

ÉTUDE DE L'USURE DES DENTS DE SCIES

par le LABORATOIRE d'USINAGE
du CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL

CHAPITRE II

MISE EN ŒUVRE DE LA MÉTHODE ADOPTÉE

par

André CHARDIN

Ancien Elève
de l'École Polytechnique

et

Jacques FROIDURE

Ingénieur E. E. M. I.



Photo Chatelain.

*Rectification de la face latérale d'une dent de scie
pour obtenir un angle de dépouille latérale de cinq degrés.*

SUMMARY

A STUDY OF THE WEAR OF SAW-TEETH PART II : APPLICATION OF THE METHOD ADOPTED

For reasons of ease of control, tests on the wear of saw-teeth are carried out using circular saws with inserted teeth, working under conditions similar to those of band-saws. The blade usually carries a single tooth. Special equipment enables the tooth to be given a very precise geometrical shape and an edge of excellent quality.

The variation in the geometrical shape of the tooth is controlled by three complementary methods : 1° linear measurement

of the quantity of metal lost, made on the clearance face of the tooth ; 2° the determination of wear profiles by $\times 500$ photographic enlargements of a replica of the tooth made with very low shrinkage epoxy resins ; 3° comparison of $\times 50$ photographic enlargements of the faces of the tooth before and after testing.

Control of the variation in force applied to the tooth in function of wear is for the time being effected only in respect of the component of the force parallel to the direction of cutting.

The evolution of the conditions of chip flow in function of wear is controlled by means of a movie camera running at a slightly slower speed than the speed of rotation of the saw blade.

Control of the quality of sawing is still very empirical.

The rise in temperature of the tooth, whose control was initially confined to observation of changes in the colour of the steel, is now controlled by means of microthermocouples.

New controls, in particular relating to variations in the component of the force perpendicular to the direction of cutting, are in preparation ; they should make it possible to establish a better correspondence between the variation in the geometrical shape of the tooth as observed in the laboratory and the behaviour of a saw-blade as observed in industrial practice.

RESUMEN

ESTUDIO DEL DESGASTE DE LOS DIENTES DE SIERRA CAPITULO II — PUESTA EN PRACTICA DEL MÉTHODO

Los ensayos de desgaste de los dientes de sierra son llevados a cabo, por razones evidentes de facilidad de control, por medio de hojas de sierra de tipo circular, con dientes móviles que se hace trabajar en condiciones cercanas a aquellas de la cinta. En general, la hoja de sierra únicamente lleva un solo diente. Un equipo especial permite dar al diente una forma geométrica perfectamente precisa y obtener una excelente calidad de la arista.

El control de la variación de la forma geométrica del diente se realiza según tres métodos complementarios : 1° la medida lineal de la cantidad de metal perdido efectuada en la cara de salida del diente ; 2° la determinación de los perfiles de desgaste por fotografía con aumento 500 de una copia del diente realizada mediante resinas epoxídicas de índice de contracción muy reducido, y ; 3° la comparación de fotografías de las caras del diente, tomadas con un aumento 50 antes y después del ensayo.

El control de la variación del esfuerzo impuesto al diente en función del desgaste únicamente se efectúa, por el momento, para la componente del esfuerzo paralelo a la dirección de corte.

El control de la evolución de las condiciones de salida de las virutas en función del desgaste se realiza mediante una cámara cuya cadencia de toma de vistas es ligeramente inferior a la velocidad de rotación de la hoja de sierra.

El control de la calidad del serrado sigue siendo aún muy empírico.

El control del aumento de temperatura del diente, limitada inicialmente a la observación de la evolución del color del acero se realiza actualmente por medio de microtermopares.

Otros nuevos controles, referentes particularmente a la variación de la componente del esfuerzo perpendicular a la dirección del corte, se encuentran actualmente en preparación y deben permitir establecer de forma cada vez mejor la correspondencia entre la variación de forma geométrica del diente observada en laboratorio y el comportamiento práctico de una hoja de sierra según se comprueba en la industria.

Au moment où nous entreprenons de décrire la méthode qui a été progressivement élaborée par le Laboratoire d'Usinage pour observer les différents aspects de l'usure et ses conséquences, nous devons faire un choix entre deux formules.

La première consiste à dégager les grandes lignes de la méthode en se limitant à ce qui est strictement nécessaire à la compréhension des documents qui sont présentés dans l'étude et en laissant de côté tout ce qui est sans rapport avec les applications industrielles.

La deuxième consiste à décrire en détail non seulement les différentes phases de l'exécution des essais tels qu'ils sont actuellement effectués mais aussi les erreurs de parcours et les tentatives infructueuses. Nous avons finalement choisi cette deuxième formule pour trois raisons principales.

Tout d'abord, bien que la masse des documents que nous possédons sur l'usure des dents de scies soit déjà assez impressionnante, l'interprétation de ces documents reste difficile. Il est donc important que les chercheurs, ingénieurs conseils et industriels qui utiliseront ces documents disposent de toutes les informations voulues pour en apprécier les limites de validité.

Il faut noter en second lieu que si nos connais-

sances sur l'usure sont encore très insuffisantes ceci est dû, comme il a été expliqué au chapitre I, au fait que la tâche à accomplir est beaucoup trop lourde pour un seul laboratoire. Si une description détaillée peut aider certains laboratoires étrangers à entreprendre des travaux sur l'usure, ou si elle donne à certains chercheurs ou scieurs l'occasion de nous faire part de remarques susceptibles d'améliorer nos méthodes, il en résultera un bénéfice pour tous.

Nous avons remarqué enfin que la plupart des scieurs qui viennent nous consulter et qui disposent ensuite d'un temps suffisant pour visiter le laboratoire, manifestent pour ces recherches un intérêt qui dépasse de beaucoup la simple courtoisie. Nombreux sont ceux qui ont exprimé le désir de recevoir le jour venu un document détaillé sur l'évolution de ces travaux.

Pour répondre à ce vœu, nous ne craignons donc pas d'entrer dans les détails : après quelques indications sur les conditions générales de réalisation des essais et sur la technique adoptée pour l'affûtage des dents, nous décrirons les différentes méthodes d'observation très sensiblement dans l'ordre chronologique de leur introduction dans le protocole des essais systématiques.

CONDITIONS GÉNÉRALES DE RÉALISATION DES ESSAIS

Les tous premiers essais d'usure effectués à l'aide d'une machine analogue à celle qu'utilisait KIVIMAA à Helsinki (23) ont mis en évidence la nécessité

(23) Cf : Eero KIVIMAA : Cutting forces in woodworking. Helsinki, 1950.

de contrôler l'usure par observation de l'outil à fort grossissement. La plupart des lames de scies utilisées dans l'industrie sont trop encombrantes pour être commodément présentées devant un microscope, surtout si les contrôles doivent être

effectués plusieurs milliers de fois par an. On peut bien envisager de présenter les dents à contrôler devant un projecteur de profil mais cet appareil ne reproduit bien que le profil le moins usé et peut par suite donner lieu à des erreurs d'interprétation importantes. Il faut donc soit utiliser des petites lames circulaires, soit pouvoir séparer les dents du corps de la lame. La première solution conduit à s'écarter tellement des conditions industrielles normales qu'elle est inacceptable, c'est pourquoi il faut choisir la seconde.

La réalisation de lames de scies à ruban à dents amovibles n'est peut-être pas actuellement envisageable pour une utilisation industrielle rentable, mais ne présenterait sans doute pas des difficultés insurmontables pour une application au laboratoire. Cette réalisation pose cependant de nombreux problèmes qu'il faudrait résoudre un par un, ce qui demanderait beaucoup de temps. Nous avons préféré consacrer ce temps à des tâches plus urgentes et nous contenter d'utiliser des scies circulaires à dents amovibles disponibles sur le marché. Si nous le pouvons, nous étudierons plus tard l'importance exacte de la variation de l'usure en fonction de la nature rectiligne ou circulaire du mouvement.

Comme les problèmes qui nous sont posés sont dans plus de 90 % des cas des problèmes de sciage au ruban, nous cherchons à reproduire le mieux possible les conditions de travail du ruban. Nous obtenons ce résultat en calant sur le chariot la pièce à scier à une hauteur telle que son centre soit au niveau de l'axe de rotation de la lame. Dans son mouvement vers la lame de scie la pièce se déplace vers le centre de la lame et non vers la périphérie comme c'est le cas sur les scies circulaires industrielles. La disposition relative de la pièce de bois et de la lame est indiquée sur la figure 2.

Pour que la direction de coupe soit constamment presque perpendiculaire à la direction des fibres, il faut préparer des éprouvettes spéciales obtenues par juxtaposition de pièces dont les fibres sont orientées dans la direction voulue comme il est indiqué sur la figure 3. La préparation de telles éprouvettes imposerait à l'atelier de menuiserie un tel surcroît de travail que nous avons dû y renoncer sauf pour les essais destinés à contrôler l'équivalence pratique des résultats obtenus en employant ces éprouvettes et en em-

ployant des pièces de bois massif. Ces essais ont montré que si la direction de coupe fait avec le plan perpendiculaire aux fibres un angle qui varie de -15° à $+15^\circ$, comme c'est le cas dans la majorité de nos essais, au lieu d'être constamment très faible comme c'est le cas pour des éprouvettes composites on n'enregistre pas de différence sensible.

Si l'on veut se tenir toujours dans ces limites, il faut soit monter la dent sur des disques de très grand diamètre, soit limiter la hauteur de coupe. À rigidité égale, les disques de grand diamètre

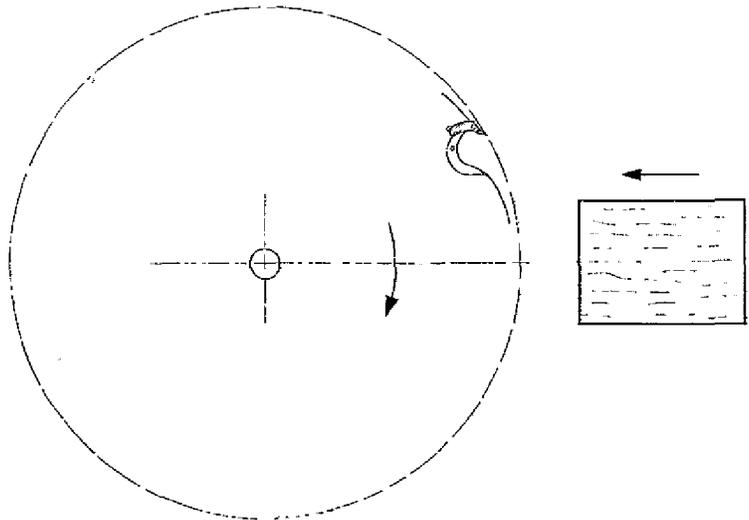


FIG. 2. — Mode de présentation de l'éprouvette de bois devant la scie. La pièce avance dans la direction du centre de la lame.

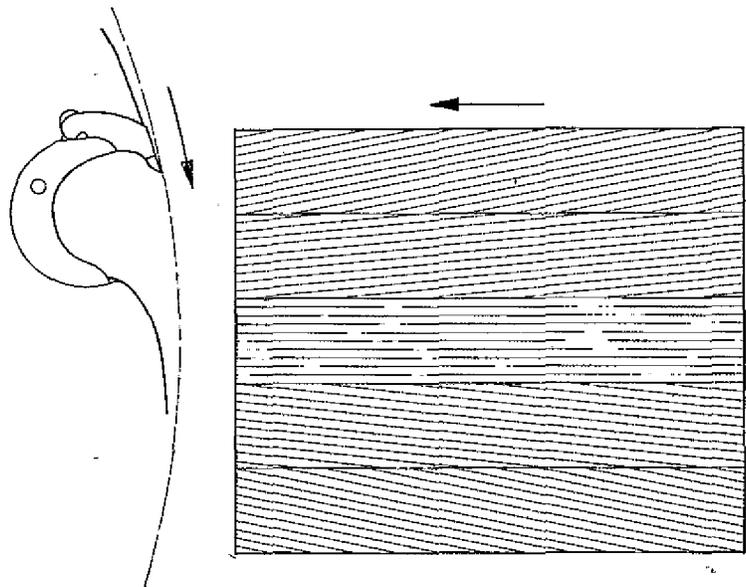


FIG. 3. — En disposant convenablement cinq planches de 3 cm d'épaisseur dont l'une est de droit fil, deux ont les fibres inclinées de 6° et deux les fibres inclinées de 12° par rapport à la face des planches on peut obtenir un bloc de bois dont les fibres sont toujours perpendiculaires à la direction de coupe à 3 degrés près.

sont nécessairement plus épais que les disques de diamètre modéré, pour ne pas s'écarter exagérément de l'épaisseur d'un grand ruban, il faut accepter un compromis. Nous avons finalement choisi un disque de 24 pouces (61 cm) et nous savons que lorsque la hauteur de coupe est assez élevée — le maximum étant 30 cm — les résultats sont légèrement perturbés en raison de l'importance de l'inclinaison des fibres et des variations de l'épaisseur des copeaux.

L'emploi de dents amovibles n'a pas comme seul avantage la facilité des contrôles : les différents producteurs proposent des dents en acier au carbone faiblement allié, des dents en acier rapide, des dents stellites et des dents chromées ; la comparaison de la résistance à l'usure de ces différents matériaux peut donc être faite très simplement. On peut également réaliser des dépôts de métaux durs et divers traitements de surface beaucoup plus librement que si la dent faisait corps avec la lame. On peut même braser ou coller sur la dent des plaquettes de l'acier que l'on veut étudier, comme nous l'avons fait pour comparer la tenue des aciers suédois à celle des aciers américains.

Dans la plupart des cas, les essais d'usure sont réalisés en montant une seule dent sur le disque

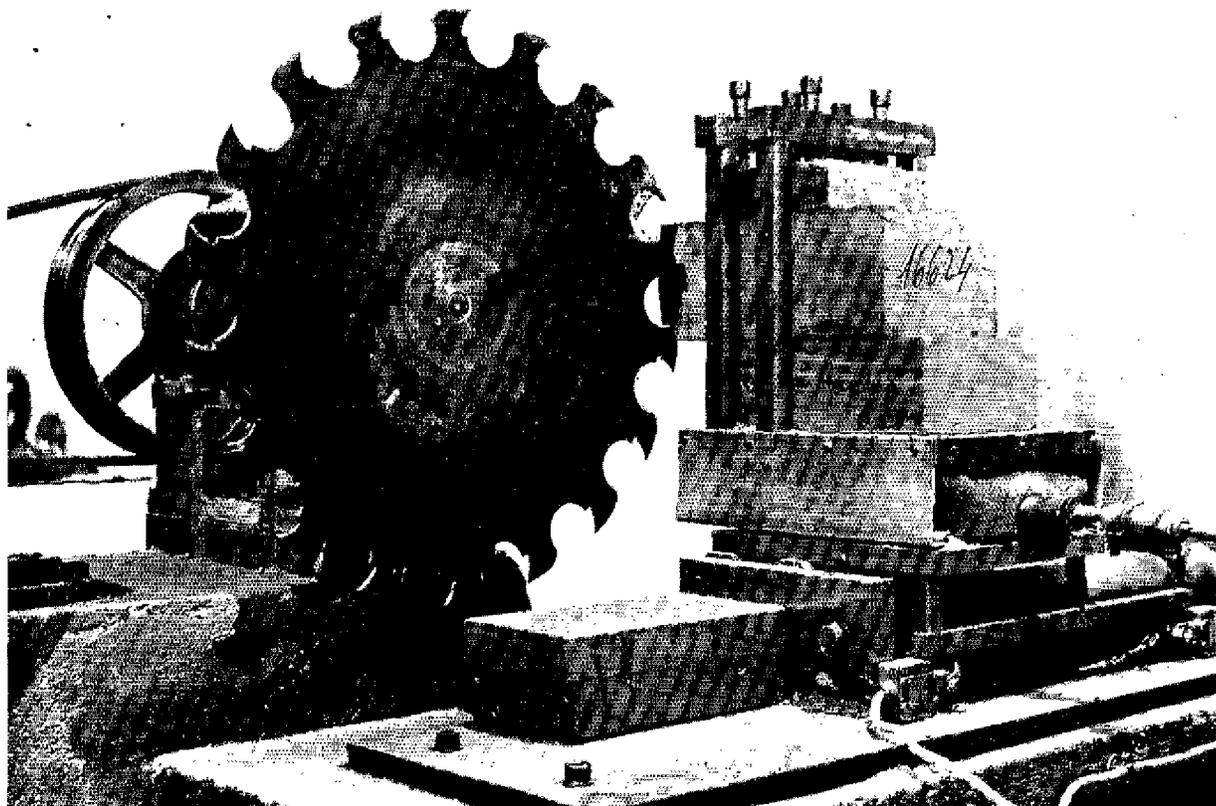
de scie circulaire. Bien entendu, pour maintenir le centre de gravité du disque très près de son centre géométrique, nous montons dans le logement diamétralement opposé à celui qu'occupe la dent essayée une autre dent, mais celle-ci est suffisamment tronquée pour ne pas participer à la coupe.

L'emploi d'une seule dent présente bien des avantages. Tout d'abord, la dent étant unique, nous sommes sûrs qu'elle a effectué tout le travail alors que pour une lame garnie de nombreuses dents il n'est pas certain que la coupe soit également répartie entre toutes. Il est également plus facile d'imposer à la dent des conditions de travail très dures, même si le moteur entraînant la scie est peu puissant.

L'avantage le plus substantiel pour un laboratoire qui est installé à plusieurs milliers de kilomètres des forêts tropicales est la faible consommation de bois. Une lame de scie à ruban porte environ deux cents dents, en utilisant une seule dent, nous pouvons exécuter un beaucoup plus grand nombre d'essais tout en conduisant ceux-ci beaucoup plus loin que si nous utilisions une scie industrielle. En cas d'urgence, les échantillons peuvent même être acheminés par avion sans qu'il en résulte des frais exagérés.

La lame de scie à dents amovibles de 61 cm de diamètre utilisée pour les essais porte presque toujours une seule dent active.

Photo Chatehain.



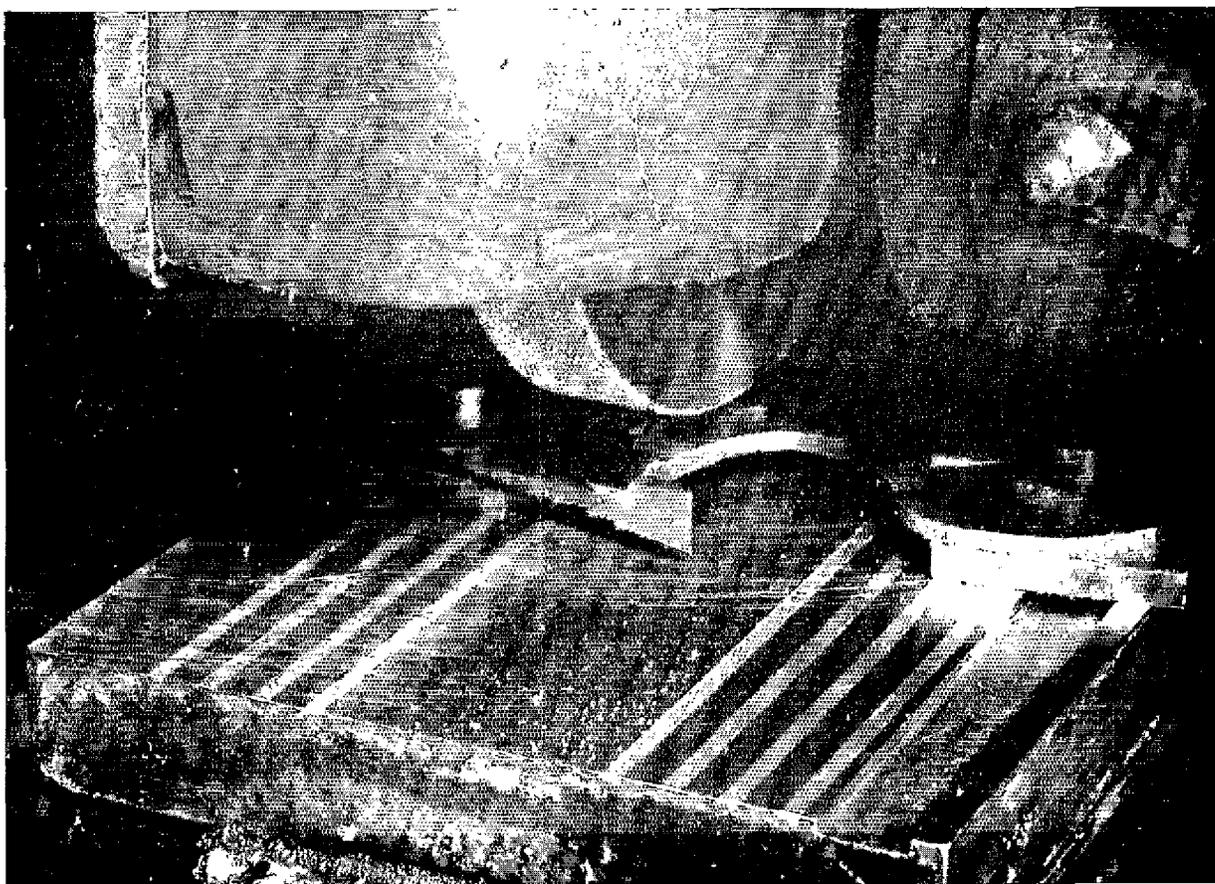


Photo Chatelain.

Rectification de la 1^{re} face latérale du corps de la dent.

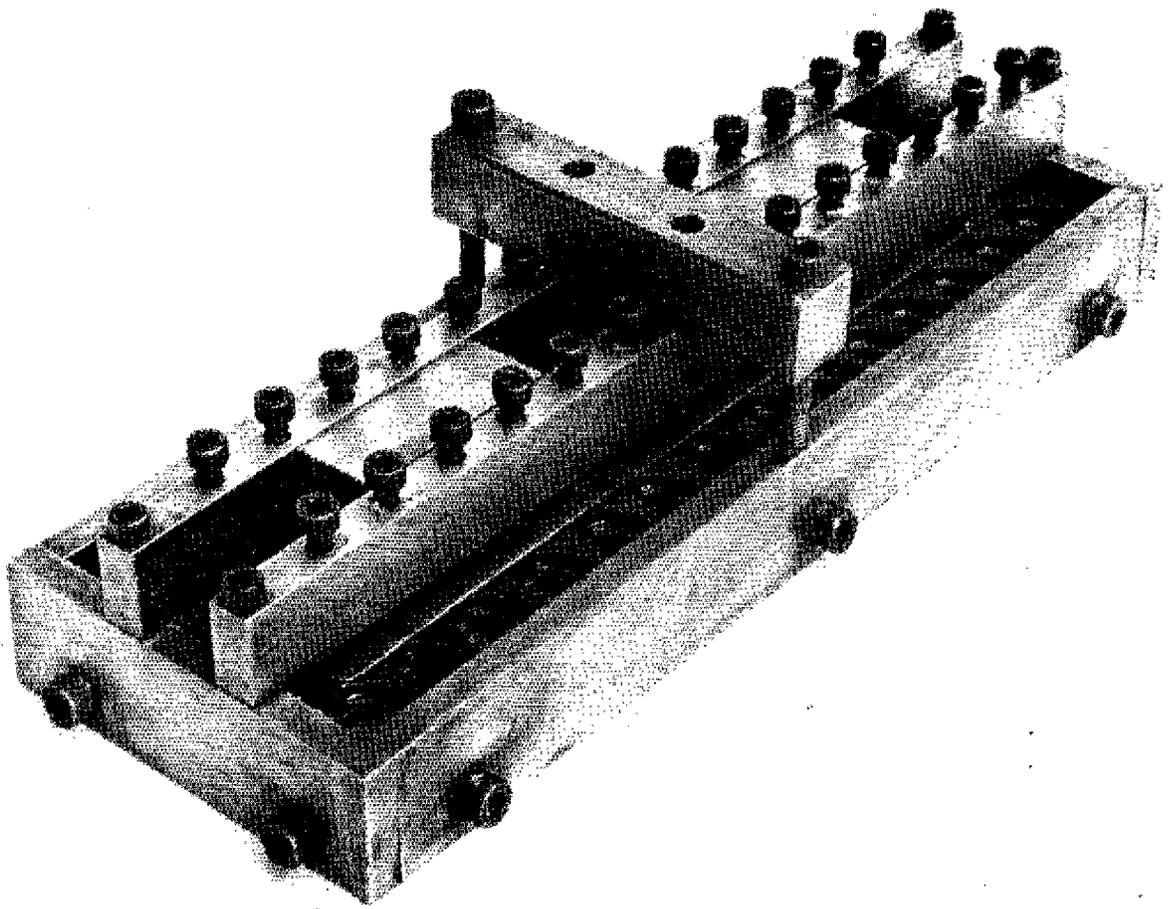
MISE EN FORME ET AFFÛTAGE DES DENTS

Les dents amovibles sont fabriquées industriellement en très grande série. Leur forme est très constante mais n'est pas adaptée à la fixation sur les appareils de contrôle du laboratoire. Il faut donc d'abord leur donner une forme géométrique bien définie. Pour cela, on commence par rectifier les faces latérales du corps de la dent. Cette rectification n'affecte que les parties de ces faces situées à plus de 10 mm de l'arête. Pour la rectification de la première face, les dents sont meulées une par une, on les monte sur un support découpé dans une lame à dents rapportées normale et fixé sur une plaque d'acier que l'on pose sur le plateau magnétique de la rectifieuse. Cette rectification individuelle étant longue, on préfère l'éviter pour la deuxième face. Les dents sont appliquées 30 par 30 environ sur des plaques d'acier bien planes, puis enrobées partiellement dans de l'araldite. Après rectification de l'ensemble des 30 dents en une seule opération, on libère les dents en désagrégant l'araldite par immersion prolongée dans un solvant (24). Après

ces opérations, la dent comporte deux faces planes parallèles entre elles et parallèles au plan des disques de scies circulaires sur lesquels elle sera montée. Il faut alors procéder à l'affûtage.

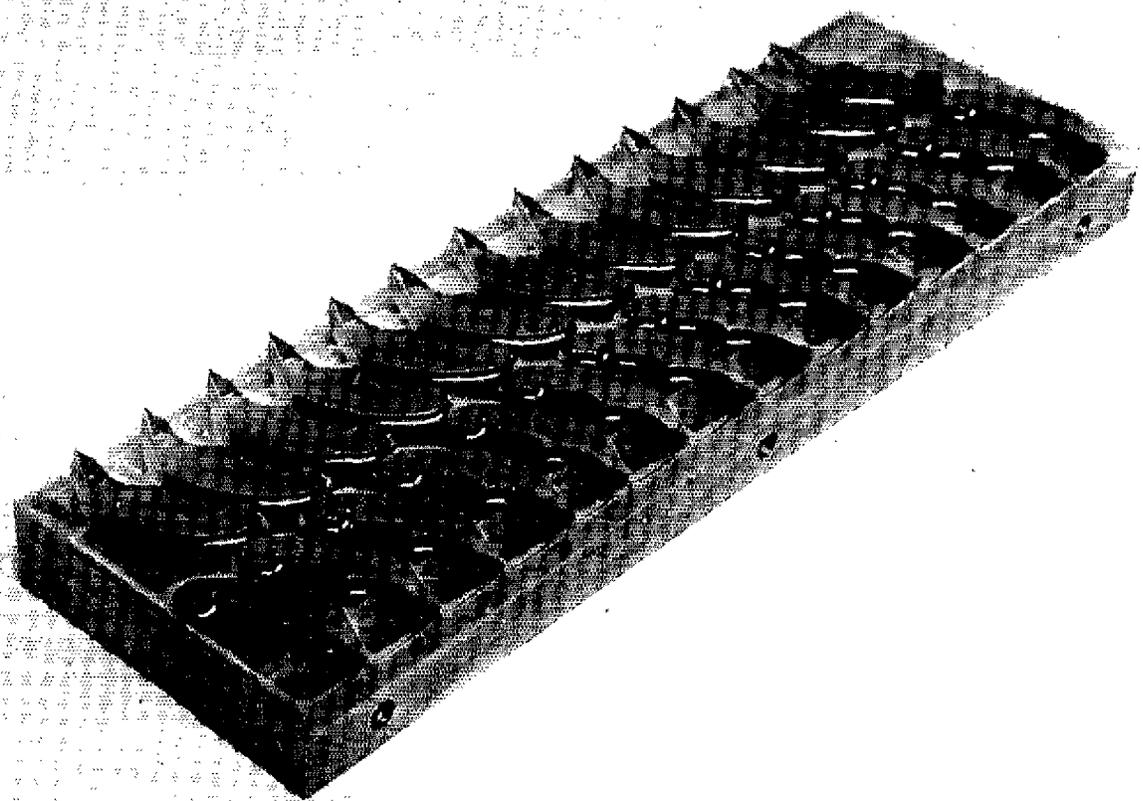
Il est très important pour pouvoir comparer facilement les résultats des différents essais et pour garantir la précision de certains des contrôles qui seront décrits plus loin, de donner à la dent une forme géométrique tout à fait conforme aux spécifications choisies. Pour éviter les erreurs de réglage des angles d'affûtage qui se produiraient inévitablement de temps à autre, et dont on ne s'apercevrait que trop tard, et pour faciliter le travail, on utilise une méthode d'affûtage qui permet de supprimer tout réglage sur la machine. Les dents sont fixées rigidement sur des supports spéciaux en forme de losange. Pour la préparation des dents par petites séries ces losanges sont placés par quatre sur le plateau magnétique d'une rectifieuse. La face du plateau ayant été rectifiée sur place est très rigoureusement parallèle au mouvement de la table. L'affûtage est réalisé en deux temps. L'ébauche est faite par une meule vitrifiée cylindrique au grain 150 dont l'axe de rotation

(24) -- Comme solvant on emploie un mélange de 10 p. p. de chlorure de méthylène pour 1 p. p. d'alcool méthylique.



Montage pour maintenir les dents bien à plat sur une plaque d'acier rectifiée avant enrobage partiel dans une résine époxy.

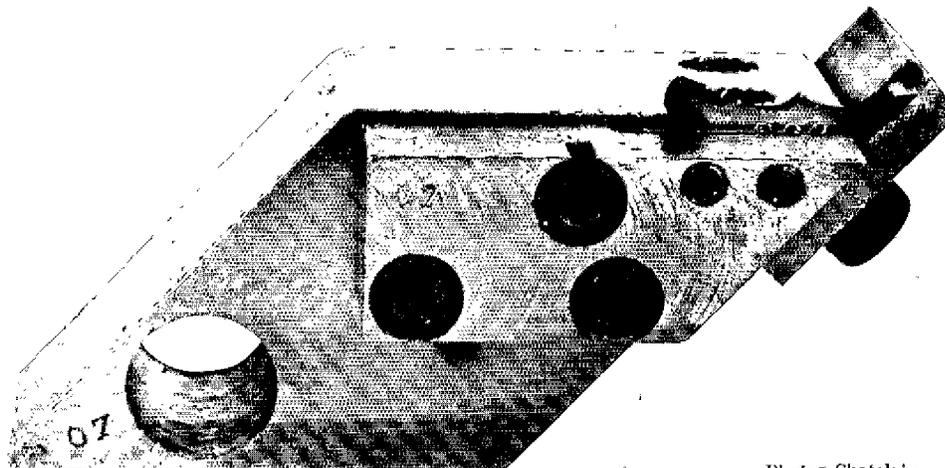
Photo Chatelain.



Ensemble de dents fixées sur une plaque d'acier en vue de la rectification de la 2^e face latérale du corps des dents.

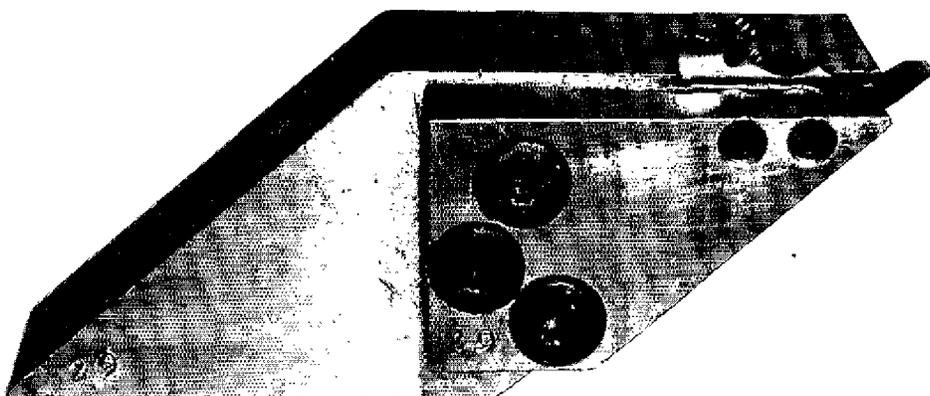
Photo Chatelain.

est parallèle au plateau et perpendiculaire au mouvement de la table. La finition est faite par une meule lapidaire à liant résinoïde au grain 600 dont l'axe de rotation est perpendiculaire au plateau. Les meules sont retouchées avec un diamant avant chaque série d'affûtage et les losanges disposés de telle sorte que tous les points de la face active de la meule participent au travail. Pour que l'affûtage soit de haute qualité, il faut que le mouvement de montée du plateau magnétique vers la meule soit très lent et très précis. Pour obtenir ce résultat on a fixé le plateau magnétique sur une sorte de coin qui se déplace sur une rampe dont l'inclinaison



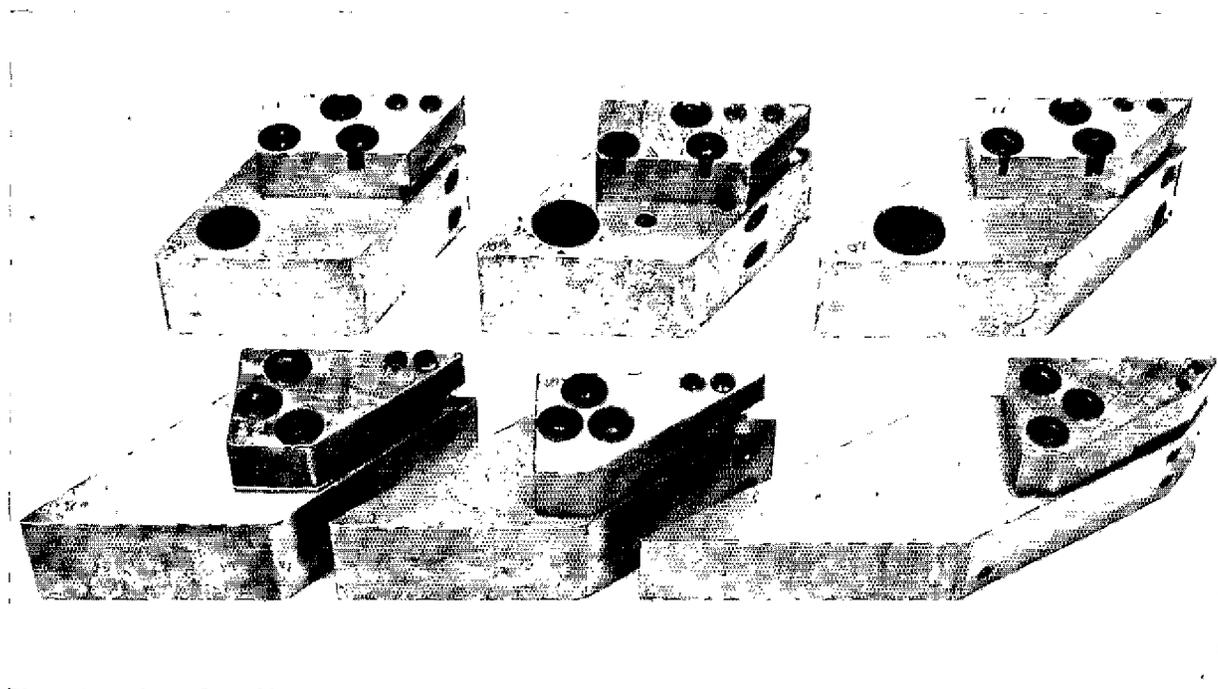
Photos Chatelain.

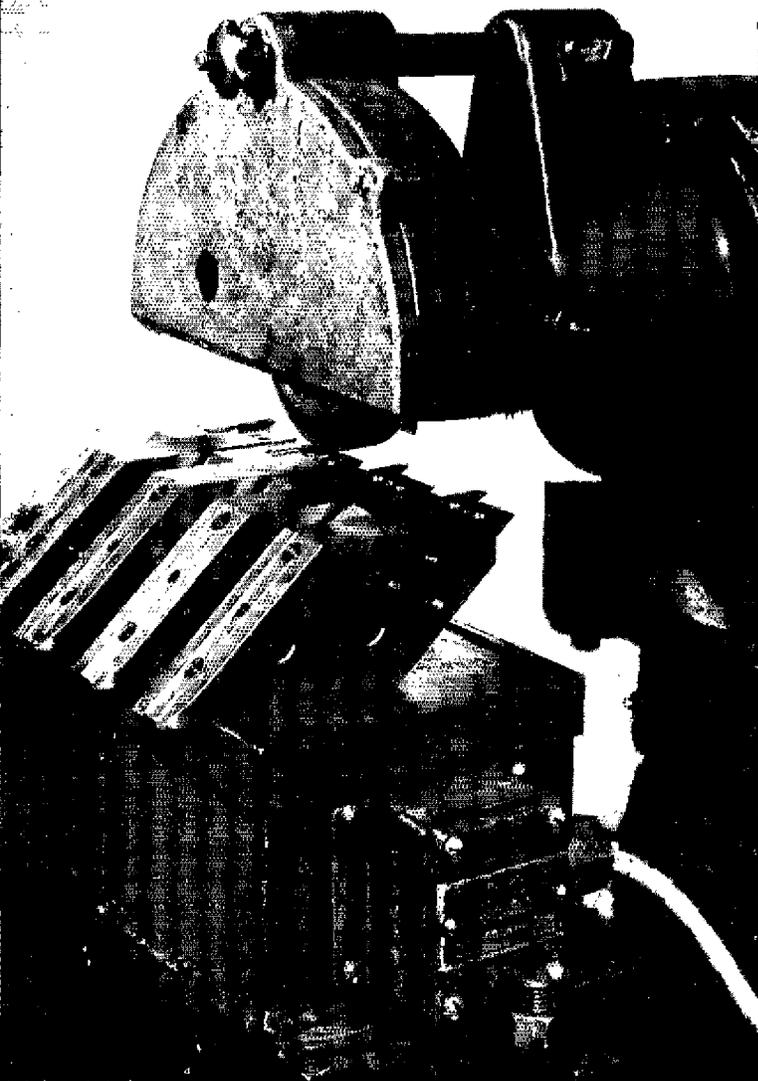
*Réglage de la dent par rapport à son losange - support à l'aide d'un calibre.
Le calibre est enlevé dès que la dent est fermement fixée au support.*



Losanges de différentes formes permettant d'obtenir les angles de bec choisis pour chaque essai.

Photo Chatelain.





Affûtage en ébauche d'une petite série de 4 dents.

Photo Chatelain.

dité varie de 0,08 à 1,3 g/cm³ et comme il peut être quelquefois instructif de déborder les conditions industrielles courantes, nous avons réalisé des losanges pour huit angles de bec différents (25). En pratique, la répartition des essais entre les différents angles est très inégale, les deux angles de bec les plus employés étant l'angle de 42° pour l'acier ordinaire et l'acier rapide, et l'angle de 48° pour les dents stellitées.

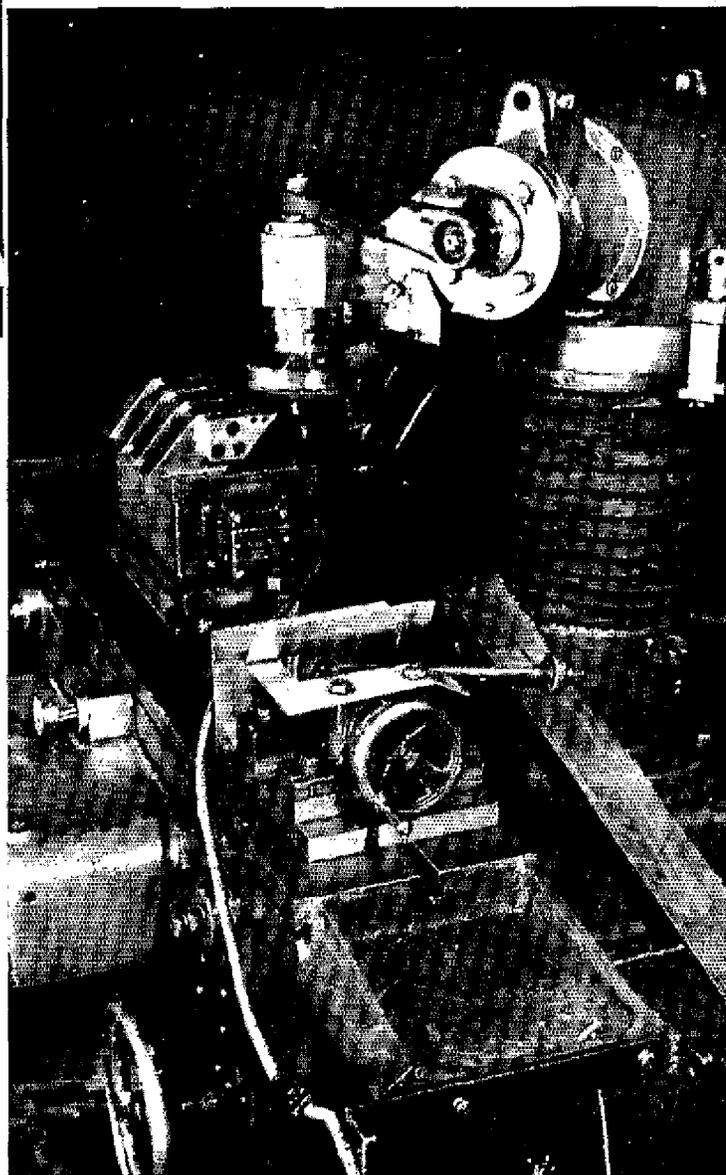
Si elle est correctement appliquée, la méthode d'affûtage qui vient d'être décrite est très satisfaisante mais impose un travail très long, c'est pourquoi pour l'angle de 42°, qui est le plus courant, l'affûtage des dents par groupes de quatre a été remplacé par un affûtage par séries de 16 dents. Une affûteuse spéciale dont on voit la photographie ci-contre a été construite pour réaliser cette opération. Les losanges ne sont plus collés sur un pla-

(25) — 30°, 36°, 42°, 48°, 51°, 54°, 57° et 60°.

est de 1/25°. A chaque aller et retour de la table de la rectifieuse, ce coin se déplace horizontalement de 1/40° de millimètre en moyenne ce qui fait que son déplacement vertical est en moyenne d'un micron par aller et retour. L'affûtage d'ébauche se fait à sec ; pour la finition on projette sur la meule un très fin brouillard d'huile.

Après affûtage, la face de la dent est remarquablement plane et très rigoureusement parallèle à la face du losange qui a été posée sur le plateau, si bien que quand les deux faces sont affûtées, l'angle de bec de la dent est égal à l'angle du losange.

Il faut fabriquer autant de séries de losanges que l'on veut introduire d'angles de bec dans les essais, mais ceci n'est pas très grave. On peut, en effet, choisir au début un nombre d'angles très réduit puis en introduire de nouveaux progressivement. Ce travail de préparation est d'ailleurs fait une fois pour toutes, les losanges n'étant soumis à aucune fatigue ne s'usent pratiquement pas. Comme nous pouvons avoir à résoudre des problèmes de sciage pour toutes les essences tropicales dont on sait que le poids spécifique à 12 % d'humidi-



Affûtage en finition d'une petite série de 4 dents.

Photo Chatelain.

teau magnétique mais fixés mécaniquement sur un grand disque qui tourne devant la meule. Celle-ci travaille en lapidaire aussi bien pour l'ébauche que pour la finition (26). L'avance du disque vers la meule se fait suivant un plan très peu incliné si bien que l'on peut sans difficulté obtenir une approche moyenne d'un micron par tour de disque.

Les méthodes d'affûtage qui viennent d'être décrites permettent d'obtenir un angle de bec constant et précis (27). Il reste à fixer l'angle d'attaque ou l'angle de dépouille. En montant les dents américaines que nous recevons sur différentes lames, nous avons constaté que l'angle de dépouille est très constant et sensiblement égal à 8°. De très légères variations de cet angle se traduiraient par de très légères variations de l'angle d'attaque qui n'auraient pas du tout pour les contrôles ulté-

(26) Les caractéristiques des meules sont les suivantes :

Dimensions :

diamètre extérieur	125 mm
diamètre intérieur	105 mm
hauteur	40 mm

Référence : Meules Norton
Ebauche : 38 A 150 G 7 B.
Finition : 38 A 600 G 9 B

(27) Sauf si l'on ne réalise pas assez fréquemment le taillage de la meule ou si l'on dispose mal les dents par rapport à la meule. Cette dernière erreur n'est d'ailleurs plus possible dans l'affûtage en série, la position des losanges étant imposée par construction.

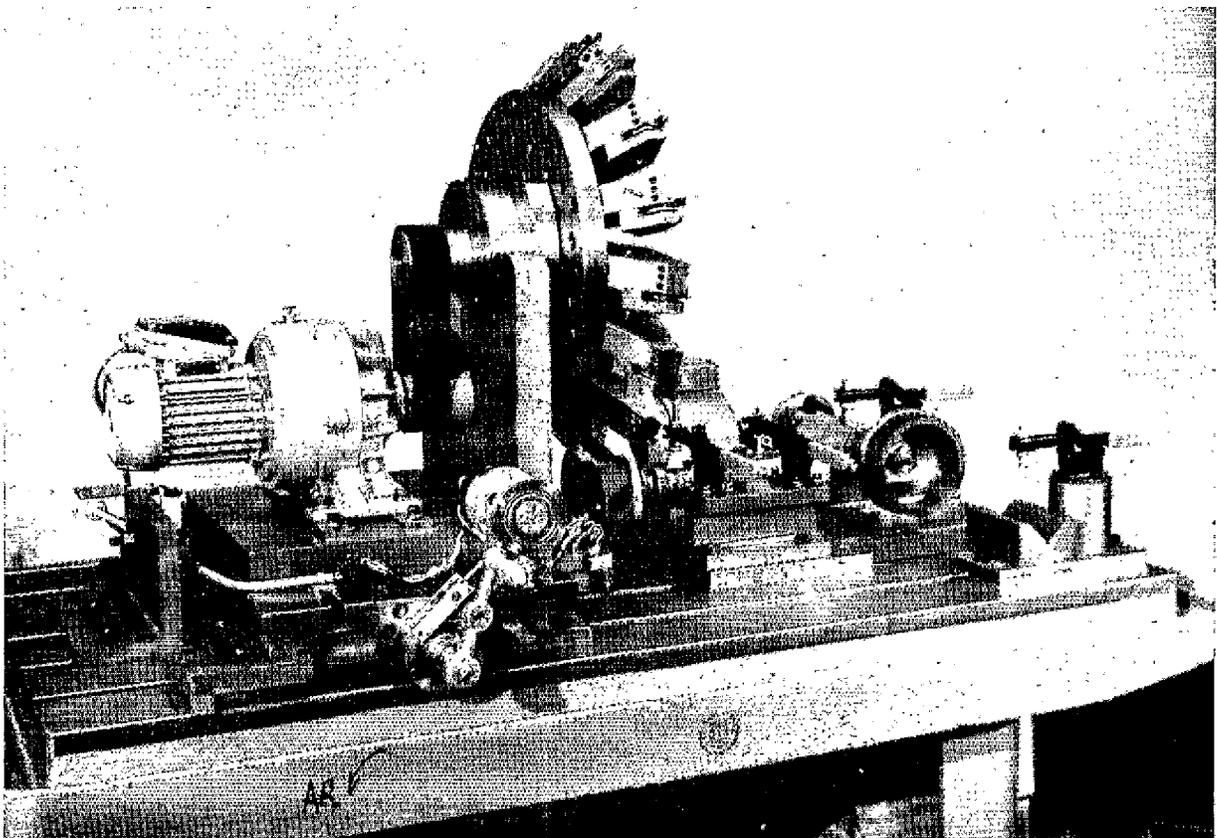
rieurs, la même importance que les variations d'angle de bec. Par mesure de simplification, nous avons donc admis pour tous les essais courants que les dents livrées par notre fournisseur habituel donnent, si elles ne sont pas modifiées, un angle de dépouille de 8°. Si nous voulons conserver cet angle pour nos essais, nous devons disposer les dents sur les losanges de telle sorte que la face de dépouille d'origine soit parallèle à l'une des faces du losange. Un petit calibre permet de contrôler avec précision ce parallélisme. Si nous voulons obtenir un angle de dépouille différent, il faut au contraire monter la face de dépouille d'origine en position inclinée par rapport au losange. Nous contrôlons cette inclinaison à l'aide de calibres (28).

Pour compléter la définition géométrique des dents symétriques (qui seules nous intéressent pour le moment) il reste à fixer la voie totale et l'inclinaison des faces latérales. Il est très facile de se procurer des dents de différentes largeurs. Les dimensions standard sont assez voisines les unes des autres ; elles sont exprimées en fractions de pouce si bien qu'elles ne correspondent pas à des multiples exacts du millimètre mais ceci est sans importance pratique. Pour l'inclinaison des faces

(28) Des calibres ont été réalisés pour diminuer l'angle de dépouille de 3 ou 6 degrés ou l'augmenter de 3, 6, 9 ou 12 degrés.

Machine spéciale pour l'affûtage des dents par séries de seize.

Photo Chatelain.



latérales de la dent, la solution la plus économique consiste à adopter celle du fournisseur américain ; dans certains cas cependant, pour vérifier si la forme d'origine est la mieux adaptée il faut réaliser un affûtage latéral différent. Nous avons fabriqué des supports de dents spéciaux pour effectuer cet affûtage. Celui-ci est défini par le choix de deux angles : l'angle que fait le plan du support avec le plan de la table de la rectifieuse — 5°, 10° et 15°

CONTRÔLE GÉOMÉTRIQUE DE L'USURE

L'étude de l'évolution de la forme géométrique de la dent est réalisée par trois méthodes différentes qui se complètent et permettent des contrôles réciproques de la précision de chacune d'elles. D'autres méthodes ne sont employées que pour des études tout à fait spéciales et ne seront pas décrites ici.

Les trois méthodes adoptées sont très analogues dans leur principe : un élément de la géométrie de la dent convenablement choisi est mis en mémoire avant la coupe, puis après exécution de différentes quantités de travail, on compare ensuite l'état initial et les états successifs de cet élément dont on suit ainsi l'évolution. Celle-ci nous donne de l'usure une connaissance d'autant plus sûre et plus complète que l'élément a été plus judicieusement choisi, qu'il est enregistré avec plus de précision et qu'il est porteur d'une plus grande quantité d'information. Il ne semble pas possible de trouver un élément qui a lui seul soit porteur de toutes les informations souhaitables c'est pourquoi il faut recourir à plusieurs contrôles.

A. — *Mesure linéaire de l'usure*

Un moyen de mise en mémoire extrêmement simple et employé quotidiennement par des millions de personnes consiste à inscrire un nombre sur une feuille de papier que l'on conserve. Ce moyen est si économique que l'on cherche en général à en épuiser les possibilités avant d'avoir recours à d'autres. Bien des éléments de la géométrie d'une dent de scie peuvent être exprimés par des nombres, mais ils ne le sont pas tous aussi facilement, ni aussi clairement. L'élément le plus simple dont un nombre unique puisse sans ambiguïté exprimer la mesure est sans doute la longueur. Il est donc tout à fait naturel de tenter d'exprimer l'usure par la variation de la longueur d'un élément de l'outil. Ceci a été fait très souvent dans les études sur l'usure des fers de toupie et a permis dans bien des cas de donner aux problèmes qui se posaient une réponse suffisante pour qu'il ne paraisse pas nécessaire de recourir à des méthodes plus complexes.

L'élément doit être choisi judicieusement, il faut que sa longueur soit facile à mesurer avec la précision souhaitée et que ses variations soient en corrélation aussi étroite que possible avec l'importance de l'usure.

Dans le cas, cité ci-dessus, des fers de toupie et

dans nos montages — et l'angle que fait le plan bissecteur du dièdre formé par les faces d'attaque et de dépouille avec la direction du mouvement de la table — le choix de cet angle est libre dans nos montages mais un calage spécial permet de rendre le plan bissecteur perpendiculaire au mouvement. Cet affûtage des faces latérales de la dent est en général effectué avant l'affûtage des faces d'attaque et de dépouille.

particulièrement dans les études sur l'abrasivité des colles pour contreplaqué, il peut être commode de choisir un élément dont la longueur est nulle quand l'outil n'a pas encore travaillé. On fait ainsi l'économie de la première mise en mémoire et de toutes les soustractions nécessaires pour calculer les différences entre les longueurs avant et après usure. On profite du fait que l'arête de l'outil ne travaille pas sur toute sa longueur, pour utiliser la partie intacte comme mémoire. La méthode consiste donc à mesurer sur une des faces du couteau la distance entre la droite qui passe par les parties de l'arête qui n'ont pas travaillé et le fond du cran provoqué par la coupe (29).¹

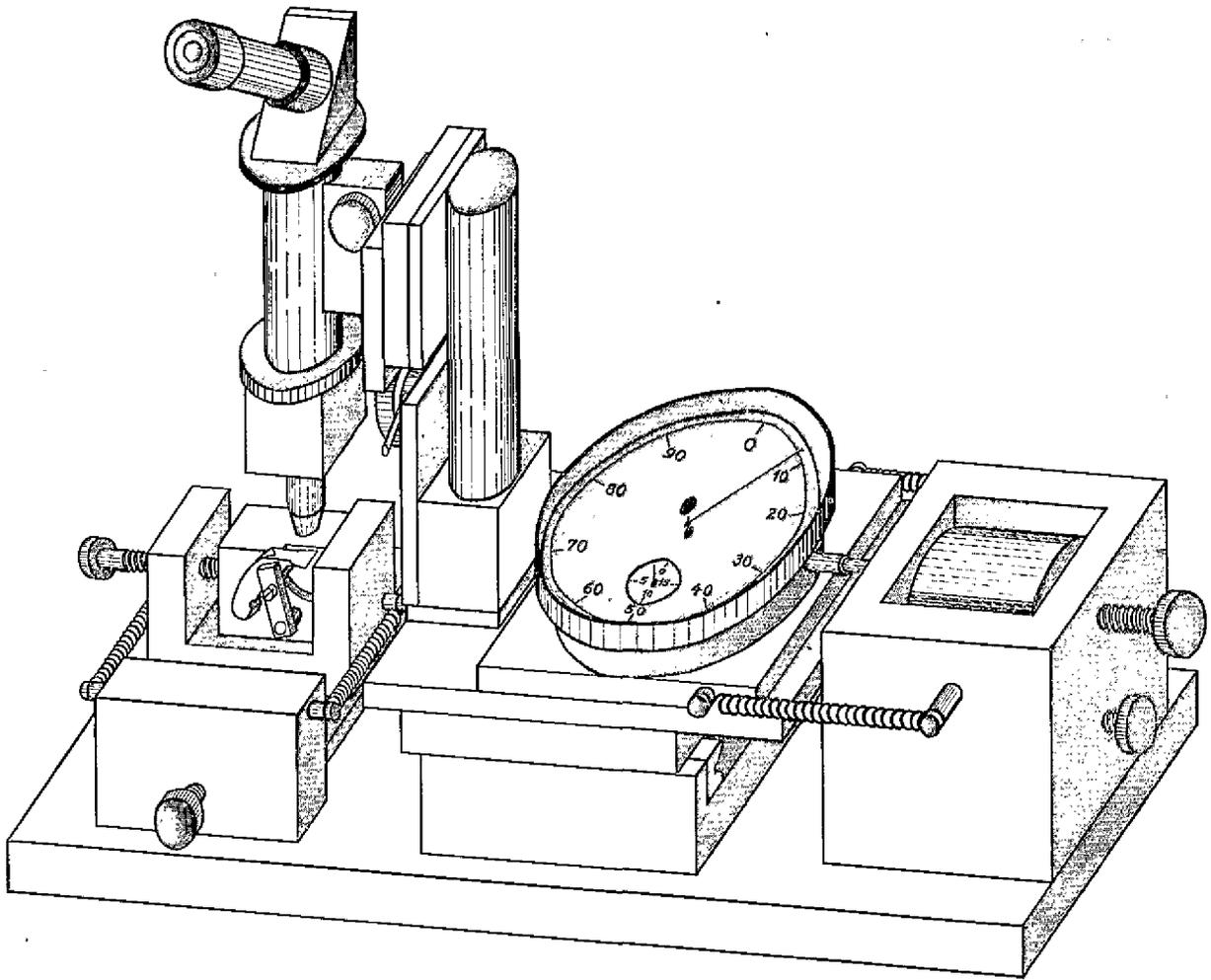
Dans le cas du sciage, l'arête travaille sur la totalité de sa longueur, l'emploi de la même méthode est donc impossible. La solution qui paraît alors la plus naturelle consiste à choisir comme élément à observer la distance entre un point fixe de l'outil et l'arête. Cette distance étant mesurée avant et après la coupe, on obtient par différence une mesure linéaire de la quantité de métal qui a disparu.

Cette méthode, très simple en apparence, pose quelques problèmes.

Il faut d'abord choisir un point de repère. La nécessité de marquer sa position conduit à prendre ce point sur une des faces de l'outil, mais faut-il choisir la face d'attaque ou la face de dépouille ? Faut-il le mettre dans l'axe de symétrie de la face ou sur le côté ? Faut-il le mettre près ou loin de l'arête ?

Pour éviter de répondre arbitrairement à toutes ces questions, nous avons exécuté un certain nombre d'essais en choisissant des repères sur une face et sur l'autre, près et loin de l'axe de symétrie et près et loin de l'arête. Ces essais ont montré que les conditions d'usure sont si variées qu'il faudrait adapter le choix du repère à chaque grande catégorie de cas. En bois siliceux, un repère disparaît plus vite en attaque qu'en dépouille si les copeaux coupés sont épais, et au contraire plus vite en dépouille qu'en attaque si les copeaux coupés sont minces. Un repère voisin de l'arête est préférable en bois peu abrasif mais inutilisable dans les autres cas, etc...

(29) Cf : par exemple « Les aciers à outils et l'usinage des bois collés ou contreplaqués »-Institut National du Bois. Etude Technique N° 2-Paris 1950.



Vue en perspective cavalière du microscope équipé pour le marquage des repères à l'aide d'un diamant.

En pratique, pour l'organisation du travail, il est assez gênant d'utiliser parallèlement plusieurs systèmes différents. Plutôt que de s'adapter à chaque cas on doit donc choisir un système unique, moins parfait, mais acceptable dans la quasi-totalité des cas. Nous prenons finalement quatre points de repère placés sur la face de dépouille à environ 900 microns de l'arête.

Un autre problème assez délicat à résoudre concerne la définition de l'élément observé. Quand l'outil est finement affûté les choses sont très claires, l'élément dont on mesure la longueur est le segment de droite compris entre le point et l'arête et perpendiculaire à celle-ci. Quand l'outil est usé on peut admettre que ce qu'il faut mesurer c'est la partie restée intacte du segment de droite primitif; c'est une position très logique et très stricte mais qui peut présenter certains inconvénients. Tout d'abord il est possible que la mesure de l'usure obtenue de cette façon rende assez mal compte de l'état objectif de la dent. Une définition un peu moins rigide serait peut être mieux adaptée. On pourrait par exemple imaginer d'appeler arête

la dernière ligne visible au microscope lorsque l'observation est faite perpendiculairement à la face de dépouille et mesurer la distance entre le repère et cette ligne.

Il faut noter également qu'il est quelquefois très difficile de déterminer la limite de la partie réellement intacte de la face de dépouille. Il serait dangereux de ne pas tenir compte de cette difficulté dans la définition de ce qui est à mesurer.

Le choix n'est donc pas simple et nous ne l'avons pas toujours fait de la même manière car il est un peu lié au but que l'on assigne à ces mesures. Au début, quand la mesure linéaire de l'usure constituait la partie principale de nos observations, nous attachions beaucoup d'importance à sa signification propre; pour chaque point de repère nous adoptons donc, pour les mesures linéaires de l'usure, deux méthodes différentes: mesure de la longueur de la partie restée intacte du segment primitif et mesure de la distance entre le repère et la dernière ligne visible de l'outil; à titre de précaution complémentaire, nous plaçons des points de repère sur les deux faces de la dent.

L'introduction des méthodes d'observation de l'usure qui seront décrites plus loin a conduit à donner aux mesures linéaires un sens nouveau, elles se présentent désormais, d'une part, comme un moyen de contrôle de la qualité des autres observations, et d'autre part, comme un guide pour le choix du moment où l'on peut procéder avec le maximum de profit à ces observations. Dans cette nouvelle perspective, les inconvénients de l'emploi d'une méthode de mesure assez stricte deviennent relativement secondaires, si bien que l'on préfère donner à ces mesures un caractère aussi impersonnel que possible. Les observations sont faites uniquement sur la face de dépouille de la dent et perpendiculairement à cette face. Un calibre spécial permet de régler cette perpendicularité avec grande précision. L'illuminateur du microscope est réglé pour que les rayons lumineux soient très peu inclinés par rapport à l'axe de l'objectif si bien que la face de l'outil apparaît très brillante dans toute la partie non usée et, au contraire, très sombre dans la partie usée. Le contraste entre les deux plages est en général excellent ; la mesure est donc faite entre le point de repère et la ligne qui borde la plage brillante.

La méthode utilisée pour marquer les repères et faire les mesures a été mise au point en tenant compte du nombre d'opérations à réaliser. Il faut en moyenne marquer 2.500 points de repère et faire 25.000 mesures de distance par an. Ceci justifie pleinement la construction d'un appareil spécial. Celui-ci comprend deux parties principales fixées sur une même plaque servant de base.

La première partie est une table à mouvements croisés sur laquelle on vient brider le petit parallélépipède sur lequel on a fixé la dent. Les deux mouvements sont contrôlés par des vis micrométriques et perpendiculaires l'un à l'autre, ils permettent d'amener n'importe quel point de la dent dans l'axe du microscope. L'amplitude des mouvements est contrôlée par des verniers gradués en centièmes de millimètre.

La deuxième partie comprend une table à glissière Schneeberger (30) sur laquelle est fixé le microscope et un dispositif de contrôle du mouvement de cette table. Le mouvement de la table est parallèle à la direction de l'un des déplacements de la table à mouvements croisés.

Le microscope est du type métallographique d'atelier modèle Metatest de REICHERT légèrement transformé pour permettre le marquage des repères. La transformation consiste à intercaler entre l'ensemble principal du microscope et le bâti qui lui sert de support une table à glissière Schneeberger orientée de telle sorte que la direction de son déplacement soit verticale. Une came permet d'agir sur

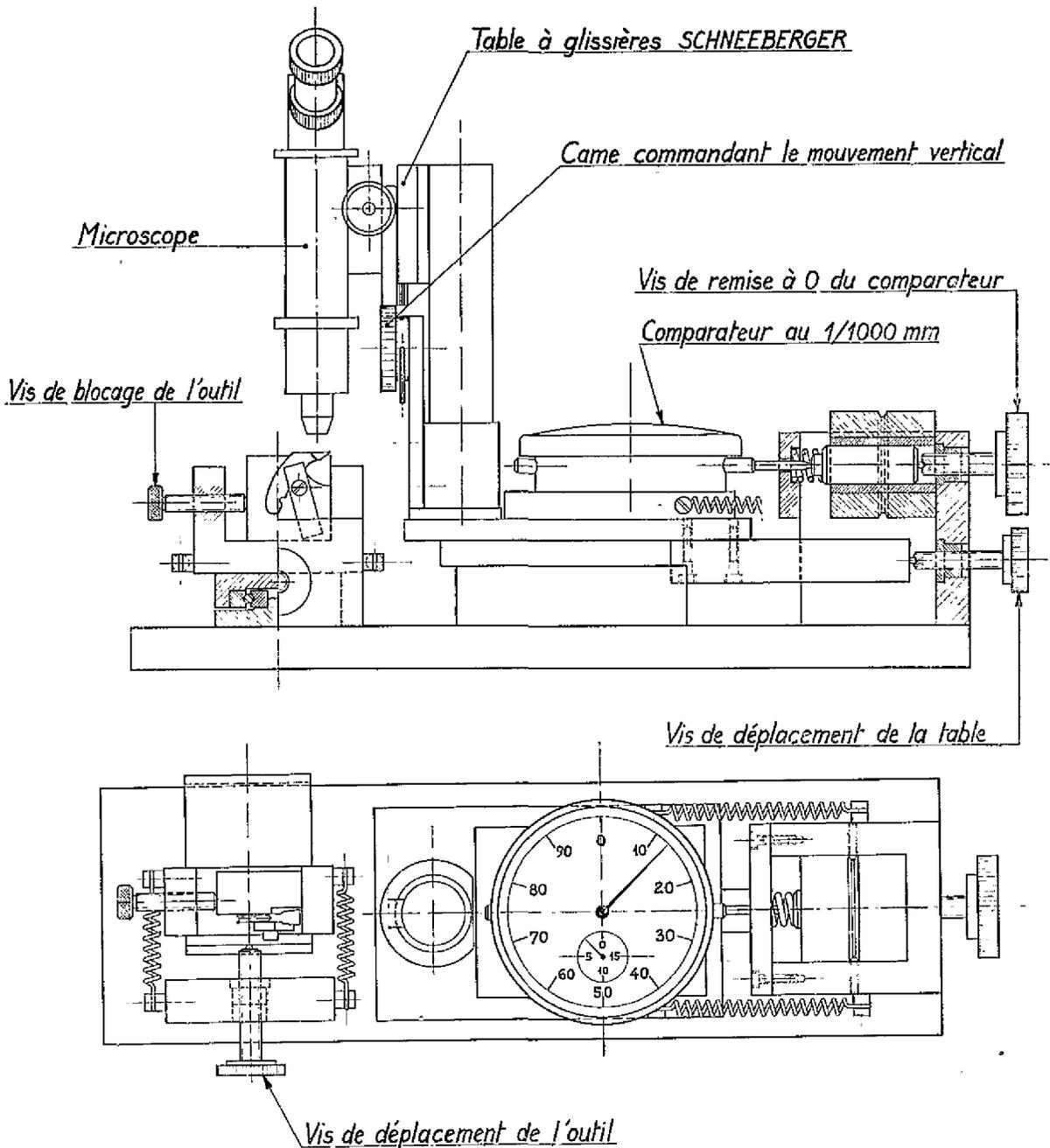
la partie mobile de la table pour faire monter ou descendre tout le microscope.

Pour marquer un repère sur la dent on déplace celle-ci à l'aide des vis micrométriques de la table à mouvements croisés afin d'amener le point choisi à la croisée des fils du réticule du microscope, celui-ci étant à la position haute. On remplace alors l'objectif du microscope par un cylindre qui porte à sa partie inférieure une pyramide en diamant. En agissant sur la came on laisse descendre doucement tout l'ensemble mobile du microscope dont la masse totale est d'environ 2.500 g, le diamant fait alors une empreinte dont le centre, bien visible, peut servir de repère même si, comme il arrive parfois, la forme des bords est un peu modifiée par une friction du bois sur cette région de l'outil.

Pour connaître la distance entre le point et l'arête on mesure la quantité dont il faut déplacer le microscope pour aller de l'un à l'autre quand la dent reste fixe. Ce déplacement est contrôlé par un comparateur fixé à côté du pied du microscope sur la table mobile horizontale. Pour éviter de faire deux lectures sur le comparateur et d'en calculer la différence, et pour ne pas introduire inutilement des erreurs dues aux imperfections du comparateur, on opère de la façon suivante : après avoir placé le centre du repère à la croisée des fils du réticule on déplace à l'aide d'une vis micrométrique une butée mobile en contact avec le doigt du comparateur de façon à amener celui-ci au zéro, on s'assure qu'il n'en est résulté aucun mouvement du microscope, ce qui est normalement le cas, puis par action sur une autre vis micrométrique on déplace le microscope jusqu'à ce que l'arête se trouve à la croisée des fils du réticule. On lit alors directement le déplacement sur le comparateur. Comme ce déplacement est pour une dent fraîche d'affût de l'ordre de 900 microns, la différence entre la valeur lue et celle qui serait par exemple mesurée à l'aide d'un micromètre objectif peut atteindre plusieurs microns ; mais une erreur presque identique sera faite au contrôle suivant après usure de la dent si l'on utilise le même appareil. Ces deux erreurs se neutralisent quand on calcule la différence si bien que la mesure linéaire de la quantité de métal perdue est faite avec une précision supérieure à celle qui est pratiquement utile.

En établissant un diagramme sur lequel on porte en abscisse la longueur des copeaux enlevés, dans les conditions choisies pour l'essai, et en ordonnée la mesure linéaire de l'usure, on dispose d'une information déjà précieuse mais qui doit être utilisée avec prudence. Si l'on veut pour les mêmes conditions de coupe comparer l'abrasivité d'arbres différents appartenant à la même espèce, ou de parties différentes d'un même arbre, on peut penser que le processus d'usure est sensiblement de même nature dans tous les cas ; en traçant les courbes d'usure sur un même graphique on peut donc tirer des conclusions qui ont de très grandes chances

(30) Les glissières Schneeberger, de fabrication suisse permettent de réaliser le guidage d'un mouvement rectiligne dans des conditions de haute précision. Elles sont utilisées sur certaines rectifieuses et affuteuses.



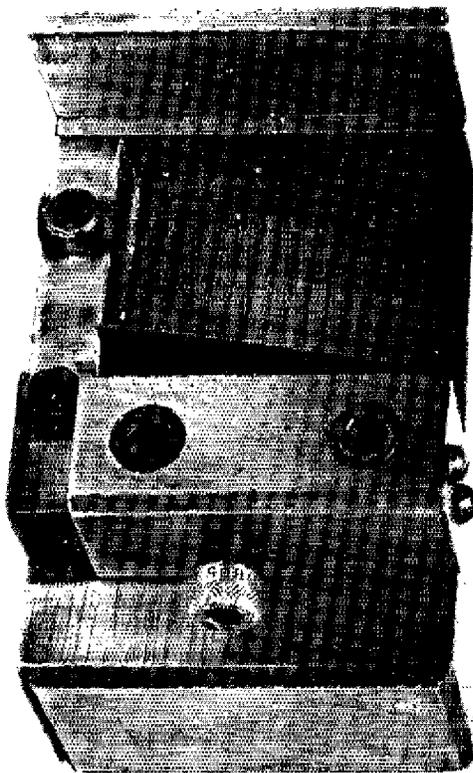
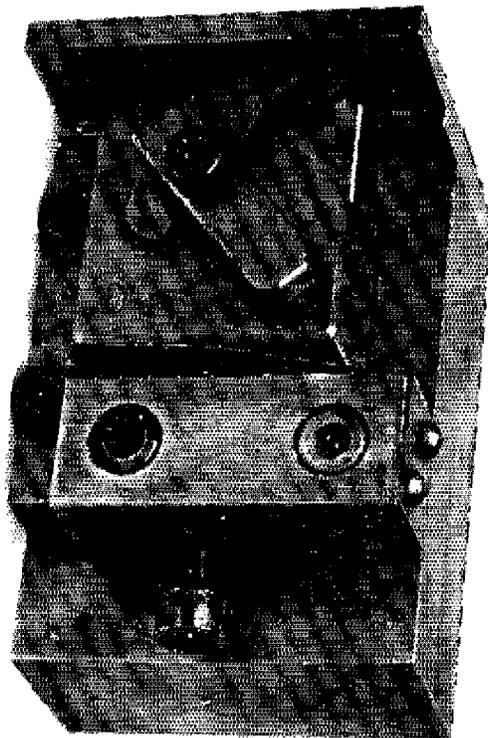
Vue en élévation et en plan du microscope équipé pour le marquage des dents.

d'être valables. On dira par exemple qu'un arbre est cinq fois plus abrasif qu'un autre, ou que le cœur est deux fois plus abrasif que l'aubier. Si au contraire on cherche à comparer des essences qui n'ont pas la même structure, ou à déterminer l'influence de variations importantes des conditions de coupe, les risques d'erreurs d'interprétation peuvent être assez grands. L'information fournie par la mesure linéaire est en effet une information « pauvre » ; l'usure est un phénomène complexe dont il n'est pas possible de rendre compte en utilisant un seul chiffre. Il est plus prudent de recourir à une méthode qui fournit une information plus « riche » : la détermination du profil d'usure.

B. — Détermination du profil d'usure

Bien des méthodes peuvent être employées pour déterminer la forme du contour de la section plane d'un objet. Nous n'évoquerons ici que celles que nous avons utilisées, ou dont nous avons étudié les possibilités d'emploi avant d'adopter notre méthode actuelle.

Pour faire un choix parmi les différents procédés, il faut comparer : le niveau des investissements à réaliser pour leur mise en œuvre, le temps de travail et la consommation de produits divers nécessaires à la réalisation de chaque essai, le délai d'attente des résultats dans le cas où le procédé

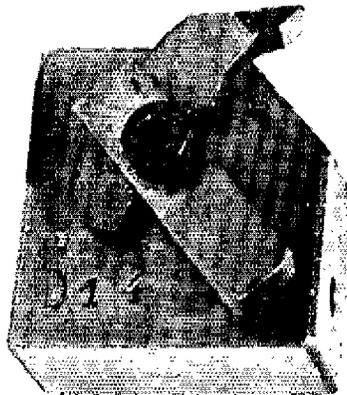


Parallépipède porte dent adapté au microscope de marquage et à l'appareil de mesure du recul. Un calibre de réglage permet d'assurer le parallélisme entre la face de dépouille de la dent et la face de son support.

Photos Chatelain.

employé impose une observation différée, le degré de confiance que l'on peut accorder aux documents élaborés, la sensibilité et la fidélité de l'observation, etc... En ce qui concerne le premier point, aucune des méthodes envisagées ne conduit à des investissements très élevés, les essais devant être exécutés par milliers, les petites différences de coût initial ne sont donc pas un élément déterminant. Voyons comment se présentent les différents procédés en ce qui concerne les autres points.

Le projecteur de profil, s'il est employé avec des montages bien étudiés pour la mise en place des dents, permet une observation à un grossissement assez élevé au prix d'un temps de travail très court, il est à ce titre exceptionnellement économique. Cet avantage est très appréciable pour des essais exécutés en grande série et pourrait faire accepter la sensibilité relativement faible du procédé si le profil obtenu correspondait à une section de l'outil perpendiculaire à l'arête de coupe. Malheureusement, ce profil ne correspond même pas nécessairement à la moins usée de ces sections, comme nous l'avons dit plus haut en manière de



simplification, mais à l'enveloppe de l'ensemble des sections comprises dans une certaine zone dont la largeur dépend de la profondeur de champ du système optique. Le projecteur de profil peut donner des renseignements valables dans certains cas, mais qu'il faut compléter dans certains autres par l'emploi d'autres méthodes, ce qui lui fait perdre une bonne part de son intérêt. Il pourrait aider à choisir le meilleur moment pour procéder à des observations par d'autres moyens, mais fait à ce titre double emploi avec la mesure linéaire de l'usure.

Le tracé du profil point par point peut être réalisé sans grande difficulté à l'aide d'un bon microscope métallographique. Si une face de la

dent est placée bien parallèlement à la platine du microscope et observée à l'aide d'un objectif à très fort grossissement et donc à très faible profondeur de champ, l'image de l'outil apparaît nette sur l'écran pour tous les points de la face qui n'ont pas été affectés par l'usure et floue pour les autres. On peut facilement mesurer la distance entre un point de repère et le début de la zone floue. En approchant ensuite l'objectif de l'outil d'une certaine quantité — trois microns par exemple — on voit apparaître une nouvelle plage de netteté, en général assez étroite et il est facile de déterminer la distance entre le milieu de cette plage et l'ancienne limite de la zone floue. On approche ensuite l'objectif de l'outil de la même quantité, on procède à une nouvelle mesure et on continue l'opération aussi longtemps qu'une plage nette est observable. Il faut ensuite procéder à une série de mesures analogues sur l'autre face, puis tracer sur un graphique les deux portions du profil ainsi obtenues et essayer de les raccorder. Ceci n'est pas toujours facile, car une partie de la zone de raccordement, plus ou moins importante suivant les cas, ne peut pas être déterminée par cette méthode. Pour réduire l'importance de la zone non observée, on peut placer la face de l'outil en position inclinée par rapport à l'axe d'observation. En inclinant suffisamment il est possible, mais dans les cas favorables seulement, d'obtenir une zone commune aux deux observations et par conséquent de déterminer la totalité du profil. Si toutes les précautions sont prises, cette méthode permet d'obtenir un profil dont la position de tous les points est connue avec une erreur qui ne dépasse pas deux microns. Malheureusement le temps nécessaire à l'exécution complète d'un profil est beaucoup trop long pour être acceptable dans la réalisation de grandes séries d'essais ; c'est pourquoi nous n'avons employé cette méthode que tout à fait au début (31) pour connaître le degré de précision que nous devions exiger des éventuelles autres méthodes.

Le microscope métallographique muni d'un dispositif de contrôle des surfaces par interférence permet de déterminer le profil de l'outil plus simplement que par la méthode précédente. L'outil est disposé devant l'objectif spécial de telle sorte que sur la partie intacte de la face observée les franges soient inclinées — de 45° par exemple — par rapport à l'arête. Ces franges sont bien droites et régulièrement espacées. Dans la partie usée les franges ne sont plus rectilignes et leur forme permet très facilement de déterminer l'importance de l'usure en chaque point. La précision de la mesure est de l'ordre du quart de micron, c'est-à-dire très supérieure à celle qui est obtenue dans la réalisation du profil point par point. Cette méthode est donc très intéressante pour déceler les usures très faibles. Elle a été employée dans ce but par Mc KENZIE à Melbourne. Elle présente malheureusement les mêmes inconvénients que la précédente en ce qui concerne les difficultés de raccordement des profils des faces d'attaque et de dépouille et il

(31) Ce procédé a été utilisé pour obtenir les profils reproduits dans l'article : « Le stellite des lames de scies à ruban. *Bois et Forêts des Tropiques* N° 50, page 55.

ne paraît pas possible de l'utiliser pour le contrôle des outils fortement usés. Il semble qu'il faille réserver cette méthode à l'étude de cas spéciaux, pour compléter des informations moins précises obtenues par une méthode plus universelle.

Le profilomètre à style qui est couramment employé pour la mesure des états de surface, ou un autre appareil analogue peut servir à la détermination des profils d'usure. Cette méthode a été employée par MANG en Allemagne pour l'étude de l'usure d'outils de toupie (32). Elle présente l'avantage de permettre le tracé en continu de portions de profil en un temps assez court et avec une grande sensibilité. Pour suivre le profil d'une dent fortement usée il faudrait monter la dent sur un dispositif permettant une rotation autour d'un axe voisin de l'arête de coupe et tracer suivant les cas trois, quatre ou cinq portions de profil. Les difficultés de raccordement de ces portions de profil sont malheureusement les mêmes que dans les deux cas précédents, c'est pourquoi nous n'avons pas retenu cette méthode qui pourrait cependant être parfaitement utilisable.

La méthode de coupe optique du Professeur SCHMALTZ qui consiste à projeter sur l'outil à l'aide d'un microscope un pinceau lumineux sensiblement plan et à observer l'outil à l'aide d'un deuxième microscope dont l'axe est perpendiculaire au plan du pinceau a été employée par NOGUCHI et SUGIHARA à Kyoto (33). Cette méthode permet d'obtenir en une seule observation et immédiatement la totalité du profil et serait donc de beaucoup la plus intéressante. La coupe ne peut pas être faite perpendiculairement à l'arête mais suivant un plan oblique, cet inconvénient est relativement mineur car il est assez facile de faire toutes les coupes à la même inclinaison et de suivre ainsi l'usure d'une façon tout à fait valable. Ce procédé présente malheureusement, dans son état actuel, deux graves inconvénients. D'une part, les parties de l'outil qui n'ont pas été affectées par l'usure se comportent comme de véritables miroirs qui réfléchissent la lumière provenant du premier microscope dans une direction qui n'est pas celle du second, si bien que toute la partie correspondante du profil est pratiquement invisible. Il faudrait mettre au point une technique de dépôt sur l'outil d'un film très mince ayant un pouvoir de diffusion élevé. D'autre part la précision de la ligne de contour est relativement médiocre si bien que l'on ne peut utilement faire l'observation qu'à un grossissement très inférieur à celui que l'on peut obtenir par d'autres méthodes.

Ce procédé ne peut donc donner actuellement qu'une information qualitative, cette information

(32) Cf. Wolf MANG, *Zerspanungsuntersuchungen über die Abnutzung von Fräaserschneiden beim Gleich, und Gegenaufräsen von Buchenschichtholz mit verschiedener Leimigenbeschaffenheit, Holz als Roh und Werkstoff* 14 (9), 1956, pp. 339-352.

(33) Cf. Wood Cutting with a Pendulum Dynamometer (II) par MASAMI NOGUCHI et HIKOICHI SUGIHARA. *Bull. of Wood Research Inst.* N° 30, pp. 1 à 14, Kyoto 1963 ; Wood Cutting with a Pendulum Dynamometer (IV) par MASAMI NOGUCHI, HIKOICHI SUGIHARA et YUKICHI KAMINO, in *Journal of the Japan Wood, Research Society*, Vol. 10, N° 1, Tokyo 1964.

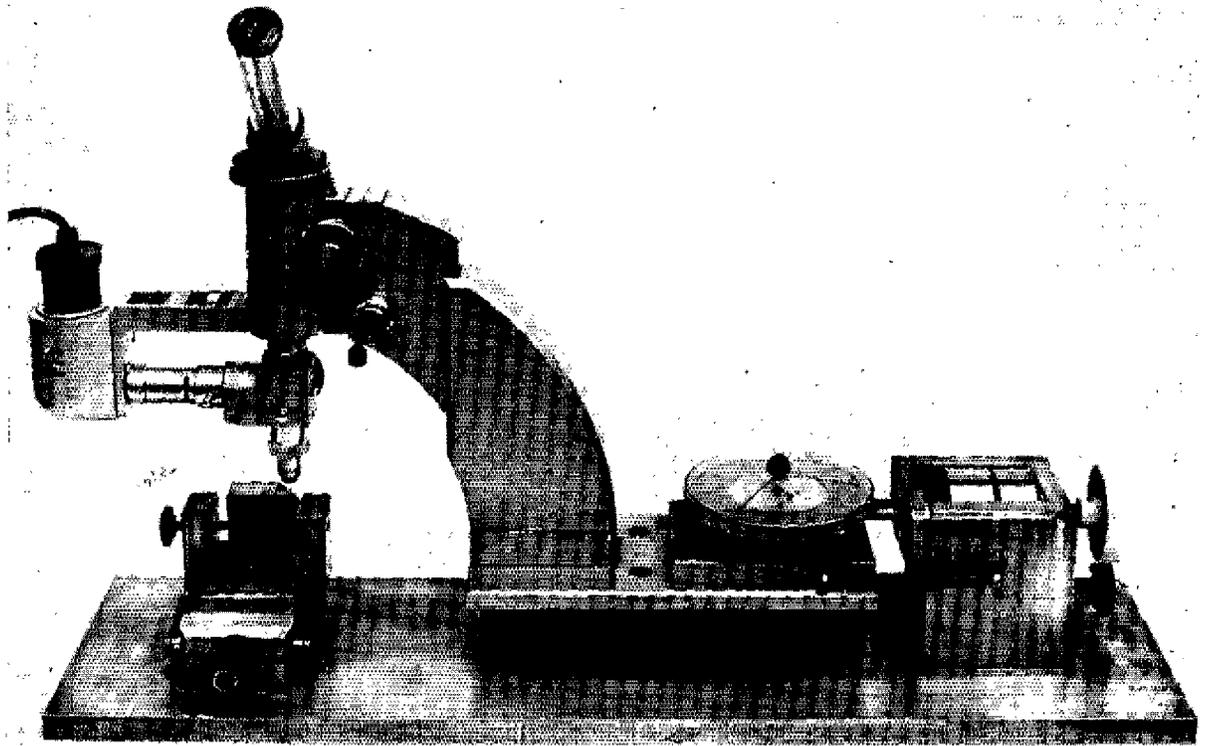


Photo Chatelain.

Microscope, construit au laboratoire, spécialement adapté à la mesure linéaire de l'usure.

est beaucoup plus intéressante que celle qui est donnée par la mesure linéaire. Nous ne l'utilisons pas uniquement pour des raisons d'économie.

L'observation directe d'une section de l'outil est de toute évidence la méthode la plus sûre. Elle a été utilisée par KIVIMAA à Helsinki pour les études de l'usure (34). L'outil est d'abord recouvert d'un épais dépôt galvanoplastique de cuivre, puis sectionné perpendiculairement à l'arête et finement poli. Après attaque chimique le contraste entre l'acier et le cuivre est excellent. La précision de l'observation n'est limitée que par la qualité du polissage et celle du microscope, c'est-à-dire qu'elle peut être très grande. Le seul inconvénient de la méthode est qu'elle ne peut être employée qu'à la fin de l'essai, puisque le traitement que l'on fait subir à l'outil le rend inutilisable. Cet inconvénient est évidemment très grave si l'on juge qu'il est indispensable de suivre l'évolution du profil de l'outil au lieu de se contenter d'en connaître l'état final.

On peut envisager de tourner cette difficulté de deux manières. La première consiste à employer suivant les cas, deux, trois, quatre ou cinq dents identiques que l'on soumet aux mêmes conditions

de coupe, mais dont on interrompt le travail à des étapes différentes. Les sections de ces outils donnent une information sur l'évolution de l'usure dont la qualité peut être assez grande si les essais sont bien reproductibles. L'inconvénient de cette méthode c'est qu'elle impose un travail plus important et une consommation de bois plus forte que si l'essai est effectué avec une seule dent. L'interprétation des résultats est également un peu plus difficile.

La deuxième façon de tourner la difficulté consiste à effectuer la section non pas sur l'outil lui-même, mais sur une réplique de l'outil. Le résultat obtenu peut être très précis si l'on sait réaliser une réplique de haute qualité et la sectionner sans la déformer. Dès que la réplique a été exécutée l'outil peut être remis en service. L'évolution du profil de l'outil peut être suivie d'autant plus près que l'on prend un plus grand nombre de répliques. La seule limite pratique, à cet égard, est fixée par le temps nécessaire à l'obtention des répliques : temps qui dépend beaucoup de la technique de reproduction choisie mais peut dans certains cas être assez long.

Le laboratoire d'usinage du Centre Technique Forestier Tropical a adopté cette dernière méthode, qui en principe est très simple, mais exige cependant la mise au point de nombreux détails qu'il nous reste à examiner un par un.

(à suivre).

(34) Cf. Eero KIVIMAA, Cutting Force in Woodworking, Helsinki 1950, pp. 78 et 81, et What is the Dabbling of Woodworking Tools, Helsinki 1952, p. 9.