

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 84 (1958)
Heft: 8: Outilage

Artikel: La tenue de coupe de l'outillage
Autor: Naville, Raymond
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-63490>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 26.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

LA TENUE DE COUPE DE L'OUTILLAGE

par RAYMOND NAVILLE, ingénieur dipl. E.P.F., Nidau

De tout temps, le constructeur de machines a été limité par la tenue de coupe de l'outil. Que ce soit par rapport à la production ou à la précision, l'outil agit toujours comme un obstacle et le but de l'outilleur est de réduire celui-ci si ce n'est complètement, du moins dans des limites acceptables. Les progrès faits dans ce sens ont été très importants et sont dus en tout premier lieu aux matériaux employés. Des aciers au carbone supportant une température de tranchant de 2000° environ ont cédé la place aux aciers rapides allant jusqu'à 600° C, qui eux-mêmes ont fait place au carbure de tungstène pouvant dépasser 1000° C.

Du point de vue de l'outilleur, la machine également peut constituer un obstacle à l'utilisation rationnelle de ses produits. Le cas classique est l'emploi de burins en métal dur sur des tours ne pouvant donner soit la vitesse, soit la puissance nécessaire. Mais le plus grand ennemi de l'outil sont les vibrations produites soit par une machine manquant de rigidité, soit par un nombre de tours trop élevé, pour lequel elle n'a pas été prévue.

On peut donc affirmer qu'il n'y a pas deux problèmes séparés, mais un seul, la machine devant être conçue en fonction de l'outil qu'elle utilisera. Celui-ci de son côté devra répondre aux exigences formulées par le constructeur. Son usure sera déterminante pour la production de la machine.

Usure de l'outil

a) Causes

Pour déterminer les causes scientifiques de l'usure de l'outil, de très nombreux essais ont été faits, sans arriver à une conclusion pratique absolue. Trop de phénomènes encore mal connus se produisent à l'arrachement du copeau pour que l'on puisse donner à l'avance l'usure de l'arête de coupe en fonction de la matière à tailler d'une part, de la vitesse et de l'épaisseur du copeau d'autre part, pour une forme géométrique et un liquide de coupe donnés. Plusieurs méthodes, plus ou moins empiriques, dont la plus ancienne fut inventée par Taylor, ont été utilisées pour le calcul de la durée de l'outil, mais elles ne sont applicables en grande partie que pour un genre de travail bien déterminé.

L'usure d'un outil peut provenir de trois causes principales :

1. *Echauffement* trop grand de l'arête. Le métal devient aussi mou que la matière à tailler et est enlevé par celle-ci. L'outil s'émousse (p. ex. outil en acier carbone taillant de l'acier).
2. *Résistance insuffisante* de l'arête. Celle-ci se casse par place et devient semblable à une scie (p. ex. métal dur avec angle aigu).
3. *Frottement à sec* du copeau et de la pièce sur l'outil.

Les deux premières causes sont bien connues et faciles à déterminer. Le frottement à sec n'a presque

pas été étudié et c'est le facteur qui fausse toutes les mesures de tenue de coupe.

Lorsque deux métaux soigneusement polis frottent l'un sur l'autre, leur surface de contact n'est en réalité que de 5 à 10 % de la surface totale. Les points de contact atteignent par le frottement une température élevée. Il y a soudure et cassure (cratérisation). Ceci est un fait prouvé en employant par exemple un burin radioactif et en examinant les copeaux avec un compteur Geiger. La surface des métaux n'est jamais pure. Elle comprend une couche d'oxyde plus une couche limite liée intimement au métal. Ce sont des molécules d'air ou autres, agissant dans le cas du frottement comme autolubrifiant.

Bowden en Angleterre a fait l'expérience suivante : deux plaques de diamant parfaitement polies frottent l'une sur l'autre, et à l'air libre on ne peut constater aucune usure pendant des années. Ces plaques ont été placées sous vide très poussé et on a pu constater qu'elles s'usaient comme deux morceaux de craie déjà à faible vitesse. Ceci provient de l'absence de couche limite lubrifiante sur ces surfaces.

Que se passe-t-il dans le cas d'un outil de coupe ? La surface du copeau arraché et de la pièce ne présente pas de couche limite et provoque de ce fait une forte usure de l'outil. On s'efforcera donc de procurer une couche limite au copeau naissant pour diminuer son pouvoir abrasif. Différents moyens sont utilisés dont le plus simple est un liquide de coupe approprié. Ce liquide est amené d'habitude sur le copeau. Une solution plus logique mais plus difficile à réaliser est de l'introduire sous le copeau avec forte pression au moyen d'un gicleur. L'huile soufrée produit à des températures au-dessus de 400° des vapeurs qui s'introduisent sous le copeau et créent une couche limite, tandis que les aciers sulfuromanganés ou contenant une légère quantité de soufre tendent à diminuer le frottement du copeau naissant sur l'outil lui-même. Tous ces phénomènes sont très complexes et pas encore assez connus pour que l'on puisse en tirer des conclusions générales.

b) Usure due à la forme de l'outil

La forme géométrique d'un burin de tour ne pose pas de problème spécial. Elle peut être déterminée par l'outilleur et les règles à appliquer dans ce cas sont relativement simples. On connaît les angles nécessaires pour tailler les différentes matières. Les essais ont montré que, pour les métaux légers, le nickel et les aciers austénitiques, un angle de pente de coupe de 15 à 20° augmente considérablement la durée d'un outil en acier rapide. Pour le travail de l'acier, des angles de pente négatifs pour les outils en carbure de tungstène donnent d'excellents résultats à condition que la vitesse soit suffisante et la machine assez robuste.

Mais la forme de l'outil ne peut très souvent être choisie pour une coupe optimum. Elle est imposée dans bien

des cas par la forme de la pièce à usiner : burin à fileter, fraises vis pour le taillage d'engrenages, fraises de forme, etc. Dans le cas de la taille d'engrenages, plus l'angle des flancs sera petit, plus l'usure sera grande, vu le manque de coupe de la fraise. Celle-ci aura de plus en plus tendance à repousser la matière au lieu de la couper. On peut atténuer partiellement cet effet en augmentant l'angle de dépouille de l'outil.

Ceci rend cependant la fraise plus fragile et sa fabrication plus difficile, soit au taillage par un burin, soit pour la rectification où le diamètre des meules doit être réduit en conséquence.

Le nombre de dents des fraises a naturellement une grande importance et une fraise couteau à une dent s'usera beaucoup plus vite qu'une fraise taillant par génération, dont 30 à 40 dents taillent successivement le profil. L'expérience de l'outilleur doit pour chaque cas lui faire trouver la forme résistant le mieux pour obtenir le profil désiré.

c) Usure due à la matière employée

La matière de l'outil doit être en rapport avec la matière à tailler et ceci pour différentes raisons :

1. prix de l'outil et délais de livraison ;
2. échauffement du tranchant ;
3. production, problème du réassemblage, grandeur des séries ;
4. fini et précision désirés.

On ne peut mettre sur le même plan un burin de tour pour l'ébauche de grosses pièces où la quantité de matière à enlever est déterminante avec une fraise vis destinée à tailler des engrenages d'horlogerie dans du laiton. Le critère pour le choix de la matière du seul point de vue de l'usinage est quand même la température du tranchant. Il n'est pas nécessaire d'utiliser de l'acier rapide ou du métal dur pour tailler du laiton à la place d'un acier faiblement allié, si ce dernier ne s'émousse pas par suite de l'échauffement.

Le constructeur, par contre, peut élaborer des machines plus puissantes à plus grandes vitesses et plus grand rendement où pour tailler ces mêmes pièces, des outils en acier rapide ou même en métal dur seront indispensables.

Il existe actuellement des outils en céramiques pouvant résister à de hautes températures et bien moins chers que ceux en métal dur. Les fabricants de boîtes de montres utilisent pour le taillage du laiton des burins avec plaque de diamant donnant par tournage un fini parfait tel un miroir.

En ce qui concerne les aciers, et spécialement pour les outils compliqués, de très grands progrès ont été réalisés dans les traitements thermiques qui deviennent toujours plus précis mais aussi toujours plus compliqués. La trempe correcte ordinaire d'un acier rapide ne comprend pas moins de six opérations : deux préchauffes, chauffe, trempe au bain chaud, deux revenus. Le même acier doit être traité différemment selon sa destination. Un acier rapide surcarburé genre 14-4-4 avec 5 % de cobalt est chauffé à 1300°C environ et donne une dureté de 70 Rc. Il est ainsi utilisé pour des burins de tour et donne les meilleurs résultats. Le même acier utilisé pour des fraises à fileter donne son maximum en étant chauffé à 1200°C seulement et présentant une dureté de 67 Rc.

Un examen au microscope et l'observation de la progression de l'usure au cours du taillage permettent de déterminer bien des causes de détérioration.

Certains cas échappent complètement aux meilleures investigations. Lors d'un contrôle de qualité de surface, un cylindre de laiton est tourné avec un burin contrôlé sur toutes ses faces et relevé très exactement. Subitement la surface devient rugueuse. Le burin est contrôlé à nouveau et aucune différence ne peut être constatée.

d) Usure due à la machine

Tout le monde connaît le cas du burin fixé avec un trop grand porte-à-faux, s'usant rapidement et donnant une mauvaise surface. D'autres cas sont plus subtils et ne peuvent facilement être décelés. Ce sont d'habitude des vibrations plus ou moins importantes, qui sollicitent trop fortement la pointe ou le tranchant de l'outil. Plus la machine est lourde et robuste, moins elles seront à craindre. Le diagramme figure 1 en donne un exemple frappant pour deux machines à tailler les engrenages.

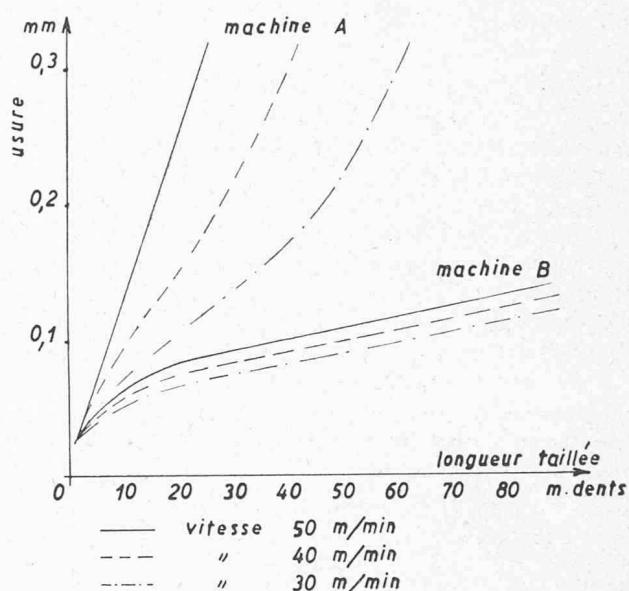


Fig. 1. — Fraises vis en acier rapide à profil non rectifié, trempées ensemble dureté 66 Re, module 1.

Pièces en acier 63 kg, longueur 60 mm, même nombre de dents.

Machine A, type universel, axe de la pièce horizontal.

Machine B pour engrenages droits, très robuste, axe de la pièce vertical. Vitesse de coupe égale dans les deux cas.

Avance donnant le même fini de surface dans les deux cas.

L'usure des fraises est mesurée périodiquement durant le taillage.

On remarque que, pour une longueur taillée de 20 m. dents, l'usure passe de 0,1 à 0,25 mm pour la machine A en variant la vitesse de 30 à 50 m/min, alors que pour la machine B, celle-ci n'augmente que de 0,08 à 0,091. Si l'on continue le taillage jusqu'à 40 m. dents, l'usure sur la machine A est de 0,17 pour 30 m/min, de 0,3 pour 40 m/min et inacceptable pour 50 m/min. Pour la machine B, l'usure passe de 0,9 à 0,99 et la fraise pourra tailler encore le triple de pièces sans dépasser une usure trop grande, ceci à la vitesse maximum essayée.

Une autre cause d'usure provient, pour les outils tournants, de l'élasticité des arbres de transmission. La vitesse de la fraise n'est pas constante ; elle s'élève entre chaque dent et diminue à l'enlèvement du copeau.

Pour pallier ce défaut, les constructeurs montent un volant si possible sur l'axe même de la fraise afin de diminuer cet effet. Non seulement les outils ont un temps de coupe plus élevé, mais la qualité des surfaces taillées est meilleure.

Cas particulier du taillage par génération

La qualité de surface produite par tournage est connue pour une machine donnée. Si celle-ci n'est pas suffisante, il est toujours possible de l'améliorer par une passe de finition ou par rectifiage. Le cas n'est pas le même pour le taillage d'engrenages où la rectification est très longue et coûteuse, souvent même impossible pour de très petits modules. De plus, les exigences des fabricants d'appareils (radar, etc.) et de l'horlogerie ne cessent de s'accroître. L'outil, dès cet instant, doit être de grande précision tout en assurant une bonne tenue de coupe. Une usure même très faible peut occasionner un profil légèrement plus fort qui ne sera pas accepté au contrôle.

Le problème est donc ici tout différent et la précision l'emporte en importance sur la production optimum. La fraise vis est responsable du profil taillé. Plus elle est soignée, plus la forme désirée sera maintenue. Les roues d'horlogerie à profil épicycloïdal ont souvent des modules de 0,06 et une hauteur de dent d'environ 0,18 mm. Les fraises sont faites alors en acier faiblement allié, trempées au bain chaud pour éviter toute déformation, et non rectifiées après traitement. En taillant du laiton, ces fraises ont une vitesse de 80 à 120 m/min et sont affûtées une fois par jour. L'acier rapide ne peut être utilisé avec succès car il est plus fragile et l'usinabilité du métal ne permet pas un fini aussi parfait.

Le cas est différent pour des fraises à flancs droits

destinées à une denture développante qui sera taillée la plupart du temps dans de l'acier. La température du tranchant sera plus élevée et nécessite l'emploi d'acier rapide. Le taillage de matières peu conductrices de la chaleur, comme la bakélite ou les plastiques, demande également de l'acier rapide. L'usinabilité du métal de la fraise est suffisante avec un burin à flanc droit et, lorsqu'une très grande précision est demandée, la rectification du profil peut être facilement exécutée jusqu'à un module de 0,12.

L'emploi du métal dur est certes souhaitable dans bien des cas, mais se heurte à de très grandes difficultés d'usinage. Si l'on augmente le diamètre de la meule diamantée, il faut diminuer le nombre des flûtes et l'on diminue de ce fait la précision du profil où apparaissent des facettes. Le prix de ces outils est du reste prohibitif pour des séries moyennes et leurs délais de livraison habituellement très longs. Ils ne sont en outre pas utilisables sur n'importe quelles machines, celles-ci devant avoir une vitesse et une rigidité plus grandes que celles qui existent normalement.

La précision de l'engrenage dépend :

1. de la machine à tailler pour l'exactitude du pas ;
2. de la fraise pour l'exactitude du profil.

Une quantité de facteurs peuvent influencer soit l'un, soit l'autre, surtout l'affûtage de la fraise, où une erreur de division donne tout de suite un très mauvais profil. Un tasseau porte-fraise mal plat ou mal rond provoque une mauvaise génération et conduit à des engrenages inutilisables. Plus les dentures sont petites, plus importants sont proportionnellement ces facteurs. C'est ce qui explique les soins tout particuliers apportés aux machines et aux fraises destinées à l'horlogerie et le coût parfois très élevé des outils et accessoires nécessaires à ces taillages.

L'ACTUALITÉ AÉRONAUTIQUE VI

L'INDUSTRIE AÉRONAUTIQUE FRANÇAISE

La « Caravelle »

Dans une précédente chronique (voir *Bulletin technique*, n° 3, p. 49), on avait exposé sommairement la situation de l'industrie aéronautique française, en citant certains de ses aspects passés et présents, et en concluant par une description du « Trident ». Une partie de la présente chronique est consacrée à quelques commentaires sur une réalisation française pleine de promesses : la « Caravelle », ceci en complément de la précédente chronique.

Il faut d'abord rappeler la situation des industries d'avions commerciaux, telle qu'elle se présentait vers 1950. La Grande-Bretagne annonçait la prochaine apparition massive des avions commerciaux à réaction « Comet », et était en train de s'assurer un très grand nombre de marchés, ce qui devait lui donner une sorte de monopole mondial pour ce genre d'avion, et les actions de la maison De Havilland (qui avait livré d'importantes quantités de « Vampire » et possédait des contrats pour d'autres quantités de « Venom » à l'intention de nombreux pays) étaient en hausse marquée. Les Etats-Unis, dont on a rappelé ailleurs le conservatisme en matière d'aviation commerciale, préparaient un vaste programme de développement, à assez longue échéance il est

vrai, d'avions commerciaux à réaction, dont le bombardier à réaction B-47 (quadriréacteur déjà éprouvé) devait préfigurer la forme (voir *Bulletin technique* 1957, p. 358).

L'industrie aéronautique française ne pouvait pas laisser échapper une telle occasion de se mêler au concert international ; comme cette industrie ne jouissait pas encore d'un large crédit international, elle se devait, pour opérer avec quelques chances de succès, de développer un appareil de conception absolument inédite, présentant des avantages évidents par rapport aux avions offerts par les industries étrangères.

L'accent fut mis alors sur *l'emplacement des réacteurs*.

En effet : les Américains maintenant la solution des réacteurs suspendus sous l'aile (fixation en pylône, ou en « pod »), les Anglais conservant la solution des turbo-réacteurs noyés dans l'aile, les Français placèrent leurs espoirs dans une solution radicalement différente, qui consistait à disposer les turbo-réacteurs à l'arrière du fuselage, de part et d'autre de celui-ci.

Une telle solution présente les avantages suivants :

- l'aile et le fuselage restent purs, du point de vue de l'aérodynamisme et de la construction ;
- l'accès aux réacteurs est singulièrement aisé (facilités d'entretien, de révision et de réparation) ;