

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.

B. Détermination du profil d'usure (suite)

Reproduction de la forme d'une dent de scie.

La reproduction de la forme d'un objet est une opération qui est réalisée quotidiennement dans bien des industries. Compte tenu de la diversité des fabrications, les méthodes classiques sont assez nombreuses et l'on pourrait penser que celui qui désire obtenir une réplique de dent de scie a plutôt l'embarras du choix. En fait, bien des méthodes ne peuvent pas être utilisées dans un petit laboratoire puisqu'elles nécessitent un appareillage trop coûteux, et l'expérience montre que beaucoup d'autres doivent être écartées en raison de leur imprécision, si bien que le champ des possibilités est finalement assez restreint.

Les méthodes dont nous avons envisagé l'emploi ou qui sont utilisées à l'étranger, peuvent être classées en trois groupes :

1° ENROBAGE GALVANOPLASTIQUE. — Une première méthode en apparence très analogue à celle de KIVIMAA consisterait à enrober la dent dans un dépôt galvanoplastique dont elle pourrait être séparée après exécution. Pour obtenir ce résultat on pourrait, par exemple, recouvrir la dent d'un film de cire d'une épaisseur inférieure au micron, puis recouvrir ce film d'une couche conductrice par métallisation sous vide et faire enfin le dépôt électrolytique. Celui-ci serait lui-même enrobé ensuite dans une résine qui le maintiendrait dans une position géométriquement correcte de façon

à ce qu'après le démoulage, le meulage, puis le polissage, de la section que l'on désire observer puissent se faire suivant un plan parfaitement repéré.

Il semble, *a priori*, un peu gênant d'être obligé de réaliser toutes ces opérations successives ; en fait, moyennant une organisation convenable, une dent ayant effectué la coupe dans la matinée pourrait être métallisée au début de l'après-midi, subir le dépôt galvanoplastique aussitôt après, être enrobée dans une résine le soir et serait disponible le lendemain matin. Un essai complet d'usure pourrait ainsi être réalisé en une semaine, ce qui représenterait un avantage très important pour l'orientation des travaux à effectuer sur l'essence étudiée.

Il n'est malheureusement pas certain que cette méthode puisse être mise au point facilement. Il faudrait en effet choisir le métal et les conditions du dépôt galvanoplastique pour que les contraintes internes qui se produisent pendant cette opération soient si faibles qu'elles ne provoquent ni décollement prématuré, ni déformation de ce dépôt.

Si nous tenons à faire mention de cette méthode, c'est en raison des nombreux avantages qu'elle pourrait présenter. Nous n'avons pas pu envisager de faire la mise au point nécessaire, car, il y a huit ans, l'équipement pour métallisation sous vide coûtait, à lui seul, plus de 20.000 francs et il n'était pas possible, compte tenu des autres investisse-

ments à réaliser, d'amputer notre budget de cette somme.

2° EMPREINTES. — Une autre méthode consiste à faire pénétrer la dent dans un corps très déformable, elle y laisse une empreinte que l'on peut observer au microscope, éventuellement après l'avoir sectionnée.

Le corps déformable doit répondre à un certain nombre de conditions :

a) il ne doit provoquer aucune détérioration de l'arête de la dent, même si celle-ci est très finement affûtée ;

b) il doit se déformer d'une façon aussi permanente que possible, de telle sorte que l'empreinte ne se déforme ni au moment de l'enlèvement de la dent, ni ultérieurement ;

c) il faut que l'on puisse assez facilement effectuer une section plane de l'empreinte sans la déformer, ceci étant absolument indispensable dans le cas où l'observation du profil doit être faite à fort grossissement.

Les différents laboratoires qui utilisent ce procédé choisissent le plomb comme corps déformable. Ils observent l'empreinte, soit directement, soit après l'avoir sectionnée à l'aide d'un microtome, ou même quelquefois plus simplement d'une lame de rasoir.

La rapidité d'exécution des empreintes constitue un avantage très important ; la dent n'est immobilisée que quelques minutes, si bien qu'un essai complet d'usure peut être exécuté en une journée.

Nous n'avons pas, peut-être à tort, étudié en détail les possibilités offertes par cette méthode ; d'abord parce que nous avons peur de ne pas pouvoir obtenir une précision suffisante (35) et aussi parce que nous pensions que la qualité des résultats serait trop dépendante de l'habileté de chaque opérateur.

3° MOULAGE. — Le moulage est sans doute le procédé le plus anciennement et le plus universellement employé pour reproduire la forme d'un objet. En général, il comporte deux phases : la production du moule à partir du modèle et l'utilisation de ce moule pour produire des objets. Dans le cadre des préoccupations qui sont les nôtres ici, ces deux opérations sont tout à fait de même nature : elles consistent à verser dans, ou autour de l'objet à reproduire, une matière qui est assez fluide pour en épouser exactement la forme et qui devient ensuite solide, soit par refroidissement, soit par réaction chimique entre ses constituants. Le moulage est quelquefois effectué sous pression, en parti-

culier quand la viscosité de la matière utilisée est élevée ; à la limite, dans certains cas, la méthode du moulage diffère peu de celle de l'empreinte évoquée ci-dessus.

Dans l'industrie, le choix entre les méthodes classiques de moulage est fait dans chaque cas particulier en tenant compte de différents facteurs parmi lesquels le prix de revient est souvent important ; au laboratoire, surtout quand il s'agit de reproduire la forme d'une très petite chose comme l'arête d'une dent de scie, le facteur précision domine, de toute évidence, tous les autres. Encore faut-il dire ce que l'on entend exactement par précision, car ce terme peut s'appliquer à des qualités bien différentes suivant les cas. Pour choisir un procédé de préparation de répliques, il faut savoir si l'on demande à celui-ci d'être sensible, c'est-à-dire capable de reproduire des détails de très faibles dimensions, ou bien d'être fidèle, c'est-à-dire capable de reproduire la surface du modèle sans la déformer.

Ces deux qualités sont dans une large mesure indépendantes : Une réplique préparée pour être observée au microscope électronique doit être très sensible, c'est-à-dire reproduire des détails dont les dimensions sont de l'ordre du centième de micron, mais elle peut être assez peu fidèle en ce sens que les distances entre deux points relativement éloignés peuvent être assez différentes sur la réplique et sur l'original.

Dans le cadre de l'étude de l'usure que nous présentons ici, l'expérience nous a montré que lorsque le recul de l'arête, mesuré linéairement suivant la méthode décrite plus haut, dépasse 300 microns l'outil a presque toujours atteint la limite d'un service normal avant réaffûtage. Ceci nous permet de fixer l'ordre de grandeur du grossissement souhaitable pour l'observation des profils de dents : Ce grossissement peut être choisi entre 250 × et 1.000 ×, suivant le genre d'observations que l'on désire faire et l'importance de l'usure. Dans ces conditions, la reproduction de détails dont les dimensions sont de l'ordre du dixième ou du centième de micron est tout à fait inutile. Une sensibilité de l'ordre du micron est suffisante et l'expérience montre qu'elle est dépassée par un grand nombre de matériaux classiques de moulage. Nos exigences sont donc très faciles à satisfaire en matière de sensibilité, pour dire ce qu'elles doivent être en matière de fidélité il faut savoir quel genre d'information l'on désire tirer de l'observation des sections des répliques. Si ces sections doivent être examinées isolément, il est évident que des déformations de l'ordre de 1 ou 2 % ont très peu d'importance ; si au contraire nous voulons étudier l'évolution de la forme des sections en fonction du travail effectué par une dent, ce qui constitue l'essentiel de notre information c'est la différence entre les sections de deux répliques successives d'un même outil ; si l'erreur sur la forme de chaque

(35) Le mot précision est employé ici à dessein car nos craintes concernent aussi bien la sensibilité que la fidélité du procédé. Sensibilité et fidélité étant entendus dans le sens défini au § 3 — Moulage.

réplique est de 1 ou 2 %, on comprend facilement que dans l'appréciation de la différence entre deux sections l'on puisse commettre des erreurs de l'ordre de 10 ou 20 % ou même davantage. Ceci est bien confirmé par l'expérience : si les moulages sont exécutés avec une résine dont le retrait est de l'ordre de 1 %, le parti que l'on peut tirer de la comparaison des profils successifs est très médiocre, un retrait inférieur à 1‰ s'impose.

Presque aucun produit classique de moulage ne permet d'approcher, même de très loin, de telles performances, mais heureusement, certaines résines époxy mélangées avec le durcisseur approprié et cuites à basse température ont un retrait de l'ordre de un pour cinq mille. Il est donc maintenant possible d'être très exigeant en matière de fidélité, et il va de soi qu'il serait anormal de ne pas l'être dans la mesure où, une fois mise au point, la technique qui permet d'obtenir des reproductions très fidèles n'est ni plus difficile, ni plus coûteuse à mettre en œuvre que celles qui donnent des résultats médiocres. Il n'est pas douteux que la possibilité d'obtenir de hautes performances à l'aide de certaines résines époxy a eu un effet décisif sur le développement de l'étude de l'usure des dents de scies par la méthode des moulages que nous allons examiner en détail.

Mise en œuvre de la méthode des moulages.

Cette méthode, conformément au principe énoncé plus haut pour tous les contrôles géométriques, comporte deux phases : la mise en mémoire de la forme géométrique de la dent et l'exploitation de l'information ainsi mise en mémoire.

La réalisation pratique de la première phase est très simple : sur un support commun spécialement conçu sont fixés la dent que l'on veut mouler et un réceptacle pour la résine. On verse de la résine blanche dans le réceptacle jusqu'à ce qu'elle enrobe toutes les parties de la surface extérieure de la pointe de la dent dont il peut être utile d'enregistrer la forme. Après cuisson complète de la résine, la dent peut être démoulée et réutilisée, la première phase est terminée.

La deuxième phase n'est pas plus difficile à réaliser que la première mais comporte un plus grand nombre d'opérations. L'observation directe du moulage de la dent est plus difficile que celle de la dent elle-même et ne présente donc pas d'intérêt ; pour bien observer le moulage il faut en faire une section, mais si celle-ci est faite directement, elle risque d'être détériorée et difficile à observer. Il faut donc commencer par remplir et entourer la résine blanche, ce qui est fait à l'aide d'une résine noire, puis après durcissement de l'ensemble en faire une section et polir celle-ci par étapes successives, avant de la photographier. Pour pouvoir tirer un parti correct des documents photographiques ainsi obtenus, il faut que les sections

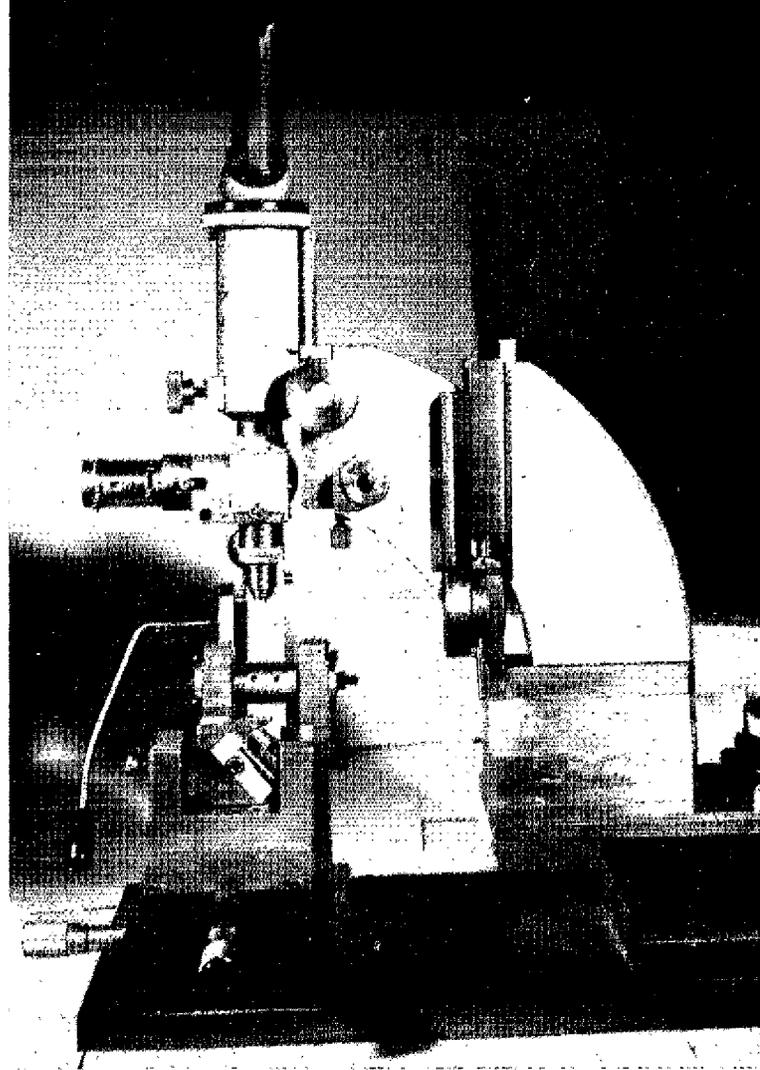


Photo Sarlin.

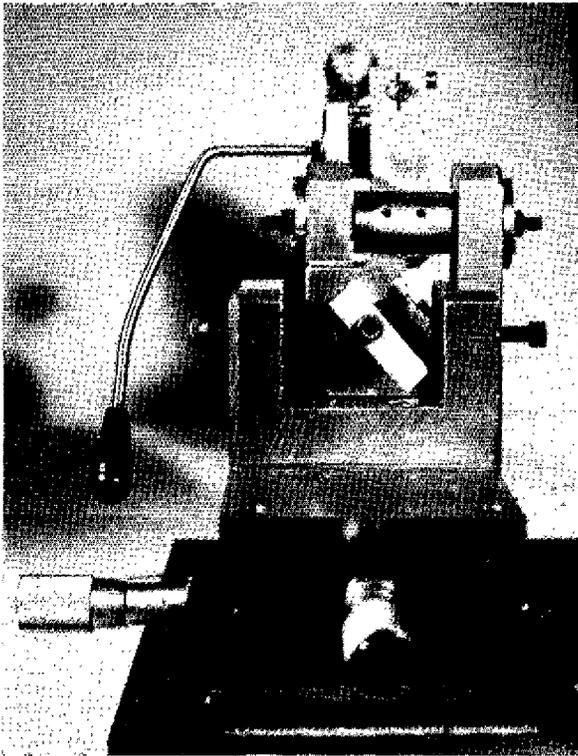
Dispositif de traçage des rayures monté sur le microscope utilisé pour le marquage des points et la mesure linéaire de l'usure.

soient bien orientées et que leur position soit connue avec précision. Il faut également que la qualité du moulage puisse être contrôlée. Tout ceci exige que l'on prenne un certain nombre de précautions que nous allons évoquer en décrivant en détail les différentes opérations.

PRÉPARATION DE LA DENT.

La dent finement affûtée et préparée pour la mesure linéaire de l'usure comme il a été dit précédemment ne peut pas être moulée directement sans inconvénients et ceci pour trois raisons :

1° Il est très souhaitable de se ménager une possibilité de contrôle de la qualité des profils, et par conséquent de disposer sur ces profils de repères fixes qui servent de témoins. Une méthode très simple pour obtenir ces repères consiste à graver sur les faces d'attaque et de dépouille, à l'aide d'une pointe de diamant, quelques lignes parallèles à l'arête dont la section apparaît sur le profil sous forme d'un V.



Détail du dispositif utilisé pour tracer des rayures sur les faces d'une dent de scie (le bras porte-diamant est en position relevée).

Photo Sarlin.

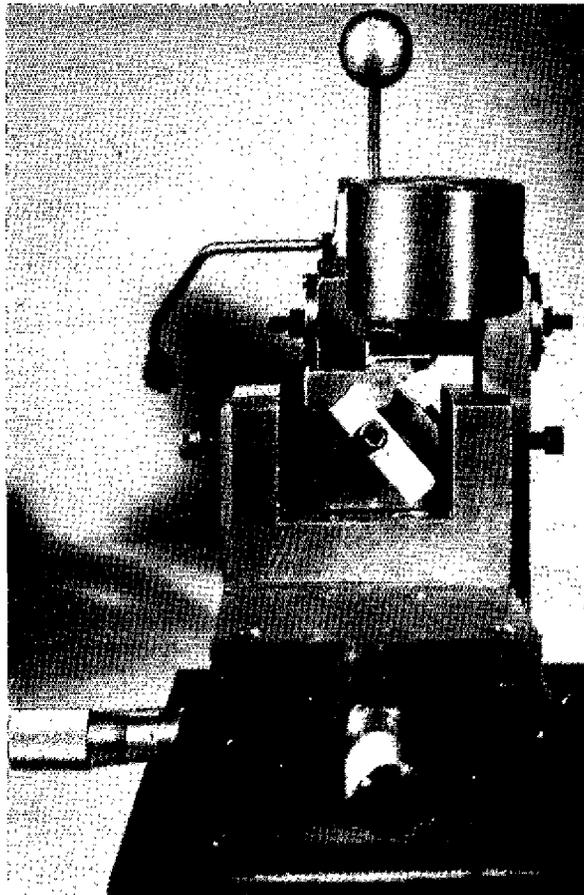
Ces rayures doivent être assez proches de l'arête pour que leur section soit visible dans la partie du profil qui sera photographiée, mais pas trop proches cependant pour ne pas disparaître trop vite sous l'effet de l'usure ; elles doivent être assez profondes pour être bien reconnaissables mais pas trop pour ne pas modifier le comportement de l'outil ; enfin, elles ne doivent pas, par leur nombre, imposer un travail de préparation trop long. En pratique, nous faisons sur chaque face deux rayures d'une largeur de 15 microns et d'une profondeur de 2 microns à des distances de l'arête de 350 et 550 microns pour la face d'attaque et de 300 et 500 microns pour la face de dépouille.

Il n'est pas nécessaire de construire un appareil spécial pour le marquage des rayures, il suffit d'ajouter un petit montage accessoire à l'appareil pour le marquage des points de repère qui a été décrit dans le paragraphe consacré à la mesure linéaire de l'usure.

L'élément principal de ce montage est un bras qui tient à une extrémité la tige porte-diamant et dont l'autre extrémité tourne autour d'un axe horizontal parallèle à la direction de déplacement horizontal du microscope. Les deux roulements qui tiennent les extrémités de cet axe sont logés dans une pièce verticale en forme d'U qui supporte en outre une came commandée par un levier et destinée à contrôler la descente du bras au moment où le diamant arrive en contact avec la dent. Tout cet ensemble est placé derrière le microscope.

Les roulements sont réglés de telle sorte que le bras porte-diamant tourne librement, mais sans jeu, autour de son axe. Quand l'appareil n'est pas utilisé pour faire des rayures, le bras est mis en position sensiblement verticale et ne gêne pas les autres opérations. Quand on veut exécuter une rayure on abaisse le bras jusqu'à ce qu'il soit en contact avec la came. Dans cette position la pointe du diamant se trouve, par suite d'un réglage effectué une fois pour toutes, à peu près en face de l'un des fils du réticule du microscope (celui qui est parallèle au mouvement de celui-ci). En agissant sur la vis micrométrique de commande du mouvement horizontal de l'ensemble du microscope il est facile d'amener l'autre fil du réticule sensiblement en face de la pointe du diamant (un repère tracé sur le talon de la tige porte-diamant marque la position de celui-ci).

L'axe du microscope se trouve alors à peu près en face du diamant, il convient seulement de parfaire



Détail du dispositif utilisé pour tracer des rayures sur les faces des dents de scies (diamant en contact avec la dent et pression contrôlée par un poids).

Photo Sarlin.

le réglage. Pour cela, il suffit de faire une petite rayure d'essai dans une région de la face de la dent assez éloignée de l'arête pour que la présence de cette rayure ne présente pas d'inconvénient. Le parallélépipède porte-dent étant bridé sur la table à mouvements croisés (36) il est facile de présenter la partie arrière de la face de la dent en face du diamant. On pose alors sur le talon de la tige porte-diamant un cylindre en laiton (37) et en tournant lentement le levier de commande de la came on fait descendre très doucement le diamant et sa charge sur la dent. En agissant sur l'une des vis micrométriques de la table à double mouvement on déplace alors la dent parallèlement à son arête et dans le sens qui la fait s'éloigner de l'axe de rotation du bras porte-diamant. Un déplacement d'une fraction de millimètre est suffisant. Après avoir relevé le bras à l'aide de la came, enlevé le poids, puis relevé le bras jusqu'à sa position verticale, on peut faire descendre le microscope et en agissant sur la vis de déplacement du microscope, amener le réticule très exactement dans l'axe de la rayure qui vient d'être tracée. L'appareil est alors réglé pour l'exécution de toute une série de rayures. Il est facile en se servant seulement des vis micrométriques de la table à mouvements croisés d'amener l'arête en face du fil du réticule, de déplacer alors la dent de l'une des quantités indiquées plus haut, et enfin d'exécuter la rayure.

2° Nous verrons un peu plus loin que lorsqu'on cherche à connaître la position exacte du plan suivant lequel le moulage a été sectionné, il est très facile de déterminer la distance qui sépare ce plan de celui de la face du corps de la dent qui reposait sur le support de moulage. Cette face du corps de la dent n'étant visible ni sur la face d'attaque ni sur la face de dépouille, il est nécessaire d'en déterminer la position soit par rapport à l'une des pointes de la dent, soit par rapport à l'un des points de repère marqués au diamant. Il est préférable de faire cette détermination juste après le marquage quand la dent est encore parfaitement propre.

Le principe de l'opération est très simple : on bride la dent sur un parallélépipède de telle sorte que a) la face qui reposait sur le support de moulage soit bien plaquée sur l'une des faces rectifiées du parallélépipède, et b) la face de dépouille de la dent soit dans le même plan qu'une deuxième face

(36) Voir la description ci-dessus au paragraphe A : Mesure linéaire de l'usure.

(37) Pour pouvoir nous adapter aux différentes natures d'outils nous disposons de cylindres de différentes masses. Le plus couramment utilisé a une masse de 520 g.

Notons que la qualité de la rayure ne dépend pas seulement de la force appliquée au diamant mais de la bonne position de celui-ci qui pour cette raison est réglable en hauteur et en direction.

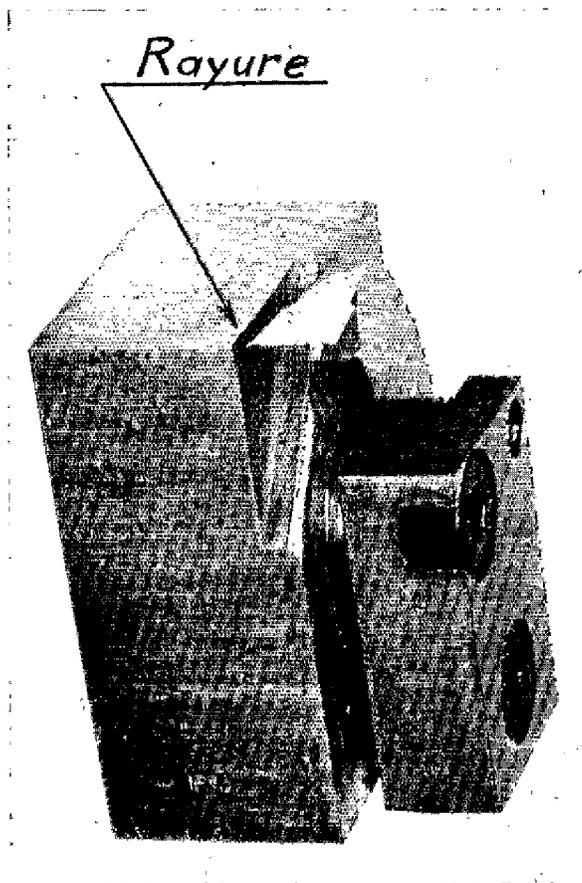


Photo Sarlin.

Dent montée sur un support parallélépipédique en vue de la mesure des distances « X et Y ».

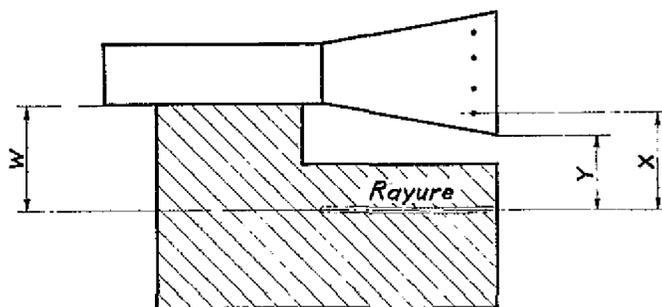


Schéma montrant le principe de la mesure des distances « X et Y ».

rectifiée du parallélépipède. Sur cette deuxième face a été tracée au diamant une rayure dont la distance au plan de l'autre face rectifiée est connue avec précision. Distance que nous désignons par la lettre W. Il est facile de mesurer les distances entre les points de la dent qui nous intéressent

— point de repère et extrémité de l'arête — et la rayure, distances que nous désignons par les symboles X et Y, et d'en déduire les distances de ces mêmes points à la face du corps de la dent qui sert de référence.

3° Les résines époxy qui sont utilisées pour le moulage adhèrent très fortement à la plupart des métaux et en particulier à l'acier. Si la dent était moulée sans précautions spéciales, il serait impossible de la démouler sans détériorer gravement le moule. Il faut donc la recouvrir d'un agent de démoulage, mais celui-ci doit former une couche régulière, très mince, et cependant efficace. Nous avons essayé toutes sortes de produits, en général à base de silicones, recommandés par divers fournisseurs de résines époxy et obtenu des résultats très médiocres dont il a fallu nous contenter, jusqu'au jour où nous avons appris, par un ouvrage de SCHRADER, que l'un des meilleurs agents de démoulage connus est tout simplement la cire d'abeille. Depuis, nous utilisons toujours ce produit à notre entière satisfaction. La cire est un peu fragmentée, puis dissoute dans l'éther, elle se partage alors en une fraction soluble et une fraction qui dépose. L'expérience montre que la fraction soluble a un pouvoir antiadhérent remarquable. La protection est faite par simple trempage des dents, qui sèchent immédiatement à leur sortie du liquide. Nous avons déterminé empiriquement la concentration de la cire qui réalise le meilleur compromis entre le désir d'avoir un film très mince et celui d'avoir un film continu et toujours efficace. En dosant au taux de 1 g de cire pour 100 g d'éther on obtient, quand les dents et le liquide sont à

la température ambiante (environ 20° Celsius) un film régulier d'une épaisseur de 0,3 à 0,4 micron qui est totalement protecteur. Il est bon de refaire le mélange assez régulièrement pour être assuré d'une bonne efficacité, l'éther peut en effet absorber de l'humidité ou s'évaporer. Cette protection par un film de cire doit évidemment être faite avant chaque moulage et de préférence au dernier moment pour éviter que des poussières ne viennent se coller sur la cire.

Quand les trois opérations dont nous venons de parler ont été effectuées, la dent est prête pour le moulage. Notons toutefois que pour le bon déroulement des essais d'usure qui sont effectués en série il est indispensable d'affecter à chaque essai un numéro de référence. Ce numéro est gravé à l'aide d'une pointe de carbure de tungstène vibrante sur la face latérale du corps de la dent opposée à celle qui était plaquée sur le support en forme de losange pendant l'affûtage. L'inscription du numéro de référence se fait en général un peu avant le marquage des points et des rayures.

EXÉCUTION DU MOULAGE.

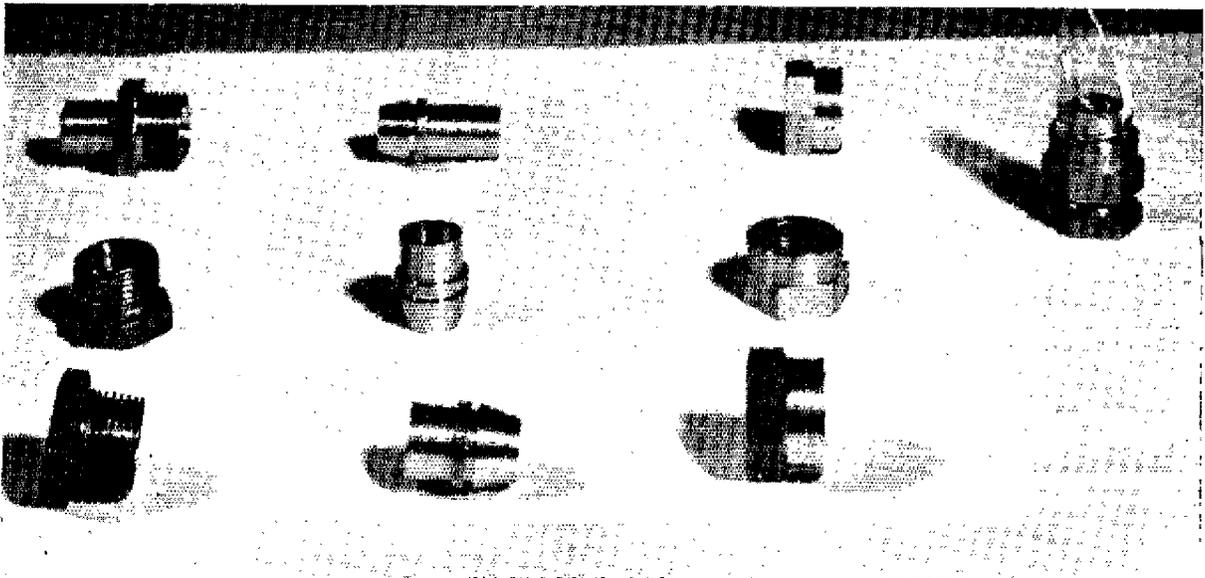
La première précaution à prendre pour réaliser un moulage dont on puisse tirer le parti maximum consiste à présenter la dent dans une position géométriquement bien définie par rapport à celle du support du moule. Dans ce but, on a construit des supports de moulage spéciaux.

Chaque support comprend une plaque de base en acier soigneusement rectifiée. Sur cette base sont fixées d'une part une cale sur laquelle est bridée la dent, et d'autre part le réceptacle pour la résine.

Raccord à souder utilisé comme réceptacle pour le moulage.

- En haut : tel qu'il est livré par le fournisseur ;
- Au milieu et en bas : après usinage ;
- A droite : l'ensemble monté.

Photo Sarlin.



La cale est une pièce en acier à faces parallèles soigneusement rectifiées. La face du corps de la dent qui est posée sur cette cale — face qui était plaquée sur le losange d'affûtage, c'est-à-dire opposée à celle qui porte le numéro de référence — est donc rigoureusement parallèle à la face rectifiée de la base. L'arête de coupe de la dent qui, en raison du mode de construction et d'utilisation des losanges (38) est perpendiculaire à la face du corps de la dent est donc aussi perpendiculaire à la base du montage ; sa position est bien définie en direction ; pour qu'elle le soit en hauteur, il suffit que la hauteur de la cale sur laquelle est posée la dent soit bien définie. Par mesure de simplification, les cales de tous les montages pour moulage ont été rectifiées en série et ont la même épaisseur à 0,01 mm près environ (39).

Le réceptacle pour la résine comporte quatre parties :

a) Un socle dont la face inférieure est finement dressée au tour, et dont le centre est percé et taraudé. La face inférieure du socle peut ainsi être maintenue par une vis en parfait contact avec la base.

b) Une douille cylindrique à sa partie supérieure, et conique à sa partie inférieure. Cette douille vient s'ajuster à la partie supérieure du socle qui est également conique.

c) Une bague qui lie rigidement la douille au socle. Cette bague ayant extérieurement une forme hexagonale, on inscrit sur deux des facettes le numéro de référence de l'essai et sur deux autres facettes le numéro de référence du moulage (40).

d) Un cylindre en matière souple qui prolonge le cylindre de la douille. Ce cylindre est coupé en biseau pour permettre le passage de la dent.

Les trois premiers éléments sont en laiton ; comme nous faisons plusieurs milliers de moulages par an, il est indispensable que ces pièces soient peu coûteuses. Elles sont produites à partir de raccords standards pour canalisations hydrauliques qui sont fabriqués industriellement en très grande série. Un usinage à l'atelier est nécessaire pour adapter les pièces standard à leur usage spécial, mais pour les socles et les bagues ce travail est fait une fois pour toutes, car ces pièces peuvent resservir indéfiniment. Quand un essai est entièrement terminé, l'ensemble des trois pièces est démonté et seule la douille, qui sert de support

(38) Cf. : au début de ce chapitre le paragraphe : mise en forme et affûtage des dents.

(39) Nous disons environ pour tenir compte d'une éventuelle inégalité d'usure en service. Cette usure n'est cependant pas perceptible.

(40) Chaque numéro est marqué sur deux faces opposées de façon à ce que l'un des deux soit toujours visible quelle que soit l'orientation de la bague.

Chaque essai complet d'usure comporte un certain nombre de moulages, ceux-ci sont donc distingués les uns des autres par un numéro de référence : 0 pour le moulage fait avant la coupe et 1, 2, 3... pour les suivants.

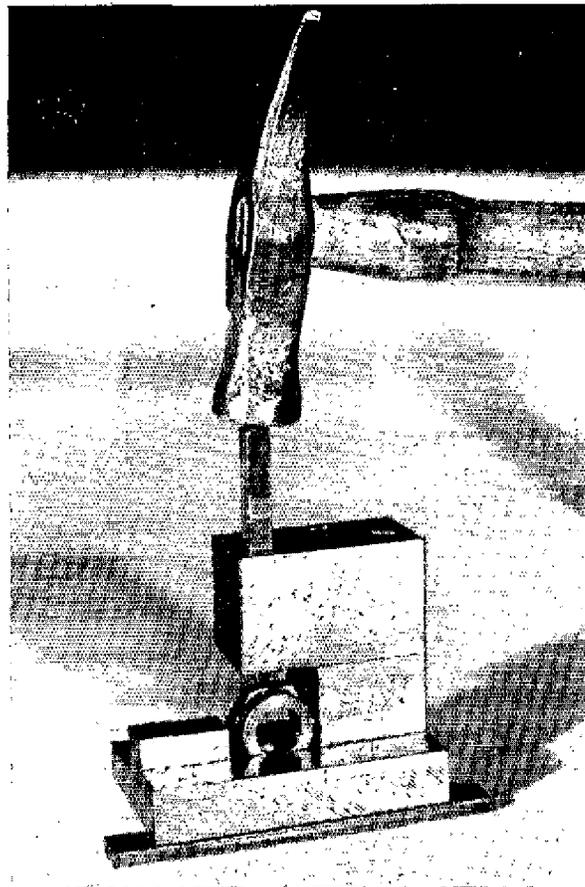


Photo Sarlin.

Dispositif utilisé pour le marquage des numéros de référence sur les bagues.

au moulage et que l'on préfère conserver, ne peut pas être réutilisée pour d'autres essais.

Notons que la douille standard est creuse, avant de l'utiliser comme réceptacle pour la résine de moulage il faut donc en obturer le fond, ce qui ne présente aucune difficulté : on place sur une plaque d'aluminium enduite de graisse aux silicones une centaine de douilles et l'on verse à l'intérieur de chacune quelques gouttes de résiné époxy (2 à 3 mm de hauteur) (41).

La position du réceptacle sur la base est choisie de telle sorte qu'il soit facile de présenter l'arête de la dent sensiblement dans l'axe de la douille. Les dents ayant toutes des formes identiques en vue latérale, cette position est toujours la même ce qui simplifie la conception de la plaque de base.

Pour mettre la dent en place et la brider, il est commode de mettre le support de moulage en position horizontale. Pour couler la résine, il faut

(41) Pour rendre plus efficace l'accrochage entre la résine et le laiton nous préférons tarauder l'intérieur de la douille. Cette opération faite en grande série est peu coûteuse.

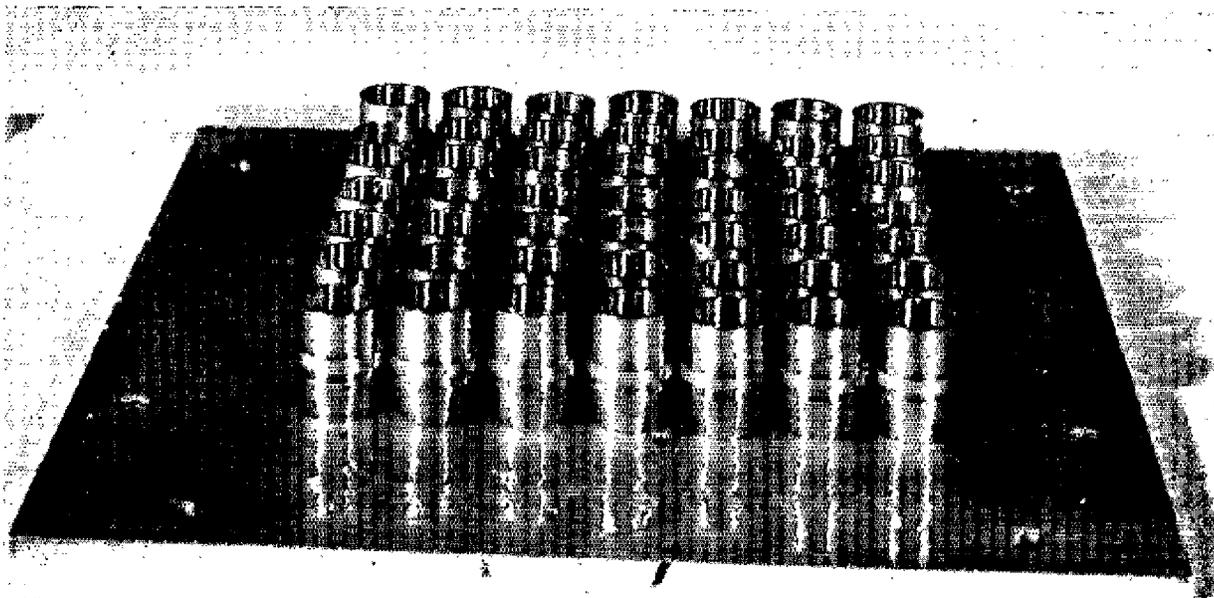


Photo Sarlin.

Douilles disposées sur une plaque d'aluminium recouverte d'une graisse aux silicones, en vue de l'obturation du fond des douilles à l'aide d'une résine époxy.

au contraire mettre le support en position inclinée. Des pieds en contreplaqué sont prévus pour tenir les supports individuels. Des supports réalisés pour le moulage de quatre dents simultanément sont prévus pour être posés aussi bien à plat qu'en position inclinée sans aide extérieure, ce qui rend leur emploi plus pratique.

Pour le moulage on utilise une résine désignée commercialement sous le nom d'araldite M par la Société suisse C. I. B. A. Cette résine est normalement transparente et peu colorée ; pour augmenter le contraste avec la seconde résine, il est bon de colorer l'une en blanc et l'autre en noir. On mélange donc intimement 100 p. p. d'araldite M avec 20 p. p. de résine blanche (42). Une demi-heure avant le moment choisi pour faire les moulages, on pèse la quantité voulue de ce mélange (43) que l'on place dans une étuve sèche réglée à 50° Celsius. A la sortie de l'étuve la résine est très fluide, ce qui rend plus facile l'opération assez délicate d'incorporation du durcisseur. Le durcisseur a une densité assez différente de celle de la résine, il doit être mélangé très intimement en évitant toute formation de bulles d'air. Un tour de main, assez difficile à décrire, doit être acquis, on peut dans les débuts contrôler le travail en mélangeant un colorant au durcisseur et en utilisant une résine non colorée qui laisse bien voir

les bulles d'air, le mélange obtenu ne peut pas servir au moulage mais peut être versé dans les douilles pour en obturer le fond.

Nous utilisons 1 p. p. de durcisseur HY 908 pour 10 p. p. d'araldite M chargée.

Quand le mélange résine blanche-durcisseur est bien fait, on peut le verser dans les réceptacles.

Il est préférable d'opérer en deux temps, c'est-à-dire de remplir le fond de tous les réceptacles jusqu'à ce que la résine atteigne le bas de l'arête de la dent, puis d'en verser une seconde fois plus doucement pour atteindre sans erreur le meilleur niveau.

Quand ces opérations sont terminées, la température de la résine n'est plus que d'une dizaine de degrés au-dessus de l'ambiante, le fait d'avoir fait le mélange à 50° n'a donc aucune influence sur l'évolution ultérieure du durcissement. Celui-ci doit se faire très lentement, l'expérience montre que dans les conditions de dosage indiquées plus haut, si la cuisson est faite à 52° Celsius, le retrait est très difficilement mesurable. La réaction chimique est alors très lente, nous ne savons pas quand elle est réellement complète, ce qui est d'ailleurs très difficile à définir ; par prudence, nous considérons qu'elle ne l'est pas avant cinq jours. Il n'est heureusement pas nécessaire d'attendre aussi longtemps pour enlever les dents, nous considérons qu'après 40 heures on peut le faire sans inconvénient.

L'enlèvement des dents doit être fait par une personne soigneuse et habile ; il faut naturellement

(42) Vendue sous les références : Araldite blanche DW 01, Araldite noire DW 07.

(43) 1,3 g par dent à mouler.



Photo Sarlin.

*Support pour le moulage simultané
de quatre dents en position horizontale.*

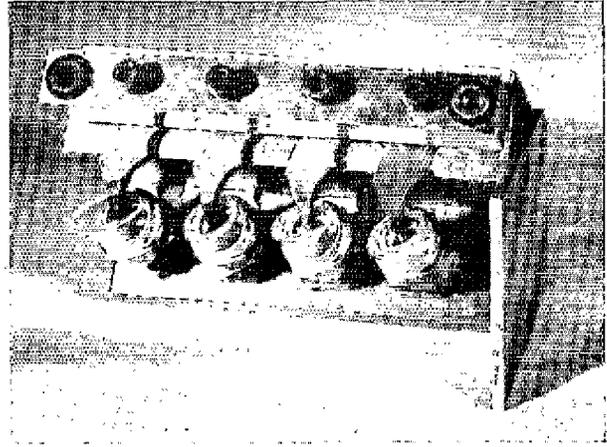


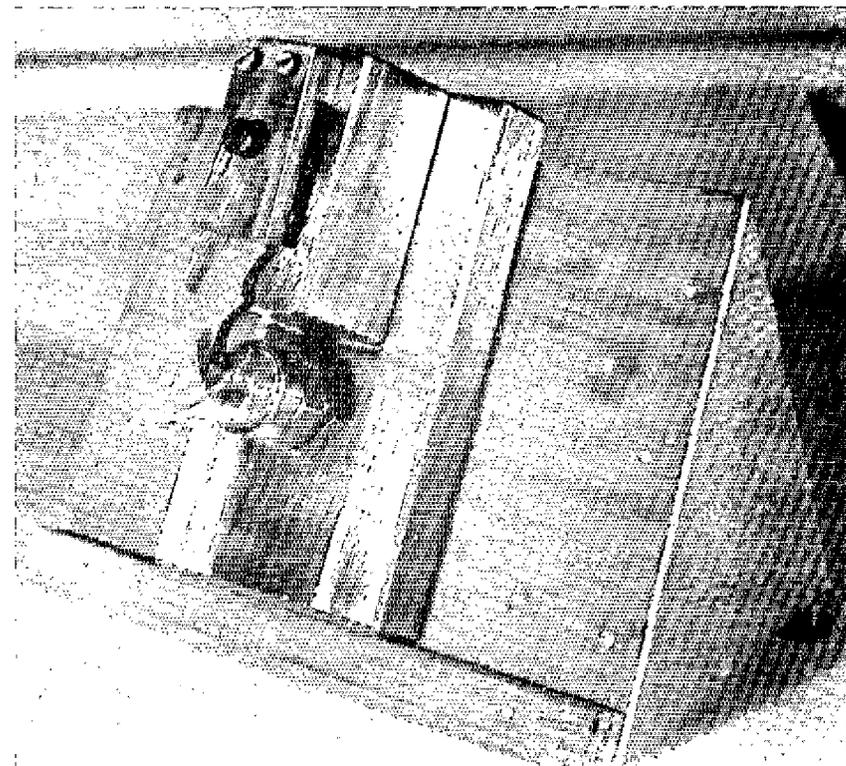
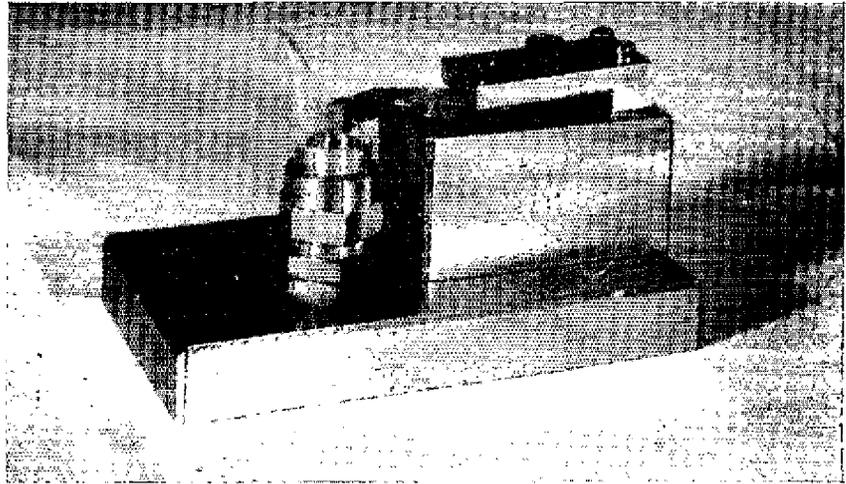
Photo Sarlin.

*Support pour le moulage simultané
de quatre dents, vu en position inclinée.*

tirer la dent sensiblement dans la direction de la diagonale de l'angle de bec. La traction à exercer est normalement très faible, dans le cas contraire, il convient de rechercher tout de suite la raison de la difficulté de façon à savoir s'il y a lieu ou non d'y porter remède. Dans certains cas la dent résiste parce que la coupe du bois lui a donné une forme non démoulable, avec un peu d'habitude ceci peut être très facilement déterminé au toucher, en cas de doute, il faut examiner l'outil au microscope. Si la dent a une forme démoulable les difficultés peuvent provenir : d'un mauvais dosage cire-éther, d'une atmosphère trop humide de l'étuve, de la présence d'humidité dans l'araldite, de l'utilisation d'un durcisseur trop vieux, ou d'une répartition pas assez homogène du durcisseur dans l'araldite... Le diagnostic n'est pas toujours facile, mais si l'on prend soin de mettre un dessiccateur dans l'étuve et de porter de temps en temps l'araldite à la température de 110°, tout en respectant les indications données plus haut concernant la cire et le durcisseur, les résultats sont généralement excellents.

Support individuel pour le moulage des dents ; en haut, en position horizontale pour la mise en place de la dent ; en bas, en position inclinée au moment où l'on va couler la résine.

Photos Sarlin.



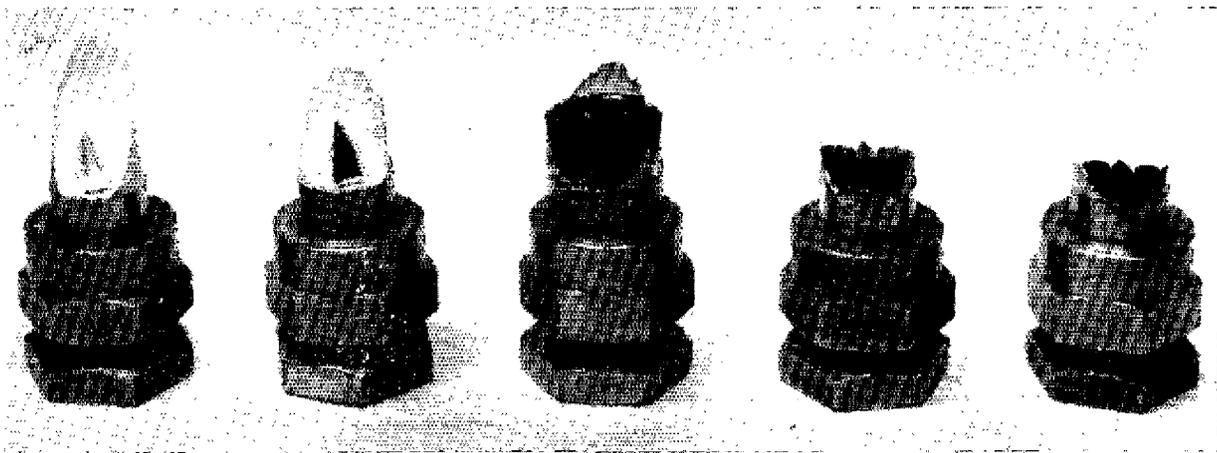


Photo Sarlin.

Différentes étapes de l'évolution du moulage : Etat du moule après enlèvement de la dent, après injection d'une goutte de résine noire, après enrobage, après sectionnement et après polissage.

EXPLOITATION DES MOULAGES.

Après enlèvement de la dent, il convient de garnir le volume qu'elle occupait dans le moulage d'une résine noire qui mettra mieux en évidence la surface qui limite les deux résines. Avant de procéder à cette opération, il faut attendre que toute réaction chimique soit terminée au sein de l'araldite blanche, sinon, une diffusion de la 2^e résine dans la 1^e pourrait peut-être se produire. Nous attendons toujours au moins cinq jours mais le plus souvent assez nettement plus longtemps.

Les points de l'araldite blanche qui étaient en contact avec la dent forment une sorte de trièdre qu'il faut remplir d'araldite noire. Si celle-ci est versée sans précautions spéciales de l'air est presque toujours emprisonné sous l'araldite et ceci précisément à l'endroit où sa présence est la plus néfaste, c'est-à-dire le long de l'arête. Pour éviter cela, il

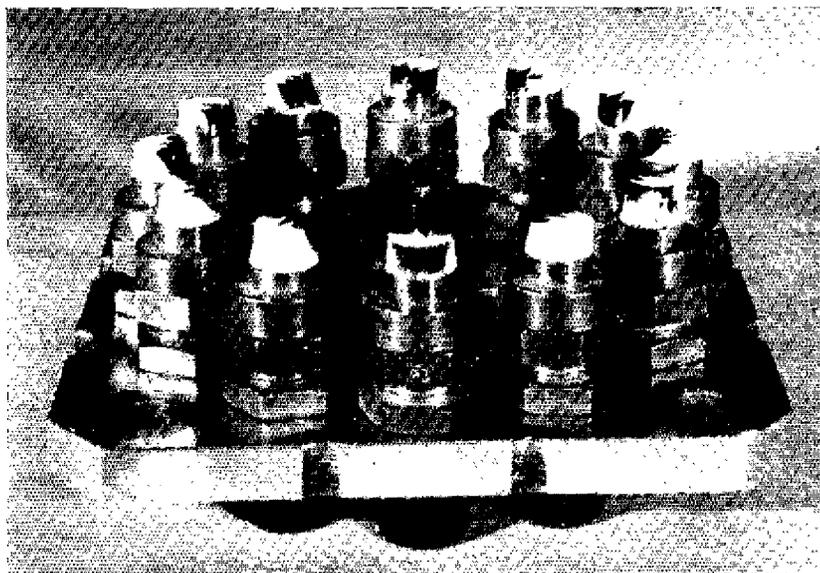
faut disposer les moules en position horizontale (44) et déposer sur la pointe extérieure de l'arête une goutte d'araldite noire très petite et très fluide. Cette goutte s'écoule lentement par capillarité tout le long de l'arête sans emprisonner d'air, et l'on peut ensuite faire couler sans danger davantage d'araldite noire. Pour que l'araldite soit très fluide, il faut qu'elle soit chaude (70°) mais si on la maintient chaude sa viscosité augmente très vite, ce qui n'est guère compatible avec la réalisation d'une opération minutieuse sur une centaine de moules ou plus ; c'est pourquoi nous avons pensé qu'il était préférable de porter l'araldite à 70°, juste au moment du dépôt de la goutte, en chauffant électriquement l'aiguille de la seringue utilisée pour faire l'injection. L'opération est faite en deux temps : dans le premier temps on dépose une très petite goutte sur la pointe, et dans le 2^e temps, on

remplit tout le trièdre. Cette opération est en général effectuée le matin, les moules sont ensuite remis dans l'étuve à 32°. En fin d'après-midi, on met les moules en position verticale on remplace le cylindre de plastique biseauté par un cylindre de plastique droit et on verse de l'araldite noire jusqu'à une hauteur légèrement supérieure à celle du dernier point visible de l'arête de la dent. Cinq jours plus tard, le moulage ainsi enrobé peut être sectionné et poli.

(44) Nous voulons dire par là que l'arête de la dent, ou plutôt sa reproduction, doit être horizontale.

Moulages sectionnés et fixés par douze sur une plaque de duratumin en vue du prépolissage et du polissage.

Photo Sarlin.



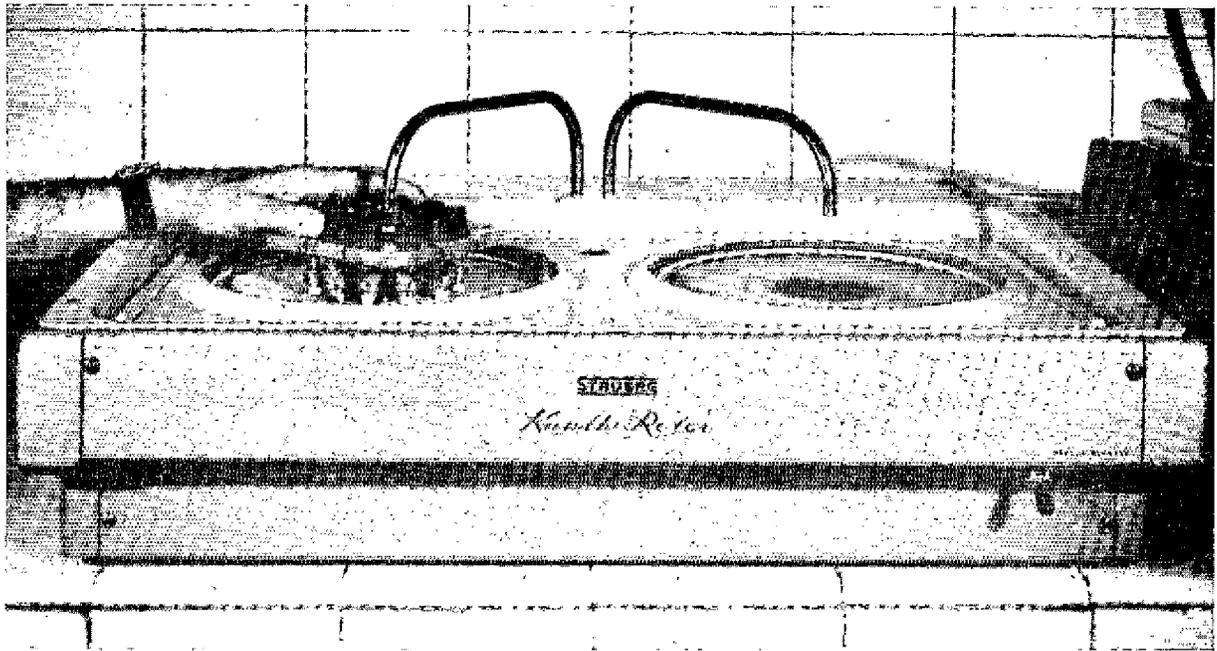


Photo Sarlin.

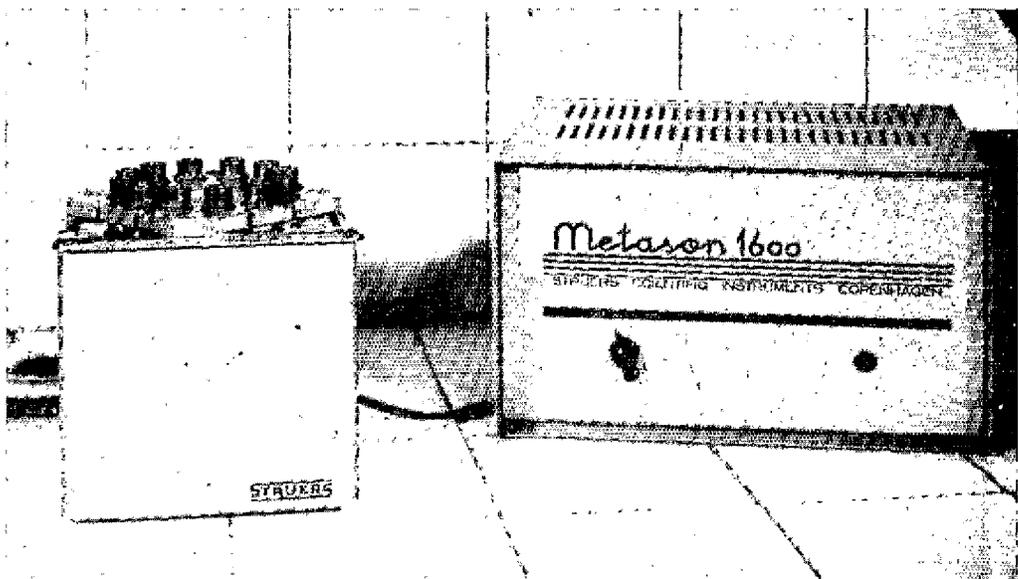
Polisseuse à deux disques employée pour le prépolissage des dents.

Les opérations de sectionnement et de prépolissage sont techniquement de même nature et se font toutes avec des disques abrasifs dont seule la dimension des grains diffère. Il se pose à leur sujet deux problèmes, l'un assez facile à résoudre qui est de donner la même hauteur à tous les moulages correspondant au même essai, l'autre plus délicat qui est de ne pas déformer la résine.

Pour faciliter l'obtention d'une hauteur uniforme pour tous les moulages on a construit une petite ponceuse à plateau sur laquelle les moulages subsistent individuellement un premier meulage d'ébauche. Le moulage se visse sur un support - guide dont la course est limitée par une butée située à une distance fixe du plateau. Après cette première opération, les moulages ont tous des hauteurs sensiblement égales. Ils

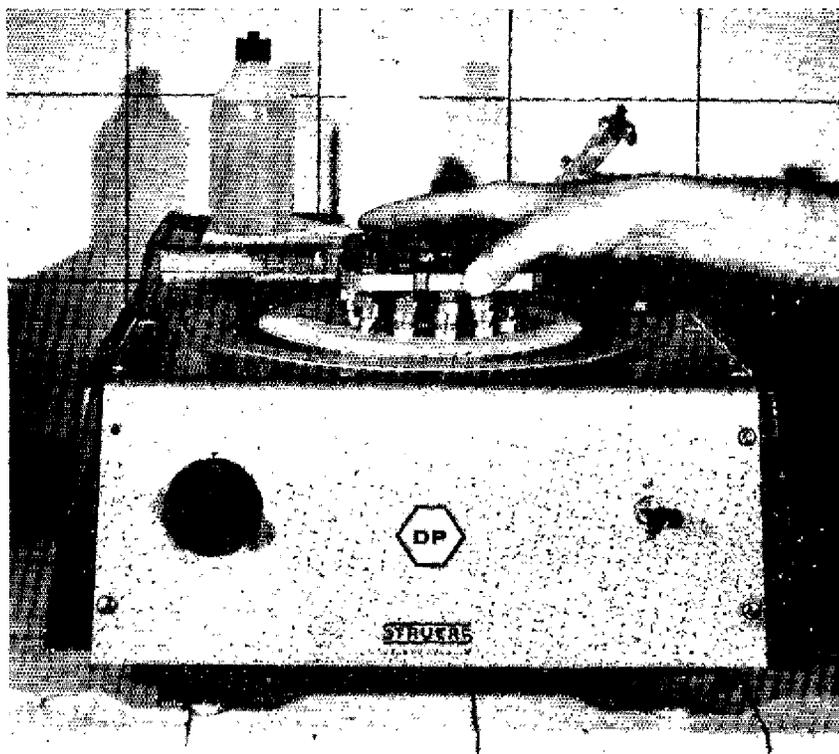
sont alors groupés par numéros d'essais et fixés par 12 sur une plaque de duralumin bien plane. Au cours des opérations de prépolissage et de polissage les différences qui peuvent exister après le meulage d'ébauche s'atténuent ; seules peuvent se créer de légères différences entre parties opposées du plateau, mais elles ne concernent pas les mêmes essais.

Nous sommes très mal informés de la façon dont naissent les contraintes dans les résines époxy au cours des opérations de prépolissage et de polissage et aussi mal de ce qu'il faut faire pour les éviter, si toutefois c'est possible. Il est probable que les



Nettoyage des moules dans une cuve à ultrasons entre deux opérations de prépolissage et de polissage.

Photo Sarlin.



Polissage des moules au diamant sur disque en drap.

Photo Sarlin.

mine ainsi tous les grains d'abrasif qui auraient pu rester collés au moulage et qu'il faut éviter de transporter sur les plateaux suivants.

Les résultats sont normalement très bons si les photographies sont faites dans les quelques heures qui suivent le polissage ; dès le lendemain de petites déformations peuvent apparaître sur la surface polie ; elles ne semblent pas modifier la forme du contour mais en diminuent la netteté.

Les photographies des profils sont faites à l'aide d'un microscope métallographique REICHERT avec dispositif d'éclairage en fond noir et illuminateur à lampe à vapeur de mercure à haute pression. Au début, nous avions installé un soufflet spécial qui nous permettait d'ob-

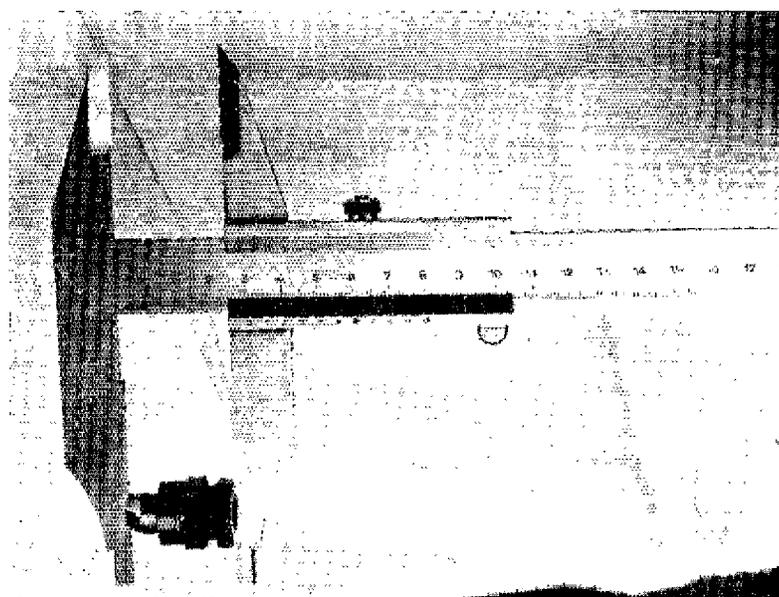
tenir directement un grossissement de $500\times$ sur une plaque de 18×24 cm. Les photographies étaient faites directement sur papier, ce qui réduisait le travail au minimum. Il est beaucoup plus pratique et plus sûr de passer par l'intermédiaire d'un film, c'est ce que nous avons fait dès que nous avons commencé à réaliser les essais en grandes séries. La photographie est prise sur un film de 9×12 cm à un grossissement un peu inférieur à $200\times$. La photographie d'un micromètre objectif prise dans les mêmes conditions que celles des profils est utilisée pour le réglage de l'agrandisseur, afin d'obtenir un grossissement final sur papier, exactement égal à $500\times$. Quand l'usure de la dent est très prononcée, la photographie sur film est faite à un grossissement un peu inférieur à $100\times$ pour que la partie utile du profil soit entièrement dans le champ.

Le repérage des clichés se fait en mettant devant le film, dans une par-

(45) Pour le prépolissage on utilise des disques de papier abrasif de grains : 220, 320, 400 et 600. Le polissage est fait sur drap avec pâte de diamant de grains 15μ , 7μ , 2μ et $0,25\mu$.

Mesure de la hauteur totale du moulage et de son socle (hauteur « Z »).

Photo Sarlin.



Installation pour la photographie des faces de la dent, à faible grossissement.

Photo Chatelain.

tie éloignée du profil, une plaque d'aluminium perforée portant le numéro de référence de l'essai (46).

Pour pouvoir déterminer, comme nous le verrons plus loin, la position exacte du profil qui a été photographié, il faut mesurer la distance entre le plan du profil et le plan de la base du socle ; distance que nous désignons par la lettre Z. Cette mesure est faite à l'aide d'un pied à coulisse au cinquantième, mais une précision de l'ordre du vingtième de millimètre est suffisante.

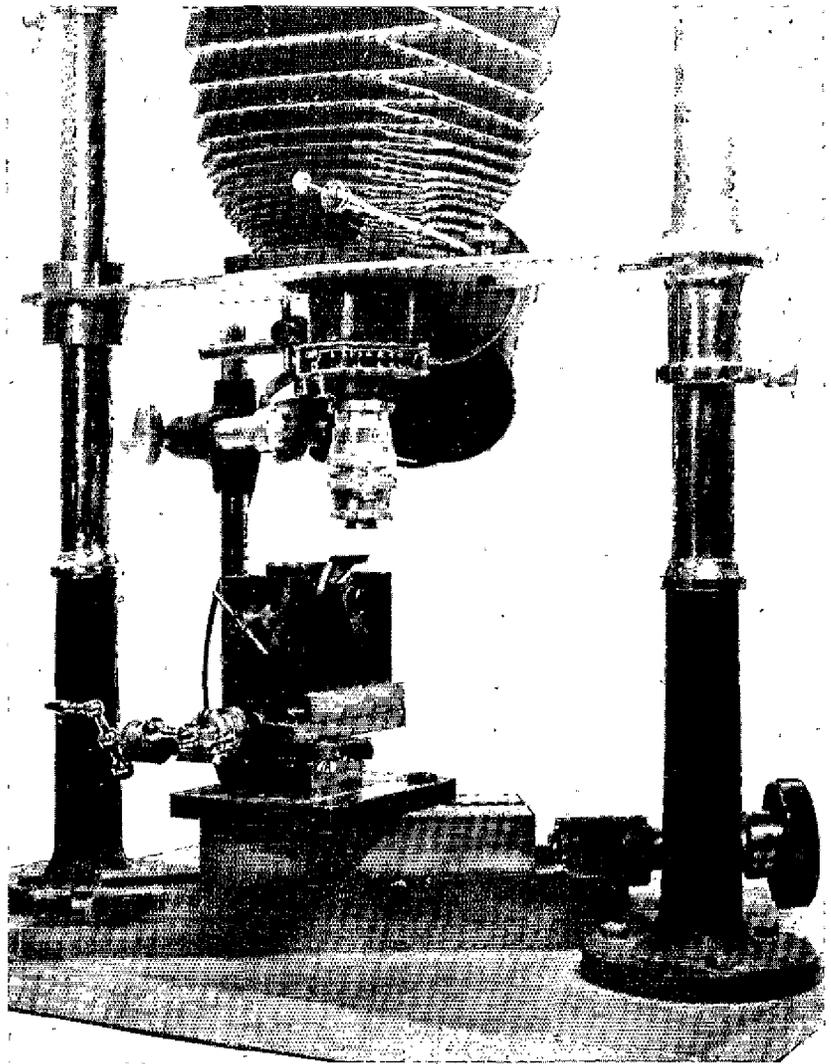
Quand ces opérations sont terminées nous préférons conserver le moulage pour d'éventuels examens ultérieurs — l'expérience montre que cette précaution est très utile nous démontons alors l'ensemble du moulage. Le socle et la bague seront utilisés pour d'autres essais. A la base de la douille nous collons une étiquette portant le numéro de référence de l'essai et le numéro d'ordre du moulage dans l'essai. Toutes les douilles correspondant au même essai sont mises dans un même tube de verre dont le bouchon porte le numéro de l'essai.

Nous verrons au chapitre III de quelle façon les photographies des profils sont transformées en un document prêt à être publié.

C. Examen global de l'usure

Dans la mise en œuvre pratique des deux méthodes de contrôle géométrique de l'usure qui viennent d'être décrites, il est indispensable, si l'on doit réaliser un grand nombre d'essais, de ne pas multiplier inutilement le nombre d'opérations à exécuter pour chaque essai. C'est pour cette raison que la mesure linéaire de l'usure est faite en quatre points et que l'examen d'une série de profils est fait presque toujours pour une seule position de la

(46) On trouve dans le commerce de telles plaques numérotées de 00 à 199, le numéro de référence du cliché photographique est donc le reste de la division par 200 du numéro de référence de l'essai. Pour l'essai 2375, le cliché porte le numéro 175. Dès que le cliché est développé le n° complet y est inscrit à l'encre de chine. Les bagues de repérage des moulages sont de la même façon numérotées de 00 à 199.

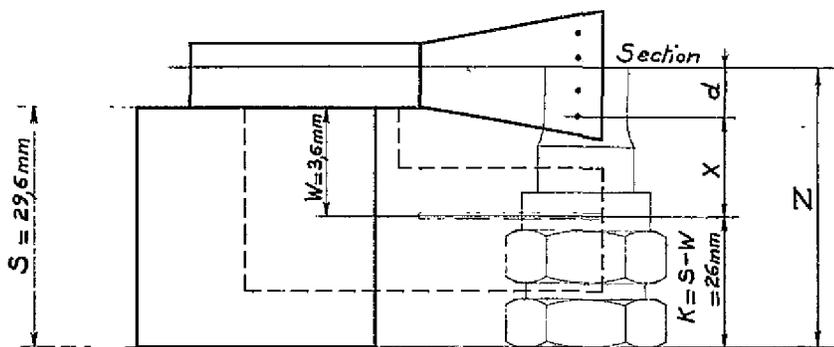


section. Cette façon de faire est légitime si l'on dispose d'un moyen pour contrôler la validité des informations peu nombreuses ainsi obtenues.

La troisième méthode de contrôle purement géométrique que nous utilisons répond à ce besoin et fournit un certain nombre d'informations complémentaires. Elle est extrêmement simple aussi bien dans son principe que dans son application pratique. Elle consiste à prendre des photographies des faces d'attaque et de dépouille de la dent avant et après la coupe et à les comparer.

Pour faciliter l'interprétation des documents et réduire le nombre des tirages photographiques au minimum, les photographies des faces d'attaque et de dépouille sont prises sur le même film de 9×12 cm, à un grossissement voisin de $13 \times$, puis tirées sur papier au grossissement total de $50 \times$.

Il est facile de voir sur ces tirages si l'usure est régulière ou non et si les points de repère utilisés pour la mesure linéaire de l'usure sont ou non en face d'une partie de l'arête normalement usée.



$$d = Z - X - 26 \text{ mm}$$

Pour savoir si les profils sont représentatifs, il faut d'abord les localiser. La figure 4 sur laquelle la dent est représentée à la fois sur le support de moulage (traits pleins) et sur le support de mesure de X et Y (traits interrompus) montre comment on peut déterminer la distance d qui sépare le point de repère du

Fig. 4. — Schéma montrant comment à partir des valeurs constantes S et W et des deux valeurs mesurées X et Z on peut déterminer la distance « d » qui sépare l'un des points de repère marqués au diamant du plan de section du moulage.

plan de coupe quand on connaît les valeurs de X et Z mesurées antérieurement. Il suffit de reporter sur la photographie des faces de la dent une distance $D = 50 d$ pour localiser le profil. Nous avons l'habitude de marquer cette position par un trait rouge. Il est facile de voir alors si les profils obtenus sont ou non représentatifs des profils moyens. Les photographies de la dent usée fournissent en outre

toutes sortes d'informations complémentaires aussi bien sur l'usure de l'arête que sur l'usure des pointes latérales de la dent.

Nous verrons au chapitre III comment ces informations sont traduites en signes codifiés pour être présentées dans la publication.

ÉTUDE DES ÉLÉMENTS EN RELATION AVEC L'ÉVOLUTION DE LA FORME GÉOMÉTRIQUE DES DENTS DE SCIÉS

Comme nous le disions à la fin du chapitre I (47) notre politique de travail a été de mettre d'abord bien au point une méthode de constatation de l'évolution de la forme géométrique des dents et d'introduire ensuite progressivement le contrôle des éléments qui sont en relation avec cette évolution.

Notons que d'une part ces éléments ne sont pas dénombrés et que d'autre part la nature de leurs relations avec l'usure est très variée. Dans certains cas, ces relations sont à sens unique : un taux de silice élevé est responsable d'une usure rapide, l'émoussement de l'arête entraîne une modification du mécanisme d'écoulement des sciures dans le creux de dent ; dans d'autres cas, ces relations sont à double sens : un effort élevé appliqué à la dent peut être responsable d'une usure rapide et l'usure provoque une augmentation de l'effort.

Dans ces conditions, il ne paraît pas utile d'essayer de présenter les différents éléments à étudier dans un ordre logique. Nous nous contentons de présenter, dans l'ordre chronologique de leur introduction, ceux qui ont fait jusqu'ici l'objet d'observations ou de contrôles, et nous dirons en terminant l'orientation que nous souhaitons pouvoir donner dans les prochaines années.

Contrôles classiques.

Certains contrôles classiques très utiles pour

(47) Voir le paragraphe : Politique de travail adoptée par le laboratoire d'usinage.

l'interprétation des résultats d'essais sont exécutés dans les laboratoires spécialisés du Centre : Détermination du taux de silice du bois et de la densité, par exemple. Au laboratoire d'usinage l'on doit surtout déterminer le taux d'humidité du bois coupé. Ce taux d'humidité est mesuré sur toutes les planchettes sciées quand par suite d'une usure très rapide de la dent le nombre de planchettes sciées est inférieur à 6. Il est mesuré pour une planchette sur trois environ quand le nombre des planchettes coupées est élevé. La méthode de détermination d'humidité adoptée est celle définie par les normes, bien que cette méthode présente l'inconvénient de considérer comme eau tous les produits volatils contenus dans le bois.

Premières observations.

Certaines observations qualitatives ont été introduites dès les premiers essais et sont faites systématiquement depuis. Elles concernent :

a) La qualité de la surface sciée : toutes les planchettes débitées au cours de l'essai sont numérotées et conservées jusqu'à ce que l'essai soit terminé. L'évolution de la qualité du sciage est notée sur un registre d'observations et deux planchettes bien représentatives de l'état initial et de l'état final de la surface sont conservées pour un éventuel examen ultérieur. A l'occasion de cette inspection on vérifie l'identité du bois et on note la présence éventuelle d'aubier, qui en principe devrait être éliminé avant l'essai.

b) **Le brûlage des dents** : nous verrons plus loin que la mesure de la distribution des températures dans les dents de scies n'a été introduite que récemment et paraît difficile à transformer en essai de routine. C'est pourquoi il est utile d'observer les signes d'échauffement important des dents de scies qui sont bien visibles sous forme de plages bleues, noires ou brunes distribuées très diversement sur les faces de la dent. Ces observations sont faites systématiquement en fin d'essai sur les dents — qui sont d'ailleurs conservées pour observations ultérieures —. Elles sont plus ou moins régulièrement faites en cours d'essai suivant la diligence de l'expérimentateur. Nous verrons au chapitre III comment ces observations sont présentées dans la publication.

Contrôle de la variation de l'effort de coupe.

Si l'on considère le sciage d'un point de vue mécanique, il n'est pas douteux que le comportement pratique d'une lame bien préparée est assez étroitement dépendant des efforts qui lui sont imposés. Les efforts qui s'exercent sur les pointes des dents pendant la coupe ne sont pas les seuls efforts imposés à la lame et ils ne sont probablement pas toujours ceux qui ont la plus grande importance pratique. Il n'en reste pas moins qu'une bonne connaissance de l'évolution de ces efforts en fonction de l'usure aiderait grandement à comprendre et à mieux observer le comportement des lames de scies à ruban.

Le laboratoire d'usinage avait construit, bien avant d'entreprendre des études sur l'usure, un pendule dynamométrique bien adapté à la mesure de l'énergie dépensée à la coupe. Nous avons donc utilisé cet appareil pour contrôler les variations d'une composante de l'effort de coupe en fonction de l'usure. Malheureusement, les conditions de coupe au pendule n'étant pas les mêmes que sur la scie (48) l'évolution de l'outil se trouvait perturbée d'une façon difficile à apprécier ; il aurait fallu modifier assez sensiblement certains organes du pendule. Nous avons préféré suspendre ce genre de contrôle et étudier une machine nouvelle pour les mesures d'effort.

Normalement, cette machine devrait permettre de mesurer les deux composantes principales de l'effort de coupe, mais il n'est pas facile, sauf si l'on dispose de crédits importants de faire de la mesure simultanée de ces deux composantes une opération de routine répétée deux à trois mille fois par an.

Nous avons donc préféré renoncer provisoirement à mesurer la composante de l'effort qui est perpendiculaire à la direction de coupe et construire

(48) Au pendule la vitesse de coupe est de 7 m/sec, il est probable que compte tenu de la faible quantité de bois coupé ce facteur est peu important ; le mouvement alternatif de l'outil, avec frottement de la face de dépouille sur l'éprouvette au retour est par contre beaucoup plus gênant.

une machine peu coûteuse et facile à manier pour la mesure de l'autre composante.

Bien qu'elle en diffère par la taille et par des détails de réalisation, cette machine est tout à fait semblable, en ce qui concerne le principe de la mesure, à celle qui avait été employée par REINEKE à Madison pour des recherches sur le sciage. La dent à essayer est montée sur un disque circulaire lié rigidement au rotor d'un moteur électrique dont le stator est monté sur des roulements à billes très sensibles. La résistance opposée à la rotation du rotor par les frottements ou par la coupe se transforme en un couple agissant sur le stator. Un dynamomètre convenablement disposé s'oppose à la rotation du stator et mesure le couple qui lui est appliqué.

A condition d'établir pour chaque vitesse du moteur, par exemple à l'aide d'un frein, un diagramme établissant la correspondance entre couple rotor et couple stator, on peut facilement déduire de la lecture faite au dynamomètre la valeur de l'effort tangentiel moyen appliqué à la lame.

Ceci est tout à fait exact dans l'application qu'en fait REINEKE à un sciage continu. Dans notre cas, la lame ne porte qu'une seule dent et coupe d'une façon intermittente, le rotor se trouve ralenti par la coupe pendant $1/10^e$ de tour et reprend sa vitesse de régime pendant les $9/10^e$ restants. Il est possible que, dans ces conditions, la répartition des pertes ne soit pas rigoureusement identique à ce qu'elle est en freinage continu et que, par conséquent, l'étalonnage ne soit pas tout à fait valable. Plutôt que de faire une étude théorique de cette question, nous préférons attendre de disposer de l'équipement voulu pour faire un étalonnage direct du rapport entre effort de coupe et lecture faite au dynamomètre (49). Nous pourrions ainsi corriger après coup les valeurs, déjà assez précises, mesurées actuellement.

Une particularité de notre montage est qu'au lieu de faire agir le stator directement sur le dynamomètre nous créons à l'aide de poids posés sur un plateau relié au stator par un câble, un couple antagoniste du couple à mesurer et systématiquement plus élevé. Le dynamomètre enregistre alors la différence entre les deux couples. Un premier avantage de ce système est qu'il permet de faire très simplement, avant chaque mesure d'effort, un enregistrement témoin de la position de l'aiguille et de l'échelle des efforts, il suffit pour cela de lancer le moteur et d'enlever et d'ajouter des poids sur le plateau en faisant avancer la bande enregistreuse de 1 ou 2 cm après chaque changement de poids et en notant les charges correspondantes. Un autre avantage du système c'est que l'on n'est pas obligé de choisir le dynamomètre en fonction

(49) Nous avons maintenant l'équipement de base adapté à ce genre de mesure que nous pourrions faire quand nous disposerons du temps nécessaire à la réalisation du montage.

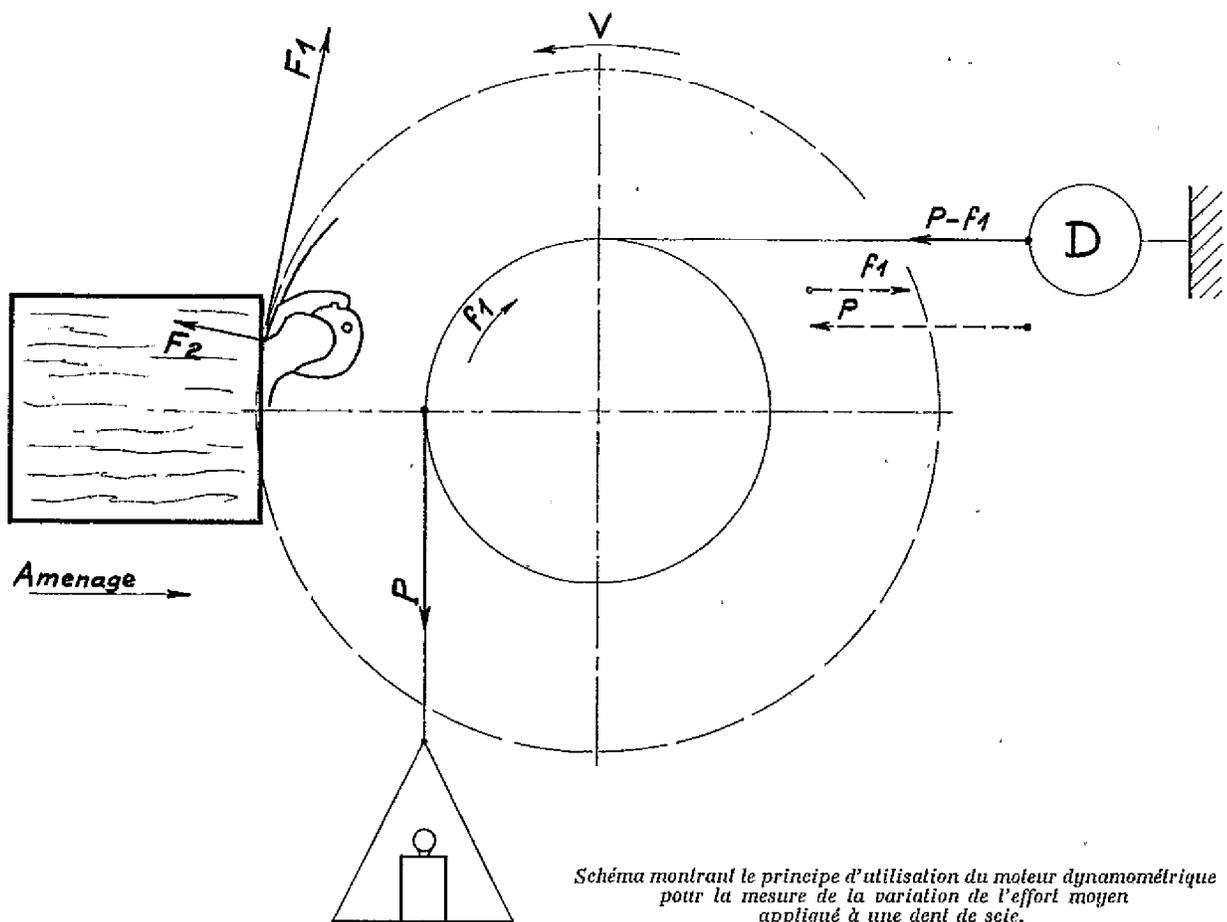


Schéma montrant le principe d'utilisation du moteur dynamométrique pour la mesure de la variation de l'effort moyen appliqué à une dent de scie.

des efforts les plus importants à mesurer au prix d'une perte de sensibilité dans la mesure des efforts faibles. On peut choisir un dynamomètre assez sensible, la valeur absolue de l'effort enregistré ne dépendant que des poids mis sur le plateau. L'inconvénient du système est qu'il faut savoir à l'avance dans quelle plage de valeurs se situe l'effort. En général il n'y a pas de difficulté mais il est inévitable que des erreurs d'appréciation se produisent de temps en temps. Elles sont très rares et n'ont pas de conséquences si l'on est prêt à ajouter ou à enlever très rapidement un poids en cas d'erreur.

Le moteur est à deux vitesses — 4 pôles et 2 pôles — ce qui en alimentation à 50 Hz donne des vitesses périphériques de 23 et 46 m/s. Par alimentation entre 40 et 60 Hz, on peut couvrir les plages de 18 à 27 et de 36 à 54 m/s. La pièce de bois de 96 mm de hauteur est griffée sur une équerre fixée sur une table étanche montée sur galets croisés SCHNEEBERGER. L'amenage est réalisé par un vérin mécanique entraîné par un moteur réducteur, on peut réaliser toutes les vitesses d'avance nécessaires pour enlever toutes les épaisseurs de copeaux usuelles aux vitesses de coupe permises par la machine.

Un comparateur enregistreur Graphotest mesure

les déformations de l'anneau dynamométrique lié par un câble au stator du moteur.

Les mesures d'effort sont effectuées au début de chaque essai, et, en principe, juste avant chaque moulage ; si pour une raison quelconque la mesure n'a pas été faite immédiatement avant le moulage elle est faite immédiatement après. Pour un bois moyennement abrasif, il est fait en général 5 ou 6 mesures d'effort par essai complet.

Contrôle de l'évacuation des copeaux

Au moment où l'étude de l'usure entrainait à peine dans sa phase de toute première exploration destinée à permettre d'élaborer un plan de travail, le laboratoire d'usinage effectuait une étude sur le mode de cheminement des sciures dans le creux de dent (50). Pour analyser l'effet des principaux facteurs à combiner nous avons dû prendre près d'un millier de photographies. Mais les dents de scies utilisées pour cette étude étaient garnies de carbure de tungstène et très finement affûtées, c'est pourquoi nous avons pensé qu'il fallait attendre, pour poursuivre l'étude, d'être en mesure d'introduire correctement le facteur usure.

(50) Cf. Chardin. L'étude du sciage par photographie ultra-rapide in B. F. T., n° 51.

Dès que notre machine pour la mesure de l'effort de coupe a été mise en service, nous avons constaté qu'elle pourrait servir en même temps à l'étude de l'évacuation des copeaux. Nous avons donc installé un stroboscope électronique synchronisé avec le mouvement de la lame. Pour éviter toute perturbation de la mesure d'effort la synchronisation est commandée par une cellule photo-électrique.

Eclairée par le stroboscope, la lame paraît parfaitement immobile et il est facile d'observer l'écoulement des copeaux, éventuellement en créant un mouvement lent par déphasage progressif de l'instant de déclenchement de l'éclair. Ces informations ont cependant le double inconvénient : a) de n'être enregistrées que dans la mémoire de l'observateur et b) de pouvoir être faussées par la superposition, grâce à la permanence rétinienne, d'images successives qui ne sont pas identiques.

L'observation des profils d'usure nous conduit à penser que dans certains cas la dent coupe seulement une fois sur deux ou une fois sur trois. Il est important de vérifier cette hypothèse, car si elle est exacte, le frottement parasite qui se produit quand la dent refuse la coupe entraîne une usure excessive qu'il faut s'efforcer d'éviter.

Pour pouvoir faire un diagnostic dans des cas semblables, il est nécessaire d'enregistrer, non pas une image isolée, mais la série des images que le stroboscope rend observables. On peut remarquer que les images se succèdent à la cadence de 25 ou 50 par seconde dans les cas standards (51), cadence qui correspond tout à fait à celle d'une caméra ordinaire.

Si l'on veut enregistrer la totalité des images, il faut synchroniser la caméra avec la rotation du disque ce qui peut être fait par voie mécanique à très peu de frais, mais en prélevant de l'énergie sur le rotor du moteur, ce qui fausse la mesure d'effort. Si l'on ne veut prélever aucune énergie, il faut réaliser une synchronisation électronique ce qui est beaucoup plus coûteux.

Si l'on remarque cependant que le débit d'une planchette de mesure d'effort comporte presque toujours plusieurs centaines de coupes, on peut se demander s'il est vraiment utile d'enregistrer toutes ces images, et si l'on ne pourrait pas se contenter de la moitié. Si l'on accepte cette restriction, la solution du problème devient très simple : il suffit de régler la cadence de prise de vues à une valeur légèrement inférieure à celle du passage de la dent, pour voir apparaître sur le film des séries d'images séparées par des bandes non impressionnées. Le nombre d'images successives dépend de la différence relative entre les deux cadences. Si le réglage de la cadence de la caméra n'est pas

(51) Moteur à 4 ou 2 pôles alimenté en 50 Hz.

*Vue partielle de la machine
permettant la mesure de l'effort moyen
appliqué à une dent de scie.*

Photo Sarlin.

très précis, on peut, pour y remédier, réaliser l'entraînement par un moteur auxiliaire extérieur.

En faisant la prise de vues avec une caméra de 16 mm et une émulsion à grain fin, on peut obtenir d'excellentes images en tirage sur papier au format 9 x 12 cm. L'image a alors, compte tenu du réglage de la caméra, la grandeur de l'objet.

Cette méthode n'est pas appliquée automatiquement à tous les essais, elle est mise en œuvre quand des observations faites à l'occasion d'autres travaux nous conduisent à penser qu'elle peut être utile.

Développements récents et perspectives d'avenir.

Les méthodes que nous avons récemment mises au point pour faire progresser nos connaissances sur l'usure des dents de scies et celles dont nous avons commencé ou dont nous envisageons l'étude, s'inscrivent dans une même perspective. Nous devons montrer, comme nous l'avons fait pour les autres parties de cette publication : pourquoi ces études sont nécessaires, comment elles ont été abordées et comment elles pourront se prolonger. Il s'agit d'un ensemble d'une très grande importance pratique qui ne peut pas être présenté d'une façon cohérente si l'on en dissocie les parties. Celles-ci ne pouvant pas être toutes présentées, nous devons différer l'exposé de la fin de ce chapitre II qui fera peut-être l'objet d'une note annexe après la publication du chapitre III.

