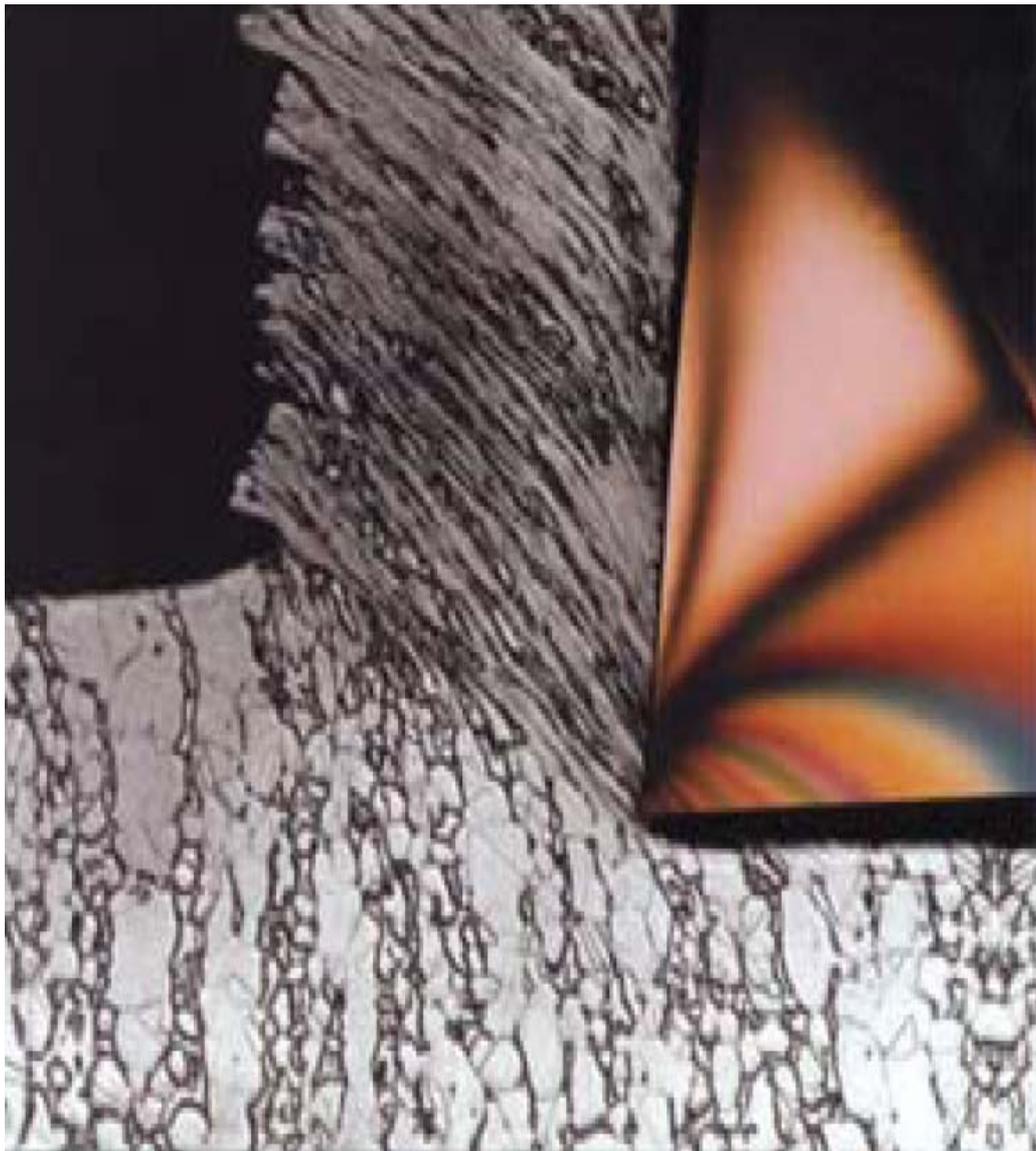


S.BENSAADA

COUPE DES METAUX



PREFACE

L'industrie mécanique s'est développée grâce aux technologies diversifiées de fabrication de pièces et composants qui constituent les ensembles et sous-ensembles mécaniques. Cependant les techniques de moulage et d'estampage n'arrivent pas à satisfaire les besoins mécaniques en pièces et composants spécifiques. Parmi les principaux procédés de fabrication mécanique, il est indispensable d'en citer l'usinage des métaux qui a contribué le plus dans la fabrication et la finition des pièces de précision.

L'usinage des métaux consiste à façonner et finir une surface de pièce de configuration donnée par un ensemble d'opérations à effectuer à l'aide de machines outils. Nous allons voir comment intervient la raison humaine pour l'obtention d'une géométrie déterminée de la pièce grâce à l'harmonisation de l'interaction de plusieurs mouvements imposés tant à la machine, qu'à l'outil de coupe qui fait partie de cette machine-outil, qu'à la surface de la pièce à usiner. Cette dynamique de coupe constitue une technologie de précision qui, par taillage de matière, arrive à concevoir les assemblages les plus recherchés.

Nous entendons parler de tournage, de fraisage, de perçage, de rabotage, etc., mais les nuances sont tellement variées et diversifiées selon la nature du composant à obtenir qu'il faut impérativement savoir chacune des opérations à mettre en œuvre car dans la plus part des cas la combinaison de plusieurs procédés est inévitable. A titre d'exemple, nous évoquons l'opération de perçage qui paraît relativement la plus simple car quiconque connaît bien la perceuse manuelle. Mais dès que vous êtes en présence de dizaines de milliers de perçages de différents diamètres à réaliser sur des matériaux différents, comme dans le cas d'un véhicule, cela devient un véritable domaine de la technologie car, en outre, il faut bien tenir compte des efforts physiques et conditions de perçage pour ne pas altérer les propriétés mécanique des matériaux en fin d'usinage.

La dynamique d'usinage fait appel aux connaissances physiques des efforts des solides en mouvements, celles des propriétés particulières des matériaux et la métrologie dimensionnelle. Bref, l'usinage des matériaux, est un procédé noble qui, de nos jours, se manifeste par la présence de machines numériques programmables, et occupe la place prépondérante dans l'industrie mécanique notamment. Les potentiels d'usinage d'un pays servent d'indice de développement dans cette technologie. C'est pourquoi les bases de ce module de technologie d'usinage sont destinées aux étudiants de cette filière. Un module que tous les élèves ingénieurs du tronc commun de technologie auront l'occasion de le suivre et pouvoir même voir pratiquement la concrétisation de certaines opérations fondamentales dont les effets sont remarquables et appréciés.

L'auteur

Dr.S.BENSAADA

COUPE DES METAUX

1. Introduction

1.1 Importance de l'outil de coupe dans la construction des machines

Généralement la mise en forme de la matière pour produire des pièces de différents types de machines et d'appareils fait appel à des techniques très diverses et suivant l'état de la matière (liquide, solide ou pulvérulent), voir tableau 1.

Donc deux types de solutions se présentent:

- a) La mise en forme par enlèvement de la matière qui est l'usinage ou coupe de matière et qui occupe une place de première importance en construction mécanique et dont les moyens sont sans cesse perfectionnés pour diminuer le coût de fabrication et améliorer la qualité du travail réalisé.
- b) La mise en forme sans enlèvement de la matière et parmi lesquelles on peut citer:
 - Le Formage à chaud et à froid
 - La Fonderie
 - Et le Frittage

Ce qui nous intéresse dans cette partie est la coupe des métaux qui consiste à l'usinage des surfaces fonctionnelles des pièces mécaniques par enlèvement de la matière (copeaux) au moyen d'outils de coupe.

Avant l'évolution des techniques de coupe, la coupe des métaux s'effectuait avec des outils à main très simples dont certains se sont conservés jusqu'à nos jours sans changement important (lime d'ajusteur, pointe de graveur, scie, burin).

Aujourd'hui l'effort musculaire se trouve évincé par le travail de machines spéciales dites machines outils (tour, fraiseuse, perceuse, rectifieuse, mortaiseuse, raboteuse, etc....).

Donc l'outil de coupe est un organe de machine outil qu'en cours d'opération agit directement sur l'ébauche par enlèvement de matière pour produire une surface conforme à celle spécifiée sur le dessin de définition.

Dans l'usinage le matériau de base est à l'état solide appelé ébauche (état initial), après enlèvement du métal par coupe (transformation) on obtient la pièce mécanique à l'état final conforme aux spécifications du dessin de définition.

COUPE DES METAUX

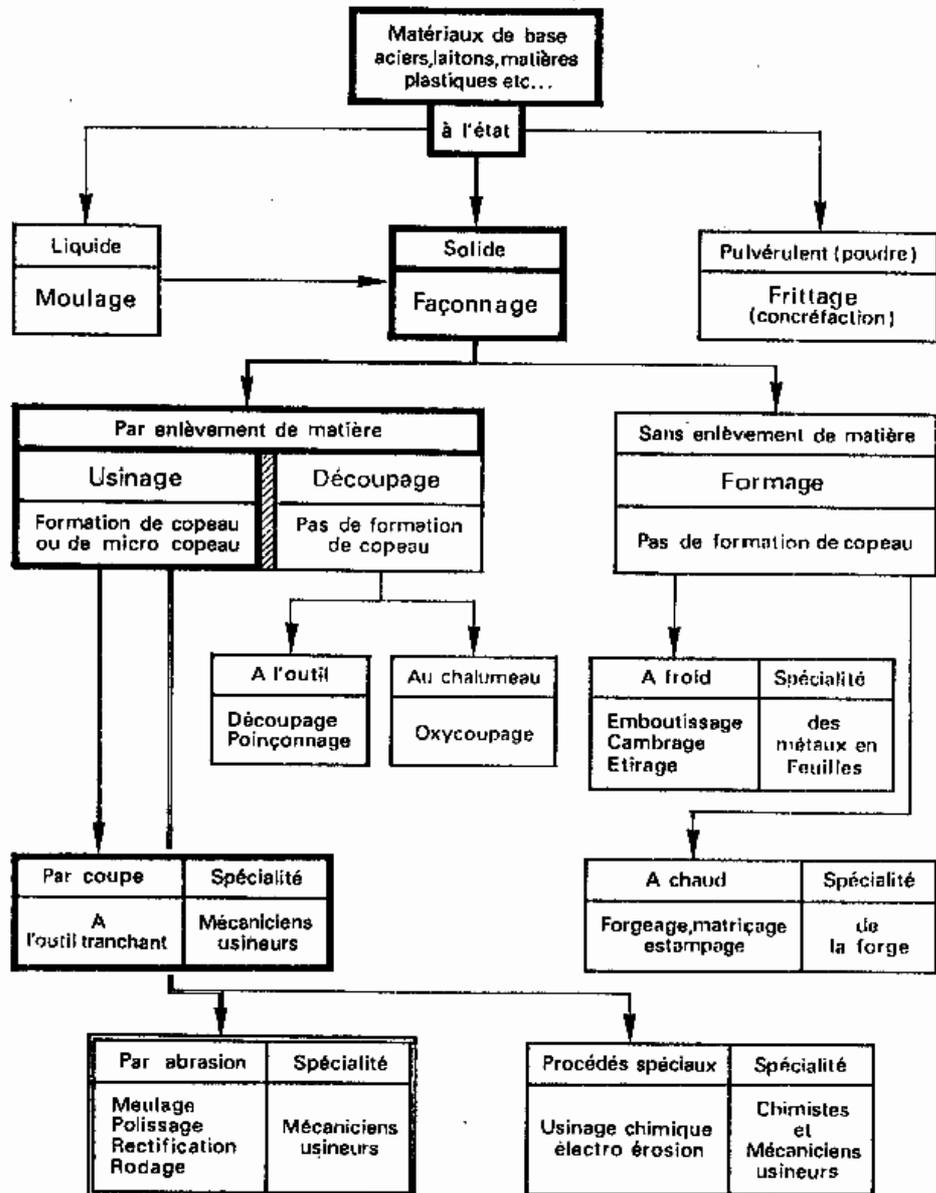
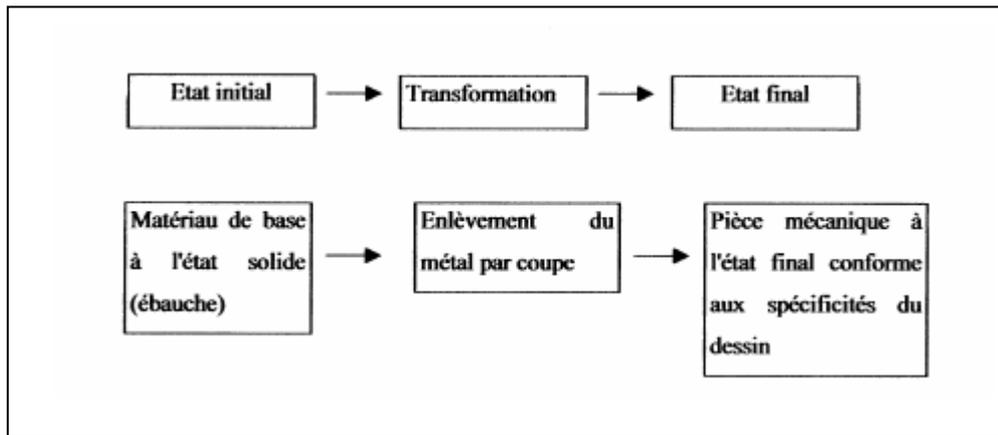
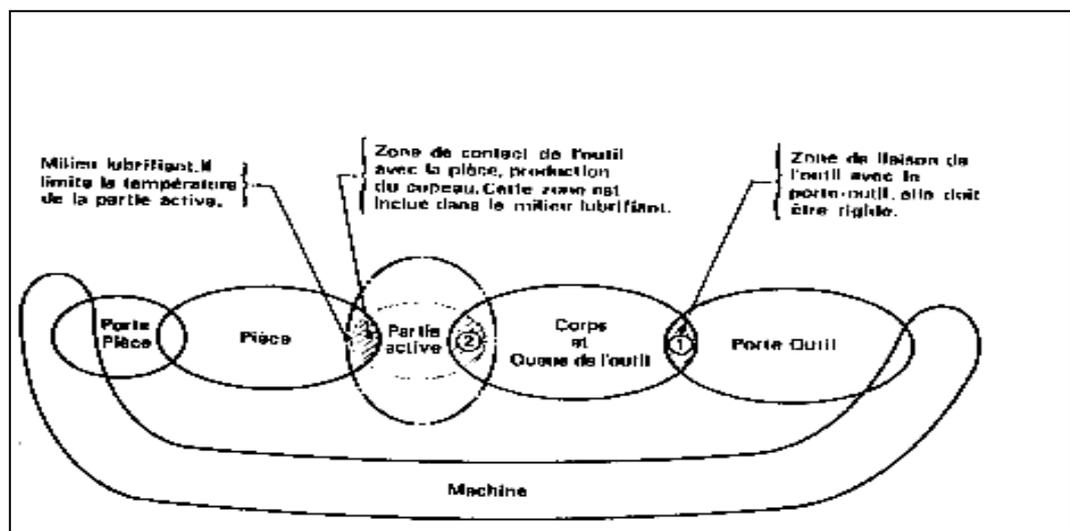


Tableau.1



Quelque soit le type de machine outil ou le cas d'usinage on a toujours le même schéma ci-dessous représentant les liaisons existantes entre les différents éléments.



Avant de réaliser un usinage, le mécanicien usineur devra choisir: - La machine la mieux adaptée à la réalisation du travail demandé. - L'outil et ses conditions d'utilisation (l'outil convenable au travail désiré). - Le porte outil. - Le porte pièce.

1.1.1. Identification des éléments en présence dans trois cas d'usinage

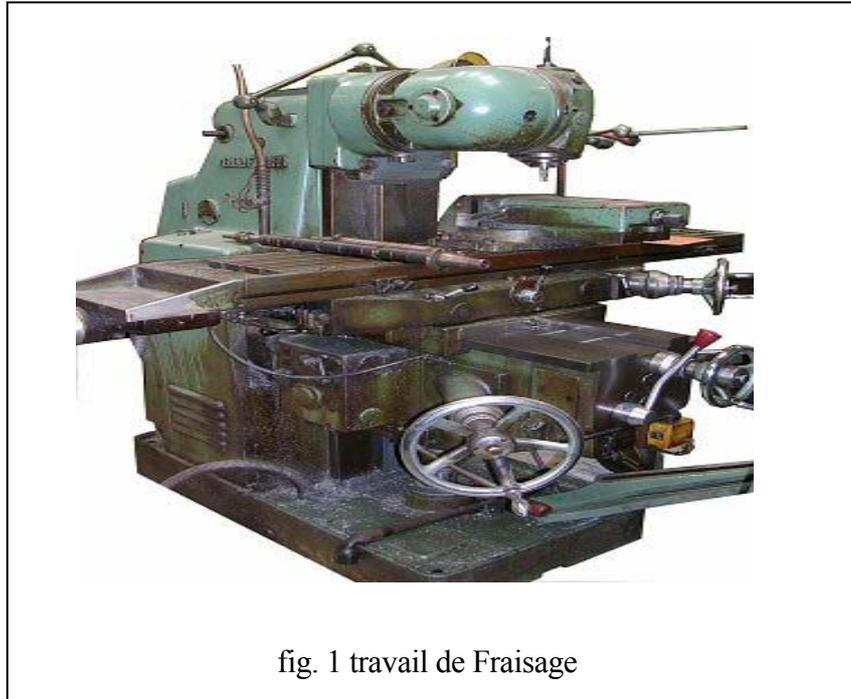


fig. 1 travail de Fraisage



fig.2 travail de Perçage



1.2. L'outil de coupe modèle

Les outils manuels sont des intermédiaires entre l'homme et la matière (outils de montage, clefs, tournevis, lime, etc..) ou entre la machine et la matière (outils de coupe, fraises, outils de tour, forêt etc...).

Quelque soit le type de travail et pour qu'il y ait production de copeaux, il faut que le couple outil-pièce soit animé de mouvement relatif (fig.4 et fig.5). Ce mouvement relatif peut être composé de mouvement de coupe (M_e), mouvement d'avance (M_f) et mouvement de profondeur (M_p).

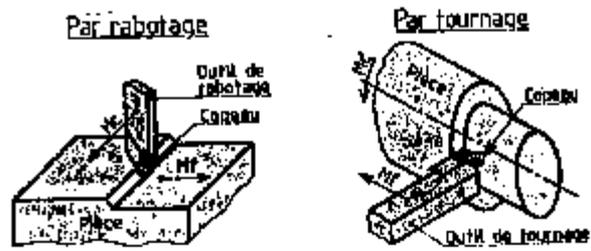


Fig.4 Rabotage et Tournage

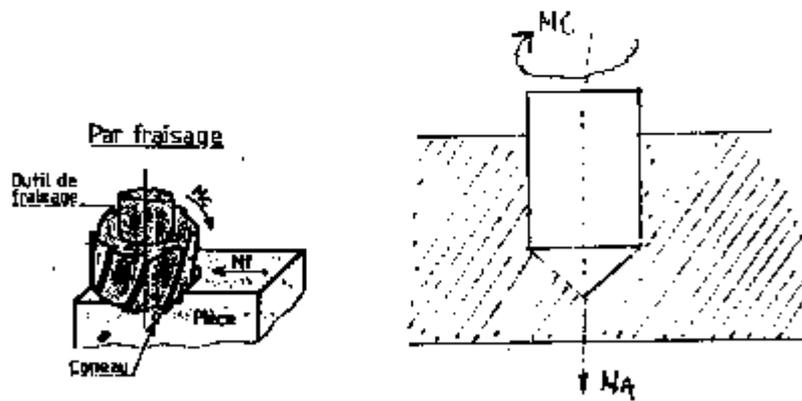


Fig.5 Fraisage et Perçage

Mouvement de coupe (Me)

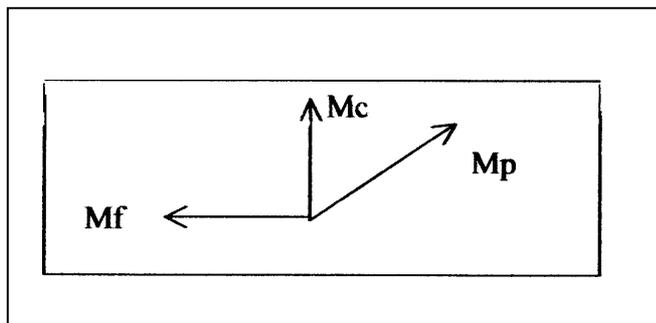
C'est le mouvement qui participe directement au détachement de la matière sous forme de copeaux pendant la course de la machine dite course de travail.

Mouvement d'avance (Mf)

C'est le mouvement dont la direction est perpendiculaire à Me et qui intervient lorsque l'outil ne travaille pas c'est-à-dire pendant la course-retour. Ce mouvement a pour but de décaler la pièce latéralement d'une quantité a dite avance, pour que l'outil puisse à la nouvelle course-travail détacher d'autres copeaux.

Mouvement de profondeur (Mp)

C'est le mouvement de profondeur ou de passe dont la direction est perpendiculaire aux deux précédentes.



Copeaux

Les copeaux sont continus (forme de ruban) dans le cas des métaux malléables (acier) et fragmentés dans le cas des métaux non malléables (bronze et fonte). Les copeaux doivent être évacués, sinon ils tracent des sillons sur la surface usinée. Lors du perçage avec un forêt trop court, dès que la queue cylindrique se trouve engagée, les copeaux ne peuvent plus s'évacuer, l'effort de rotation augmente et la machine ralentit jusqu'à l'arrêt ou la rupture du forêt.

1.2.1 Différentes parties de l'outil

Les parties principales (fig.6 et 7) existantes sur un outil de coupe sont:

Le corps: Il assure la liaison de l'outil avec le porte-outil, il est prismatique ou cylindrique.

La queue: Pour les fraises, les forêts, on appelle "queue" l'élément qui permet la liaison de l'outil avec le porte-outil. La queue est cylindrique ou conique (cône morse CM ou standard américain SA).

La partie active: C'est la partie qui agit sur la pièce pour provoquer un enlèvement de métal. Elle est caractérisée par sa forme et son matériau.

La dureté de la partie active doit être plus grande que celle du métal à travailler.

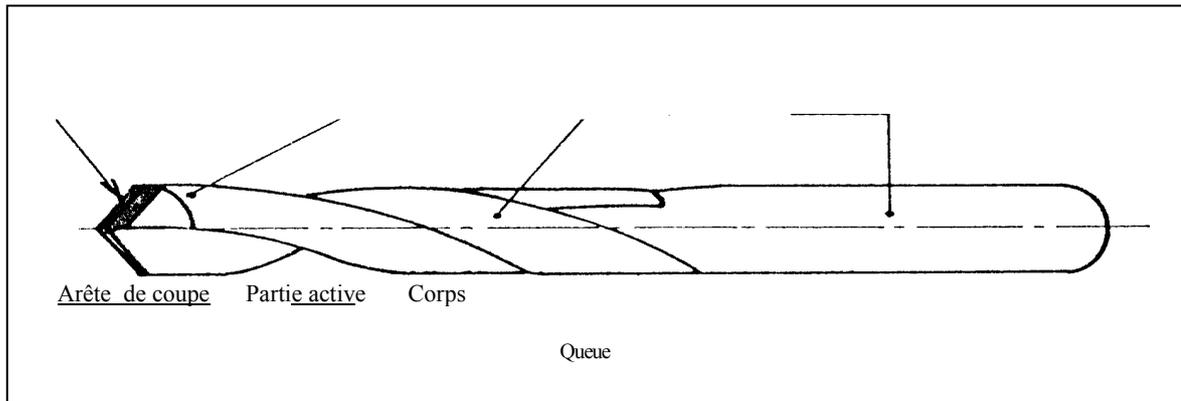
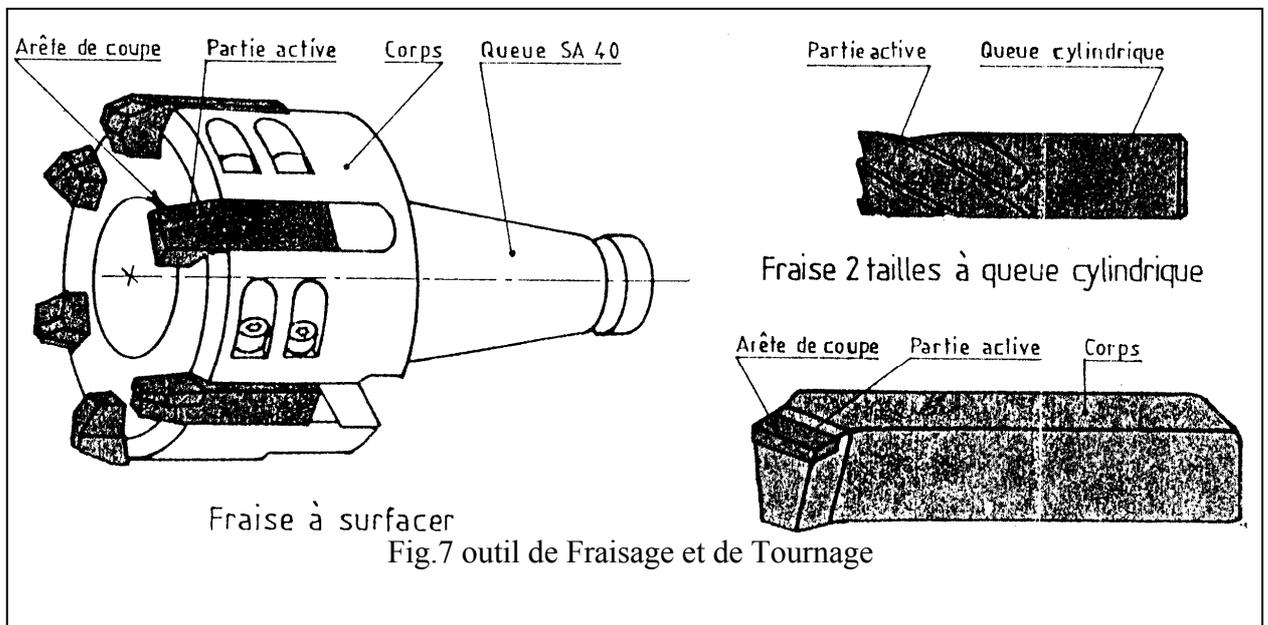


Fig.6



1.3. Classification des outils

On peut classer les outils en trois groupes:

1. Les outils simples à tranchant uniques: outil de Tournage et de Rabotage
outil de Tournage et de Rabotage.

2. Les outils associés ou outils à arêtes multiples: outils fraise, forêt, alésoir, scie, lime etc..

3. Les outils-meules: ce sont des outils à arêtes multiples dont le mode d'action est un peu différent de celui des outils du 2^e groupe

2. Matériaux d'outillage et exigence principale de l'outil de coupe

Les performances des machines outils dépendent étroitement de celles des outils de coupe qu'elles actionnent et des conditions d'utilisation des outils.

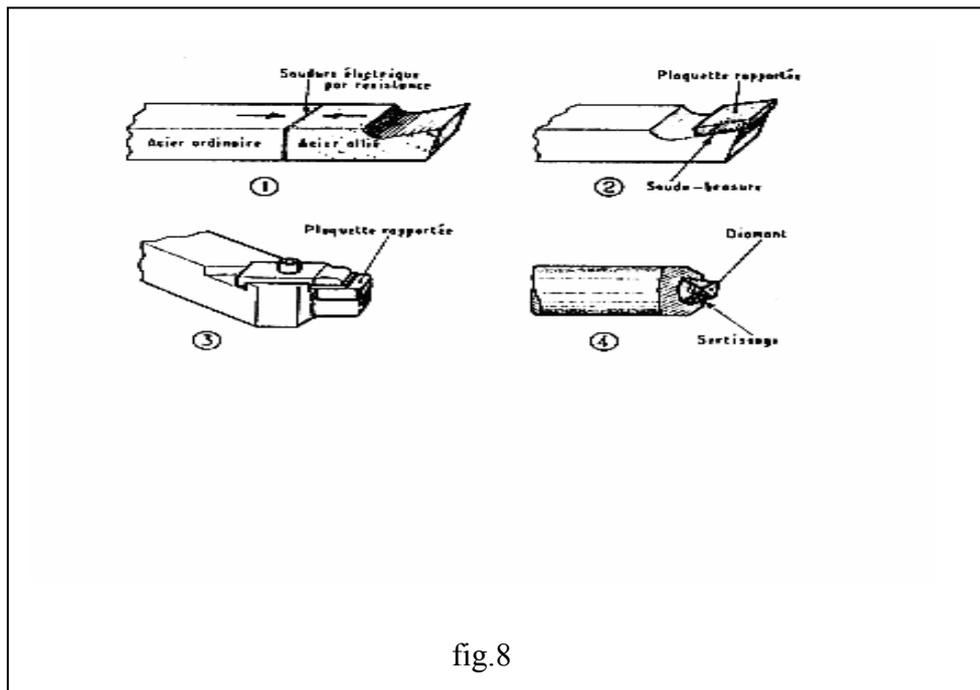
Pour que l'arête tranchante d'un outil de coupe reste toujours vive, elle ne doit pas s'user, ainsi la matière qui la constitue doit être plus dure que celle de la pièce à usiner. Comme la dureté d'un métal et sa résistance varient en sens inverse, on doit prendre des précautions particulières pour avoir une partie active, sur laquelle se forme les copeaux, très durs et un corps résilient et résistant à la flexion et la torsion. D'où l'idée de constituer un outil en deux parties.

- L'une (active) en matériau dur avec ou sans traitement thermique.

- L'autre (passive) sur laquelle est rapportée la partie active, soit par plaquette montée mécaniquement ou par soudobrasage, soit par soudage électrique par rapprochement, soit par sertissage.

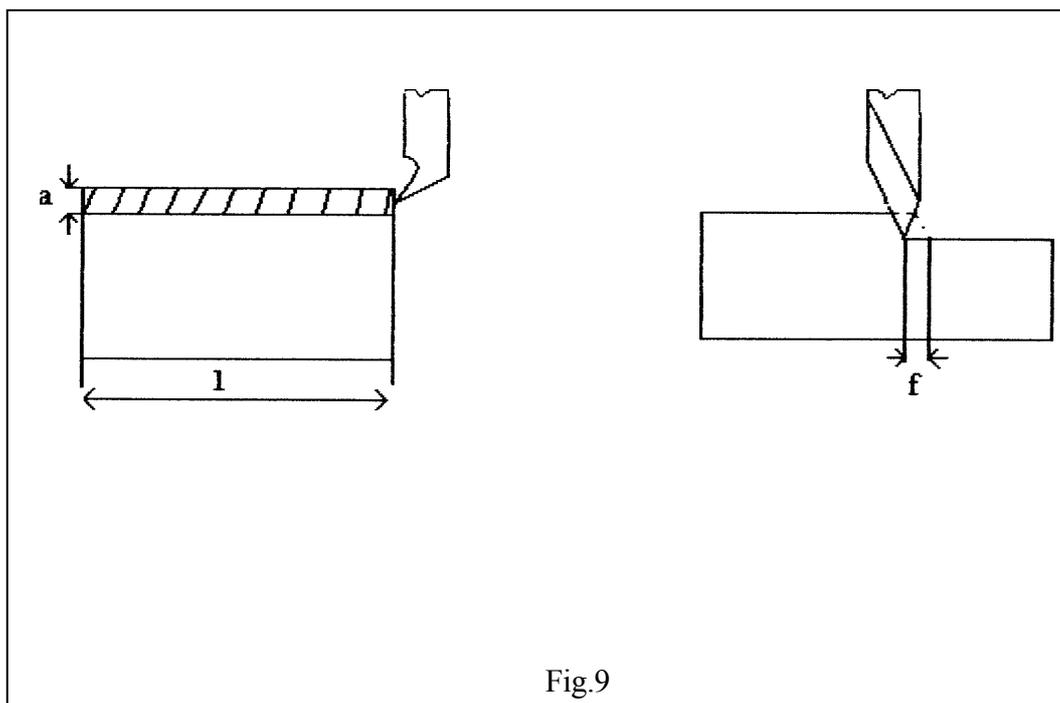
La partie active de l'outil servant à couper la matière doit posséder les qualités suivantes:

- Résistance élevée aux sollicitations (résistance aux chocs, à la traction, compression etc....).
- Dureté élevée des faces de coupe et de dépouille (des surfaces dont l'intersection forme l'arête coupante) pour pouvoir pénétrer dans le métal usiné.
- Faible rugosité ($R_a = 1.6 \mu\text{m}$) des faces de coupe et de dépouille. Conservation de la dureté à des températures élevées (500 à 900°C) pour limiter les effets de l'usure sur les faces de coupe et de dépouille.



Depuis 1900 beaucoup de travaux ont été réalisés dans le domaine de coupe des métaux et plusieurs matériaux à outils ont été successivement introduits dont les performances sont de plus en plus élevées en ce qui concerne: La dureté des matériaux susceptibles d'être usinés et les vitesses de coupe utilisables.

Le coût de l'usinage dépend du débit, c-à-d du volume des copeaux enlevés par minute (fig.9).



Connaissons $V_{m/min}$, a et f

- La section S du copeau : $S = a \cdot f$

Volume du copeau: $V(m^3) = S \cdot l$

Volume débité par minute: $V/min = S \cdot L/t$

Vitesse $V_{m/min} = l/t$

- $V_{min} = S \cdot V_{m/min}$

Donc pour augmenter le débit on doit augmenter S (a et f).

La figure 10 nous donne un aperçu sur l'évolution historique des vitesses pour l'usinage des aciers.

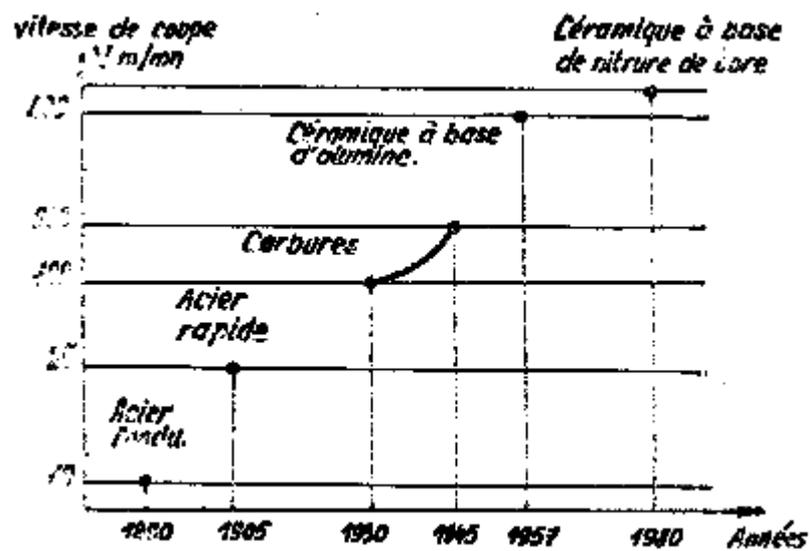


fig.10

Matériaux de coupe	Valeur moyenne de la dureté			Température maxi d'utilisation en degré
	du matériau de coupe		du matériau usiné	
	HRC ou HV	Knoop	HRC	
Aciers rapides	64 à 68 HRC		30	550
Aciers rapides revêtus	80 HRC (1040 HV)		40	600
Carbures métalliques	1 300 à 1 800 HV	17 à 18	50	800
Céramique à base d'alumine et titane		28	60	1 400
Céramique à base de nitrure de bore		43 à 46	72	1 000 à 1 200
Diamant		56 à 102	pas de limite	

Une classification des matériaux par ordre de dureté croissant peut être établi comme suit:

Acier au carbone trempé -

Acier au carbone allié

Acier au Tungstène trempé (acier rapide)

Alliages coulés (stellites)

Carbures métalliques

Céramique

Diamant

2.1 Aciers au carbone

2.1.1 Aciers au carbone trempé

Ce sont les aciers de désignation XC et dont la teneur en carbone dépasse 0,6% (XC82, XC100) qui présentent une dureté à froid de 60 HRC. Leur vitesse de coupe est très faible, car un échauffement supérieur à 250°C leur fait perdre leur tenue (dureté).

Ces aciers acquièrent toute leur dureté par une trempe à l'eau après un chauffage à 750°C environ. Donc ces outils sont fabriqués d'une seule pièce (acier catégorie dur et extra dur).

Ces aciers sont employés dans l'industrie uniquement pour les outils à faible vitesse de coupe (tarauts, filière, alésoirs, pour le travail à main).

2.1.2 Aciers au carbone alliés

On sait que le chrome et le molybdène permettent au carbone d'obtenir son maximum de dureté. Ce sont donc ces éléments que l'on retrouvera dans la composition des aciers alliés pour outils. Ils seront utilisés dans les mêmes conditions que les aciers XC mais permettront la coupe de matériaux plus durs.

2.2 Aciers rapides (au tungstène trempé)

Par aciers "rapides" il faut entendre "aciers à coupe rapide". On effectue, ces aciers comportent généralement une quantité importante de Tungstène (W) de cobalt (K) et de chrome (C) additionnée à l'alliage de base afin d'améliorer la dureté et la résistance à l'usure (acier comportant 0.9 à 1.5% de carbone), ils sont austénisés entre 1250°C et 1300°C et subissent un revenu à une température de l'ordre de 600°C. Par suite ils peuvent travailler facilement à une température de 500°C sans que l'arête tranchante soit détériorée. Si réchauffement n'est pas à craindre jusqu'à cette température, ils peuvent travailler plus vite, d'où leur terminologie. Bien que leur performances soient relativement faibles, ils sont encore utilisés dans différents domaines, tels que:

- Outils à tranchants multiples (fraise, taraud, forêt).
- Outils de forme complexe.
- Outils à tranchant unique utilisés pour la fabrication des outillages.
- Il est nécessaire de choisir une nuance d'acier rapide adaptée aux travaux à réaliser. Une révolution importante semble se dessiner avec l'introduction sur le marché des outils à aciers rapides revêtus d'une couche de nitrure de titane dont la dureté (HRC = 80) permet une meilleure résistance à l'usure et à la corrosion.

Nuances	Dureté		Utilisations générales
	Rockwell	Wickers	
Z 10 WKC V 18 08 04 02	64	806	Aciers rapides pour toutes opérations courantes d'usinage
Z 150 WKC V 12 05 05 04	66	860	
Z 110 DKC WY 09 08 04 02	68	928	Aciers rapides pour travaux difficiles, ils possèdent une plus grande résistance à l'abrasion
Z 110 WKC DV 6,5, 05, 04, 3,7, 02	67	890	
Acier rapide revêtu d'une couche de nitrure de titane (épaisseur = 5 µm)	80	1 040	Travaux difficiles, résistent très bien à l'usure et à l'abrasion

Z: allie, W: tungstene, K:cobalt, C: chrome, V: vanadium, D: molybdene

Les aciers rapides sont chers et ils sont utilisés sous la forme de plaquettes. Les aciers rapides non revêtus ne sont pas recommandés pour usiner les matériaux dont la dureté est supérieure à HR30.

On distingue:

-Les aciers rapides ordinaires (A.R.O) a deux composants : C: 0,6à0,7% W: 14à16% , température de trempe 1150 à 1200°C, ils conservent toute leur dureté Jusqu'à 400°C.**-Les aciers rapides supérieurs (A.R.S)** au moins trois composants : C: 0,65à0,75% W:18%, Cr:4%, Mo: 0,7% température de trempe 1200 à 1250°C, ils conservent toute leur dureté jusqu'à 500°C.

-Les aciers rapides extra supérieurs (A.R.E.S) adjonction de cobalt. C: 0,65à0,85%,W:20%, Cr: 4à 5%, Mo:1%, Va: 1% Co: 11à15%, température de trempe: 1300 à 1320°C, ils conservent toute leur dureté jusqu'à 600°C.

2.3 Alliages spéciaux

Ces matériaux ne contiennent pas de fer: ce ne sont donc pas des aciers. Ils ne subissent pas de traitements thermiques et ne se forgent pas. Leur dureté provient de leur élaboration et parmi eux on peut citer :

- Les stellites
- Les carbures métalliques
- Les céramiques

2.3.1 Les stellites

Ce sont des alliages de cobalt (55%), (Chrome 33%), (tungstène 10%), carbone (2%), point de fusion 1280°C. Leur dureté est comparable à celle des aciers trempés, elle ne diminue qu'après réchauffage à 700°C. Ils autorisent donc des vitesses de coupe plus élevées que les aciers rapides.

Ils sont sensibles aux brusques changements de températures, ils se criquent. Aussi faut-il travailler sous arrosage constant et non intermittent. Ils ne conviennent pas pour la coupe des matériaux tendres.

2.3.2 carbures métalliques

Pour permettre une coupe encore plus rapide, les outils en aciers au carbone ou en acier allié sont remplacés par des alliages métalliques élaborés par frittage de carbures très durs.

Les carbures métalliques sont des agglomérés de poudre de cobalt, de carbures de tungstène, de tantale, et de bore.

Le mélange des carbures et de la poudre de cobalt est comprimé à 4000kg/cm^2 dans un moule ensuite cuit en atmosphère d'hydrogène à 850°C , puis chauffé à 1500°C . A cette température, le cobalt seul fond et sert de liant. Ce mode d'obtention est appelé frittage.

La dureté des carbures métalliques est voisine de celle du diamant et ils la conservent jusqu'à 1000°C . Ils permettent de travailler quatre à huit fois plus vite qu'avec des aciers rapides mais sont sensibles aux brusques variations de températures.

Suivant leur composition, les carbures métalliques sont adaptés à des usages bien limités tels que ébauche, finition, métaux ferreux et non ferreux, travail avec chocs ou sans chocs. Ils sont présents dans le commerce sous forme de plaquettes moulées, car les carbures métalliques étant très fragiles aux efforts de flexion donc ils sont préparés en plaquettes de dimensions réduites fixées sur le corps de l'outil par soudobrasage ou par des moyens mécaniques.

- Ces plaquettes portent des noms donnés par les fabricants tels que: Widia, Diamolyb. carboram. Ils sont classés en trois catégories symbolisées par les lettres P, M, K visualisés par les couleurs: P (bleu), M (jaune) et K (rouge).

- P01 à P40:utilisés pour les métaux ferreux à coupeaux longs (travail des aciers).

- M10 à M40: utilisés pour les métaux ferreux à coupeaux longs et courts (travail des fontes et aciers).

- K01 à K40: utilisés pour les métaux ferreux à coupeaux courts et métaux non ferreux (travail des fontes).

La tendance actuelle consiste à enrober les carbures d'une mince couche ($5\mu\text{m}$) de matériau possédant d'exceptionnelles qualités de résistance à l'usure et à la cratérisation. Par exemple un revêtement de nitrure ou de carbure de titane, la résistance à l'usure de arêtes de coupe est multipliée par quatre tout en autorisant des vitesses de coupe plus grande.

2.3.3 Céramiques

Ils sont comme les carbures, des matériaux obtenus par frittage. Mais les carbures métalliques sont remplacés ici par des éléments à base d'alumine pure (Al_2O_3) c'est la solution la plus ancienne sous forme de poudre Al_2O_3 ; avec utilisation comme liant l'oxyde de chrome.

La solution la plus récente utilise une poudre à base de nitrure de bore. Donc c'est un corps très dur 60 HRC (Al_2O_3) et 72 HRC (à base de nitrure de bore).

Quelques propriétés:

- Absence de copeaux adhérents pendant la coupe.
- Très bonne acuité de l'arête de coupe, ce qui autorise éventuellement un copeau minimum d'épaisseur voisine de 0.01mm.
- Obtention d'une bonne rugosité ($R_a = 0.8\mu\text{m}$).
- Utilisation des vitesses de coupe 3 à 5 fois supérieures à celles admises pour les carbures.
- Elles ont l'inconvénient d'être d'une utilisation plus délicate que celle des carbures par ex:
 - Elles sont plus sensibles aux chocs.
 - Elles nécessitent des machines robustes et puissantes.

Les céramiques se présentent uniquement sous forme de plaquettes fixées sur un corps d'outil par un dispositif mécanique.

2,4 Diamant

D'origine naturelle ou synthétique c'est le matériau le plus dur. Son prix d'achat élevé en limite l'utilisation. On utilise dans l'industrie des diamants généralement impropres à la bijouterie (types noirs).

Le diamant se présente sous deux formes:

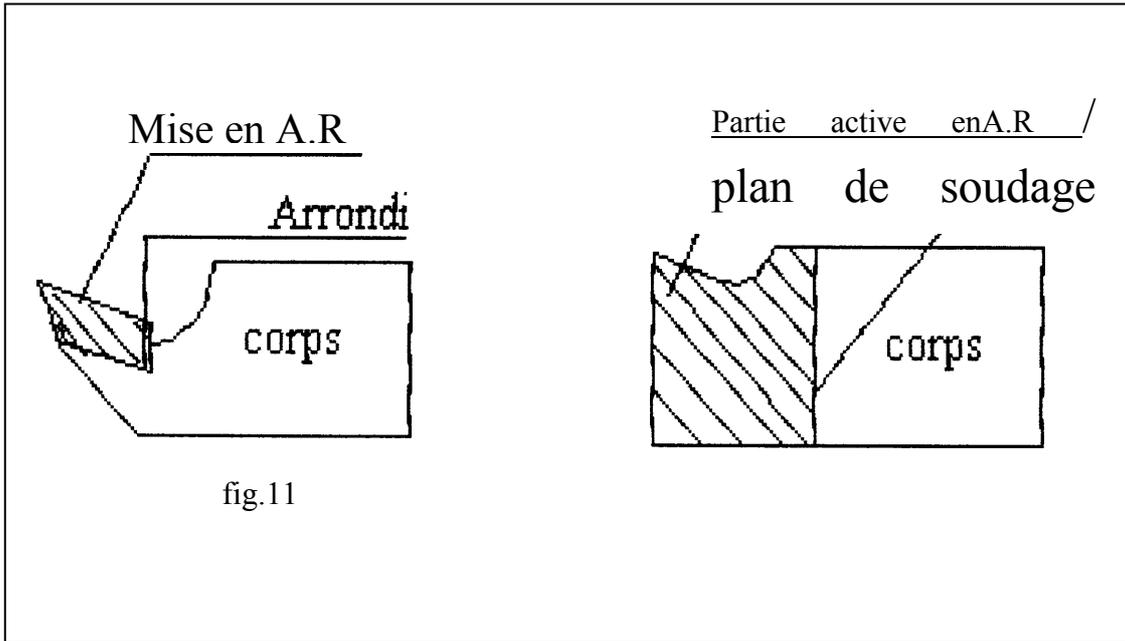
- Poudre collée sur un support en fonte pour les meules destinées à l'affûtage des outils des carbures.
- Grain serti ou brasé sur un corps pour les outils tranchant unique réservés à des travaux de finition. Exemple comparatif: finition d'un alésage de piston.
- Outil carbure: 2000 pièces entre deux affûtages, rugosité obtenue $R_a = 1.6\mu\text{m}$.
- Outil diamant: 5000 pièces entre deux affûtages, rugosité obtenue $R_a = 0.4\mu\text{m}$

L'outil diamant trouve surtout son emploi à très grandes vitesses sur les matériaux ductiles que durs. Travail de finition du cuivre, bronze, aluminium pour obtenir un beau poli de la surface le diamant peut usiner tous les métaux quelque soit leur dureté

2,5 Fabrication des outils 2.5.1 Outils en acier

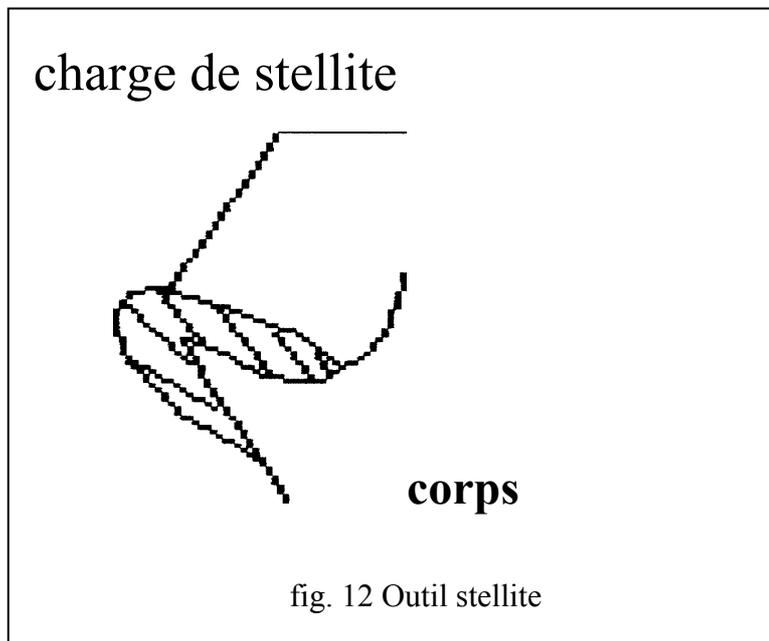
Ils sont pris dans la barre et façonnés par moulage ou par forgeage. Toutefois les outils en acier rapide sont constitués le plus souvent par une mise, ou pastille, en acier rapide extrasupérieur soudée sur le corps (fig.1 1). Avant soudage la pastille doit porter parfaitement sur son siège et s'appuyer contre un talon raccordé au siège par un léger congé. La soudure employée est une poudre à base de tungstène. Elle ne donne de résultats que si les parties à souder sont très propres et si le chauffage est fait en zone réductrice.

Pour donner à l'outil une plus grande dureté, on peut souder en bout, électriquement une partie active en acier rapide de même section que le corps, (fig.11).

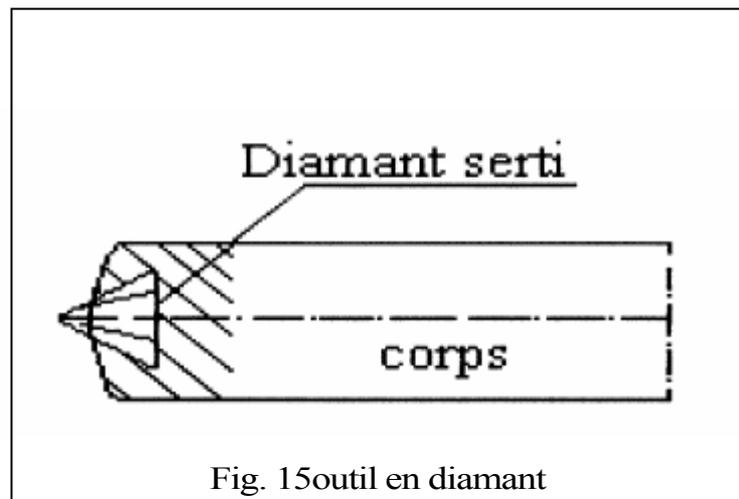
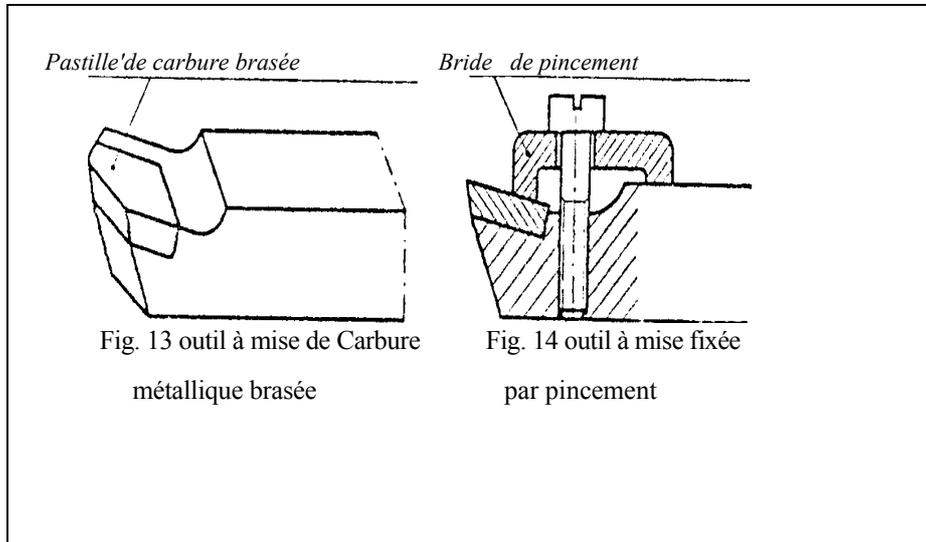


2.5.2 Outils en Stellites

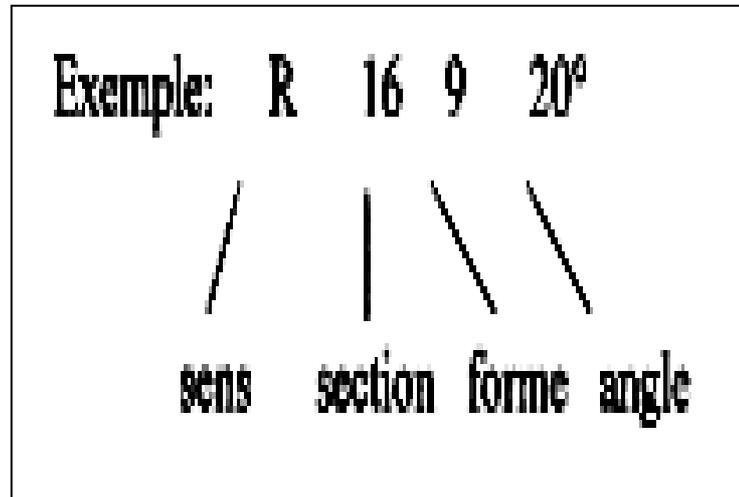
Sur un corps en acier mi-dur, on dépose une couche de stellite au chalumeau oxyacétylénique (fig.12) puis on passe à l'affûtage.



2.5.3 Outils en carbures métalliques . La partie active de l'outil est constituée par une pastille, ou plaquette, de carbure métallique brasée sur un corps en acier mi-dur (fig.13), ou maintenue par un pincement (fig.14).



Selon la norme Afnor la désignation des outils prismatiques de forme normalisée est la suivante



- R: à droite
- L: à gauche
- q: section
- h: section
- r: section ronde.

3. Caractéristiques des outils de coupe

Chaque dent des outils à tranchants multiples (fraise, forêt etc..) se comporte comme un outil élémentaire dont le modèle est l'outil prismatique de tournage ou rabotage. L'étude de la partie active de tous les outils passe par celle de l'outil prismatique.

Quelque soit le type d'usinage on a toujours une liaison entre le porte outil d'une part et la pièce d'autre part (fig.16).

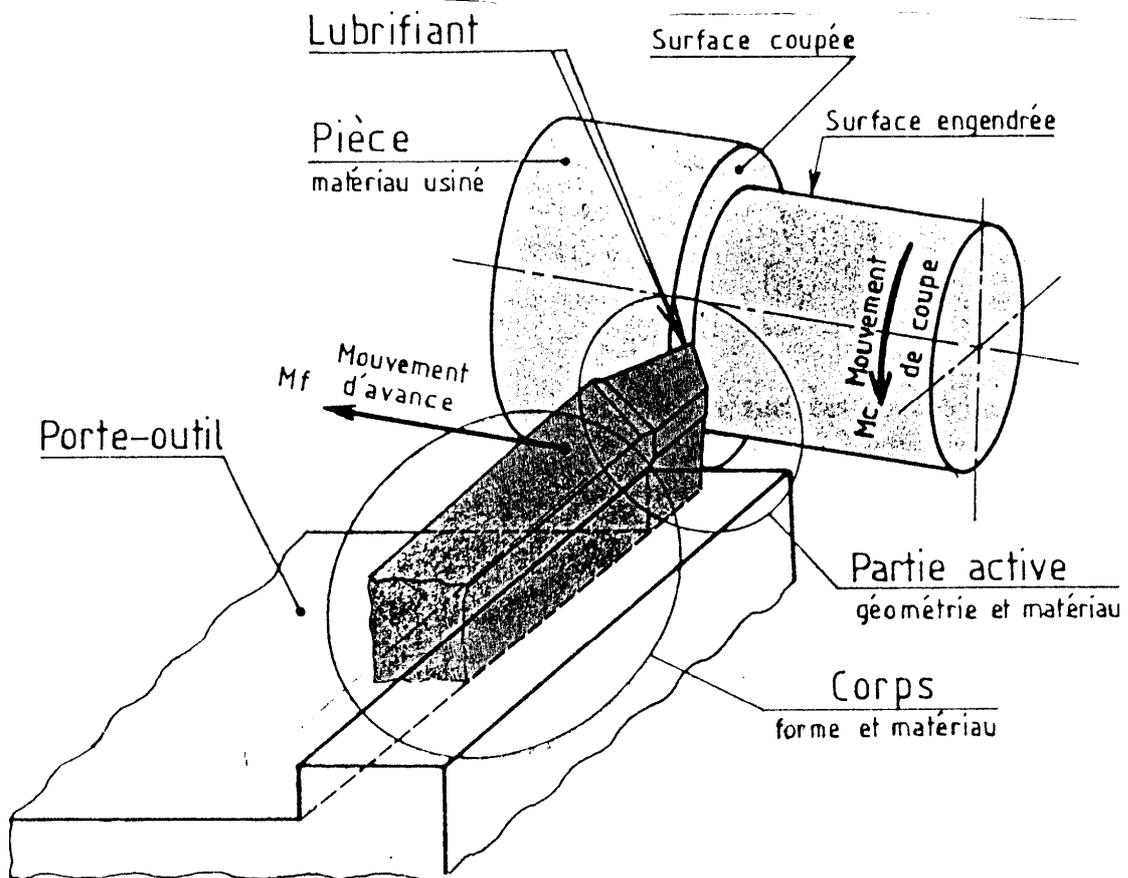
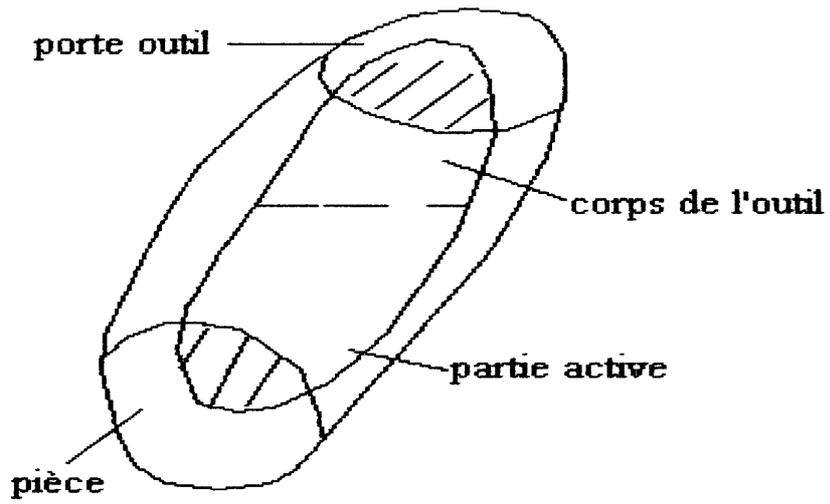


fig.16

Un outil de coupe est destiné à couper la matière d'oeuvre et présente pour se faire une arête tranchante. Cette arête tranchante est définie par l'intersection de deux surfaces, la face de coupe (très généralement plane) et la face de dépouille fig.17. Si l'arête tranchante est une droite elle est dite rectiligne, dans les autres cas elle est dite curviligne. Les formes des outils peuvent être classées en deux catégories.

- Les outils prismatiques à charioter, raboter, mortaiser, etc.... dont le corps est prismatique.
- Les outils possédant un axe de révolution forêt, fraise, taraud, dont le corps est cylindrique.
- Terminologie des surfaces et arêtes de l'outil prismatique

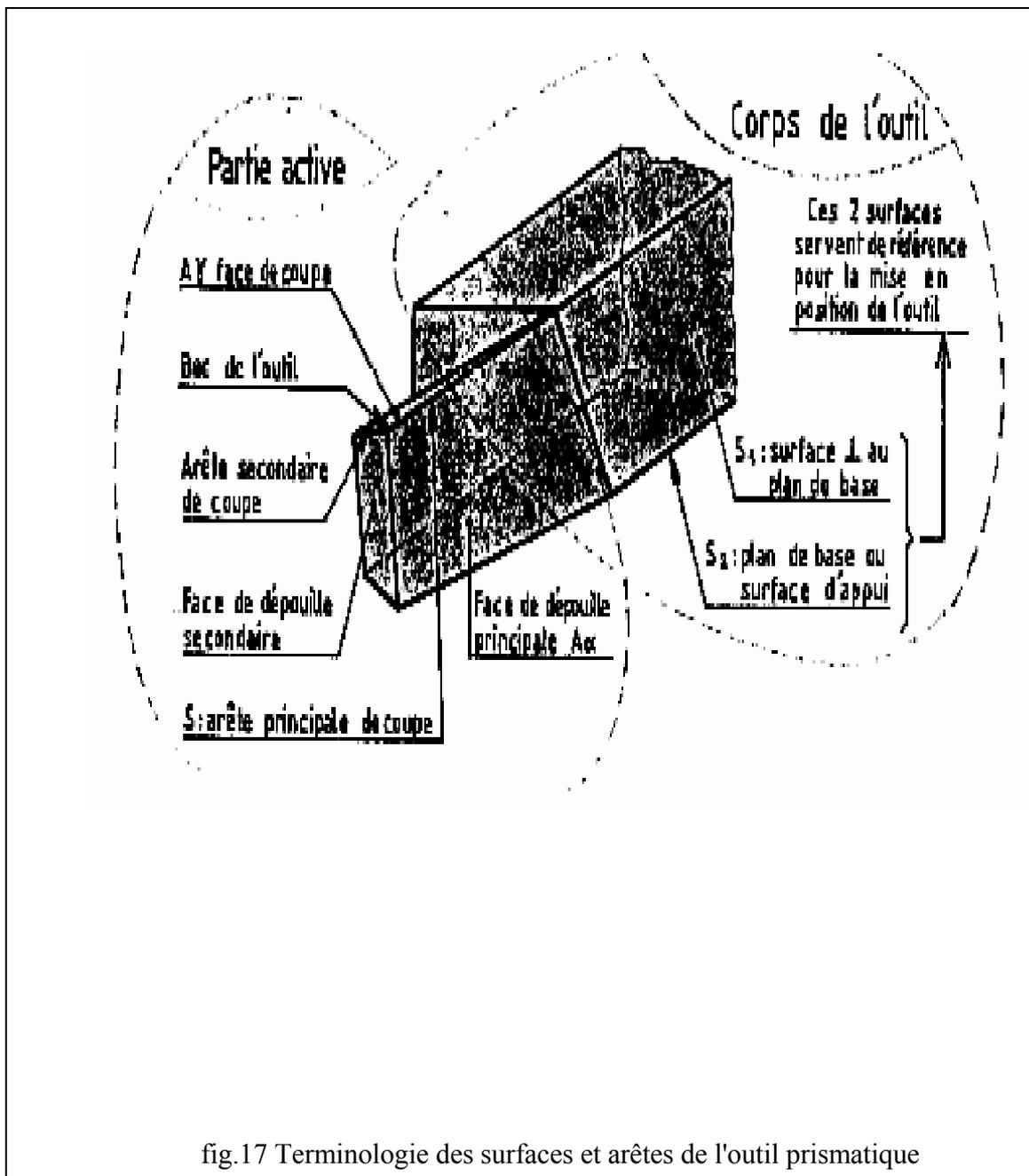


fig.17 Terminologie des surfaces et arêtes de l'outil prismatique

3.1. Examen de la coupe sur une machine-outil

Nous pourrions faire systématiquement des remarques comparables aux précédentes à propos de toute opération d'usinage industriel à l'outil de coupe. A titre d'exemple, en observant attentivement un étau-limeur au travail, nous constatons en effet :

- que l'outil est plus dur que la pièce travaillée car, dans le cas contraire, il s'écraserait contre elle;
- que la partie saillante de l'outil, ou partie active, à la forme d'un coin dont l'arête est vive;
- que, a l'instant où l'outil attaque la pièce, seule l'arête coupante est en contact avec elle. La pénétration est ainsi progressive;
- que le moteur de la machine exerce, par l'intermédiaire d'un mécanisme, l'effort nécessaire au déplacement de l'outil par rapport à la pièce et au détachement du copeau. La résistance de la pièce à la pénétration de l'outil est donc vaincue;
- que ni l'outil ni la pièce ne se dérobent à l'effort nécessaire à la coupe car ils sont tous deux fixés à des organes suffisamment rigides de la machine.

Un examen plus approfondi du mécanisme de la coupe nous conduit à observer qu'il procède de trois mouvements principaux:

- **le mouvement de coupe MC** qui participe directement au détachement du copeau pendant la course de la machine dite **course de travail**.
- **Le mouvement d'avance Mf**, dont la direction est perpendiculaire à celle du mouvement de coupe et qui intervient seulement lors de la **course de retour** pendant laquelle l'outil ne travaille pas. Ce mouvement a pour but de décaler la pièce latéralement d'une quantité a , dite **avance**, pour que l'outil puisse à la nouvelle course travail détacher un nouveau copeau.
- **Le mouvement de profondeur de passe MP** (ou encore **pénétration**) dont la direction perpendiculaire aux deux précédentes et qui intervient uniquement pour déterminer l'épaisseur p de la couche de métal à enlever à chaque opération qui prend le nom de **passe**. L'excédent de métal que comporte la **pièce brute**, ou **ébauche**, est ainsi enlevée en une seule passe ou en plusieurs passes successives.

Un dernier examen que la forme de la partie active de l'outil est favorable au détachement des copeaux et à leur rejet hors de son passage. Ils ne gênent donc pas l'outil dans son travail et la surface usinée est géométriquement plus correcte.

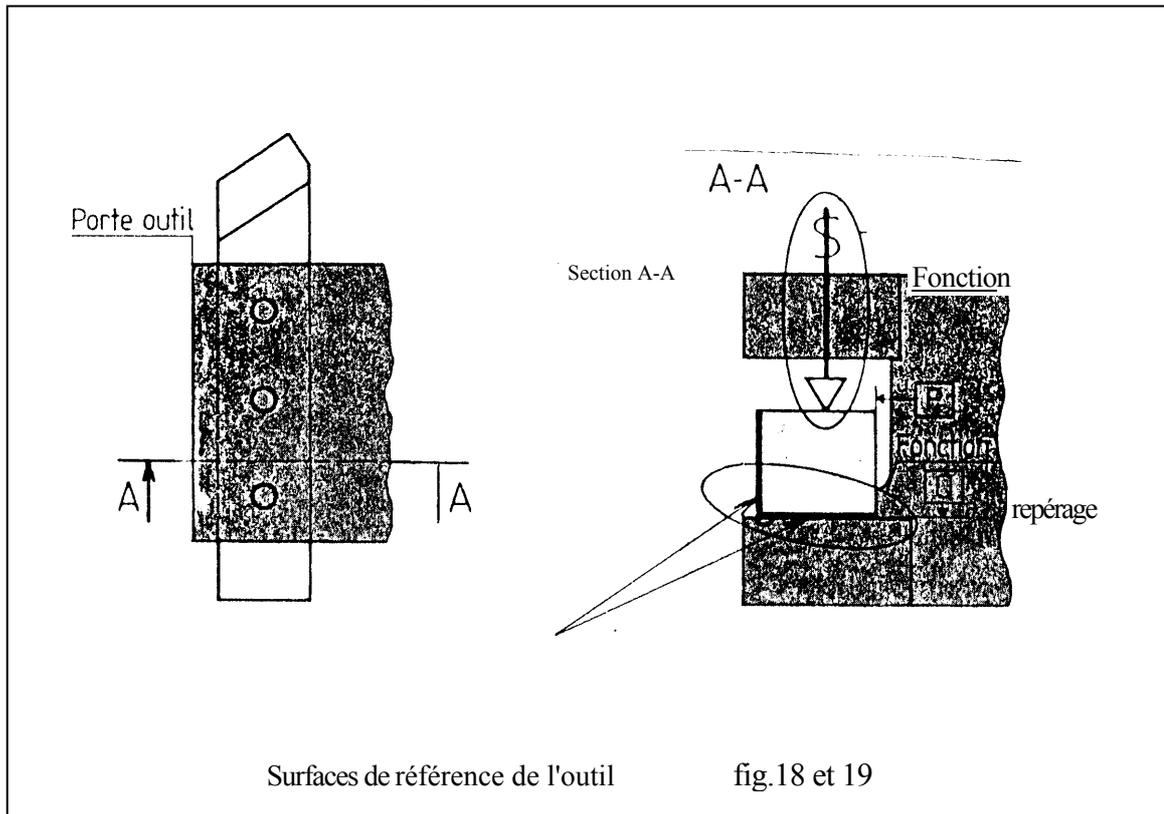
3.2. Corps de l'outil (partie passive)

a) Il doit être rigide pour résister aux efforts qui prennent naissance pendant la coupe. Il est réalisé en acier dans les nuances XC38 et XC48. Sa section est carrée, rectangulaire ou circulaire.

- b) Il doit permettre un repérage correct de l'outil dans le porte outil. Pour satisfaire cette condition les corps prismatiques possèdent deux surfaces de référence de bonnes qualités géométriques.
- c) Il doit être fixé rapidement et facilement dans le porte outil.

Le corps de l'outil dépend de nombreux facteurs:

- La forme de la surface à engendrer (cylindre, plan, etc...).
- Type de machine-outil (tour, fraise, perceuse).



3.2.1. La partie active

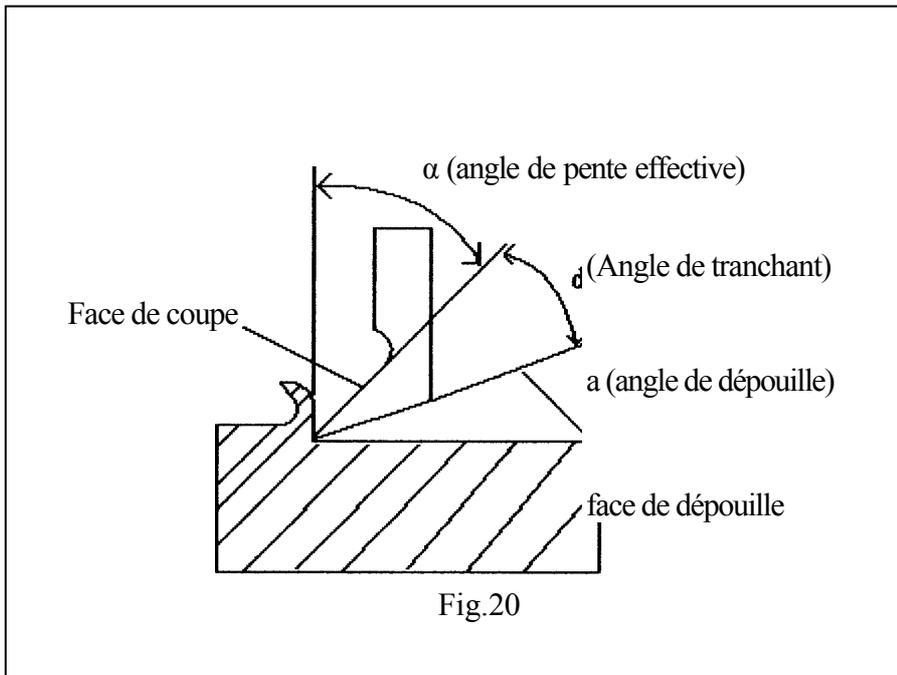
La partie active c'est celle qui est en contact avec le métal à usiner. C'est essentiellement l'arête tranchante et les parties adjacentes des deux faces qui la déterminent.

Face de dépouille

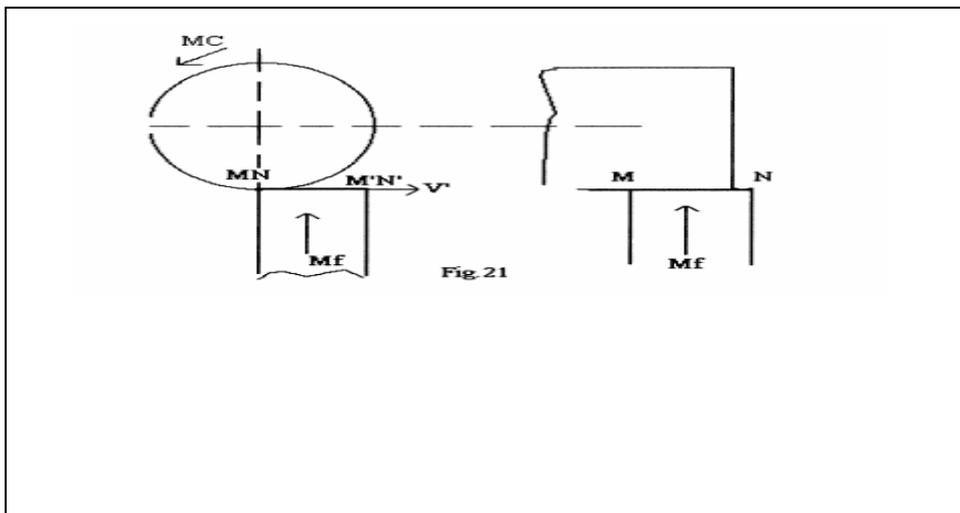
C'est la face qui se trouve en regard de la surface qui vient d'être travaillée.

Face de coupe

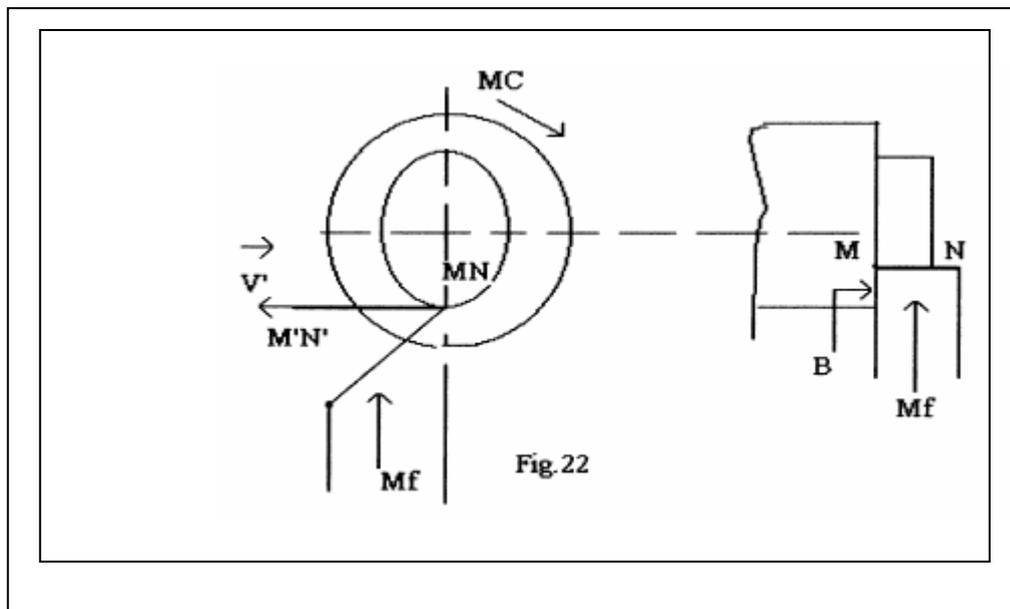
C'est celle sur laquelle s'appuie et glisse le coupeau



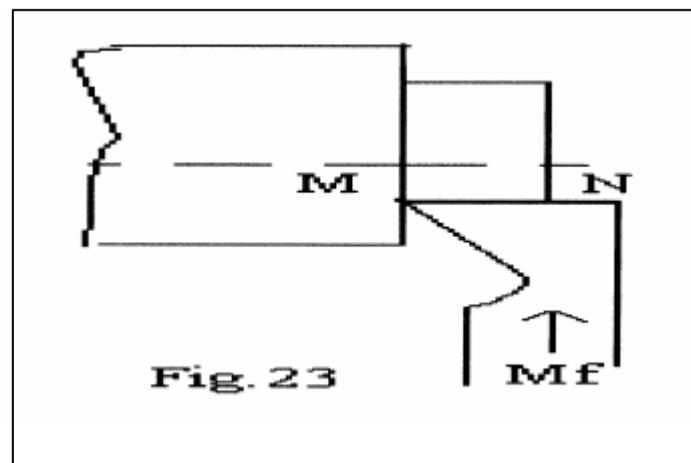
3.2.2. Expérimentation sur le tour (concernant la partie active)1) Le vecteur vitesse de coupe V est tangent à la pièce en un point considéré de l'arête d'écoupe. Dans ce cas V est contenu dans la surface $MNM'N'$. On constate que la coupe est impossible, l'outil refuse de couper.



2) On utilise le même outil mais on affûte la surface $MNM'N'$ de façon qu'elle ne contienne pas le vecteur V . La coupe devient alors possible, mais on constate que le frottement sur la couronne B est important.



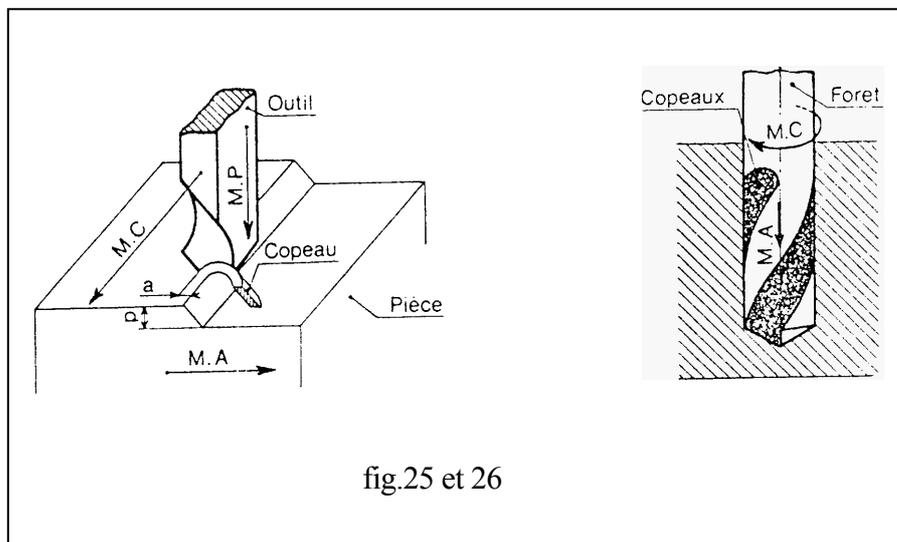
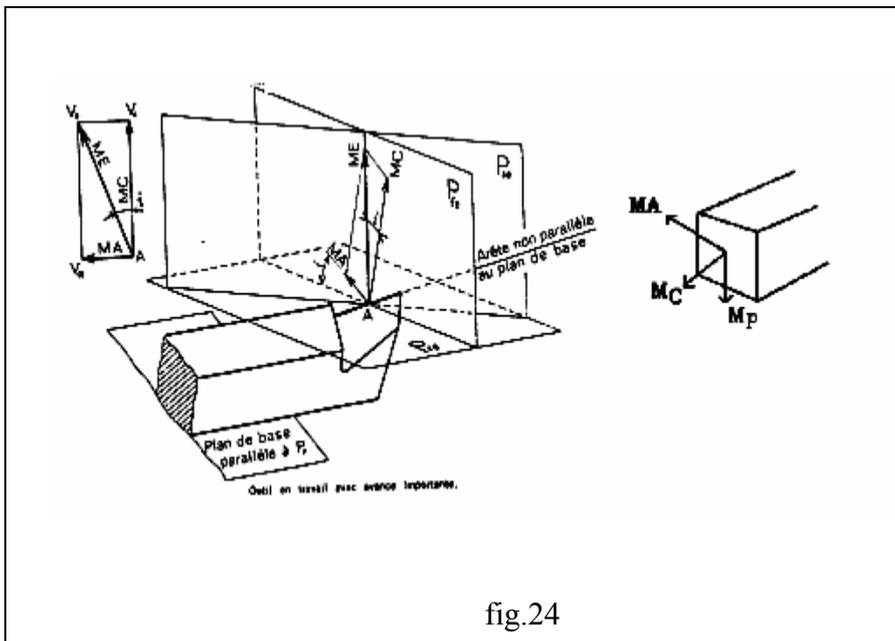
3) On dégage la surface latérale de l'outil, on constate que la coupe devient plus facile.



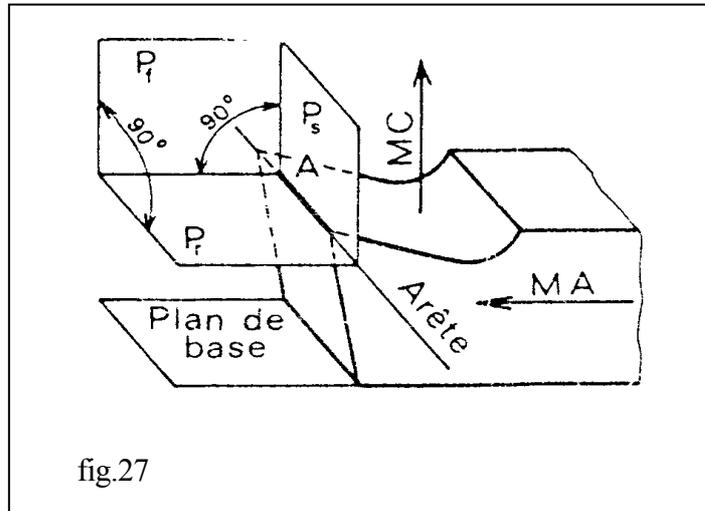
3.3 Plans remarquables de l'outil

La production des copeaux s'effectue par la combinaison de trois déplacements (fig.24).

- Déplacement de coupe.
- Déplacement d'avance.
- Déplacement de profondeur.



Si on considère un point A de l'arête tranchante, les plans caractéristiques de l'outil en A sont fig.27.



Le plan de référence Pr

Il est parallèle au plan de base de l'outil et passe le point A considéré. Il est perpendiculaire au mouvement de coupe Me supposé c'est-à-dire au vecteur vitesse coupe V_c , il contient généralement le vecteur vitesse V_f .

$$PR \perp V_c$$

PR Contient V_f

Le plan de l'arête Ps de l'outil

Il contient l'arête de l'outil si elle est rectiligne, ou la tangente en A si celle-ci est curviligne: Il est perpendiculaire à Pr et contient V_c

PS contient l'arête

PS Ou sa tangente est perpendiculaire à Pr

PS contient V_c

Le plan de travail conventionnel Pf

Contient le vecteur vitesse d'avance V_f et le vecteur vitesse de coupe perpendiculaire au plan de référence Pr.

Pf Contient V_f , perpendiculaire à Pr, contient V^*

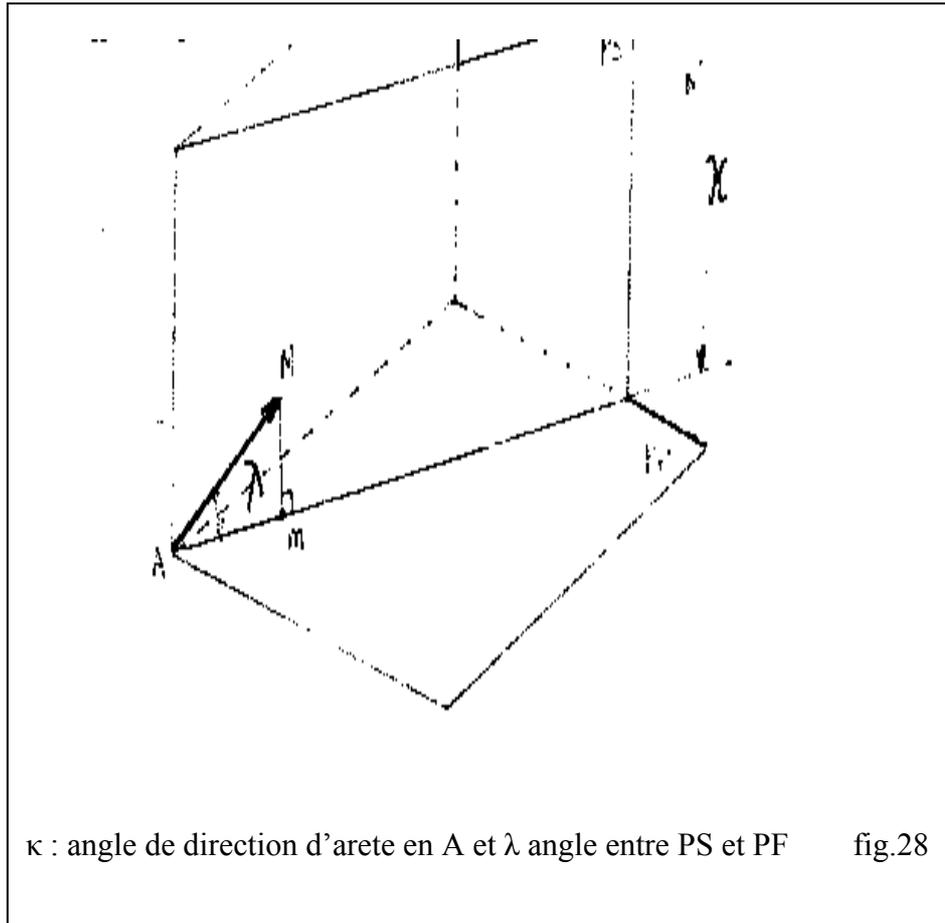
3.4. Angles caractéristiques de la partie active des outils

Ils sont définis à partir des plans remarquables et concernant deux aspects:

- Les angles caractérisant la position de l'arête.
- Les angles des faces de la partie active.

3.4.1. Angles caractérisant la position de l'arête.

Ils sont appréciés au point A de



* L'angle aigu du dièdre formé par les plans de travail P_f et d'arête P_a s'appelle angle de direction d'arête au point A et est désigné par la lettre K (kappa). C'est aussi l'angle aigu formé par la projection de l'arête (ou de sa tangente) sur P_r avec V .

* L'angle aigu que forme l'arête (ou sa tangente) avec sa projection sur le plan de référence P_r s'appelle angle d'inclinaison d'arête X .

3.4.2 Valeurs et sens des angles

L'angle peut atteindre 90° , il est orienté à gauche ou à droite.

Orientons l'outil suivant trois position. Dans les trois cas, seule la position de l'arête de coupe par rapport à V_f change; elle est repérée par un angle (fig.29).

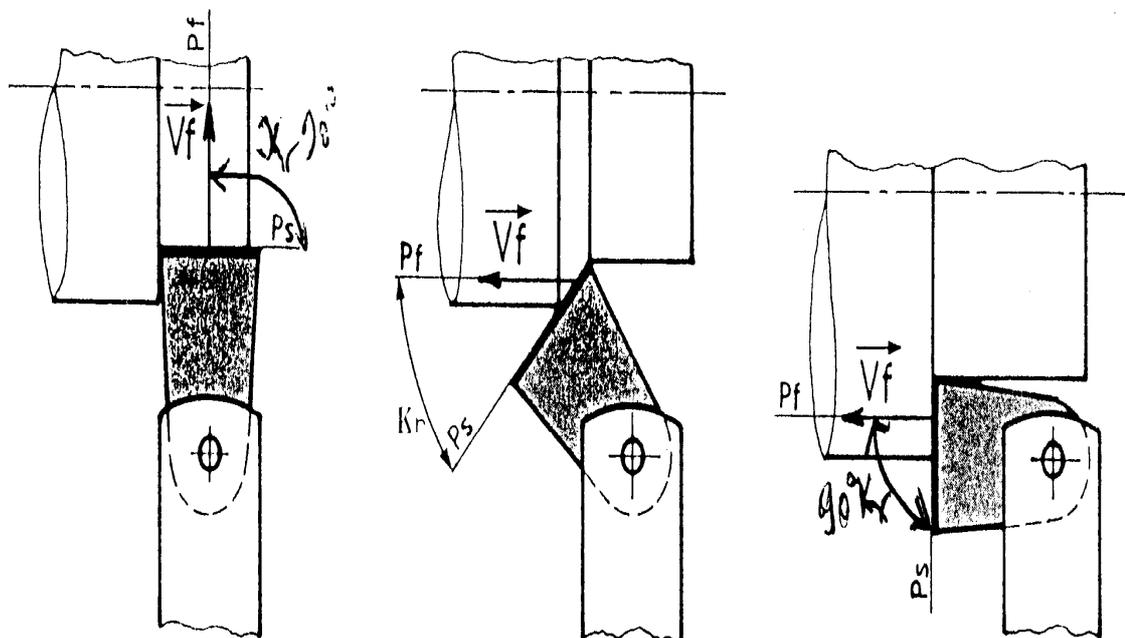
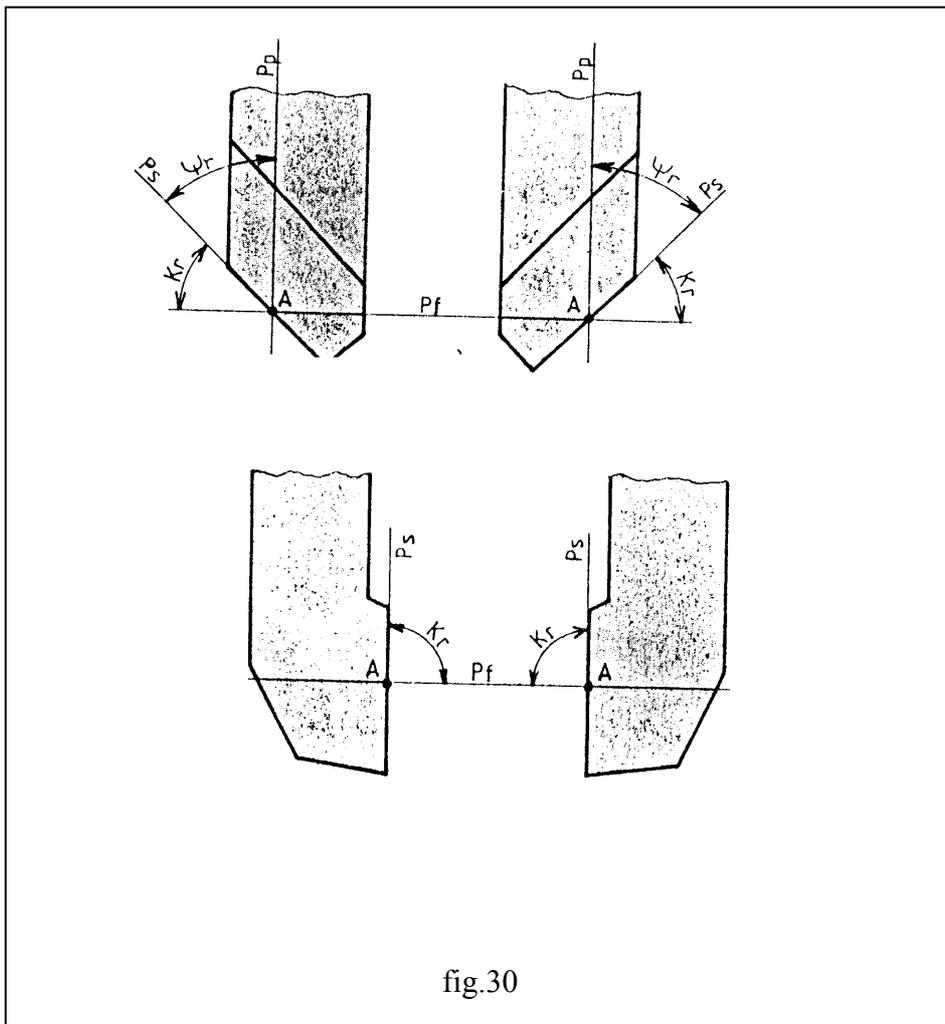


fig.29. Angle de direction d'arête de l'outil, symbole K_r (se prononce kappa); c'est l'angle des deux plans P_f et P_s mesuré dans P_r .

Définition partielle d'un outil

On précise:

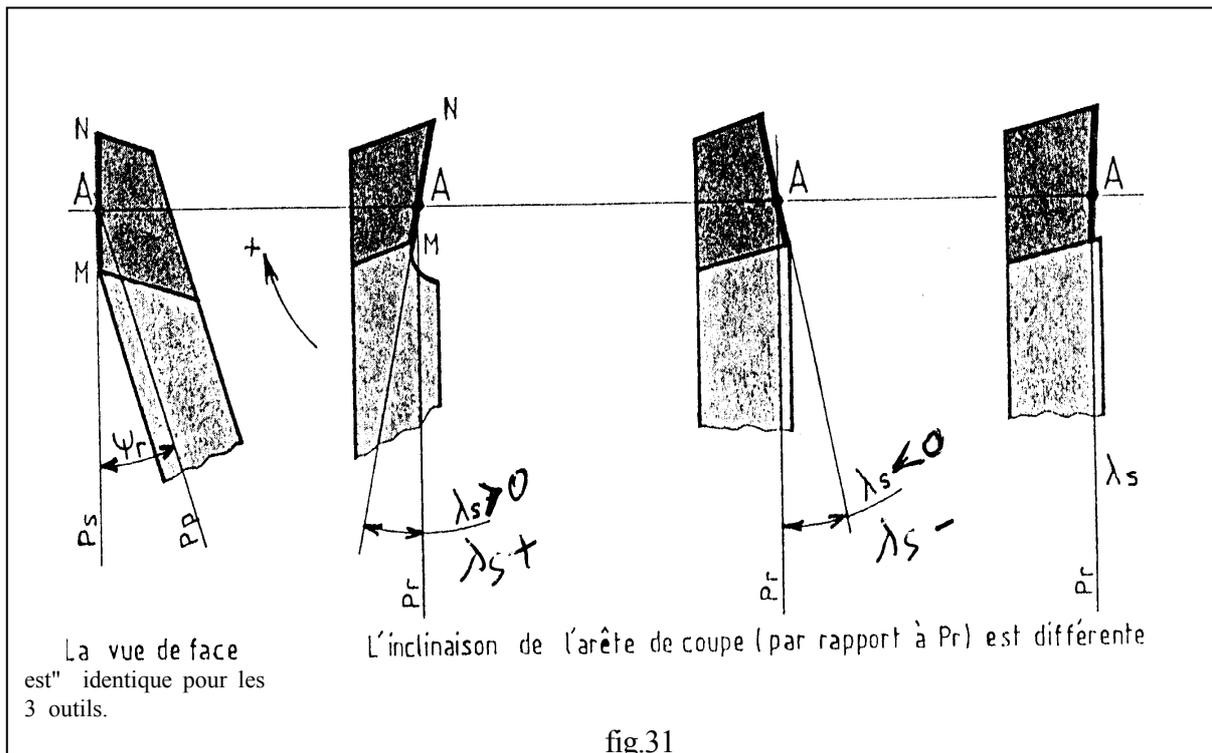
- La valeur de l'angle K_r dans le cas d'un outil à charioter.
- Le sens de l'outil à droite ou à gauche en appliquant la règle: corps de l'outil vertical, partie active vers le bas, face de coupe en regard de l'opérateur; si l'arête de coupe est à droite l'outil est dit "à droite" et réciproquement (fig.30).



Pour les outils à charioter il est utile de connaître la direction de l'arête par rapport à un plan perpendiculaire à la fois au plan de référence P_r et au plan de travail conventionnel P_f . Cette direction est caractérisée par l'angle ψ_r : angle de direction complémentaire ou d'orientation d'arête.

3.4.3 Angle d'inclinaison de l'arête de coupe

A) **Observation.** Les arêtes de coupe MN des trois outils (fig.31) sont inclinées différemment.



B) **Angle d'inclinaison de l'arête de coupe λ_s (lambda):** c'est l'angle que fait l'arête de coupe S avec le plan Pr, sa valeur est mesurée dans le plan Ps. Le sens des angles λ_s est repéré à partir de Pr et du sens de rotation.

Il existe trois solutions: $\lambda_s < 0$, $\lambda_s > 0$, et $\lambda_s = 0$

Conventions

$\lambda < 0$ outil à arête de coupe négative, notation λ_s^-

$\lambda > 0$ outil à arête de coupe positive, notation λ_s^+

$\lambda = 0$ outil à arête de coupe normale, notation $\lambda_s = 0$

En général

λ_s varie entre 0° et $+15^\circ$ et entre 0° et -15°

Le choix de X dépend du genre et du type de travail à effectuer. Un outil à arête de coupe négative présente un bec (zone au niveau de l'arête tranchante) plus robuste mais occasionne un frottement du copeau sur la surface usinée. En finition les efforts appliqués sont très inférieurs, le copeau ne doit pas frotter sur la pièce, le bec peut être moins résistant: on adopte une arête de coupe positive.

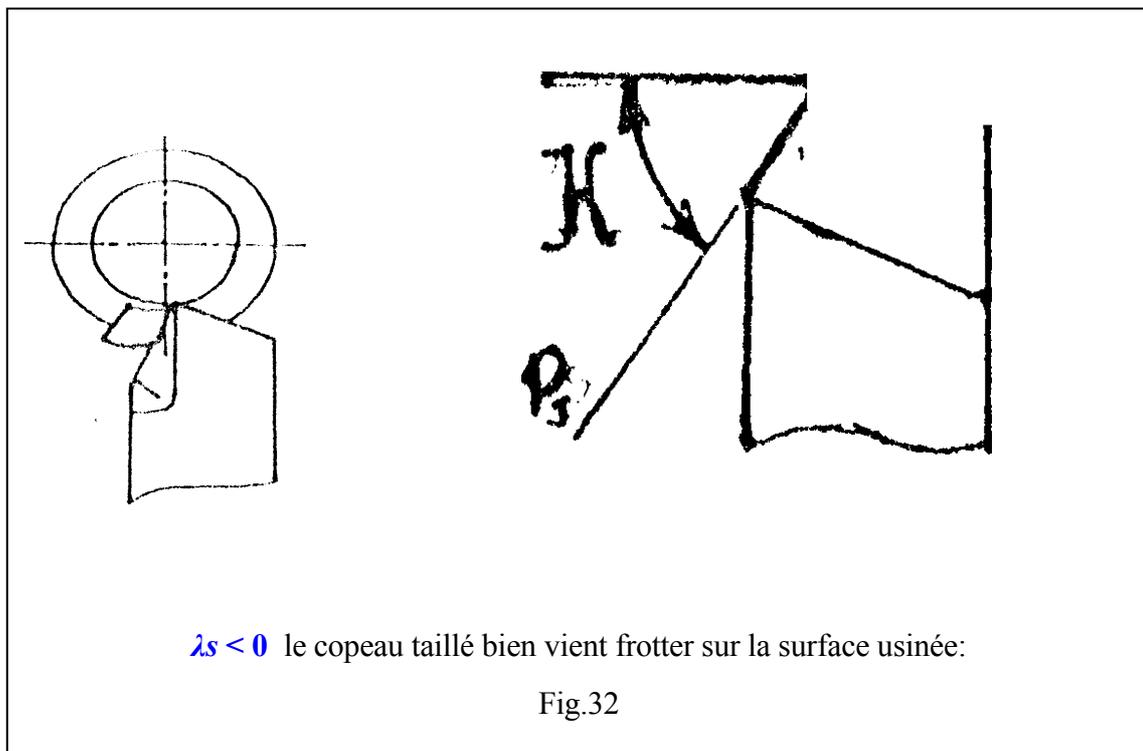
Si $\lambda_s < 0$

- réservé à l'ébauche ou
- travail avec chocs (rabotage, fraisage ... ; évite l'écaillage du bec).

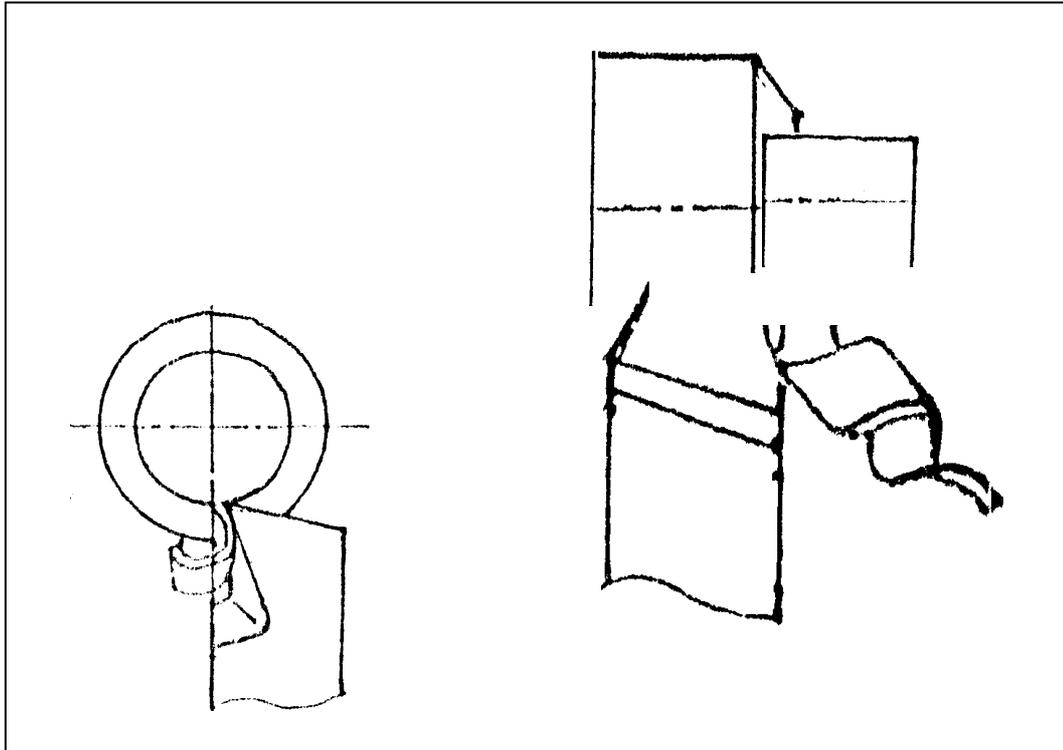
Si $\lambda_s > 0$ ----- ► travaux de finition, (attention bec plus fragile).

Direction prise par le copeau

Le copeau se déroule vers la pièce et l'effort de coupe F en direction des appuis autorise de grandes sections de copeau et une vitesse de coupe élevée. Disposition favorable d'ébauche à grand débit.



Le copeau se déroule vers l'opérateur s'éloignant de la face engendrée sur la pièce. Convient aux faibles vitesses de coupe et aux faibles sections de copeau du travail.



$\lambda_s > 0$ le copeau taillé s'éloigne de la surface usinée.

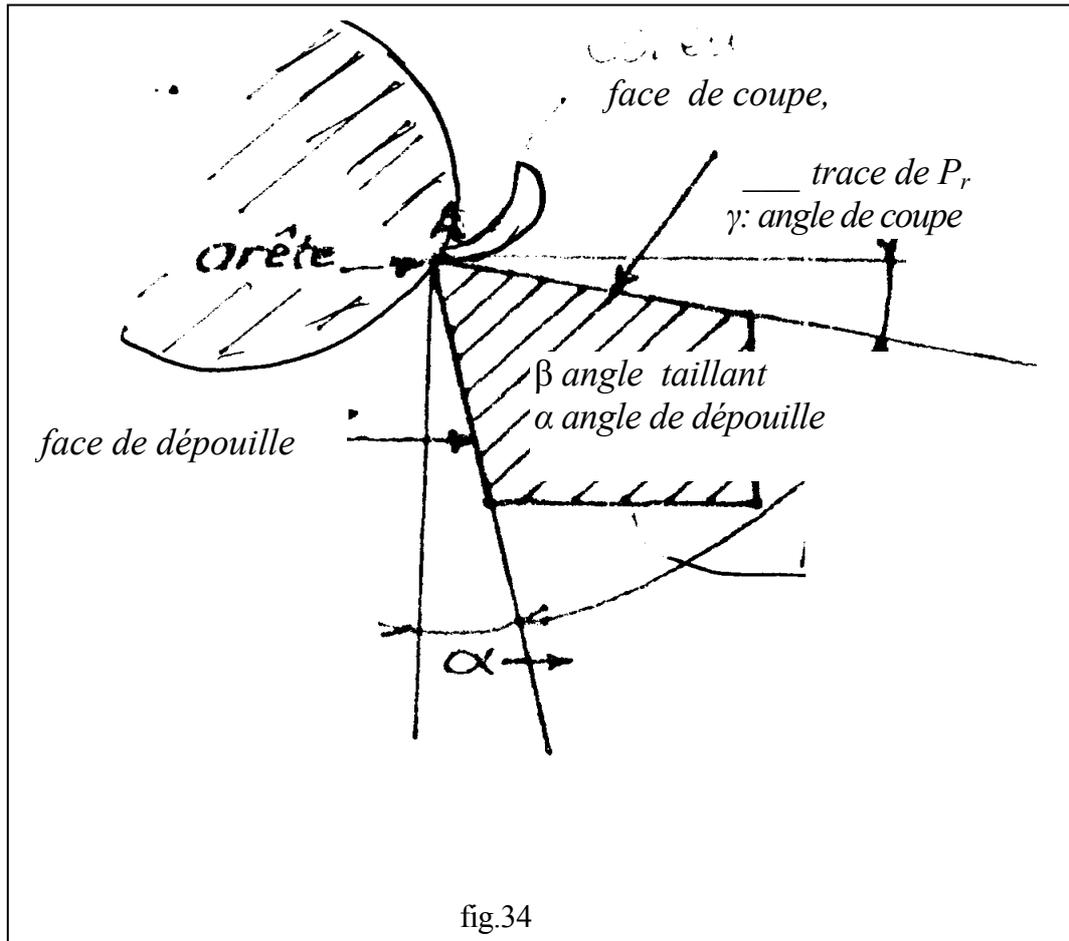
fig.33

3.4.4 Angles des faces de la partie active

(Angle de coupe, de dépouille, de taillant)

La position de l'arête étant définie il est nécessaire de préciser la position des faces la déterminant. Pour ce, nous effectuons une coupe par plan de section transversal à l'arête au point A.

Cas général



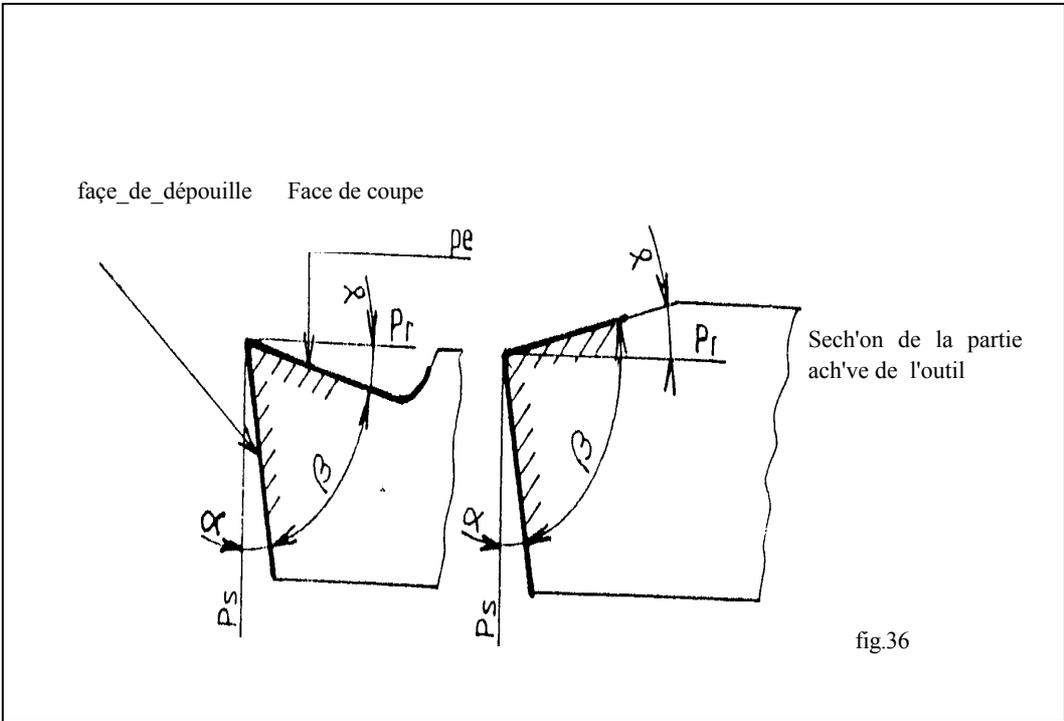
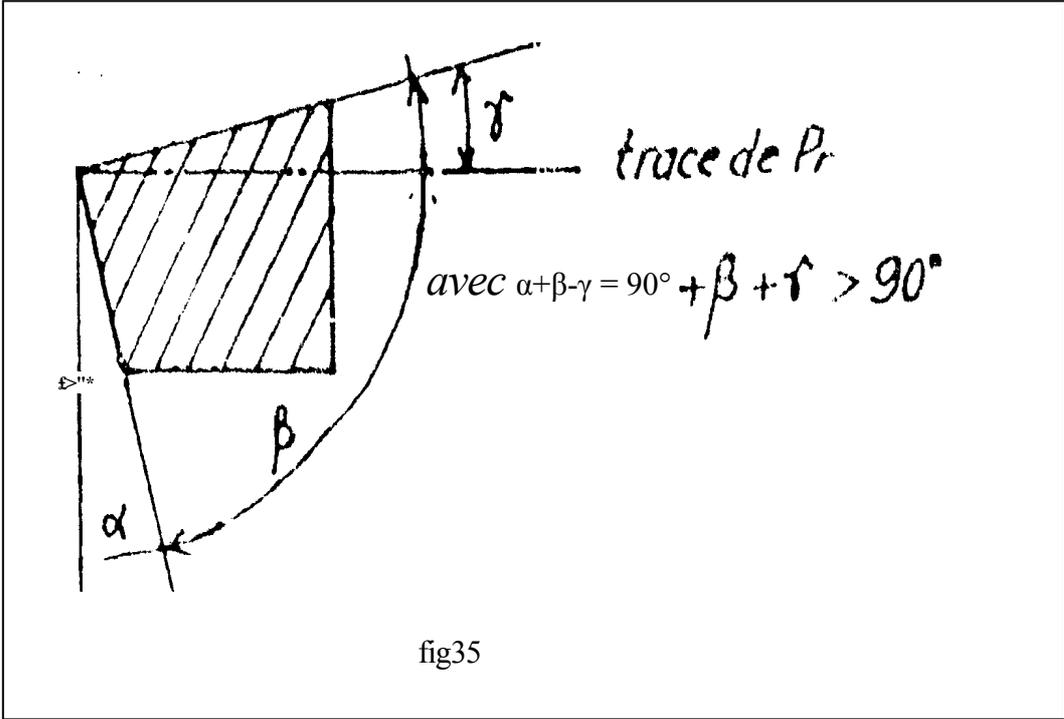
α : angle de dépouille: caractérise la position de la face de dépouille. Toujours positif.

β : angle de taillant caractérise la position relative des faces de dépouille et de coupe, toujours positif.

γ : angle de coupe caractérise la position de la face de coupe de l'outil, angle qui peut être à coupe positive ou négative.

L'outil représenté en cas général est dit à coupe positive et nous avons : $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$

$\gamma > 0$ ou $\gamma < 0$. L'outil ci-dessous est à coupe négative



Suivant les plans de coupe, les angles sont appelés: orthogonaux, normaux, latéraux etc.. il existe cinq positions normalisées du plan de section transversale donnant cinq systèmes.

1. Le système des angles orthogonaux: le plan de section est perpendiculaire au plan de référence Pr et au plan d'arête Ps.

α_o angle de dépouille orthogonal

β_o angle de taillant orthogonal

γ_o angle de coupe orthogonal.

2. Le système des angles normaux: le plan de section est perpendiculaire à l'arête coupante.

α_o angle de dépouille orthogonal, β_o angle de taillant orthogonal et γ_o angle de coupe orthogonal.

3. le système des angles directs d'affûtage: le plan de section est perpendiculaire au plan de référence Pr et il contient soit la droite de plus grande pente (DPGP) de face de dépouille soit celle de la face de coupe.

- Plan perpendiculaire à Pr contenant la DPGP de la face de dépouille.

- α_a angle de dépouille direct d'affûtage.
- φ_a angle de référence de la face de dépouille par rapport à l'orientation d'arête ψ .

-Plan perpendiculaire à Pr contenant la DPGP de la face de coupe.

. γ_c angle de coupe direct d'affûtage.

. φ_c angle de référence de la face de coupe par rapport à l'orientation d'arête ψ .

4. le système des angles latéraux : le plan de section est le plan de travail conventionnel pf.

. α_f angle de dépouille latéral. .

. γ_f angle de coupe latéral

5. le système des angles vers l'arrière : le plan de section est perpendiculaire au plan de travail conventionnel pf et au plan de référence Pr.

α_p angle de dépouille vers l'arrière. γ_p angle de coupe vers l'arrière.

Lois de coupe de métaux

Une étude expérimentale systématique a permis d'établir le comportement des divers matériaux à outils pour des valeurs diverses des angles γ et α en fonction des matières à façonner.

1. Le copeau se détache d'autant plus aisément qu'il se présente tangentiellement à la face d'attaque c'est-à-dire lorsque γ est plus grand.
2. L'arête coupante se détériore d'autant plus rapidement que l'angle de coupe γ est plus grand ceci en raison du mauvais dégagement de la chaleur et à se disperser dans le corps de l'outil. Cette chaleur se concentre dans les parages immédiats de l'arête de coupe au point de provoquer une diminution sensible de sa dureté.
3. Plus le matériau à outil est dur et tenace, plus l'angle γ peut être augmenté.
4. Plus la matière à travailler est dure, plus l'angle γ doit être réduit.

3.4.5. Relation entre les angles caractéristiques de la partie active des outils

Nous nous bornerons, à titre de documentation, à donner les résultats faciles à établir par trigonométrie.

Relations intéressant la face de coupe.

$$1. \operatorname{tg} \gamma_0 = \operatorname{tg} \gamma_c \times \cos \varphi_c \quad \text{ou} \quad \cot \gamma_0 = \cot \gamma_c \times \cos \varphi_c$$

$$2. \operatorname{tg} \varphi_c = \frac{\operatorname{tg} \lambda}{\operatorname{tg} \gamma_0} = \operatorname{tg} \lambda \times \cot \gamma_0$$

Relations intéressant la face de dépouille

$$3. \sin \varphi_0 = \operatorname{tg} \alpha_0 \times \operatorname{tg} \lambda$$

$$4. \operatorname{tg} \alpha_0 = \operatorname{tg} \alpha_c \times \cos \varphi_0$$

$$5. \cos \alpha_0 = \cos \alpha_c \times \cos \varphi_0$$

Relations entre les angles orthogonaux et les angles normaux.

$$6. \operatorname{tg} \delta_n = \operatorname{tg} \delta_0 \times \cos \lambda$$

$$7. \operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha_0 \times$$

$$8. \cos \lambda = \operatorname{tg} \alpha_0 \times \cot \alpha_n = \cot \delta_0 \times \operatorname{tg} \delta_n$$

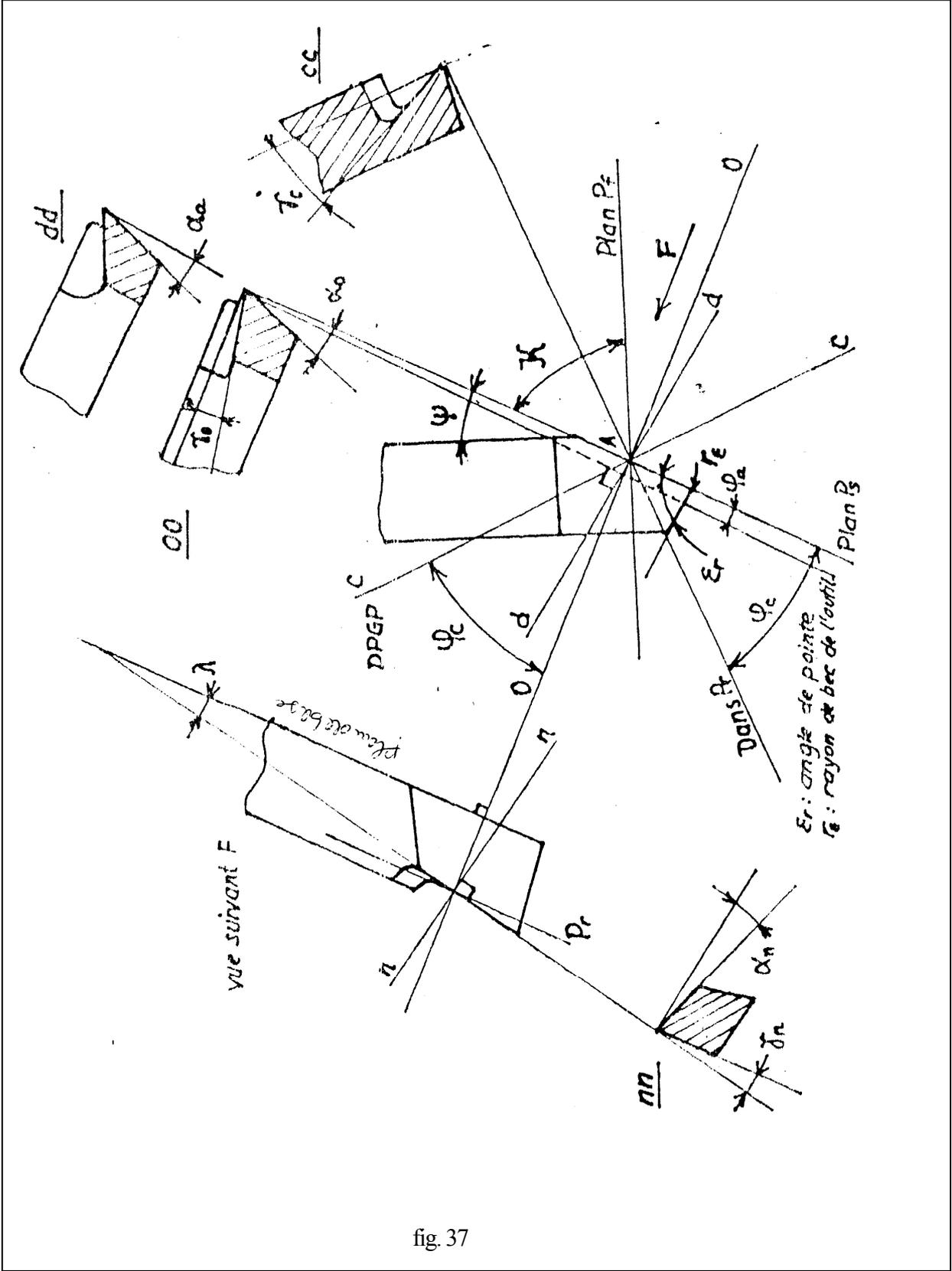
Relations entre les angles latéraux et vers l'arrière et les angles directs d'affûtage.

$$9. \cot \alpha_r = \cot \alpha_n \times \sin (K - \varphi_n)$$

$$10. \operatorname{tg} \delta_r = \operatorname{tg} \delta_c \times \sin (K - \varphi_c)$$

$$11. \cot \alpha_p = \cot \alpha_n \times \cos (K - \varphi_n)$$

$$12. \operatorname{tg} \alpha_p = \operatorname{tg} \delta_c \times \cos (K - \varphi_c)$$



Angles de coupe et de dépeuille

Nature métal à usiner	Acier rapide		Flaquette	
	angle	coupe latérale γ	angle	dépeuille latérale α_f
Fonte structurelle	20-30	10-20	12-14	8-10
Fonte douce EN 170	12-18	6-12	8-10	6-8
Fonte dure EN 400	3-10	0-5	7-9	5-7
Acier XC 18	15-25	6-15	9-11	6-8
Acier 100 C II	10-15	4-8	8-10	6-8
Acier 23 CD 4	8-14	3-7	6-8	4-6

Matières usinées	Outil en acier rapide			Matières usinées	Outil en acier rapide		
	angle de dépeuille α_f	angle de taillant β	angle de coupe γ		angle de dépeuille α_f	angle de taillant β	angle de coupe γ
Aciers R. dur/annee				Fonte grise	8	64	20
R < 20	6	64	35	Aluminium	6	62	30
R = 20 à 35	6	64	20	Calva	6	44	40
R = 35 à 100	5	74	10	Brassé	6	64	20
R = 100 à 140	5	74	10	Latex	8	79	5

Valeur des angles des faces d'un outil en acier rapide pour l'usinage de quelques métaux usuels.

4.Types des outils de tournage

4.1 Principe de tournage.

La pièce est animée d'un mouvement circulaire uniforme c'est le mouvement de coupe Me. L'outil est animé d'un mouvement de translation parallèle ou oblique par rapport à l'axe de rotation c'est le mouvement d'avance Mf.

Dans son mouvement, la pointe de l'outil décrit une ligne appelée génératrice qui transforme la pièce en un solide de révolution, en faisant varier le déplacement de l'outil (mouvement radial) il sera possible d'obtenir tous les solides de révolution tels que cylindre, cône, sphère, etc. fig.38

Le tournage permet également le façonnage des formes intérieures par perçage, alésage, taraudage.

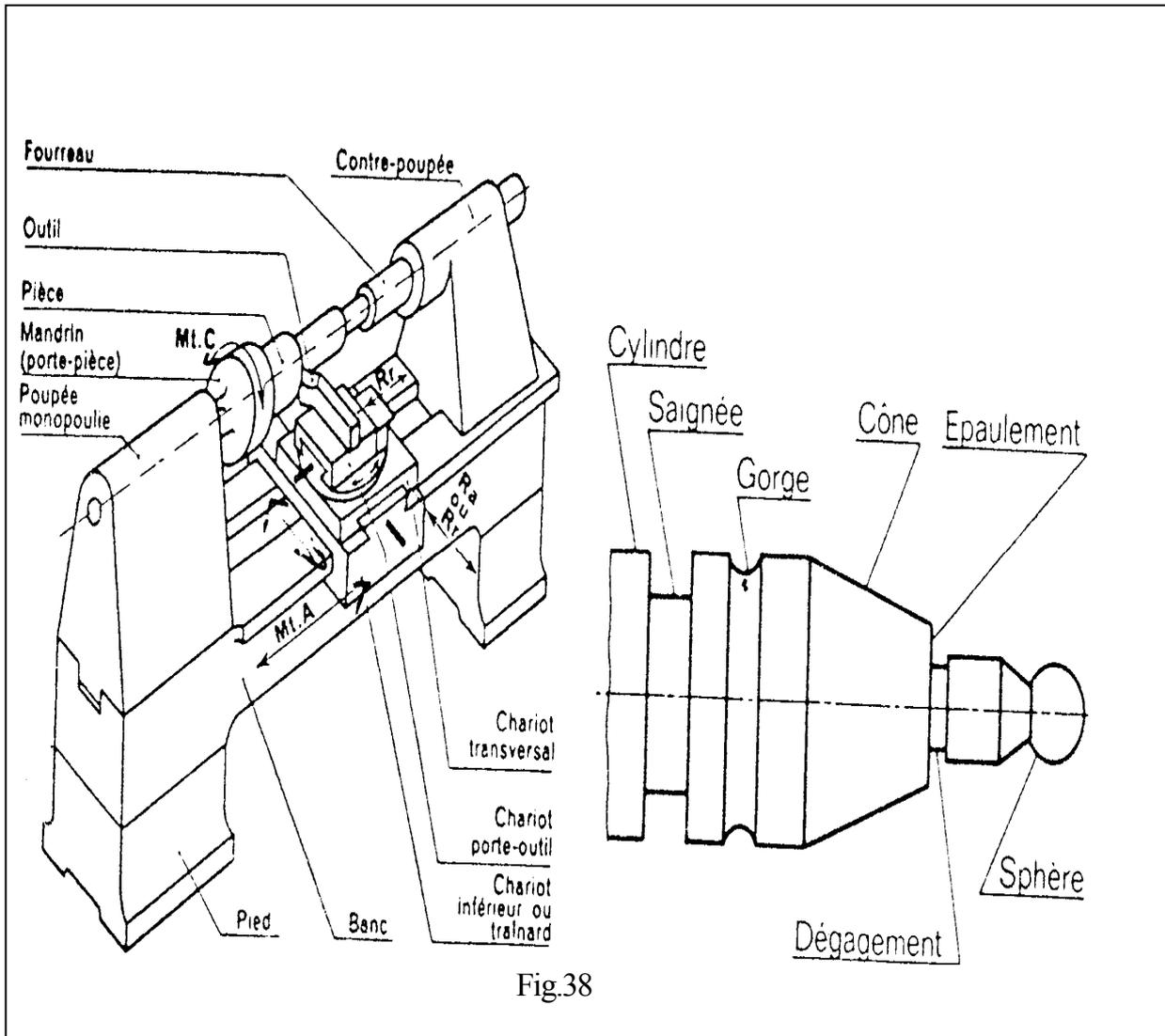
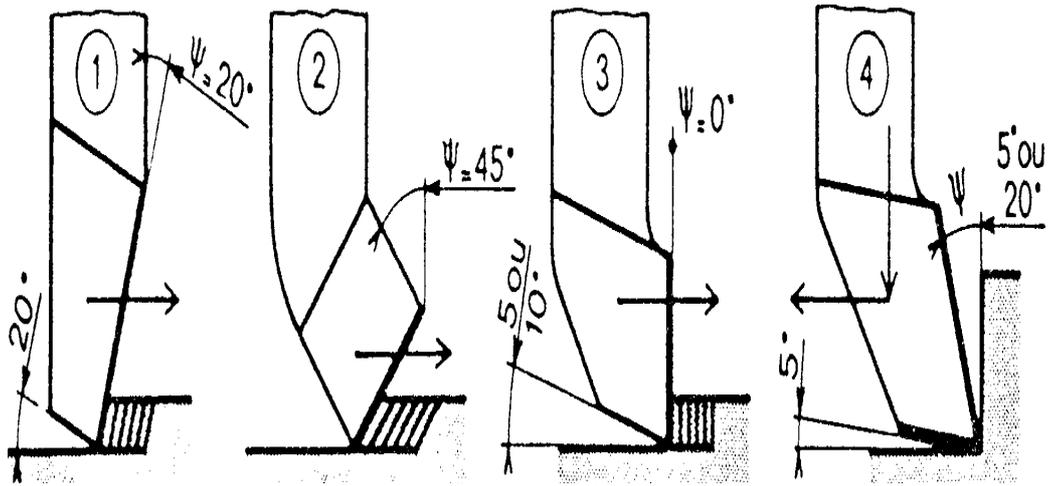


Fig.38

4.2. Outil couteau et outil à dresser d'angle

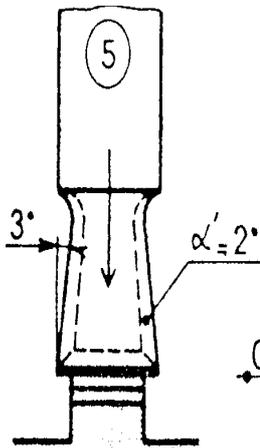
Lorsque la surface présente un épaulement, il est nécessaire de supprimer la partie inclinée ou tronconique laissée par l'outil à charioter. L'outil couteau peut convenir si l'épaulement est peu profond. Dans le cas contraire, l'outil à dresser d'angle permet la coupe dans deux directions rectangulaires fig.39.



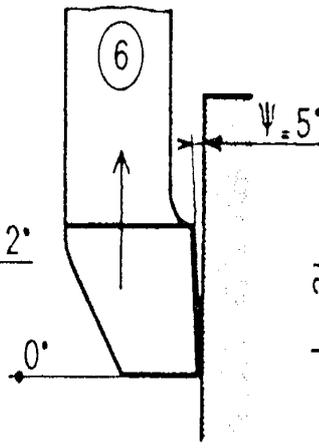
Outil droit à charioter
couteau à droite.
à droite.

Outil à dresser d'angle
à droite.

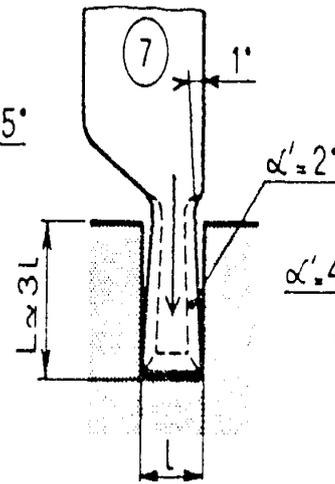
Outil coudé à charioter
à droite.



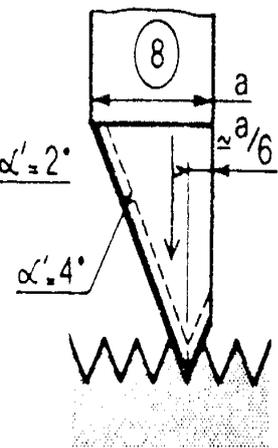
Outil pelle.
faces à droite.



Outil à dresser les
faces à droite.



Outil à saigner à droite.



Outil à fileter extérieu-
rement à droite.

fig.39 Formes d'outils d'extérieur courant.

4.3. Outils de surfacage au tour

La réalisation d'une surface d'extrémité perpendiculaire à l'axe est dite **surfacage au tour**. L'**outil pelle** ou l'**outil à dresser les faces** ou encore l'**outil coudé à charioter** sont indifféremment utilisés.

4.4. Outil à saigner ou à tronçonner

Saigner ou tronçonner, c'est détacher un tronçon. Une saignée limitée en profondeur est une gorge. La partie active de l'outil à saigner est de faible largeur et présente deux dépouilles secondaires latérales.

4.5. Outil à fileter extérieurement

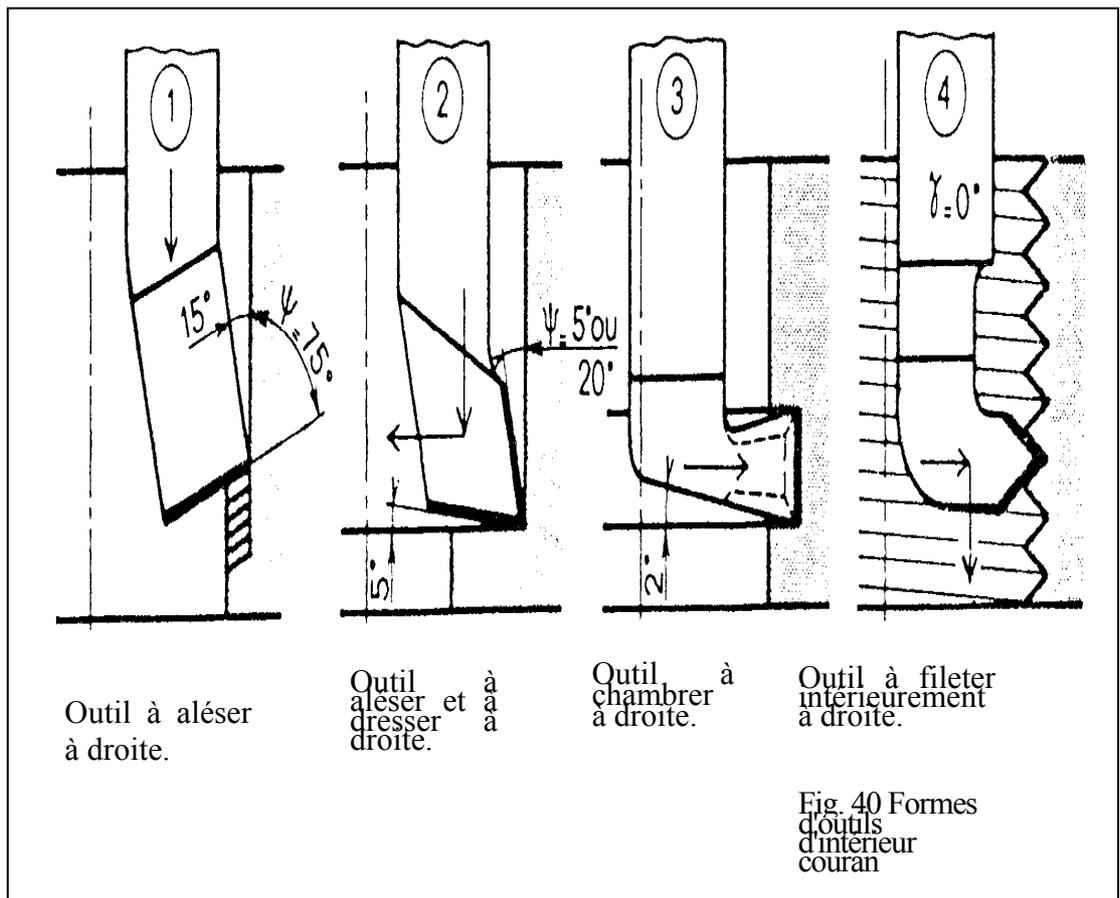
L'outil est adapté au profil de la gorge hélicoïdale qui constitue le filetage. Sa pénétration se poursuit par passes successives

4.6. Outil à aléser

Aléser, c'est exécuter une forme de révolution intérieur. L'outil à aléser doit donc pouvoir pénétrer dans l'alésage.

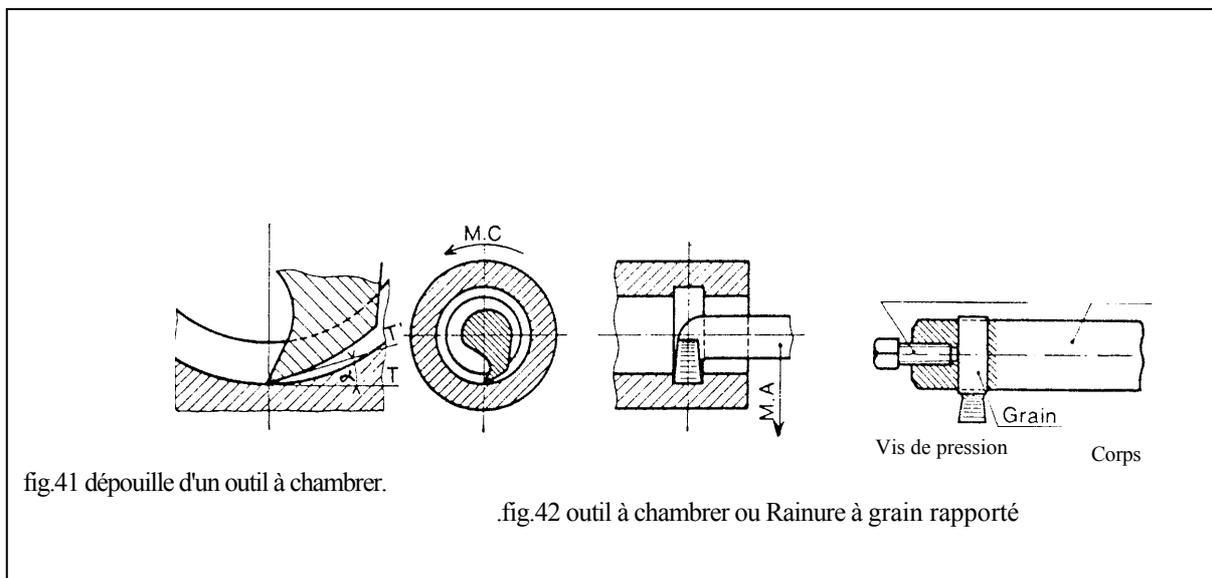
4.7. Outil à aléser et à dresser

Lorsque le fond de l'alésage présente un épaulement, la partie tronconique laissée par l'**outil** à aléser est supprimée par un raccordement longitudinal, puis un dressage Transversal à l'aide de l'**outil** à aléser et à dresser.

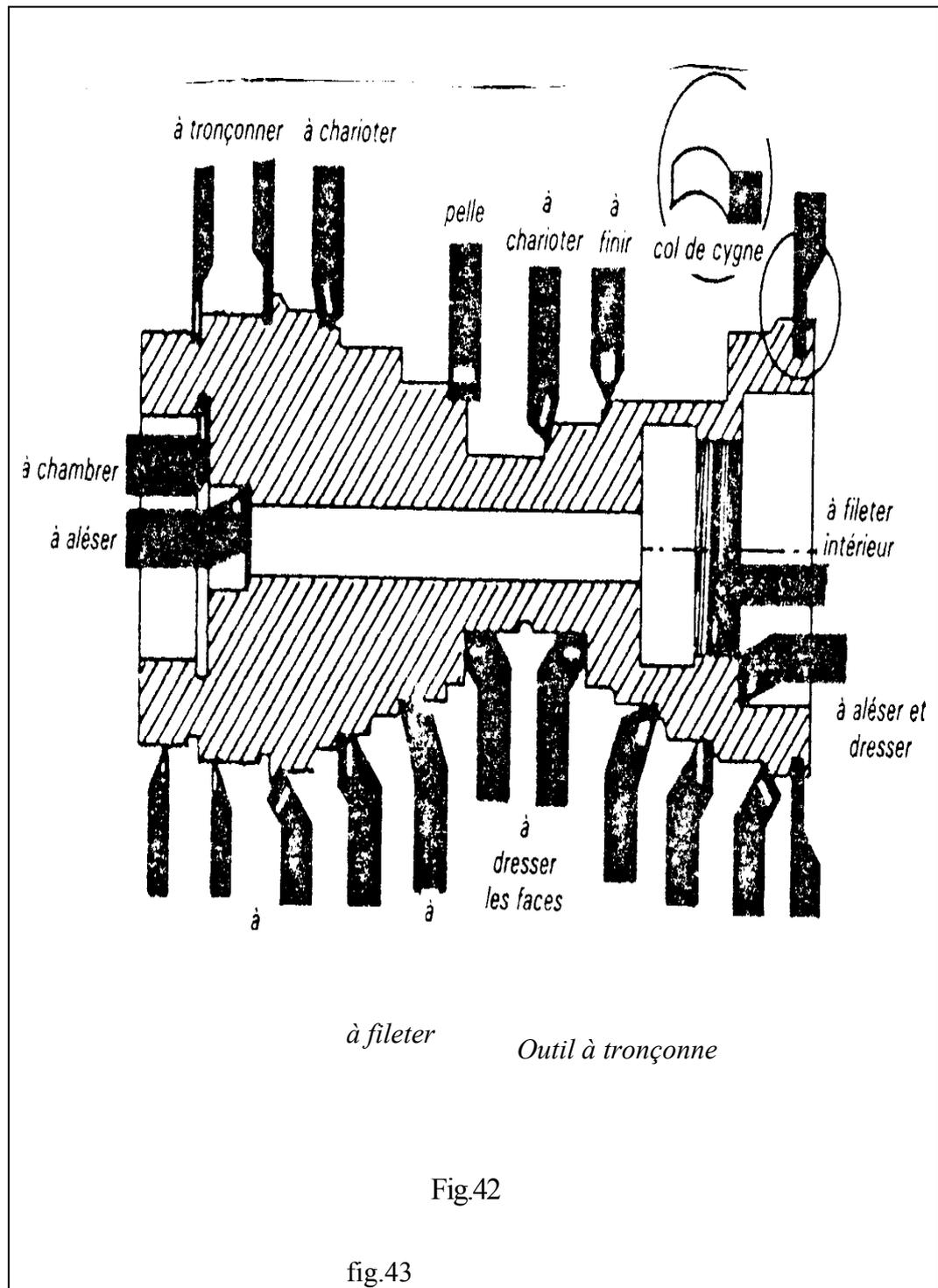


4.8. Outil à chambrer

La partie active est identique à celle de l'outil à tronçonner mais il faut remarquer que la face de dépouille est curviligne pour éviter le frottement du talon de l'outil sur la gorge façonnée. l'angle de dépouille a est donc former par la tangente T au cercle du fond de la rainure et par la tangente T à la surface curviligne de dépouille au même point de l'arête coupante.



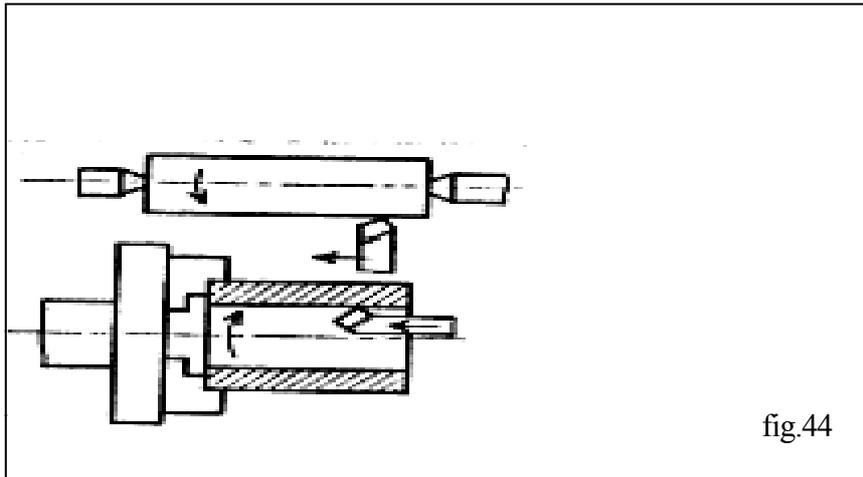
5. Formes des outils de coupe pour tournage



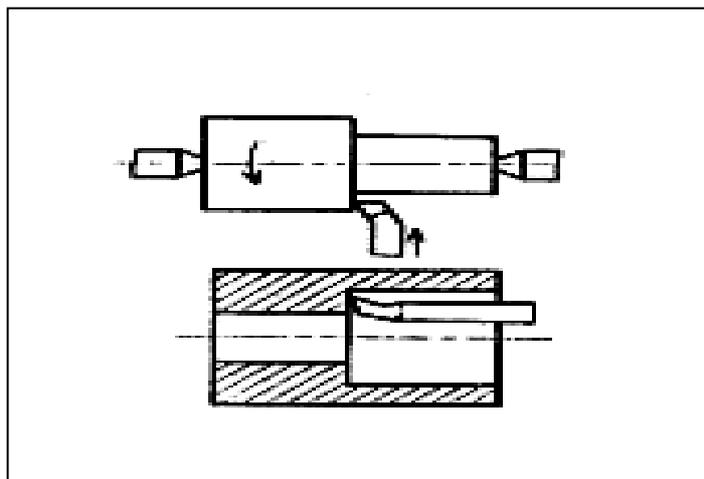
5.1 **Par** **déplacement** **de** **l'outil**

a) Déplacement longitudinal

Le chariotage donne une surface latérale cylindrique, l'alésage une surface intérieure cylindrique ou un chambrage.

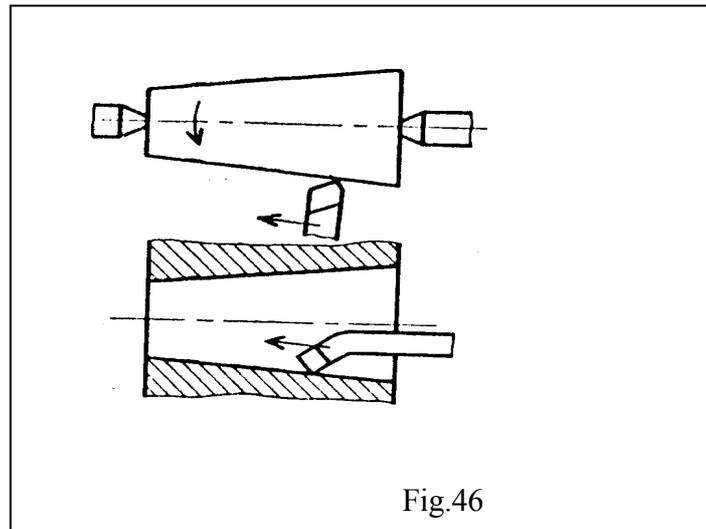


b) Déplacement transversal Le dressage donne des surfaces planes perpendiculaires à l'axe, extérieures ou intérieures.

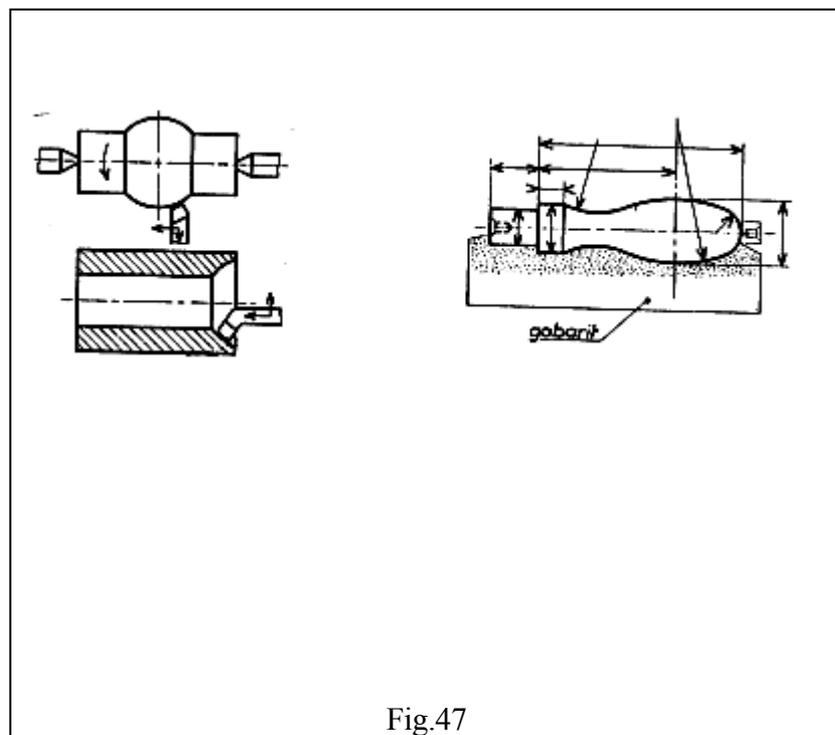


c) **Déplacement oblique**

On obtient des surfaces coniques extérieures ou intérieures.



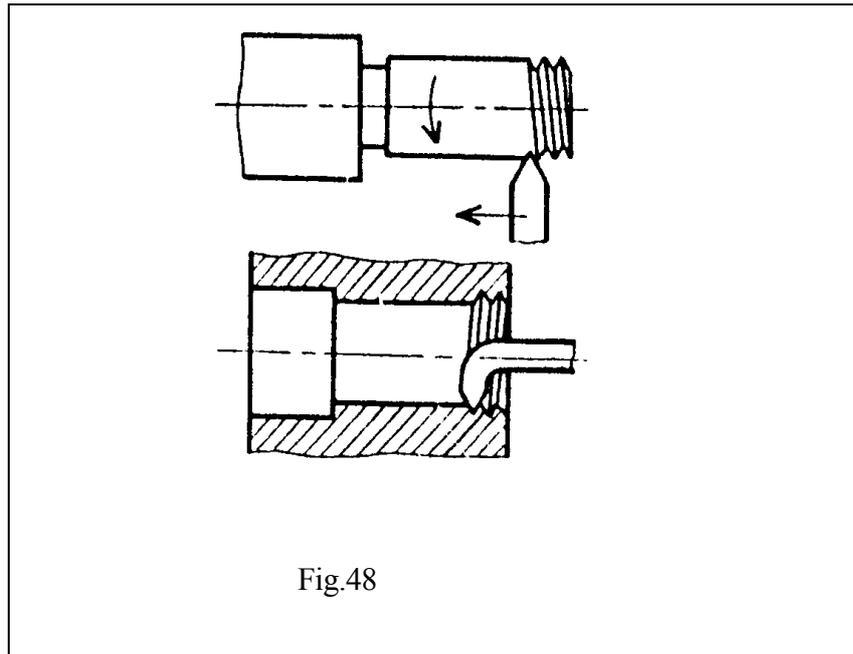
d) **Déplacement combiné** En déplaçant l'outil simultanément dans le sens longitudinal et dans le sens transversal, on peut obtenir des surfaces sphérique, extérieures ou intérieures, des surfaces toriques et d'une façon générale des surfaces de révolution quelconques, la vérification de la surface s'effectue avec un gabarit.



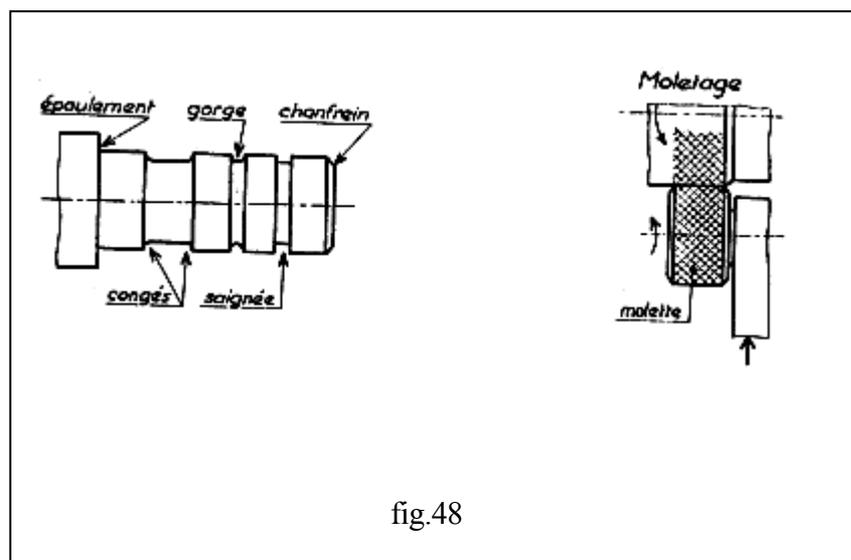
5.2 Par la forme de l'outil

a) filetage est taraudage

L'outil, dont le déplacement est longitudinal, creuse sur la pièce des rainure hélicoïdales laissant leur relief le filet, suivent la forme de l'outil on obtient un filet triangulaire, trapézoïdale, rond, carré.



b) Arrondis, congés, gorges, chanfreins, moletage, existent pour cela des outils spéciaux.



6. Eléments de coupe en tournage

Chariotage avec outil en carbure des aciers non alliés faiblement alliés et des fontes grises.

Aciers	Résistance à la rupture N/mm ²	Conditions de coupe			Outil carbure (plaquette à jeter)				Tour
		Prof. de passe a (mm)	Avance / (mmi/tr)	V. découpe/min durée d'outil 30 à 45 mn	Nuance ISO	Angle découpe (degré)	Rayon de bec (mm)	Section du corps de l'outil (mm x mm)	Puissance
Recuit	< 400	0,2 à 1	0,1 à 0,2	280 à 270	P20		0,2	12 x 12	< 3
		1 à 4	0,2 à 0,4	270 à 180	P30		0,8	16 x 16	3 à 20
		4 à 8	0,4 à 0,8	180 à 130	P40		1,6	25 x 25	20 à 35
Recuit	400 h 600	0,2 à 1	0,1 à 0,2	260 à 250	P 10	14	0,2	12 x 12	< 3
		1 à 4	0,2 à 0,4	250 à 160	P20	14	0,8	16 x 16	3 à 20
		4 à 8	0,4 à 0,8	160 à 120	P 30	14	1,6	25 x 25	20 à 30
Recuit	600 à 750	0,2 à 1	0,1 à 0,2	200 à 190	P 10	6	0,2	12 x 12	< 3
		1 à 4	0,2 à 0,4	190 à 130	P20	6	0,8	16 x 16	3 à 15
		4 à 8	0,4 à 0,8	130 à 90	P 30	12	1,6	25 x 25	15 à 30
Trempe revenu	750 à 900	0,2 à 1	0,1 à 0,2	180 à 170	P 10	6	0,2	12 x 12	< 3
		1 à 4	0,2 à 0,4	170 à 120	P20	6	0,8	16 x 16	3 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	120 à 80	P30	12	1,6	25 x 25	10 à 30
Trempe revenu	900 à 1100	0,2 à 1	0,1 à 0,2	170 à 100	P 10	0	0,2	12 x 12	< 3
		1 à 4	0,2 à 0,4	160 à 115	P 10	6	0,8	16 x 16	3 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	115 à 85	P20	6	1,6	25 x 25	10 à 30
Trempe recuit	1100 à 1300	0,2 à 1	0,1 à 0,2	160 à 150	P01	0	0,2	12 x 12	< 2
		1 à 4	0,2 à 0,4	150 à 100	P 10	6	0,8	16 x 16	2 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	100 à 65	P 20	6	1,6	25 x 25	10 à 20
Trempe revenu	1300 à 1450	0,2 à 1	0,1 à 0,2	110 à 105	P 01	0	0,2	12x12	< 2
		1 à 4	0,2 à 0,4	105 à 75	P 10	0	0,8	16 x 16	2 à 8
		4 à 8	0,4 à 0,8	75 à 50	P 20	6	1,6	25 x 25	8 à 20
Fontes	Dureté JIB)								
Ft10-15	< 150	0,2 à 1	0,1 à 0,2	260 à 240	K10-M10	0,4		12 x 12	< 2
		1 à 4	0,2 à 0,4	240 à 190	K10-M10	-7	0,8	16 x 16	2 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	190 à 130	K20-M20	-7	1,6	25 x 25	10 à 30
Ft20	160 à 200	0,2 à 1	0,1 à 0,2	190 à 180	K10-M10	-7	0,4	12 x 12	< 2
		1 à 4	0,2 à 0,4	180 à 140	K10-M10	-7	0,8	16 x 16	2 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	140 à 100	K20-M20	-7	1,6	25 x 25	10 à 20
Ft30	180 à 220	0,2 à 1	0,1 à 0,2	140 à 130	K10-M10	-7	0,4	12 x 12	< 2
		1 à 4	0,2 à 0,4	130 à 110	K10-M10	-7	0,8	16 x 16	2 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	110 à 80	K20-M20	-7	1,6	25 x 25	10 à 20
Ft 35	220 à 260	0,2 à 1	0,1 à 0,2	110 à 100	K10-M10	-7	0,4	12 x 12	< 1
		1 à 4	0,2 à 0,4	100 à 85	K10-M10	-7	0,8	16 x 16	1 à 7
		4 à 8	0,4 à 0,8	85 à 60	K20-M20	-7	1,6	25 x 25	7 à 15

**TABLEAU 5^a : Chariotage avec outil
en acier rapide des alliages légers et cuivreux. Durée d'outil 60 à 90 min.**

Alliage légers	Dureté (HR)	Conditions de coupe			Outil		
		Prof. de passe (mm)	Avance (mm/tr)	Vitesse de coupe m/min	Angle de coupe γ_0 (degré)	Rayon de bec r_n (mm)	Section du corps de l'outil (mm x mm)
Légers sans silicium	15	0,2 à 1	0,1 à 0,2	1 000 à 900	20 à 30°	0,5	12 x 12
	à	1 à 4	0,2 à 0,4	900 à 800		1,2	16 x 16
	90	4 à 8	0,4 à 0,8	800 à 700		2,0	25 x 25
Légers avec silicium (< 5 %)	90	0,2 à 1	0,1 à 0,2	800 à 700	20 à 30°	0,5	12 x 12
	à	1 à 4	0,2 à 0,4	700 à 650		1,2	16 x 16
	160	4 à 8	0,4 à 0,8	650 à 600		2,0	25 x 25
Légers avec silicium (< 13 %)		0,2 à 1	0,1 à 0,2	600 à 500	20 à 30°	0,5	12 x 12
		1 à 4	0,2 à 0,4	500 à 450		1,2	16 x 16
		4 à 8	0,4 à 0,8	450 à 400		2,0	25 x 25
Acier rapide nuance 6-3-2 (W-D-V)							
Alliages cuivreux							
Bronzes Laitons Maillechorts	60	0,2 à 1	0,1 à 0,2	130 à 110	6 à 15°	0,5	12 x 12
	à	1 à 4	0,2 à 0,4	110 à 80		1,2	16 x 16
	100	4 à 8	0,4 à 0,6	80 à 70		2	25 x 25
Cupro-aluminium Cupro-nickels	130	0,2 à 1	0,1 à 0,2	120 à 100	6 à 15°	0,5	12 x 12
	à	1 à 4	0,2 à 0,4	100 à 75		1,2	16 x 16
	200	4 à 8	0,4 à 0,8	75 à 70		2	25 x 25

* Pour les matériaux non ferreux autres que ceux signalés sur ce tableau, consulter le manuel CETIM.

**TABLEAU 6 : Vitesse de coupe et d'avance en perçage
avec un foret en acier rapide nuance 6-3-2.**

Matériaux	Vitesse de coupe en m/min	Angle au sommet du foret et hélice	Avance en mm par tour				
			2 à 4	5 à 7	8 à 12	13 à 20	21 à 30
Aciers non alliés et faiblement alliés	$R_m < 450 \text{ N/mm}^2$	$\delta = 118^\circ$ hélice standard	0,08 à 0,12	0,12 à 0,16	0,17 à 0,25	0,26 à 0,3	0,32 à 0,40
		$\delta = 118^\circ$ hélice standard	0,08 à 0,16	0,12 à 0,16	0,17 à 0,25	0,26 à 0,3	0,32 à 0,40
	$450 < R_m < 650$	$\delta = 120^\circ$ hélice standard	0,05 à 0,08	0,10 à 0,12	0,12 à 0,15	0,15 à 0,20	0,25 à 0,30
		$\delta = 120^\circ$ hélice standard	0,05 à 0,08	0,10 à 0,12	0,12 à 0,15	0,15 à 0,20	0,25 à 0,30
	Fonte grise Ft 10 à Ft 20	$\delta = 118^\circ$ hélice standard	0,08 à 0,12	0,12 à 0,16	0,17 à 0,25	0,26 à 0,35	0,35 à 0,40
		$\delta = 118^\circ$ hélice standard	0,08 à 0,12	0,12 à 0,16	0,17 à 0,25	0,26 à 0,35	0,35 à 0,40
Laitons Bronzes Maillechorts	40 à 100	$\delta = 120^\circ$ hélice longue	0,12	0,16	0,25	0,3	0,40
Alliage d'aluminium laminés (1 050-2 017...) moulés (AS 13-AS 7 G...)	60 à 200	$\delta = 140^\circ$ hélice courte	0,12	0,16	0,25	0,3	0,40
Matières plastiques	durs	$\delta = 70^\circ$	0,14	0,18	0,20	0,22	0,25
	tendres	$\delta = 140^\circ$	0,08	0,10	0,12	0,12	0,16

TABLEAU 6 : Tournage avec outil à mise en acier rapide nuance 6-5-2.

Matériau	Appellation commerciale	Avance par tour (mm)	Angle de coupe γ_0 (degré)	Angle de déviation α_0 (degré)	Vitesse de coupe m/min
Polyéthylène Acrylique Polypropylène	Laqène, Lorène Plastyène, Nathène Hostalène, Pryline Napryl, etc.	0,04 à 0,3	10 à 20	6 à 10	70 à 120
Polystyrène	Alcolène Polystyrol Vestylon, etc.	0,02 à 0,2	0 à 15	2 à 10	20 à 80
Acrylonitrile Styrène	Luron Nestoren Alcoeryl Novodur, etc.	0,1 à 0,5	10	6 à 10	90 à 110
Polyamides Polycarbonates	Technyl Rilsam Akulon Ultranamid Makrolon Lexan, etc. Nylon	0,04 à 0,3	5 à 20	6 à 12	90 à 150
Polyméthacrylate de méthyle	Alteglass Méniglass Altalit	0,02 à 0,3	3 à 10	0 à 12	100 à 300
Phéoplastes	Bakélite	0,04 à 0,5	8°	12 à 25	25 à 80
Céloron et ébonite		0,04 à 0,5	15 à 20	0 à 5	50 à 80

Lubrification : air ou huile soluble

TABLEAU 7 : Alésage à l'alsoir.

Matériau (R_m en N/mm ²)	Vitesse de coupe alsoir en acier rapide m/min	Avance en mm par tour			Matériau (R_m en N/mm ²)	Vitesse de coupe alsoir en acier rapide m/min	Avance en mm par tour		
		$d \leq 20$	$20 < d \leq 40$	$40 < d$			$d \leq 20$	$20 < d \leq 40$	$40 < d$
Acier $R_m < 650$	10 à 20	0,2 à 0,4	0,4 à 0,6	0,6 à 1	Laiton de décolletage	20 à 30	0,3 à 0,5	0,5 à 1	1 à 2
Acier $650 < R_m < 900$	6 à 10	0,2 à 0,4	0,4 à 0,6	0,6 à 1	Alu. 6061 (1050, 2025)	20 à 40	0,3 à 0,5	0,5 à 1	1 à 2
F1 14 à F1 20	10 à 16	0,3 à 0,8	0,8 à 1,5	1,5 à 2					

TABLEAU 8 : Taraudage.

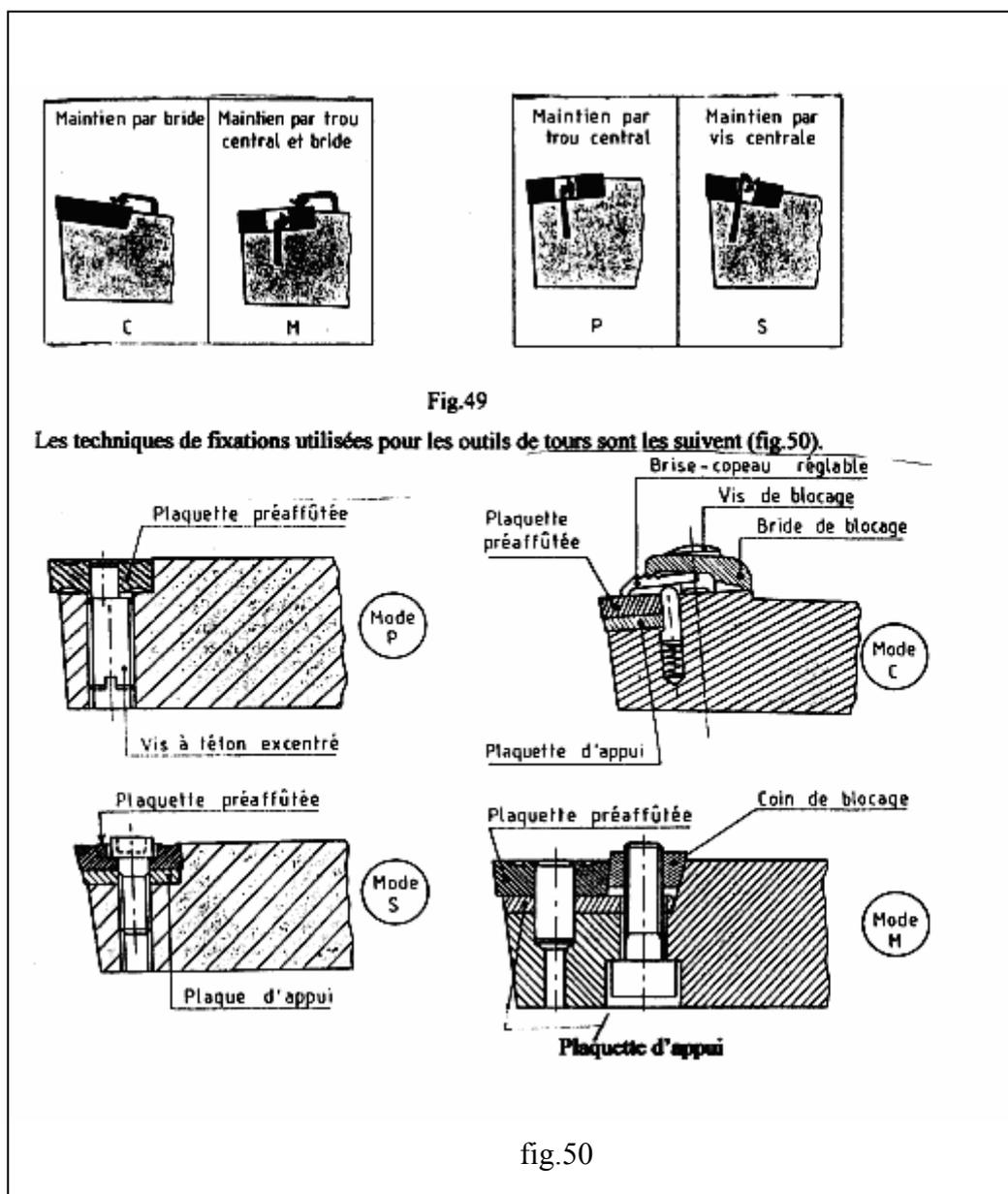
Vitesse de coupe et lubrification		
Matériaux à tarauder R_m en N/mm ²	Vitesse de coupe en m/min	Lubrifiants
Acier jusqu'à 600 Acier de 700 à 900 Acier de plus de 900 Acier inoxydable	10 à 12 5 à 10 3 à 6 2 à 5	Huile de coupe - Huile de colza Huile de coupe soufrée - Huile de colza Huile de coupe soufrée Huile de coupe soufrée
Fonte malléable Fonte dure Laiton - Cuivre Bronze dur	6 à 10 3 à 6 15 à 20 6 à 10	Huile soluble - Huile de coupe - Air comprimé Huile de coupe - A sec - Air comprimé Huile de coupe soufrée Huile de coupe soufrée - Pétrole
Métaux légers Matériaux plastiques durs ou tendres	15 à 20 3 à 8	Huile de coupe soufrée - Pétrole A sec

7. Outils à plaquettes amovibles

a) pour tournage

Les outils à plaquettes amovibles sont généralement constitués d'un corps en acier (**XC48**) avec des surfaces de référence pour la mise en position de la plaquette par rapport aux surfaces de référence du corps de l'outil, d'une plaquette préaffûtée en carbure ou en céramique, et d'un dispositif de maintien en position de la plaquette dans son logement.

Les plaquettes sont vendues préaffûtées. Leur fixation sur le corps de l'outil correspond à l'un des modes suivants :



7.1. Désignation normalisée

Elle comporte les symboles suivants: Forme, angle de dépouille, classe de tolérance, lettre caractéristique compte du mode de fixation, grandeur (dimension de l'arête), épaisseur, configuration de la pointe (rayon de bec ou arête de planage), symboles complémentaires (direction de coupe, forme de l'arête).

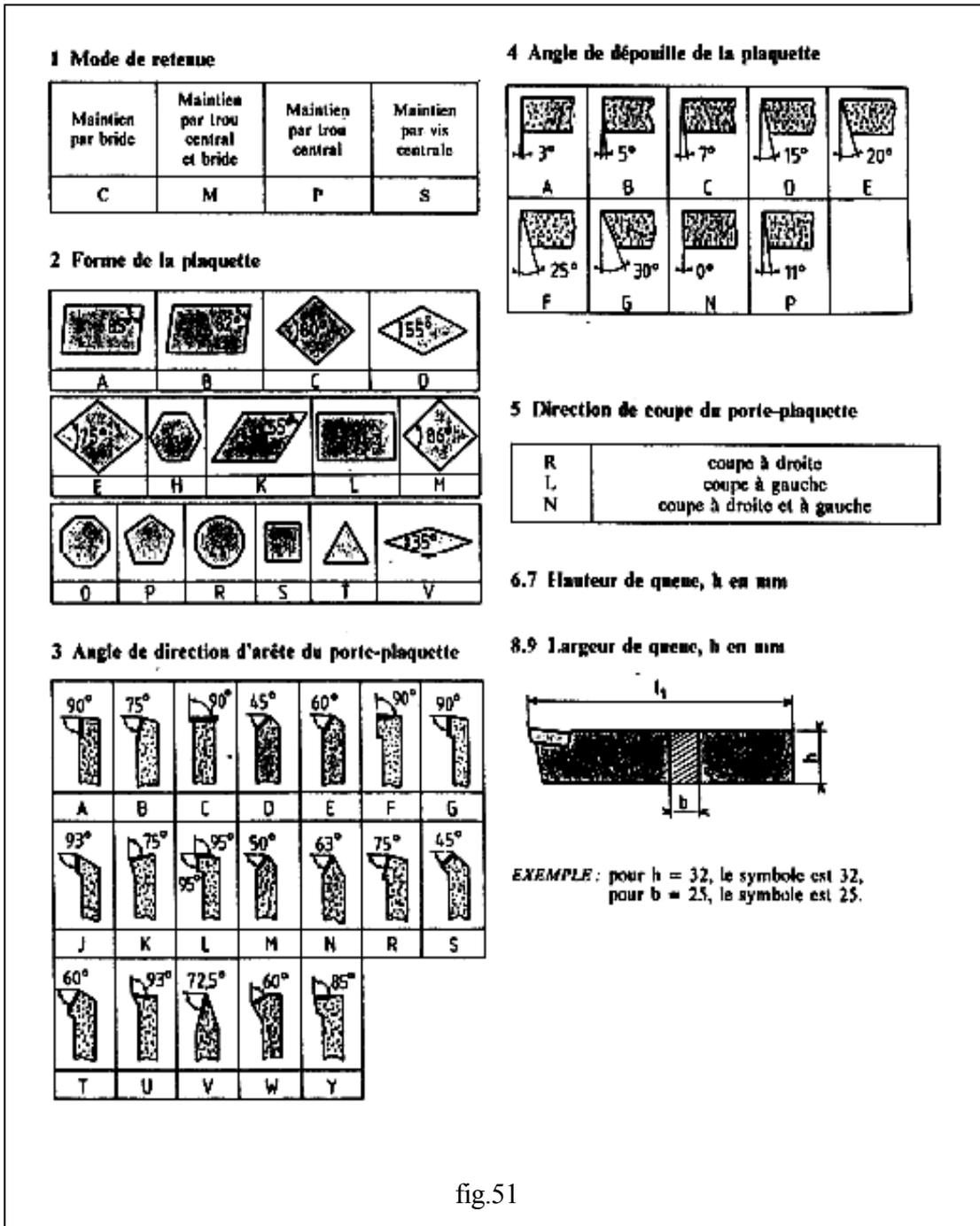


fig.51

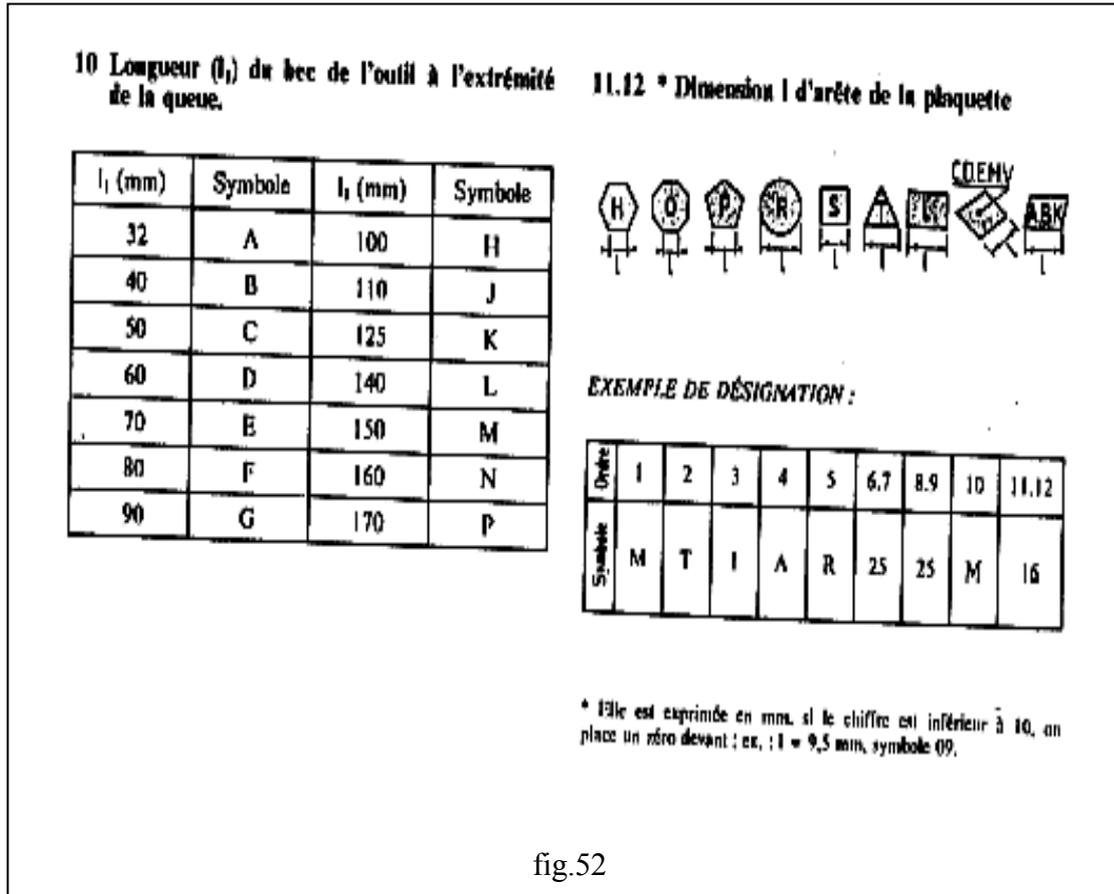


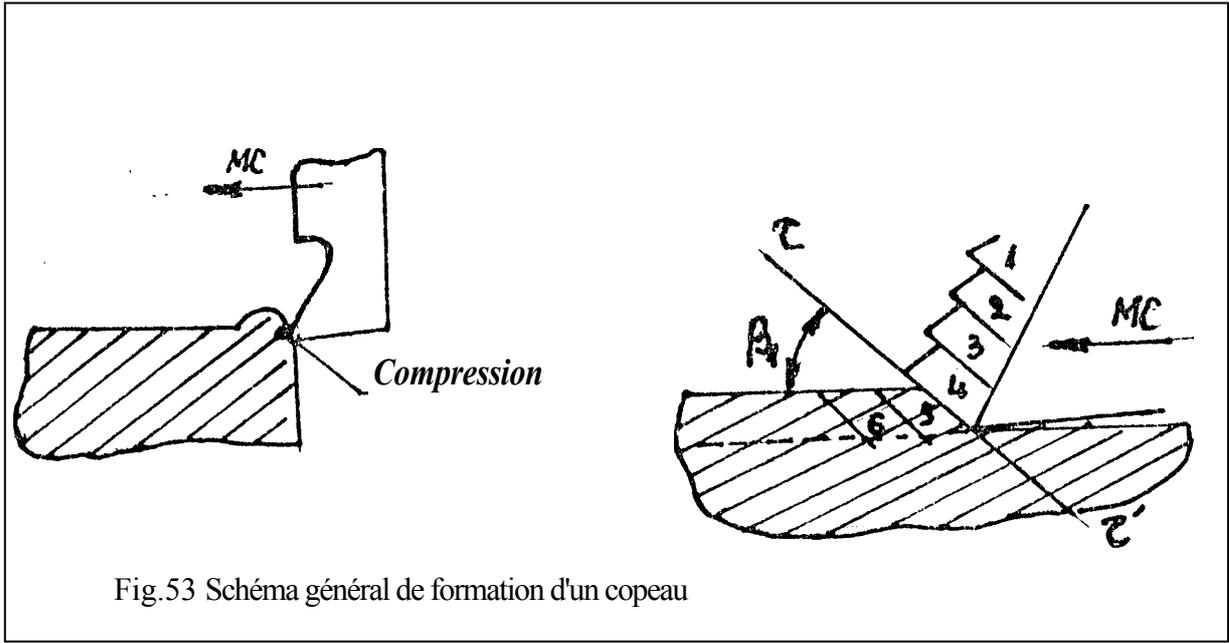
fig.52

7. 2.Principes physiques de la coupe des métaux

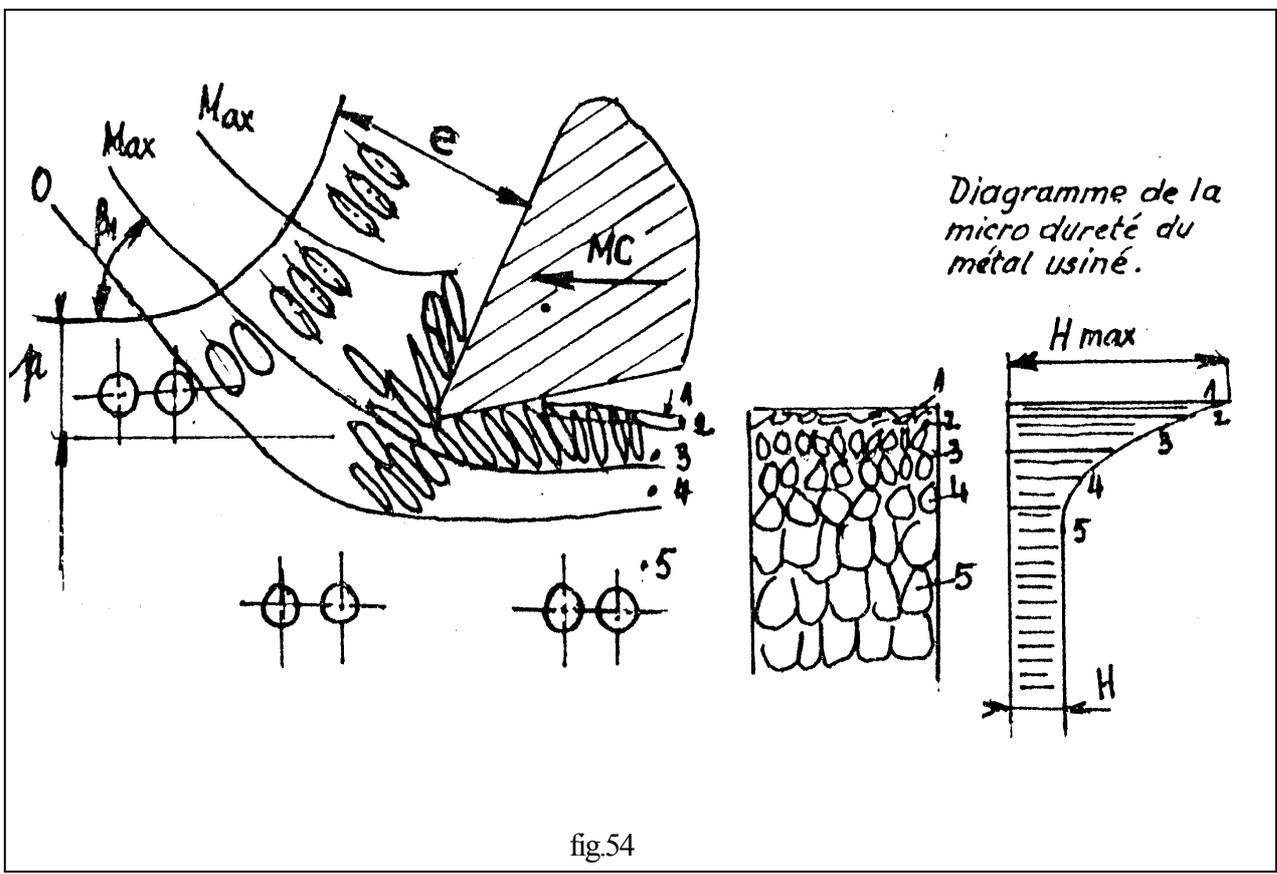
Le métal enlevé de l'ébauche par un outil de coupe s'appelle copeau, le but de ce chapitre est d'étudier la formation du copeau, processus physique complexe, qui s'accompagne de modifications cristallines, de déformations élastiques et plastiques, de rupture. Il donne par ailleurs lieu à un frottement important, à un dégagement de chaleur, à des microsoudures, à la formation d'une arête rapportée, à l'usure de l'outil.

7.3. Formation du copeau et ses types

La couche enlevée par l'action de l'outil subit une compression non libre s'accompagnant de déformations élastiques puis permanentes. Ces déformations aboutissent à la rupture par glissement de certaines couches par rapport à d'autres suivant des surfaces qui, en général, se confondent avec la direction des contraintes de cisaillement maximales. (β angle de cisaillement).



Les glissements peuvent se produire entre les particules isolées d'un grain monocristal ou entre les grains eux mêmes au sein d'un polycristal. Ils provoquent la modification de la forme, des dimensions et des positions relatives des grains (fig.54).



7.4. Micrographie latérale

Le schéma ci-dessus représente une micrographie latérale au voisinage pièce-outil-copeau en cours de coupe.

La déformation, au stade plastique, s'accompagne également d'un échauffement important et d'une modification des propriétés du métal qui devient plus dur et plus fragile-(voir digramme de la micro dureté du métal usiné).

Une méthode de visualisation des déformations du copeau consiste en l'application d'un quadrillage latéral très fin dont on prend des microphotographies.

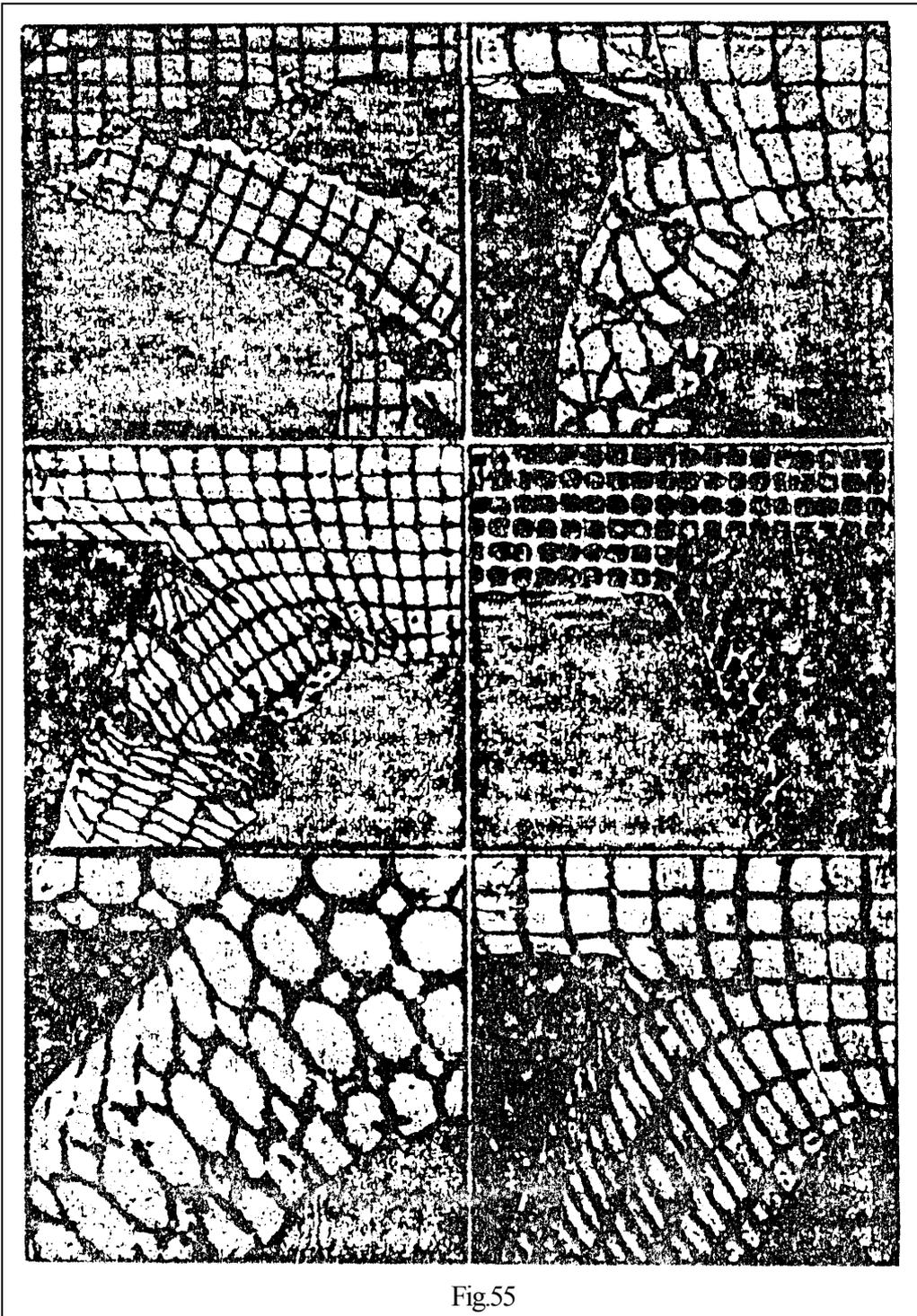
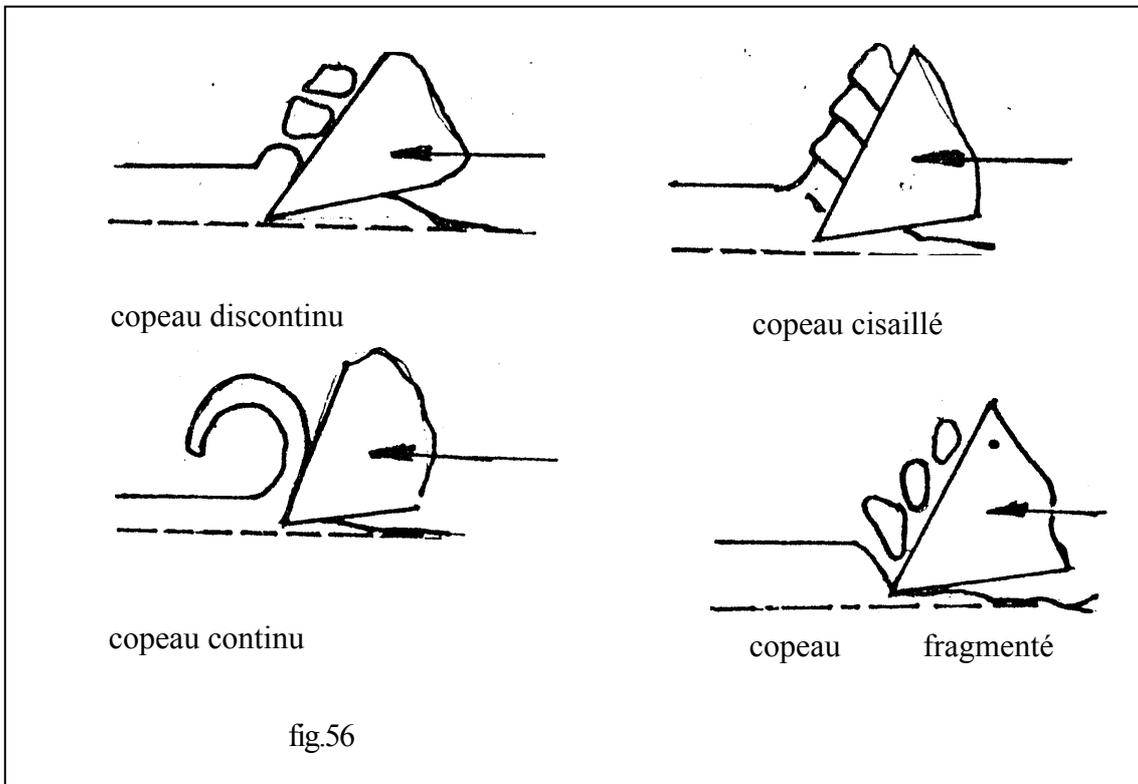


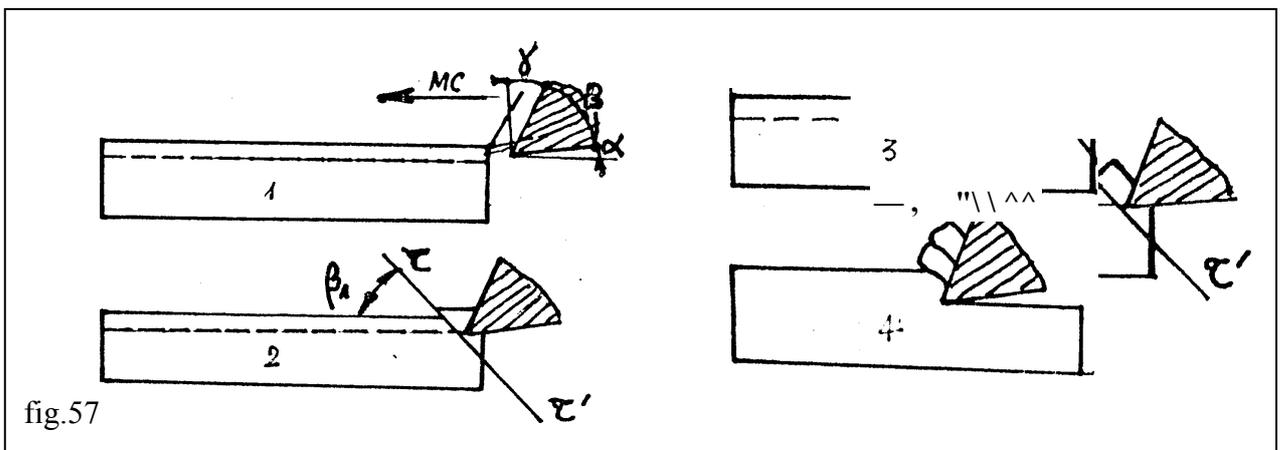
Fig.55

Différentes microphotographies de la couche enlevée en fonction de l'épaisseur et du métal usiné. Les formes du copeau varient selon les métaux travaillés et les conditions de coupe. On distingue quatre types: discontinu, cisaille, continu, fragmenté.



7.5. Le copeau discontinu

Il s'obtient par l'usinage des métaux durs et peu ductiles à faible vitesse de coupe. Il est composé d'éléments séparés, déformés plastiquement, peu liés ou pas liés du tout entre eux.



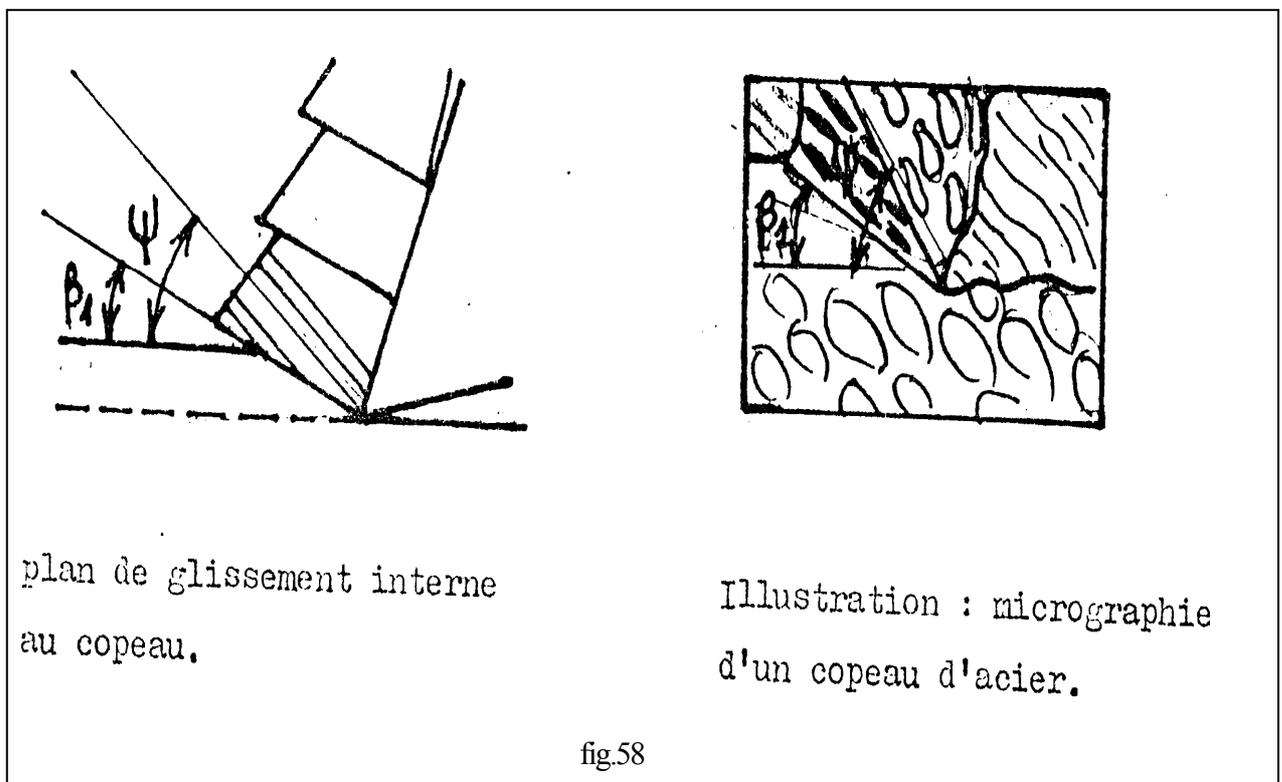
Sous l'action du mouvement de coupe MC, l'outil pénètre progressivement dans la masse du métal et l'effort produit par sa face de coupe provoque des déformations élastiques d'abord, plastique ensuite.

A mesure que l'outil s'enfonce, les contraintes dans la couche à enlever augmentent. Lorsqu'elles atteignent la valeur correspondant à la charge de rupture, elles provoquent le glissement du premier élément suivant la surface de cisaillement.

Une fois le premier élément de copeau détaché, l'outil comprime la zone voisine, les contraintes augmentent, un deuxième élément se détache selon le même angle de cisaillement β_i , et ainsi de suite...

Des travaux récents de chercheurs ont montré qu'on faisant varier l'angle de coupe γ , dans les valeurs usuelles aussi bien positives que négatives, l'angle de cisaillement β_i est compris entre 10 et 45°.

Si nous observons maintenant la microstructure du copeau, celle-ci diffère, du fait des déformations permanentes, de celles du métal de base et nous nous apercevons que le copeau lui-même comporte des plans de glissement qui ne coïncident pas, quant à la direction, avec celle de la surface de cisaillement.



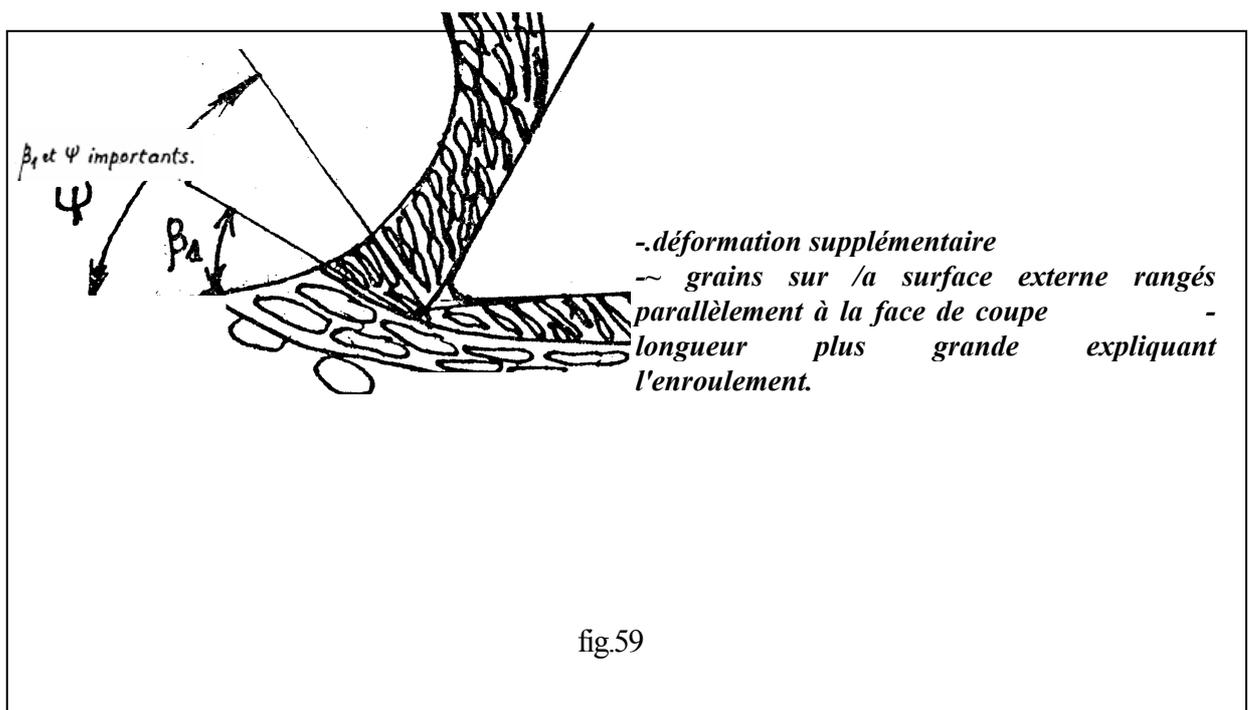
7.6. Le copeau cisailé

Le copeau cisailé s'obtient lorsque l'usinage de l'acier s'effectue à vitesse moyenne. La face du copeau en regard avec la face de coupe de l'outil est lisse alors que la face opposée porte des entailles bien marquées qui définissent la direction des surfaces de cisaillement des éléments qui, contrairement au copeau discontinu, sont fortement liés les uns aux autres. Un tel copeau soumis à la flexion se rompt.

L'augmentation de la vitesse de coupe a donc pour effet de créer une liaison, au sien du copeau, entre les éléments apparaissant lors de la formation du copeau discontinu. Si l'on augmente encore plus cette vitesse nous obtenons la formation d'un copeau continu.

7.7. Le copeau continu

Sa formation apparaît lorsqu'on usine de l'acier par exemple à grande vitesse. Le copeau s'écoule alors en forme de longue bande sans les entailles caractéristiques du copeau cisailé.



Si, au niveau de l'arête de l'outil les phénomènes restent identiques, l'augmentation de la vitesse de coupe fait croître l'angle de cisaillement β_1 et le copeau, dans ses couches proches de la face de coupe, subit une déformation plastique supplémentaire due au frottement.

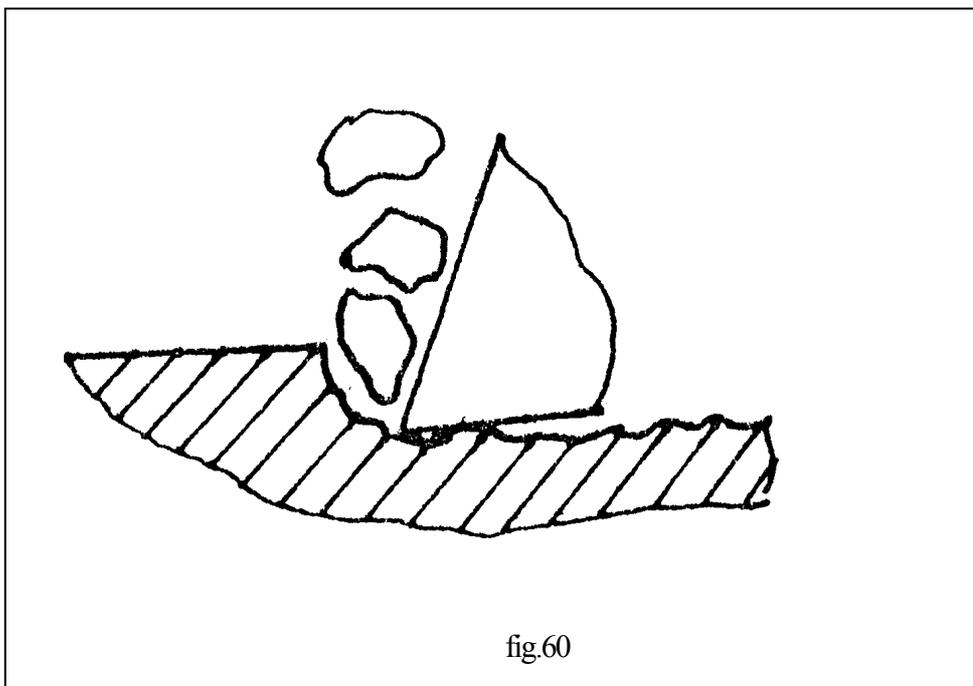
De ce fait, les grains se rangent, sur une épaisseur comprise entre 2 et 20% de celle du copeau, parallèlement à la face de coupe, provoquant l'enroulement et comme ly est important on ne voit plus apparaître les entailles sur la face interne du copeau qui reste malgré tout rugueuse.

D'autre part, les couches attenantes à la surface usinée subissent une déformation supplémentaire, due au retour non parfaitement élastique de la matière coupée ainsi qu'à son frottement sur la face de dépouille et, là encore les grains se rangent parallèlement à la surface produite.(influence sur l'état de surface, la rugosité).

7.8. Le copeau fragmenté

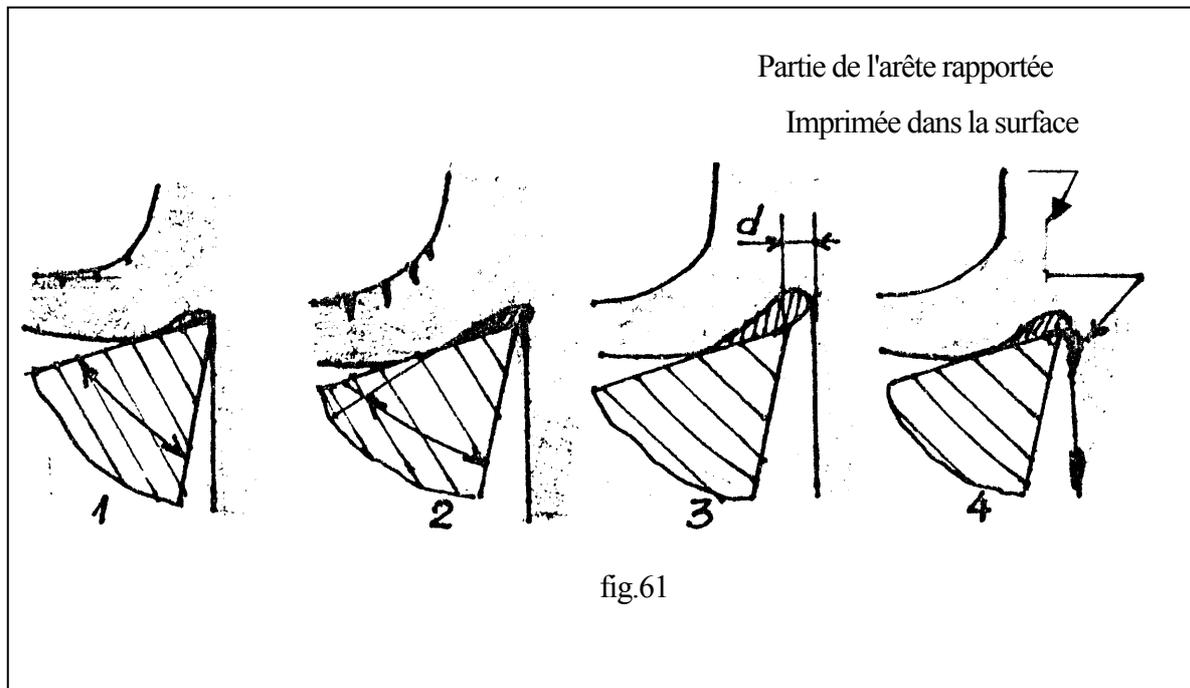
Il s'obtient lors de l'usinage de matériaux friables, fragiles tels que le bronze dur, la fonte... il est constitué l'élément isolée, de forme variée, pas liés ou très peu liés entre eux. Ce copeau ne subit qu'une faible déformation plastique et sa séparation de l'ébauche s'effectue le long de la fente adventive qui se ferme immédiatement selon la surface de cisaillement de configuration quelconque.

Les éléments du copeau quittent rapidement la face de coupe de l'outil. La rupture produit des efforts variables et la surface engendrée est rugueuse, arrachée.



7.9. Arête rapportée

Dans certaines conditions, précisées en fin de paragraphe, on peut observer, sur la surface de coupe au voisinage de l'arête, une accumulation de forme pyramidale faite de particules du métal de base, très déformées, adhérentes à l'outil, que l'on appelle arête rapportée ou encore copeau adhérent et dont la dureté peut atteindre deux à trois fois celle de la matière usinée.



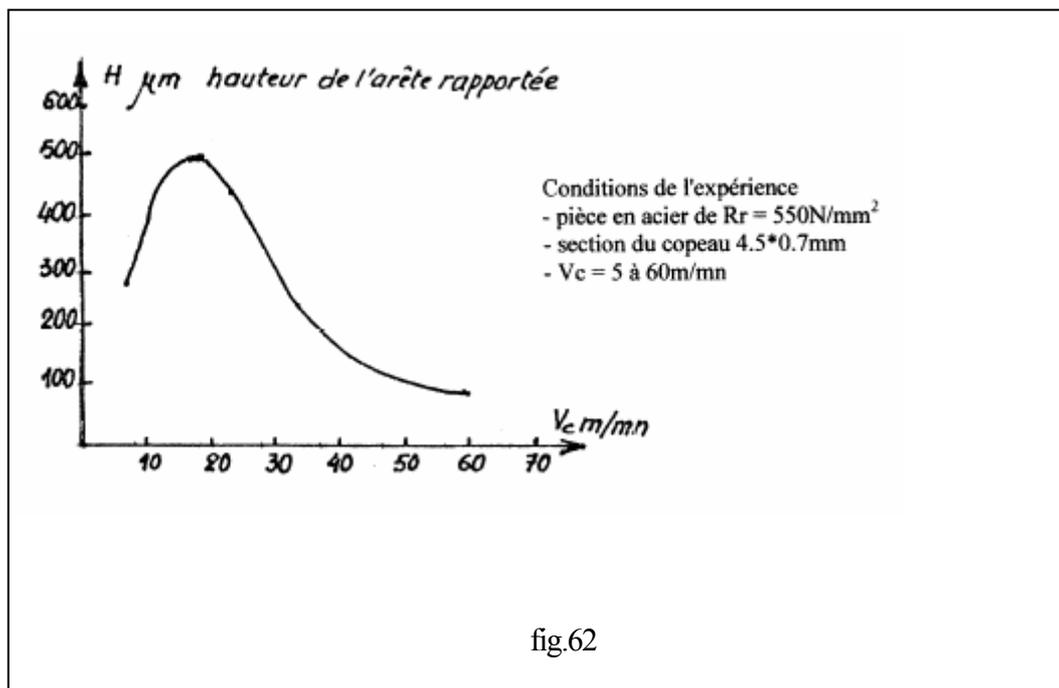
Le mécanisme de sa formation peut être décomposé en quatre temps:

1. Sous l'effet de la pression exercée par la coupe et de réchauffement, il se forme des microsoudures du métal usiné dans l'outil.
2. L'augmentation induite de la rugosité de la face de coupe entraîne une augmentation du frottement entre le copeau et l'outil ce qui a pour effet d'amplifier le phénomène de microsoudures.
3. la formation du copeau ne se fait plus par l'arête de l'outil, mais par l'arête rapportée qui joue, malgré sa stabilité variable, le rôle d'arête auxiliaire.
4. lorsque "d" devient trop élevée, une partie de l'arête rapportée s'effondre et s'imprime, en partie, dans la surface usinée.

La formation du copeau adhérent modifie la géométrie angulaire de l'outil, influe sur les efforts appliqués à l'outil, son usure et sur la qualité de la surface usinée, l'arête rapportée diminue l'angle de taillant θ , facteur favorisant l'écoulement du copeau, et protège l'arête tranchante en l'éloignant des zones de pression et de chaleur maximales. Aussi, dans certains travaux d'ébauche, elle est recherchée. Mais il faut bien se rendre compte qu'elle entraîne une augmentation de l'énergie absorbée par la coupe.

Dans les travaux de finition il faut éviter sa formation car elle est préjudiciable à la qualité de la rugosité, sa disparition et sa reconstitution donnant les profondeurs de passe variables.

La vitesse de coupe joue un rôle important dans la formation du copeau adhérent. Si la vitesse est basse ($<5\text{m/min}$) le copeau discontinu obtenu et la faible augmentation de température qui en résulte rend sa formation impossible. La vitesse augmentant, le copeau discontinu se transforme d'abord en copeau cisailé puis en copeau continu ; la température devient alors suffisante pour que, sous l'effet de la pression de coupe, les microsoudures se produisent. Si l'on continue à augmenter la vitesse, la température devient plus élevée, la zone d'accumulation se ramollit et se transforme en une couche mince freinée mais non sondée.



Courbe semblable pour tous les outils dans le cas d'usinage des aciers.

En définitive, pour limiter les risques d'arête rapportée et améliorer la rugosité de la surface usinée:

- choisir une vitesse de coupe correcte.
- Polir les faces de coupes et de dépouille (diminution du frottement).
- Utiliser un lubrifiant approprié au type de travail et au matériau à usiner.

Les principaux facteurs influençant l'écroûissage sont:

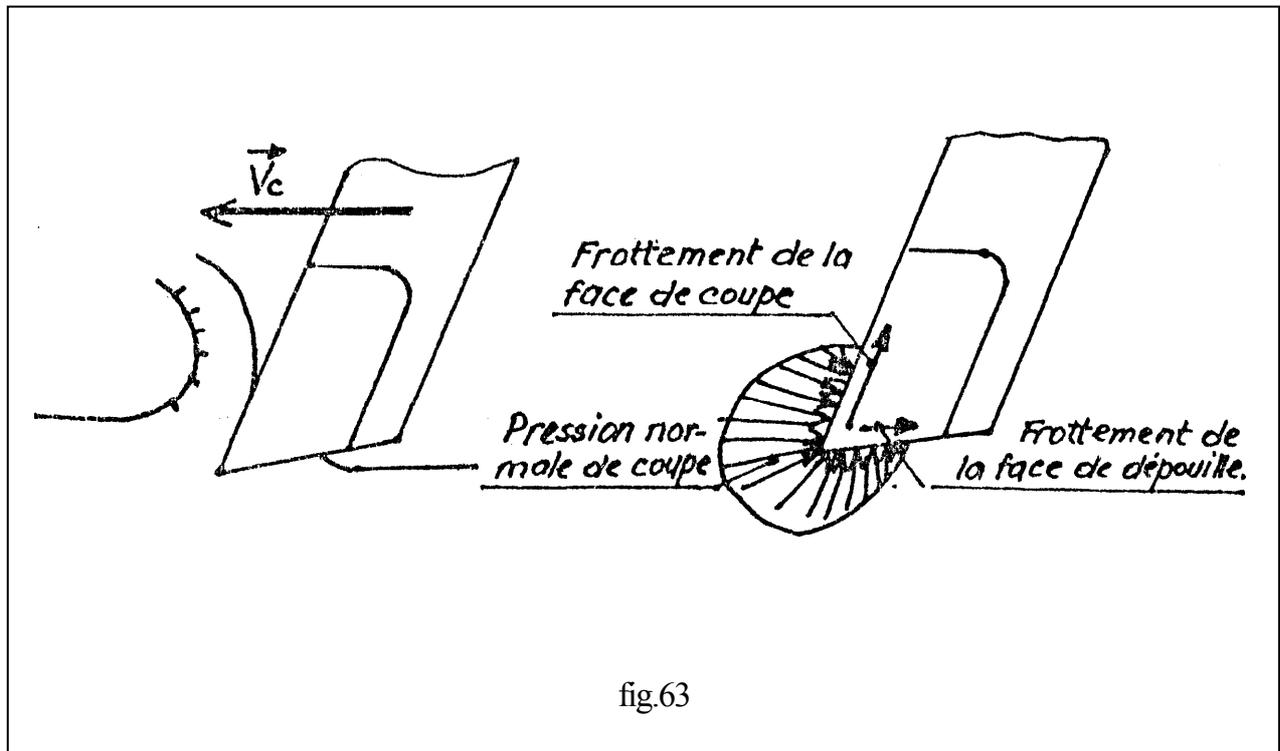
- les propriétés du métal usiné: l'écroûissage est d'autant plus important que le métal œuvré est plus doux - exemple: l'aptitude des fontes à l'écroûissage est beaucoup plus faible que celle des aciers.
- L'angle de coupe, le rayon de l'arrondi de l'arête tranchante, l'épaisseur de la tranche cisailée selon l'avance: leur augmentation aggrave le phénomène.
- L'usure de l'outil: sur sa face en dépouille renforce d'abord l'écroûissage, puis le diminue.
- L'arrosage diminue la profondeur et le degré d'écroûissage.
- Le recuit et la normalisation de la surface usinée suppriment l'écroûissage.

7.10. Résistance à la coupe

7.10.1 Origine des efforts

Les efforts appliqués sur la partie active de l'outil proviennent de la couche cisailée, de la surface usinée, des frottements. La couche cisailée exerce sur l'outil un effort variable. Dans le cas d'un copeau discontinu, cette action est minimale au début de la déformation, lors de la formation du premier élément. A mesure que l'outil progresse et que la déformation de l'élément augmente, l'effort de coupe s'accroît pour atteindre sa valeur maximale au moment ou l'élément se détache; il diminue alors, sans redevenir nul, car la déformation du deuxième élément commence quelque peu avant la fin du détachement du premier. Ces variations de l'effort de coupe rendent inégales les charges qui s'exercent sur l'outil, l'ébauche et tous les organes de la machine, produisent des vibrations et peuvent dégrader la surface usinée. Dans le cas d'un copeau cisailé, l'effort de coupe a une variation plus faible et l'allure de l'usinage devient plus régulière. L'effort de coupe est encore plus constant lorsque le copeau est continu et la surface obtenue est moins rugueuse.

La surface usinée, par ses déformations élastiques, exerce également une action sur l'outil, au niveau de surface de dépouille. Le frottement produit par l'écoulement du copeau sur la surface et par le déplacement relatif de la surface usinée et de la face de dépouille influe encore sur les efforts lors de la coupe.



7.11. Echauffement et usure des outils

7.11.1 Echauffement

La puissance absorbée par la coupe produit de la chaleur qui se propage depuis les zones situées à proximité de l'arête vers les zones à température plus basse. La chaleur est fournie essentiellement par le travail:

- Absorbé par les déformations plastiques
 - de la couche enlevée
 - des couches adhérentes à la surface usinée et à la surface de cisaillement.
- Le travail absorbé pour surmonter le frottement sur les faces de coupe et de dépouille de l'outil.

Le bilan thermique de la coupe des métaux peut s'établir ainsi:

$$Q = \sum_{i=1}^{i=4} Q_i$$

avec les quantités

Q₁ de chaleur emportée par le copeau

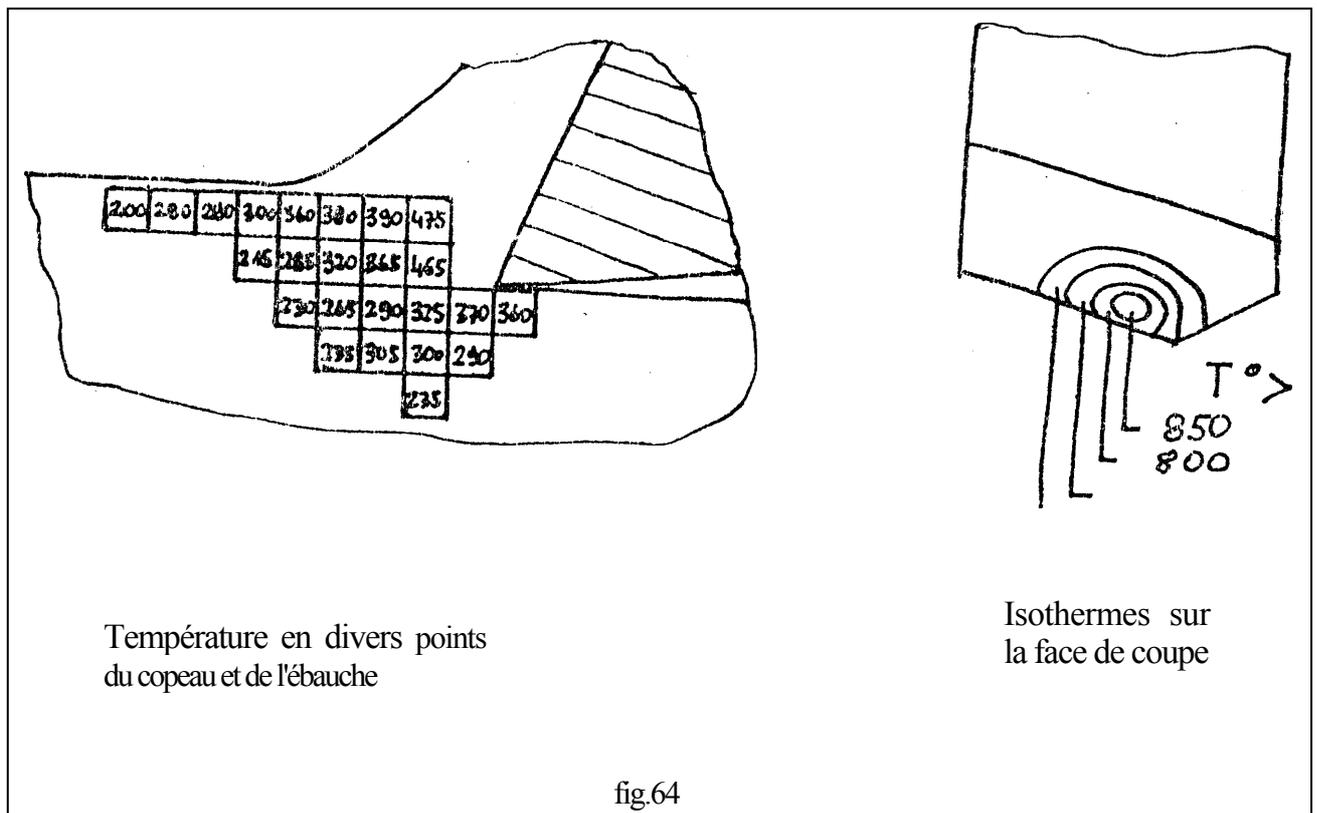
Q₂ de chaleur absorbée par l'outil

Q₃ de chaleur prise par l'ébauche

Q₄ de chaleur échangée avec le milieu ambiant.

Exemple en tournage: le copeau absorbe de 50 à 86% de la chaleur et ce taux est d'autant plus élevé que la vitesse de coupe et l'épaisseur de la tranche cisailée sont plus grandes, 40 à 10% revenant à l'outil, 9 à 3 % à l'ébauche usinée, 1% seulement étant rayonnée dans le milieu ambiant.

La distribution de la chaleur dans le copeau comme dans l'outil n'est pas uniforme. La température des couches du copeau proches de la déformation supplémentaire de la couche externe du copeau par les forces de frottement.



La température de l'outil est maximale dans les couches attenantes aux surfaces de contact avec le copeau et l'ébauche. Celles des couches sous jacentes et des parties plus éloignées des points de contact est définie par les phénomène de conductibilité thermique.

7.11.2 Usure des outils de coupe

Après un certain temps T de travail, l'outil perd ses qualités de coupe et sa détérioration s'accroît très rapidement. On constate alors, sur la surface façonnée de la pièce, des rugosités puis des arrachements: L'outil est usé.

Modes

L'usure des outils de coupe est provoquée par le frottement du copeau contre la face de coupe et de la face en dépouille contre l'ébauche; elle se traduit par une abrasion et l'arrachement de fragments microscopiques de ces surfaces ainsi que par l'arrachement de fragments microscopiques de l'arête tranchante provoquant un émoussement.

En usinage des métaux le frottement et l'usure qu'il produit diffèrent quelque peu de l'allure du phénomène dans les conditions usuelles du fonctionnement des éléments de machines.

Cette différence réside dans le fait, qu'on usinage, le frottement s'établit entre des surfaces sans cesse " renouvelées^M, l'étendue de contact étant relativement faible, alors que la température et la pression sont très élevées.

L'usure peut se produire d'après l'un des trois modes suivants: Par abrasion, par usure moléculaire, par diffusion.

- L'usure par abrasion résulte du striage c'est-à-dire du cisaillement de volumes microscopiques du métal de l'outil par des composantes structurelles dures. L'effet abrasif est également très intense dans le cas des croûtes de fonderie et des battitures d'ébauches.

- L'usure moléculaire ou adhésive résulte de l'effet de forces d'adhésion moléculaire qui se produisent entre le matériau de l'outil et le copeau et qui arrachent de menues particules de l'outil.
- L'usure par diffusion a lieu par suite de la dissolution réciproque du couple métal œuvré-matériau de l'outil.

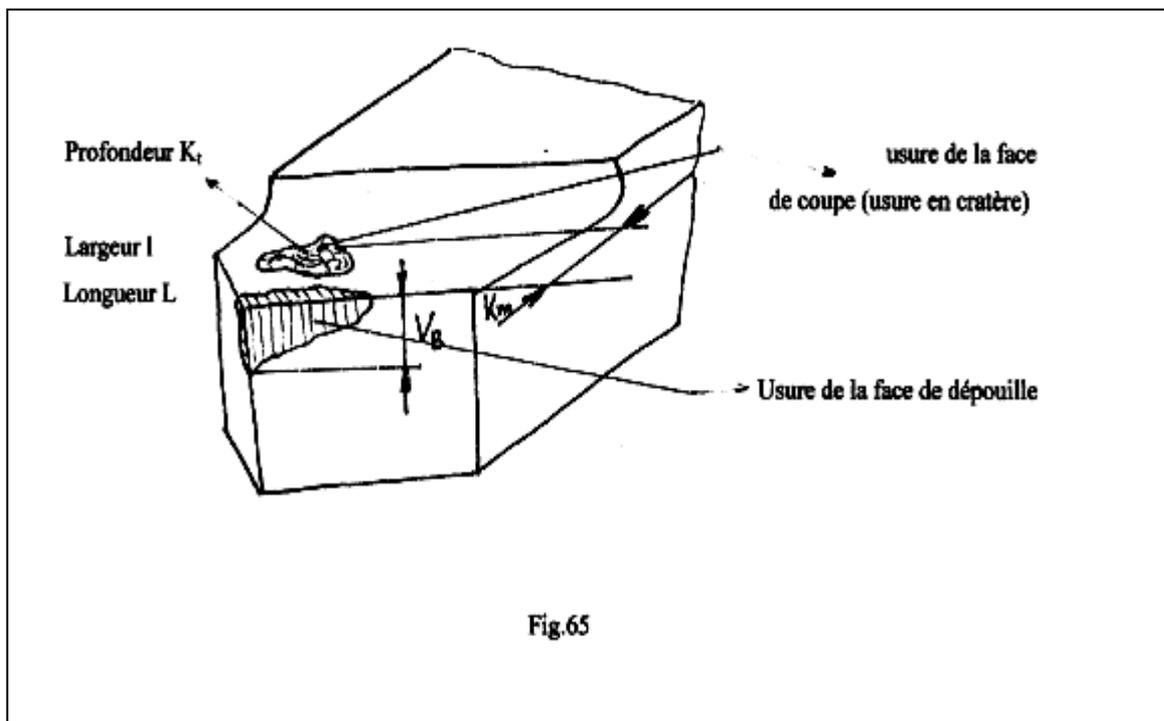
Facteurs

Les principaux facteurs influençant l'usure sont :

- les propriétés physiques et mécaniques du métal en œuvre et du matériau de l'outil.
- L'état de l'arête tranchante et des surfaces qui la déterminent.
- les propriétés physico-chimiques du liquide d'arrosage.
- les facteurs mécaniques d'usinage.
- la géométrie de la partie active de l'outil.
- l'état de la machine outil, la rigidité de l'ensemble porte pièce - pièce -outil- porte outil,...

Localisation

En général, l'outil s'use suivant les faces de coupe et de dépouille entraînant une modification de l'arête et de la partie active.

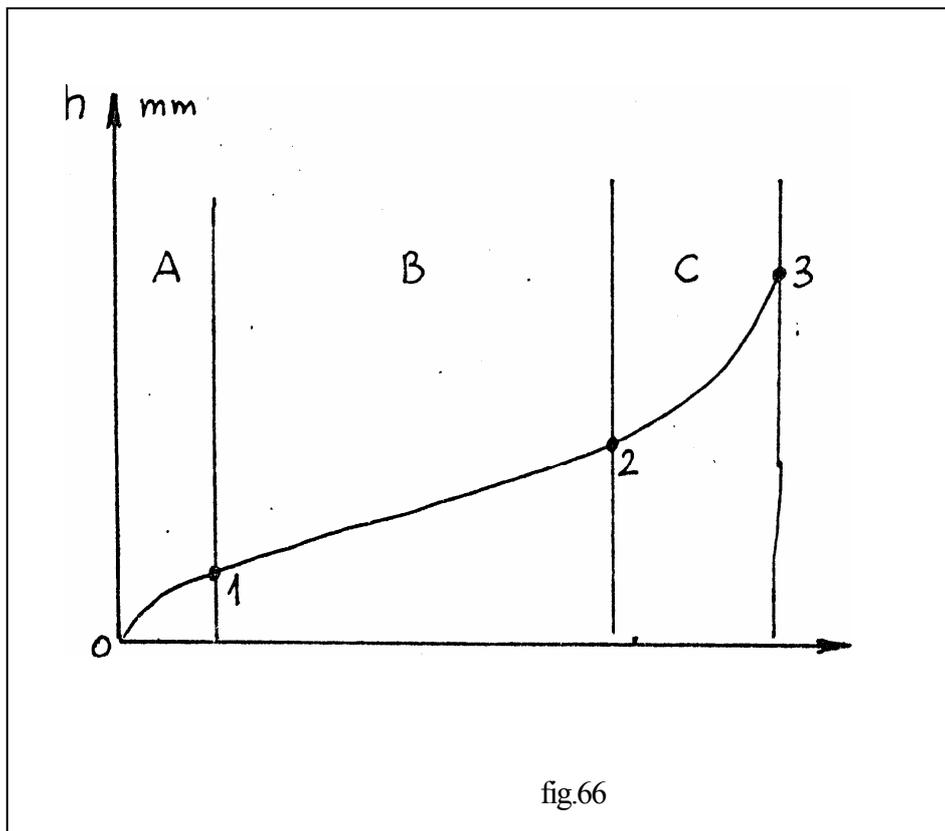


L'usure de la face en dépouille est définie par la hauteur V_p . Si l'usure en dépouille est trop rapide c'est que la vitesse de coupe est trop élevée ou que la nuance du matériau constitutif de l'outil donne une résistance trop faible.

L'usure de la face de coupe est déterminée par les dimensions du cratère (K_T en profondeur, l sa largeur, sa longueur L ayant une importance moindre) et la distance K_M de son centre à l'arête. Une usure en cratère trop rapide peut provenir d'une avance f trop grande, d'une lubrification insuffisante, d'une nuance inadaptée.

Un brûlage de l'arête provient d'une vitesse de coupe excessive alors qu'une arête rapportée est engendrée par une vitesse trop faible.

Relation entre usure et temps- critères d'usure



La relation entre la valeur de l'usure et le temps est représentée par la courbe ci-dessus que l'on peut scinder en trois parties A, B, C.

- La partie A est celle du rodage ou usure initiale. Elle donne lieu à une usure intense des particules de la surface les plus en saillie - plus la surface est " nette " au départ, plus faible est l'évolution de l'usure dans un même intervalle de temps.

- la partie B correspond à l'usure normale. Elle est définie en fonction de la durée de travail T.

- C. lorsque l'usure atteint un certain degré, les conditions de frottement changent, la température de coupe augmente, c'est la période d'usure accélérée. (3 catastrophique).

Mais à quel moment faut-il arrêter le travail pour réaffûter l'outil ?

Si l'usure est limitée en 1 les réaffûtages fréquents reviennent cher.

Si l'on pousse l'usure à sa limite catastrophique (en 3), la couche de métal à enlever par affûtage devient alors trop grande et la surface usinée sur l'ébauche ne correspond plus aux spécifications.

Sur quels critères ou indices se baser?

- Critère du liséré brillant : suivant ce critère, l'outil est considéré comme émoussé et demande un réaffûtage lorsque l'usinage de l'acier donne lieu à la formation d'un liséré brillant à la surface de cisaillement (celui de la fonte à la formation de taches sombres.). C'est le moment où des particules isolées se détachent de l'arête tranchante qui commence à s'ébrécher. En ces points l'outil exerce une pression plus importante sur la surface de cisaillement : il se produit un polissage. L'apparition du liséré brillant correspond au début de la troisième phase d'usure.

Critère d'effort : l'outil est considéré comme émoussé lorsqu'on enregistre le début de l'augmentation des efforts de coupe (essentiellement des efforts d'avancement et de pénétration).

Critère de l'usure optimale: une usure optimale est celle qui assure une durée totale maximale de l'outil. La durée totale ET est déterminée par le produit du nombre de réaffûtages admis pour la plaquette, dans le cas d'usure considérée, par le temps de service de l'outil pendant lequel cette usure s'est constituée.

$$\sum T = K * T_{min}$$

Où **K** est le nombre de réaffûtages admissibles pour la plaquette dans le cas de l'usure considérée et T la durée de l'outil conduisant à cette usure.

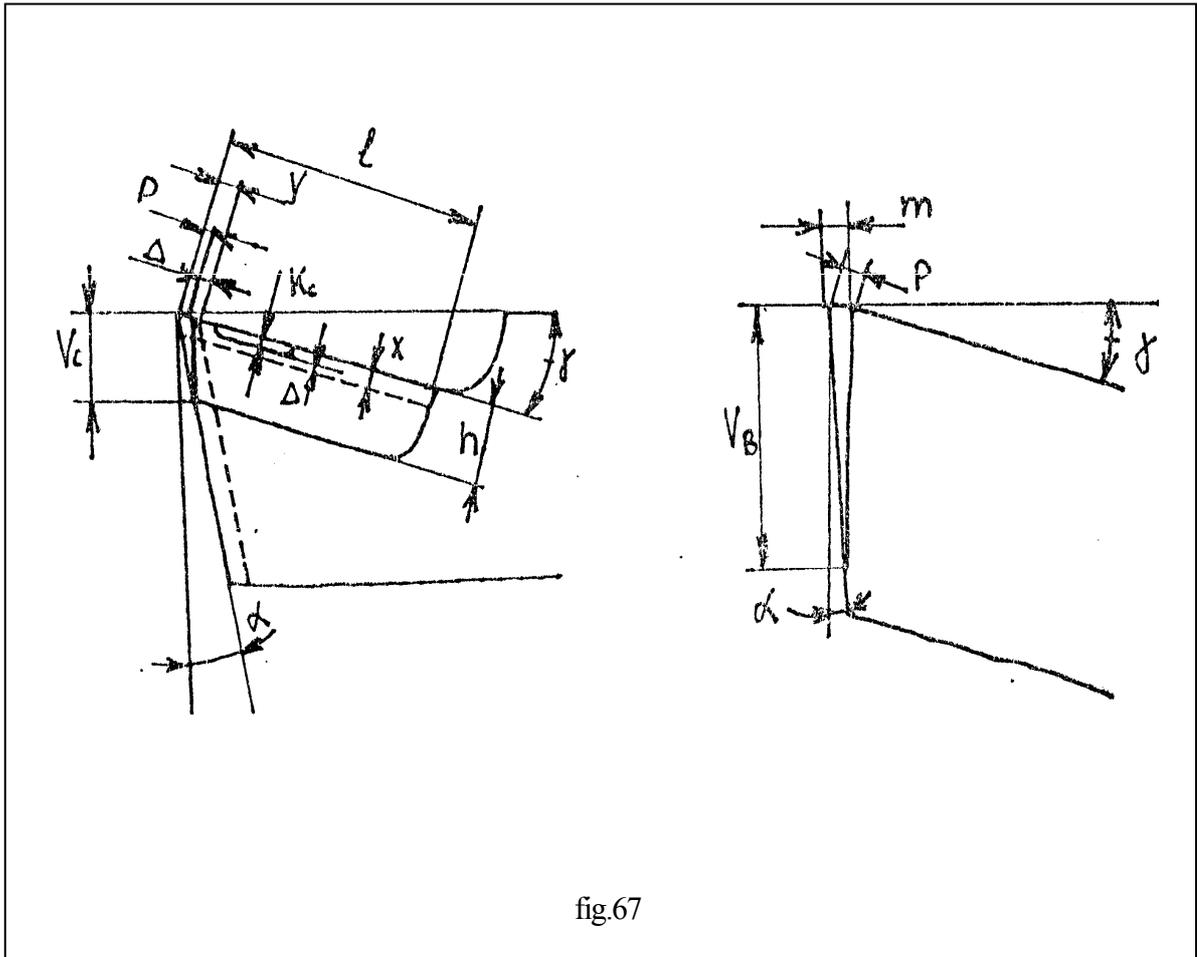


fig.67

Désignons par :

- X l'épaisseur de la couche enlevée par réaffûtage sur la face de coupe.
- Y l'épaisseur, mesurée selon la largeur de la plaquette, de la couche enlevée par réaffûtage sur la face en dépouille.
- l et h largeur et hauteur de la plaquette en mm:
- Δ la tolérance d'affûtage ($\Delta = 0.1$ à 0.2 mm). On considère la plaquette comme totalement usée lorsqu'il n'en restera plus qu'un tiers en épaisseur et en largeur: Cherchons les valeurs de K. Sur la face de coupe le nombre K_1 de réaffûtage admissibles vaut:

$$K_1 = \frac{2/3h}{X} = \frac{2/3h}{K_c + \Delta}$$

Et sur la face de dépouille le nombre K_2 de réaffûtage admissible vaut

$$K_2 = \frac{2/3J}{Y} = \frac{2/3J}{P + \Delta}$$

$$P = \frac{m}{\cos \gamma} \text{ et } m = V \times tg \alpha \quad \text{d'où}$$

$$P = \frac{Vtg\alpha}{\cos \gamma} \text{ et } K_2 = \frac{2/3J}{\frac{Vtg\alpha}{\cos \gamma} + \Delta}$$

K sera l'inférieur des nombres K_j , K_2 .

$$K = \text{Inf}(K_i, K_2).$$

Le critère d'usure optimale est surtout appliqué dans les cas où l'outil est utilisé en opération d'ébauche ou en semi finition.

- Critère de l'aptitude à la coupe : ce critère est appliqué aux outils prévus pour la finition. L'outil est considéré comme usé lorsque la surface usinée cesse de satisfaire aux prescriptions imposées. Ce critère rend le réaffûtage impératif alors que l'usure est encore inférieure à celle définie par tous les autres critères. L'usure fait alors sortir la cote du champ de tolérance ou dégrade l'état de la surface produite.

La tenue de l'outil qui correspond à une certaine valeur de l'usure dans le sens radial (cote m de schéma de la page précédente) s'appelle tenue dimensionnelle. La durée de la tenue dimensionnelle importe notamment pour les machines transfert dont le fonctionnement normal n'est possible que dans le cas d'un service stable et continu des outils de coupe pendant tout le temps imposé.

Les critères d'usure les plus utilisés sont ceux de l'usure optimale et de l'aptitude à la coupe. L'usure de la face de coupe intervient moins dans le processus de la coupe car elle se manifeste brusquement lorsqu'elle atteint son point culminant (point.3). Celle de la face en dépouille, dans les cas usuels, se manifeste de façon progressive et est considérée comme déterminante ($V\beta$).

Exemple: outils à charioter on à dresser, à mises rapportées, en carbures métalliques, travaillant de

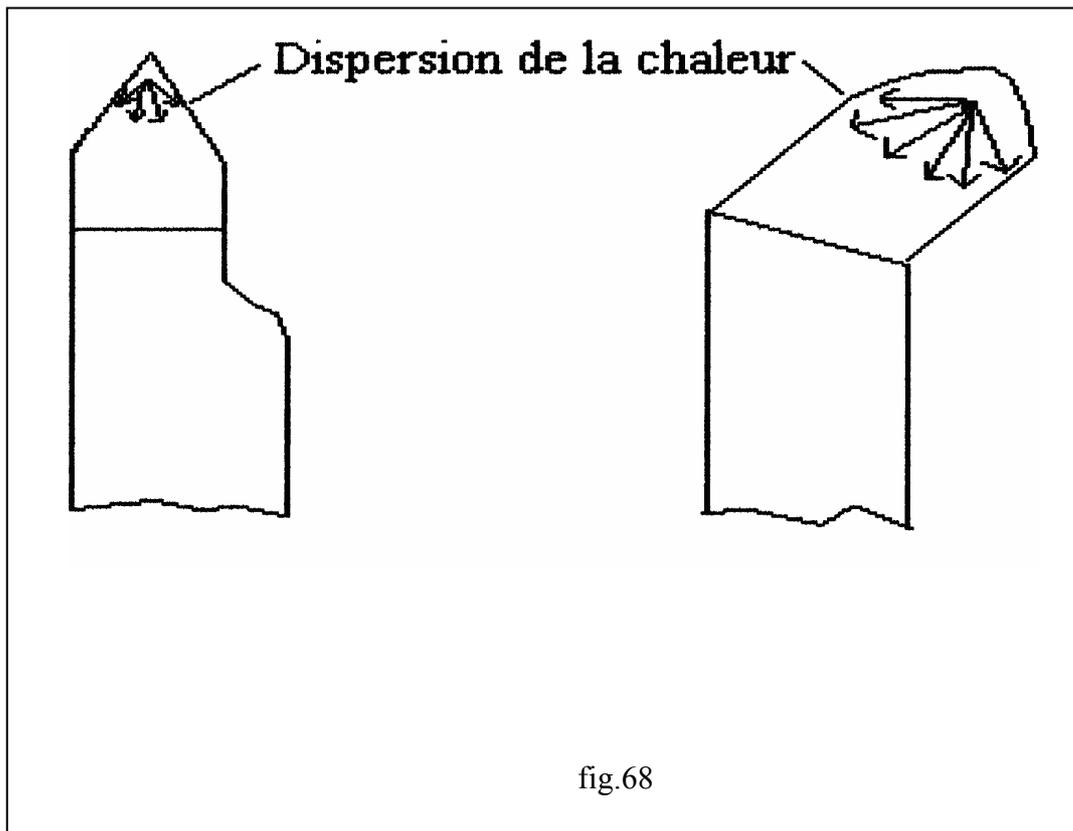
- l'acier : ébauche 1 à 1.4mm; finition 0.4 à 0.5mm
- la fonte : ébauche 0.6 à 1mm ; finition 0.6 à 0.8mm.

Actuellement les travaux sur ce sujet ont montré que l'intensité de l'usure exprimé en mm ou en milligrammes de la masse enlevée de l'outil par mètre de la course de coupe ou par centimètre carré de la surface usinée donne une caractéristique plus objective de l'allure quantitative de l'usure que la dimension linéaire $V\beta$. Il en est de même de l'usure relative qui est le quotient de l'usure de surface en dépouille $V\beta$ et de l'usure en cratère K_c par la valeur de la course de coupe ou de la surface usinée.

8. Effet de la lubrification

Généralement lors de l'usinage, la formation de copeaux est toujours accompagnée d'un dégagement de chaleur dû au frottement du copeau glissant sur la face de coupe et au frottement de la pièce sur la face de dépouille de l'outil. Ce dégagement de chaleur provoque une augmentation de la température de la pièce et de l'outil.

L'échauffement de la partie active de l'outil est fonction d'une part de la vitesse de coupe V_c et croit avec cette dernière par exemple lors de l'usinage sur tour de l'acier XC38 si la vitesse V_c passe de 50 à 100 m/min, la température croit de 600°C à 800°C et d'autre part de la forme du bec de l'outil, car la mise hors d'usage est d'autant plus rapide que le bec de l'outil est pointu car le peu de passage offert à la chaleur empêche sa dispersion dans le corps de l'outil. L'outil à fileter s'émousse plus vite qu'un outil à charioter à bec arrondi (fig.68).



8.1 Conséquences de l'augmentation de la température

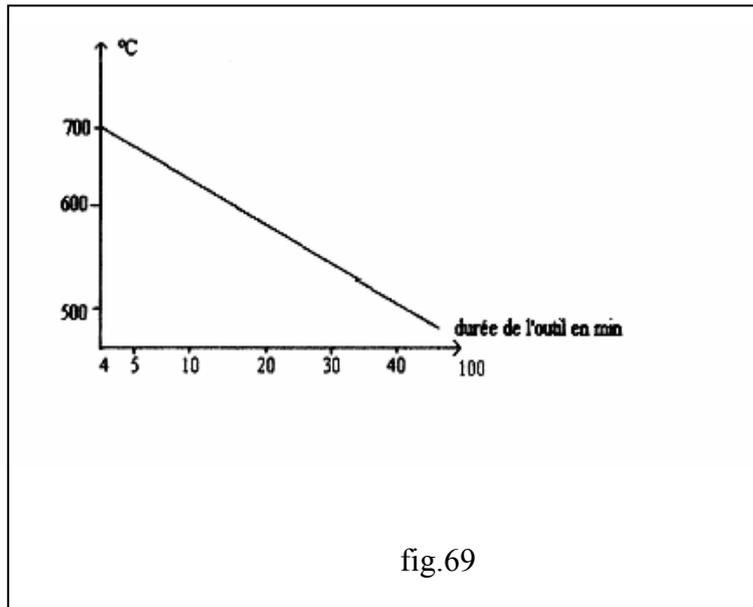
a) Sur l'outil L'usure de l'outil est d'autant plus rapide que la température de la partie active est plus élevée car la dureté du matériau découpé diminue à partir de certaines températures.

Acier rapides : 500 à 600°C

Carbures : 800 à 900°C

Céramiques : 1400°C

L'augmentation de la température de la partie active de l'outil influe aussi sur la durée de coupe (fig.69). Si $T = 700^{\circ}\text{C}$ l'arête s'effondre en 4minute. Donc la température de la partie active du l'outil doit être réduite pour ne pas entraîner sa perte de dureté.



b) Sur la pièce

Dans la zone de formation du copeau la température tend à augmenter la plasticité du métal et par conséquent elle permet une diminution notable des efforts de coupe. En revanche, elle provoque une dilatation de la pièce et des contraintes résiduelles en surfaces. Lors du refroidissement de la pièce, cette dernière se rétracte et la dimension risque d'être hors tolérance. Donc si on veut réaliser un travail de précision, il faut limiter le température de la pièce en cours d'usinage. De même la dilatation peut provoquer:

- des difficultés de contrôle dimensionnel, car les instruments de vérification sont calibrés, à une température plus faible. Après contraction les cotes des pièces peuvent être inférieures aux valeurs souhaitées.
- Risque de déformation de la pièce.
- De dangereuses pressions sur les appuis. Ainsi dans le tournage la poussée axiale peut échauffer la contre pointe par frottement au point d'entraîner son grippage et même son soudage à la pièce.

c) Sur la qualité de la surface obtenue

L'échauffement du copeau et de l'outil peut entraîner un soudage (copeau adhérent). Les surfaces obtenues présentent des rugosités et des arrachements désordonnés).

8.2.Limitation de la température en cours d'usinage

Il existe plusieurs solutions pour diminuer la température d'usinage.

- Diminuer la vitesse de coupe V mais comme cette solution diminue le rendement, elle n'est pas retenue.
- Limiter l'avance f solution retenue pour un travail de finition (la rugosité est fonction de la valeur de f).
- Limiter la passe de profondeur a , solution retenue pour un travail de finition. La limitation de a permet une meilleure tenue de l'outil.
- Refroidir la zone de coupe par lubrification.
- Le bon état de l'outil et sa parfaite adaptation.

8.3. Rôle du lubrifiant

Les fluides de coupe ou lubrifiant agissent:

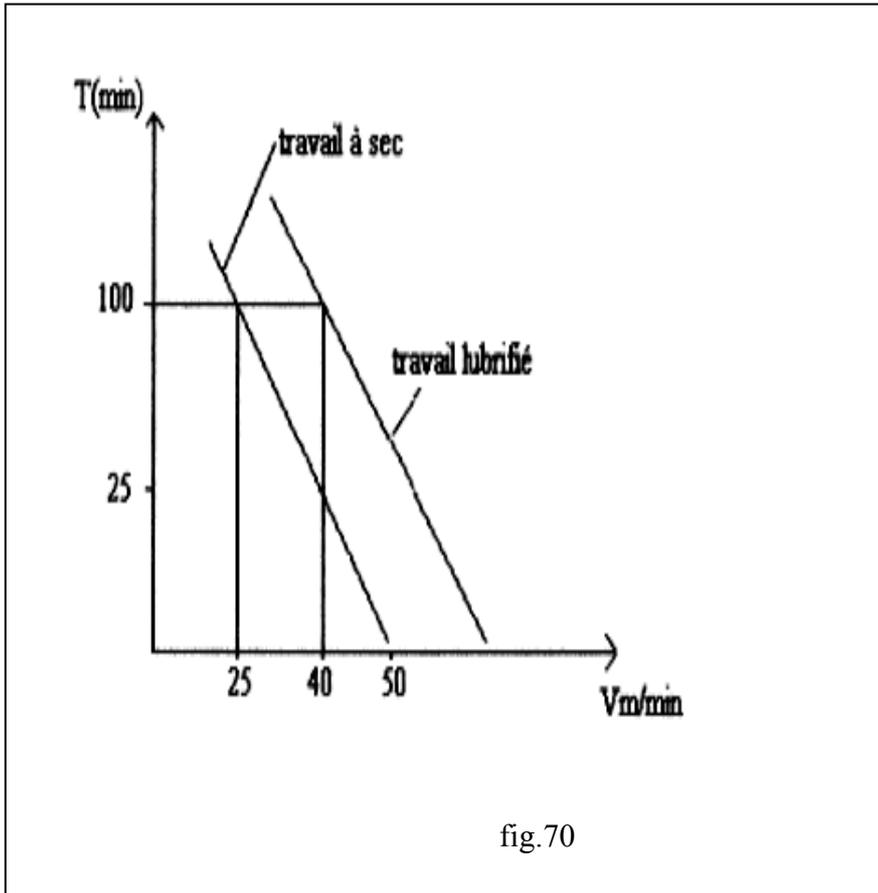
- En diminuant le coefficient de frottement copeaux-outil et outil-pièce, c'est l'effet lubrifiant, empêchant dans certains cas la formation de microsoudures.
- Evacuation de la chaleur par refroidissement de l'outil et de la pièce par effet réfrigérant

Les lubrifiants utilisés sont destinés à:

- A réduire la chaleur dégagée c'est-à-dire réfrigérer la pièce et l'outil. Dans ce cas on utilise l'huile soluble.
- A réduire la chaleur dégagée avec effet lubrifiant pour limiter l'usure c'est-à-dire réfrigérer et lubrifier pour limiter le coefficient de frottement du copeau dans ce cas on utilise les huiles de coupes (huiles minérales).

Le procédé de lubrification n'est efficace que si le liquide circule effectivement et abondamment dans la zone de coupe. Donc dans la plupart des cas d'usinage des aciers, la lubrification permet:

- Une réduction de l'usure de l'outil de coupe.
- Une augmentation de la vitesse de coupe donc de diminuer les coûts d'usinage.
- D'améliorer l'écoulement des copeaux et diminuer les risques d'arrachement. Donc bonne rugosité de la surface usinée.

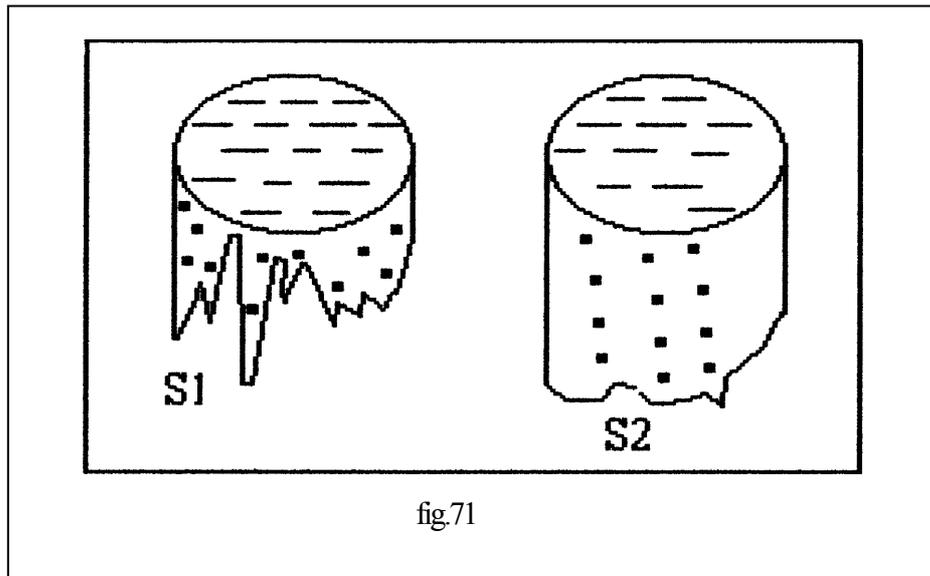


8.4 Choix du lubrifiant

Un bon lubrifiant doit présenter les qualités suivantes:

a) Pouvoir mouillant très élevé

C'est la qualité qui permet au liquide de s'étendre de lui-même en nappe sur le support au lieu de se disperser en filets. On peut mettre le fait en évidence en déposant sur une même tôle deux masses identiques d'eau et d'huile par exemple et en plaçant ce support verticalement, l'eau se sépare rapidement en filets distincts couvrant une surface S_1 tandis que l'huile s'étend en nappe sur une surface S_2 beaucoup plus vaste. L'huile a donc un pouvoir mouillant supérieur à celui de l'eau.



Un liquide à fort pouvoir mouillant se maintient en couronne débordant l'outil dans le cas du tournage

b) Pouvoir réfrigérant important

Pour que l'évacuation de la chaleur soit immédiate et rapide.

c) Pouvoir lubrifiant efficace.

Pour que le film de glissement se maintient entre le copeau et la face d'attaque de l'outil même sans porte pression.

d) Stabilité durable

C'est-à-dire absence d'oxydation à l'air et absence de dépôt poisseux.

e) Neutralité chimique

Evitant l'oxydation des métaux.

8.5. Types de lubrifiant ou liquide d'arrosage

• **L'eau**

Le plus facilement disponible est l'eau mais on ne peut l'employer que dans des cas très particuliers, affûtage des outils à la meule par ex: elle oxyde les pièces et les organes des machines et possède un pouvoir mouillant et lubrifiant très faible.

• **L'eau de soude (à 3% de soude)**

Elle est moins oxydante, mais elle attaque les peintures et ne lubrifie que très mal.

• **L'huile de colza**

C'est un excellent lubrifiant mais dès qu'elle est attaquée par l'air, son odeur devient vite désagréable.

- **L'huile minérale**

Possède de bonnes qualités lubrifiantes et n'affecte pas les organes mécaniques. Les huiles minérales sont issues de la distillation du pétrole. Il existe les huiles:

- Sans additif
- Extrême pression (EP), elles contiennent les additifs comme le chlore, le bisulfure de Mo, le graphite et le soufre. Ces huiles ne sont pas chimiquement neutres (S → Cu)
- Les huiles mélangés (compoundées), ce sont des mélanges d'huiles minérales et d'huiles ou graisses végétales ou animales, elles sont chimiquement neutre.

- **Les émulsions d'eau et d'huile soluble**

(5 à 10% d'huile soluble) se présentent sous forme d'un liquide de couleur blanchâtre qui allie les qualités du réfrigérant à celles du lubrifiant. Pouvant contenir aussi d'inhibiteur de corrosion et du phénol à titre de désinfectant pour éviter l'irritation de la peau.

Ces types d'émulsions sont très utilisés car à prix modique, elles assurent le maximum de durée de l'outil.

8.6. Choix du lubrifiant en fonction du matériau

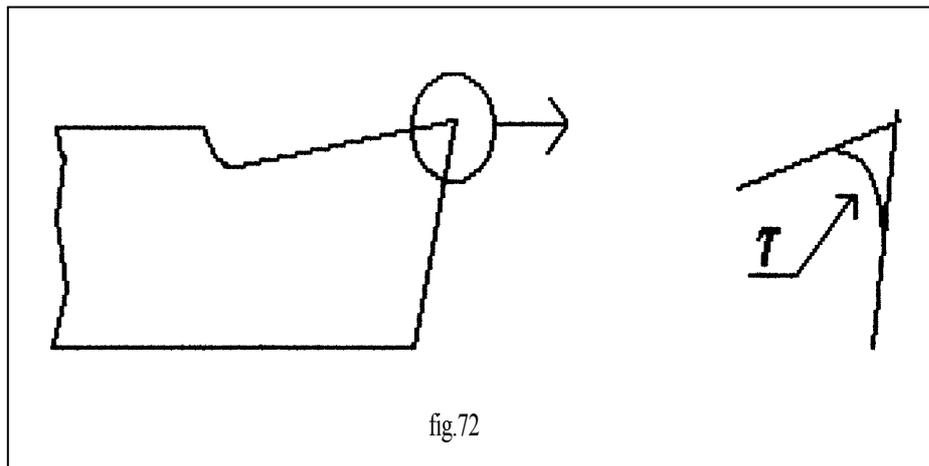
8.7. Procédés d'arrosage

L'expérience a prouvé qu'à débit égal, le refroidissement est plus efficace lorsque le liquide arrive à faible vitesse sous forte section. La pièce se trouve d'ailleurs ainsi abondamment arrosée et les projections liquides sont évitées. Il existe deux types d'arrosage: • **Arrosage par-dessus. :** Dans ce cas le refroidissement est insuffisant dans le cas de fortes passes ou avances (forte section de copeau), car le jet ne frappe que le copeau qui forme écran. • **Arrosage par dessus et dessous :** L'arrosage par dessus et complété par un jet de section plus faible, mais sous pression. L'arête coupante se trouve donc atteinte directement et le refroidissement est plus efficace.

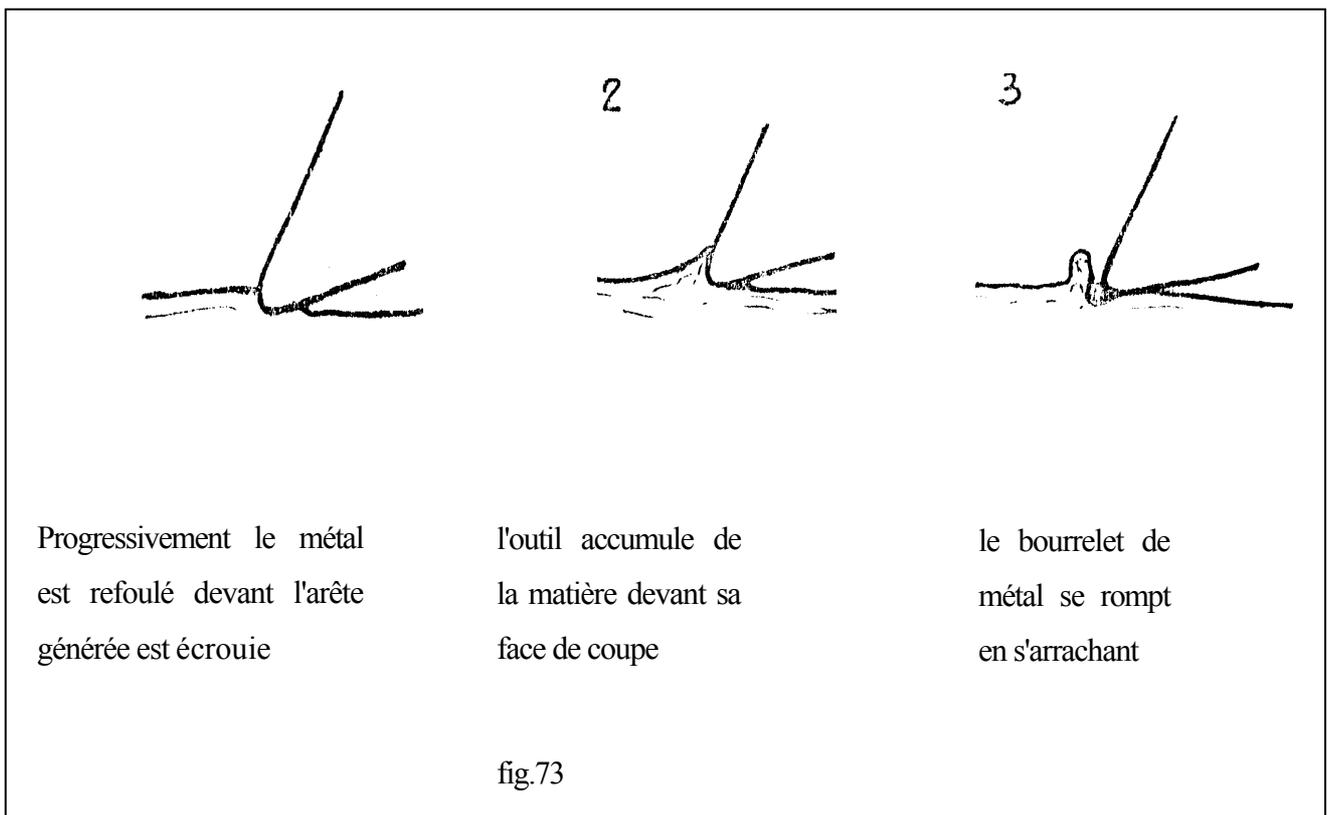
Installation d'arrosage

Chaque machine possède son dispositif individuel à réservoir, pompe, canalisation etc..

9. Taille des copeaux Avec un affûtage parfait, l'arête de coupe formée par l'intersection des surfaces de coupe et de dépouille est vive. Placée en situation d'usinage, l'arête s'émousse très rapidement et il se forme un léger arrondi dont la valeur du rayon n'augmente que faiblement au cours de la durée de coupe de l'outil.



Si l'épaisseur du copeau est inférieure à r , l'outil travaille dans de mauvaises conditions: il refoule le métal, l'écroute, et par moment, la masse de métal refoulée devant l'arête se détache.



La coupe est alors irrégulière, la rugosité est mauvaise, le frottement de l'outil sur la pièce est intense ce qui provoque un échauffement important, une détérioration rapide de l'outil est un gaspillage d'énergie.

On appelle épaisseur de copeau minimale e_m la valeur e de l'épaisseur au dessous de laquelle l'outil ne coupe plus correctement le métal.

Sa valeur est fonction de l'acuité de l'arête de coupe de chaque outil, de la profondeur de passe et de l'avance adoptée, du travail à réaliser - ébauche ou finition- du matériau constitutif de l'outil. Valeurs de e_m en mm, pour travaux de finition:

0.05 à 0.1 pour aciers rapides

0.2 à 0.3 pour carbures métalliques

0.01 pour céramiques.

A remarquer que les outils en acier rapide permettent d'obtenir une grande finesse d'arête de coupe ce qui autorise des travaux de retouche (où il y a un faible volume de copeau à enlever) où l'épaisseur du copeau est inférieure à 0.05mm.

10. Vibrations, broutements.

Les vibrations du système machine-porte pièce, pièce-outil-porte outil, phénomène dit aussi broutement, dégradent la qualité de la surface usinée, accélèrent l'usure de l'outil et de la machine et peuvent entraîner des dérèglages. Un broutement important diminue la productivité et rend même parfois impossible l'opération sur la machine outil

On distingue deux types de vibrations:

- Les vibrations forcées.
- Les vibrations auto excitées générées par le processus de formation du copeau.

- Les vibrations forcées apparaissent sous l'effet des perturbations périodiques provoquées par:
 - La variation des forces qui s'exercent sur le système, variation due à la coupe intermittente ou une surépaisseur variable.
 - Les effet dynamiques provoqués par un mauvais équilibrage des masses en mouvement.
 - La précision insuffisante des guidages et organes de transmission.

Les causes essentielles des vibrations auto excitées, qui sont bien plus fréquentes que les vibrations forcées, sont à rechercher dans le phénomène de coupe proprement dit; ce sont: La variation de la force de frottement du copeau sur l'outil, de l'outil sur l'ébauche. L'écroûissage irrégulier de la couche enlevée suivant son épaisseur. Les variations dimensionnelles de l'arête rapportée qui modifient en cours d'usinage l'angle de coupe et la surface de la section normale de la tranche cisailée. L'aptitude de ces variations est fonction du métal en œuvre et de ses propriétés mécaniques, des facteurs d'usinage (V_c , f , a), de la géométrie de la partie active. Les vibrations sont plus marquées pour les aciers- à ténacité élevée surtout - que pour les fontes, augmentent avec un allongement et une striction plus importants, diminuent avec l'augmentation de la dureté.

A mesure que la vitesse de coupe croît, les variations augmentent d'abord puis diminuent. Les vibrations augmentent avec la profondeur de passe mais sont moins influencées par l'avance. En augmentant l'angle de direction d'arête K , les vibrations diminuent (largeur de coupe décroissante, épaisseur croissante)

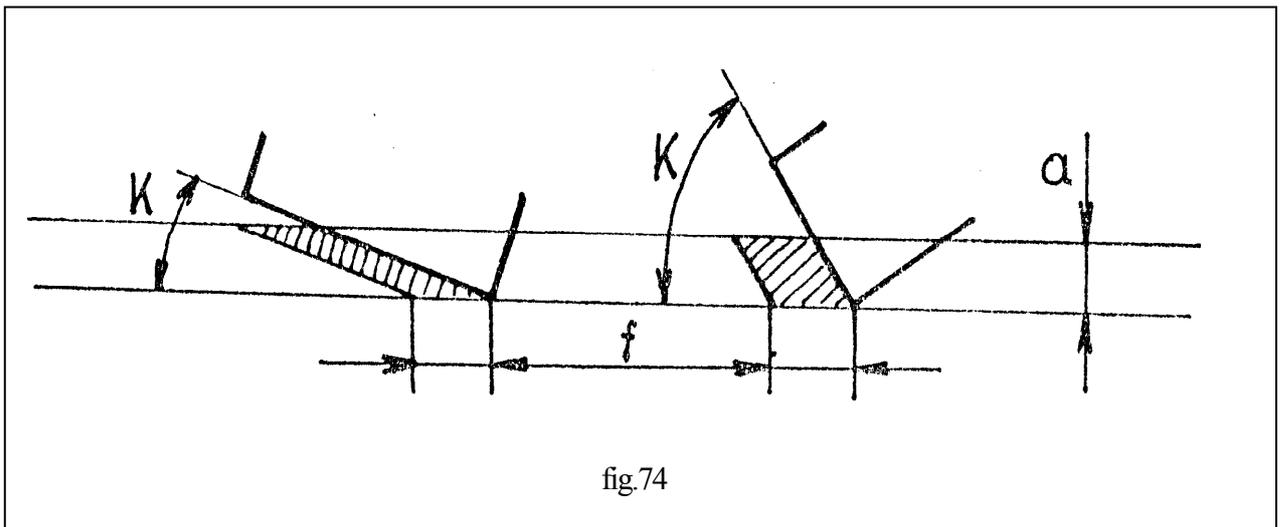


fig.74

L'utilisation d'appareillages limitant les déformations lors de l'usinage diminue le broutement (lunettes fixes ou à suivre, amortisseurs,...)

11.Durée, débit et vitesse de coupe

Le temps T de durée en état de coupe d'un outil varie avec les conditions de travail. Il est donc nécessaire de procéder à une comparaison des productions obtenues en faisant varier les paramètres fixant ces conditions de travail: l'avance f, la profondeur de passe a, la vitesse de coupe Vc, la matière travaillée, le matériau de l'outil....

11.1 Débit d'un outil

Le débit D d'un outil est le volume de copeaux, exprimé en dm³, que cet outil peut engendrer normalement entre deux affûtages. Soit S la section de matière coupée, Vc la vitesse de coupe et T la durée de l'outil.

$$S=f*a$$

$$D = f*a*Vc*T*10^{-3} \text{ dm}^3$$

mm mm m/min min

Les variations d'une seule de ces conditions toutes les autres restant invariables, donnent lieu à des débits différents dont nous retiendront pour chaque cas, et pour rendre objectives les comparaisons, seulement la valeur maximale.

Les facteurs susceptibles de modifier le débit maximal d'un outil se déduisent du mécanisme de la coupe et peuvent se recenser comme suit:

- Comportement de la matière façonnée.
- Comportement de l'outil.
- Dispersion de la chaleur résultant de la coupe.
- Mode d'action de l'outil.

- Dimension du copeau.
- Vitesse de coupe.

Dans ce qui suit, nous étudierons l'influence de ces facteurs sur le débit en fonction de la vitesse de coupe.

11.1.1 Influence de la matière façonnée.

La matière travaillée se laisse plus ou moins facilement coupée par l'outil et détruit plus ou moins rapidement ses qualités de coupe: c'est l'usinabilité, ou volume de copeau détachable jusqu'à la mise hors service de l'outil, qui définit le comportement de la matière.

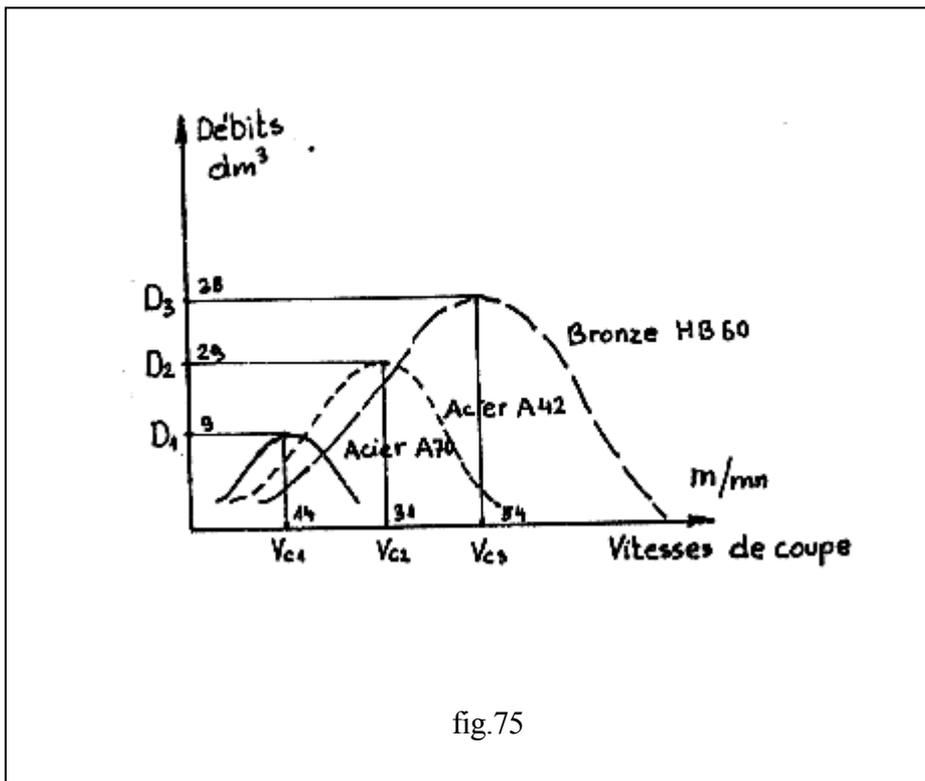


fig.75

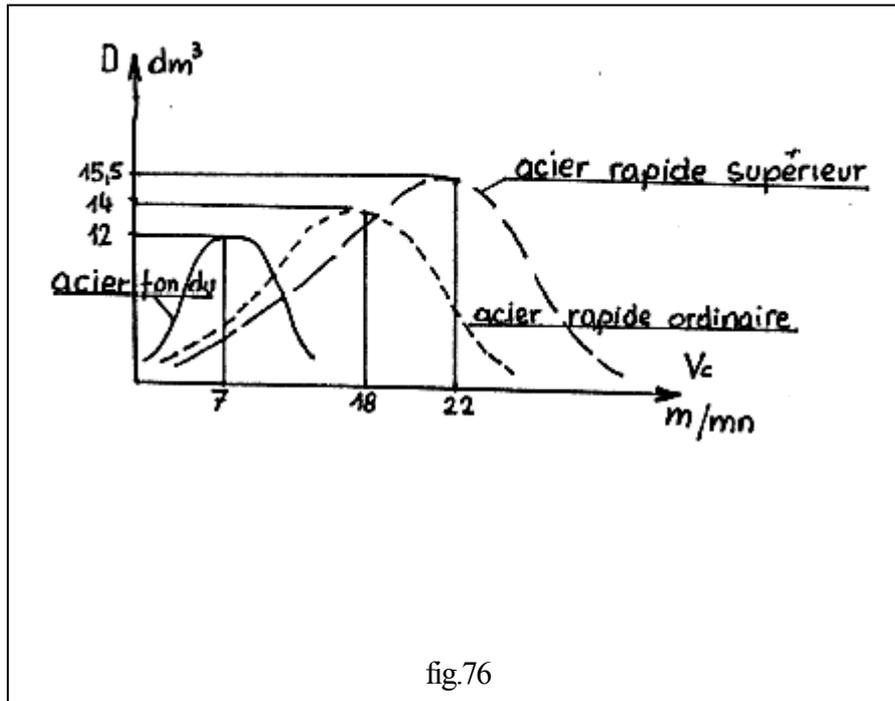
D'une manière générale, l'effort de coupe F_c varie dans le même sens que la ténacité du métal travaillé et d'usinabilité diminue lorsque la ténacité de la matière œuvrée augmente.

Dans le cas des aciers, l'amélioration de l'usinabilité peut être obtenue par addition:

- De soufre (entre 0.2 et 0.4 %) mais les aciers produits sont impropres à la soudure et aux traitements thermiques.

- De plomb (0.15%), les aciers peuvent alors subir soudure et traitements thermiques.
- Sélénium.

11.1.2. Influence du matériau de l'outil.



Courbes tracées pour $f = 0.5mm$, $a = 5mm$, chariotage à sec d'un acier de $R_r = 600N/mm^2$.

Ces courbes montrent que plus le matériau constitutif de l'outil est dur, plus les débits et vitesse obtenus sont importants.

Les carbures et céramiques donnent des performances bien supérieures, sortant ici du cadre de représentation (avec les échelles adoptées).

11.1.3. influence de la dispersion de la chaleur de coupe

L'arrosage ou lubrification de la coupe permet une meilleure évacuation de la chaleur tout en la diminuant, en abaissant les efforts de frottement. En comparant les valeurs maximales des débits obtenus à sec et sous lubrification abondante on constate qu'elles sont sensiblement identiques mais que la vitesse de coupe qui leur correspond est bien supérieure sous arrosage en particulier pour les aciers rapides travaillant de l'acier.

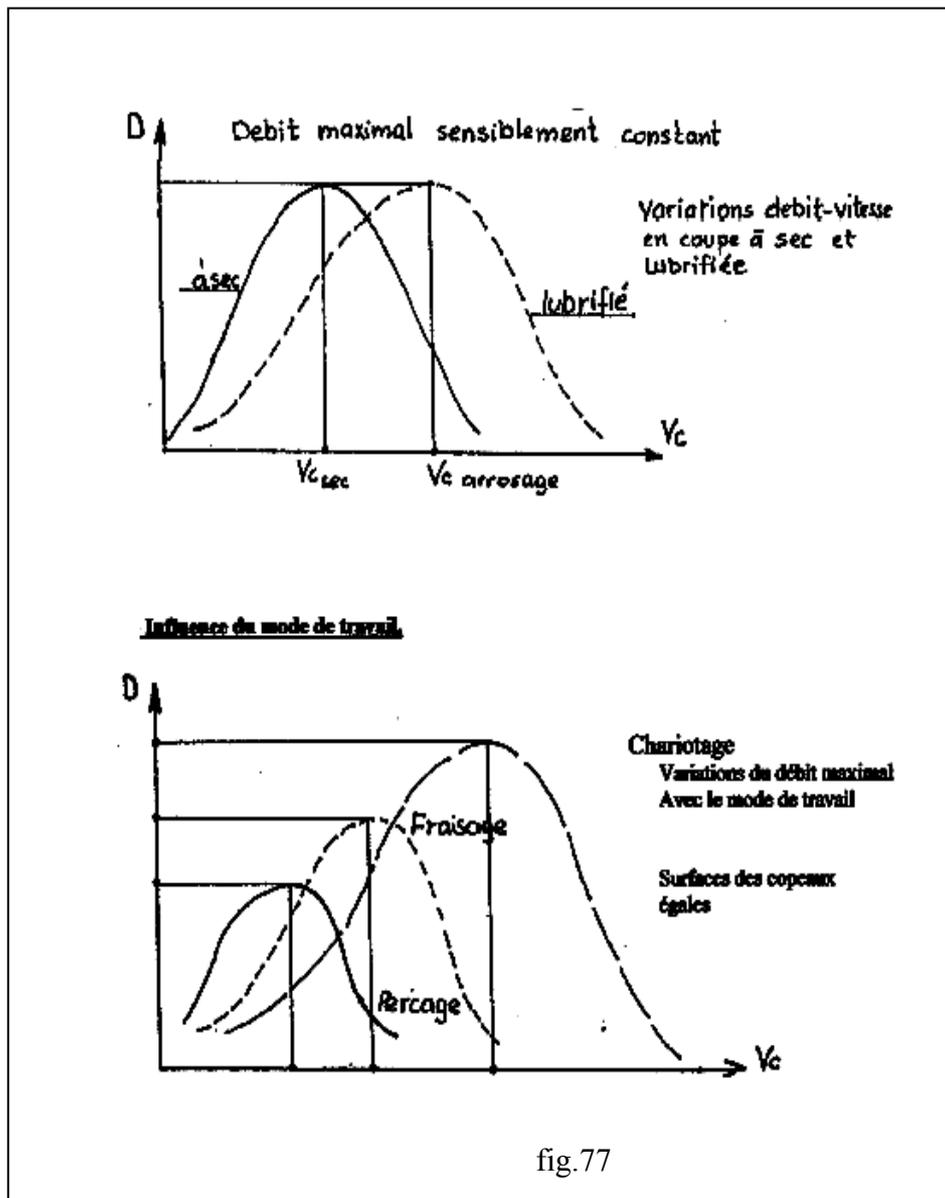


fig.77

Il est difficile de comparer les travaux de coupe par chariotage, par fraisage, par perçage, du fait que, bien que le copeau se forme de manière identique, l'arête tranchante se trouve engagée différemment dans les trois cas. A surface de copeau égale, on constate cependant que le mode de travail influe de façon sensible sur la valeur maximale du débit de l'outil- meilleure évacuation de la chaleur.

11.1.4. Influence des dimensions du copeau

Les dimensions du copeau sont un facteur déterminant de l'effort de coupe. Si l'on adopte des sections de copeaux différentes en conservant toujours le même rapport f/a (avance sur profondeur de passe) on constate que le débit maximal reste sensiblement le même. Par contre si l'on conserve une section de copeau constante ($f \times a = C^{te}$) le débit maximal varie. Par exemple, une avance, f , très réduite est associée à une profondeur de passe, a , très grande et le copeau est mince; par opposition, un copeau épais est obtenu avec une grande avance et une f / petite profondeur de passe. Lorsqu'on passe d'un copeau mince ($f/a = 0.1$ environ) à un copeau f / épais ($f/a = 0.5$ environ) le débit maximal diminue très sensiblement (de 15 à 40%). Ceci est dû au fait que le copeau épais est en contact sur une longueur moindre avec l'arête tranchante et que la disparition de la chaleur se fait moins aisément.

11.1.5. Influence de la vitesse de coupe - vitesse de moindre usure

Toutes autres conditions de coupe restant inchangées, on constate que la vitesse de coupe a une influence capitale sur le débit obtenu. Les courbes de correspondance entre débits et vitesse de coupe que nous venons de tracer le montrent clairement. Toutes ont la même forme générale: débit croissant jusqu'à sa valeur maximale lorsque V_c augmente, puis débit décroissant jusqu'à une valeur de V_c assez imprécise pour laquelle l'outil est mis presque immédiatement hors d'usage.

La valeur de la vitesse de coupe qui, dans les mêmes autres conditions de travail, correspond au débit maximal, est appelée vitesse de moindre usure. Lorsqu'on modifie ne serait-ce qu'une seule des conditions de coupe la vitesse de moindre usure se trouve aussi modifiée.

11.2. relations entre la vitesse de coupe, la durée de l'outil et le débit.

11.2.1. Loi de Taylor

A partir de 1905 l'américain Taylor développe les travaux de recherche sur la relation entre la vitesse de coupe et la durée de vie des outils. Les résultats de ses travaux sont encore à l'heure actuelle d'ailleurs approfondis et améliorés. Il a retenu douze variables:

1. durée de vie T de l'outil entre deux affûtages
2. nature de l'arrosage
3. élasticité de la pièce et de l'outil
4. puissance de la machine
5. gamme des vitesses de coupe et d'avance de la machine
6. qualité de la matière à travailler
7. composition chimique et traitement thermique de l'outil
8. forme de la partie active
9. vitesse de coupe
10. profondeur de passe a
11. épaisseur du copeau e
12. effort de pression du copeau sur l'outil.

Conservant à chaque fois toutes les variations identiques sauf V_c et T, Taylor a abouti à la **relation**.

$$V_c \times T = C \quad J \quad \text{Loi de Taylor}$$

Ou V_c vitesse de coupe en m/minute T

durée de vie en minutes

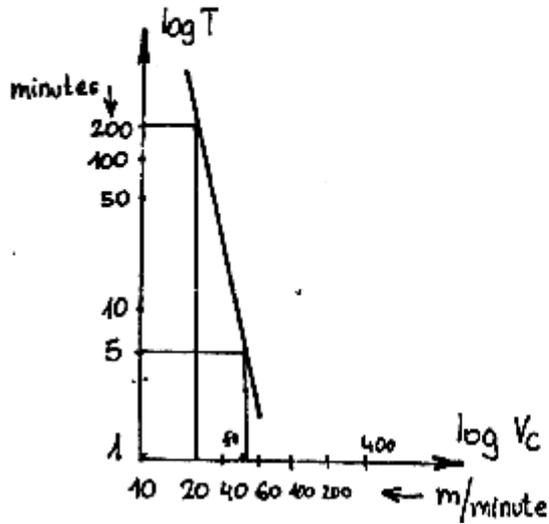
C est une constante dépendant des conditions de coupe N exposant de Taylor prenant pour valeur

0.12 à 0.14 pour les aciers rapides ordinaires 0.15 à 0.18 pour les aciers rapides supérieurs 0.2 à 0.3 pour les carbures selon la nuance > à 0.45 pour les céramiques.

Sur le diagramme à échelle logarithmique la courbe représentative peut être assimilée à une droite (appelée droite de Taylor) dans la gamme des vitesses usuelles.

$$\log T = \frac{1}{n}(\log C - \log V_c)$$

Exemple.



droite de Taylor d'un outil à charioter en
acier rapide- acier usinéXC38

f = 0.25mm ; a = 2.5mm travail à sec

Pour $V_c = 22\text{m/min}$ $T = 200\text{ min}$
Pour $V_c = 50\text{m/min}$ $T = 5\text{ min}$

Fig.78

La loi de Taylor permet donc de déterminer, pour des conditions de coupe stabilisées, la vitesse de coupe à utiliser en fonction de la durée de coupe souhaitée entre deux affûtages. Il est donc nécessaire pour chaque cas particulier de se livrer à deux essais au maximum:

1 ^{er} essai	V_{c1} et T_1	} valeurs que l'on mesure
2 ^e essai	V_{c2} et T_2	

$$V_{c1} \times T_1^n = V_{c2} \times T_2^n = C$$

$$\log V_{c1} + n \log T_1 = \log V_{c2} + n \log T_2$$

$$\text{d'où } n = \frac{\log V_{c2} - \log V_{c1}}{\log T_1 - \log T_2}$$

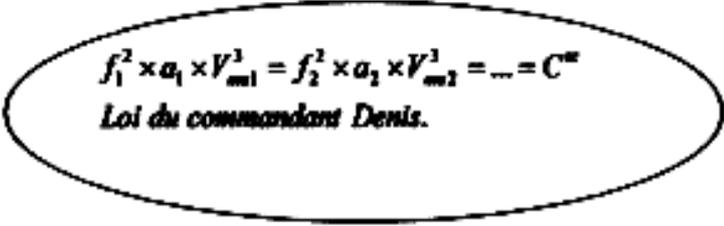
La connaissance de n nous permet de déterminer C et par suite la vitesse de coupe V_c à adopter pour une durée T souhaitée de l'outil. Le débit sera donné par $D = f \times a \times V_c \times T \times 10^3$

11.2.2 Loi du commandant Denis

Quelque temps après Taylor, à partir de 1905, le commandant Denis s'est livré à des essais systématiques sur le débit des outils.

Il a abouti aux conclusions suivantes:

- Toutes les autres conditions de coupe restant les mêmes, le débit de l'outil varie lorsque la vitesse de coupe varie.
- Le débit maximal de l'outil conserve la même valeur lorsque la section de copeau varie seulement si l'avance f , la profondeur de passe a et la vitesse de moindre usure V_{mu} restant liées par la relation:


$$f_1^2 \times a_1 \times V_{m1}^3 = f_2^2 \times a_2 \times V_{m2}^3 = \dots = C^m$$

Loi du commandant Denis.

Cette loi porte le nom de "loi du débit constant" mais les expérimentateurs contemporains sont en désaccord avec cette appellation et ne l'acceptent que dans la mesure où le rapport des dimensions du copeau ne varie que très peu.

Les tableaux publiés par le commandant Denis permettent donc de connaître, sans avoir à se livrer à des essais, les conditions de coupe donnant le débit maximal et, par suite, la durée correspondante de l'outil.

Exemple - extrait d'un tableau: chariotage à sec avance $f = 0.5\text{mm}$, profondeur de passe $a = 5\text{mm}$
 outil en acier rapide supérieur

Outil en ARS-chariotage à sec. $f = 0.5\text{mm}$ $a = 5\text{mm}$									
Matières usinées	Laiton	Bronze à 90%Cu 10%Sn	Fonte grise	Aciers de Rr en daN/mm					
				40	50	60	.80	100	110
Dmaxdm	40	38	13	23	19	16	9	3	0.75
Vcmu m/min	62	54	36	31	26	22	14	8	5

Application numérique: soit à travailler un acier de résistance à la rupture égale à 40 daN/mm .
 $D_{\text{max}} = 23\text{ dm}^3$, $V_{c\text{mu}} = 31\text{ m/min}$ La durée correspondante de l'outil sera :

$$D_{\text{max}} = f \times a \times V_{c\text{mu}} \times T \times 10^{-3}$$

$$T = \frac{10^3 \times 23}{0.5 \times 5 \times 31} = 296 \text{ minutes}$$

Pour conserver le même débit D_{max} avec

$f_1 = 0.6$ et $a_1 = 4$ il faudra adopter une vitesse de coupe

$V_{c\text{mu}1}$ telle que

$$F^2 \times a \times V_{c\text{mu}}^3 = f_1^2 \times a_1 \times V_{c\text{mu}1}^3$$

soit

$$V_{c\text{mu}1} = V_{c\text{mu}} \sqrt[3]{\frac{F^2 \times a}{f_1^2 \times a_1}}$$

$$V_{c\text{mu}1} = 31 \sqrt[3]{\frac{0.5^2 \times 5}{0.6^2 \times 4}} = 29.5 \text{ m/min}$$

La durée T_1 sera alors :

$$T_1 = \frac{10^3 D_{\max}}{f_1 \times a_1 \times V_{c, \text{mu}1}}$$

$$T_1 = \frac{10^3 \times 23}{0.6 \times 4 \times 29.5} = 325 \text{ minutes}$$

Pour conserver le même débit D_{\max} avec $0.2 - 3\text{mm}$, $V_{\text{mu}2} = 42\text{m/min}$ par exemple il faudra adopter une avance f_2 telle que

$$f_2 = f_1 \sqrt{\frac{a_1 V_{c, \text{mu}1}^3}{a_2 V_{c, \text{mu}2}^3}} = 0.5 \sqrt{\frac{5 \times 31^3}{3 \times 42^3}} = 0.4 \text{ mm}$$

La durée T_2 sera alors:

$$T_2 = \frac{10^3 \times 23}{0.4 \times 3 \times 42} = 456 \text{ minutes}$$

Pour avoir une durée d'outil $T_3 = 360\text{min}$ par exemple, il faudra adopter $V_{c, \text{mu}3}$, f_3 , a_3 telles que:

$$T_3 = \frac{10^3 D_{\max}}{f_3 \times a_3 \times V_{\text{mu}3}} \quad V_{c, \text{mu}3} = V_{\text{mu}3} \sqrt[3]{\frac{f_3^2 \times a_3}{f_1^2 \times a_1}}$$

Nous ne disposons que de deux équations pour trois inconnues mais l'indétermination est fréquemment levée par les conditions pratiques de l'usinage à réaliser qui nous donne la surépaisseur de métal à enlever ou profondeur de passe (a_3). Egalons les valeurs de $V_{\text{mu}3}$ dans les deux équations

$$V_{\text{am3}} = \frac{10^3 D_{\text{max}}}{F_3 \times a_3 \times T_3} = V_{\text{am}} \sqrt[3]{\frac{f^2 \times a}{f_3^2 \times a_3}} \Rightarrow$$

$$F_3 \times a_3^2 = \frac{1}{F^2 \times a} \times \left(\frac{10^3 D_{\text{max}}}{V_{\text{am}} \times T_3} \right)^3$$

$$F_3 \times a_3^2 = \frac{1}{0.5^2 \times 5} \times \left(\frac{10^3 \times 23}{31 \times 360} \right)^3 = 7.04 \text{ mm}^3$$

Si l'épaisseur de métal à enlever a_3 vaut 4.7 Par exemple

$$F_3 = \frac{7.04}{4.72} = 0.32 \text{ mm}$$

et

$$V_{\text{am3}} = \frac{10^3 \times 23}{0.32 \times 4.7 \times 360} = 42.5 \text{ m/min}$$

Remarque: dans les trois applications précédentes on conserve un copeau dont le rapport des dimensions a peu varié et la valeur de la vitesse de coupe ne s'est pas écartée exagérément de la valeur de base donnée par le tableau.

11.3 Choix de la vitesse de coupe

De nombreux facteurs entrent en ligne de compte pour le choix de la vitesse de coupe: de la durée de l'outil aux dimensions du copeau, des efforts de coupe aux déformations pièce outil, de la puissance disponible aux gammes de coupe, d'avance, de profondeur de passe existantes, de la nature du matériau constitutif de l'outil aux angles de la partie active, de l'arrosage, du coût de l'opération.... L'énumération est longue sans être exhaustive.

Les lois de Taylor et du commandant Denis nous permettent de lier certains paramètres. L'étude de l'influence des facteurs du débit d'un outil nous a permis de déterminer la vitesse de moindre usure; mais est-ce la même que celle qui conduira à l'opération la plus économique ?

Ces valeurs, pourront-elles être exactement respectées ou faudra-t-il les adapter?

11.3.1. Vitesse de moindre usure: cas d'adoption

Nous avons vu que la vitesse de moindre usure conduit au débit maximal de copeaux donc au plus grand nombre de pièces usinées entre deux affûtages successifs. C'est donc la vitesse qui sera retenue dans les cas suivants:

- outils difficiles à confectionner
- outils dont l'affûtage revient très cher ou présente des difficultés
- outils difficiles à mettre en position ou dont le réglage est délicat.

Par ailleurs, cette vitesse conduit à un nombre de changements minimum d'outils sur le poste de travail.

11.3.2 Vitesse économique

La notion de production est indissociable de celle de coût et il n'est pas certain que la vitesse de moindre usure conduise à la production la moins onéreuse.

Nous allons donc rechercher le prix de revient d'enlèvement du volume unité (1dm) de copeaux en fonction de la vitesse de coupe.

Ce prix de revient P sera:

$$P = \sum_{i=1}^{i=4} P_i \quad \text{Avec}$$

P1 prix de production propre.

P2 prix correspondant au Montage et au réglage de l'outil.

P3 prix correspondant à la remise en état de l'outil.

P4 amortissement de l'outil.

Afin d'évaluer ces prix parcellaires nous désignerons par :

T m La durée de travail de l'outil entre deux affûtages successifs.

T1 min Le temps de montage et de réglage de l'outil.

$t_{2\text{mia}}$ Le temps d'affûtage et de remise en état de l'outil.

N le nombre d'affûtage que supportera l'outil.

Si Da par min, le coût de l'ouvrier productif en salaire et charges.

Ci Da par min, le coût d'utilisation du poste de travail.

$$P = \frac{10^3}{f \times a} \left[\frac{S_1 + C_1}{V_c} + \frac{t_1(S_1 + C_1) + t_2(S_2 + C_2) + \frac{R}{N}}{V_c T} \right] \quad 9$$

La loi de Taylor nous permet d'écrire:

$$T = \left(\frac{C}{V_c} \right)^{\frac{1}{n}} \text{ Valeur que nous portons dans 9}$$

$$P = \frac{10^3}{f \times a} \left(\frac{S_1 + C_1}{V_c} + \frac{t_1(S_1 + C_1) + t_2(S_2 + C_2) + \frac{R}{N}}{C^{\frac{1}{n}} \times V_c^{\frac{1-n}{n}}} \right) \quad 10$$

Désignons par:

$$k_1 = S_1 + C_1 \text{ et } k_2 = \left[t_1(S_1 + C_1) + t_2(S_2 + C_2) + \frac{R}{N} \right] \frac{1}{C^{\frac{1}{n}}}$$

$$P = \frac{10^3}{f \times a} \left(\frac{k_1}{V_c} + k_2 V_c^{\frac{1-n}{n}} \right)$$

11

Le prix de revient minimal nous donnera la valeur de la vitesse économique. Dérivons $P(V_c)$ par rapport à V :

$$P'_{Vc} = \frac{10^3}{f \times a} \left[-k_1 V_c^{-2} + k_2 \frac{1-n}{n} V_c^{\frac{1-2n}{n}} \right] \quad 13$$

$$13 \text{ s'annule pour } Vc = \left(\frac{nk_1}{k_2(1-n)} \right)^n \Rightarrow Vce = \left[\frac{n(S_1 + C_1)C^{1/n}}{\left[t_1(S_1 + C_1) + t_2(S_2 + C_2) + \frac{R}{N} \right](1-n)} \right]^n \quad 14$$

$$Vce = \frac{C}{\left(\left[t_1 + t_2 \left(\frac{S_1 + C_2}{S_1 + C_1} \right) + \frac{R}{N(S_1 + C_1)} \right] \times \frac{1-n}{n} \right)^n} \quad 15$$

En remplaçant Vce par sa valeur dans l'équation 11 il vient:

$$P_{\min i} = \frac{10^3}{f \times a} \left[k_1 \left(\frac{k_2(1-n)}{nk_1} \right)^n + k_2 \left(\frac{nk_1}{k_2(1-n)} \right)^{1-n} \right] \quad 16$$

Vitesse de coupe donnant la valeur maximale du débit par unité de temps.

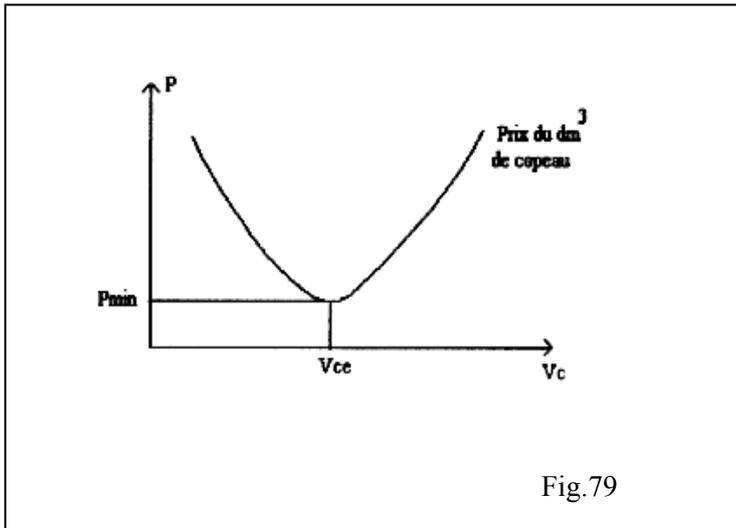


Fig.79

Si nous recherchons maintenant la variation du débit par minute, d , en fonction de la vitesse de coupe V_c nous obtenons:

$$d = \frac{D}{T+t_1} = f \times a \times 10^{-3} \times \frac{T}{T+t_1} \times V_c$$

$$\text{avec } T = \left(\frac{C}{V_c}\right)^{1/n}$$

$$d = f \times a \times 10^{-3} \times \frac{C^{1/n} \times V_c^{n-1/2}}{C^{1/n} \times V_c^{1/n} \times t_1} \quad 17$$

La dérivée de cette fonction par rapport à V_c s'annule pour

$$V_{cd \max i} = \frac{C}{\left[t_1 \left(\frac{1-n}{n}\right)\right]^n} \quad 18$$

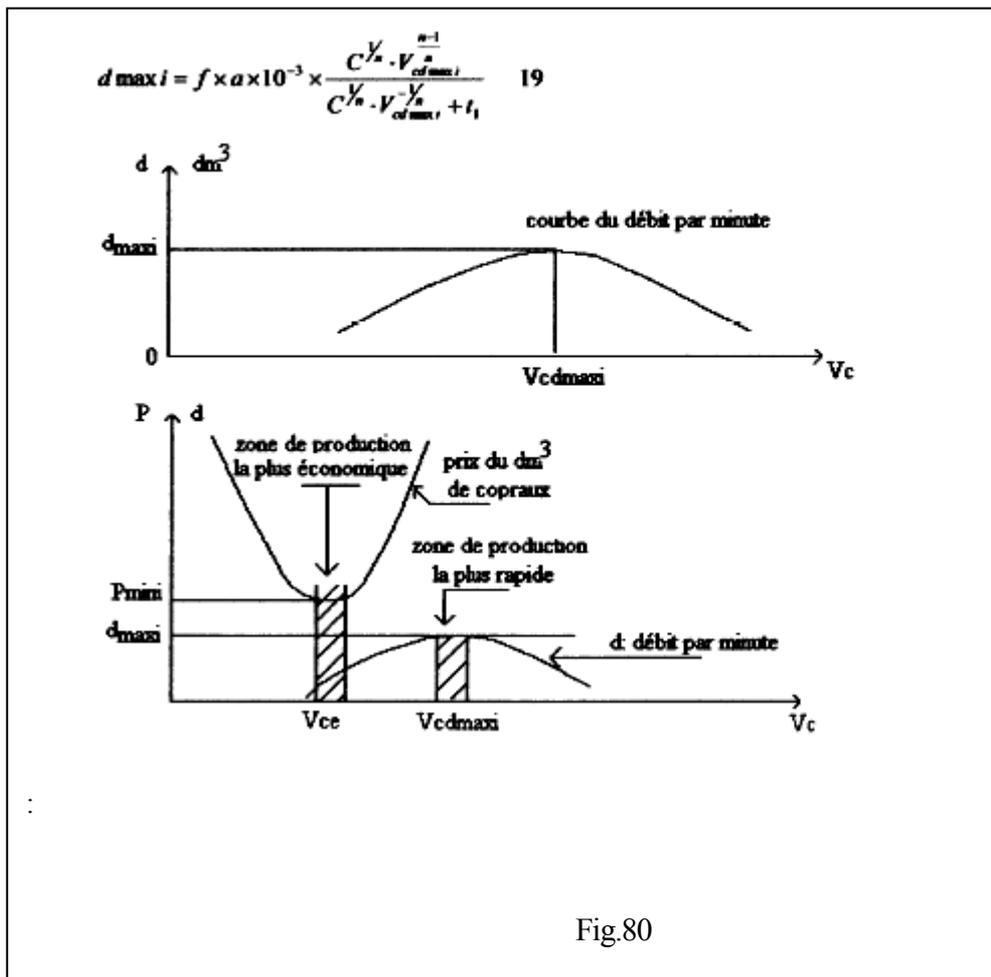


Fig.80

Et modifier les autres éléments de coupe en conséquence. durée; elle joue un rôle primordial dans la détermination de la vitesse. rappelons l'exemple de la page 72 ou pour $V_c = 22\text{m/min}$ la durée atteignait 3h20min alors que pour $V_c = 50\text{m/min}$ l'outil était usé en 5 minutes. La durée est souvent choisie ou alors imposée par des considérations d'organisation de la production: synchronisation des changements d'outils sur une chaîne; remplacement lors d'un arrêt de tous les outils d'une machine comportant plusieurs outils travaillant simultanément par exemple. Il faut alors étudier le groupement des opérations et les éléments de coupe correspondants pour obtenir une production optimale.

- Gamme des vitesses: la vitesse de coupe considérée comme la mieux adaptée au cas particulier ne peut être effectivement respectée que si la gamme des vitesses de la machine-outil le permet, or, de même que pour les avances, cette gamme est normalisée et il faut donc procéder à un ajustement soit par excès, soit par défaut.

- Type de production: ce dernier élément a une importance prépondérante sur les valeurs réellement adoptées. En cas de fabrication unitaire, la pièce sera confiée à un ouvrier professionnel dont les connaissances, l'expérience et le métier lui permettent de fixer directement "in situ" les paramètres de coupe. Pour un usinage en petite ou moyenne série les règles, tableaux et abaques fournissant les renseignements suffisants, tirés de l'expérimentation et consacrés par l'usage. Dans le cas d'une production

en grande série ou en continu il est nécessaire de procéder, dans les conditions soigneusement préétablies et rigoureusement respectées, à des essais qui permettront de déterminer les éléments optimaux.

- En conclusion:

Dans la pratique des abaques et tableaux donnant des plages de situation de la vitesse de coupe, vitesse que l'on peut affiner par calcul puis adapter au cas précis d'usinage à réaliser sur la machine donnée. En comparant les valeurs littérales de V_{ce} et $V_{Cd_{max}}$ on constate que la vitesse correspondant au débit, par unité de temps, maximal est toujours supérieure à la vitesse économique: l'adoption de la vitesse économique ne conduit jamais au débit maximal. Nous choisirons la vitesse de coupe dans la zone comprise entre la vitesse économique et la vitesse assurant le débit maximal: lorsque le prix de revient importe plus que la productivité on adopte une vitesse de coupe proche de la vitesse économique (excès). Lorsque la productivité est impérative (délai de fabrication très court par exemple) on adopte une vitesse de coupe proche de celle donnant le débit maximal (par défaut).

11.3.3. Adaptation de la vitesse de coupe aux impératifs matériels

La vitesse de coupe, calculée, qu'elle soit de moindre usure, économique ou conduisant au débit-par unité de temps maximum, correspond très rarement aux possibilités matérielles de déroulement de l'opération. Il est donc nécessaire de l'adapter en fonction d'un certain nombre d'éléments que nous allons recenser.

dimensions du copeau : si la profondeur de passe est en général obtenue par réglage continu et ne pose pas aucun problème, l'avance par coup ou par tour obéit à la normalisation et la gamme disponible dépend de la machine elle-même. A une avance f déterminée par calcul il faut faire correspondre l'avance réelle compatible et recalculer la vitesse de coupe définitive.

Efforts, puissance, déformations : la résistance à la coupe provoque des déformations qu'il est nécessaire de limiter pour obtenir une surface générée conforme aux prescriptions. Par ailleurs la puissance absorbée par la coupe doit être inférieure à la puissance disponible sur la machine. Or nous avons vu que F_c dont les déformations induites et P_{abs} sont fonction de la vitesse de coupe. Si les conditions initiales retenues conduisent à des résultats incompatibles il faut alors ajuster la vitesse aux possibilités limites.

12. Etude de fabrication.

La préparation du travail, étape précédant la fabrication, requiert un esprit d'organisation, d'analyse et de synthèse minutieux. Divers documents sont alors établis qui serviront de contrat pour l'exécution des travaux. Il est nécessaire de respecter les spécifications demandées, de choisir les moyens de productions, de rechercher les solutions les plus économiques, d'établir une chronologie, de fixer les tâches à exécuter... De dresser une gamme de fabrication ou succession ordonnée de phases, de sous phases, d'opérations qui nous mènera au but recherché. Mais les pièces à réaliser ne sont évidemment pas toutes semblables et cette diversité va nous amener à envisager des gammes types de fabrication en fonction de critères que nous préciserons. Bien entendu le type de fabrication (unitaire, petite série, moyenne série répétitive ou non...) intervient également sur les moyens à utiliser.

12.1. Gammes types de fabrication

12.1.1. Catégories de pièces

L'ordonnancement des opérations d'usinage tient compte des contraintes liées aux spécifications dimensionnelles et géométriques ainsi qu'aux conditions techniques de fabrication. On peut retenir quatre critères dont le caractère existe ou n'existe pas.- rigide R ou déformation R : les notions de rigidité ou de déformation sont à évaluer en fonction de la morphologie de la pièce et de la provenance, selon le procédé d'obtention, qui peut provoquer ou non des tensions internes. Avec fortes surépaisseurs S , sans fortes surépaisseurs S : les fortes surépaisseurs se rencontrent fréquemment lorsque les pièces sont liées à la masse, ce qui conduit à un important volume de copeaux à enlever et aux conséquences en découlant. Par contre, les pièces usinées à partir de bruts élaborés par moulage ou par forgeage présentent de faibles surépaisseurs; ce qui réduit le volume de copeaux à tailler, le temps d'occupation machine... Avec traitement thermique T ou sans t-th T : ce critère est lié directement aux spécifications découlant du dessin de définition et impose des sujétions quand à l'ordre des opérations. Avec finition après la coupe F ou sans F l'existence de surfaces à terminer par rectification, rodage ou superfinition impose l'emploi des machines requises et le respect de certaines précautions. Le classement des pièces d'après ces quatre critères donne lieu à seize catégories théoriquement possible.

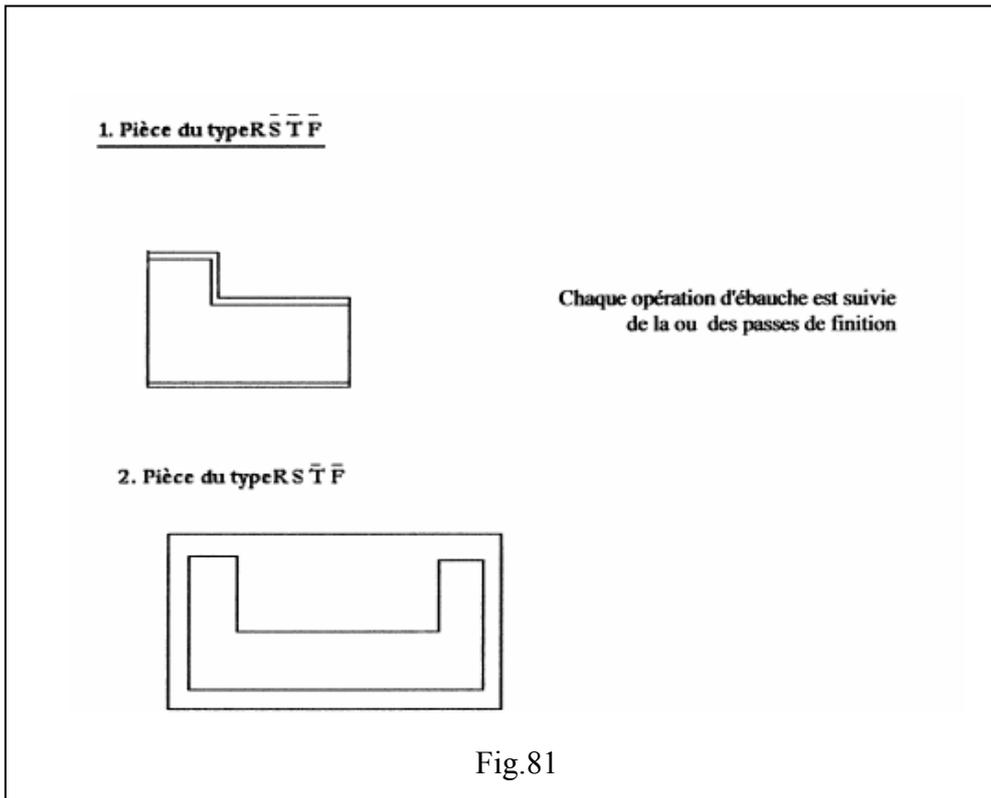
	S ou R	R			
F ou T	S	S		S	S
T	F	4		tre	
T	F		5		
T	F	2	fréquent		3

Rigide
R déformable
S fortes surépaisseurs
S faibles surépaisseurs
F: finition après coupe
F: sans finition après coupe
T: traitement thermique
T: sans traitement thermique.

Ces seines catégories théoriques se rencontrent très inégalement dans la réalité. S'il est très fréquent de trouver des pièces du type *R S F T* (rigide, à faible surépaisseur, sans traitement thermique ou finition spécial) il est par contre rare d'avoir à usiner des pièces du type *R S* (déformables avec fortes surépaisseurs). La connaissance de la catégorie dans laquelle rentre la pièce permet de se référer à la gammetypecorrespondante.

12.1.2.Exemplesdegammestypes.

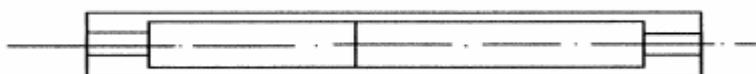
Nous allons traiter les cinq cas les plus couramment rencontrés, repérés 1-2-3-4-5 sur le tableau ci-dessus, en indiquant le processus général de fabrication et en visualisant par une pièce simple.



L'enlèvement de fortes surépaisseurs modifie l'équilibre des tensions internes dans la pièce. On risque alors, surtout si le matériau est à structure fibreuse (obtenu par laminage, étirage par exemple), de voir apparaître des déformations après usinage. Il est donc nécessaire de procéder de la façon suivante:

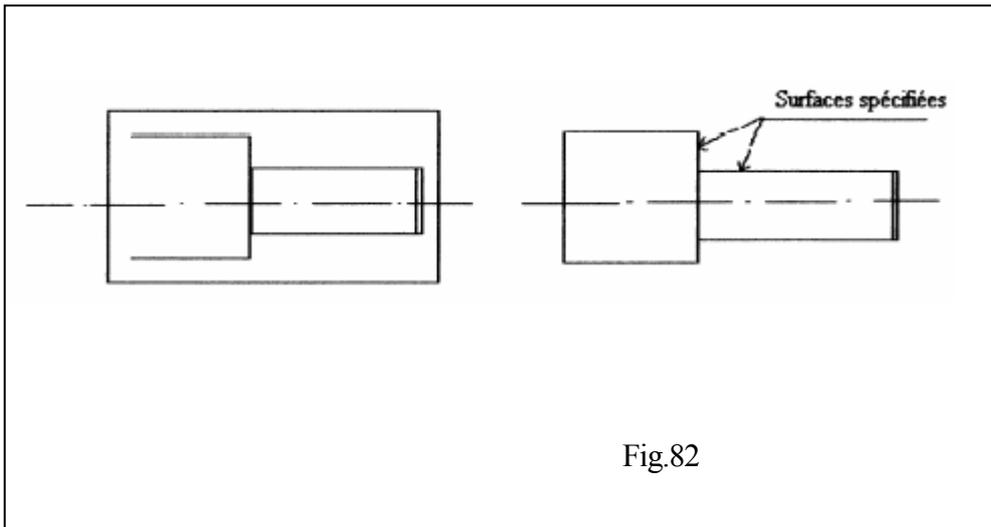
1. faire une ébauche complète à 1 ou 2mm des cotes de finition.
2. pratiquer un redressage éventuel.
3. faire un traitement de stabilisation.
4. achever par semi finition et finition.

12.1.3 . Pièce du type $\overline{RS} \overline{T} \overline{F}$



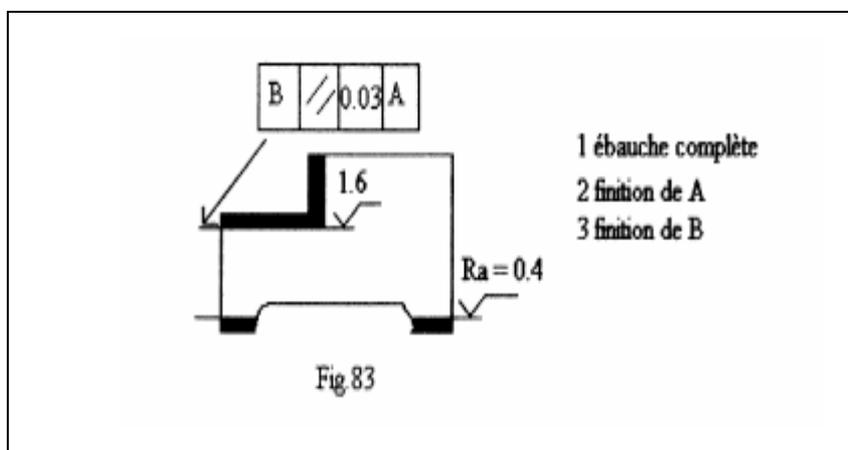
Les efforts d'ablocage et de coupe déforment la pièce. Il faut donc dans ce cas :1.prévoir des appuis réglables évitant les déformations.2.réduire les efforts de coupe en diminuant la section cisailée. (a et f plus faibles).3.éventuellement, prévoir une ébauche complète de toutes les surfaces, redresser la pièce et procéder à la pièce et procéder à la finition.

12.1.4 . Pièce du type RS T F



Pour les pièces présentant un traitement thermique:1.Procéder à l'ébauche des surfaces lubrifiées, à l'ébauche et finition des autres surfaces.2.faire passer les pièces au traitement thermique.3.exécuter le finition en fonction de la nouvelle résistance à la rupture du matériau traité: plus la dureté et la résistance augmentent plus les surépaisseurs à laisser après ébauche doivent être faibles

12.1.5.Pièce du type KS T F



La pièce comporte une ou plusieurs surfaces finies par rectification ou procédés de super finition. Ces surfaces sont fragiles et doivent être réalisées après ébauche complète de la pièce. Malgré tout elles doivent être exécutées avant la finition des surfaces qui les ont comme antériorité dimensionnelle ou géométrique.

Le rodage et la super finition se pratiquent toujours après la rectification et en fin de gamme de fabrication.

12.2 Méthodes de fabrication

Les moyens à mettre en oeuvre, fonction de délais, de cadence, du potentiel humain et technique, des investissements possibles, dépendent de la méthode de fabrication adoptée (qui doit conduire à une production d'un coût minimal) en relation avec le type de fabrication.

Fabrication unitaire ou assimilée

réalisation de prototype, de montages d'usinage ou d'assemblage, d'outillages spéciaux, réparation....En général, la gamme d'usinage est établie par le bureau des méthodes mais l'organisation de l'usinage à l'usinage à l'intérieur de chaque séquence est laissée à l'initiative de l'exécutant. Les moyens à mettre en œuvre sont les machines outils universelles avec leurs équipements standards (porte-pièces, outils normalisés, matériel de contrôle) confiées à des professionnels qualifiés.

Petite série: fabrication dont la qualité est limitée par le marché (accessoires de machines-outils - marine...); fabrication de présérie en vue du lancement d'un nouveau produit.

Le bureau des méthodes organise la fabrication de façon plus directive que pour les fabrications unitaires; les machines universelles sont équipées de dispositifs spéciaux. Utiliser également des machines adaptées à la petite série telles que: tour semi-automatique, tour à fileter, perceuses à broches multiples, fraiseuses à cycles, tours-fraiseuses, perceuses à commande numérique, confiées à des professionnels qualifiés.

Moyenne ou grande série répétitive : Très souvent la fabrication d'un nombre important de pièces est réalisée par lot. La préparation de la fabrication prend une grande importance, le prix de revient doit être aussi bas que possible et les rebuts très limités, l'exécutant n'a plus que peu d'initiatives. Les moyens à mettre en œuvre sont plus importants: machines classiques de production à cycle semi-automatique ou automatique, machines spéciales réalisées en éléments modulaires standards, MOCN

à changement automatique d'outil, automatisation des moyens de servage, outils standards et spéciaux, montages d'usinage et de contrôle adaptés aux produits à fabriquer. En général le réglage du poste de travail est effectué par un professionnel, la production est conduite par un ouvrier spécialisé.

Grande série continue : Quand le nombre de pièces devient très important, une fabrication ininterrompue peut être envisagée sur plusieurs mois ou même années. Les moyens de production sont construits autour du produit à fabriquer; la préparation du travail est très poussée et ne laisse aucune initiative à l'exécutant. Les machines spéciales automatisées sont disposées en fonction du transfert automatique des pièces de poste en poste. On emploie des montages d'usinage automatisés, des outils standards ou spéciaux, les dessertes d'approvisionnement et d'évacuation sont automatiques- robots- ateliers flexibles- le réglage du poste de travail est assuré par un professionnel, la production est conduite par un ouvrier spécialisé qui n'a souvent qu'un rôle de surveillance en poste automatisé.

12.3. Analyse de fabrication

Une analyse de fabrication a pour l'organisation de la fabrication en définissant l'ordre chronologique des différentes étapes à respecter les spécifications imposées et à diminuer autant que possible les coûts.

Les données du problème sont généralement:

- le dessin de définition de la pièce
- le nombre de pièces à produire
- le type de fabrication
- les dossiers des machines disponibles et le plan de charge de ces machines
- l'outillage
- les délais
- la main-d'œuvre.

On peut distinguer quatre étapes dans l'analyse de fabrication.

1. choix du procédé d'obtention du brut capable
2. établissement du projet d'étude de fabrication
- 3.établissement des différents contrats de phase et du dossier de fabrication.
4. suivant les cas la conception des appareillages spéciaux

12.3.1 Choix du procédé d'obtention du brut capable

Ce choix est arrêté conjointement par le bureau d'études, le bureau des méthodes usinage et le service spécialisé dans la fabrication des bruts (fonderie, forgeage, mécano-soudure...). On fixe alors le dessin de définition du brut capable dont les spécifications doivent conduire à un usinage aussi restreint que possible et être compatibles avec des procédés économique d'obtention. Formes, surépaisseurs, minimalisation de la quantité de matière, rigidité, facilité d'obtention... sont des facteurs devant rester constamment à l'esprit dans cette étape.

12.3.2. Projet d'étude de fabrication

Il définit la suite ordonnée des différentes phases intervenant dans la fabrication, les postes de travail, les moyens techniques et humains nécessaires. Il faut d'abord repérer le genre de pièce et la gamme type et identifier les surfaces à usiner. Inventorier les postes nécessaires à la génération des surfaces que l'on a identifiées, faire les groupements des surfaces associées par usinage. Repérer également les surfaces brutes liées par une spécification aux surfaces usinées. Analyser les spécifications géométriques et dimensionnelles. Rechercher les opérations d'usinage et choisir les surfaces de départ.

Fixer le processus optimal d'usinage ou ordre logique des opérations en inventoriant les moyens techniques et humains nécessaires. On établit ainsi la gamme générale.

12.3.3. Etablissement des différents contrats de phases et du dossier de fabrication

Un contrat de phase est établi pour chaque phase d'usinage. Il donne les renseignements relatifs à :

- la phase : numéro de phase; poste de travail, porte pièce adopté.
- La pièce : nom de la pièce et de l'ensemble auquel elle appartient, nombre de pièces à fabriquer, matière, origine du brut- croquis de la pièce à l'état ou elle se trouvera en quittant le poste de travail.

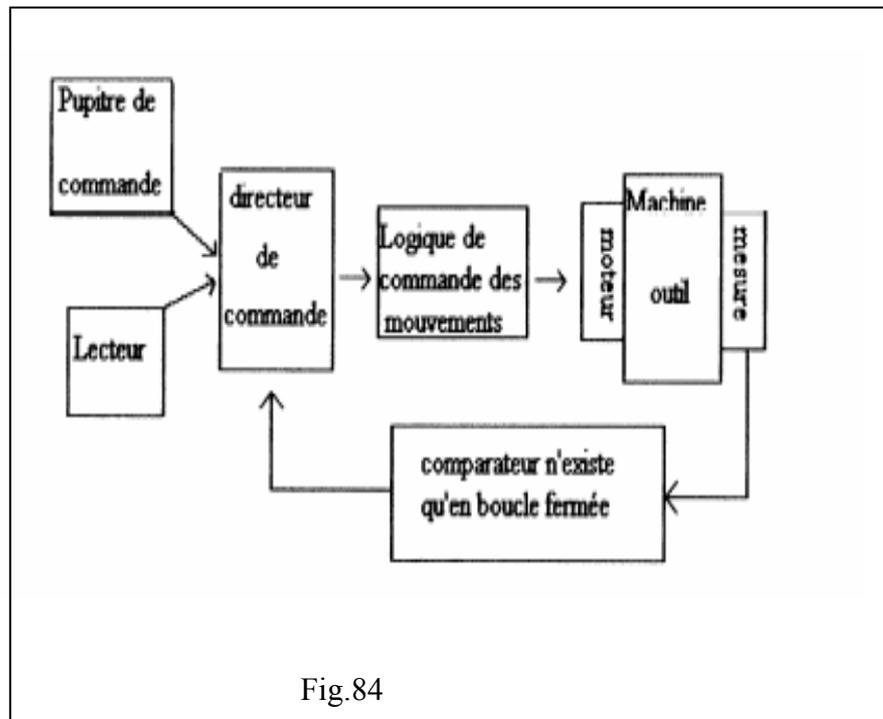
Si la phase comporte des sous phases on établit un croquis pour chacune.

Le croquis comporte les surfaces à usiner en traits forts, les symboles normalisés, le maintien en position, les cotes et tolérances, les outils.

- aux opérations : ébauche, demi-finition, finition et les cotes intermédiaires.
- Aux outils à employer
- Aux conditions de coupe V_c , f , a
- Aux moyens de contrôle.

12.4. Obtention d'une pièce sur machine outil à commande numérique (MOCN)

Les machines outils à commande numérique se classent en deux catégories selon qu'elles fonctionnent en "boucle ouverte" ou en "boucle fermée". Schéma général.



En boucle ouverte les ordres de déplacement donnés aux moteurs d'entraînement des organes mobiles ne dépendent uniquement que des instructions de travail, alphanumérique codées, portées par des bandes ou cartes perforées, bandes magnétiques.. il y'a pas de système de mesure. -En boucle fermée, les ordres de déplacement donnés aux moteurs d'entraînement dépendent des instructions de travail, alphanumérique codées, portées par la bande et des informations données par un dispositif qui mesure de façon continue la position des organes mobiles

12.4.1 Avantages des machines outils à commande numérique

Les machines outils à commande numérique présentent de nombreux avantages comparées aux machines outils classiques mais nécessitent un investissement initial bien plus élevé et un entretien plus onéreux. Elles conduisent à :

- une augmentation de la productivité car les opérations d'usinage s'enchaînent sans que l'opérateur ait à intervenir, les temps de changement et déchargement sont réduits. Le temps de coupe peut atteindre 80% du temps d'occupation machine sur M O C N contre 30% sur machines-outils conventionnelles.
- une réduction des frais d'outillage
- un regroupement des opérations de par leur caractère multifonctionnel.
- une réduction du coût des contrôles qui provient du fait que la fréquence de vérification diminue.
- une répétabilité de l'usinage qui facilite l'interchangeabilité des pièces et élimine les rebuts provenant d'erreurs faites par l'opérateur.
- une souplesse d'exécution qui facilite les modifications car il est beaucoup plus simple et moins coûteux de modifier un programme qu'un outillage.
- une obtention de surfaces, par travail en contournage, qui ne peuvent être usinées sur machines traditionnelles.
- une possibilité d'emploi quel que soit le type de fabrication (unitaire, petite série...) - 80% des pièces mécaniques réalisées dans le monde faisant l'objet de lancement de séries de moins de 20 unités.

12.4.2. Obtention d'une pièce par commande numérique

Comparaison schématisée M O C N, M O classique.

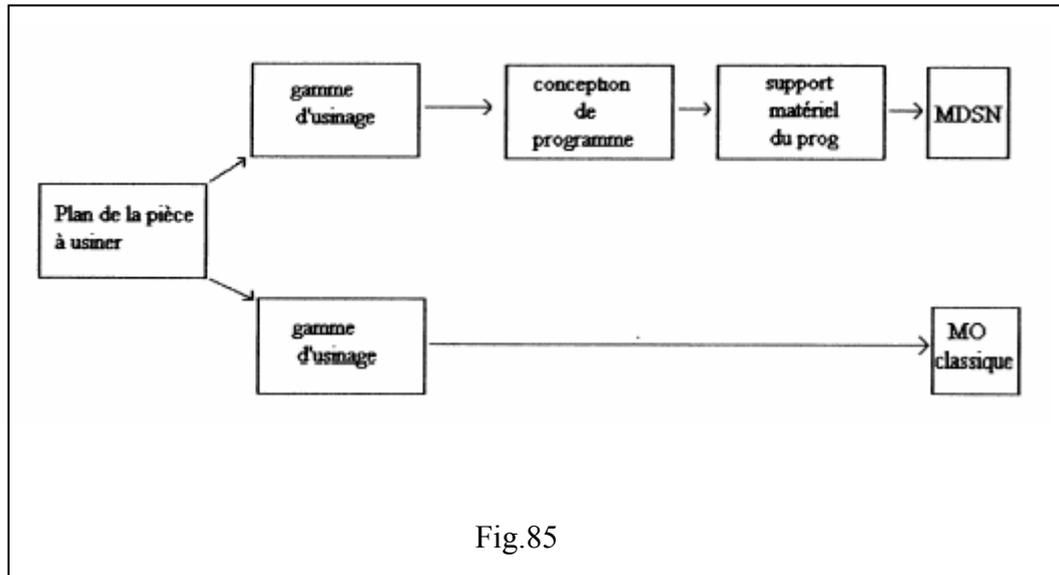


Fig.85

L'étude de fabrication conduit également à l'établissement de la gamme de fabrication qui sera exploitée pour la conception du programme qu'il faudra ensuite mémoriser sur support matériel.

conception du programme.

Déterminer l'implantation de la pièce sur la machine concevoir le porte pièce qui doit permettre la mise en position, le dégauchissage et l'ablocage de la pièce sur la machine.

Etablir la liste de toutes les opérations nécessaires par ordre chronologique.

Calculer les coordonnées des points à atteindre.

Prévoir tous les déplacements des organes mobiles et les changements d'outils.

Choisir les vitesses de rotation des broches et les vitesses de déplacement des organes mobiles.

Indiquer les instructions relatives à l'arrosage, au sens de rotation des broches, au sens de déplacement des organes mobiles, aux blocages en position....

Reporter, en utilisant un langage machine; toutes les instructions sur une feuille de préparation. Le listing de programmation indique donc toutes les positions que doivent occuper le ou les organes mobiles, précise les fonctions auxiliaires et préparatoires.

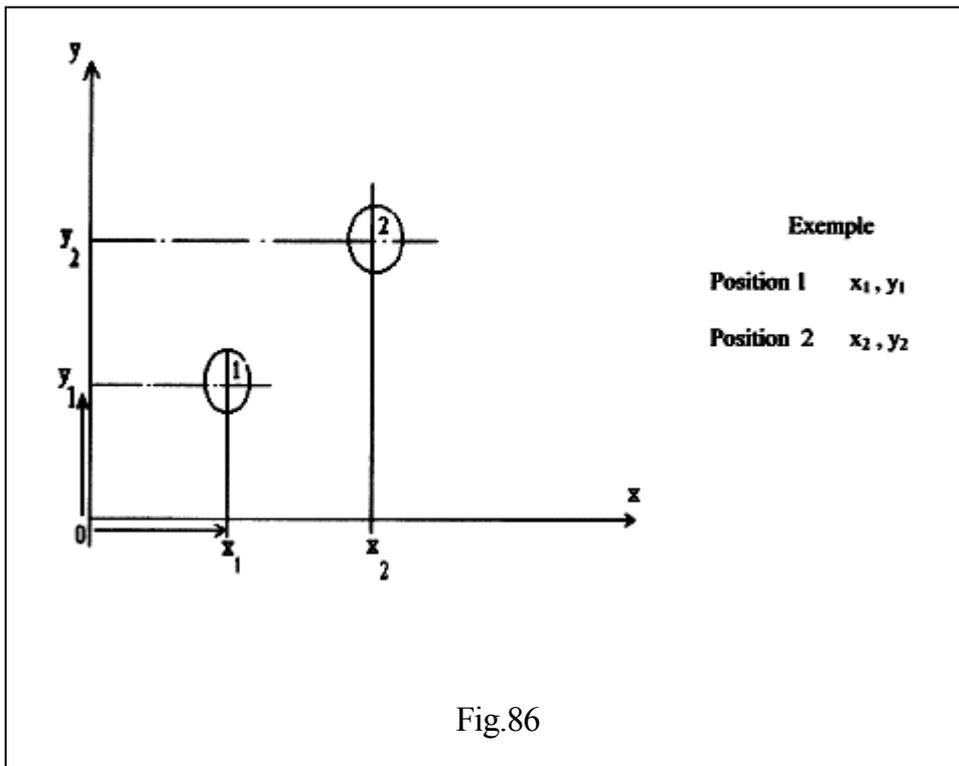
Support des instructions de travail

Les instructions ou ordres alphanumériques sont consignés et mémorisés sous forme codée par l'intermédiaire

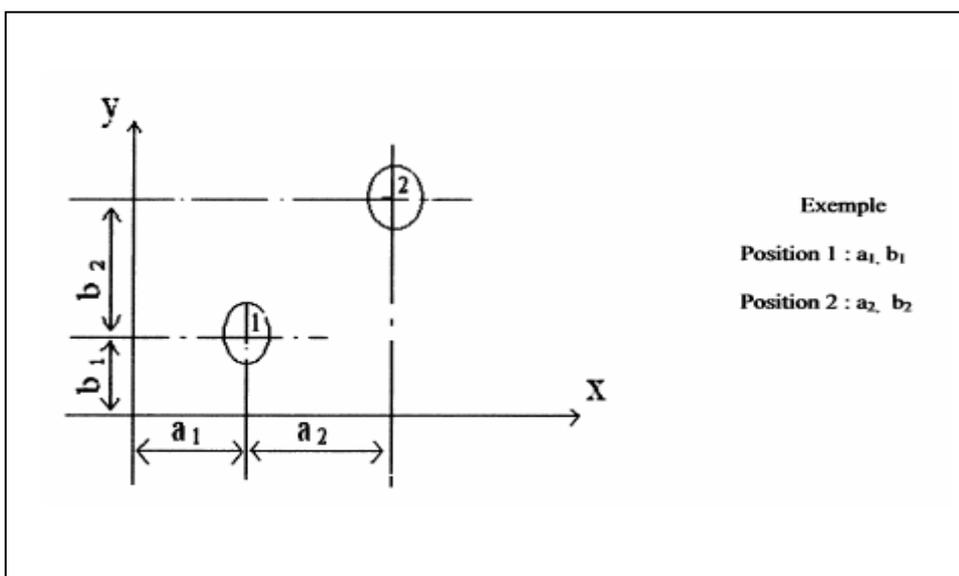
- de cartes perforées
- de bandes perforées (largeur 25.4mm trous 1.2 et 1.8mm) qui sont les supports les plus utilisés.
- de bandes magnétiques.

Programmation absolue ou relative

en programmation absolue le programmeur indique les coordonnées des points à atteindre en fonction d'un système d'axe fixes par rapport à la pièce.



Les cotes des positions successives sont indiquées par rapport à un point de départ ou origine fixe. En programmation relative le programmeur indique les déplacements entre usinages successifs; L'extrémité d'un déplacement devient l'origine du déplacement suivant.



On indique la valeur des déplacements successifs et non pas la cote des points auxquels l'outil doit se rendre.

Programmation manuelle ou automatique

La programmation manuelle (dite aussi manuscrite) peut s'effectuer en langage machine, ou en langage symbolique et elle sera alors dite automatique. La programmation manuscrite en langage machine est utilisée par l'usinage des pièces simples. Le langage comporte des mots, suites de caractères alphanumériques, et des blocs, groupes d'instruction élémentaires. A chaque bloc d'instructions correspond à une séquence d'usinage.

Un format indique qu'elle doit être la position différents mots dans le bloc. Lorsque le format est fixé les blocs ont une longueur identique et comportent le même nombre de mots toujours placés dans le même ordre; alors que dans le format variable, seules sont indiquées les instructions ayant changé d'un bloc à l'autre: la longueur du bloc est variable.

La programmation manuscrite en langage symbolique consiste à donner une description symbolique du travail à effectuer au moyen de macro-instructions qui permettent un traitement du programme en ordinateur.

Le passage en ordinateur permet de réduire de façon très appréciable les interventions du programmeur car tous les calculs sont pris en compte. Cette programmation est également appelée programmation automatique. Les langages utilisés sont nombreux: **APT, IFAPT, ADAPT ...**

L'ordinateur est chargé d'exécuter :

- Les calculs relatifs aux déplacements des organes mobiles.
- Les changements de systèmes de référence.
- Les transcriptions des informations.
- La génération du langage machine.
- La perforation automatique de la bande programme et, dans une certaine mesure, le contrôle du programme.

Etape de la programmation automatique:

Etude du dessin de la pièce: définition des formes et des dimensions.

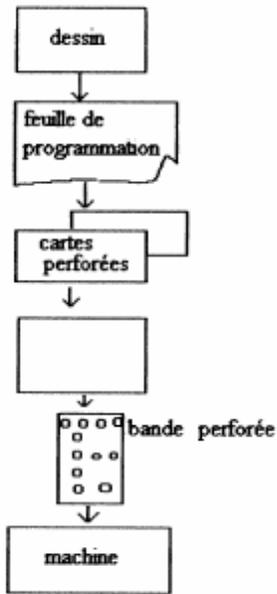
Rédaction de la feuille de programmation. Elle comporte les informations exprimée dans le langage symbolique choisi: données technologiques, de formes; description des opérations d'usinage...

Transposition de la feuille de programmation sur cartes perforées

Passage des cartes perforées en ordinateur. Il achève la programmation et réalise la bande perforée destinée à la machine outil.

Mise en place de la bande perforée sur le directeur de commande.

Réalisation de la pièce par introduction automatique des informations.



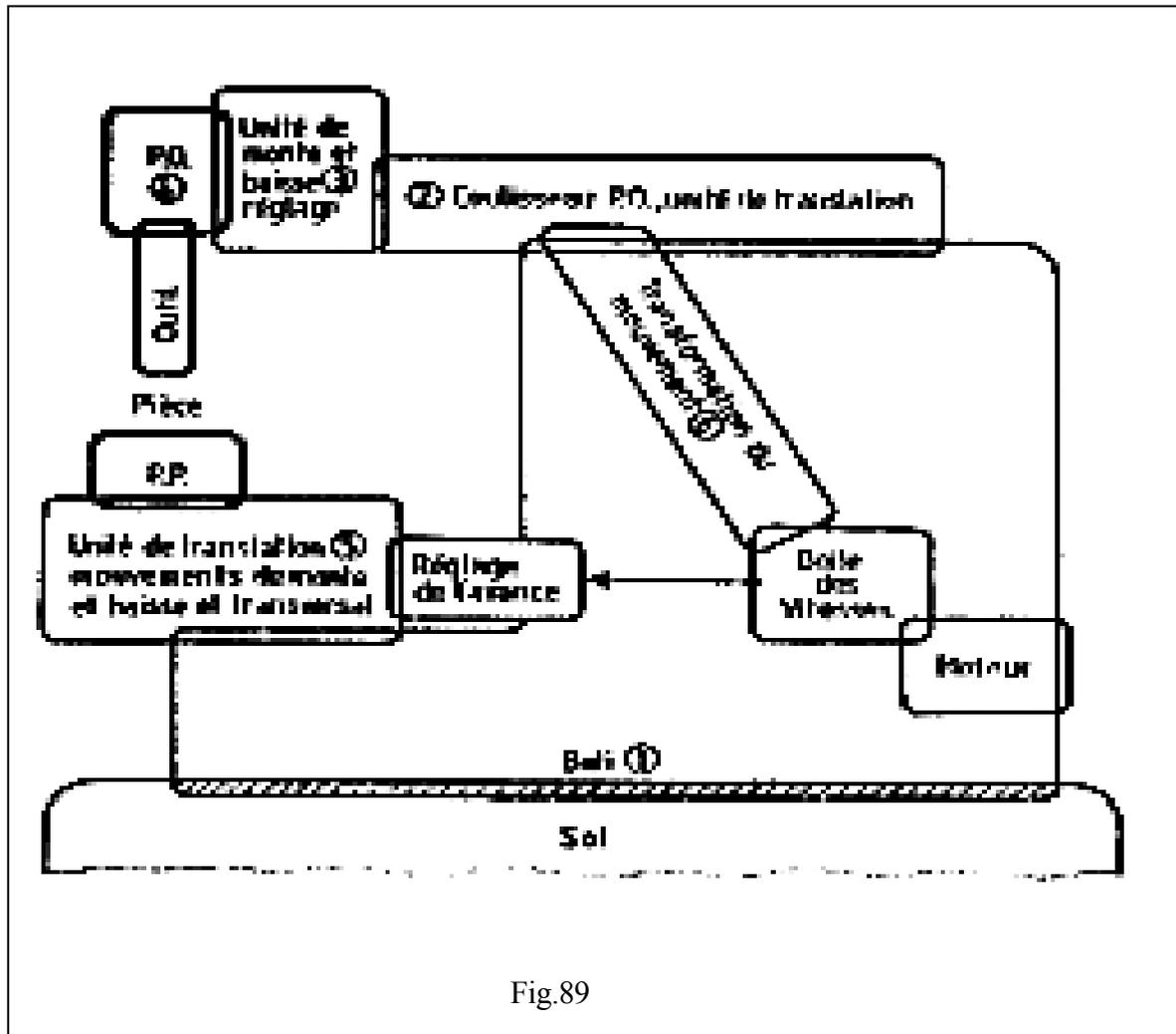


Fig.89

Les mouvements possibles dans un étou limeur sont:

- A: mouvement rectiligne alternatif appelé mouvement de coupe.
- B: mouvement de monte et baisse du porte outil.
- C: mouvement de monte et baisse de la table porte-pièce.
- D: mouvement transversal de la table porte-pièce.

13.1.2. Les raboteuses

La pièce est montée sur une table animée d'un mouvement de coupe rectiligne alternatif. Ces machines sont réservées à l'usinage des pièces de moyennes et grandes dimensions en travail unitaire et en service.

13.1.3. Les raboteuses

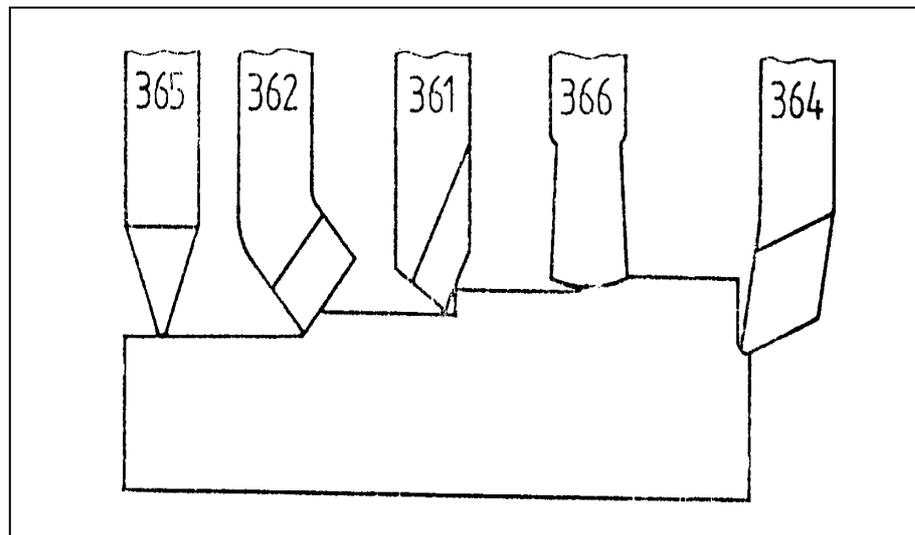
La pièce est montée sur une table animée d'un mouvement de coupe rectiligne alternatif. Ces machines sont réservées à l'usinage des pièces de moyennes et grandes dimensions en travail unitaire et en service.

13.2 Différents types d'outils Tous les outils de tournage extérieur sont utilisables pour les travaux de rabotage tels que

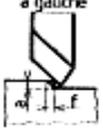
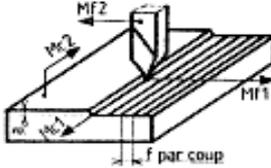
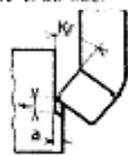
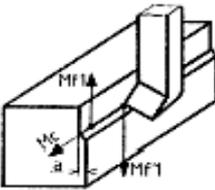
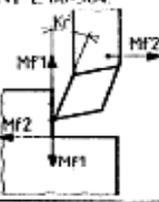
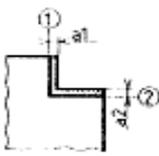
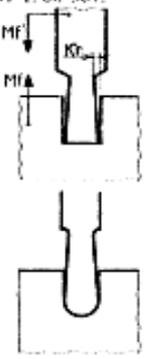
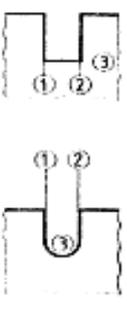
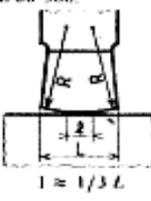
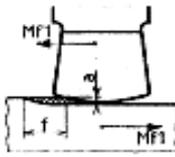
surfaces planes, rainures rectilignes aux profils divers. Les parties actives sont fabriquées:

- en acier rapide (NF E 66-361 - 366)
- en carbure métallique

Les outils à plaquettes basées sont normalisés (NF E 66-31 à 366). Ils ne sont utilisables avec profit que sur des machines puissantes et en bon état. Les nuances doivent être choisies avec soin pour résister aux chocs (M 40 et P 50).



13.3 .Génération des surfaces par rabotage.

Type d'usinage	Outil	Schéma et mouvements	Travail sur	
			étau linéaire	raboteuse
① Dressage horizontal	Droit à chariotier. NF E 66-361. à gauche à droite 		<ul style="list-style-type: none"> • Mouvement d'avance communiqué : • à la pièce à chaque fin de course, retour de l'outil (Mf_c). • Mouvement de coupe communiqué : • à l'outil (M_c). • Pénétration communiquée : • à l'outil. 	<ul style="list-style-type: none"> • à l'outil à chaque fin de course, retour de la pièce (Mf_c). • à la pièce (M_c). • à l'outil.
② Dressage vertical	Coude à chariotier et dresser à gauche ou à droite. NF E 66-362. 		<ul style="list-style-type: none"> • Mouvement d'avance communiqué : • à la pièce (Mf_c) ou à l'outil (Mf_c). • Pénétration communiquée : • à la pièce. 	<ul style="list-style-type: none"> • Toujours à l'outil (Mf_c). • à l'outil.
③ Finition d'un épaulement	Outil à dresser d'angle à gauche ou à droite. NF E 66-364. 		<ul style="list-style-type: none"> • Mouvements d'avance communiqués : • à l'outil Mf_c ou à la pièce Mf_c pour usiner ①. • à la pièce Mf_c pour usiner ②. • Pénétration communiquée : • à la pièce pour a_c. • à la pièce ou à l'outil pour a_c. 	<ul style="list-style-type: none"> • Toujours à l'outil Mf_c pour usiner ①. • Mf_c pour usiner ②. • Toujours à l'outil.
④ Rainure droite ou circulaire	Outil à rainurer. NF E 66-367. 		<ul style="list-style-type: none"> • Mouvement d'avance communiqué : • à la pièce Mf_c. • ou à l'outil Mf_c. • Les usinages de ①, ②, ③ sont associés : ① et ② résultent d'une génération ponctuelle. ③ résulte d'une génération linéaire. 	<ul style="list-style-type: none"> • à l'outil Mf_c.
⑤ Dressage horizontal en finition (planage)	Outil à planer. E 66-366. 	 $\alpha = \text{de } 0,1 \text{ à } 0,2 \text{ (selon } R)$ $f : \approx 1/3 L$	<ul style="list-style-type: none"> • Mouvement d'avance communiqué : • à la pièce Mf_c. • à l'outil. • Pénétration communiquée : • à l'outil. 	<ul style="list-style-type: none"> • à l'outil Mf_c. • à l'outil.

14. Les outils de tournage

14.1. Les tours

On peut les classer en deux catégories:

a) les tours parallèles à charioter et à fileter

Ils sont essentiellement utilisés dans les ateliers d'outillage ou de fabrication à l'unité.

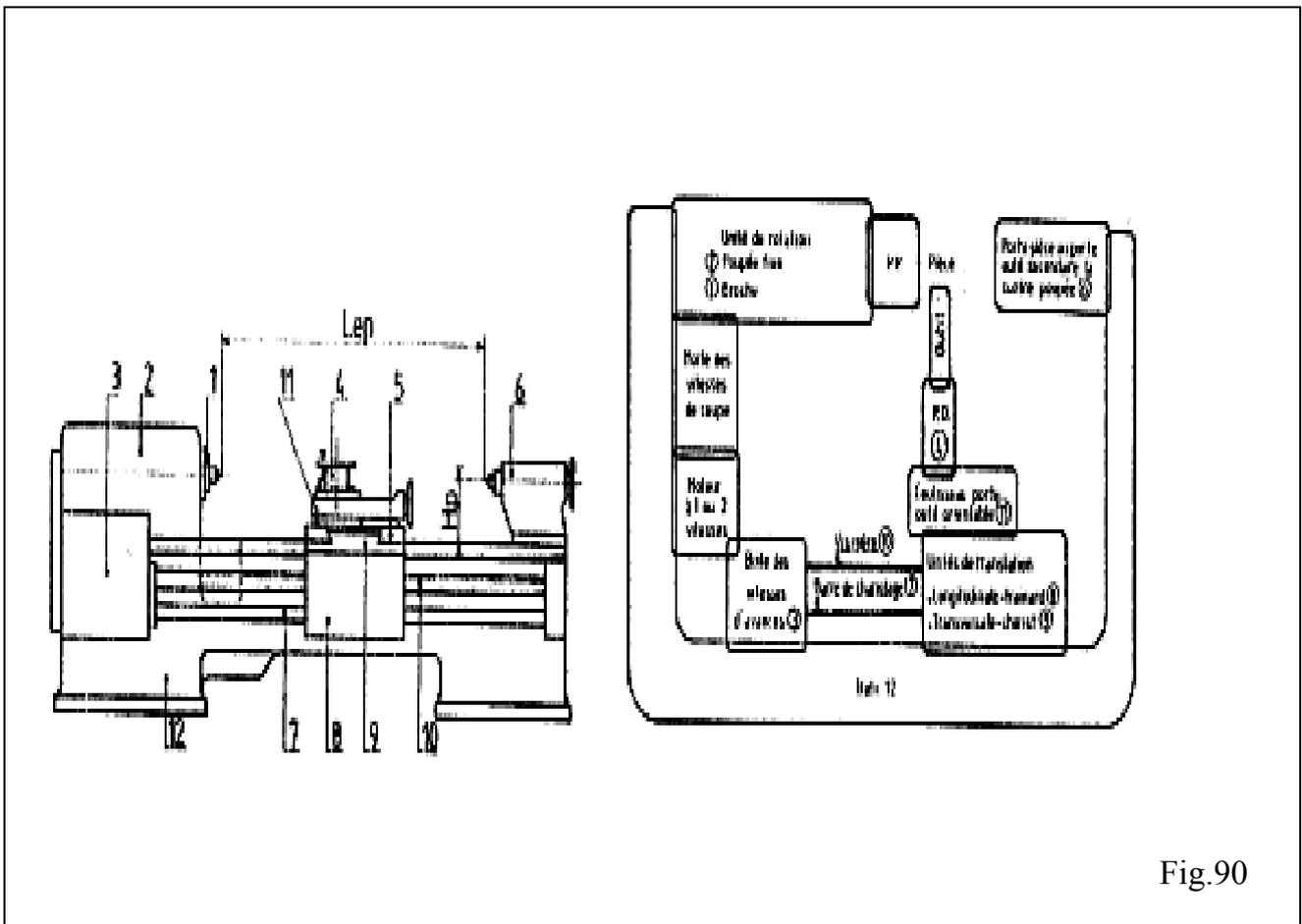


Fig.90

Principales caractéristiques

- Longueur entre points selon les modèles entre 0,5 à 10 m. Hauteur des points 160 à 500 mm caractérise le ϕ maximal des pièces usinables sur le tour. • Puissance du moteur 1 à 25 KW.

14.2 Les outils

Les outils les plus courants sont normalisés. Les parties actives sont des mises rapportées en: **Acier rapide** (NF E 66-361 à 373); **En carbure**, on distingue:

- Les plaquettes brasées, les outils les plus courants sont normalisés (NF E 66-331 à 343).
- Les plaquettes amovibles à jeter, les principales formes et dimensions sont normalisées.

En cermet, les plaquettes sont brasées ou à jeter;

En céramique, les plaquettes sont brasées ou à jeter; complément: Th. 1 et II, C

14.2.1. Outils en acier rapide pour travaux d'extérieur

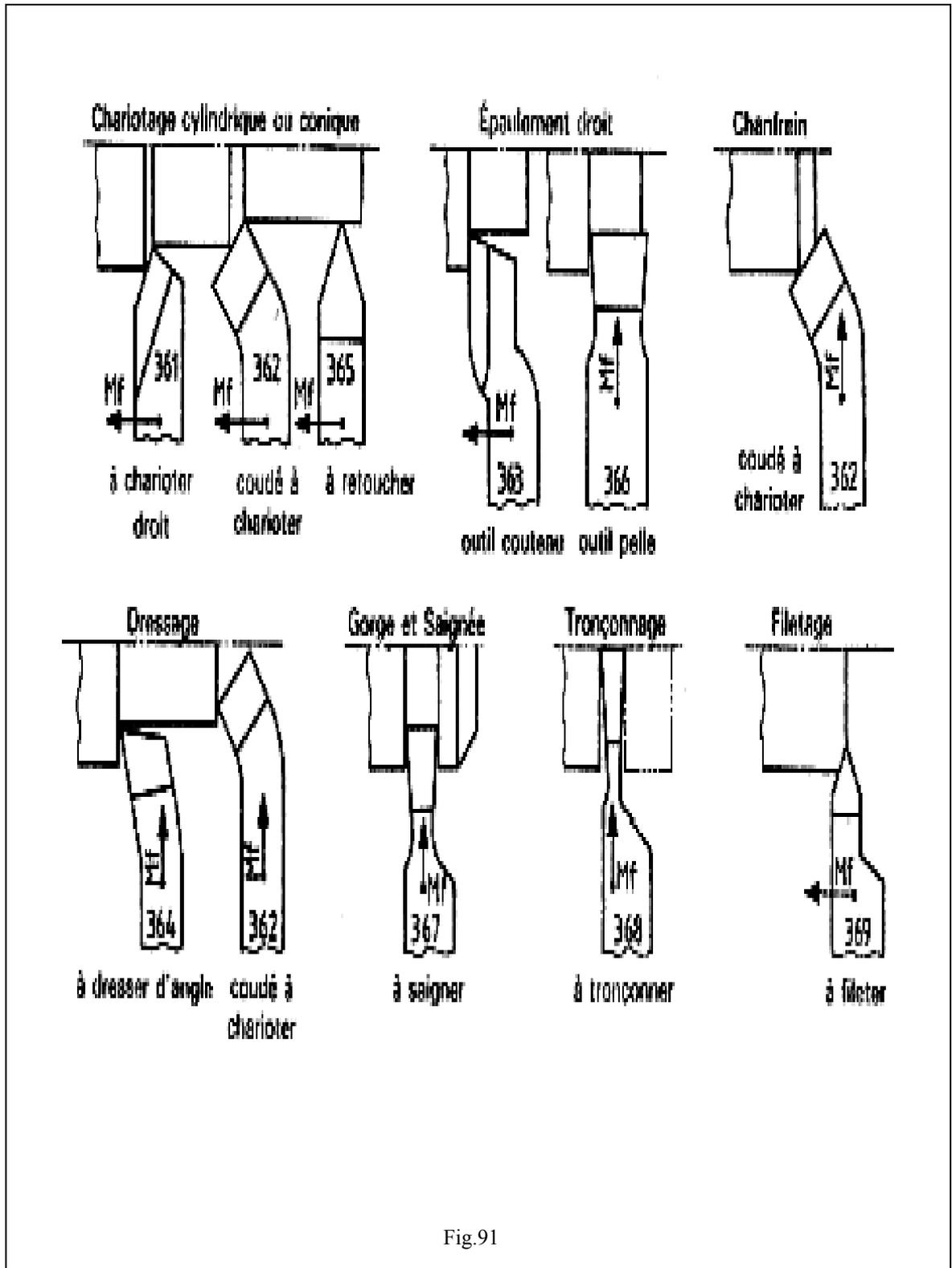


Fig.91

14.2.2 Outils en acier rapide pour travaux d'intérieur

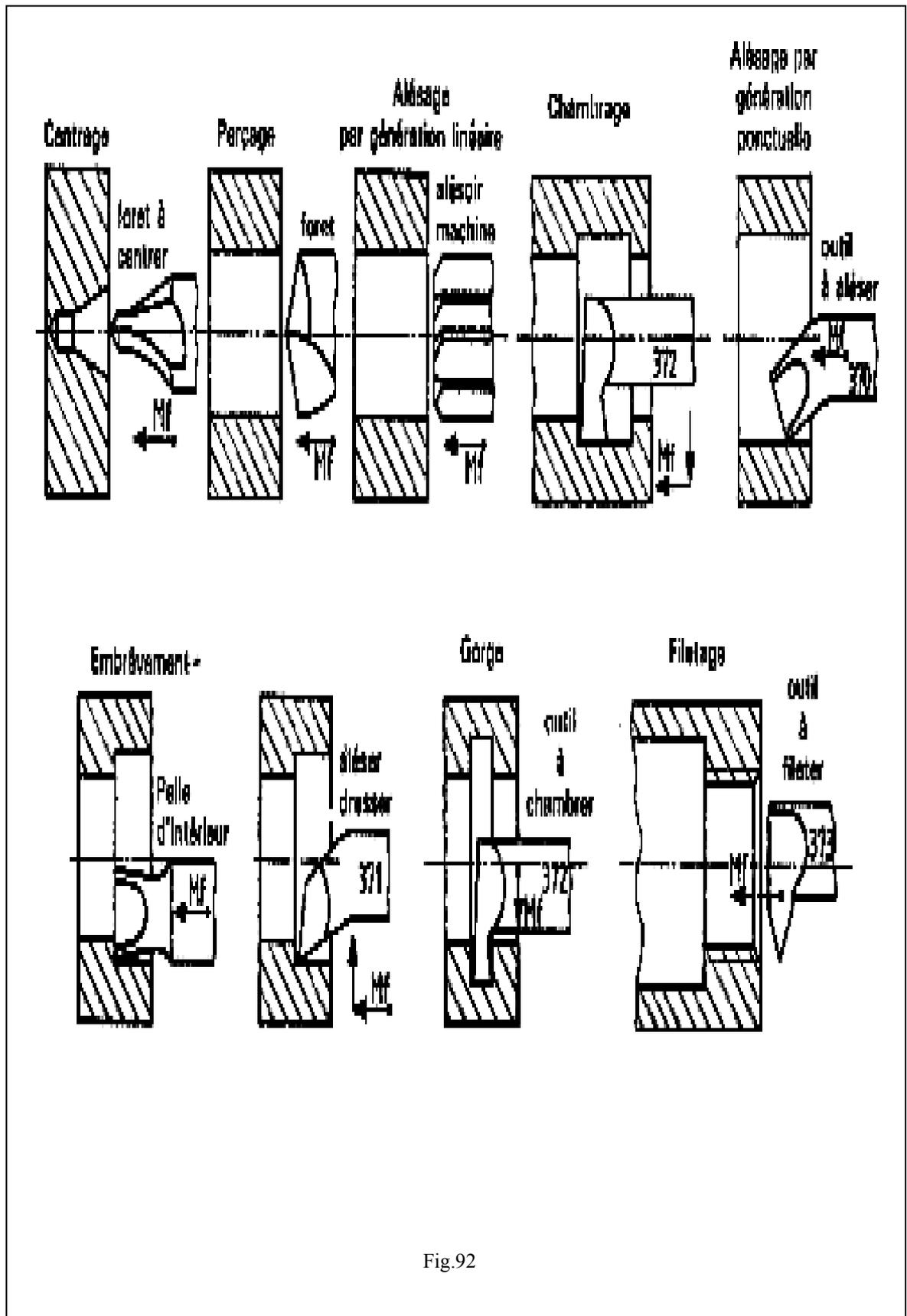


Fig.92

14.3. Génération des surfaces sur le tour

14.3.1 Formes extérieures

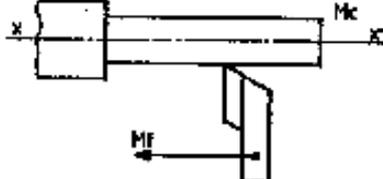
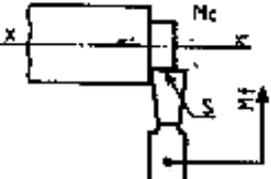
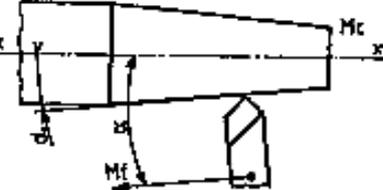
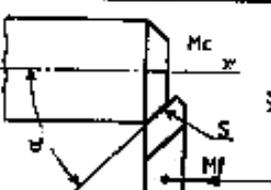
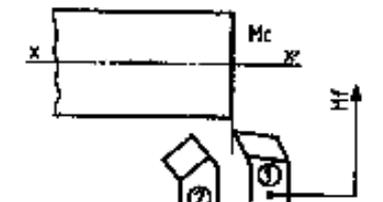
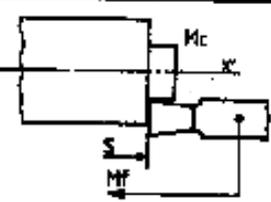
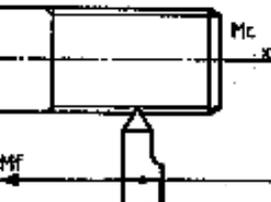
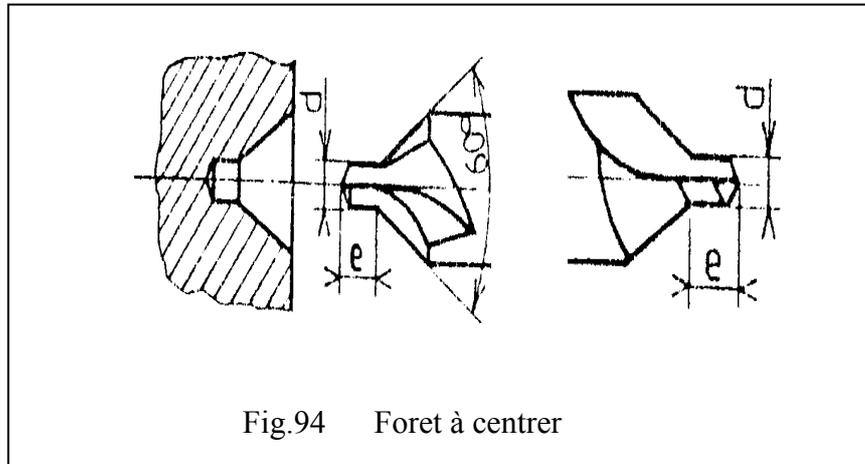
Formes des surfaces (opérations)	Outil d'enveloppe	Outil de forme
CYLINDRIQUES (cylindrage) <i>Conditions de réglage</i>	 <p>Trajectoire Mf parallèle à l'axe de rotation xx'.</p>	 <p>Arête de coupe S parallèle à xx'.</p>
Outils	Outil couteau ou à chariotier	Outil pelle $K_1 = 0^\circ$
CONIQUES <i>Conditions de réglage</i>	 <p>Trajectoire Mf de l'outil, inclinée suivant le demi-angle au sommet du cône à usiner.</p>	 <p>Arête de coupe S, inclinée suivant le demi-angle au sommet du cône à usiner.</p>
Outils	Outil couteau ou à chariotier	Outil à chariotier
PLANES (dressage) <i>Conditions de réglage</i>	 <p>Trajectoire Mf de l'outil perpendiculaire à l'axe de rotation xx'.</p>	 <p>Arête de coupe $S \perp$ à l'axe de rotation xx'.</p>
Outils	Outil à dresser ① ou coudé à chariotier ②	Outil pelle
HÉLICOÏDALES <i>Conditions de réglage</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Outil de forme à filer. • Profil de l'outil identique au profil du filet à obtenir sur la pièce. 	
Conditions de réglage	<ul style="list-style-type: none"> • Avance par tour f égale au pas du filetage à réaliser. • Trajectoire Mf parallèle à xx'. 	

Fig.93

14.3.2. Formes intérieures

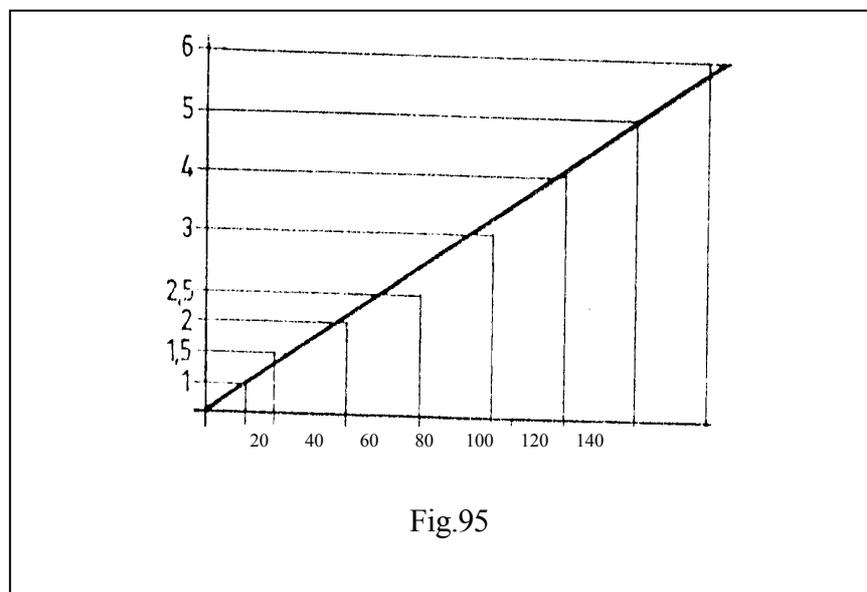
14.3.2.1. Le centrage

Les centres sont exécutés avec un foret à centrer (fig.94). La dimension du centre dépend de la masse de la pièce et du nombre d'utilisation de cet élément de reprise.



Deux cas d'utilisation des trous de centre

1. Les trous du centre servent à la mise en position "entre pointes" de la pièce. Le diamètre des trous de centre est choisi en fonction du Ø de la pièce (fig.95).



Les trous de centre deviennent les surfaces de références de mise en position de la pièce, ils doivent être correctement alignés (fig.96).

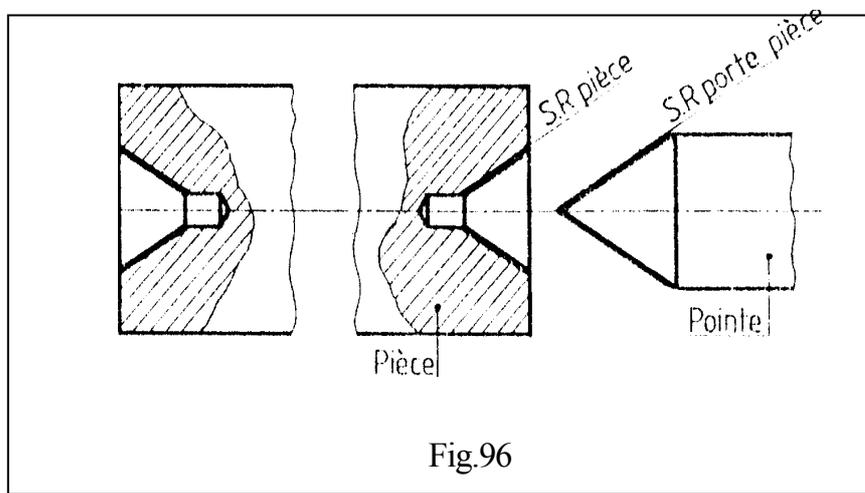


Fig.96

2. Les trous du centre servent au guidage au mouvement de l'attaque du forêt (fig.97)

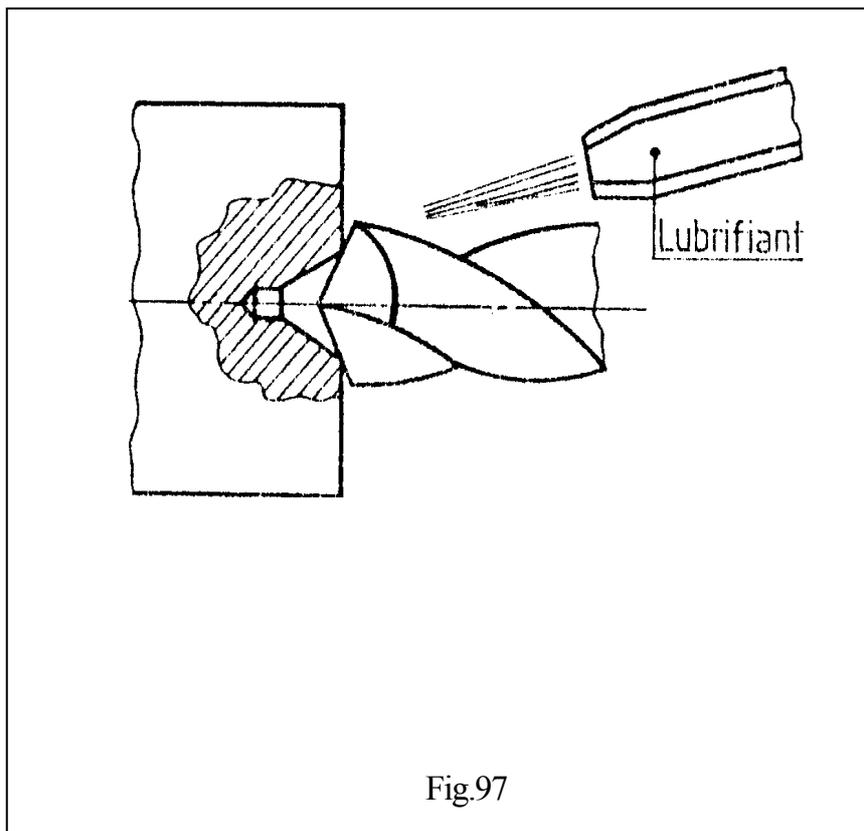


Fig.97

14.3.2.2 Le perçage

Le forêt est monté dans la contre-pointe. Le mouvement d'avance est manuel, la buse d'arrosage doit être orienter pour conduire le plus rapidement possible le lubrifiant vers la partie active de l'outil. Malgré tout le refroidissement de la partie active, l'évacuation des copeaux s'effectuent difficilement. Des opérations de "débouillage" (recul du forêt et évacuation des copeaux) sont nécessaires lors des perçages profonds

14.3.2.3. Les opérations d'alésage, dressage, chambrage

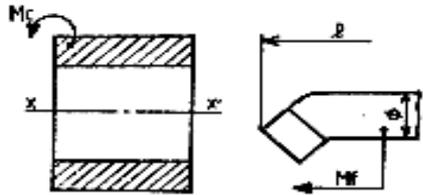
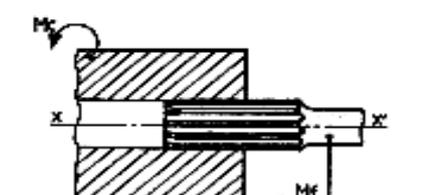
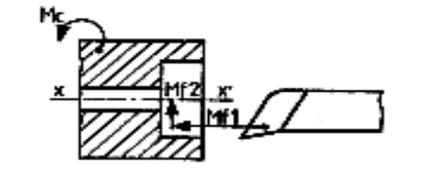
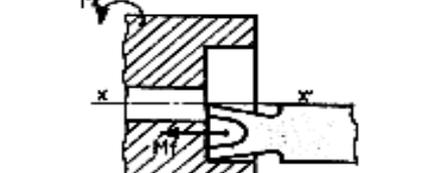
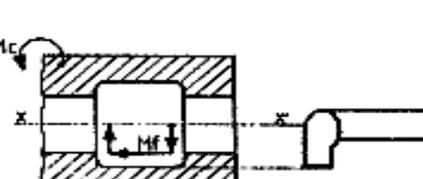
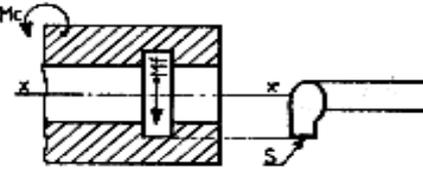
Opérations	Outil d'enveloppe	Outil de forme
<p>Surface cylindrique intérieure (alésage)</p> <p>Conditions de réglage</p>	 <p>Axe de rotation xx' parallèle à la trajectoire Mf.</p>	 <p>Axe de rotation xx' parallèle à la trajectoire Mf.</p>
Outils	Outil à aléser. Choisir les dimensions maximales pour limiter la flexion	Alésoir machine d'ébauche (foret alésoir) ou de finition
<p>Surface cylindrique et plane (Embrèvement)</p> <p>Conditions de réglage</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • Trajectoire Mf, parallèle à l'axe de rotation xx'. • Trajectoire Mf, perpendiculaire à l'axe de rotation xx'. 	 <ul style="list-style-type: none"> • Arête de coupe perpendiculaire à l'axe xx'. • Trajectoire Mf parallèle à xx'.
Outils	Outil à aléser dresser, choisir la dimension maximale pour limiter la flexion	Outil pelle d'intérieur
Chambrage et gorge		 <p>En général l'arête de coupe S est réglée parallèle à xx'.</p>
Outils	Outil à chambrer d'intérieur choisir les dimensions maximales pour limiter la flexion	Outil à gorge d'intérieur

Fig.98

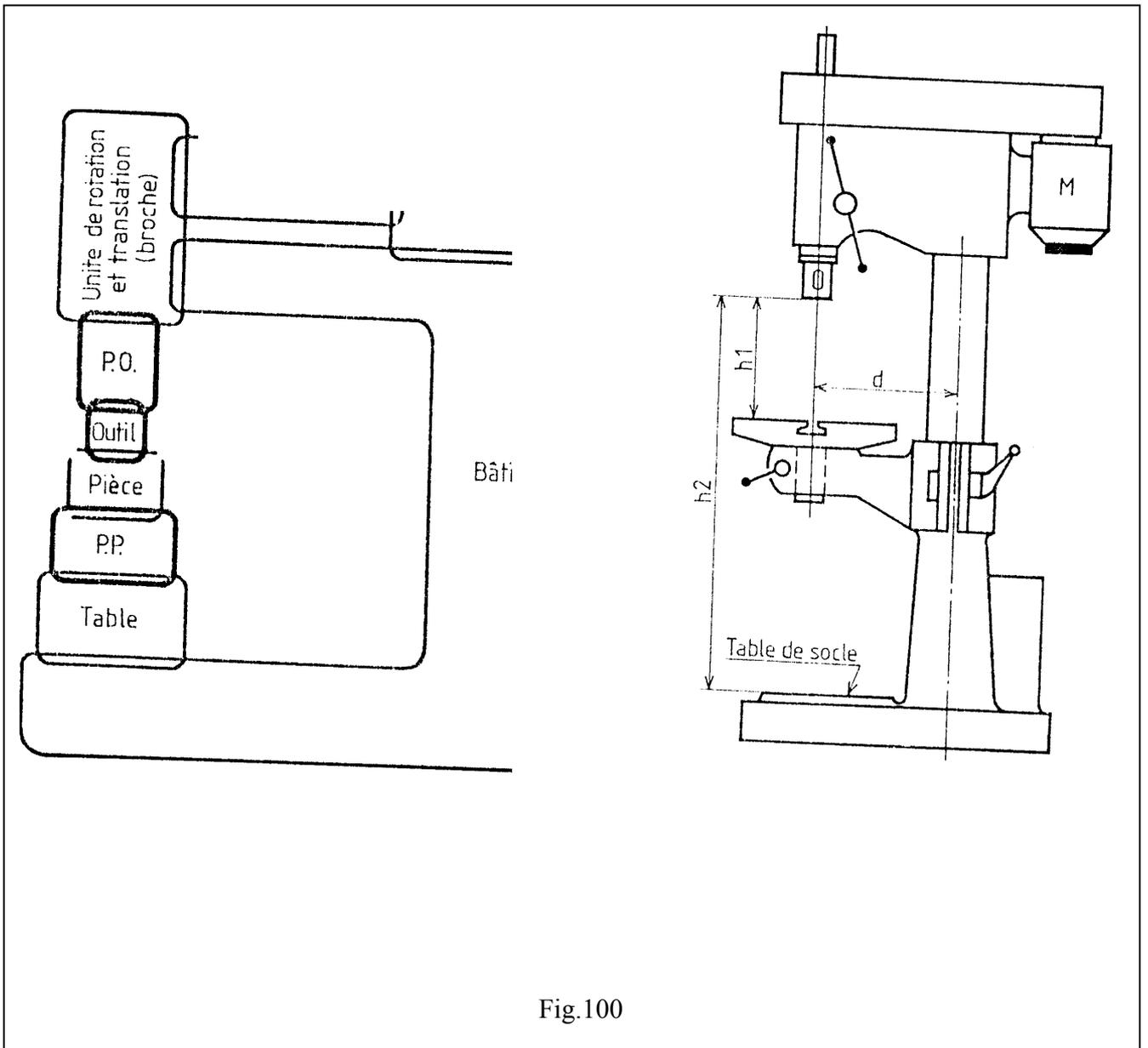


Fig.100

Perceuses sensibles à colonnes La descente de l'outil est manuelle, elle est communiquée à la broche porte-outil par un levier sensitif, la capacité de perçage est limitée à 15mm. Pour les perceuses à montant, elles possèdent un dispositif d'avance automatique, leur capacité de perçage peut atteindre 70mm.

15.2. Génération des formes percées.

Principales formes percées

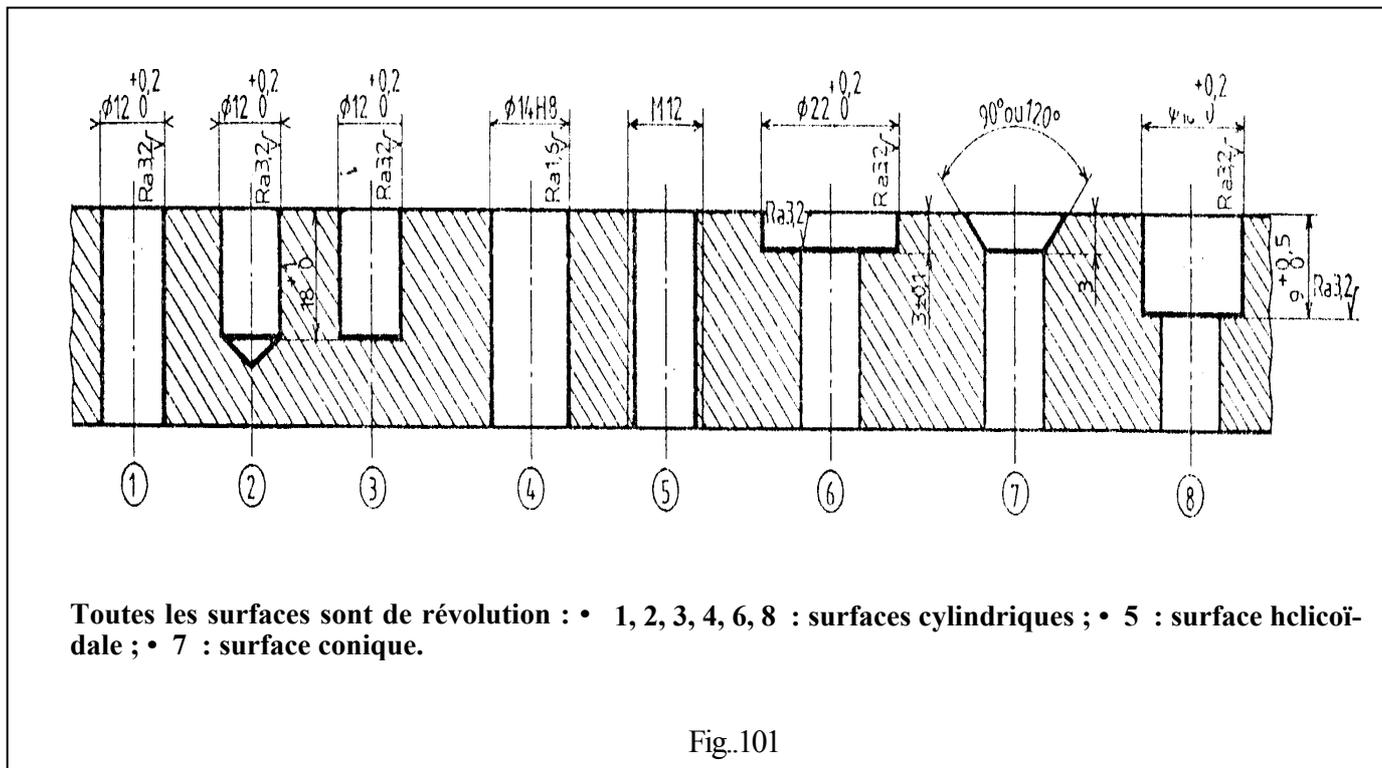


Fig.101

15.3. Forets

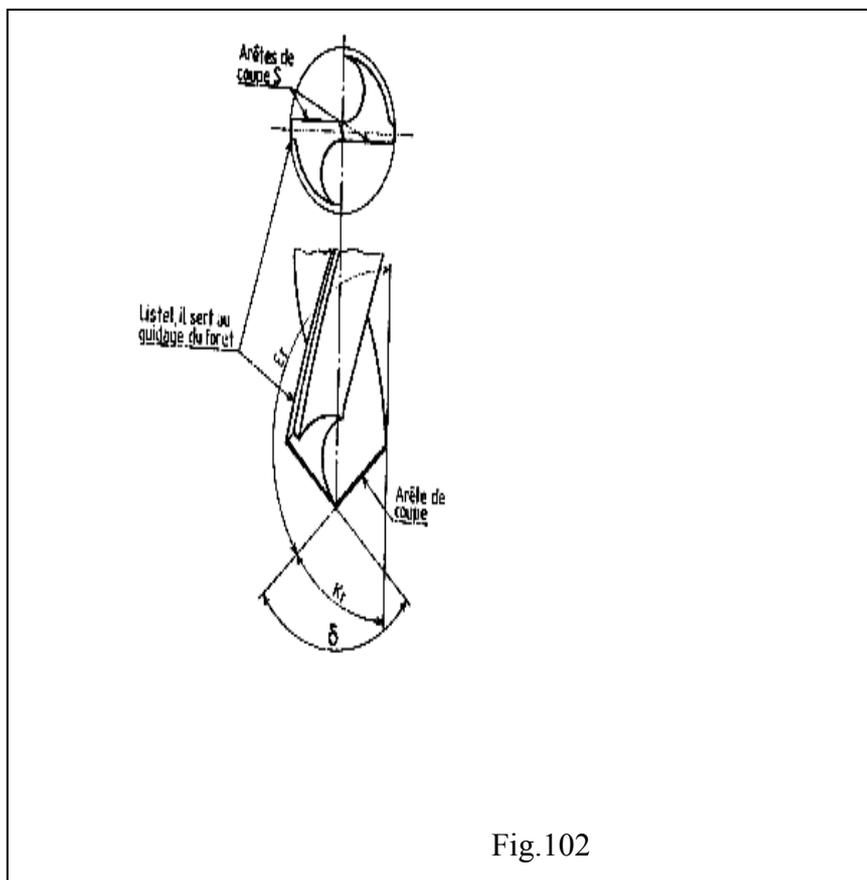


Fig.102

Foret hélicoïdal, la queue est cylindrique pour les $0 < 13$ et au cône Morse pour les $0 > 13$ (caractéristiques de la partie active).

- **L'angle de pointe** σ_r et le pas de l'hélice sont choisis en fonction du matériau à usiner. Pour l'usinage des aciers $R_m < 900 \text{ N/mm}^2$, l'angle au sommet \hat{O} varie entre 116 et 118° .

Matériaux: Les forets en aciers rapides nuances 6-5-2 et 2-8-2 sont couramment utilisés pour usiner les matériaux jusqu'à $R^{\wedge} = 1000 \text{ N/mm}^2$; - Les forets en carbures permettent d'usiner des aciers jusqu'à $R_m = 1800 \text{ N/mm}^2$

- **Usinage du trou à fond plat, deux solutions.**

1. perçage à une profondeur $h_1 = h - 0/2$ avec un foret afûté normalement et finition du trou avec un foret dont l'angle au sommet est $\hat{o} = 180^\circ$, (angle de pointe $e_r = 90^\circ$) (fig.).

2. Le perçage avec une fraise 2 lèvres est possible si la profondeur du trou h est < 20 .

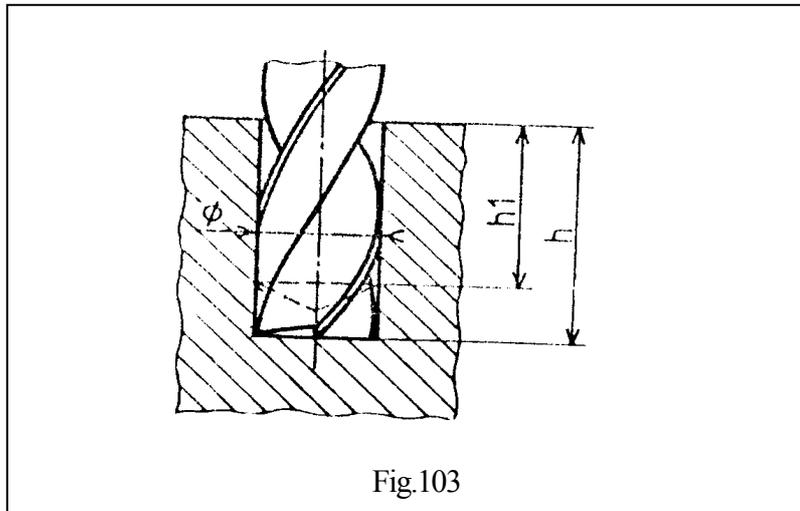


Fig.103

La vitesse de coupe et l'avance sont choisies en fonction des matériaux à usiner. La valeur moyenne de l'avance en mm par tour varie entre $0,040$ pour les petits diamètres et $0,010$ pour les gros diamètres de forets. Un trou de précision H9, H10, H11 et de rugosité $R_a = 3.2 + 6.4$ peut s'obtenir facilement par perçage.

Il existe quatre séries de longueur de forets:

- série courte et extra - courte : les outils sont moins sensibles au flambage;
- série normale : ce sont les plus utilisés;
- série longue : pour le perçage des profonds.

A partir d'une profondeur $h > 40$, le trou peut être considéré comme profond. Les problèmes d'exécution deviennent de plus en plus difficiles à résoudre au fur et à mesure que la profondeur croît.

Les précautions à prendre sont fonctions des difficultés rencontrées.

1- Le foret série longue est sensible au flambage en début d'opération.

Remède : guider l'outil ou amorcer le trou avec un foret ordinaire.

2- La déformation de l'outil par torsion augmente les risques de cassures.

Remède : diminuer la valeur de l'avance par tour.

3- L'évacuation des copeaux est difficile.

Remède: débouillage fréquent.

4- Le refroidissement de la partie active est difficile.

Remède: amener le liquide sous pression par des trous (foret à trou d'huile) ou refroidir le foret au moment du débouillage.

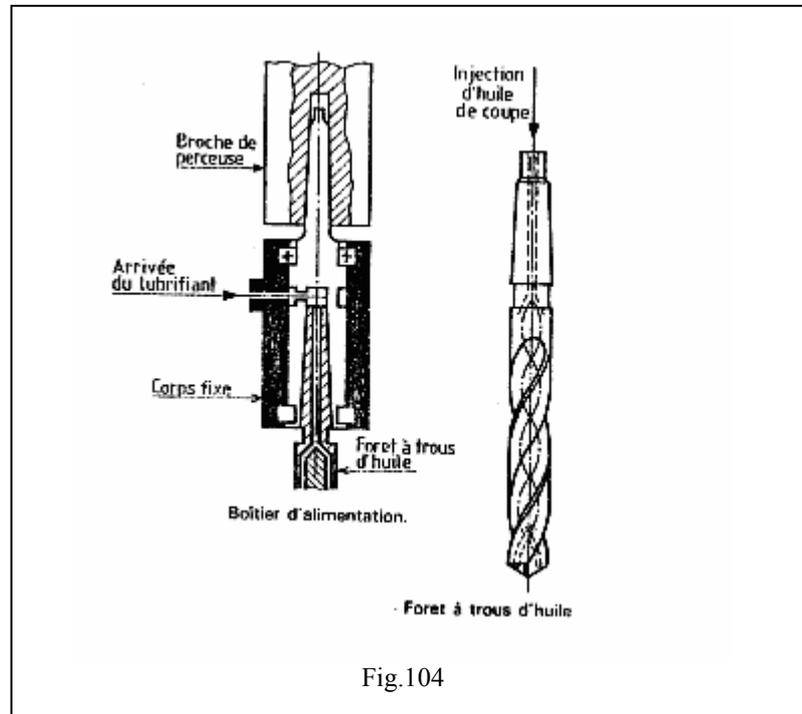


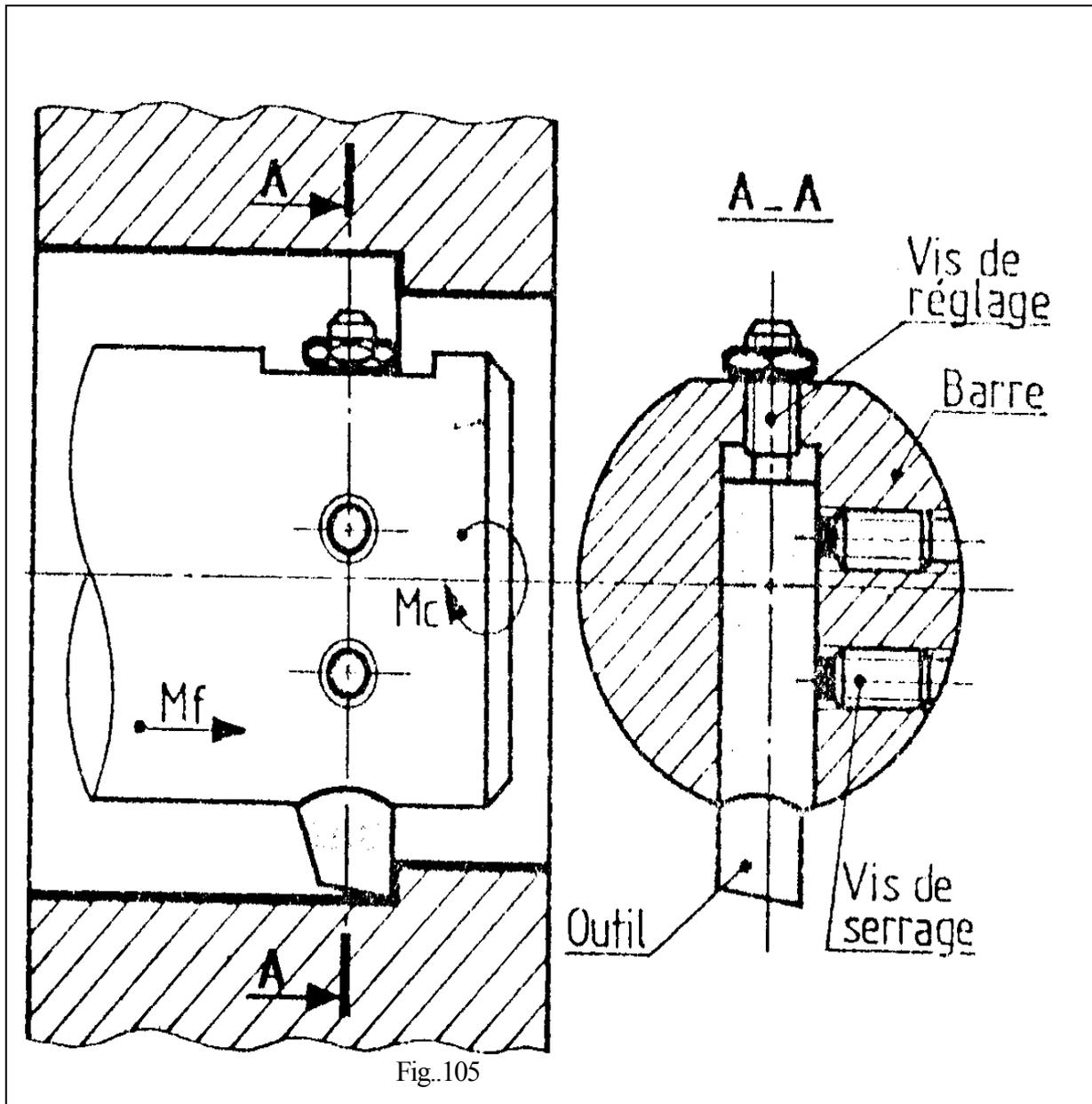
Fig.104

15.4. Usinage des surfaces

La précision dimensionnelle et de rugosité du trou conduit à réaliser une opération de finition par alésage.

15.4.1. Outils d'enveloppe

Ils sont dérivés des outils d'alésage. Ils sont montés généralement sur des barres d'alésage ou sur des têtes à aléser. Leurs conditions de coupe sont celles des outils de tour. Ils sont utilisés essentiellement sur fraiseuses ou aléseuses.



15.4.2. Outils de forme

Les alésoirs sont des outils de forme qui comportent plusieurs arêtes de coupe. Us sont réalisés en acier rapide ou en carbures. Ils sont monoblocs ou manchon. On trouve des alésoirs spécialisés dans les travaux: d'ébauche et de finition.

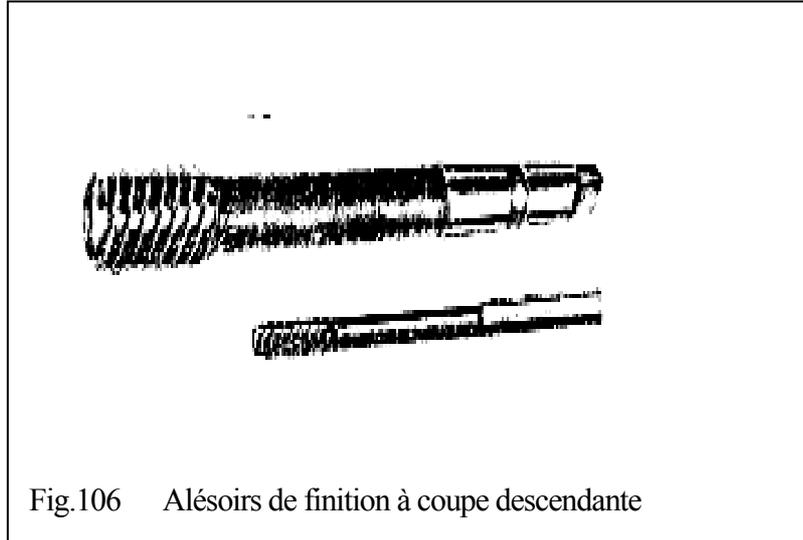


Fig.106 Alésoirs de finition à coupe descendante

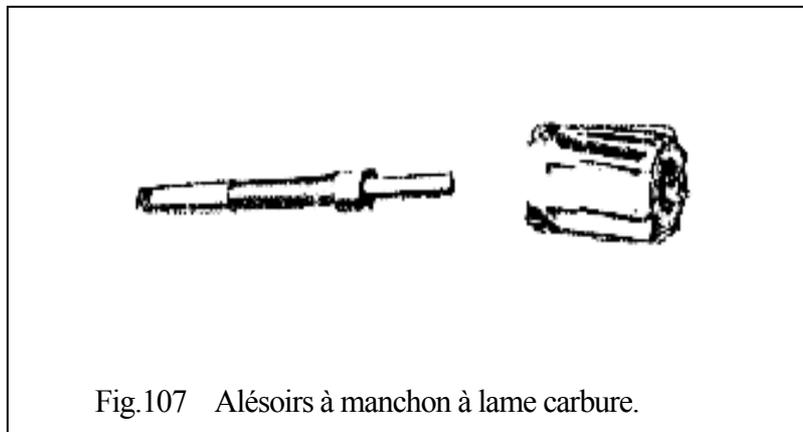


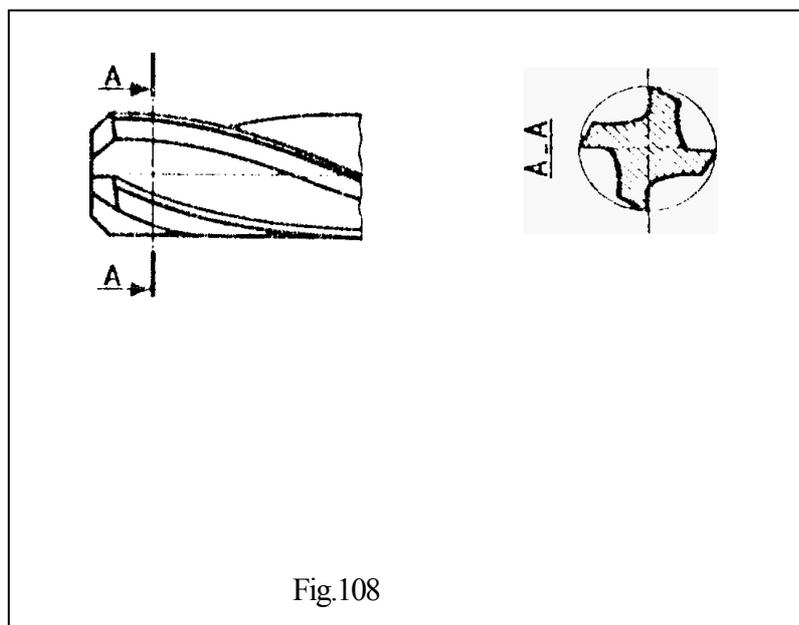
Fig.107 Alésoirs à manchon à lame carbure.

1. l'alésoir d'ébauche: Il travail en bout à la manière d'un foret, $K_r \ll 60^\circ$. Il est utilisé pour agrandir des trous bruts de fonderie ou percés sans précision de position.

2. L'alésoir de finition : Il travail plutôt sur la périphérie, ($K_r \ll 6$ à 8).

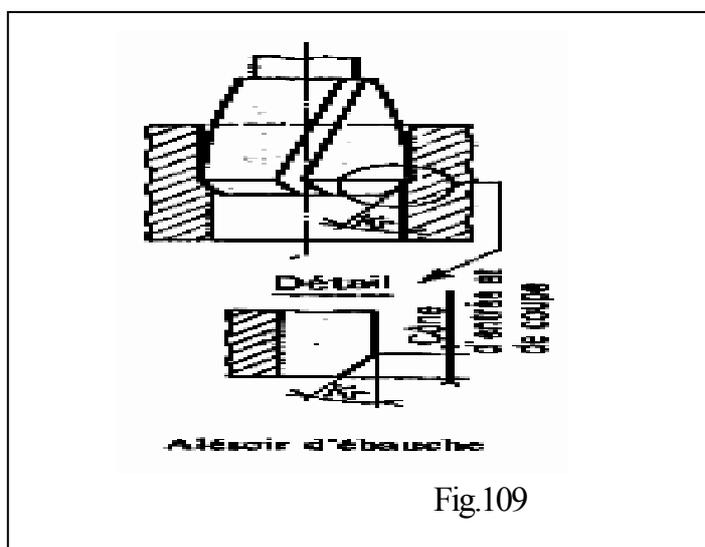
Il donne à l'alésage sa dimension (H 7 ou H 8) et sa rugosité finale (Ra 0,8 à 1,6).

L'alésoir de finition suit l'axe engendré par l'outil précédent. Il garantit la forme et la dimension, mais conserve la position.



2. Le foret alésoir. Il comporte trois ou quatre arêtes de coupe et travaille de la même façon que le foret de perçage. La partie centrale du bout du foret ne coupe pas. Il est utilisé pour réaliser: - La demi-finition des trous déjà percés si $IT < \text{indice de qualité } 8$;

- La finition des trous déjà percés si $8 < IT < 11$.

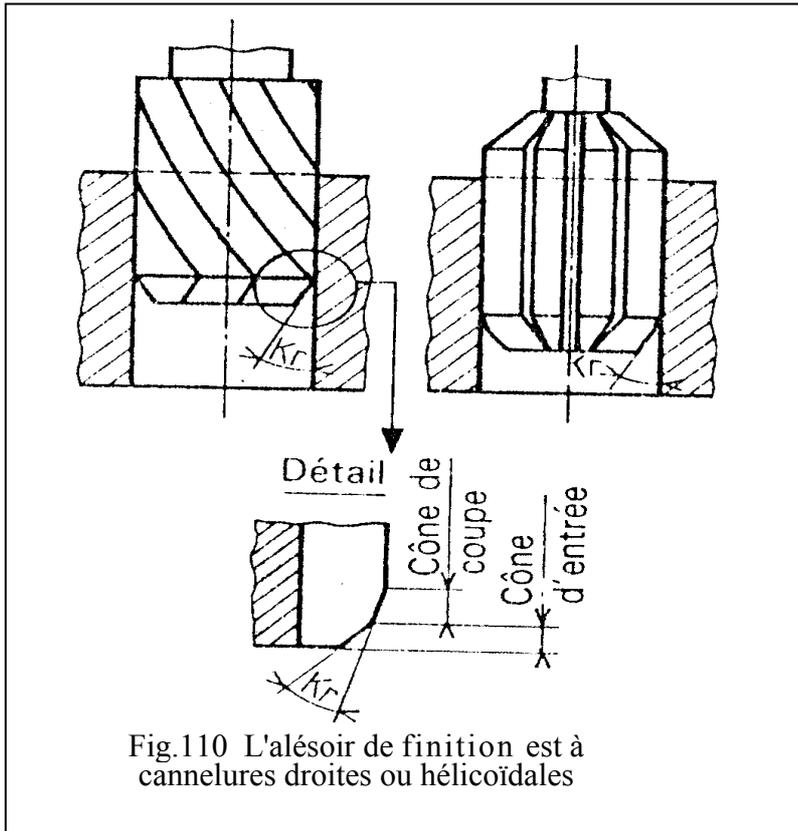


Nota: Cet outil est plus intéressant à utiliser que l'alésoir d'ébauche si la tolérance du trou est supérieure à la qualité 8 (8,9,10) car dans ce cas on supprime l'alésage de finition.

Règle: Pour obtenir un alésage à la qualité souhaitée, il est indispensable que l'alésoir de finition enlève sur le rayon une surépaisseur de matière e . Le diamètre d'ébauche devient:

$$\varnothing_E = \varnothing - 2e$$

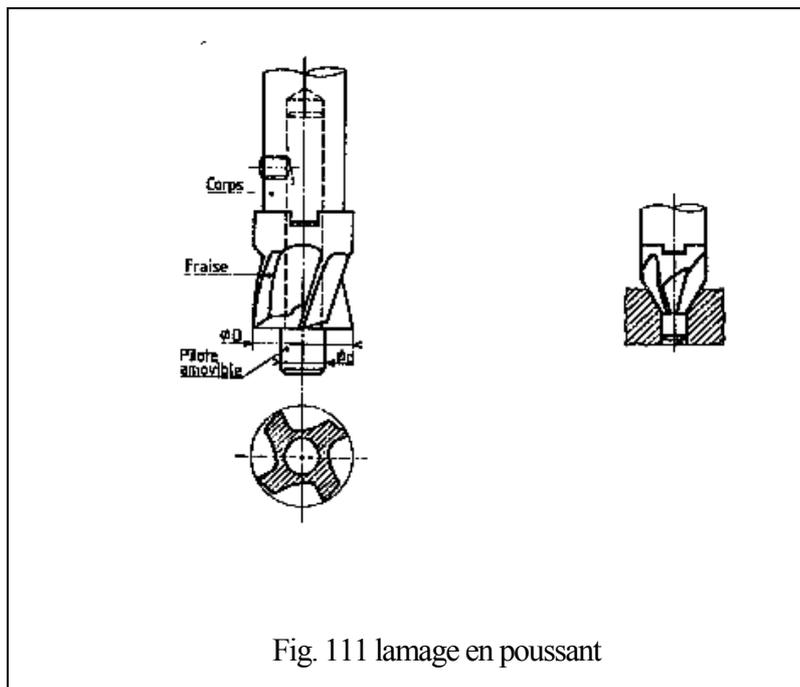
\varnothing d'alésage fini	Surépaisseur au rayon e
$\varnothing < 5$	0,1
$5 < \varnothing < 10$	0,1 à 0,15
$10 < \varnothing < 20$	0,15 à 0,25
$20 < \varnothing < 30$	0,25 à 0,30
$30 < \varnothing < 40$	0,30 à 0,35
$40 < \varnothing < 50$	0,35 à 0,40



15.5. Usinage des lamages cylindriques et du fraisage conique

15.5.1. Outils Les fraises à lamer cylindriques ou coniques:

La partie active est amovible, le guidage de la fraise dans le perçage est assuré par un pilote .Elles ne sont pas conçues pour faire des lamages profonds. Elles peuvent travailler en poussant ou en tirant.



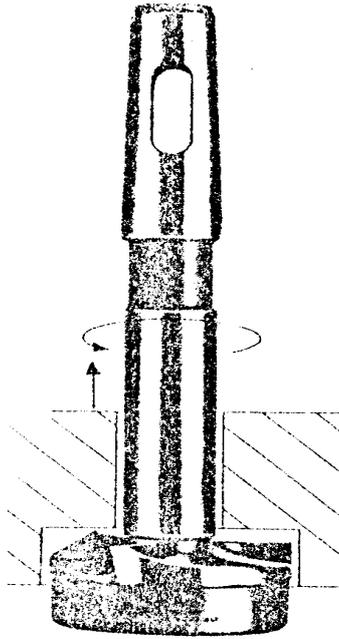


Fig. 112 lamage en tirant, à chaque opération les fraises sont montées et fixées par un dispositif à serrage rapide.

Les fraises à lamer pour logements de vis cylindriques CHC elles sont monoblocs à queue cylindrique ou

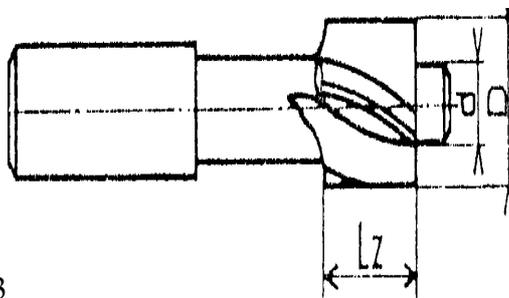


Fig.113

Les fraises coniques sans pilote

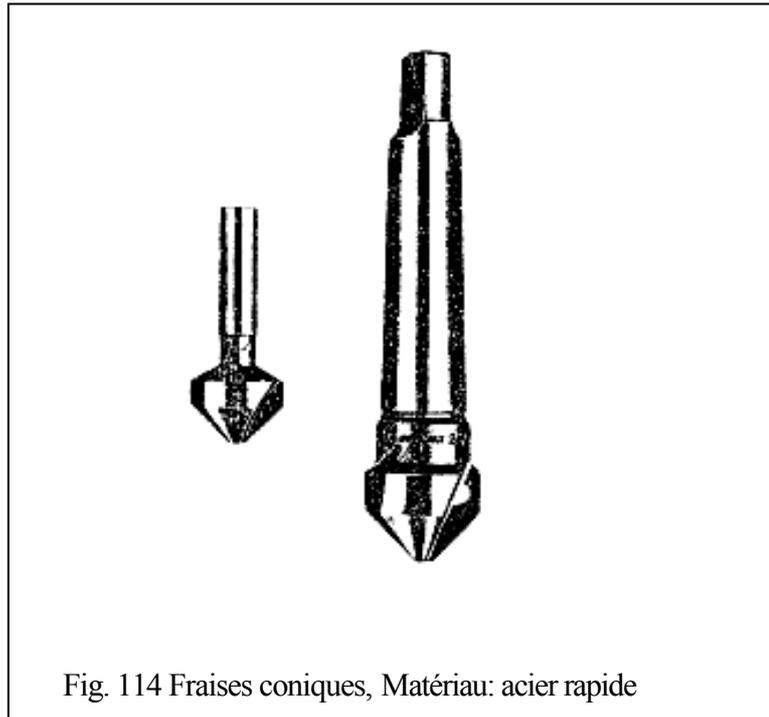


Fig. 114 Fraises coniques, Matériau: acier rapide

Règle: Le perçage doit toujours être exécuté avant le lamage

15.2.2 Conditions de travail des fraises à lamer

Vitesse de coupe en lamage

V en lamage = $1/2 V$ en perçage.

Exemple:

Si V en perçage = 30 m/min

V en lamage = 15 m/min

Avance par tour faible 0,05 à 0,1 mm, les outils sont fragiles et peu productifs.

Au cours de l'opération de lamage, des copeaux peuvent se loger entre le pilote et le trou servant au guidage, il s'en suit une légère détérioration de ce dernier.

Règle: On ne doit jamais utiliser un trou alésé pour guider une fraise à lamer. L'opération de lamage doit précéder l'opération d'alésage de finition.

16. Outils de fraisage (Fraises)

16.1. Les fraiseuses

Elles peuvent être classées en deux grandes catégories.

- **Les fraises de production:** destinées au travail en série, elles sont à broche verticale ou horizontale, les mouvements des chariots sont en général automatisés.

- **Les fraises universelles:** elles sont généralement utilisées dans les ateliers d'outillage. Elles tirent leur nom de la position verticale que peut prendre l'axe de la broche porte-outil et de la variété des surfaces qu'elles sont susceptibles d'usiner (planes, cylindriques, hélicoïdales, de forme...

Les fraises universelles peuvent travailler avec l'axe fraise horizontal, par fixation d'une tête universelle, l'axe broche peut prendre une position verticale ou oblique.

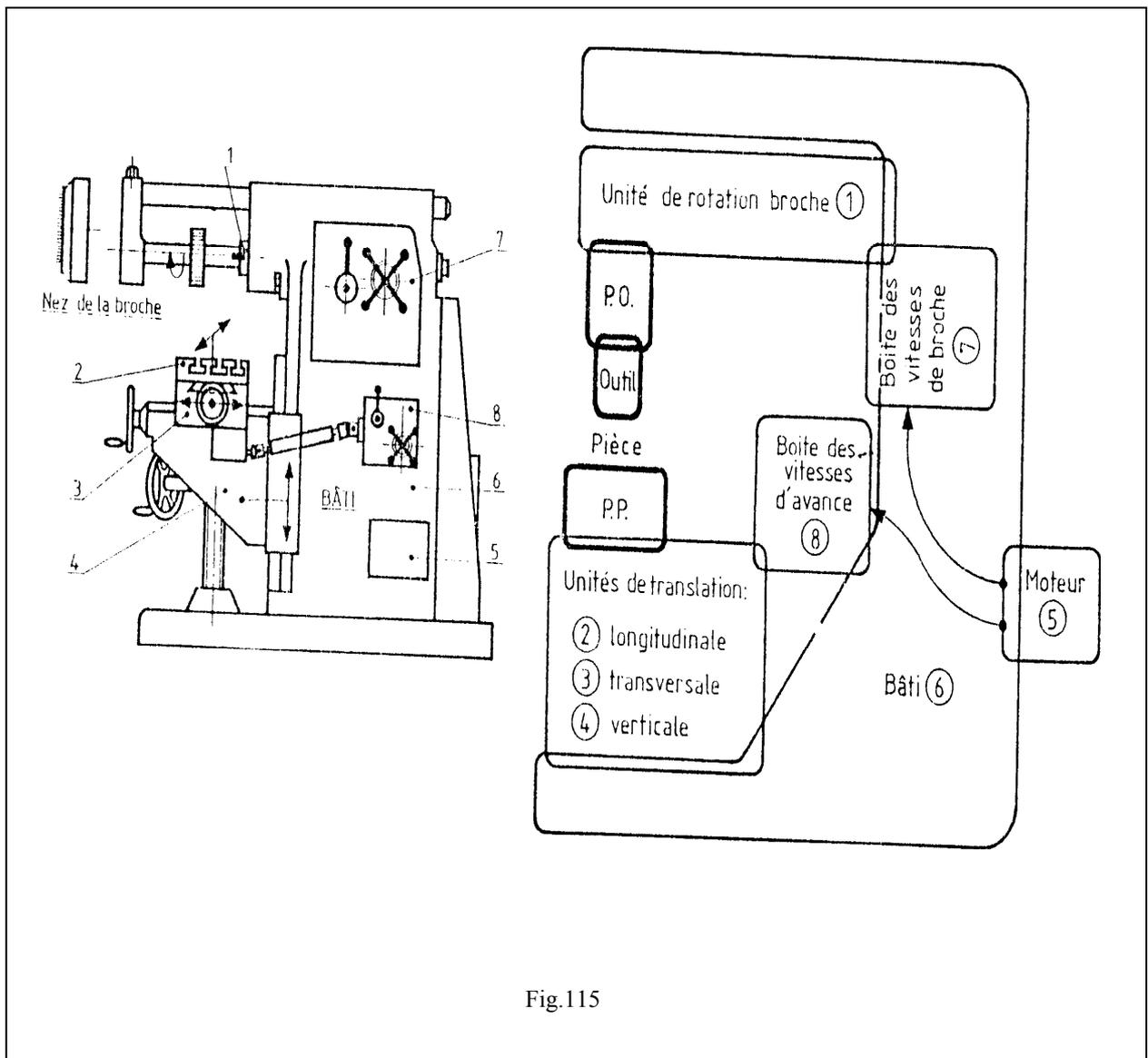
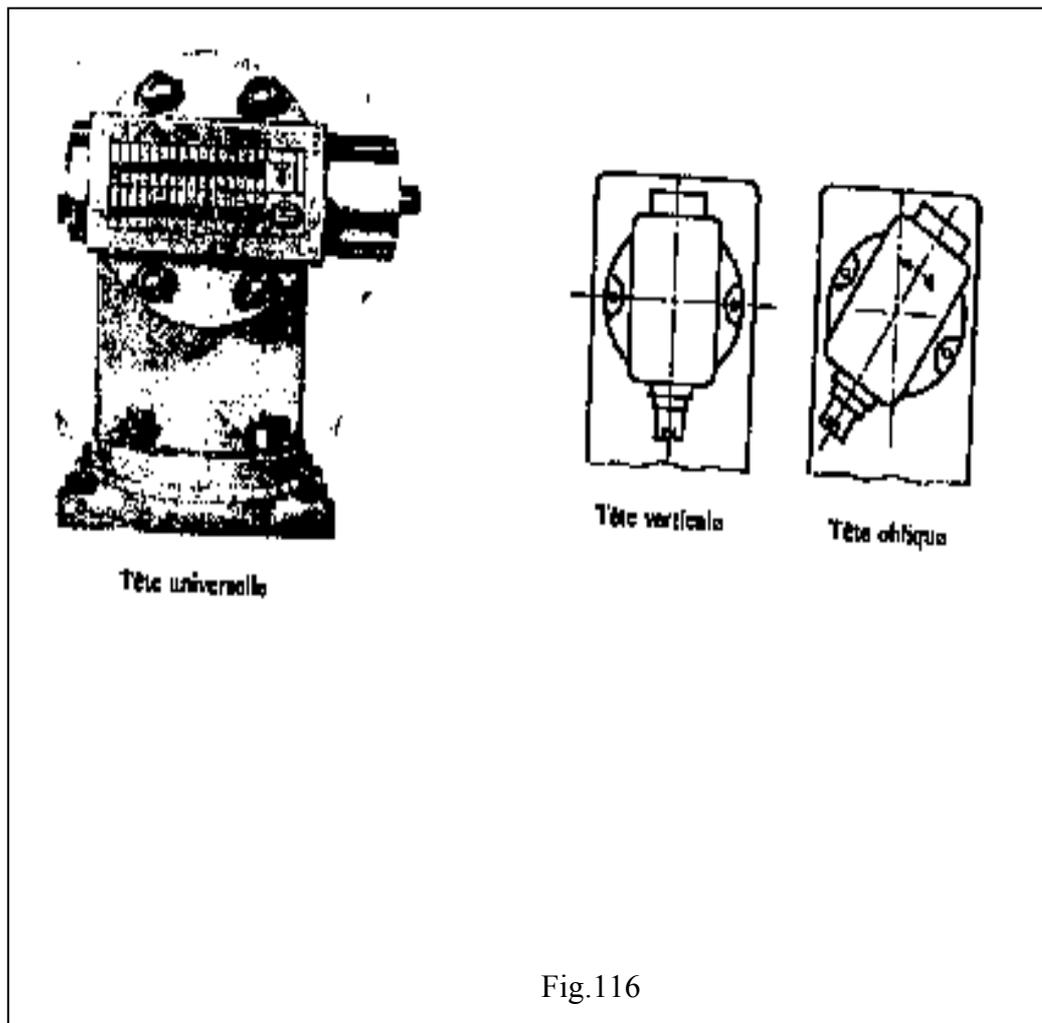
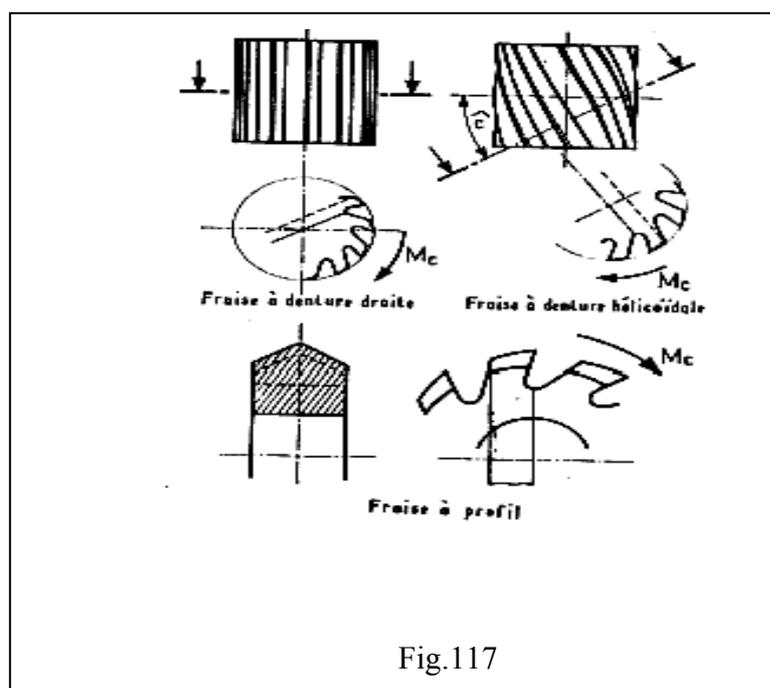


Fig.115



16.2. Les fraises

Pour chaque type de fraise, chaque dent est un outil de coupe sur lequel on retrouve les angles caractéristiques définis pour l'outil pelle.



Choix des fraises en fonction de l'opération à effectuer.

DESIGNATION	UTILISATION	DESIGNATION	UTILISATION
Fraise à lèvres à queue Fig. A	Rainures de clavetage	Fraises de forme à denture détalonnée ; Fraises disque Fig. J	Taillage d'engrenage dent par dent
Fraise deux tailles bout à queue Fig. B	Surfaçage en bout excellent fini. Usinage mixte en bout et de côté jusqu'à \varnothing 40 mm	Fraise vis mère Fig. K	Taillage des engrenages par génération
Fraise deux tailles en bout détachable Fig. C	Surfaçage excellent fini pour usinage mixte en bout et de côté	Fraise à fileter Fig. L	Fraisage l'écissage court extérieur et intérieur
Fraise deux tailles à lames rapportées Fig. D	Surfaçage	Fraise WOODRUFF Fig. M	Rainures pour clavette disque
Fraise deux tailles Fig. E	Accoupler pour mise à épaisseur	Fraise pour rainure en T Fig. N	Rainures en T
Fraise rouleau Fig. F	Surfaçage soit seule soit 2 fraises	Fraise conique Fig. O	Rainures diverses Rainures à queue d'aronde
Fraise une taille Fig. G		Fraise biconique Fig. P	Rainures diverses
Fraise trois tailles Fig. H	Défonçage et rainurage Rainures de précision	Fraise spéciale Fig. Q	Profils divers
Fraise scie Fig. I	Exécution de rainures Tronçonnage	Fraise à arrondir Fig. R	Entrée de dents d'engrenages
		Fraise spéciale Fig. S	Réparation moteurs à explosion

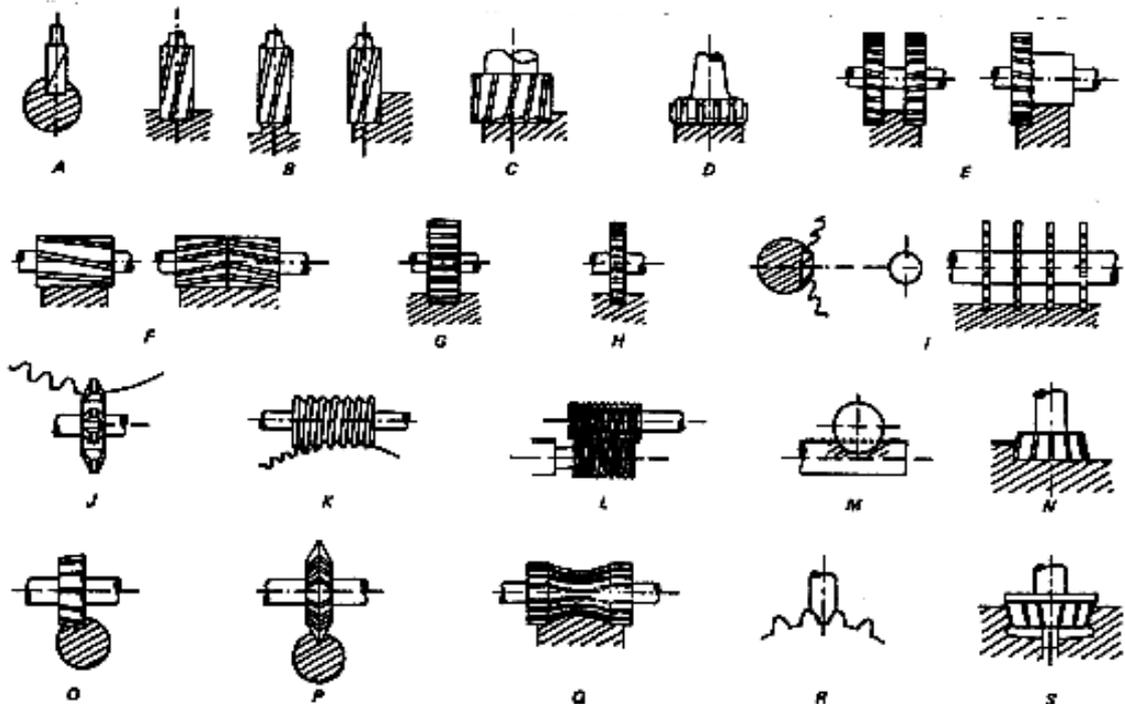


Fig. 118

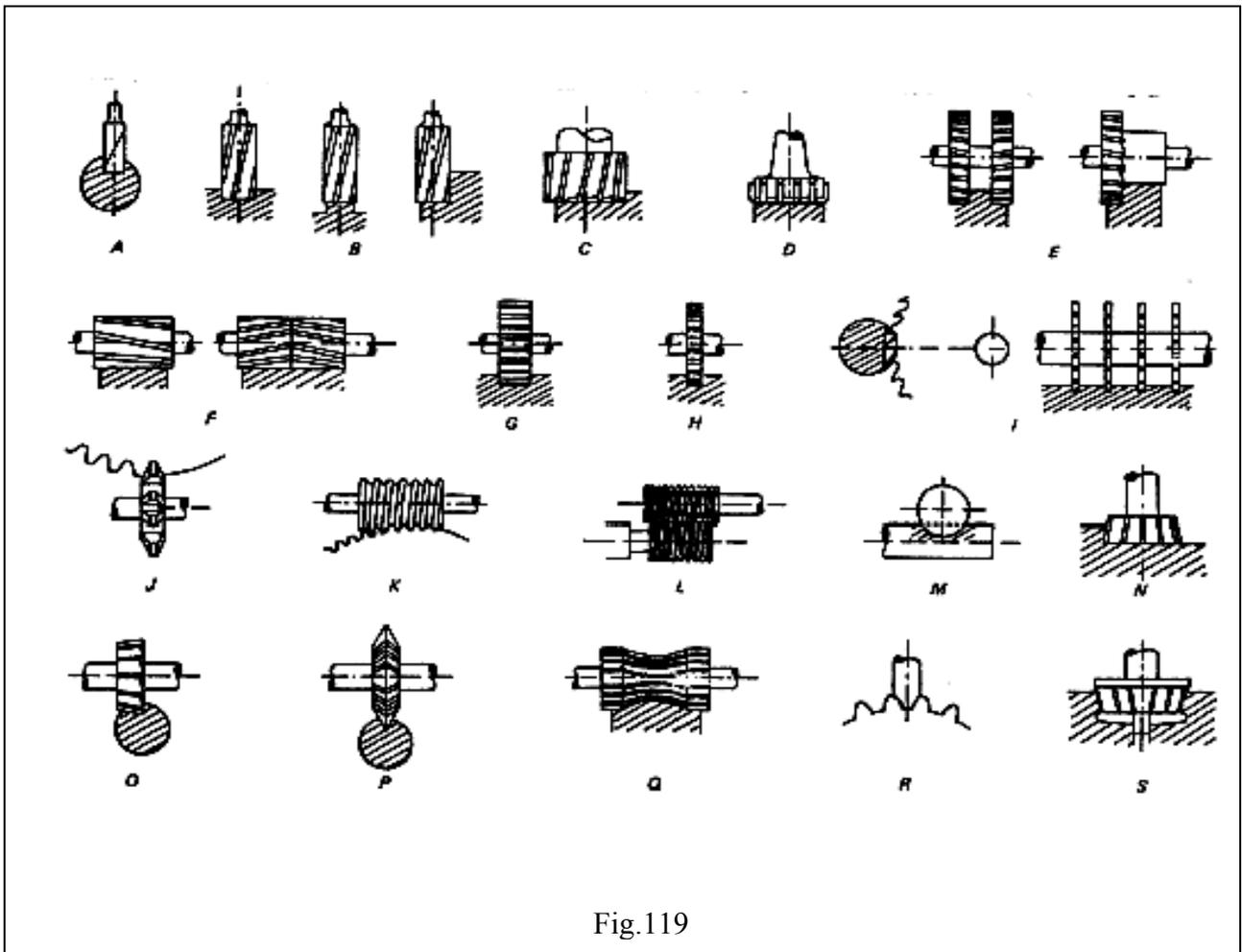


Fig.119

16.3.Génération des surfaces planes

Fraisage en "bout" (ou de face).

16.3.1.Outils

On distingue trois catégories:

Les fraises deux tailles; elles possèdent deux dentures diamètre maximum 80, elles sont monoblocs.

Les fraises cloches à surfacer; elles sont monoblocs 0 63 à 160.

Les fraises à surfacer à outils rapportés ou "fraise tourteau" ; elles sont utilisées pour l'usinage des grandes surfaces

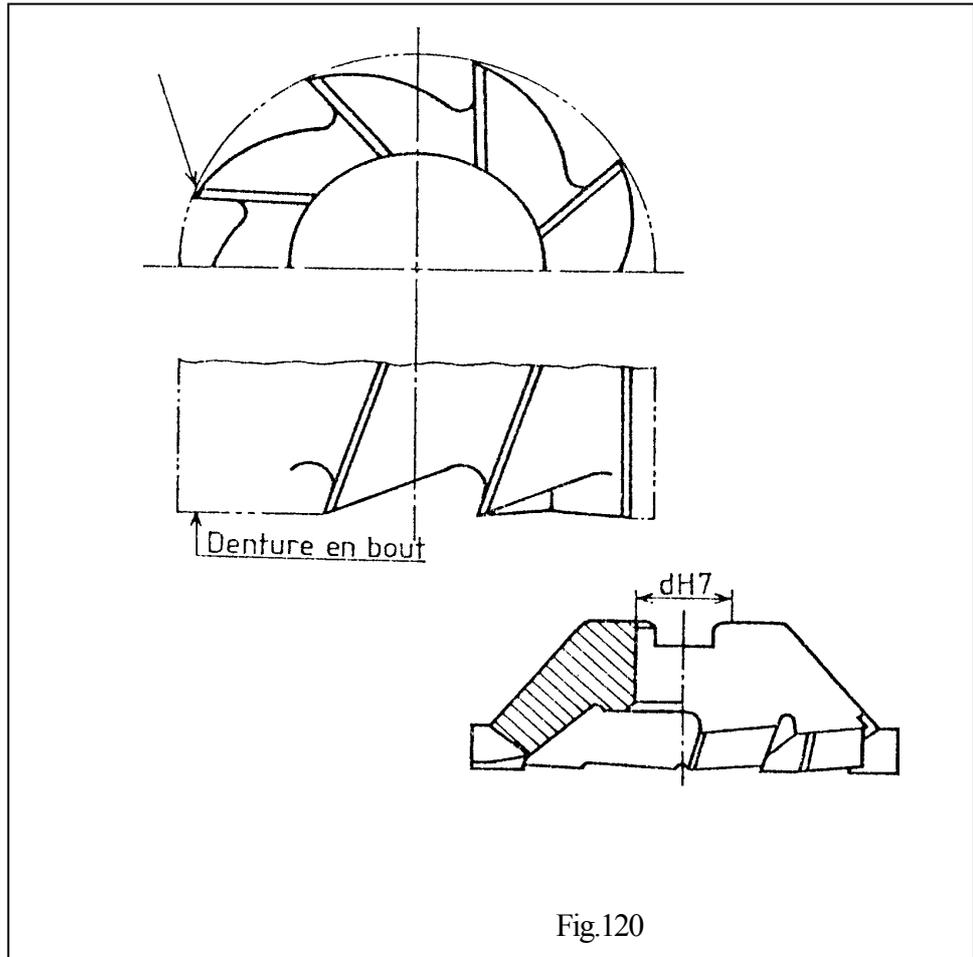


Fig.120

Matériaux constitutifs de l'outil

- Acier rapide pour les fraises deux tailles.

Les fraises tourteau sont souvent à pastilles carbures amovibles

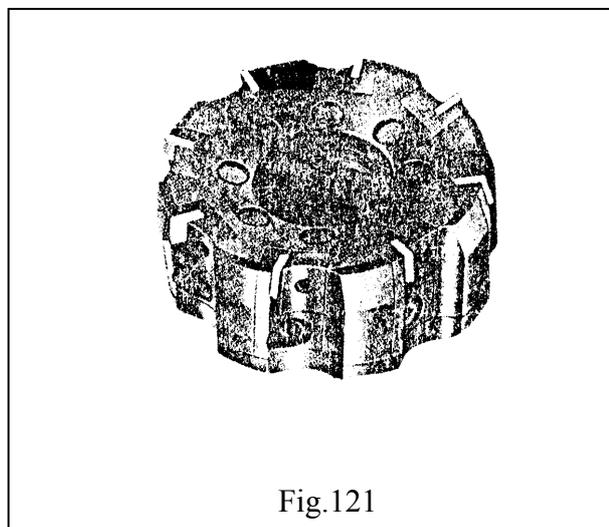
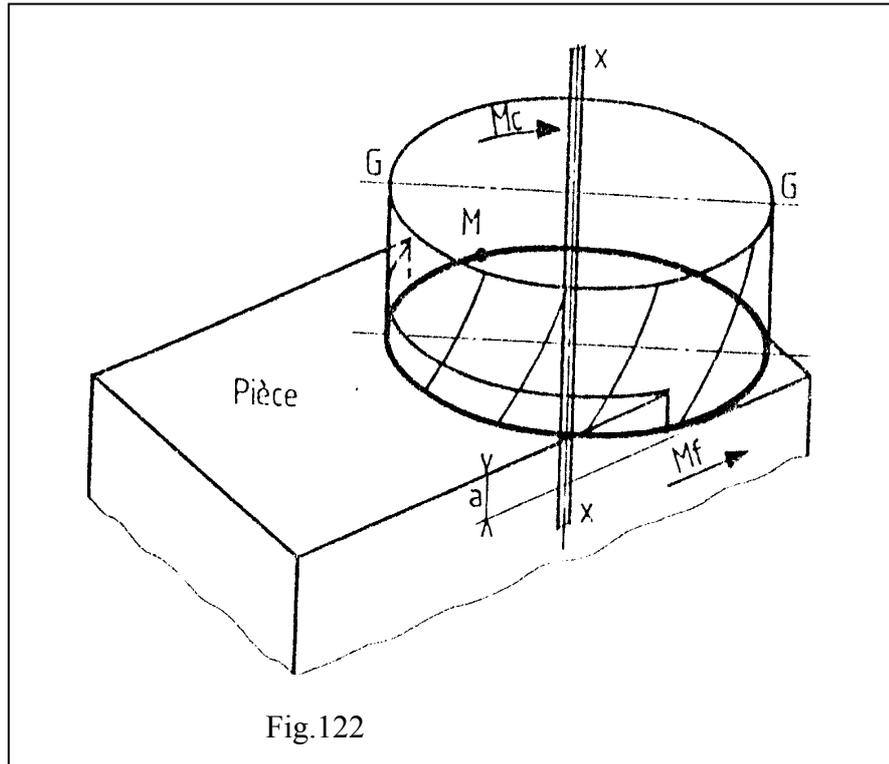


Fig.121

B. Mouvements de génération



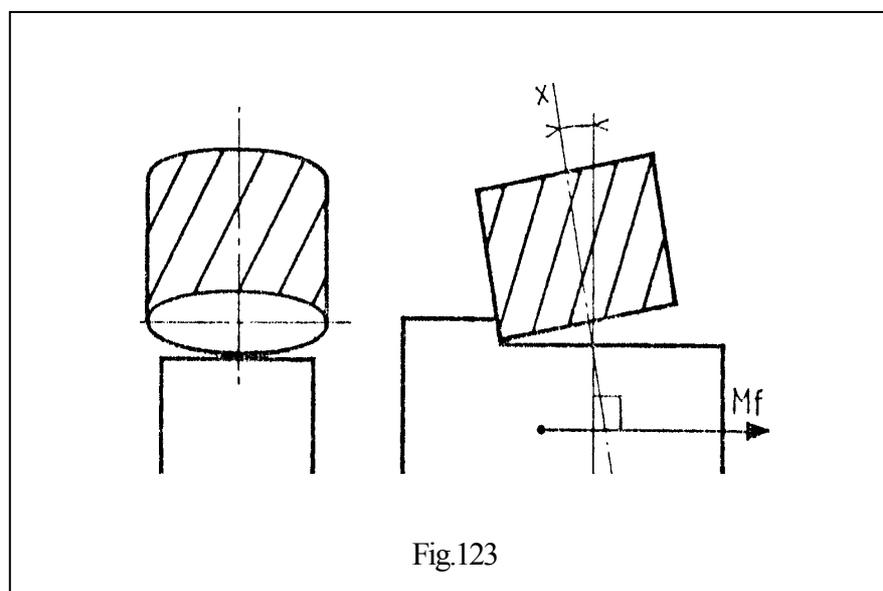
Un point M situé sur une dent en bout de la fraise décrit une génératrice circulaire. **Mouvement de coupe** M_c communiqué à la fraise et le **Mouvement d'avance** M_f communiqué à la pièce.

Condition pour obtenir un plan correct:

Le plan du cercle trajectoire de M doit être parallèle à M_f c'est-à-dire que:

$xx' \text{ (axe fraise) } \perp M_f$

Dans le cas contraire, la surface obtenue est creuse. Le plan obtenu est le résultat d'une génération ponctuelle.



Exemple de contrôle avant usinage

La perpendicularité de l'axe broche avec la table de la fraiseuse est vérifiée avec un mandrin, porte-comparateur monté dans la broche.

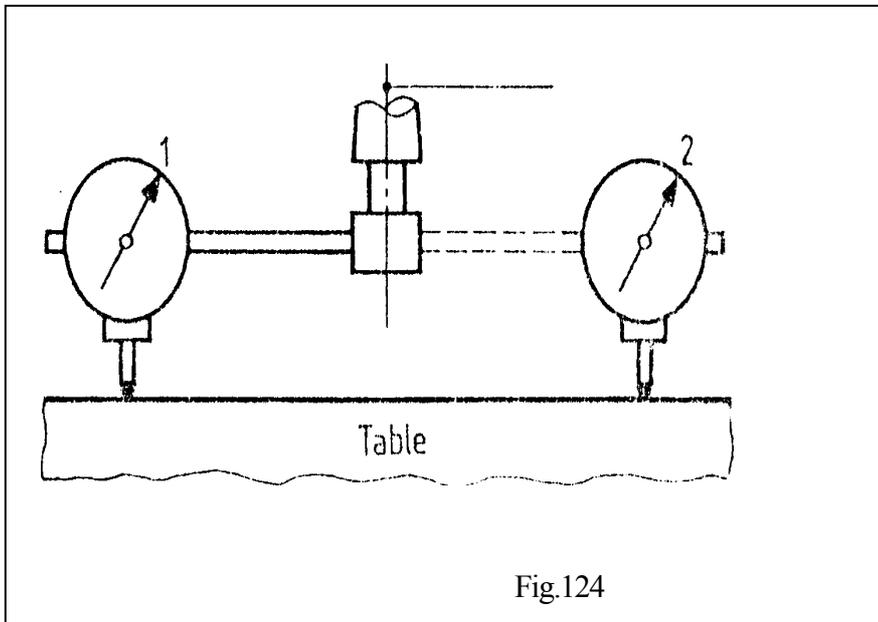


Fig.124

Translation de la pièce

En travail de finition la fraise doit entièrement balayer la surface à usiner

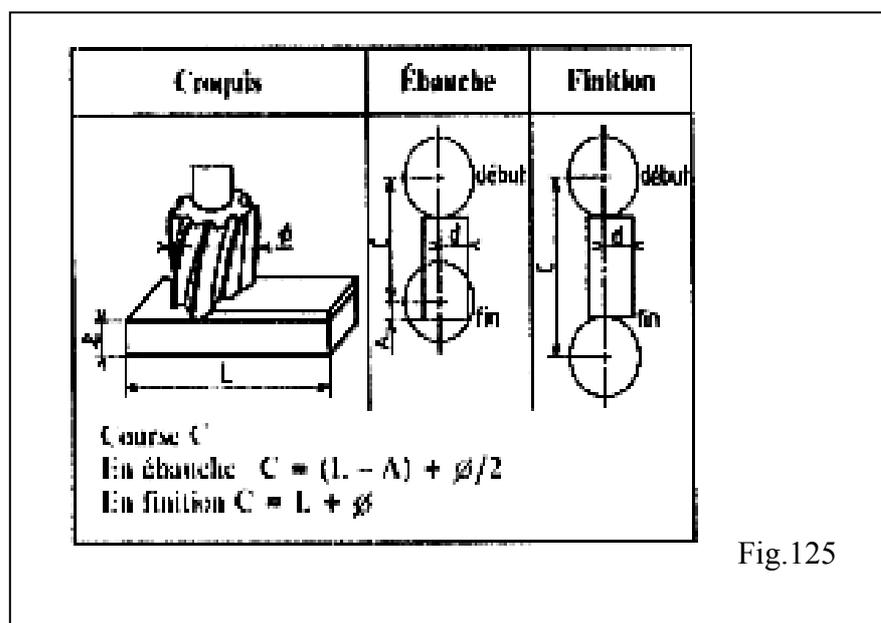


Fig.125

Précision en travail de finition

• Qualité 7 et 8 sur les dimensions.

• Rugosité $\sqrt{Ra} = 1.6$

• Planéité : elle dépend de la précision du réglage et du diamètre de la fraise.

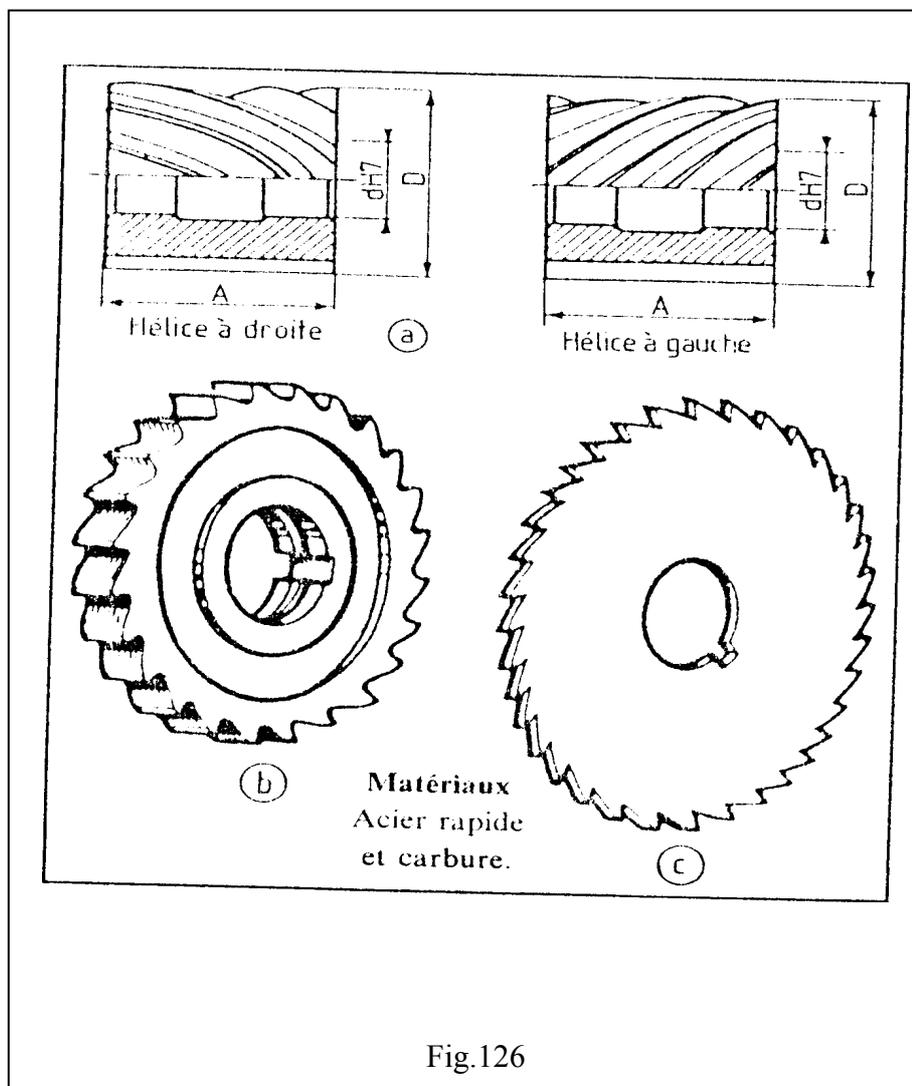
16.4. Fraisage de profil (ou en roulant)

C'est la partie cylindrique de la fraise qui génère le plan.

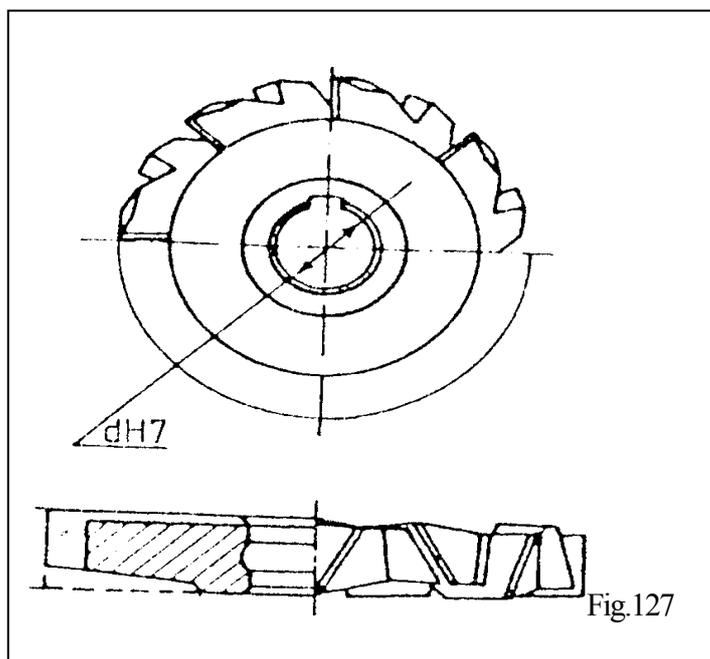
A- Outils

Fraise 2 tailles, on usine avec la denture périphérique.

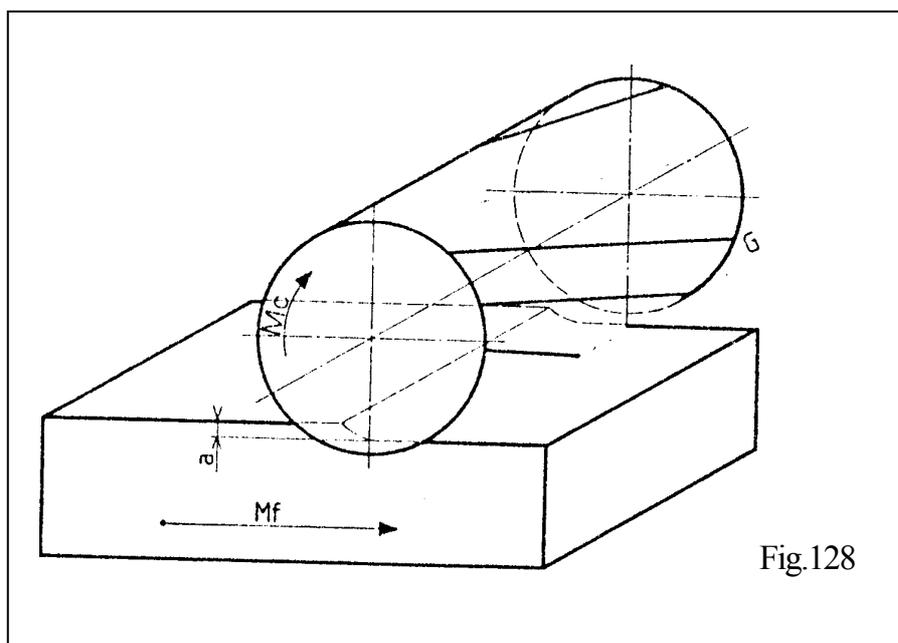
Fraise 1 taille, à surfacer ® ; fraise à rainurer CE ; fraise scie © .



Fraise 3 tailles elle permet l'usinage de surfaces associées



Mouvements de génération



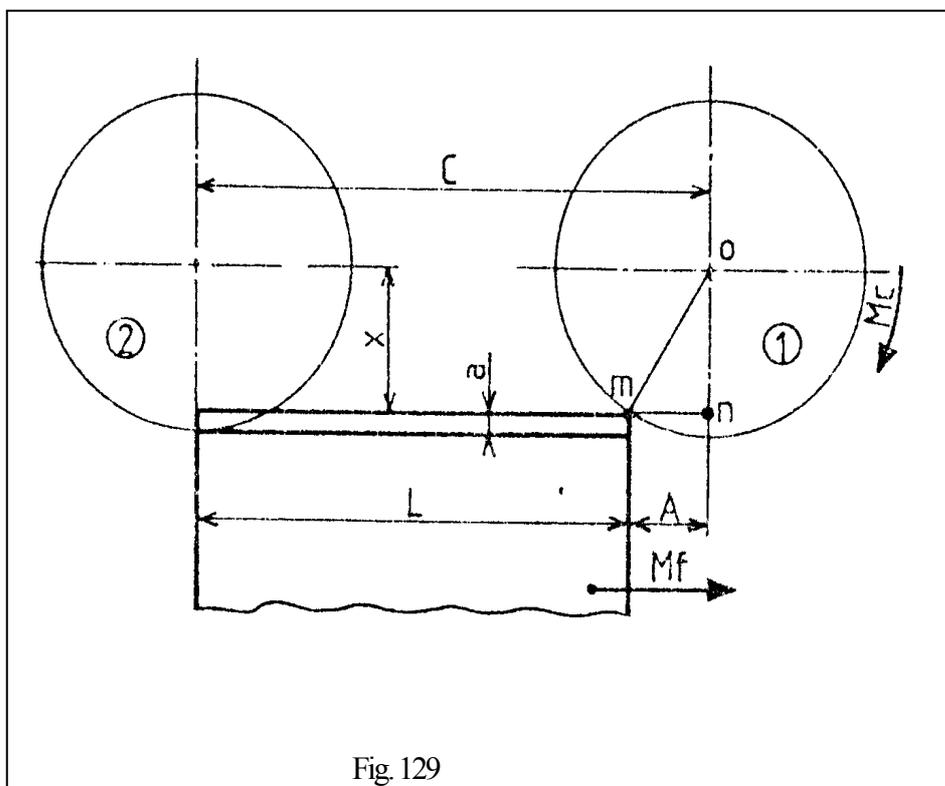
La surface enveloppe des arêtes de coupe de la fraise est un cylindre. L'outil est animé d'un mouvement de rotation (M_c) et la pièce du mouvement rectiligne d'avance (M_f)

La surface usinée est le résultat d'une génération linéaire, sa qualité géométrique dépend :

- de la rectitude de la trajectoire M_f .
- de la rectitude des génératrices de la surface enveloppe de la fraise.

Translation de la pièce

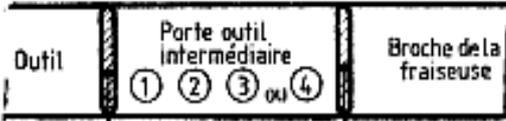
$$C = L + A \text{ avec : } A = \frac{1}{2} \sqrt{\phi^2 - 4x^2}$$



Précision en travail de finition :

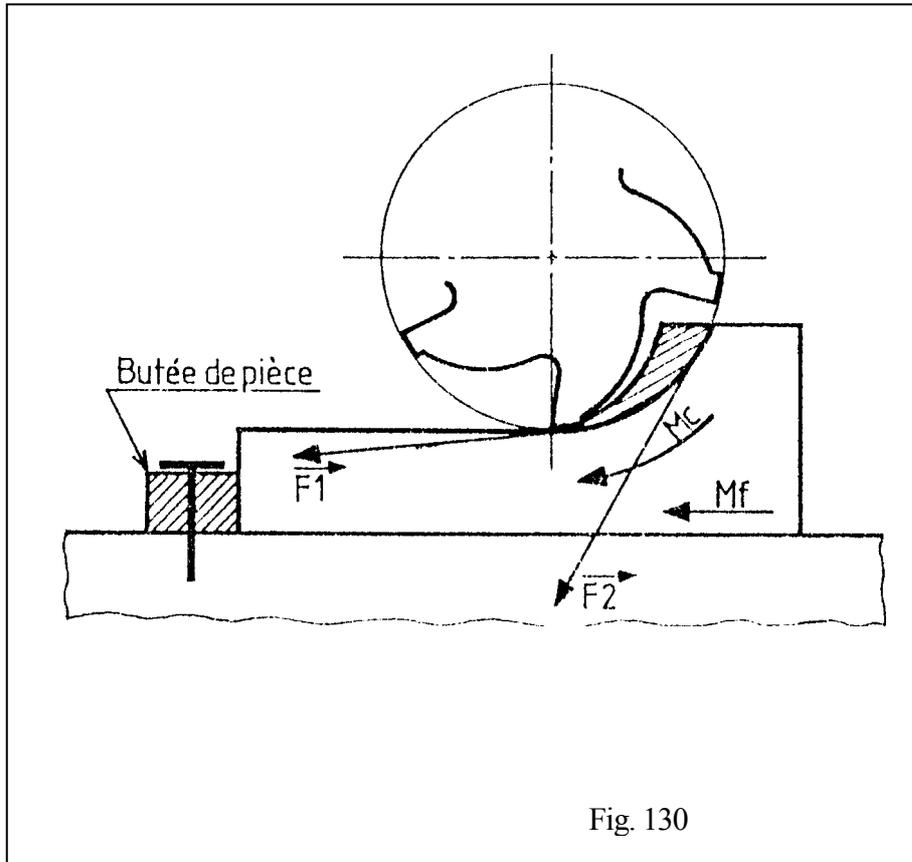
- Qualité 8 sur les dimensions.
- Planéité : elle dépend de l'affûtage de la fraise.
- Rugosité : elle dépend du mode de travail et du ϕ de la fraise. Valeurs courantes,
1-travail en opposition $R_a = 3,2$ à $6,4$.
2-travail en concordance $R_a = 1,6$ à $3,2$

16.5. Fixation des fraises

Type de Fraise	Montage
<p>Fraise "monobloc" à</p> <ul style="list-style-type: none"> queue cylindrique queue conique 	<p>① Mandrin à pince</p> <p>② Douille de réduction S.A: standard américain C.M: cône Morse</p> <p>③ Mandrin</p> <p>④ Arbre porte fraise au cône S.A. de la machine.</p>
Fraise 2 tailles à mélange: lisse ou taraudé	
Fraise 3 tailles, fraise scie, fraise 1 taille	
GRAPHE GENERAL DE MONTAGE	
 <p>Dutil</p> <p>Porte outil, intermédiaire</p> <p>① ② ③ ou ④</p> <p>Broche de la fraiseuse</p>	
<p>Mise en position par queue: Cylindrique conique</p> <p>Mise en position par C.M ou S.A</p>	

16.5.1. Le mode de travail Que ce soit en fraisage de profil ou de face, on distingue deux modes de travail **fraisage** en "concordance" (ou en avalant) **fraisage** en "opposition".

16.5.1.1. Fraisage en concordance



Travail en concordance.

Dans la pièce, la trajectoire de rotation de la fraise est dans la **même sens** que le mouvement d'avance. Chaque dent attaque la matière sur une épaisseur maximale de copeau, solution favorable à l'obtention d'une bonne rugosité (voir chapitre copeau minimal). Les efforts de coupe F_1 et F_2 tendent à appliquer la pièce sur ses appuis, par contre le jeu axial de fonctionnement vis-écrou est constamment rattrapé.

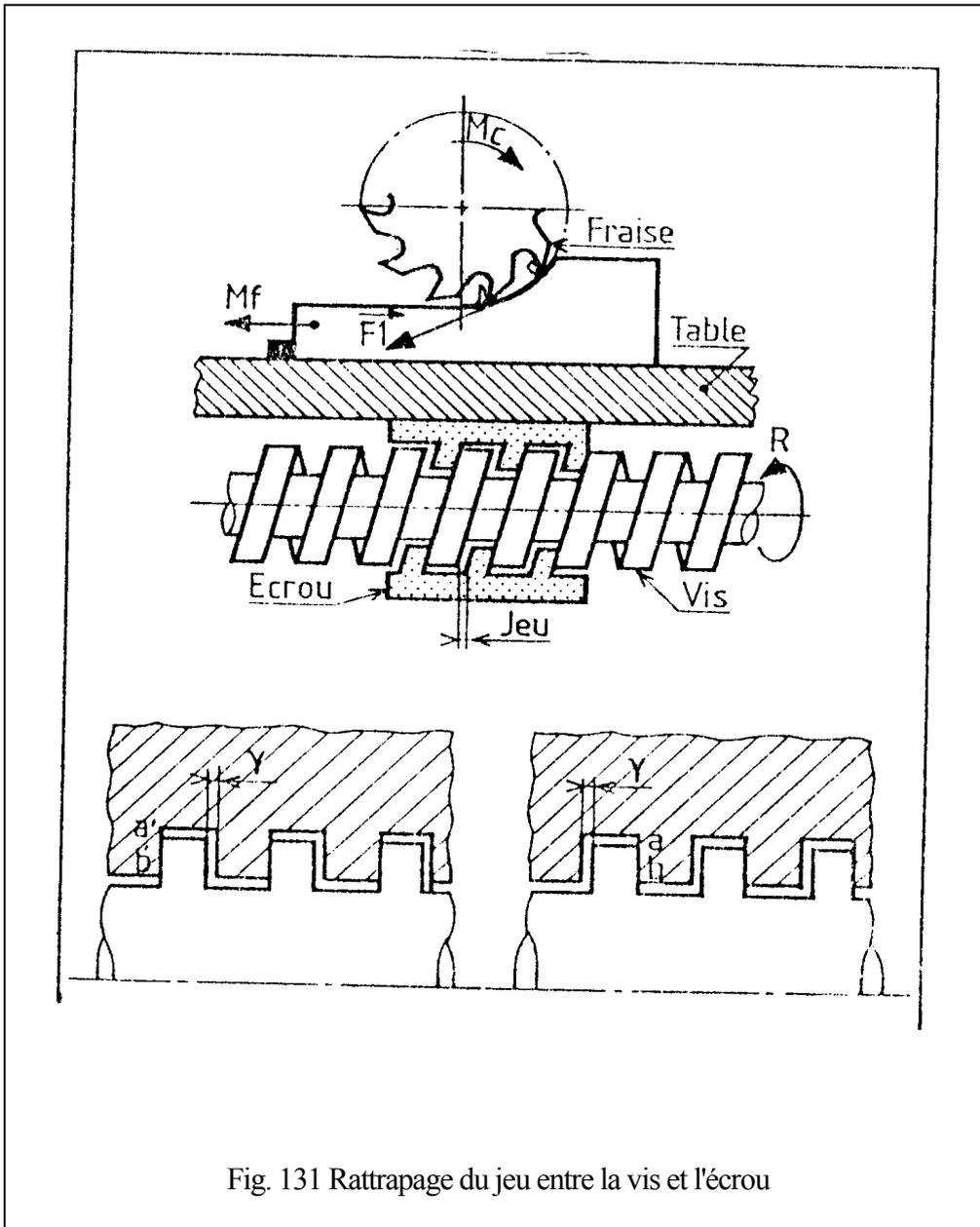


Fig. 131 Rattrapage du jeu entre la vis et l'écrou

Lorsque la vis commandant la poussée due à la coupe l'avance tourne, le contact tend à assurer le contact à lieu sur les flans $a' b'$. Sur les flans $a b$.

Remarque:

Si la poussée due à la coupe était constante le contact se ferait en permanence sur les flans $a - b$. Mais comme il y a des irrégularités dans la coupe, c'est la vis qui devient l'élément moteur et les contacts s'effectuent en $a' b'$ d'où les à-coups et les vibrations préjudiciables à la vie de l'outil.

Règle: Le fraisage en concordance nécessite des machines munies d'un dispositif de rattrapage de jeu dans le système vis et écrou de commande des déplacement de table.

16.5.1.2. Fraisage en opposition

Dans la pièce la trajectoire de rotation de la fraise est opposée à celle du mouvement d'avance. Chaque dent attaque la matière sur une épaisseur nulle de coupe, il s'en suit que le métal est écroui jusqu'à ce que l'épaisseur devienne égale à l'épaisseur du coupeau taillé minimal. L'outil travaille dans de moins bonnes conditions, la rugosité augmente. Les efforts de coupe F_x et F_2 tendent à soulever la pièce qui doit donc être rigidement tenue, par contre le jeu axial de fonctionnement vis - écrou n'est pas rattrapé.

Règle:

Ce mode de travail peut être employé sur n'importe quelle machine.

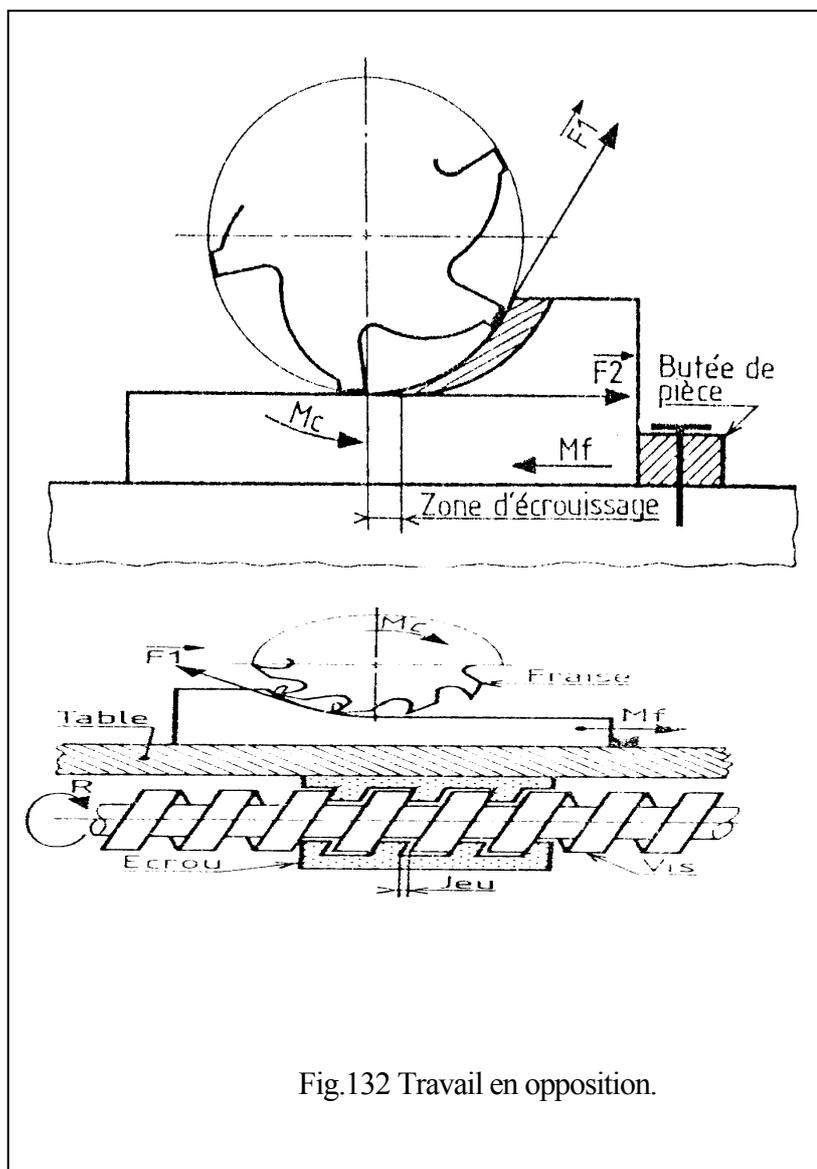


Fig.132 Travail en opposition.

Cas du fraisage de face

Suivant la position de la fraise par rapport à la pièce (déport) le mode de travail est en opposition . Suivant le sens de déport, la distance entre deux dents montre qu'au maximum on trouve:

- dans la zone AB de travail en opposition, deux dents en prise simultanément;
- dans la zone BC de travail en concordance, une seule dent en prise:

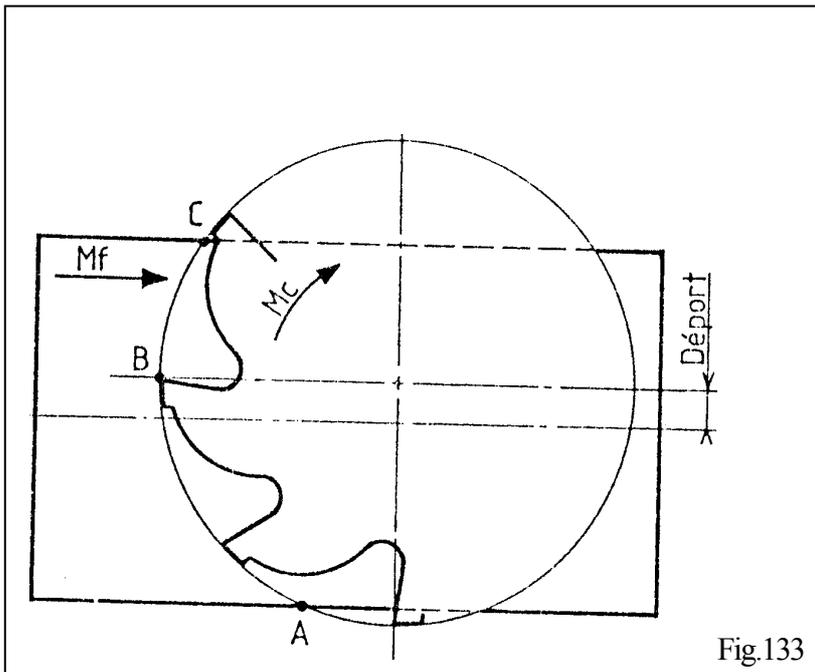


Fig.133

- dans la zone AB de travail en opposition, une seule dent en prise;
- dans la zone BC de travail en concordance, deux dents en prise simultanément.

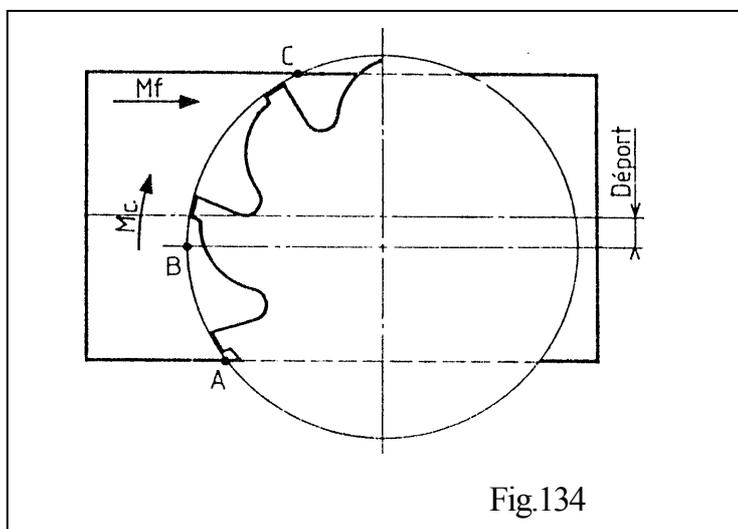


Fig.134

16.5.13. Conclusion

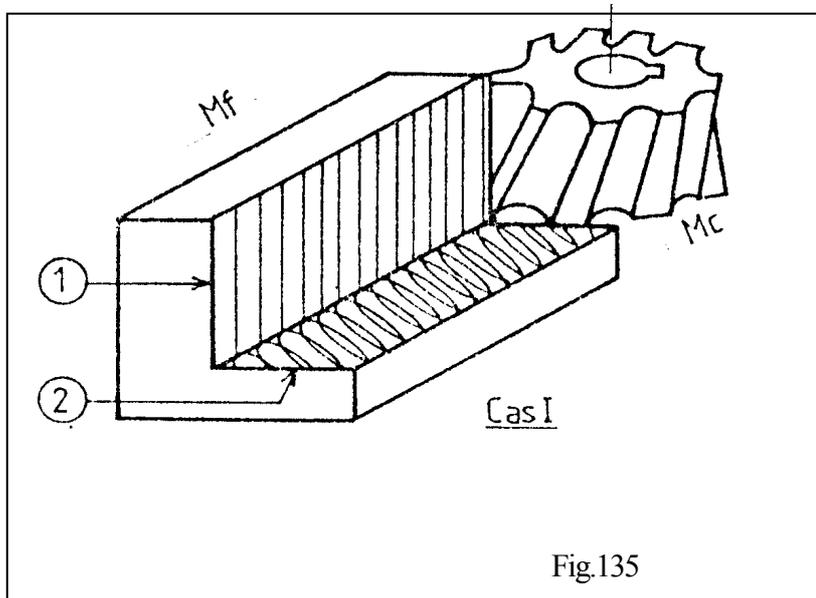
Sur une machine non munie de dispositif de rattrapage de jeu dans le système vis et écrou, il faut obligatoirement que l'outil travaille en opposition. En travail de face le déport doit entraîner une prédominance du fraisage en opposition.

16.6. Usinages associés

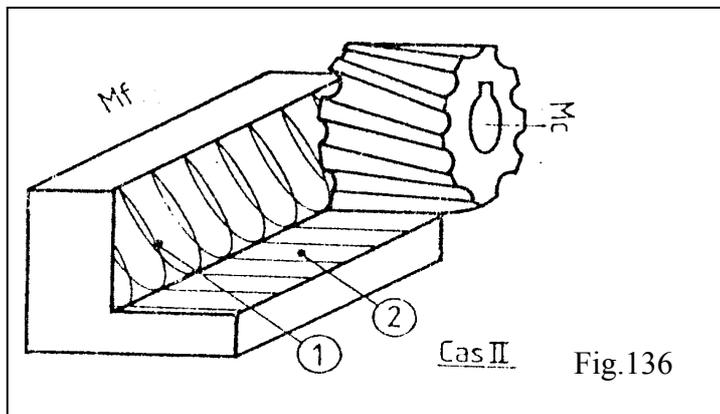
En fraisage, on réalise souvent plusieurs surfaces simultanément et l'on associe les fraises en bout et en roulant.

16.6.1. Fraise des épaulements droits à la fraise deux tailles

Cas I La surface R est fraisée en roulant. La surface E est fraisée en bout.



Cas II La surface E^* est fraisée en bout. La surface (?) est fraisée en roulant.

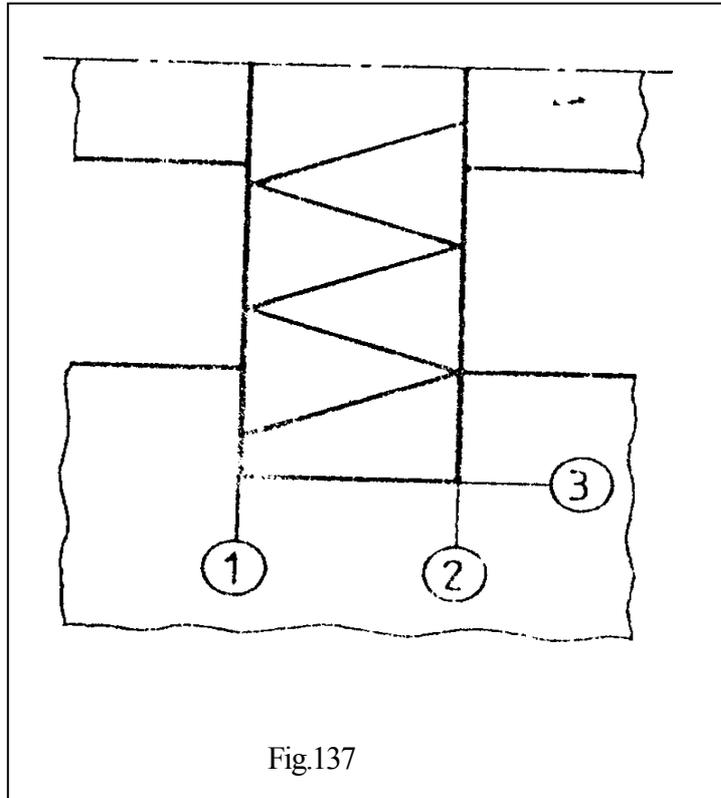


NOTA: La flexion radiale est beaucoup plus importante que la flexion axiale.

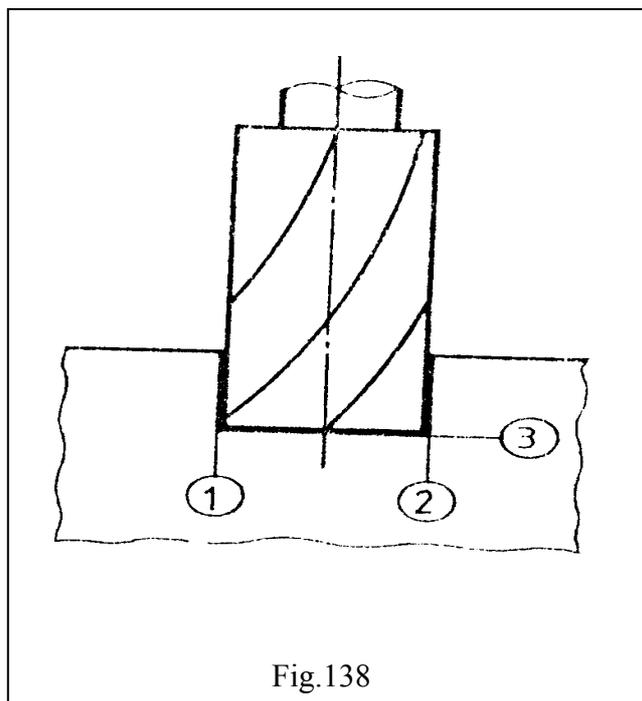
16.6.2. Fraisage d'une rainure

La fraise à trois tailles

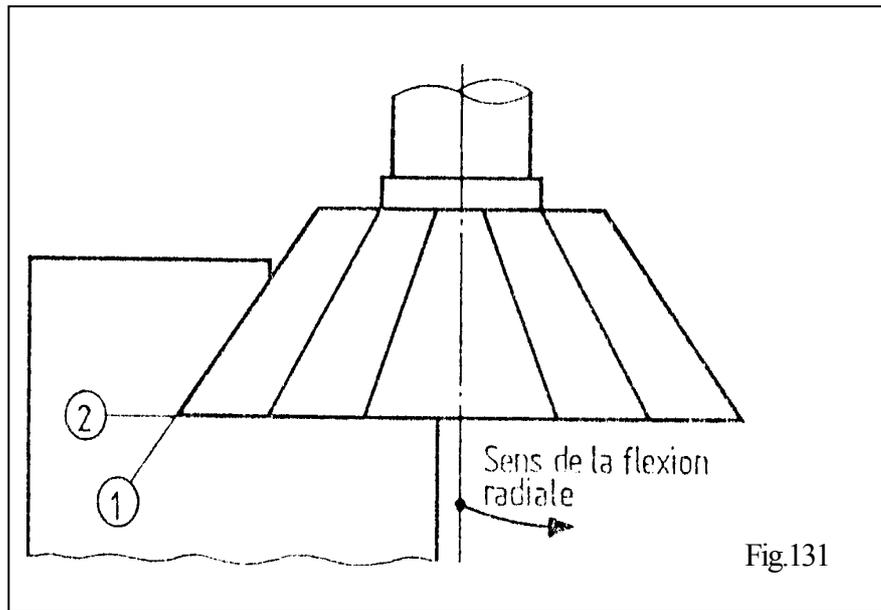
Les surfaces ® et (?) sont fraisées de face. La surface (£ est fraisée en roulant.



la fraise deux lèvres



Fraisage d'une queue d'aronde



NOTA: La flexion radiale est beaucoup plus importante que la flexion axiale d'où la règle D. Règle:

La surface la plus précise doit toujours être usinée en fraisage de face.

17. l'outil abrasif (l'outil meule)

Dans l'usinage par abrasion les outils de coupe sont remplacés par des cristaux d'abrasifs très durs et aux arêtes coupantes, généralement agglomérés sur forme de meule tournante, pendant sa rotation rapide autour de son axe, peut arracher de petits copeaux aux surfaces qui sont présentées à son courbet. Les meules naturelles sont les plus anciennes. Elles sont taillées dans des pierres dont la plus employée est le grès, mais elles sont abandonnées à cause de leur manque d'homogénéité et leur friabilité improprie à retenir les grains durs abrasifs ne se prêtent pas au maintien de leur forme géométrique initiale, le diamant fait partie aussi des meules naturelles et parmi les abrasifs les plus durs, mais son prix est très élevé, la face de la meule est incrustée de poudre de diamant, le diamant est symbolisé par la lettre D. Les meules artificielles actuelles sont constituées par des grains d'abrasifs disséminés dans un agglomérant ou liant qui les retient tous avec la même cohésion. Les interstices qui les séparent et qu'on s'attache à laisser vides, sont les pores de la meule. Parmi les abrasifs artificiels on distingue:

- les abrasifs alumineux, ce sont des cristaux d'alumine désignés sous le nom de corindon et symbolisé par la lettre A que peut précéder un indice de pureté corindon 38A. (Alumine à 93 % Al). Ces abrasifs sont très durs, ils conviennent le mieux aux métaux tenaces : Aciers, bronzes durs, fontes alliées.

- Les abrasifs siliceux, sont des carbures de silicium désignés sous le nom de crystolon et symbolisés par la lettre C, crystolon noir 37C, crystolon vert 39C. Ils sont moins durs que les corindons et ils conviennent au meulage de la fonte, du cuivre de l'aluminium, pour l'affûtage d'ébauche des carbures métalliques.

17.1. Mode d'action de l'outil meule

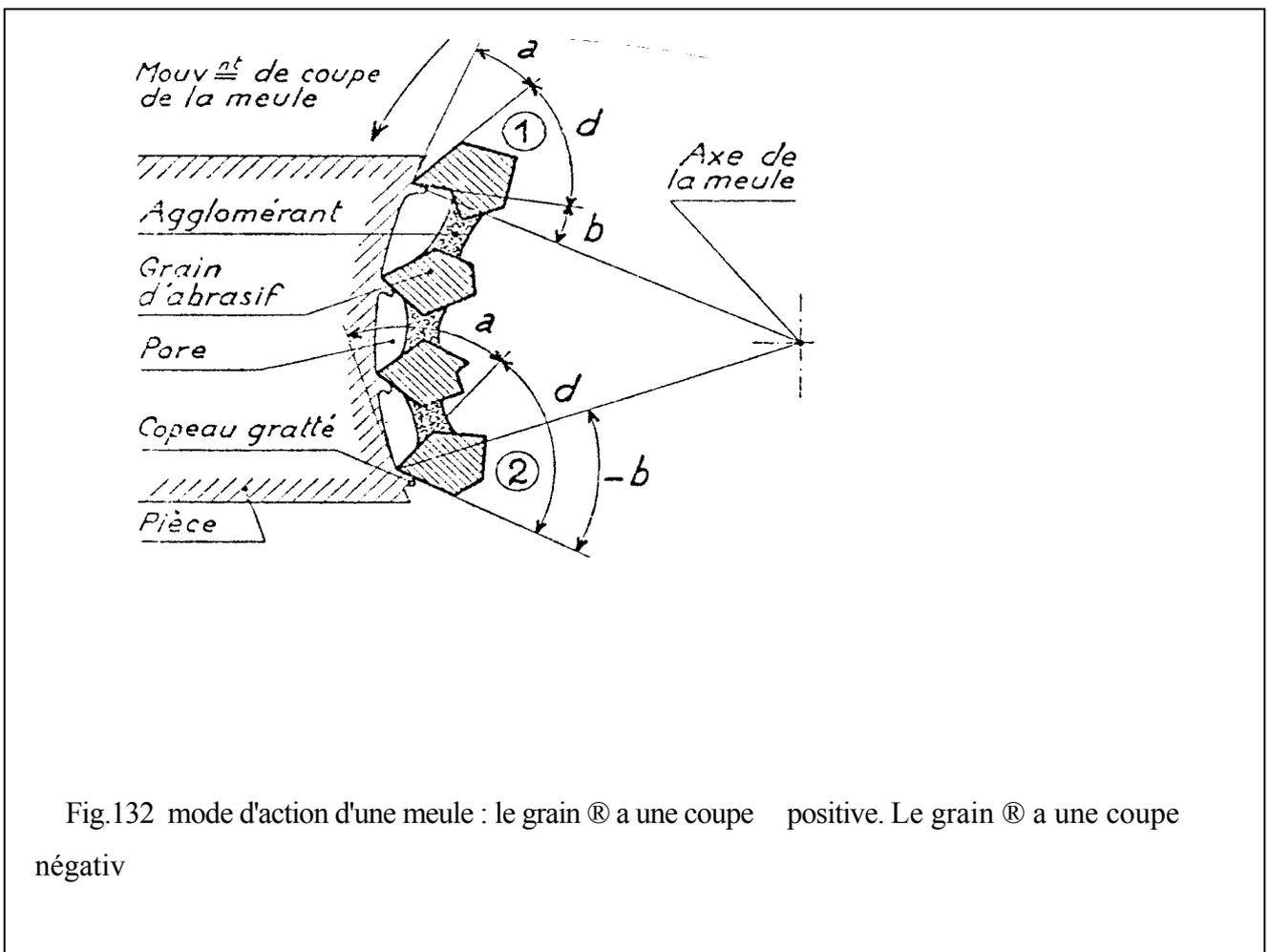


Fig.132 mode d'action d'une meule : le grain ① a une coupe positive. Le grain ② a une coupe négativ

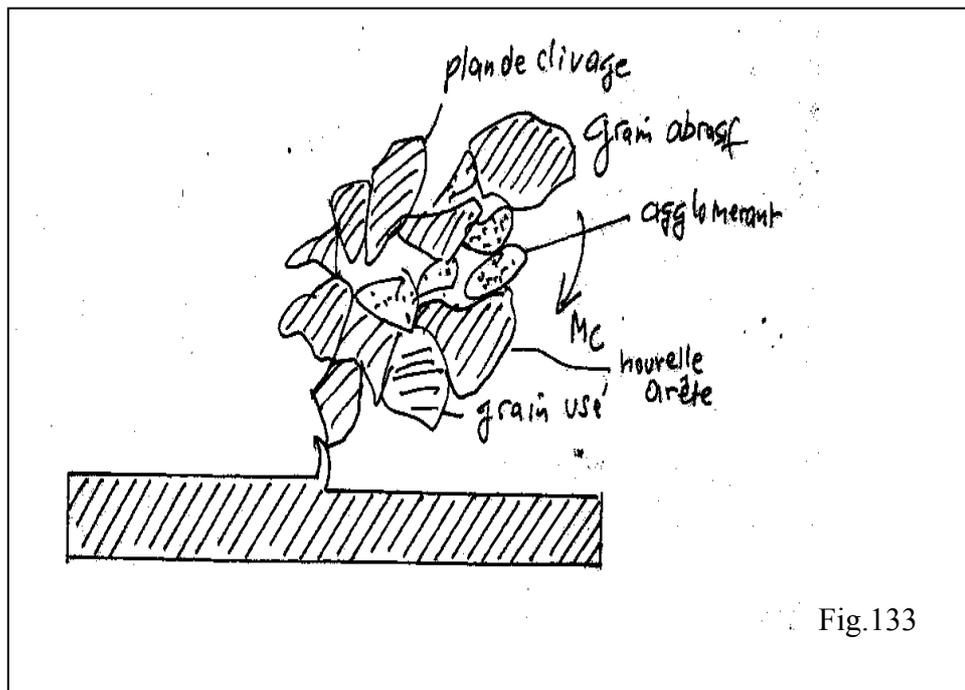


Fig.133

La pression exercée chaque grain provoque le clivage d'une portion de celui-ci, ce qui produit une nouvelle arête. La meule peut être considérée comme un outil de coupe à tranchants multiples. Chaque grain est un outil élémentaire et l'agglomérant est le corps porte-outil. Chaque grain présente une saillie comparable à la partie active de l'outil. Le grain 1 travaille avec une coupe positive et le grain 2 travaille avec une coupe négative. Chaque grain, au cours de l'avance et compte tenu de la profondeur de passe qui est toujours très faible enlève un copeau mince et court, c'est un copeau gratté. Au cours du travail, le tranchant des grains diminue ce qui augmente le frottement meule-pièce et provoque réchauffement des grains et de l'agglomérant. Les grains usés s'échappent alors et mettent à jour des grains neufs et ainsi de suite.

17.2. Caractéristiques des meules

La forme et les dimensions sont adaptées à l'usage envisagé du point de vue géométrique et la composition est la caractéristique fondamentale du point de vue du travail de coupe.

17.2.1. Caractéristiques de forme

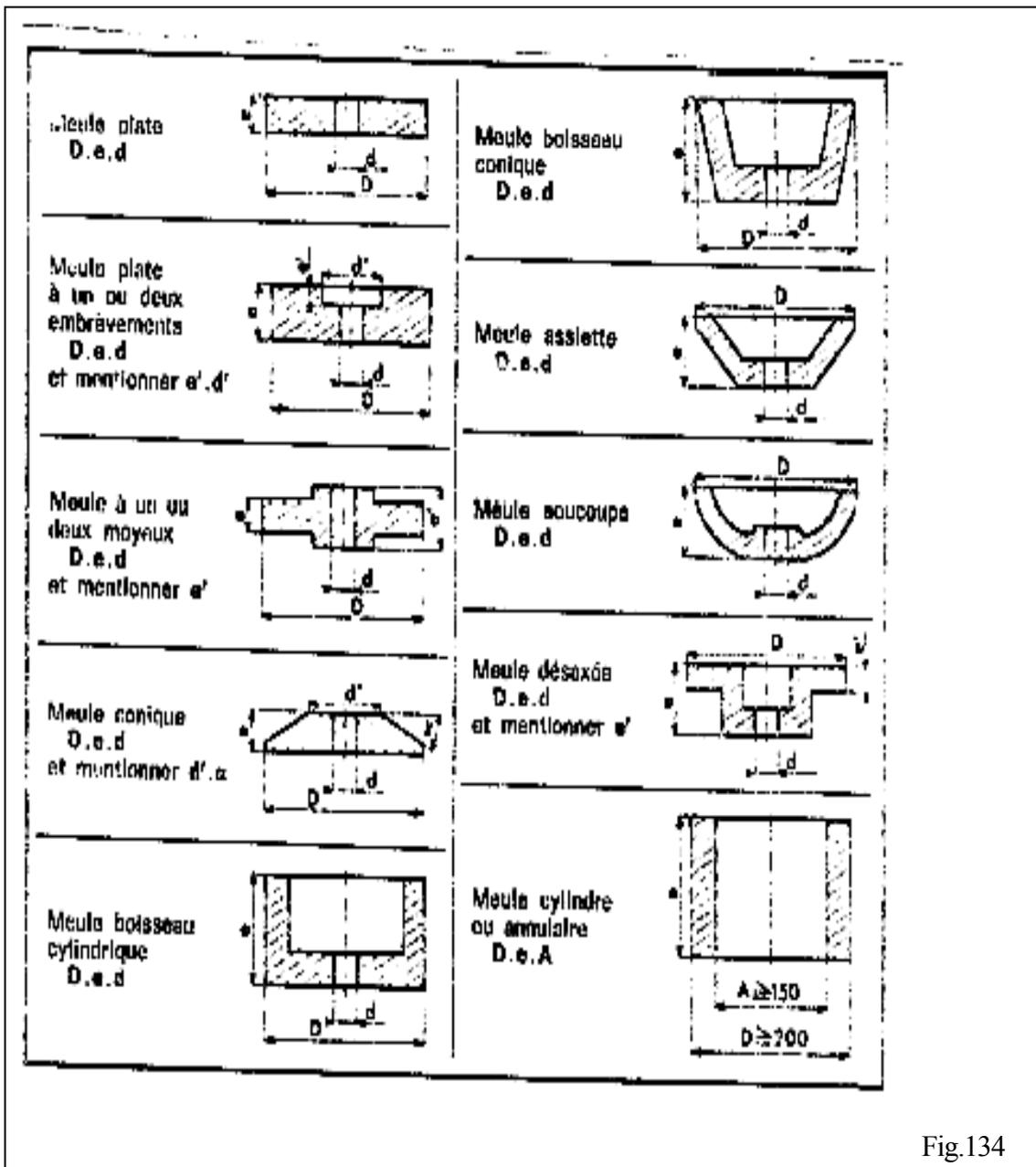
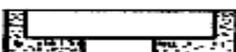
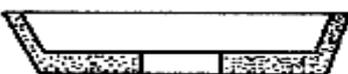
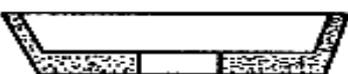
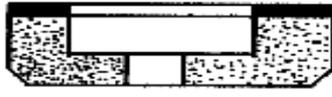


Fig.134

Les **meules plates**, généralement peu épaisses et ç faces planes travaillent avec leur chant qui peut être rectiligne ou profilé. On les utilise pour le surfacage plan, cylindrique ou conique, pour l'affûtage des fraises, des tarauds, des alésoirs, pour la rectification des filets de vis, ou pour des meulages de forme. Les **meules soucoupes**, **assiettes**, **boisseaux cylindriques ou coniques**, travaillent par leur face en couronne circulaire perpendiculaire à l'axe. Leur usure est ainsi très localisée et elles sont commodes pour l'affûtage des fraises et des alésoirs. Les **meules cylindriques** travaillent par leur face en couronne circulaire bien dégagée et on les réserve au surfacage plan.

17.2.2 Caractéristiques de dimensions

Les dimensions principales d'une meule, qu'on doit **indiquer dans cet ordre**, sont: **Le diamètre D**, **l'épaisseur e**, **le diamètre d'alésage d**. Des cotes complémentaires de forme sont données si nécessaire.

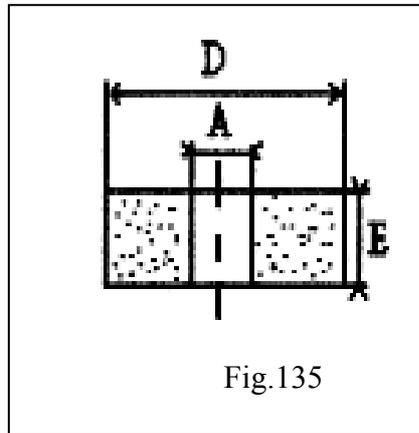
forme	Désignation	Principales utilisations
	Plate ou disque	Rectification cylindrique, sans pointes, intérieure, plane et meulage occasionnel.
	a embèvement (un côté)	Rectificuses cylindriques, sans pointes, intérieures et planes. L'embrèvement sert de logement au flasque de montage.
	Boisseau droit	Affûteuse d'outil et de fraises et rectification plane sur rectificuses.
	A embèvements (deux côtés)	Rectificuses cylindrique, sans pointes et planes. Les embèvements servent de logements aux flasques de montage
	Boisseau conique	Affûteuse d'outils et de fraises. sert essentiellement à l'affûtage des fraises et des alésoirs.
	assiette	Affûteuse d'outils et de fraises. Sa mince rive permet l'affûtage des outils à rainures étroites.
	Meules sur tige	Utilisées sur rectificuses cylindriques intérieures et sur les meuleuses portatives pour les travaux d'outillage (moule)
	Meule boisseau droit à support métallique	Affûtage des outils en carbure et en céramique.

Les dimensions

Elles sont choisies en fonction de la machine et du genre de travail à exécuter.

Désignation d'une meule plate: $D \times E \times A$;

Exemple: 300x40x32

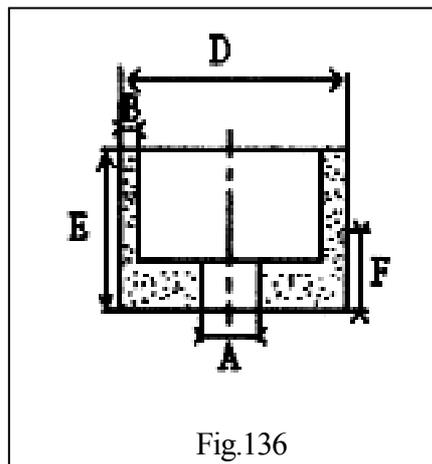


Désignation d'une meule boisseau cylindrique:

$D \times E \times A$, on précise en outre les épaisseurs B et F .

Exemple:

63x40x40, $B = 10$, $F = 10$



17.2.3. Caractéristiques de composition

La nature des grains d'abrasif et de l'agglomérant ne suffisent pas à caractériser la meule. Il y a en effet une infinité de manières de les combiner. On a donc retenu cinq critères fondamentaux qui sont inscrits sur la meule dans l'ordre où nous les citerons et qui la caractérisent sans ambiguïté.

1- Nature de l'abrasif

a. Abrasifs artificiels

Les **abrasifs alumineux** sont des cristaux d'alumine qu'on désigne sous le nom de corindon et qu'on symbolise par la lettre A que peut précéder un indice numérique.

Exemple: corindon **38A** (Alumine à 99 % de pureté), corindon **19A** (pureté à 95%), corindon A (pureté à 85 % seulement). Les abrasifs sont très durs et conviennent le mieux pour les métaux tenaces : aciers, bronzes durs, fontes alliées.

Les **abrasifs siliceux** sont des carbures de silicium désignés sous le nom de **crystolon** et qu'on symbolise par la lettre C : crystolon noir 37C, crystolon vert 39C, par exemple.

Ils sont moins durs que les corindons et ils conviennent au travail de la fonte, du cuivre, du bronze ordinaire, de l'aluminium. On les emploie aussi pour l'affûtage d'ébauche des carbures métalliques sur lesquels leurs cristaux se brisent, présentant ainsi constamment de nouvelles arêtes coupantes vives.

b. Abrasifs naturels

Les plus anciens sont l'émeri et le corindon naturel mais tous, à l'exclusion du diamant, ont été abandonnés en raison de leur manque d'homogénéité.

Le diamant (*), seul utilisé, est symbolisé par la lettre D, sans indice de classement. C'est le plus dur des abrasifs mais son prix très élevé le fait réserver au meulage de corps très durs, outils en carbures métalliques en particulier. La meule est constituée par un disque métallique dont la face utile est garnie de poudre de diamant incrustée (fig.137).

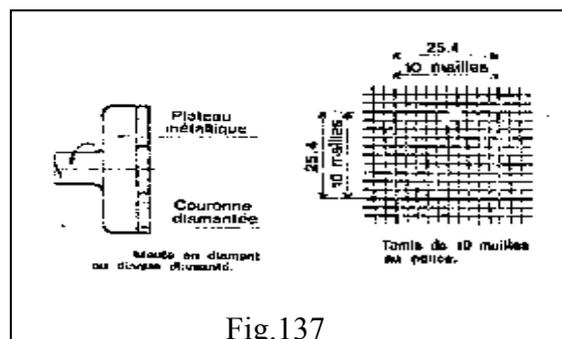


Fig.137

2- Grosseur des grains : La grosseur est symbolisée par le nombre de mailles au pouce linéaire d'un tamis au travers duquel les grains ont passé. Ainsi, un grain N010 a comme grosseur maximale. 25,4: 10 ou 2,5 mm. Les grains très fins, au-delà du N0320, ont la consistance d'une poudre et on la définit par son temps de décantation.

Exemple: la poudre 10mm, recueillie après la 10^e minute de décantation, correspond sensiblement au N°400.

L'état de surface obtenu dépend de la grosseur des grains. Ainsi, les très gros grains (N°10) laissent une trace grossière, les grains moyens (N°36) une rugosité nettement visible, les grains fins (N°120) un très bon fini, et les poudres (N°800) permettent d'atteindre le poli miroir.

3- Grade

Le grade d'une meule caractérise la force avec laquelle l'agglomérant retient les grains,

c'est-à-dire la résistance à la désagrégation de la meule en cours de travail. On l'exprime par une lettre allant de C à Z (voir tableau figure).

En examinant son grade, on peut donc dire d'une meule qu'elle est dure, ou qu'elle est tendre, tout en remarquant que la cohésion des grains est totalement indépendante de leur dureté propre.

Le grade d'une meule doit être adapté aux conditions de travail.

a. Adaptation du grade à la dureté et à la ténacité du métal meule.

Un métal dur et tenace use rapidement les grains qu'il faut donc libérer facilement pour faire place aux nouveaux, ce qui **impose un grade tendre**. Inversement, **un métal tendre exigera un grade dur**.

Si la meule se lustre, son grade est trop dur, si elle s'use trop vite, son grade est trop tendre.

b. Adaptation du grade à l'étendue de la surface de contact meule pièce.

Pour un même métal meule, l'usure des grains est d'autant plus grande que la surface de contact meule pièce est plus importante.

Il faut donc un grade tendre pour une grande surface de contact, et inversement.

c. Adaptation du grade à la vitesse de rotation de la meule.

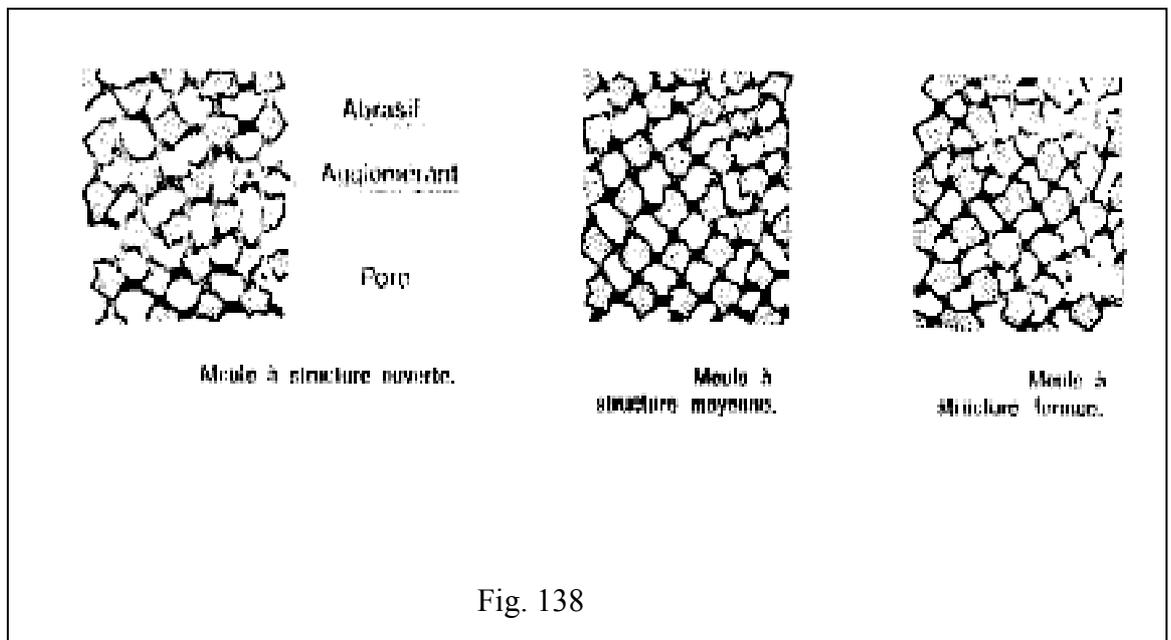
Une plus grande vitesse périphérique de la meule correspond à un temps de contact plus court entre les grains et le métal meule et, par suite, à un échauffement moins important de l'agglomérant qui conserve mieux son pouvoir liant. La meule se désagrège donc moins vite.

Par suite, **un grade tendre sera associé à une vitesse périphérique élevée,** et inversement

4. Structure

La structure est l'indice d'espacement des grains dans la masse et, par suite, de la grandeur des pores de la meule. Elle s'exprime par un nombre, de 0 à 12. **Le N° 0 caractérise une meule à structure fermée**, où les pores sont les petits, alors que **le N° 12 caractérise une meule à structure ouverte**, où les pores sont les plus gros (Fig. 138).

Les pores périphériques servent de réceptacle au copeau au cours du contact meule pièce. Il faut donc adapter la structure aux conditions de travail.



a. Adaptation de la structure à la nature du meulage

A de gros copeaux, **pour un travail d'ébauche, il faut** associer de gros pores, c'est-à-dire **une structure ouverte. Pour un travail de finition, il faut une structure fermée.**

b. Adaptation de la structure à l'étendue de la surface de contact meule pièce

Une grande surface de contact entraîne, pour une même opération, la formation de plus gros copeaux. **Il faut donc prévoir une structure d'autant plus ouverte que la surface de contact meule pièce est plus étendue.**

5. Agglomérant

L'agglomérant assure la cohésion homogène des grains. On l'adapte au mode de travail.

a. Agglomérants vitrifiés

Ils ont pour base l'argile qui se vitrifie à la cuisson et qui peut ainsi supporter parfaitement les liquides d'arrosage. Les meules vitrifiées sont de haute qualité et, par suite, très utilisées.

La lettre V est leur symbole. Elle peut être suivie d'autres lettres indiquant la pureté de l'agglomérant.

Exemple: VBE qui caractérise un agglomérant vitrifié de qualité supérieure.

b. Agglomérants silicates

Ils résultent de la cuisson du silicate de soude et ils entrent surtout dans la fabrication des meules de grand diamètre.

c. Agglomérants dits élastiques

Les résines synthétiques, **symbole B**, servent à confectionner des meules très minces, meules à tronçonner, appelées communément "meules bakélites", et meules pour l'affûtage des fraises.

Le caoutchouc ou rubber, symbole R, est l'agglomérant des meules d'entraînement pour la rectification sans centres et des meules utilisées pour des finitions très poussées et à des cotes précises.

17.2.4. Conditions d'utilisation des meules

La vitesse est le principal facteur du détachement du copeau par le grain d'abrasif. Mais, le code du travail, pour des raisons impératives de sécurité, limite la vitesse circonférentielle des meules. De plus, la désagrégation de la meule consécutive à réchauffement impose des limites pour l'avance et la profondeur de passe ainsi que pour le refroidissement par arrosage.

A. Vitesse circonférentielle

Elle dépend de la nature de l'agglomérant, du grade, et aussi de la forme de la meule. Chaque élément de la meule, de masse M (fig. 141), dont le centre de masse G est situé à une distance R de l'axe de rotation et dont la vitesse angulaire est w , est sollicité par une force centrifuge de valeur $F = Mw^2R$. Une trop grande vitesse peut donc provoquer l'éclatement de la meule, la force de cohésion de l'agglomérant devenant inférieure à la force centrifuge. Il ne faut donc pas dépasser les valeurs données par le tableau figure et de plus, pour éviter tout accident, il faut entourer la meule en rotation d'un carter de protection. A titre indicatif, un fragment de meule de masse $M = 0,1$ kg situé à une distance $R = 0,2$ m de l'axe et animé d'une vitesse linéaire $v = 30$ m/s, serait sollicité par une force centrifuge:

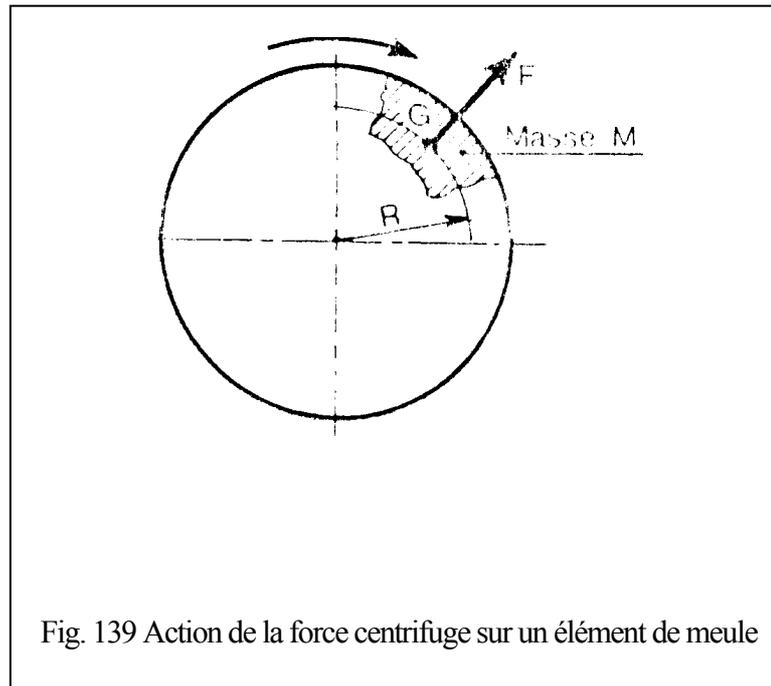


Fig. 139 Action de la force centrifuge sur un élément de meule

Type de meule	Grossueur du grain	Nature de l'agglomérant et grade					
		Vitrifié et silicate			Résinoïde et caoutchouc		
		Grade tendre	Grade moyen	Grade dur	Grade tendre	Grade moyen	Grade dur
		m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
Meules plates et assiettes	24 à 16	23	25	33	30	40	50
	30 et plus fin	28	30	33			
Meules cylindres	24 à 16	23	25	28	25	30	
	30 et plus fin	25	28	30	30	35	40
Boisceaux droits et coniques	24 à 16	25	25	28	25	35	40
	30 et plus fin		28	30	30	40	45
Meules de trouçonnage	20 à 16				50	55	
	30 et plus fin				55	60	60

B. Choix de l'avance

Si l'avance par tour de pièce est égale à l'épaisseur de la meule, son usure est régulièrement répartie, mais aussi tout défaut du profil est systématiquement reproduit.

Si l'avance est faible, les défauts de la surface meulée sont atténués mais le bord d'attaque de la meule, qui seul détache les copeaux, se trouve rapidement usé.

Il faut donc adapter une solution intermédiaire, soit:

- Pour l'ébauche, une avance par tour de pièce est égale à la moitié de l'épaisseur de la meule, $a = e/2$.
- Pour la finition, une avance plus faible, $a = e/8$ à $a = e/3$.

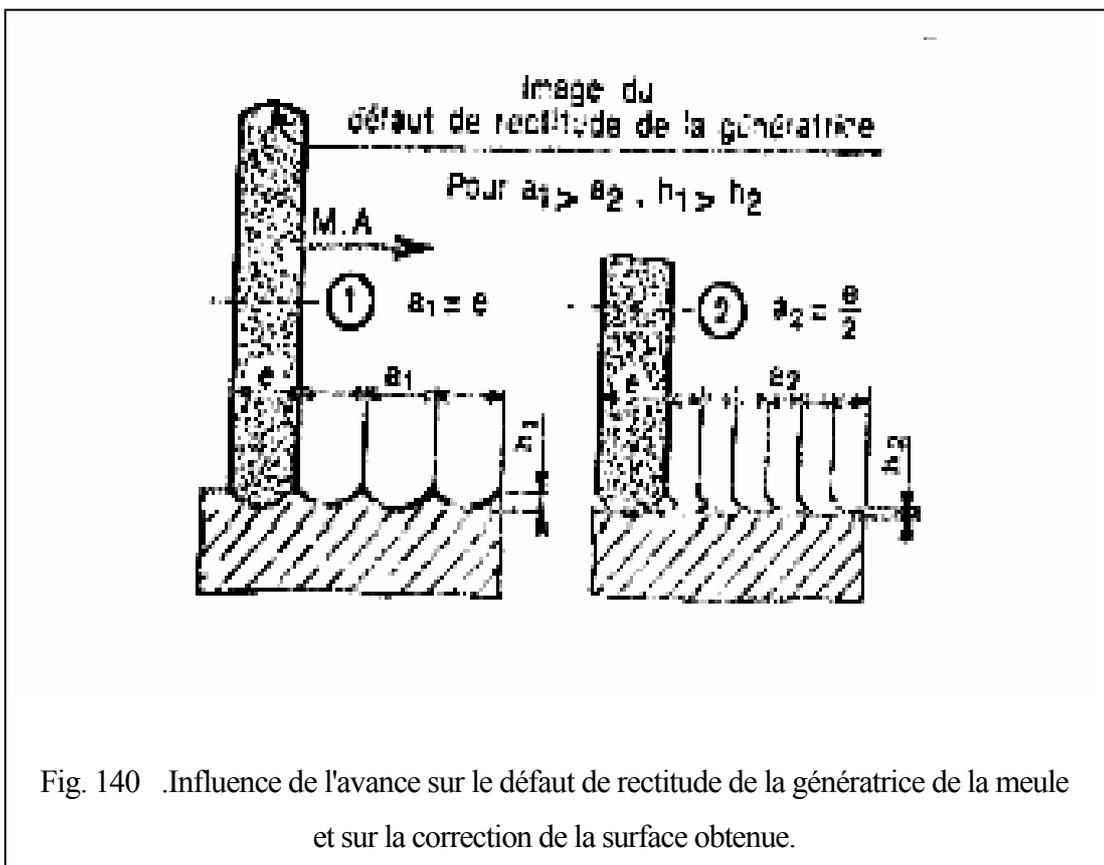


Fig. 140 Influence de l'avance sur le défaut de rectitude de la génératrice de la meule et sur la correction de la surface obtenue.

L'avance a' par tour de meule est toujours faible. Elle est donnée par la relation:

$$a' = a \times \frac{N' \text{ tr / min de la pièce}}{N \text{ tr / min de la meule}}$$

Exemple: Pour $e = 40 \text{ mm}$, $a = \frac{e}{2} = 20 \text{ mm}$, $N' = 20 \text{ tr/min}$ et $N = 1500 \text{ tr/min}$, on aurait
 $a' = 20 \times 20 / 1500 = 0.26 \text{ mm}$

En supposant que la meule ait un diamètre de 360 mm et que les grains soient espacés de 1 mm, le nombre de grains qui, par tour de meule et sur une largeur de 40 mm, serait passé sur la pièce,

serait égal à: $\frac{360 \times 3.14 \times 40}{1} = 4500$ environ Au cours de l'avance de 0,26 mm, correspondant à un tour

de meule, chaque grain actif, parmi les 4500, aurait donc détaché un copeau extrêmement petit.

D. Profondeur de passe

Elle doit varier en fonction de la nature du travail mais aussi de la grosseur des grains et de la structure de la meule. Un travail d'ébauche, ou de gros grains, ou une structure ouverte, autorisent une plus grande profondeur de passe. En fait, comme les grains et la structure sont déjà adaptés à la nature du travail, on peut admettre les profondeurs de passe suivantes: 0,05 à 0,1 pour l'ébauche, 0,02 à 0,01 pour la demi-finition, 0,002 à 0,001 pour la finition. En pratique, pour la finition, on renouvelle les passes jusqu'à la suppression des étincelles, c'est-à-dire jusqu'à la disparition des défauts dus au fléchissement éventuel de la pièce.

D. Arrosage

Le mélange à sec provoque, par réchauffement rapide de la pièce, l'altération de sa dureté superficielle et des déformations. **Il faut donc travailler sous arrosage.**

1° Arrosage par ajutage orienté

Grâce à l'ajutage terminé en sifflet et convenablement orienté, le liquide arrose la pièce au lieu d'être attiré et projeté par la meule.

De plus, la largeur de l'ajutage est inférieure à l'épaisseur de la meule pour soustraire la veine liquide au courant d'air chassé vers la périphérie sur chaque face de la meule

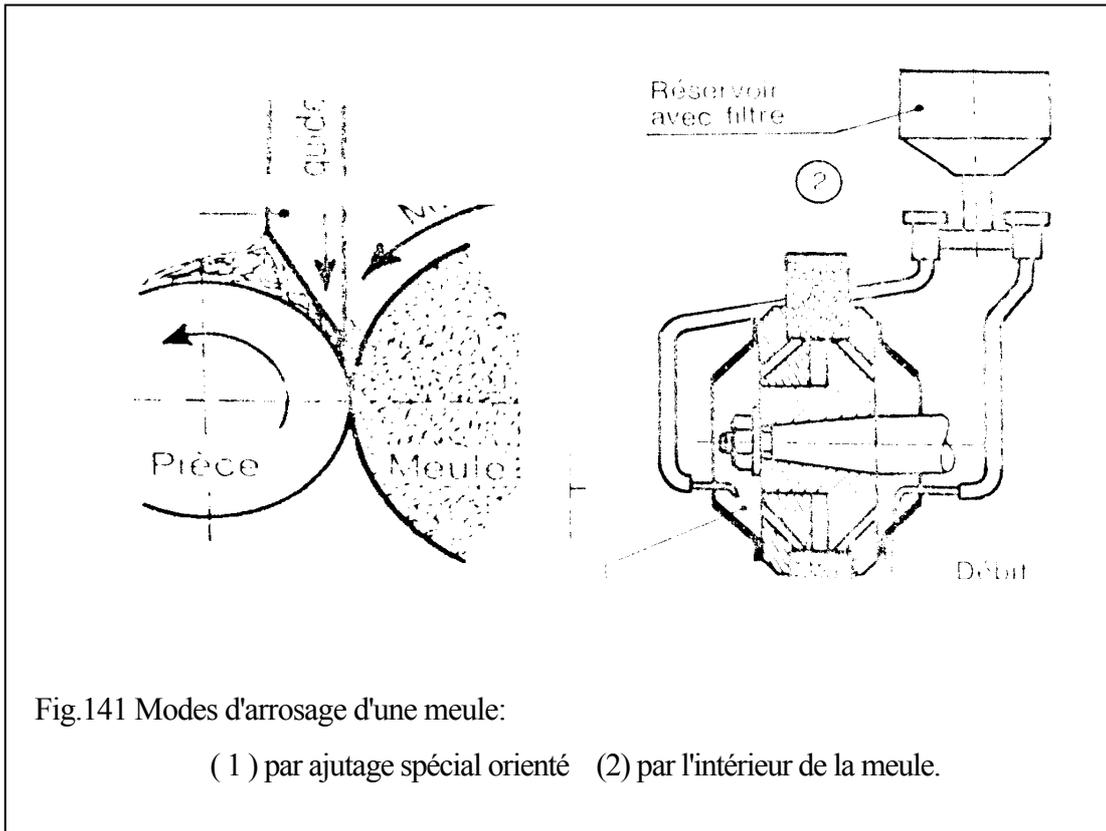


Fig.141 Modes d'arrosage d'une meule:

(1) par ajutage spécial orienté (2) par l'intérieur de la meule.

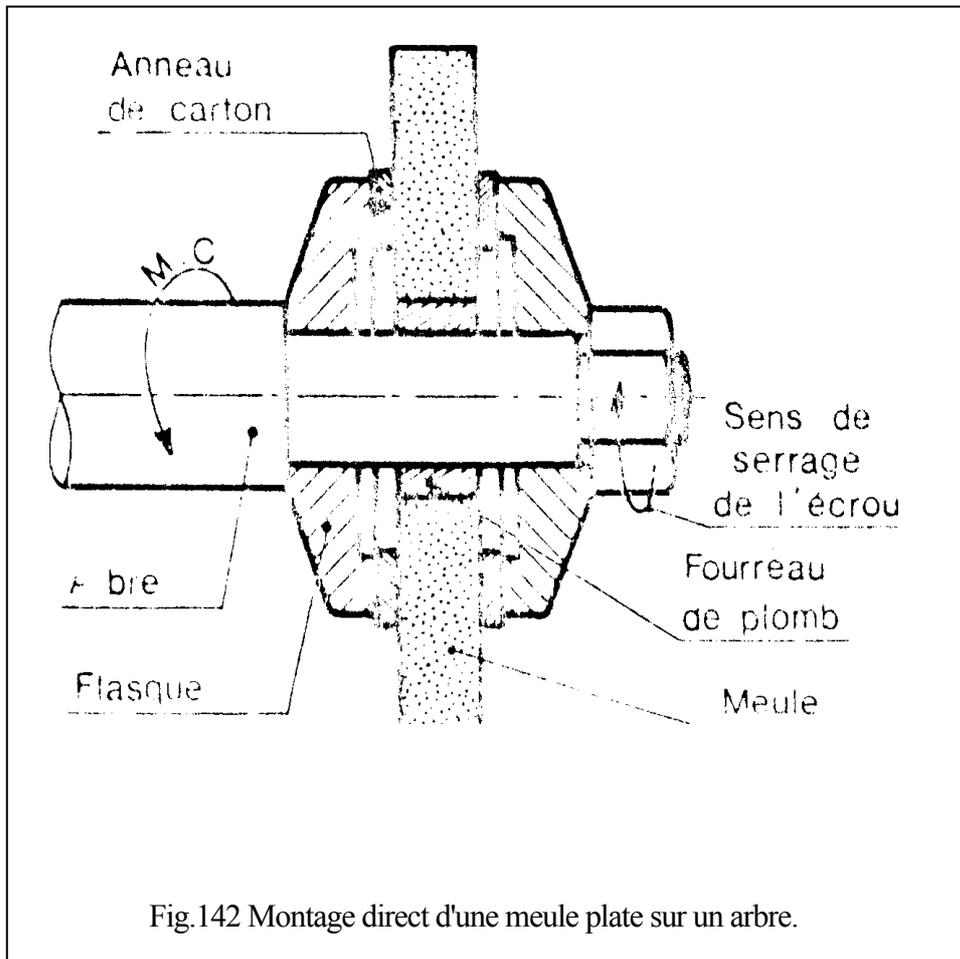
2° Arrosage par l'intérieur de la meule

Du fait de porosité des meules (meules vitrifiées surtout) et sous l'effet de la force centrifuge, le liquide d'arrosage admis goutte à goutte dans la partie interne, traverse la masse et vient au contact de la pièce qu'il refroidit efficacement

Cependant, le liquide d'arrosage qui circule en circuit fermé, entraîne avec lui les copeaux et les particules de désagrégation de la meule et devient rapidement boueux, il s'ensuivrait une obstruction des pores si l'installation ne comportait obligatoirement un filtre efficace.

17.2.5 Montage des meules

1° Précaution de montage.

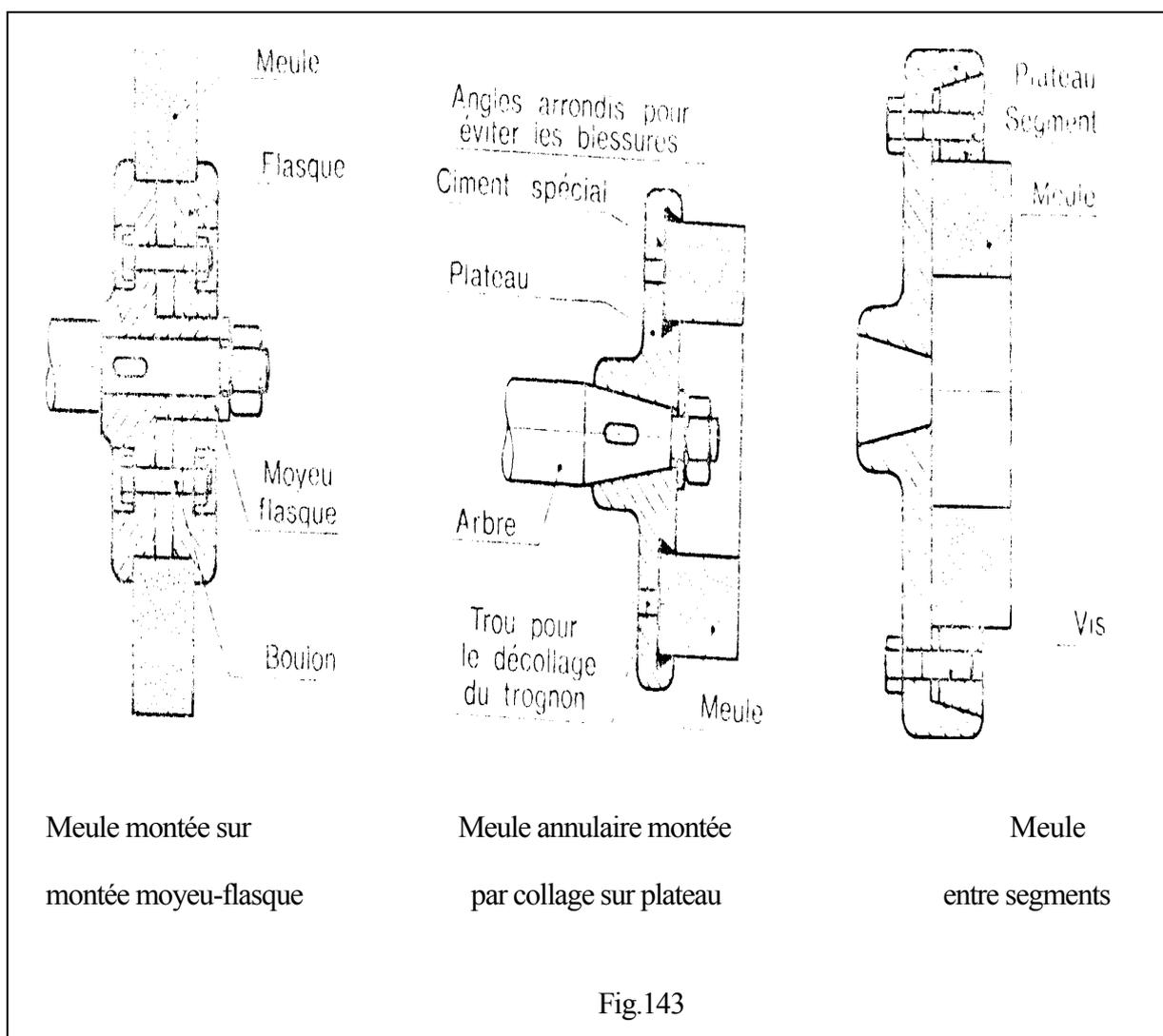


En raison de leur grande vitesse de rotation, les meules présentent de graves dangers et leur montage doit garantir la sécurité au maximum. Il faut donc respecter les règles essentielles ci-après:

- avant montage, **sonner** la meule avec un petit marteau pour détecter toute éventuelle fêlure. Une meule non fêlée rend un son clair;
- n'accepter que la meule qui **glisse librement mais sans jeu** sur l'arbre porte-meule;
- **intercaler** entre les flasques et la meule une **rondelle de carton mince** (fig.) pour égaliser la pression de serrage;
- **s'assurer que le sens de rotation** de la meule **n'a pas tendance à dévisser l'écrou de serrage** par inertie au moment du démarrage;
- **après montage, laisser tourner la meule à vide pendant un court instant** en évitant de se placer dans son champ.

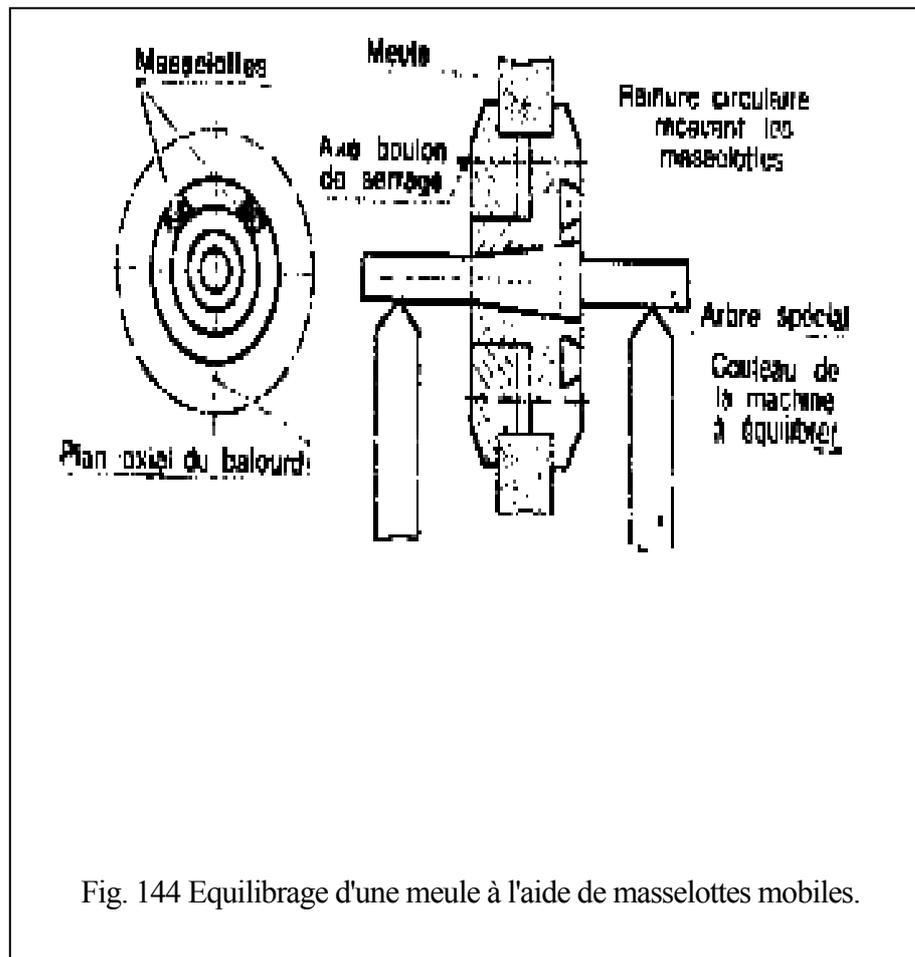
2° Modes de montages

- **Sur arbre avec écrou en bout.** C'est le plus courant et qui convient aux meules de moyennes et petites dimensions.
- **Sur moyeu flasque.** On réduit ainsi le volume du trognon central inutilisable et on reporte la masse sur un diamètre moyen plus important, ce qui augmente la vitesse circonférentielle.
- **Sur plateau** pour les meules annulaires. La fixation peut alors être réalisée par **collage** ou par serrage à l'aide de segments de coincement.



3° Equilibrage des meules

Le moindre **balourd** provoque des vibrations préjudiciables à la quantité du meulage. **Il est donc nécessaire d'équilibrer les meules lorsque leur masse est**



L'équilibre d'une meule montée sur moyeu-flasque, par exemple, peut être obtenu par déplacement des masselottes dans une rainure portée par le flasque centré. L'ensemble, porté par un arbre spécial, est posé sur les deux appuis couteaux parfaitement horizontaux d'un appareil d'équilibrage. Le balourd provoque la rotation de la meule pour occuper la partie basse et les masselottes sont fixées en partie haute apposée jusqu'à immobilité indifférente de la meule.

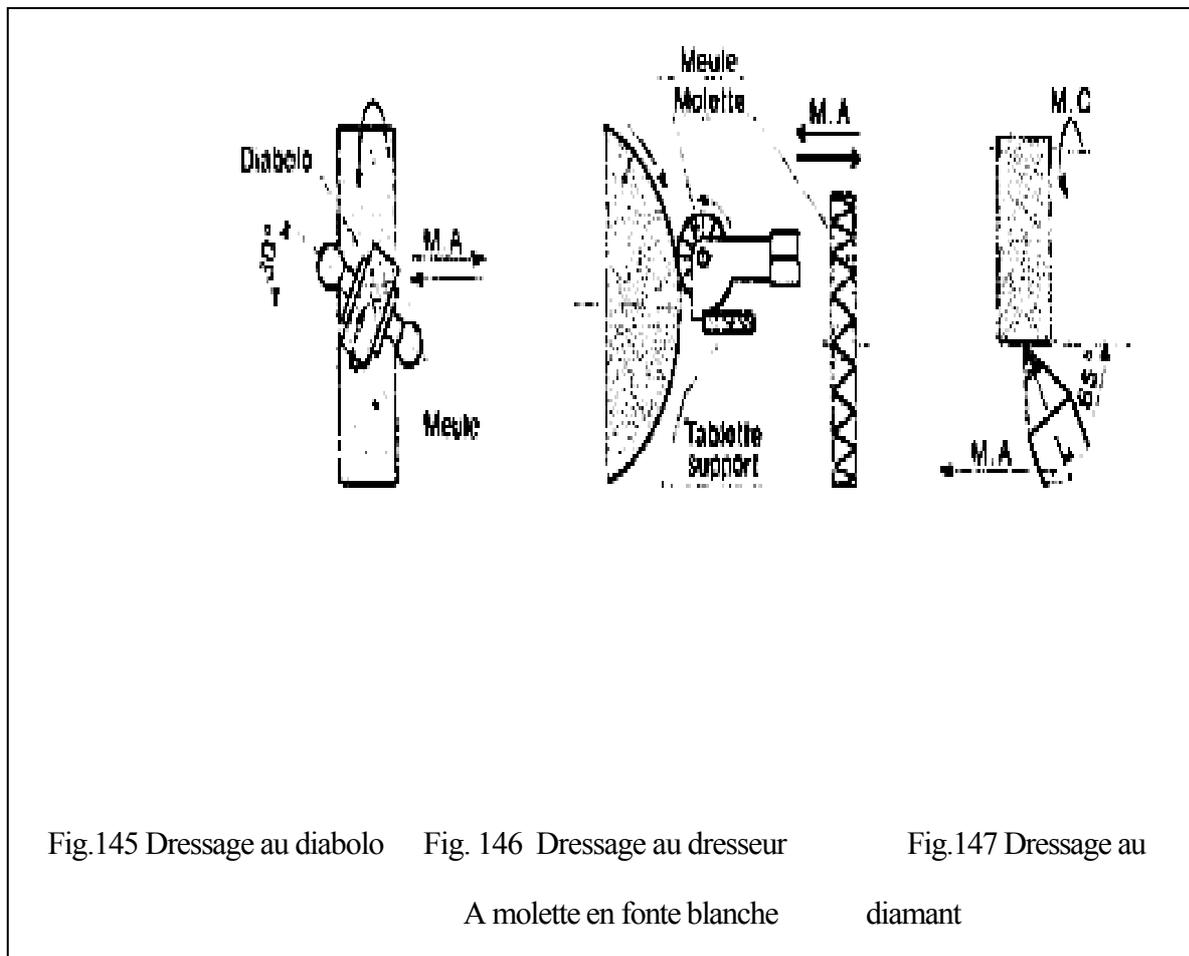
17.2.6 Entretien des meules

L'usure entraîne des irrégularités de forme, des faux ronds (balourds), des encrassements locaux. Il est donc nécessaire de corriger périodiquement ces défauts et d'éliminer les grains emprisonnés dans les parties lustrées.

On peut avoir aussi à tailler le chant à un profil correspondant à celui de la pièce à meuler. Pour les **réfections**, on peut utiliser:

- Le **dresseur diabolo** surtout pour les meules d'affûtage à main;
- Le **dresseur à molettes** pour le décrassage des meules d'ébarbage.

Le **retailage soigné et précis** ne peut se faire qu'au **dresseur à diamant** guidé. C'est le cas pour les meules de rectifieuses et d'affuteuses.



17.2.7. Précautions à prendre pour le meulage

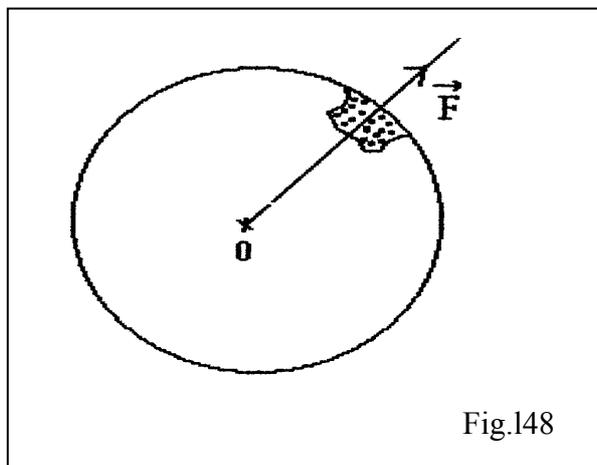
Pour éviter les accidents:

- ne pas utiliser une meule dépourvue de capot de protection;
- porter des lunettes protectrices;
- approcher le support de pièces - dans le cas d'un meulage à la main - le plus près possible de la meule, pour éviter entraînement de la pièce et son coincement entre la meule et le support, et fixer le support très solidement.

17.2.8. Vérification préalable

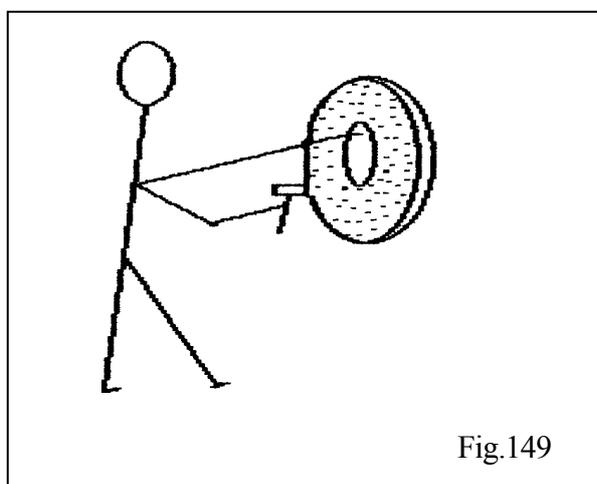
Les meules sont fragiles, elles doivent être manipulées avec précaution, il faut éviter les chocs. La meule tourne à grande vitesse, chacune de ses parties est soumise à l'action d'une force qui tend à l'arracher de la masse

F : Force d'arrachement appliquée à une partie de meule.



En conclusion, une meule qui n'est pas saine risque d'éclater, il faut donc, avant de procéder au montage, la tenir par son alésage et donner un léger coup de maillet, (fig.), deux cas:

- le son est clair: la meule n'est pas fêlée;
- le son est mat: la meule est fêlée, il ne faut pas la monter.



Les meules sont très employées en rectification. La finition par rectification des pièces semi-finies assure des valeurs très réduites pour tous les tolérances qui définissent les surfaces planes.

La surface rectifiée est engendrée par la périphérie d'une meule plate. Trois mouvements coordonnés sont nécessaires pour produire une surface.

M_e : mouvement de coupe circulaire continu de la meule.

M_e : mouvement rectiligne alternatif de la pièce.

M_a : mouvement d'avance rectiligne discontinu de la pièce.

La rectification nécessite:

- Le repérage de la zone de surépaisseur maximale.
- Plusieurs passes ($p = 0,02$ à $0,04$ mm) pour blanchir la surface en faisant disparaître les irrégularités de forme.
- Plusieurs passes d'ébauche ($p = 0,02$ à $0,04$ mm)

La surépaisseur résiduelle sur la surface blanchie est donc répartie entre l'ébauche et la finition. Exemple: plan $S = 0,10$ mm e réservent $0,01$ mm pour la finition, il reste $0,09$ mm pour l'ébauche réalisable en trois passes de $p = 0,03$ mm. Il existe:

- la rectification plane.
- et la rectification cylindrique.

La génération du plan nécessite deux mouvements que l'on retrouve sur la machine .

M_m Mouvement de coupe de la meule

M_{cp} Mouvement de coupe de la pièce

(rectiligne alternatif) M , Mouvement d'avance de la pièce

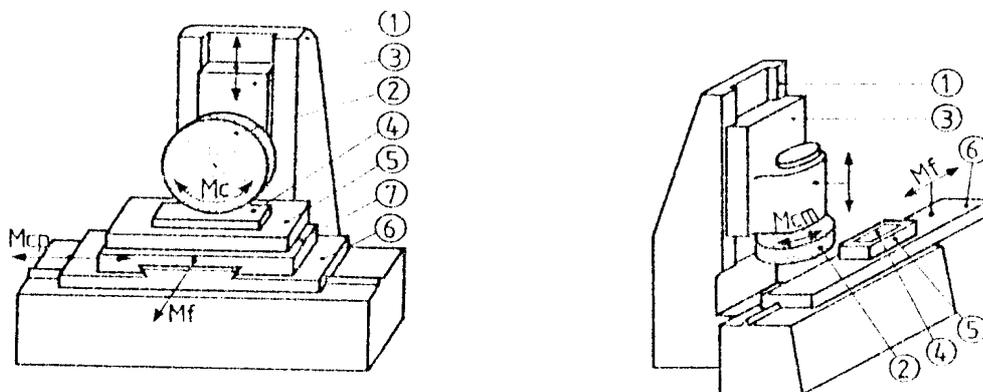


Fig .150 Rectifieuse à meule de profil

Rectifieuse à meule de face

1- bâti, 5- porte pièce

2- meule, 6- table longitudinale animée d'un mouvement, 7- chariot transversal

3- chariot porte meule (pénétration)

4- pièce

Rectification par meulage de profil

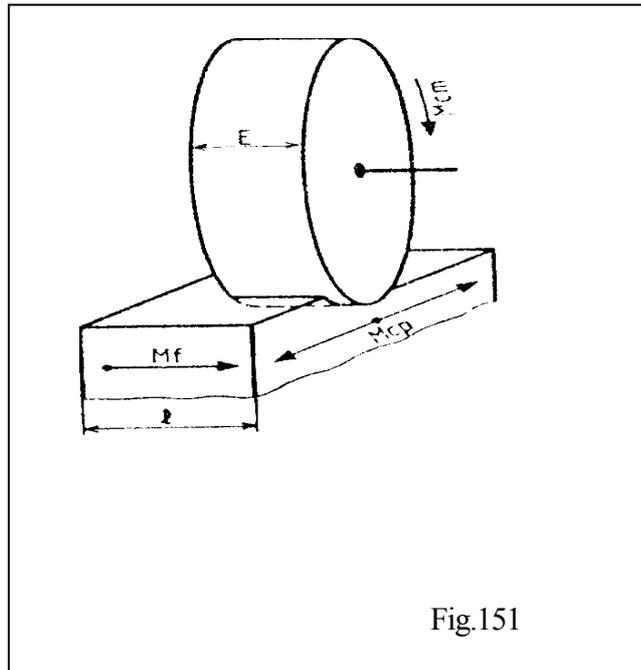


Fig.151

Liaisons entre les différents organes d'une rectifieuse à meule

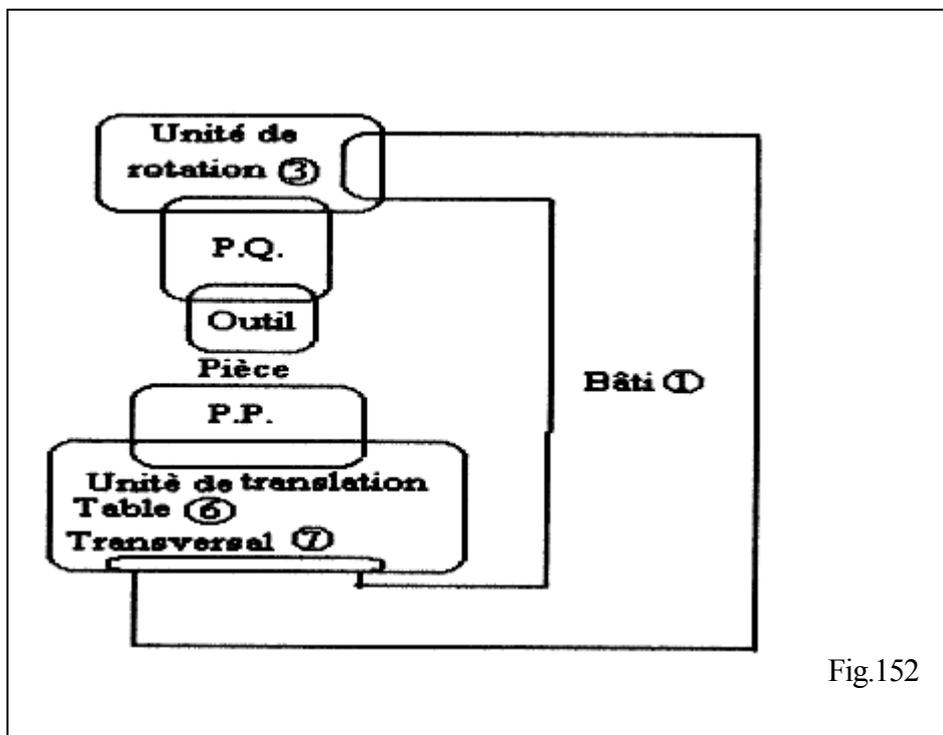


Fig.152

Par meulage de face

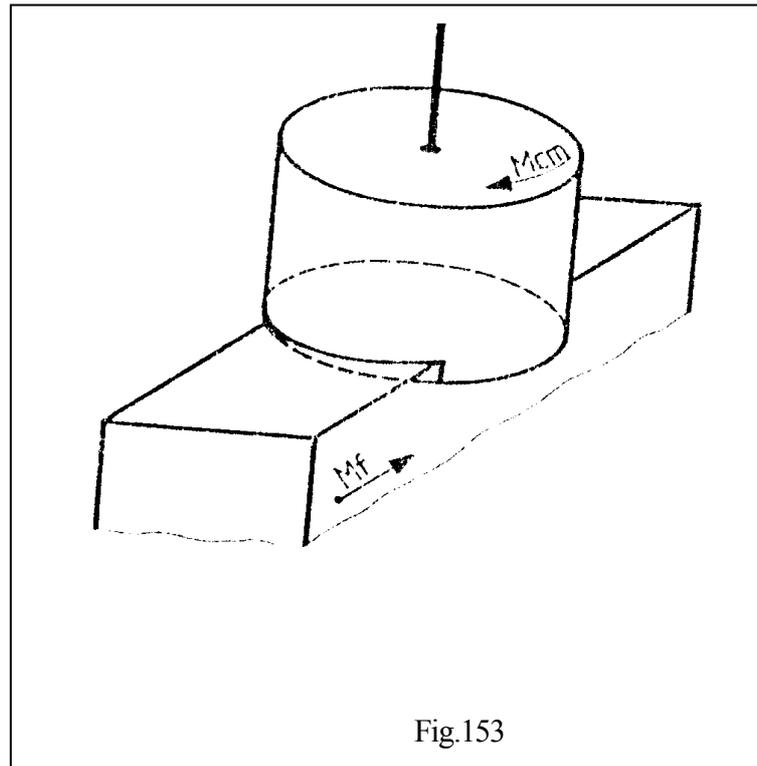


Fig.153

17.2.9. Rectification plane La meule est animée d'un mouvement de rotation, le mouvement d'avance est généralement donné à la pièce.

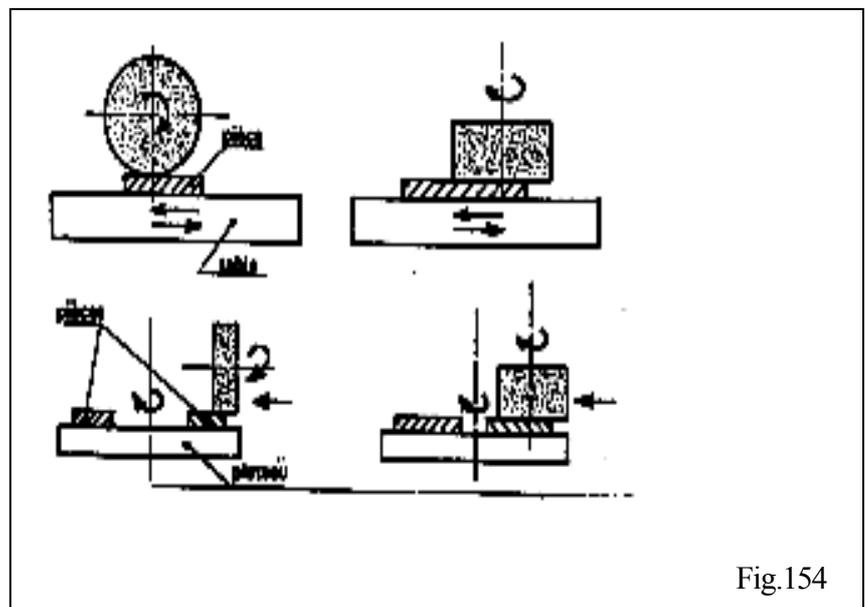


Fig.154

17.2.10. Rectification de révolution.

Rectification extérieure (cylindrique ou conique) Meule et pièces sont animés d'un mouvement de rotation, le mouvement d'avance est donné à la meule ou à la pièce.

Rectification intérieure

- pièce en rotation (7).
- Pièce fixe, la meule est animée d'un mouvement planétaire.

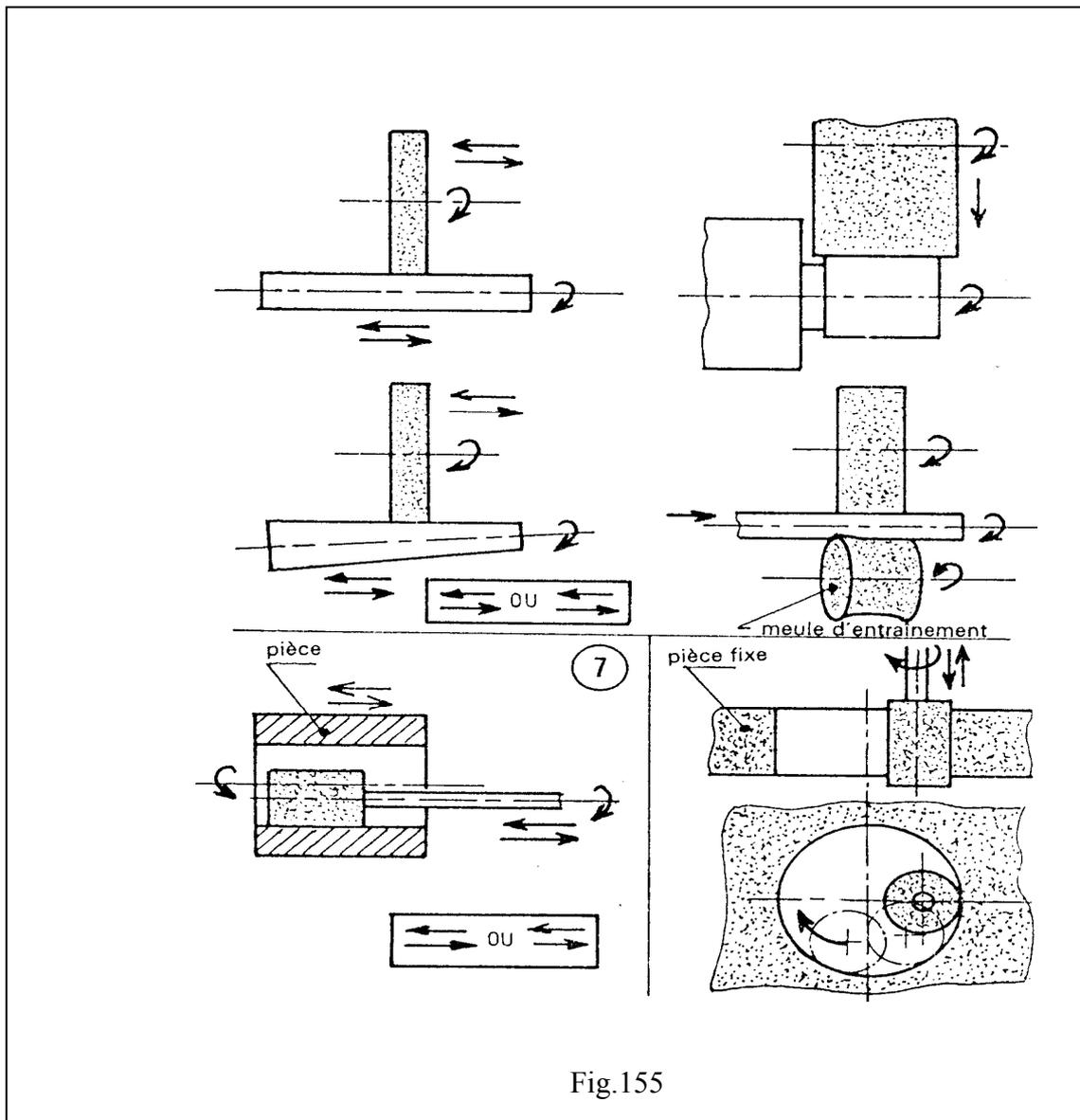


Fig.155

SOMMAIRE

1. Introduction.....	1
2. Matériaux d'outillages et exigence principale de l'outil de coupe	10
3. Caractéristiques des outils de coupe	26
4. Types des outils de coupes	46
5. Formes des outils de coupe pour tournage	50
6. Eléments de coupe en tournage	55
7. outils à plaques amovibles	60
8. Effets de la lubrification	80
Taille des copeaux	89
10. Vibrations et broutements	91
11. Durée, débit et vitesse de coupe.....	93
12. Etude de lubrification.....	111
13. Outils à raboter.....	125
14. Les outils de tournage	128
15. Forêts et alésoirs	134
16. Outils de fraisage	146
17. L'outil abrasif.....	163

BIBLIOGRAPHIE

1. Coupe des métaux, Pierozak-Jean Pierre. Editrion OPU Alger 1988
2. Iaschenbuch Maschinenbau (band I/II). Edition VEB Verlag Berlin 1965.
3. Fabrication Mecanique, Tome I, R. Butin et M. Pinot. Edition Foucher Paris.
4. Fabrication Mecanique, Tome II, R. Butin et M. Pinot. Edition Foucher Paris
5. Technoilogie, A Castel et A. Dupont. Edition Desforges Paris.