, à poussée constante de 75 newtons, en modifiant l'orientation de la pièce de bois après chaque trait, les mêmes conditions étant reproduites régulièrement une fois sur trois. Les trois types de sciage sont indiqués sur la figure 1. Les diagrammes d'enregistrement du déplacement en fonction du temps sont très rectilignes et permettent de calculer le temps nécessaire pour scier une surface d'un mètre carré. Ces temps sont reportés sur le diagramme 1 qui montre que s'ils sont retenus comme critère ils rendent très peu compte de l'usure de la lame dans le cas du sciage à contre-fil (Type C), un peu plus dans le cas du sciage classique et d'une façon très sensible dans le cas du sciage de fil (Type F). Il serait donc dangereux d'utiliser un critère de ce genre sans justification préalable ; il peut en être de même pour beaucoup d'autres et ceci nous conduit à penser qu'un choix correct ne peut se fonder que

sur une connaissance préalable suffisante de l'usure et de ses différents aspects. Dans l'acquisition de ces premières connaissances il importe assez peu que



les critères choisis puissent être plus ou moins facilement traduits en résultats industriels pourvu qu'ils soient d'une qualité indiscutable. On peut donc retenir comme critère principal l'élément qui est sans doute le plus objectif de tous : la variation de la forme géométrique de l'outil. La variation de tous les autres éléments peut alors être considérée

dans ses rapports avec cette variation de forme jusqu'au jour où, les choses devenant plus claires, il serait possible de réduire le nombre et la fréquence des observations.

Une telle méthode est prudente et rigoureuse mais il reste à nous demander si elle est pratiquement applicable.

D) L'importance de la tâche.

Le contrôle de chacun des éléments dont l'évolution doit être suivie au cours des essais d'usure nécessite : l'étude d'un certain mode opératoire, la sélection, l'achat ou la construction et la mise au point de l'appareillage adapté, puis un certain temps pour l'exécution de chaque contrôle. Si le nombre d'essais à réaliser est faible, on peut sans grand inconvénient consacrer un temps assez long à chaque contrôle et par conséquent utiliser des appareils relativement peu adaptés mais que l'on peut se procurer facilement ou même que l'on possède déjà. On peut également accepter de multiplier les contrôles de types différents et d'exécuter chacun plusieurs fois et à des intervalles assez rapprochés. Si, au contraire, le nombre d'essais à réaliser est très élevé, il est indispensable d'une part de réduire le nombre des contrôles au minimum et d'autre part de consacrer peu de temps à chacun ; ce que l'on peut dans une certaine mesure obtenir en construisant des appareils spécialement conçus dans ce but. Pour choisir la politique à adopter il faut donc connaître approximativement le nombre d'essais à effectuer. Quand les investigations portent, comme c'est le cas ici, sur un domaine presque inexploré, les estimations faites *a priori* sont inévitablement très aléatoires, nous pouvons cependant essayer d'évaluer l'importance de la tâche, au moins en ordre de grandeur, en passant en revue les différents facteurs à étudier. Nous retiendrons seulement les plus importants que nous classerons en quatre catégories :

1° **La dent.** — Les éléments qui caractérisent la dent peuvent être divisés en trois classes :

a) GÉOMÉTRIE DE LA DENT.

L'expérience montre que l'usure est un phénomène qui n'affecte qu'une très faible partie de la dent, tout au plus, dans la grande majorité des cas, quelques centaines de microns au voisinage de l'arête de coupe. La forme générale de la denture — forme du creux de dent, pas, etc... — n'a donc pas d'influence directe sur l'usure et les seuls facteurs importants à considérer sont :

Angle d'attaque. — Sur certaines scies circulaires américaines l'angle d'attaque est supérieur à 45°. Des angles de cet ordre sont rarement atteints sur

les grands rubans, on préfère généralement choisir des angles compris entre 35° et 40°. En Europe les lames sont plus minces et l'on choisit pour les bois courants des angles d'attaque compris entre 25° et 30° ; pour les bois très durs, certains scieurs utilisent des angles inférieurs à 20°. Sur les lames de scies alternatives l'angle d'attaque peut, dans le cas du sciage de bois durs, être inférieur à 15°. Si l'on veut étudier l'influence de l'angle d'attaque sur l'usure des dents de scies, il semble donc que, pour tenir compte des conditions industrielles actuelles, il faille adopter dans les essais au minimum deux, et de préférence trois angles d'attaque différents.

Angle de bec et angle de dépouille. — Quand l'angle d'attaque est fixé, il n'est plus possible de choisir l'angle de bec et l'angle de dépouille indépendamment l'un de l'autre. Dans l'étude des combinaisons des facteurs à faire intervenir il faut donc considérer ces deux angles comme un seul facteur. Remarquons que la technique d'écrasement à froid de l'extrémité de la dent, qui est la plus universellement utilisée pour « donner de la voie », ne laisse pas une grande latitude pour le choix de l'angle de bec. Il existe donc une certaine liaison entre angle d'attaque et angle de dépouille. Compte tenu de ce qu'il est possible d'augmenter ou de diminuer un peu, au moment de l'affûtage, l'angle obtenu à l'avoyage il est cependant normal de faire intervenir dans les essais deux angles de bec différents, c'est-à-dire finalement deux angles de dépouille différents pour le même angle d'attaque. Ceci permet de tenir compte de la diversité des pratiques actuelles : sur les scies circulaires à dents amovibles américaines et sur les rubans à denture perroquet l'angle de dépouille est de 8 à 10° alors que sur les scies circulaires solides et sur les rubans à denture mariée et à gencives, cet angle est en général compris entre 15° et 20° et atteint parfois 25°.

Dépouille latérale. — Certains affûteurs, et en particulier les Japonais n'apprécient pas l'état d'une lame en passant le doigt sur l'arête comme on le fait pour les autres outils de coupe, mais en tâtant les pointes latérales pour voir si elles sont plus ou moins arrondies. Si cette pratique est fondée, il est important de savoir dans quelle mesure l'émoussement des pointes dépend de l'inclinaison des faces

latérales et par conséquent de faire intervenir ce facteur dans les essais.

Malheureusement ce genre d'étude n'est pas simple et ceci d'autant plus que l'inclinaison des faces latérales est à considérer dans deux directions indépendantes l'une de l'autre.

Longueur de l'arête (voie totale). -- La voie est à peine supérieure à 2 mm sur certains rubans européens et dépasse 1 cm sur certaines scies circulaires à grumes américaines. Toutes les valeurs intermédiaires sont très couramment rencontrées dans l'industrie. Il semble donc nécessaire de faire intervenir deux largeurs de voie différentes dans les essais d'usure.

Qualité d'affûtage. -- La qualité de l'affûtage est différente d'une entreprise à l'autre, il est d'ailleurs assez difficile de préciser dans quelle mesure. Nous verrons cependant que bien des contrôles à effectuer au cours des essais ne sont possibles que si les faces de la dent sont parfaitement planes. Nous avons donc préféré ne pas faire intervenir ce facteur, tout au moins dans les premières phases de l'étude.

b) MOUVEMENT DE LA DENT.

Le mouvement de la dent est caractérisé par sa nature : continu ou alternatif, rectiligne ou circulaire et par sa vitesse. La nature du mouvement est surtout à considérer en combinaison avec le déplacement et l'orientation du bois, nous en parlerons donc plus loin. La vitesse de coupe dépasse rarement 10 m/s dans les scies alternatives. Certains scieurs de bois tropicaux très abrasifs règlent leurs rubans à des vitesses un peu inférieures à 20 m/s, la plupart des autres choisissent des vitesses comprises entre 28 et 38 m/s. Pour les bois des régions tempérées, et particulièrement les résineux, les vitesses des rubans sont comprises entre 40 et 55 m/s. Les scies circulaires atteignent souvent des vitesses plus élevées, des vitesses supérieures à 100 m/s ont même été choisies dans certaines scieries de l'U. R. S. S. (18). Il semble donc indispensable d'employer systématiquement au moins deux vitesses de coupe dans les essais courants et d'introduire dans certains cas plusieurs vitesses supplémentaires.

c) NATURE DU MATÉRIAU CONSTITUANT LA DENT.

Les matériaux utilisés en scierie pour constituer la pointe des dents et dont la diffusion est suffisamment étendue pour mériter d'être signalée appartiennent à quatre catégories : l'acier au carbone faiblement allié, l'acier rapide, la stellite et le chrome dur. Le carbure de tungstène n'est que très rarement

employé en scierie. Il faudrait donc normalement considérer ces quatre classes de matériaux dans les essais d'usure. Mais dans les trois premières classes de nombreuses variantes peuvent être envisagées en fonction de la composition du matériau et des traitements divers qu'il a subis en profondeur ou en surface. Le nombre des combinaisons n'est donc pas défini et une meilleure connaissance du mécanisme de l'usure doit tendre à faciliter la recherche de combinaisons nouvelles.

2° Le bois.

ESSENCE.

Parmi les éléments qui caractérisent le bois le premier à considérer quand il s'agit d'évaluer l'importance de la tâche à accomplir est évidemment l'essence. Si notre objectif était de fixer les meilleures conditions d'usinage des grands bois tropicaux bien connus sur le marché mondial, nous aurions tout au plus à étudier une centaine d'essences. Mais nous avons vu que les gouvernements de plusieurs pays s'intéressent beaucoup à la sélection d'essences nouvelles, c'est donc l'étude de plusieurs centaines d'essences que nous devons envisager. Pour la plupart, des différences importantes de structure, de densité, de teneur en silice, etc. existent d'un arbre à l'autre en fonction des conditions de croissance. Le nombre d'arbres différents à essayer est donc très important.

ETAT DU BOIS.

Un arbre peut être abattu en différentes saisons, il peut être scié immédiatement après l'abattage, après un temps plus ou moins long de stockage sur pare ou en bassin, ou après un transport par bateau. Il est important de pouvoir dire aux scieurs comment l'usure des dents de scies est affectée par ces différentes conditions. Bien souvent on se contente de caractériser l'état du bois par son taux d'humidité mais il n'est pas certain que cette indication soit suffisante. Il faut donc, au moins pour quelques arbres représentatifs de chaque grande catégorie d'essences, savoir si oui ou non le taux d'humidité suffit à caractériser l'état d'un bois. Même si la réponse est nettement positive, il faut, pour permettre aux scieurs de savoir s'ils peuvent débiter les bois en équarrissages peu nombreux et les dédoubler au moment de la livraison pour s'adapter aux différentes commandes, ou s'ils doivent au contraire faire le sciage à l'état frais à l'équarrissage définitif, introduire au minimum deux taux d'humidité dans les essais systématiques d'usure : un taux correspondant au bois gorgé d'eau, l'autre au bois sec à l'air.

DIMENSIONS DU BOIS.

Le sciage est grandement facilité s'il est effectué en deux stades, la scie de tête divisant la grume au

(18) Cf. : par exemple : A. L. BERSHADSKII et K. F. GUSEV. Increasing the productivity of circular rip saws, in Derevoobrabatyvayushchaya Promyshlennost 5 (9), 1956.

prix du minimum de traits en grande hauteur en pièces d'épaisseur modérée dont le débit est assuré par d'autres scies. Pour quelques essences cette division du travail n'est pas économique, le prix des pièces de grande largeur étant très supérieur à celui des pièces étroites, le scieur n'a donc pas le choix ; pour les autres, s'il hésite, il est important qu'il puisse savoir dans quelle mesure la hauteur du trait de scie affecte les conditions d'usure de la lame. Il faut donc introduire ce facteur dans les essais d'usure.

3° Facteurs faisant intervenir le bois et la dent.

EPAISSEUR DES COPEAUX.

En divisant la vitesse d'amenage du bois exprimée en millimètres par seconde par le nombre de dents passant par seconde en un même point (19) on obtient la valeur de l'avance par dent (20). Si l'avance est perpendiculaire à la direction du déplacement des dents, comme c'est le cas pour les scies à ruban, cette avance par dent est égale à l'épaisseur présumée du copeau ou si l'on préfère à son épaisseur moyenne. Dans le cas des scies circulaires classiques, l'épaisseur présumée du copeau croît constamment quand la dent parcourt sa trajectoire dans le bois et atteint à la sortie une valeur légèrement inférieure à l'avance par dent. Si l'état de la dent et les conditions de coupe sont bonnes l'épaisseur réelle du copeau est pratiquement égale à son épaisseur présumée (21) nous employons donc pour simplifier l'expression épaisseur du copeau en ne précisant davantage que dans les cas où l'ambiguïté pourrait être gênante. Dans le sciage de grosses grumes tropicales à l'aide de petits rubans, il n'est pas rare que l'épaisseur moyenne des copeaux soit inférieure à 0,2 mm. Dans le sciage au ruban aux Etats-Unis l'épaisseur des copeaux est presque toujours supérieure à 1,5 mm. Dans le sciage de petits résineux à l'aide de scies circulaires à dents rapportées l'épaisseur des copeaux peut dépasser 3 mm.

Dans ces conditions, il semble indispensable d'introduire plusieurs épaisseurs de copeaux dans les essais systématiques d'usure.

ORIENTATION DES FIBRES.

Dans le sciage au ruban la direction des fibres du bois et la direction du déplacement des dents sont

(19) Le nombre de dents passant par seconde est égal à la vitesse linéaire de la lame, exprimée en m/s divisée par le pas exprimé en mètres.

(20) Certains auteurs désignent cette avance par dent par le terme « morsure » qui est la traduction littérale du terme américain « bite ».

(21) Les moyens de vérification du défaut éventuel d'égalité entre ces deux épaisseurs sont décrits au chapitre II.

habituellement perpendiculaires l'une à l'autre, elles sont au contraire assez fortement inclinées dans le cas des scies circulaires. Il convient donc de faire intervenir ces deux orientations différentes dans les essais d'usure.

4° Autres facteurs.

On pourrait citer beaucoup d'autres facteurs, certains se rattacherait à l'une des trois catégories précédentes, mais nous ne les avons pas retenus car il semble *a priori* qu'il s'agit d'éléments à étudier isolément plutôt qu'en combinaison avec les autres éléments déjà cités. Nous ne mentionnerons que trois facteurs parmi ceux qui méritent peut être une attention spéciale.

ARROSAGE DE LA LAME.

Certains scieurs arrosent abondamment les lames de scies, d'autres se refusent à adopter cette pratique sauf dans le cas où ils débitent des essences qui encrassent les lames non arrosées, certains considèrent même la pratique de l'arrosage comme déshonorante. Il est donc important de savoir si l'arrosage modifie l'évolution de l'usure et dans quels cas.

SCIAGE D'ESSENCES VARIÉES.

Dans certaines scieries il n'est pas rare que certaines lames doivent scier successivement des grumes d'essences différentes. Si les études de l'usure nous permettent de connaître l'évolution des dents des lames qui scieraient chacune de ces essences isolément, et puisque, comme le lecteur pourra le constater, le processus d'usure peut être très différent d'une essence à l'autre, il peut être très important de savoir comment une lame qu'une première essence vient d'user d'une certaine façon se comporte vis-à-vis de l'essence suivante. On pourrait ainsi éviter de présenter les grumes dans un ordre qui se révélerait désastreux.

DENTS DE HAUTEURS DIFFÉRENTES.

Il peut arriver que par suite d'une mauvaise organisation de l'affûtage les dents d'une lame n'aient pas toutes exactement la même hauteur. On peut penser que si la lame enlève des copeaux très épais ceci n'a pratiquement aucune importance. Si au contraire les copeaux sont minces les différences entre les épaisseurs présumées des copeaux enlevés par deux dents successives peuvent être très importantes en valeur relative. Si le processus d'usure varie beaucoup en fonction de l'épaisseur des copeaux, l'évolution d'une lame ayant des dents de hauteurs inégales peut être très différente de l'évolution d'une lame normale, il est important de savoir si ce facteur peut être ou non une source de difficultés.

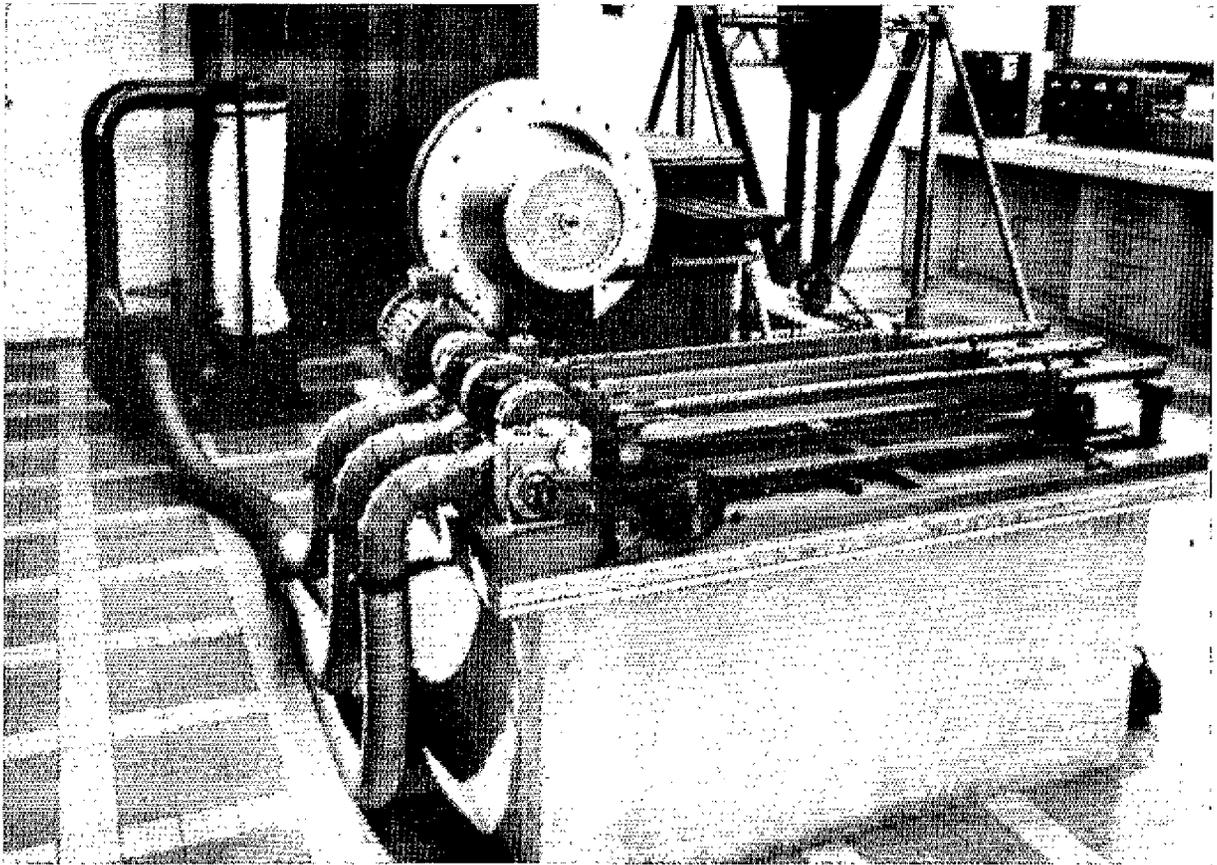


Photo Henrol.

Machine d'essai à 3 outils utilisée pour les premières études de l'usure.

Combinaison des facteurs.

Nous voyons que même si l'on ne retient que les plus importants le nombre des facteurs à considérer est très grand. Dans des cas de ce genre, une méthode de travail qui est souvent utilisée consiste à choisir une combinaison de facteurs qui sert de point de départ, ou de base de référence. Dans cette combinaison on choisit pour chaque facteur une valeur qui correspond à peu près au milieu de l'éventail des valeurs possibles. On détermine ensuite l'influence des différents facteurs en les faisant varier individuellement. Pour chaque essai tous les paramètres sont ainsi identiques à ceux qui correspondent à l'essai de référence, à l'exception du paramètre dont on étudie l'influence. Cette méthode peut être utilisée pour donner une première idée de

l'importance relative à attacher à chacun des facteurs, mais elle est malheureusement très incomplète. L'influence de l'épaisseur des copeaux établie pour un bois gorgé d'eau, ne peut pas être considérée comme valable pour le même bois sec. L'influence de la vitesse de coupe établie pour l'acier au carbone peu allié, risque de n'être plus valable pour un acier rapide et de l'être moins encore pour la stellite. L'influence de l'arrosage établie pour un bois dur non siliceux est probablement très différente de celle que l'on constaterait pour un bois tendre très abrasif. On pourrait multiplier les exemples de ce genre ; les facteurs à considérer doivent donc presque tous intervenir en combinaison et non individuellement. Mais alors le nombre d'essais à prévoir devient si impressionnant que l'on n'ose même pas essayer de l'évaluer.

POLITIQUE DE TRAVAIL ADOPTÉE PAR LE LABORATOIRE D'USINAGE

Si tenant compte de la nécessité qui a été évoquée plus haut d'introduire de multiples contrôles dans chaque essai d'usure, nous comparons l'immensité

du champ à explorer et la modicité des moyens dont nous disposons tant en personnel qu'en matériel, il apparaît immédiatement que tenter de venir à

bout d'une telle tâche est tout à fait déraisonnable. Il semble que dans ces conditions la politique la plus intelligente consisterait à affecter tous les moyens disponibles à des recherches fondamentales sur l'usure jusqu'au jour où une bonne connaissance du mécanisme intime de celle-ci permettrait de définir la nature et le nombre des essais à réaliser pour l'étude de chaque essence. On éviterait ainsi le gaspillage de travail que comporte toujours une recherche empirique.

L'inconvénient principal de cette politique est l'impossibilité où l'on se trouve au moment où l'on envisage de l'adopter de faire la moindre prévision sur le temps qui s'écoulera avant qu'elle ne porte ses fruits. Un autre inconvénient, moins grave sur le plan des principes mais dont il faut bien tenir compte, tient à ce qu'il faut dès le début examiner l'usure sous tous ses aspects et par conséquent acheter ou faire construire, puis mettre au point, un grand nombre d'appareils différents.

Dans l'obligation où nous nous trouvons, d'une part, d'être le plus vite possible en mesure de renseigner les scieurs et les gouvernements de divers pays tropicaux, et d'autre part, de répartir nos demandes d'investissements sur plusieurs années, nous avons essayé de réaliser le moins mauvais compromis possible en menant de front exploration en étendue et exploration progressive en profondeur.

Nous ne saurons sans doute que dans plusieurs années ce que nous avons perdu en nous soumettant à ces obligations; nous savons dès maintenant que ces pertes éventuelles sont, au moins en partie, compensées par l'avantage que nous avons tiré de l'application de chaque type de contrôle à un grand nombre d'essences différentes.

Nous n'avons pas à décrire dans ce premier chapitre notre méthode de travail puisque ceci sera fait en détail au chapitre II, examinons seulement la ligne générale suivie.

Bien entendu, celle-ci n'a été définie qu'après quelques études préliminaires. Il fallait d'abord connaître l'ordre de grandeur de ce qui était à mesurer et voir le parti qui pouvait être tiré des différentes méthodes d'observation. Dans une phase de toute première exploration, nous avons utilisé une petite machine très semblable à celle qu'employait KIVIMAA à Helsinki (22) mais comme cette machine portait un couteau et non une dent de scie et ne permettait de réaliser la coupe qu'en très faible hauteur, nous avons dû très vite construire une machine offrant des possibilités plus larges, très analogue à celles que nous employons maintenant. L'expérience acquise à l'aide de ces deux premières machines nous a conduit à donner la priorité à la mise au point d'une méthode d'étude

des variations de la forme géométrique de la dent. Dès qu'il est apparu possible, au prix d'un travail modéré, de contrôler cette variation de forme d'une façon très précise, nous avons décidé de considérer cette forme comme l'élément qui caractérise le plus sûrement l'état de la dent et par conséquent d'en faire le critère principal dont on étudierait ensuite la corrélation avec tous les autres critères qui pourraient être jugés intéressants.

La variation de forme d'une dent de scie est par nature complexe, pour la suivre correctement il faut recourir à plusieurs contrôles différents et complémentaires. Il était évident que l'étude de l'usure comporterait plusieurs milliers d'essais, certains contrôles devraient donc être réalisés plusieurs milliers de fois, d'autres plusieurs dizaines de milliers de fois, d'autres enfin plusieurs centaines de milliers de fois. Pour réduire au minimum le travail correspondant sans faire aucune concession en ce qui concerne la qualité des contrôles, il fallait organiser ceux-ci comme on le fait pour toute production industrielle en grande série, c'est-à-dire étudier et construire tout un équipement spécial. L'efficacité de cet équipement devait être, bien entendu, vérifiée et les améliorations nécessaires apportées à l'occasion de l'exécution des quelques premières centaines d'essais. Une méthode analogue devait être utilisée à l'occasion de l'introduction de chaque nouveau contrôle.

Cette première opération étant engagée il restait à choisir une politique de travail. Les moyens dont nous disposions devaient être répartis entre trois branches principales d'activité :

- mise au point de nouveaux contrôles,
- étude de l'influence des conditions de coupe,
- étude des essences.

Réaliser une répartition à peu près égale c'était accepter de progresser très lentement dans chaque branche, porter tout son effort sur un point c'était inévitablement négliger les autres. Il fallait pourtant choisir. Nous avons pensé que la meilleure solution consistait à concentrer alternativement nos moyens dans chacune des directions jusqu'au jour où nous aurions la chance de pouvoir mener toutes les activités simultanément. Il restait à fixer le rythme et l'ordre des alternances. Pour ne pas disperser les efforts, il était normal de différer l'introduction de nouveaux contrôles jusqu'au moment où les méthodes d'observation des variations de forme auraient été bien rodées par l'application à plusieurs centaines d'essais. Il était tentant, dès lors, de donner la priorité à l'étude de l'influence des grands paramètres de la coupe, dans le cas où pour plusieurs facteurs cette influence se serait révélée nulle ou conforme à des lois parfaitement claires la tâche se serait en effet trouvée grandement simplifiée.

Comme on pouvait s'y attendre, les premiers résultats n'ont fait que confirmer la très grande

(22) Cf. : Eero Kivimaa *op. cit.* en note (9) et « What is the dulling of woodworking tools », Helsinki, 1952.

complexité des phénomènes à observer. Ils ont sans doute permis de montrer que l'on pouvait sans grand inconvénient éviter provisoirement de faire intervenir certains facteurs tels que l'angle d'attaque ou les très fortes épaisseurs de copeaux, mais ils ont surtout mis en évidence des difficultés. Parmi celles-ci la plus importante au point de vue pratique résulte du fait que nous ne sommes pas en mesure de maintenir à un taux d'humidité constant les grandes quantités de bois nécessaires pour l'exécution des essais. Dans le cas de combinaisons d'un grand nombre de facteurs, si les essais sont répartis sur une longue période, les variations du taux d'humidité du bois rendent très difficile l'interprétation des résultats et peuvent même masquer complètement l'influence de certains facteurs. Il faut donc exécuter tous les essais en même temps, mais alors les erreurs sont lourdes de conséquences ; si l'usure des dents est beaucoup plus faible qu'il n'était prévu, la réalisation du protocole établi *a priori* demande un travail qui n'est plus en rapport avec l'intérêt des résultats obtenus. La quantité de bois disponible peut également se révéler trop faible et les essais doivent être interrompus trop tôt.

Pour éviter de tels mécomptes, nous avons décidé de ne jamais entreprendre l'étude d'une combinaison de facteurs pour un arbre donné avant d'avoir

exécuté un essai dit « standard » qui permet de classer cet arbre sur une échelle d'abrasivité, un peu arbitraire certes, mais commune à tous les bois.

Nous avons donc décidé d'appliquer cet essai standard à la plupart des bois dont nous avons en stock un volume assez important pour permettre la réalisation ultérieure d'une combinaison d'essais. Au moment où nous disposions des résultats de cet essai standard pour plus de 200 arbres tropicaux différents, et où nous pouvions envisager de concentrer efficacement tous nos moyens sur l'étude des grands facteurs de la coupe, les demandes de qualification d'essences nouvelles sont devenues très nombreuses et les arrivages de bois frais, qu'il faut essayer dans cet état immédiatement ou jamais, se sont considérablement accrus, si bien que nous avons dû exécuter un nombre d'essais standards très supérieur à celui que nous aurions souhaité. L'étude des combinaisons de facteurs et la mise au point des nouveaux contrôles n'ont pas été négligées mais se sont trouvées ralenties, si bien que nous ne pourrions pas présenter au chapitre II une méthode d'étude aussi complète que nous l'aurions voulu. En contrepartie, nous pourrions présenter dans la publication des données sur l'abrasivité de plus de 820 arbres appartenant à plus de 420 espèces botaniques différentes.

A NOS LECTEURS

Si vous ne possédez pas la collection complète des numéros de notre Revue, parus de 1947 à 1966 inclus, demandez-nous nos

RÉPERTOIRES DES ARTICLES PARUS DEPUIS 20 ANS DANS LA REVUE

“ BOIS ET FORÊTS DES TROPIQUES ”

nous vous les adresserons gratuitement. Vous pourrez alors choisir et nous commander les numéros anciens susceptibles de vous intéresser et qui se trouvent encore disponibles