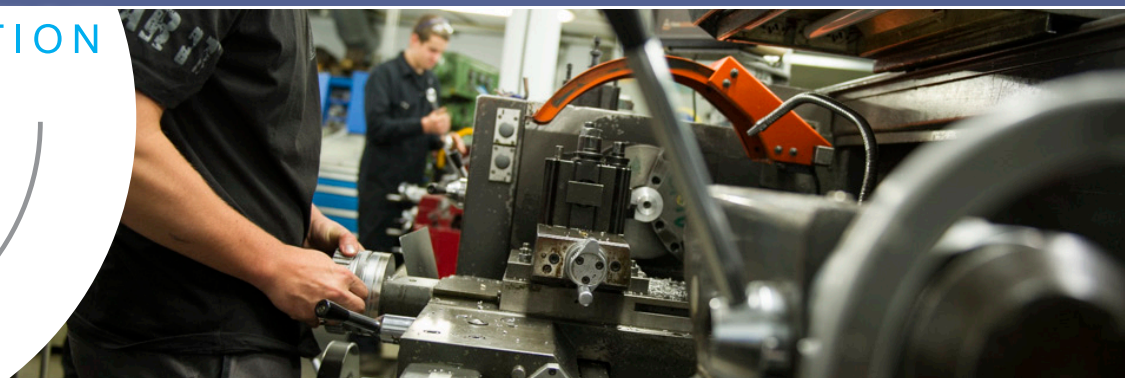


FORMATION
ifpm



USINAGE

TOURNAGE

FRAISAGE

Table des matières

USINAGE - Tournage	1
Tour parallèle	2
Dressage	3
Les opérations	5
Vitesse de coupe	6
Réalisation d'un cône	7
Outils de tour	8
Signes d'usinage	8
Le taraudage	9
Micromètre à enclume	10
Préréglage d'une passe de 1/100 mm sur un tour	11
Les alliages légers	11
USINAGE - Fraisage	13
Introduction	14
Classification des fraiseuses	15
Les opérations principales du fraisage	16
Les fraises à surfacer et surfacer-dresser	17
Les plaquettes	18
Résoudre les problèmes	20
La granulométrie du carbure	20
État de surface	21
Usinage d'un parallélépipède	21
Fraisage en opposition	22
Fraisage en avalant	22
Mode d'action des fraises	23
Pied à coulisse au 1/10 mm ou vernier	23
Profondeur de passe (normes Clarkson)	25
Influence du diamètre sur les paramètres de coupe	26
Vitesse de coupe en fraisage	27
Les angles de coupe et la formation du copeau	28
L'usinage et la production de chaleur	29
Comparateur à cadran	30
Dégauchissage de la table orientable	31
Dégauchissage de la tête universelle	32
Dégauchissage de l'étau	33
Vitesse d'avance	34

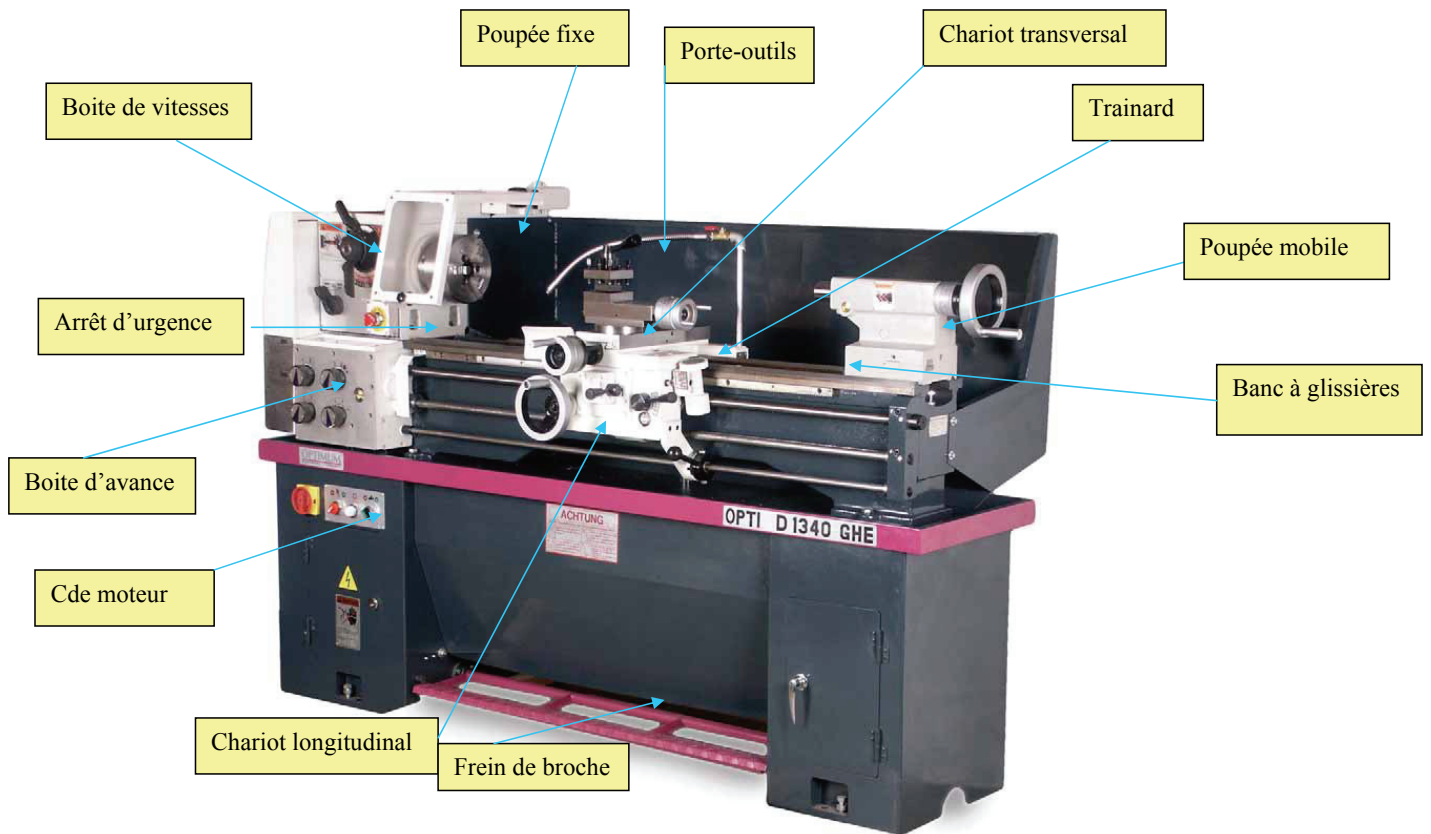
Le micromètre à enclume	36
Tableau paramètres de coupe	37
Récapitulatif	37
Démontage des mandrins porte-fraise	38
Jauges et micromètres de profondeur	39
Exemple de spécification matière	39
Section du copeau	40
Types de fraises	41
Les efforts de coupe	45
Le rattrapage de jeu	46
Choix du diamètre	46
Les attachements et mandrins	47
Élaboration des carbures métalliques	47
Usure des plaquettes	48
Récapitulatif des problèmes et des remèdes	50
Fraise à surfacer à plaquettes réversibles en carbure métallique	51



USINAGE

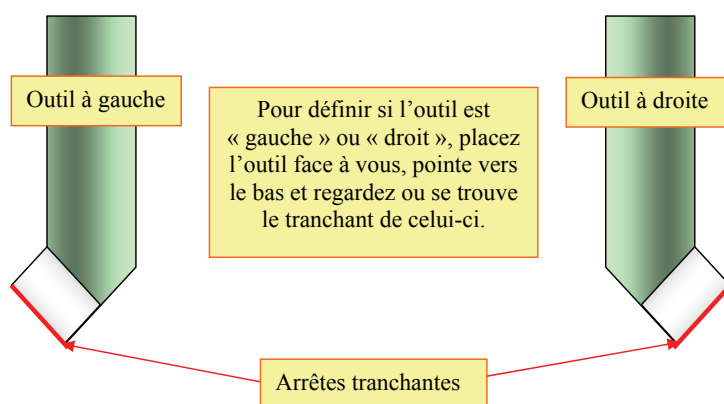
TOURNAGE

TOUR PARALLÈLE

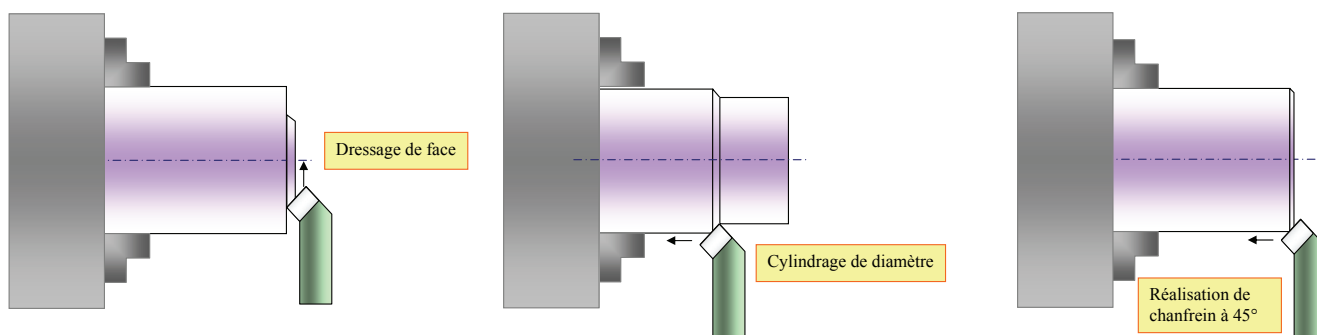


DRESSAGE

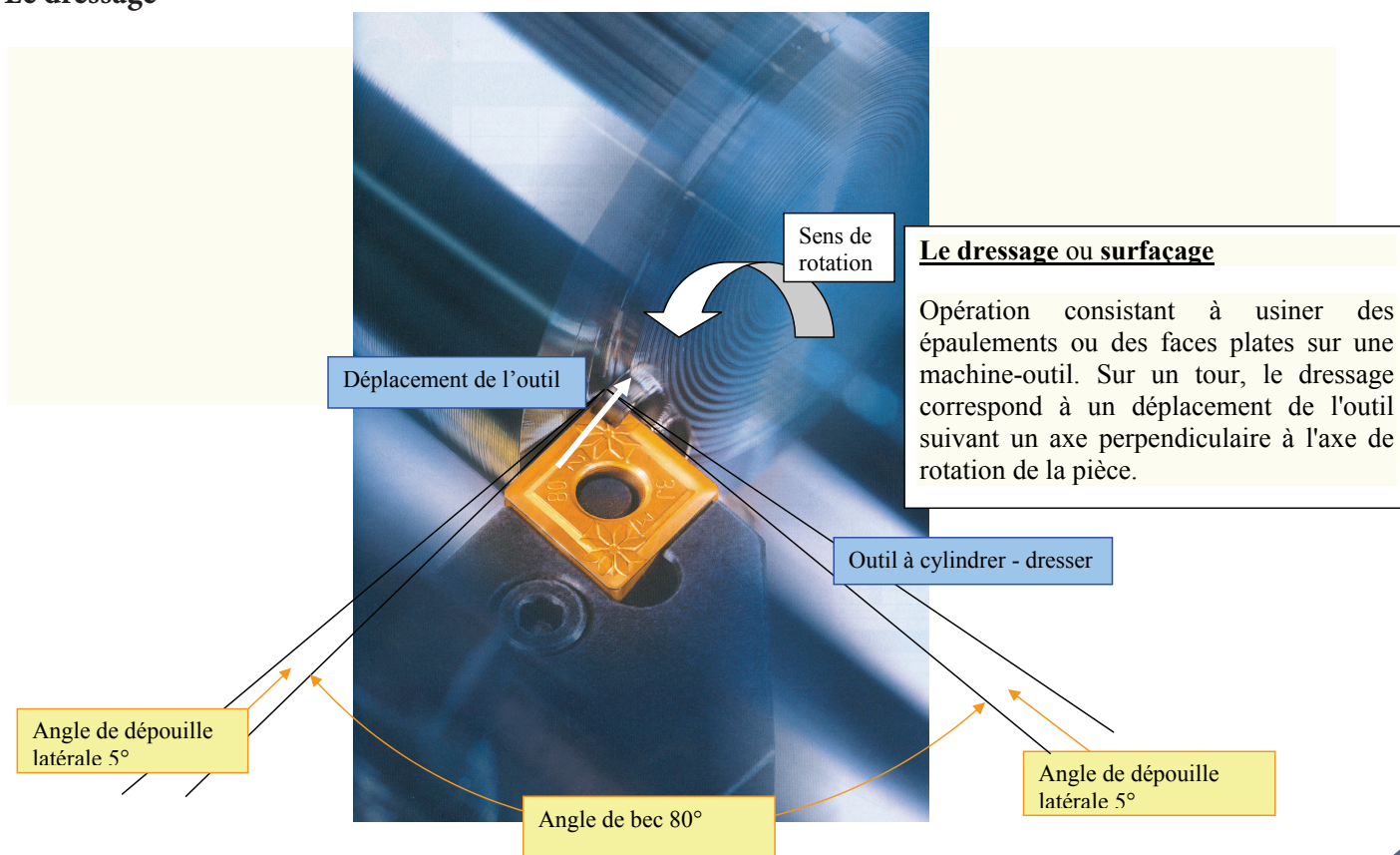
L'outil coudé à charioter



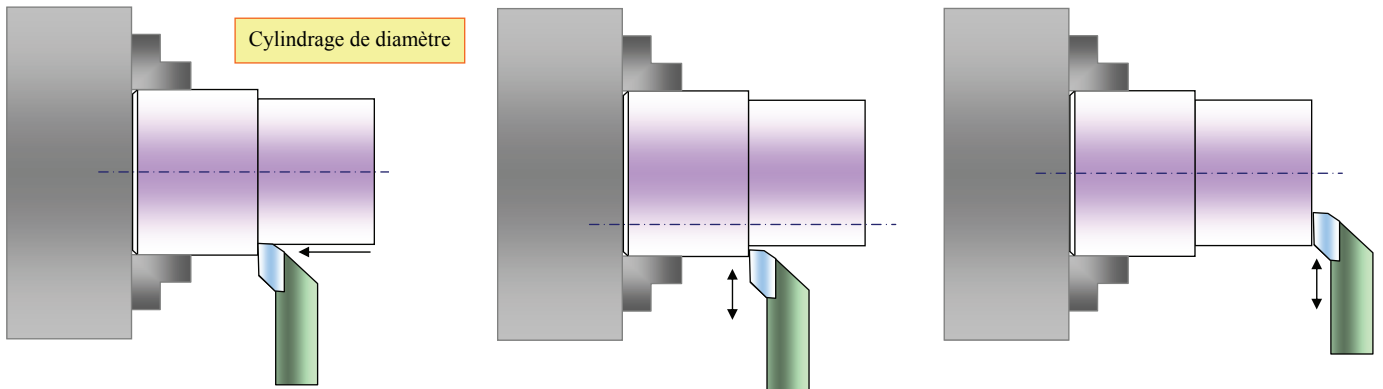
Types de dressage



Le dressage



L'outil couteau ou à cylindrer

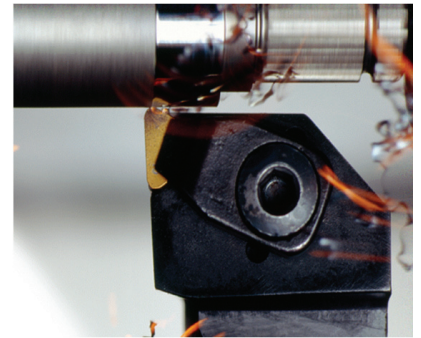


Le chariotage ou cylindrage

Opération consistant à usiner sur un tour un cylindre d'un certain diamètre par déplacement de l'outil de coupe suivant un axe parallèle à l'axe de rotation de la pièce.



Dressage d'épaulement
(passe max. valeur du rayon d'outil)



Dressage de face
(passe max. valeur du rayon d'outil)

L'outil à cylindrer

L'outil à cylindrer-dresser convient bien pour réaliser un cylindrage. De plus, il permet de dresser.
TRÈS ROBUSTE (utiliser en 1^{er} choix si possible).

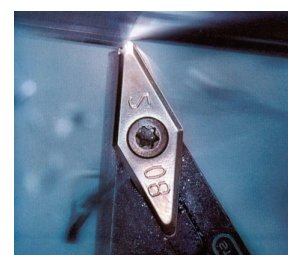
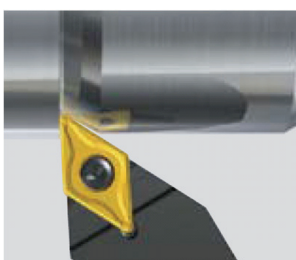


L'outil à cylindrer (copier 55°)
Pointe moins robuste

Nous disposons toutefois d'un grand nombre d'outils permettant ce type d'usinage caractérisé par la forme de l'outil et la forme de la plaquette.

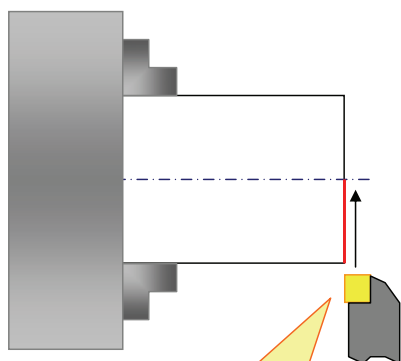
LE CHOIX DÉPEND DU TRAVAIL À RÉALISER.

L'outil à cylindrer (copier 35°)
Pointe moins robuste



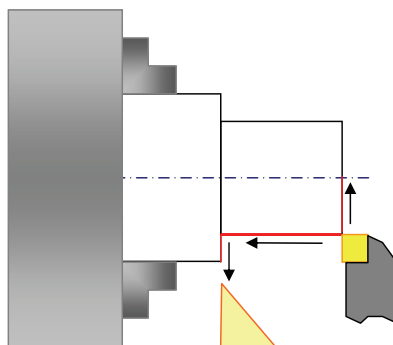
LES OPÉRATIONS

DRESSAGE



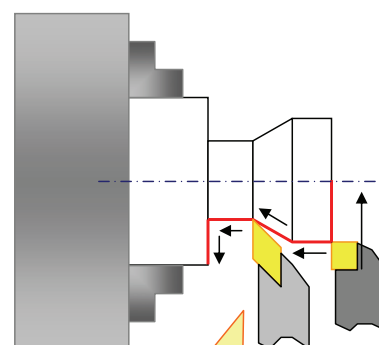
Le dressage s'effectue en général du Ø le plus grand au plus petit (en poussant). Les résultats d'état de surface et de forme sont meilleurs.

DRESSAGE FACE CYLINDRAGE DRESSAGE ÉPAULEMENT



Le dressage d'épaulement s'effectue indifféremment du Ø le plus grand au plus petit (en poussant). Ou du Ø le plus petit au plus grand (tirant). Le choix dépend principalement de la longueur de l'épaulement. Les résultats d'état de surface et de forme sont toutefois toujours meilleurs en poussant.

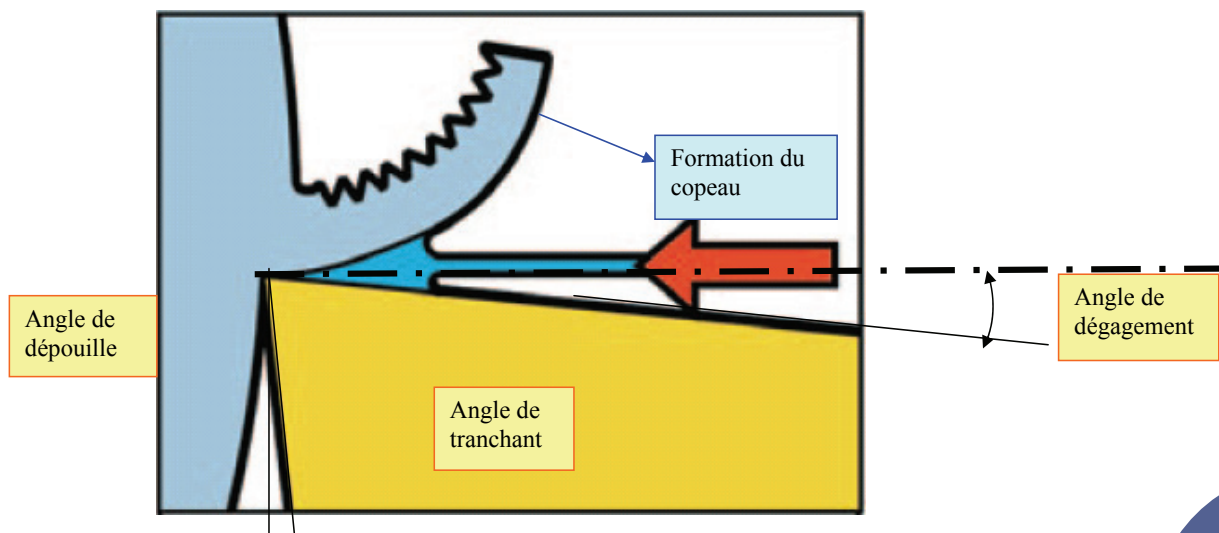
DRESSAGE FACE CYLINDRAGE COPIAGE DRESSAGE ÉPAULEMENT



Dans certains types d'usinage, le changement de l'outil est nécessaire pour une question de forme de la pièce. Elle impose un choix différent.

ANGLES DES OUTILS DE TOUR

MATIÈRE	ANGLE DE DÉPOUILLE	ANGLE DE TRANCHANT	ANGLE DE DÉGAGEMENT
Fonte grise	5°	75°	10°
Fonte blanche	4°	82°	4°
Acier doux	6°	60°	24°
Acier mi-dur	6°	65°	19°
Acier dur	5°	75°	10°
Bronze	6°	80°	4°
Laiton	6°	82°	2°
Aluminium	7°	43°	40°
Duralumin	7°	43°	40°



VITESSE DE COUPE (VC)

La vitesse de coupe, ou « VC », est le chemin circconférentiel (ou périmètre) parcouru par un point situé sur le diamètre extérieur de la pièce pendant une minute. On l'exprime en **mètres par minute** ou encore **m/min**.

C'est, en somme, la longueur du copeau en **mètres** pendant l'unité de temps : **la minute**.

Un point sur un diamètre « D » en **mm**, parcourant un tour effectue une distance de $\pi \times D$. en mm.

Si elle tourne à « n » en **tr/min**, en une minute nous aurons $\pi \times D \times n$ = sa vitesse de coupe **VC**, en **mm par min**.

Pour avoir des **m/min** : il suffit de diviser par **1000**

$$\text{En résumé, nous aurons} \quad VC = \frac{\pi \times D \times n}{1000}$$

La vitesse de coupe est fonction de plusieurs variables dont les principales sont :

1° la nature du métal constituant la pièce : aluminium, bronze, fonte, acier carbone, acier allié, etc. ;

2° la nature du métal constituant l'outil : HSS, HSSC, carbure revêtu ou pas, etc. ;

3° la section du copeau (élément modifiable selon qu'il soit question d'un travail d'ébauche ou de finition) ;

4° et encore bien d'autres variables.

Nous devons savoir que tout comme lorsque nous nous frottons les mains énergiquement, notre outil va s'échauffer au frottement avec la pièce à usiner.

Plus la matière est dure, plus nous aurons des efforts et plus nous aurons d'échauffement.

Plus l'outil est dur et plus il va résister à cet échauffement.

Certains fabricants d'outils ont élaboré des outils avec des recouvrements qui ont comme propriété de faciliter le frottement → de diminuer les efforts → de diminuer l'échauffement.

Les paramètres de coupe dépendent de la durée de vie souhaitée pour l'arête de coupe de notre outil.

En résumé, nous ne devons pas calculer la VC mais connaître les paramètres qui nous permettent de faire le **BON CHOIX** dans des notices ou catalogues de fabricants d'outils.

Vitesse de coupe de base (ébauche)

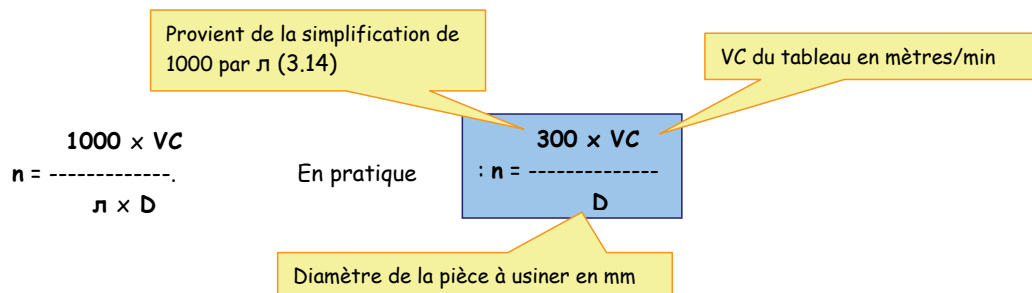
MATIÈRE À USINER	MATIÈRE DE L'OUTIL		C.M. (moyen)
	A.R.O	A.R.S.	
Acier doux jusque Rm45 kg/mm ²	30 m/min	50 m/min	220 m/min
Acier doux jusque Rm 55	20 m/min	40 m/min	190 m/min
Acier demi/dur jusque Rm 65	18 m/min	30 m/min	160 m/min
Acier dur jusque Rm 75	15 m/min	25 m/min	130 m/min
Acier dur jusque Rm 85	10 m/min	15 m/min	105 m/min
Fonte douce	20 m/min	30 m/min	100 m/min
Cuivre	100 m/min	150 m/min	280 m/min
Laiton	60 m/min	75 m/min	325 m/min
Bronze ordinaire	30 m/min	40 m/min	320 m/min
Bronze ou phosphore	20 m/min	30 m/min	280 m/min
Aluminium	150 m/min	350 m/min	395 m/min
Duralumin	125 m/min	200 m/min	320 m/min
Nylon	125 m/min	200 m/min	-
Aciers inoxydables		10 à 15 m/min	135 m/min
Aciers spéciaux Or-Ni-Va-Mo		8 à 30 m/min	65 m/min

Pour les carbures, la documentation du fournisseur est la seule référence. Dans ce tableau, les valeurs sont indicatives.

A.R.O. = Acier Rapide Ordinaire
A.R.S. = Acier Rapide Supérieur
C.M. = Carbures Métalliques

Calcul de la vitesse de rotation en fonction du diamètre de la pièce et de sa vitesse de coupe

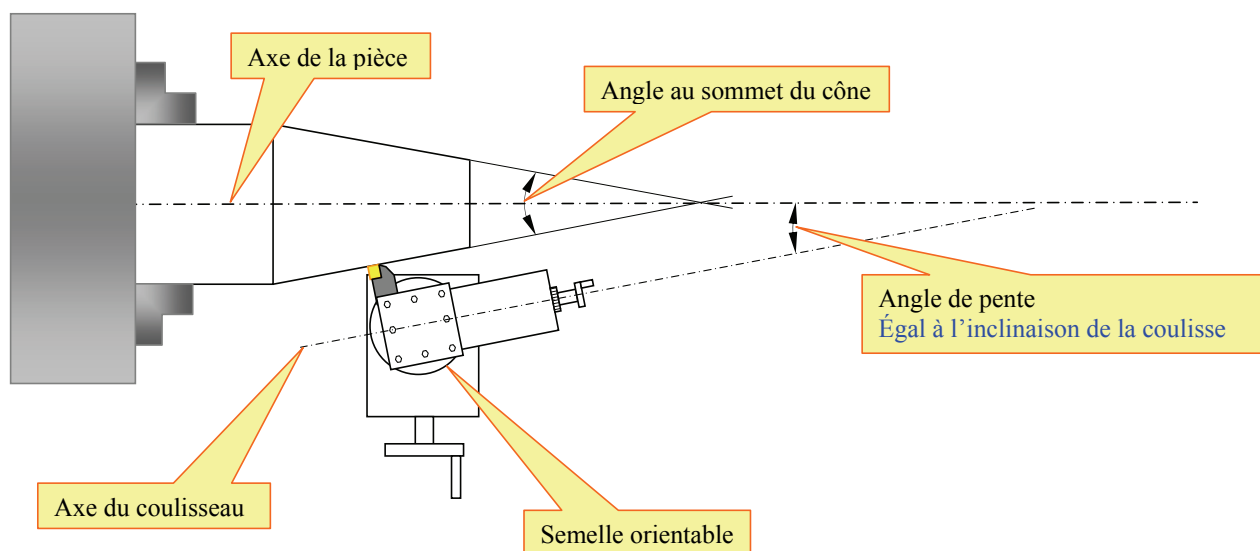
VC m/min est donc une donnée, il faut calculer la vitesse de rotation n Tr/min



Avec arrosage abondant, augmenter les vitesses ainsi obtenues de 25 %.
Lubrification : huile soluble ou huile de coupe.

RÉALISATION D'UN CÔNE

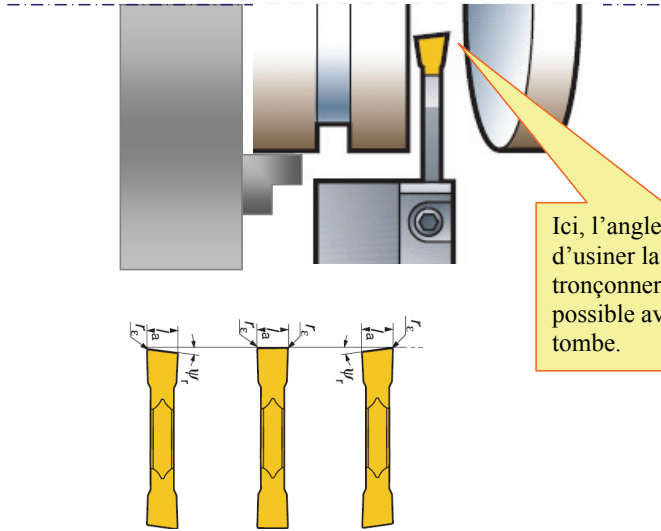
Par l'inclinaison du coulisseau porte-outil



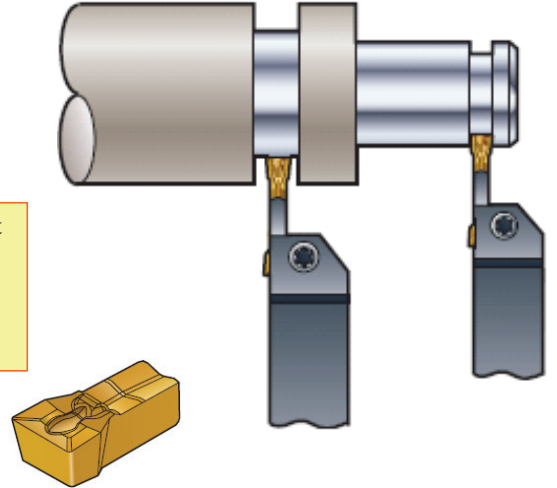
$$\text{Angle de pente ou l'inclinaison de la coulisse} = \frac{\text{Angle au sommet du cône}}{2}$$

OUTILS DE TOUR

Outil à tronçonner



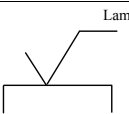

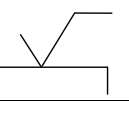
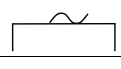
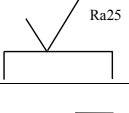
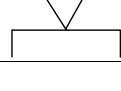
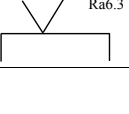
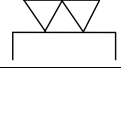
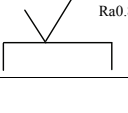
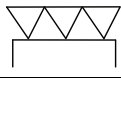
Outil à gorge ou à rainurer



- N'attaquer le métal qu'après écroûtage ;
- Tronçonner le plus près possible de la broche ;
- Bloquer le corps du chariot sur le banc ;
- Éviter de lubrifier avant l'amorçage du tronçonnage ;
- Si la pièce comporte un trou, la recevoir sur une tige.

SIGNES D'USINAGE

But : les signes d'usinage permettent de distinguer les surfaces qui restent brutes de celles qui doivent être usinées. De plus, ils renseignent l'état de fini des surfaces usinées.

SIGNES NORMALISÉS	Anciens signes	DÉSIGNATION	PRÉCAUTION
		Surfaces brutes obtenues à la suite d'un moulage, forgeage, laminage, étirage, etc.	Surfaces brutes.
		Surfaces brutes mais propres obtenues par un travail plus soigné.	Ne pas prévoir de surépaisseur d'usinage.
		Surfaces obtenues à la suite d'un ou plusieurs dégrossissages. Les stries laissées par l'outil sont perceptibles au toucher et visibles à l'œil nu.	Surfaces usinées.
		Surfaces obtenues à la suite d'un ou plusieurs finissages. Les stries laissées par l'outil sont peu visibles à l'œil nu. Fini dit « normal ».	
		Surfaces obtenues à la suite d'un ou plusieurs usinages plus soignés. Les stries laissées par l'outil ne sont plus perceptibles à l'œil nu. Fini soigné.	Prévoir une surépaisseur d'usinage.

LE TARAUDAGE

À la main

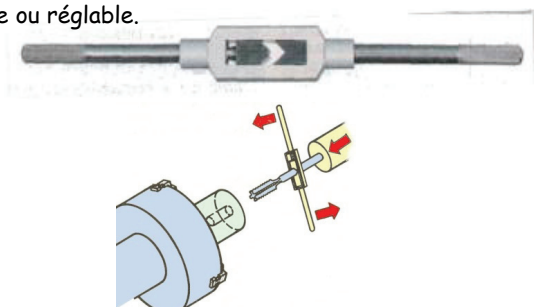
Le jeu de tarauds

Il est généralement constitué de 3 tarauds qui forment le filet en 3 séries de passes.

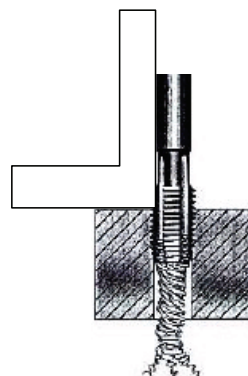


Le tourne-à-gauche

Il sert à l'entraînement des tarauds.
Il est fixe ou réglable.



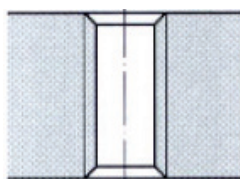
Positionnement du taraud



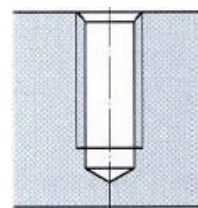
Ø Nominal	Pas	Perçage acier travail courant $d = D - P$	Perçage bronze ou laiton et fonte $d = D - (P \times 1,2)$
Ø 3	0,50	2,5	2,4
Ø 4	0,75	3,25	3,1
Ø 5	0,90	4,10	3,9
Ø 6	1,00	5	4,8
Ø 8	1,25	6,75	6,5
Ø 10	1,50	8,50	8,2
Ø 12	1,75	10,25	10
Ø 14	2,00	12	11,75
Ø 16	2,00	14	13,75

À la machine

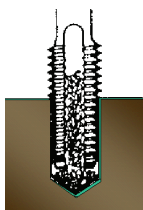
Trous débouchants



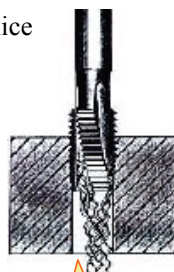
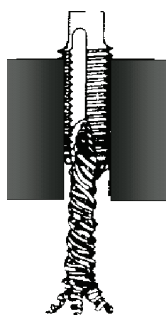
Trous borgnes



Goujures à droite



Goujures hélice à gauche



Goujures hélice à droite

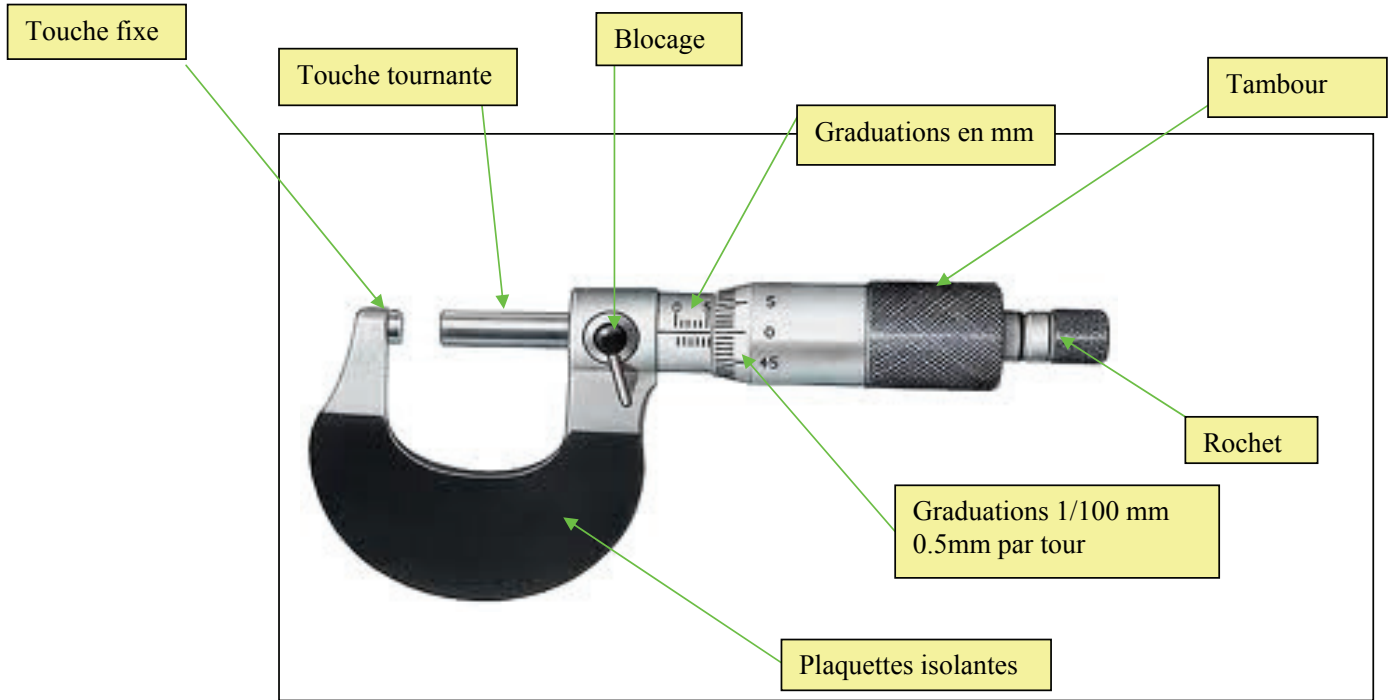


La goujure droite pousse le copeau vers le bas.
Ne convient pas pour les trous borgnes.
Risque de bourrage.

La goujure hélice à gauche pousse le copeau vers le bas.
Ne convient pas pour les trous borgnes.
Risque de bourrage.

La goujure hélice à droite tire le copeau vers le haut.
Convient pour les trous borgnes.
Élimine le risque de bourrage.

MICROMÈTRE À ENCLUME

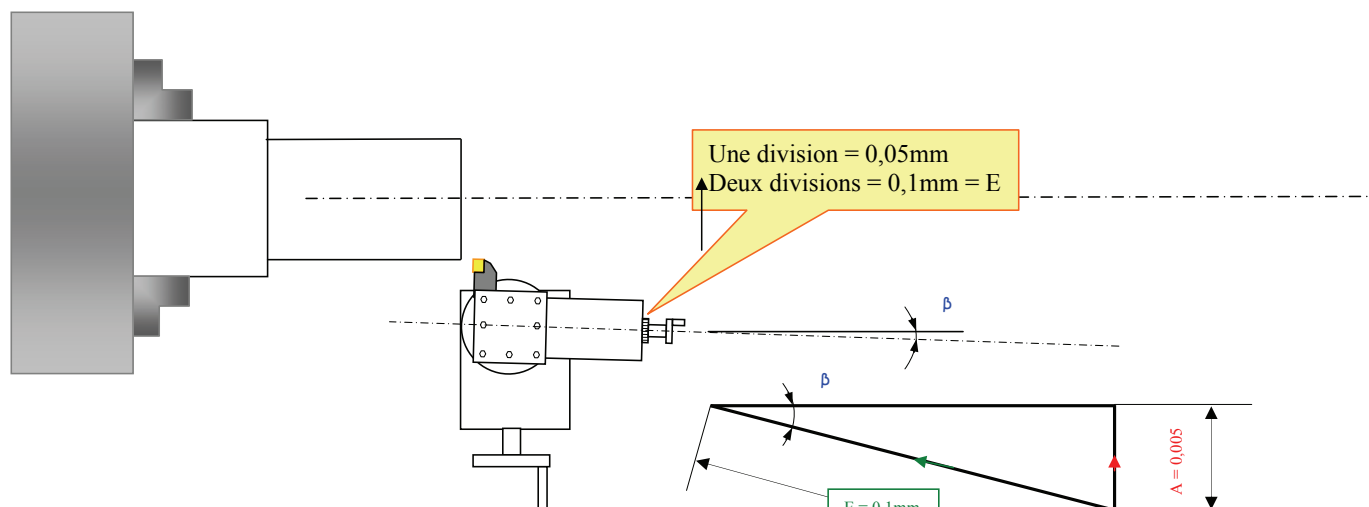


Exercices

Exercises A through J showing different micrometer scale readings. Each exercise consists of a sleeve scale and a drum scale. The sleeve scale has a horizontal line indicating the millimeter and half-millimeter. The drum scale has a vertical line indicating the fractional part of the measurement.

A) Sleeve: 10 mm, 0.5 mm; Drum: 10 → 10.10 mm
B) Sleeve: 15 mm, 0.5 mm; Drum: 20 → 15.20 mm
C) Sleeve: 40 mm, 0.5 mm; Drum: 30 → 40.30 mm
D) Sleeve: 5 mm, 0.5 mm; Drum: 10 → 5.10 mm
E) Sleeve: 40 mm, 0.5 mm; Drum: 45 → 40.45 mm
F) Sleeve: 20 mm, 0.5 mm; Drum: 30 → 20.30 mm
G) Sleeve: 15 mm, 0.5 mm; Drum: 45 → 15.45 mm
H) Sleeve: 30 mm, 0.5 mm; Drum: 20 → 30.20 mm
I) Sleeve: 20 mm, 0.5 mm; Drum: 10 → 20.10 mm
J) Sleeve: 10 mm, 0.5 mm; Drum: 5 → 10.05 mm

PRÉRÉGLAGE D'UNE PASSE DE 1/100 MM SUR UN TOUR



On voudrait réaliser une passe d'une profondeur de $A=0,005$ mm soit 1/100 sur le diamètre de la pièce, serrée dans le mandrin d'un tour.

Si le coulisseau porte-outil est faiblement incliné d'un angle β sur l'axe du tour, chercher la valeur de β telle que pour une avance $E = 0,1$ mm du coulisseau, l'outil se déplace radialement de 0,005 mm.

Pour les petits angles, on peut assimiler A à une fraction de la circonférence $2 \pi E$ de centre O et de rayon E .

$$\beta \approx \frac{A}{2 \pi E} \text{ de } 360^\circ = 360 \times \frac{A}{2 \pi E} = 360 \times \frac{0,005}{2 \pi \times 0,1} = \frac{1,8}{0,2 \pi} = \frac{9}{\pi} = 2,87^\circ = 2^\circ + \frac{87}{100} \times 60' = 2^\circ 52'$$

LES ALLIAGES LÉGERS

On désigne sous ce nom des alliages à base d'aluminium contenant en général plus de 90 % d'aluminium et dont la densité est comprise entre 2,6 et 3,2.

1. ALLIAGES DE FONDERIE

Ces alliages sont coulés en sable ou en coquille, avec ou sans traitement thermique. Ils font preuve d'une résistance ordinaire ($R = 12$ à 20) ou d'une résistance moyenne (20 à 28) ou encore d'une haute résistance ($R = + 28$).

Les alliages aluminium-zinc-cuivre sont employés pour la construction des carters.

Les alliages aluminium-cuivre sont prévus pour la construction automobile et aéronautique.

Les alliages aluminium-silicium (ALPAX) sont utilisés pour la construction des carters automobiles.

2. ALLIAGES DE FORGE

Ces alliages sont coulés sous forme de billettes ou plaques qui sont ensuite laminées, forgées, étirées, estampées.

DURALUMIN : c'est le plus ancien et aussi le prototype des alliages à haute résistance. Sa composition est la suivante :

Cu : 3,5 - 4,5 % - Mn : 0,5 % - Fe : 0,4 % - Mg : 0,5 % - Si : 0,3 - 0,4 %.

3. ÉLÉMENTS DE COUPE

Angle de pente d'affûtage : jusqu'à 40° pour l'aluminium pur. Comme l'acier doux pour les alliages.

Vitesse de coupe : 65 à 125 m/min avec outils en A.R., suivant l'habileté de l'opérateur avec outils en C.M.

4. OBSERVATIONS

Lors de l'usinage de l'aluminium et de certains de ses alliages, les copeaux ont la fâcheuse tendance à coller aux outils. Afin d'y remédier, il est souhaitable de lubrifier avec de l'huile soluble ou du pétrole.

FORET À HELICE DE PAS COURT : ce foret est conçu pour le perçage à grand rendement des alliages d'aluminium, du cuivre rouge et des autres métaux mous.

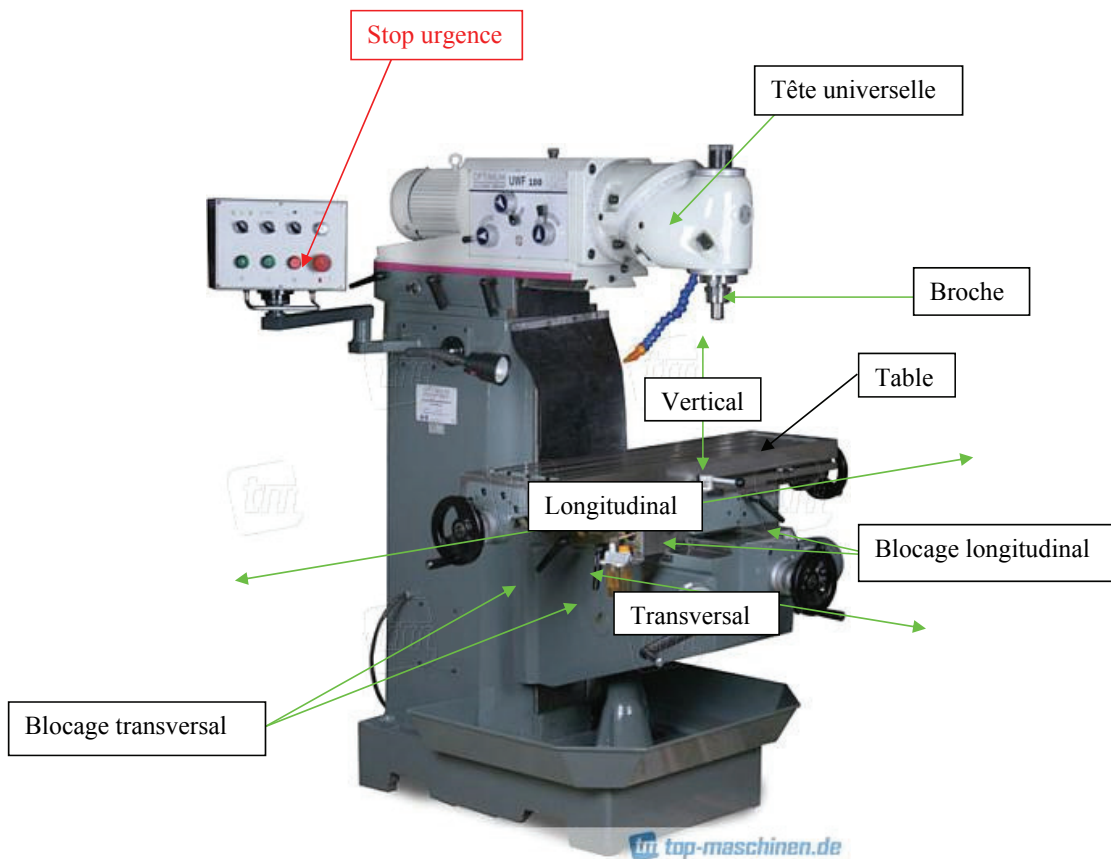


USINAGE

FRAISAGE

INTRODUCTION

Les organes machine et les axes



Consignes de sécurité pour le travail aux fraiseuses

- Ne portez pas de vêtements flottants ; attachez vos cheveux ou portez une casquette et ramenez les cheveux à l'intérieur ;
- Ne touchez ni à la pièce ni à la fraise pendant le travail ;
- Employez un pinceau ou une brosse à main pour dégager les copeaux ;
- Ne nettoyez et ne graissez jamais une machine pendant la marche ;
- Vérifiez l'arrêt électrique de la broche avant de démonter le mandrin porte-fraise (garant de sécurité) ;
- Portez des lunettes de protection chaque fois qu'il y a projection de copeaux, employez l'écran s'il existe, de même pour souffler à l'air comprimé ;
- N'exécutez aucun contrôle pendant la marche de la machine ;
- Éloignez suffisamment la pièce de la fraise pour exécuter une mesure, de manière à éviter le contact accidentel de la main contre la fraise ;
- N'employez pas le mouvement rapide pour des courtes distances ; lorsque celui-ci est employé pour l'approche vers la fraise, arrêtez-le bien avant et continuez l'approche à l'aide du mouvement manuel ;
- Assurez-vous que la pièce et tous les accessoires sont solidement fixés avant de commencer un travail ;
- En cas d'incident, arrêtez immédiatement la machine ; en général, il faut arrêter le mouvement d'avance avant le mouvement de rotation, mais si nécessaire employez le bouton d'arrêt général d'urgence ;
- Signalez immédiatement tout défaut ou toute avarie constatée ;
- Placez un carter de protection sur les trains d'engrenages du diviseur ;
- Pour monter ou déposer une pièce ou un accessoire lourd, faites-vous aider ;
- Ne prenez jamais l'initiative de travailler à l'installation électrique.

CLASSIFICATION DES FRAISEUSES



Fraiseuse universelle :

La machine de base est une fraiseuse à axe horizontal dont la table est orientable ; les mouvements d'avance sont donnés à la table ; l'arbre porte-fraise est animé du mouvement de rotation uniquement.

La machine est conçue de telle manière qu'elle peut recevoir une tête universelle et des équipements spéciaux tels que : appareils diviseurs, tables circulaires, appareil à mortaiser, etc.

Elle permet en principe l'exécution de toutes les opérations courantes : son universalité est due surtout à la possibilité de la convertir en fraiseuse horizontale ou verticale et de pouvoir assurer l'entraînement des appareils diviseurs.



Fraiseuse verticale :

Ce qui différencie le plus cette dernière de la précédente, c'est que la tête verticale possède un déplacement axial de broche ; la table n'est pas orientable ; elle n'est pas conçue pour recevoir des organes de conversion ; la tête ne peut être démontée mais elle est orientable dans un plan. Elle est surtout employée pour exécuter des surfacages, rainures et épaulements avec des capacités de coupe bien supérieures, comparé à une machine tête universelle.

En outre, le déplacement axial du fourreau de broche permet la réalisation successive d'épaulements ou des surfacages à des niveaux étagés sur une même pièce en épargnant le mécanisme du mouvement vertical de la console qui reste bloqué pendant toute la durée des opérations.



Fraiseuse horizontale :

Trois mouvements d'avance de la table porte-pièce ; la table n'est pas orientable.

La machine est rarement commercialisée sous cette forme. Les constructeurs prévoient dans la plupart des cas la possibilité d'y adapter des accessoires - tête universelle - tête verticale. Elle est souvent cataloguée comme fraiseuse universelle.

Quelques variantes



Fraiseuse universelle d'outillage :

Bien que dans la plupart des cas, ses capacités soient assez réduites, c'est la plus universelle de toutes.

La machine de base se caractérise par l'absence de console et c'est en fait la table qui a sa surface placée verticalement ; cette table peut recevoir une table d'équerre ou une table universelle orientable dans 2 plans.

La broche horizontale possède un déplacement axial du fourreau.

Le mouvement transversal est obtenu par déplacement du coulisseau supérieur qui peut recevoir un grand nombre de têtes diverses : universelles, verticales, à pointer, à percer, etc. Son emploi est réservé à la réalisation de matrices, poinçons, moules, gabarits et prototypes. Elle est souvent munie de lecteurs optiques pour des déplacements très précis.

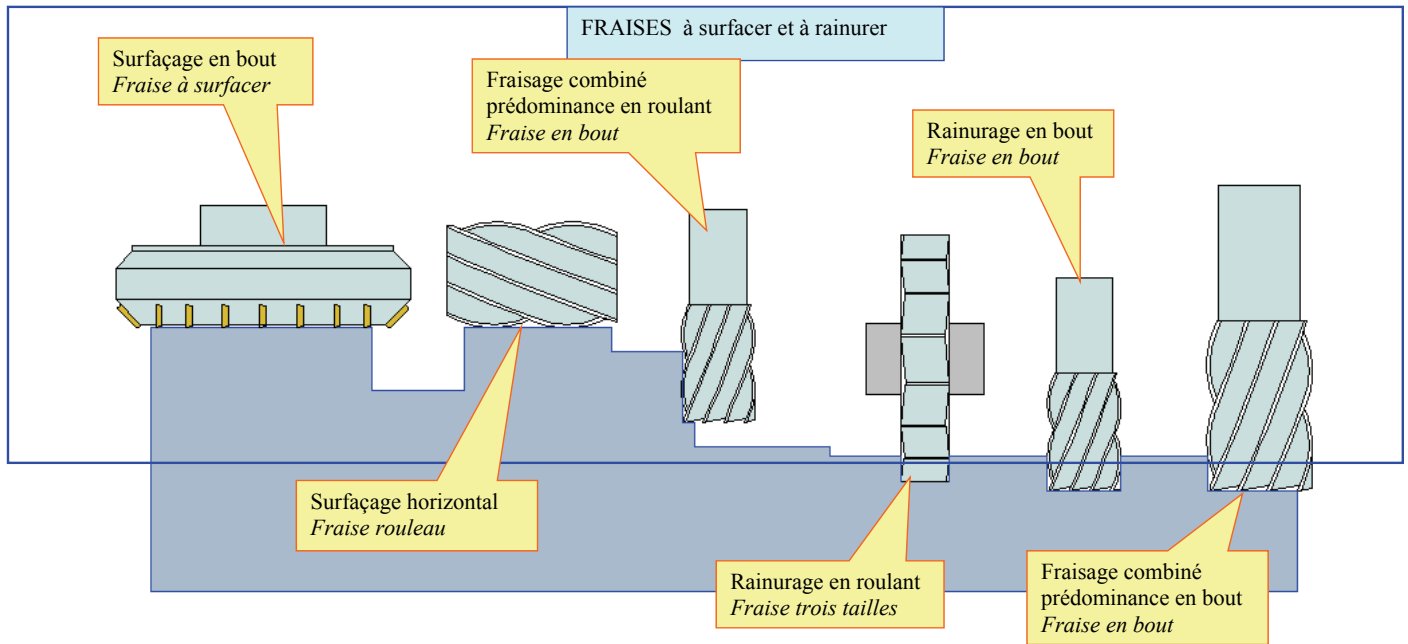


Fraiseuse avec coulisseau :

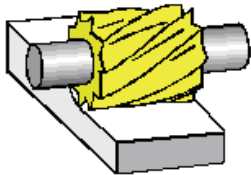
Supérieur motorisé : le coulisseau supérieur contient tous les mécanismes d'entraînement de la broche et un moteur autonome ; la tête de fraisage à l'extrémité du coulisseau peut être universelle ou verticale.

Cette version est souvent également prévue avec broche horizontale entraînée par système classique ainsi conçue avec 2 broches ; la machine est rapidement adaptable à des travaux qui nécessitent de fréquents changements de tête à fraiser.

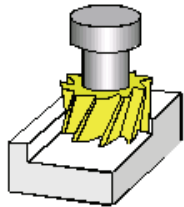
LES OPÉRATIONS PRINCIPALES DU FRAISAGE



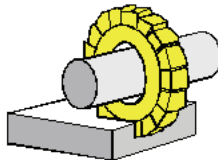
LES FRAISES



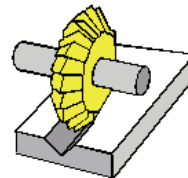
Fraise rouleau 1 taille
Surfaces planes



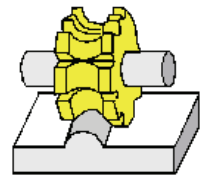
Fraise cylindrique à 2
tailles
Surface plane et angles



Fraise 3 tailles
Dentures alternées
Gorges, rainure

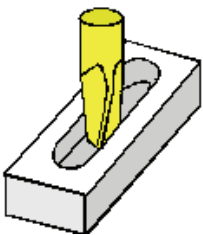


Fraise biconique
Guides en prisme

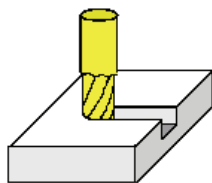


Fraise de profil
circulaire concave
Guides circulaires

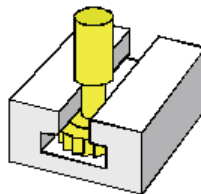
FRAISE A QUEUE



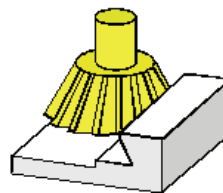
Fraise à gorges
Rainures et poches



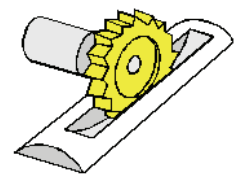
Fraise à rainurer
Rainures profondes et
contours



Fraise en T
Rainures en T

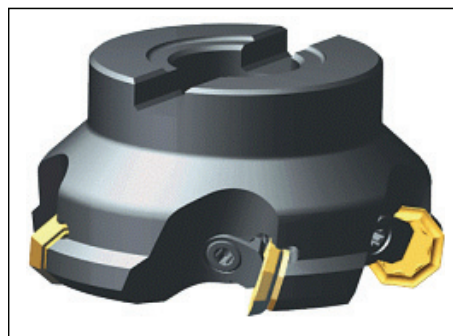


Fraise conique 2 tailles
Guides en angle

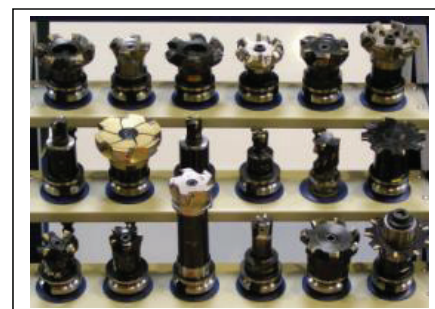


Fraise 1 taille
Rainures de clavette

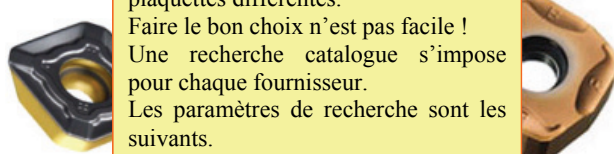
LES FRAISES À SURFACER ET SURFACER-DRESSER



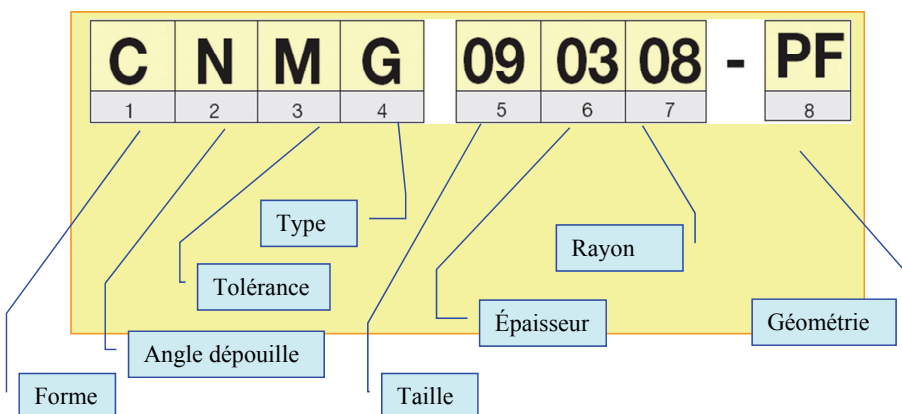
Il existe énormément de fraises différentes de par le nombre de dents, le diamètre, la forme du corps de fraise et de sa plaquette, l'attachement de la fraise et de sa plaquette, les angles de coupe d'attaque, etc. Nous détaillerons plus tard ces variantes.



LES PLAQUETTES



Nous avons une grande quantité de plaquettes différentes. Faire le bon choix n'est pas facile ! Une recherche catalogue s'impose pour chaque fournisseur. Les paramètres de recherche sont les suivants.



La forme des plaquettes

1. FORME DE PLAQUETTE						
80° C	55° D	R	S	T	35° V	80° W

L'angle de dépouille de la plaquette

2. ANGLE DE DÉPOUILLE DE LA PLAQUETTE		
5° B	7° C	0° N

Le type de plaquette

4. TYPE DE PLAQUETTE	
A	G
M	T

La taille de plaquette



5. TAILLE DE PLAQUETTE = LONGUEUR D'ARETE DE COUPE						
<i>l mm:</i> 06-19	07-15	06-12	09-19	06-22	11-16	06-08

Le rayon de plaquette

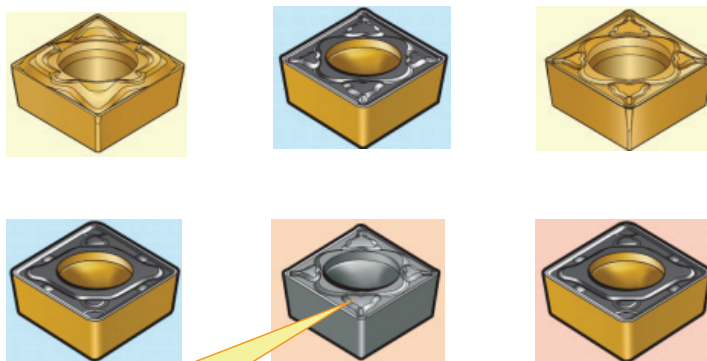
7. RAYON DE BEC	
	04 $r_\epsilon = 0,4$
	08 $r_\epsilon = 0,8$
	12 $r_\epsilon = 1,2$
	16 $r_\epsilon = 1,6$
	24 $r_\epsilon = 2,4$

La géométrie de plaquette

8. La géométrie – Propre au fabricant

Celui-ci peut ajouter un code : un symbole de deux lettres pour décrire la géométrie de la plaquette.

PF = ISO **P** Finition
MR = ISO **M** Ébauche



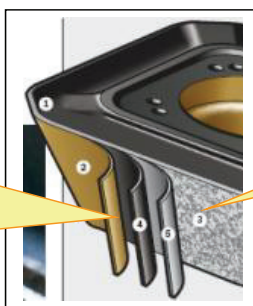
Forme du brise copeau défini si plaquette ébauche ou finition

La composition et le revêtement de plaquette

Recouvrement différent pour améliorer certaines propriétés. Ex : oxyde d'alumine, titane *TiN*, *TiCN*, *TiAlN*, *Al₂O₃*, et autres.

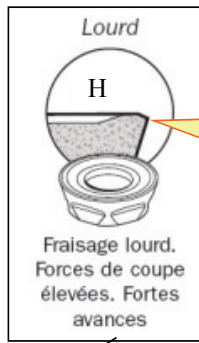
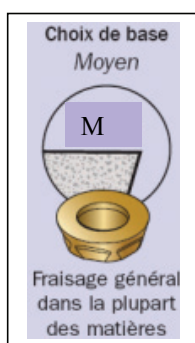
PVD ; dépôt physique en phase vapeur à *t°* basse (400° à 600°) sous vide.

CVD ; dépôt chimique en phase vapeur à *t°* haute (700° à 1050°) sous vide.



Mélange carbure à granulométrie différente liant et additif. Ex : Cobalt.

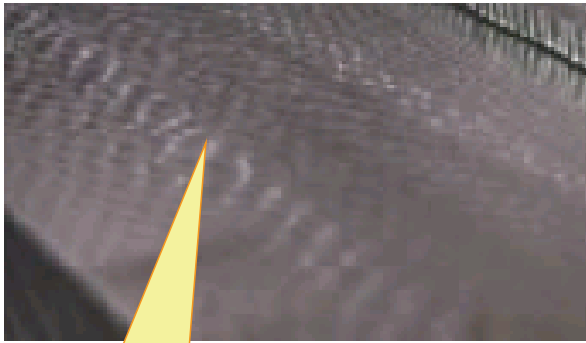
Forme de l'arête de coupe (propre au fabricant)



Ici, nous pouvons constater un renforcement de l'arête de coupe par un chanfrein (pour de gros efforts de coupe).

ISO/ANSI	L	M	H
Aciers	P		
Aciers inoxydables	M		
Fontes	K		
Non-ferreux	N		
Matières réfractaires	S		
Métaux trempés	H		

RÉSOUTRE LES PROBLÈMES



Broutage lié à une vibration de la pièce, de l'outil ou à un porte-à-faux trop grand.



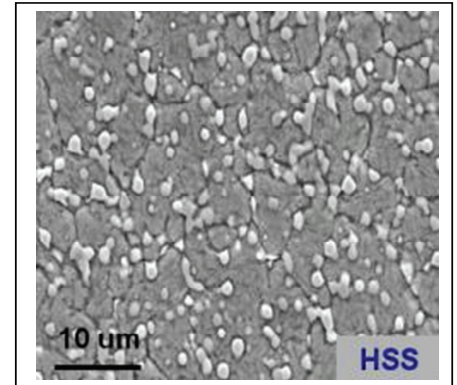
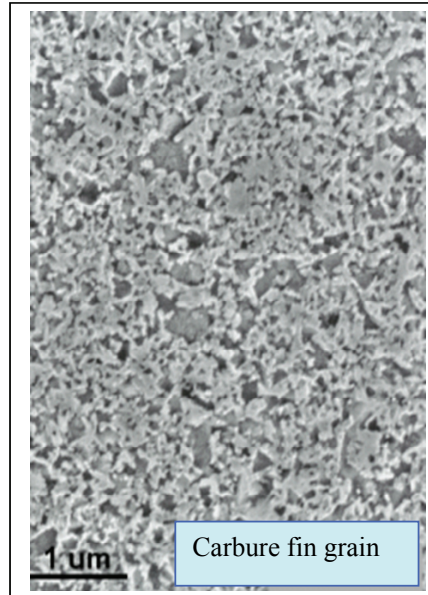
Travail correct.

De manière visuelle, nous pouvons faire certains constats. Lors de l'usinage, nous devons être attentifs aux bruits liés à la coupe et parfois réagir dès les premiers signes pour éviter le bris de l'outil ou de la (les) plaquette(s).

Tous nos sens doivent être en éveil.

Avec l'habitude, nous reconnâtrons les sons et les vibrations dits « normaux ».

LA GRANULOMÉTRIE DU CARBURE

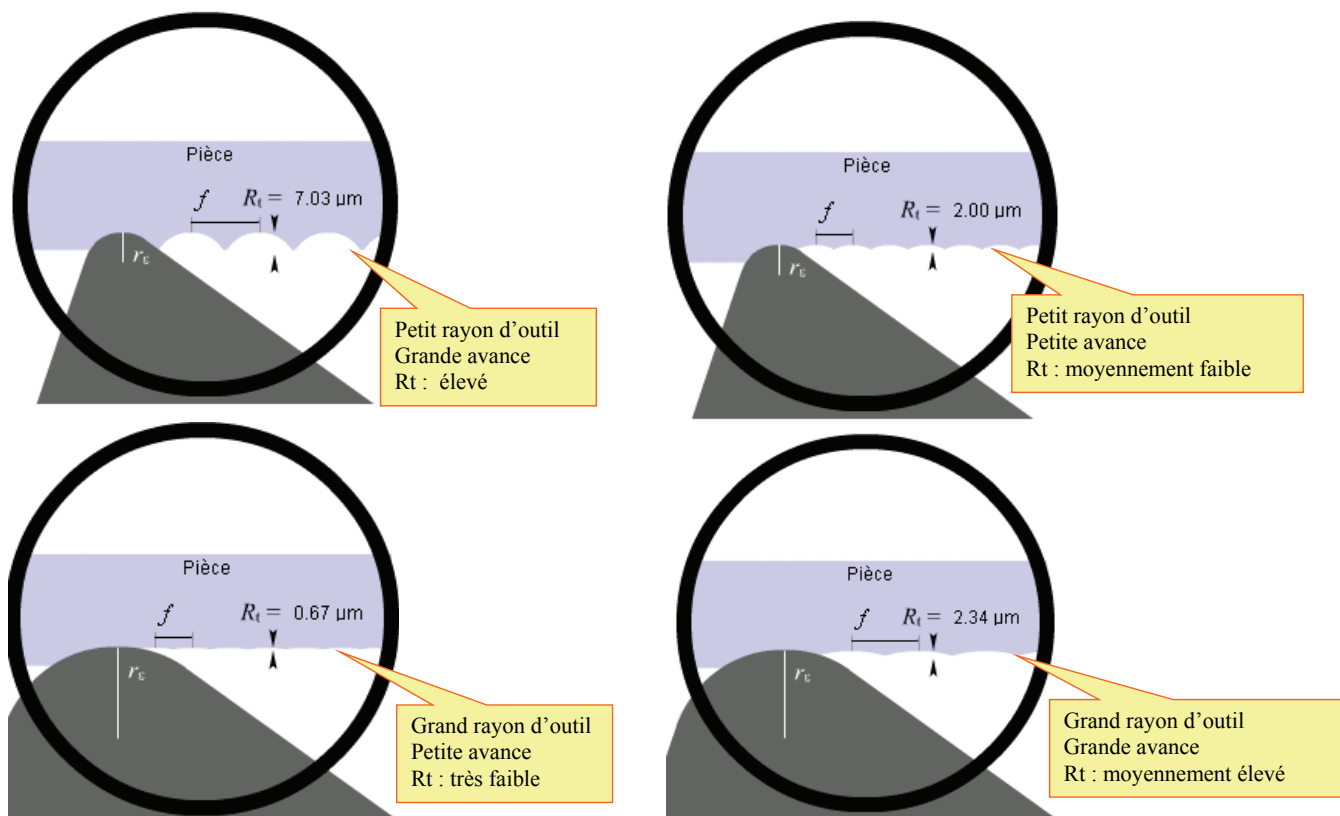


Suivant le substrat (*composition du carbure*), nous aurons des nuances de carbure avec des propriétés différentes telles que :

- ± Dur
- ± Résistant à la rupture
- ± Résistant aux fissures
- ± Résistant à la compression
- ± Résistant aux chocs mécaniques et/ou thermiques
- ± Élastique
- ± Résistant à l'usure

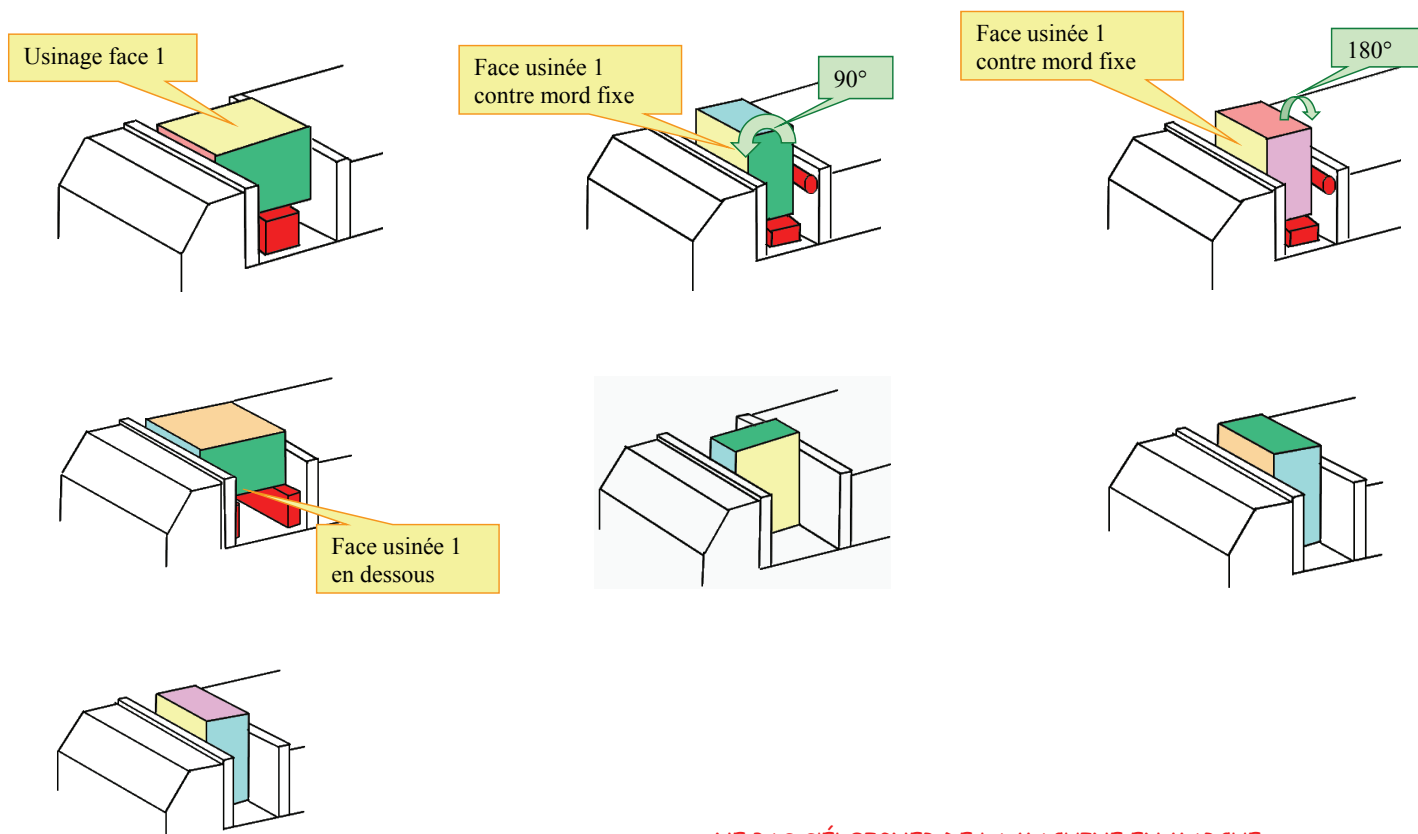


ÉTAT DE SURFACE



Le meilleur état de surface est obtenu avec un grand rayon et une petite avance.

USINAGE D'UN PARALLÉLÉPIPÈDE



NE PAS S'ÉLOIGNER DE LA MACHINE EN MARCHÉ.

FRAISAGE EN OPPOSITION

PRINCIPE

On dit que le fraisage est en opposition (ou conventionnel, ou en roulant) lorsque le sens de l'avance est opposé au sens de rotation de la fraise au niveau de la coupe.

Ce mode de fraisage pourrait être représenté par ce petit croquis.

FORMATION DU COPEAU

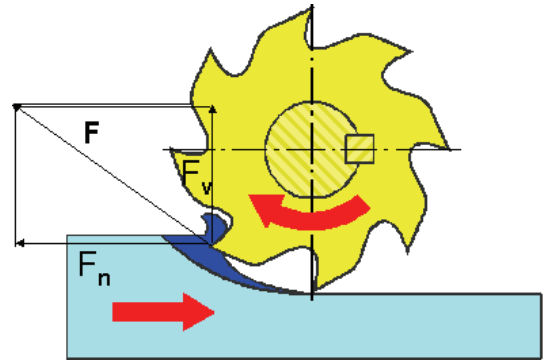
Au début de la coupe, le tranchant de la dent glisse sur la surface de la pièce (1), le copeau a alors une épaisseur nulle. Ensuite, la dent pénètre lentement dans la matière (2) pour atteindre sa profondeur maximum à la fin de la coupe (3).

AVANTAGE

Lors de l'écroutage, les dents de la fraise soulèvent les impuretés éventuelles.

INCONVÉNIENTS

1. Lorsque la fraise entre en prise avec la matière, la dent refuse de tailler à cause du copeau minimum. Il s'ensuit que l'outil frotte exagérément sur la pièce, s'use et détériore la surface usinée.
2. À la suite de cette usure, la pression devient trop importante et à chaque sortie de dent (4), l'outil plonge dans la matière (5). Il y a alors production de marques de broutage et l'état de surface n'est pas bon (6).
3. L'effort de coupe tend à soulever la pièce et la table sur laquelle elle est fixée. Ce qui demande un blocage de la pièce beaucoup plus conséquent.



FRAISAGE EN AVALANT

PRINCIPE

On dit que le fraisage se fait en avalant (ou en concordance) lorsque le sens de l'avance est identique au sens de rotation de la fraise au niveau de la coupe.

Ce mode de fraisage pourrait être représenté par ce petit croquis.

FORMATION DU COPEAU

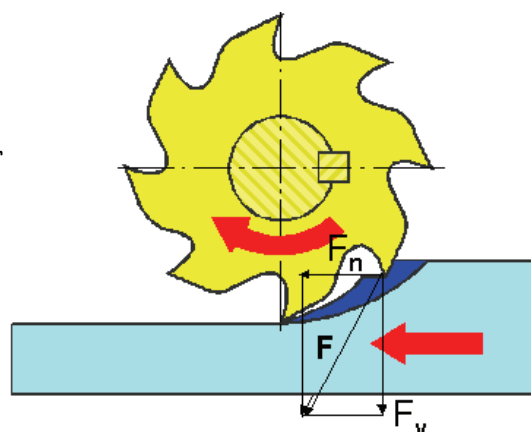
Au début de la coupe, le copeau est à son épaisseur maximale (1), pour diminuer au fur et à mesure et se terminer par une valeur nulle.

AVANTAGE

L'effort de coupe applique d'avantage la pièce sur la table et celle-ci sur ses glissières.

INCONVÉNIENTS

1. Il se produit une contrainte due aux chocs sur l'arête de coupe. Ceci implique l'utilisation d'une arête de coupe plus tenace.
2. Il importe de veiller à ce que le rapport entre le nombre de dents et la profondeur de passe soit tel qu'il n'y ait jamais une seule dent en prise.
3. Ce mode de fraisage demande un dispositif de rattrapage de jeu sur la machine.

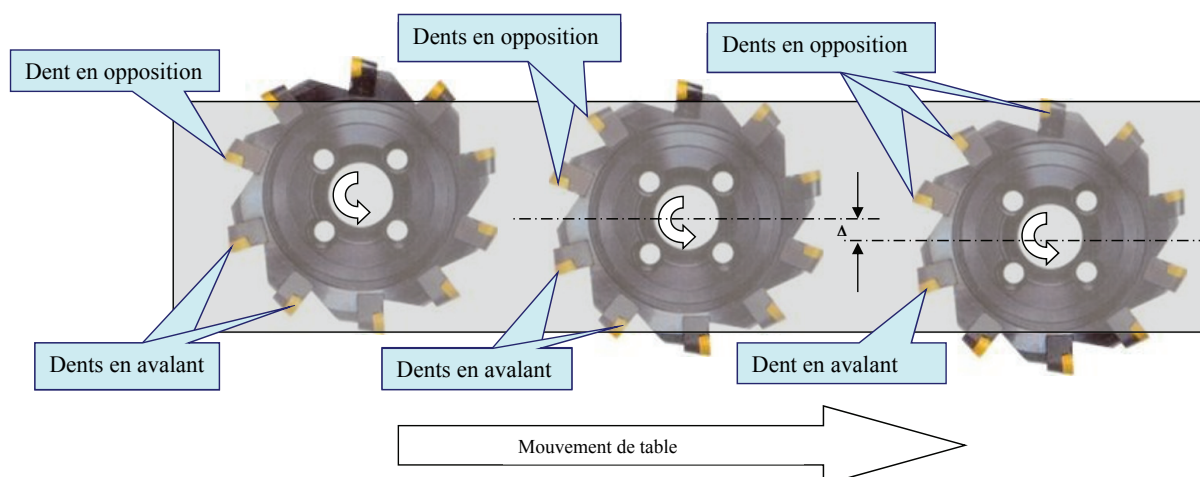


MODE D'ACTION DES FRAISES

Lorsqu'une fraise travaille en bout, les sens d'avancement de la pièce peut être quelconque par rapport au sens de rotation de la fraise. Mais il faut veiller à décaler la fraise transversalement dans le sens « A », de façon à obtenir le plus grand nombre de dents qui travaillent en poussant (opposition).

Pour éviter que les copeaux soient projetés vers l'opérateur, il est préférable d'adopter la solution de la figure ci-contre, c'est-à-dire que les passes successives commencent avec la fraise à droite de la pièce.

La fraise est vue par transparence du bas



Avec des fraises travaillant de profil, l'avance de la pièce doit toujours être dirigée dans le sens opposé à celui de la rotation de l'outil dans la région de la coupe ; la dent attaque la matière progressivement, détachant un copeau d'épaisseur croissante et soulevant la croûte par-dessous laquelle il éclatera plus volontiers.

PIED À COULISSE AU 1/10 MM OU VERNIER

Capacité de mesure : 160 - 1 000 mm.

Précision de lecture : 1/10 mm.

Parties :

1. Règle graduée en mm.
2. Bec fixe pour mesure extérieure.
3. Bec fixe pour mesure intérieure.
4. Bec mobile pour mesure extérieure.
5. Bec mobile pour mesure intérieure.
6. Jauge de profondeur (pas illustrée).
7. Curseur à vernier.

Fonctionnement du vernier

Division de la règle : 1 mm

Longueur graduée du vernier : 9 mm

Nombre de divisions du vernier : 10

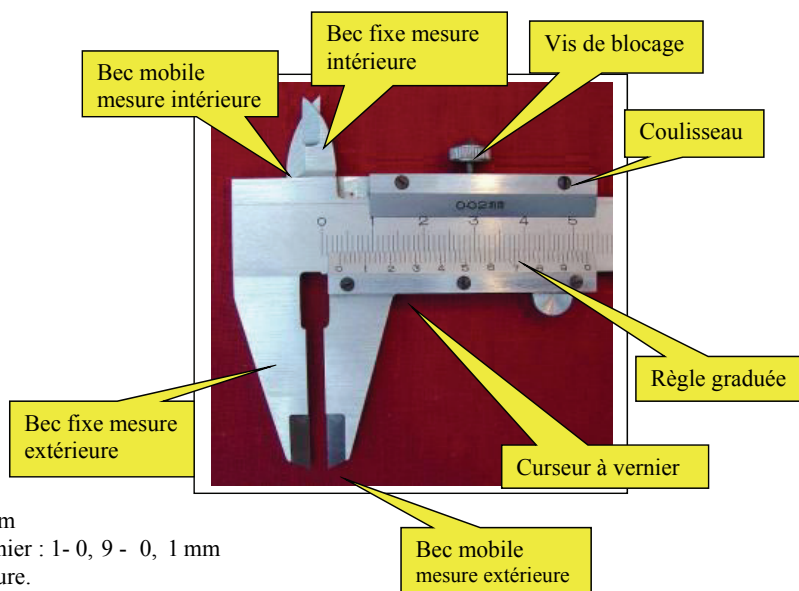
une division du vernier mesure donc $9/10 = 0,9$ mm

différence entre 1 division règle et 1 division vernier : $1 - 0,9 = 0,1$ mm

Cette différence correspond à la précision de lecture.

Entretien :

Comme il est difficile de rétablir la précision si elle est compromise, il s'impose d'utiliser l'instrument avec précaution et de le replacer, aussitôt après usage, dans un endroit déterminé à l'abri des chocs et de toutes détériorations. Évitez le glissement des becs sur les pièces mesurées, ce qui provoquerait leur usure prématurée.



Lecture du pied à coulisse

- a) lire le nombre de mm sur la règle à gauche du zéro du coulisseau
- b) compléter par le nombre de dixièmes de mm, lu sur le coulisseau à l'endroit où les divisions sont bien en regard l'une de l'autre.

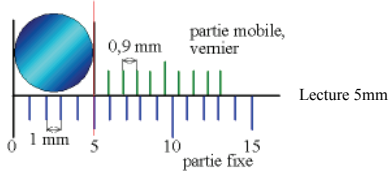
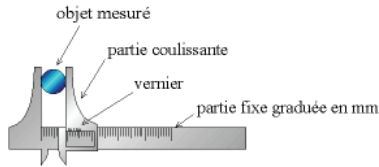
Fonctionnement du vernier

Le vernier fonctionne de la manière suivante :

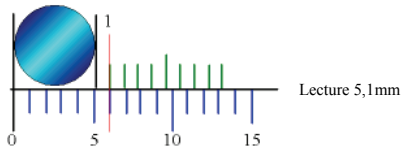
La partie fixe du pied à coulisse est graduée en millimètre (mm), la partie coulissante comporte un trait, appelé « trait principal » (le zéro de la partie coulissante), permettant d'effectuer la lecture du nombre entier de millimètres.

La partie coulissante comporte aussi une règle graduée, elle est divisée en 9 et l'intervalle est de 0,9 mm.

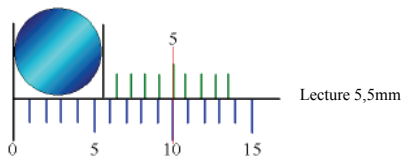
La correspondance d'une de ces graduations avec un des traits de la partie fixe donne le chiffre des 1/10 mm



En effet, imaginons que le trait principal de la partie coulissante donne : 5 mm. Si la pièce fait 5,0 mm \pm 0,1 mm, alors le trait 0 du vernier est en face du trait 5 mm de la partie fixe.



Si la pièce fait 5,1 mm \pm 0,1 mm, alors c'est le trait 1 du vernier qui sera en face d'un trait de la partie fixe (en l'occurrence le trait 6 mm).



Si la pièce fait 5, n mm \pm 0,1 mm ($n < 10$), alors c'est le trait n du vernier qui sera en face d'un trait de la partie fixe.

Autres types de verniers

Les verniers au 1/20 et au 1/50

Les verniers comportent 20 ou 50 divisions et permettent donc de lire le nombre de 1/20 ou de 1/50 de millimètre de la même façon que le vernier au 1/10 permettrait de lire le nombre de 1/10 de millimètre.

On lira par exemple : $12 \text{ mm} + 6/20 \text{ mm} = 0,05 \text{ mm}$

$9 \text{ mm} + 17/50 \text{ mm} = 0,02 \text{ mm}$

Le vernier appliqué aux mesures anglaises

La règle du pied à coulisse est graduée en pouces (1 pouce = 25,4 mm) et chaque pouce est divisé en 16 parties égales.

Sur le coulisseau, on trouvera pour le vernier au 1/128 de pouce, 8 divisions

Une division correspond à 1/128 de pouce.

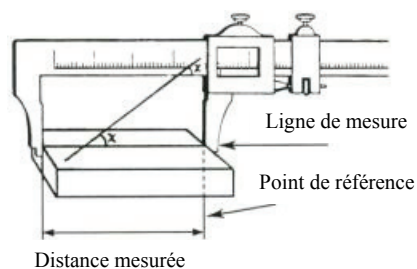
Le vernier digital

Ici la lecture est directe en mm ou en pouce.

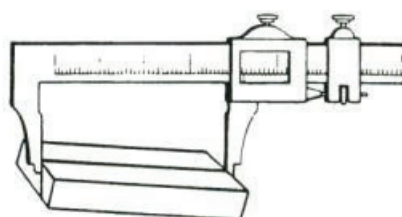
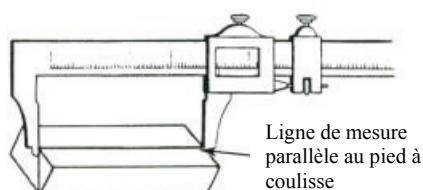
Faire le choix au départ.

Attention au « zéro » du pied à coulisse.

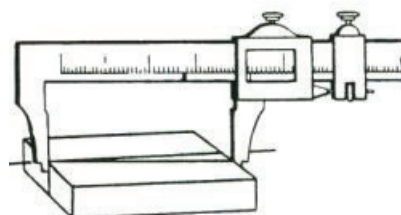
Quelques règles de base pour une bonne mesure



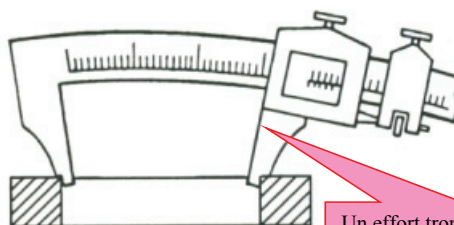
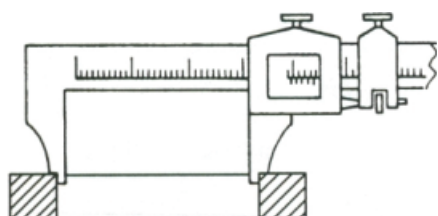
Bonne méthode



La ligne de mesure n'est pas parallèle au pied à coulisse



La ligne de mesure n'est pas en plan avec le pied à coulisse



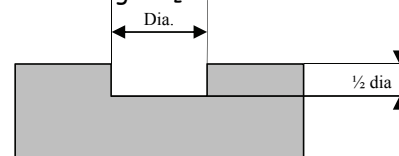
Un effort trop grand même si nous ne le voyons pas déforme le p.à.c. et fausse la mesure.

PROFONDEUR DE PASSE (normes Clarkson)

Fraise à rainurer
(2 lèvres)
2 tailles



La profondeur de passe est égale $\frac{1}{2}$ du diamètre de la fraise



Fraise en bout
(plusieurs lèvres)
2 tailles



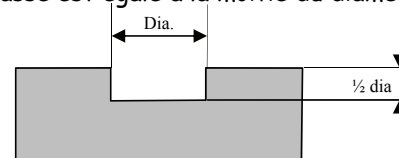
La profondeur de passe est égale au diamètre de la fraise et la largeur au $\frac{1}{4}$ du diamètre



Fraise à rainurer et en bout
(3 lèvres)
2 tailles



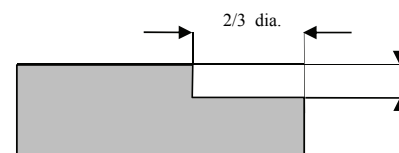
La profondeur de passe est égale à la moitié du diamètre de la fraise



Fraise à trou lisse ou fileté
(plusieurs lèvres)
2 tailles



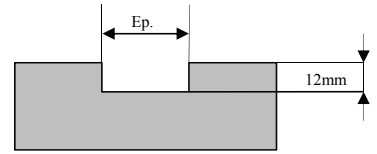
Pour le travail en surfacage, $\frac{2}{3}$ du \varnothing de la fraise



Fraise 3 tailles

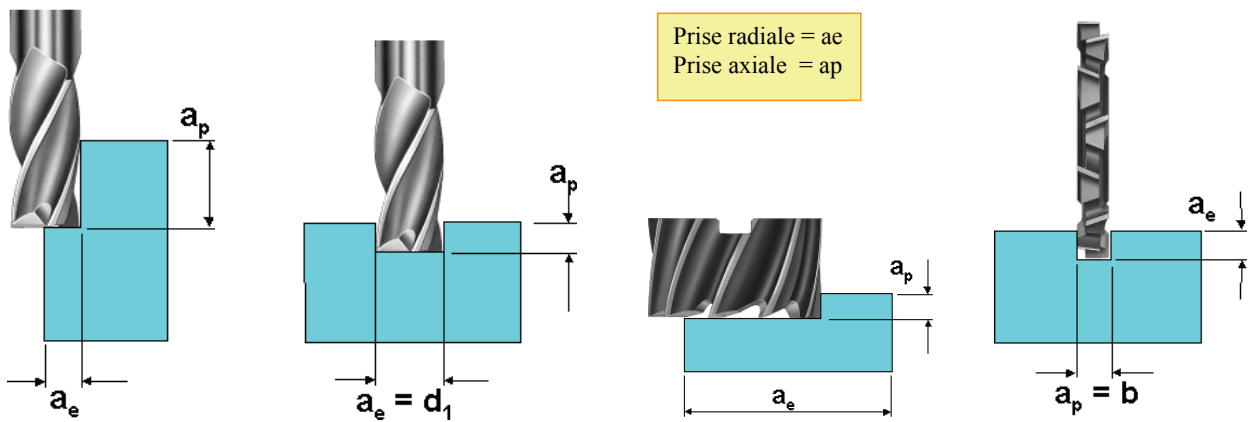


Profondeur MAXIMUM de 12 mm

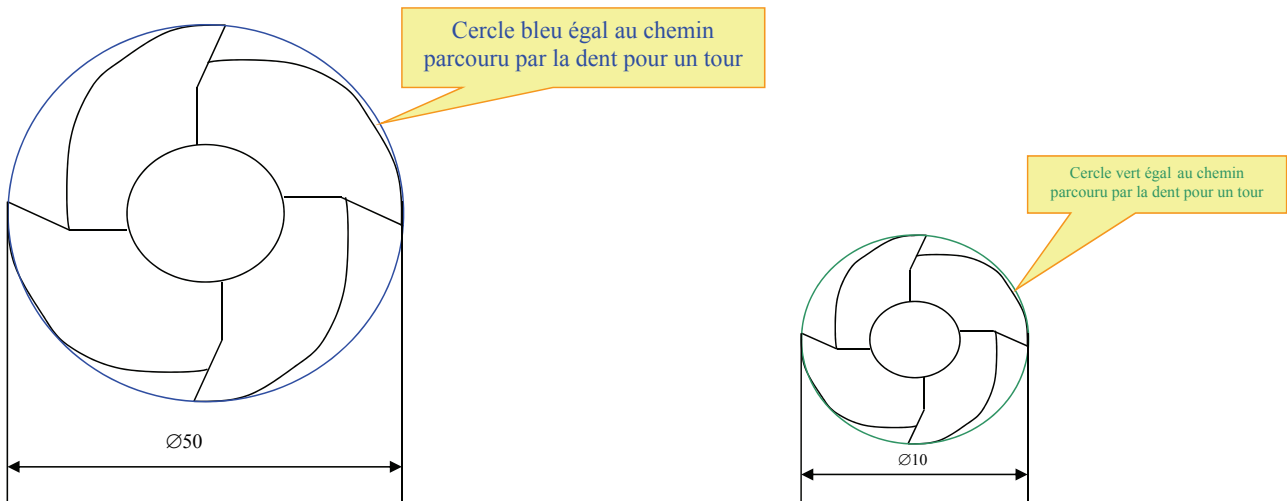


Ce tableau nous donne des valeurs de départ pour la formation mais les fabricants d'outils donnent des valeurs adaptées à leurs outils.

Pour comprendre un catalogue.



INFLUENCE DU DIAMÈTRE SUR LES PARAMÈTRES DE COUPE



Si nous comparons les deux schémas, vous pouvez remarquer que suivant le diamètre de la fraise et pour une même rotation, nous aurons un chemin parcouru par la dent de la fraise plus important si le diamètre de celle-ci est plus grand.

Ce chemin parcouru pour un tour correspond au périmètre de la fraise.

Le calcul du périmètre = $D \times 3.14$

Diamètre de la fraise

Valeur de π

Calculez le périmètre pour les deux fraises représentées :

Fraise 1.....

Fraise 2.....

VITESSE DE COUPE EN FRAISAGE

La vitesse de coupe ou « **VC** », est le chemin circonférenciel (ou périmètre) parcouru par un point extrême de l'arête tranchante d'une dent, c'est-à-dire par un point pris dans la région correspondant au plus grand diamètre de la fraise (*voir feuille précédente*).

On l'exprime en **mètres par minute** ou encore **m/min**.

C'est, en somme, la longueur du copeau en **mètres** pendant l'unité de temps : **la minute**.

Un point sur une fraise de diamètre « **d** » en **mm** parcourant un tour, effectue une distance de $\pi \times d$, en **mm** (*voir feuille précédente*).

Si elle tourne à « **N** » en **tr/min**, en une minute nous aurons $\pi \times d \times N$ = sa vitesse de coupe **VC**, en **mm par min**.

Pour avoir des **m/min** : il suffit de diviser par **1000**

$$\text{En résumé, nous aurons } VC = \frac{\pi \times d \times N}{1000}$$

La vitesse de coupe est fonction de plusieurs variables dont les principales sont :

1° la nature du métal constituant la pièce : aluminium, bronze, fonte, acier carbone, acier allié, etc. ;

2° la nature du métal constituant l'outil : HSS, HSSC, carbure revêtu ou pas, etc. ;

3° la section du copeau (élément modifiable selon qu'il soit question d'un travail d'ébauche ou de finition) ;

4° et encore bien d'autres variables.

Nous devons savoir que tout comme lorsque nous nous frottons les mains énergiquement, notre outil va s'échauffer au frottement avec la pièce à usiner.

Plus la matière est dure, plus nous aurons des efforts et plus nous aurons d'échauffement.

Plus l'outil est dur et plus il va résister à cet échauffement.

Certains fabricants d'outils ont élaboré des outils avec des recouvrements qui ont comme propriété de faciliter le frottement → de diminuer les efforts → de diminuer l'échauffement.

Les paramètres de coupe dépendent de la durée de vie souhaitée pour l'arête de coupe de notre outil.

En résumé, nous ne devons pas calculer la VC mais connaître les paramètres qui nous permettent de faire le **BON CHOIX** dans des notices ou catalogues de fabricants d'outils.

Vitesse de coupe économique de base VC en mètres/minute (surfaçage)

Nature du métal de la pièce	Nature du métal de l'outil			Carbure métallique
	Acier rapide			
	Ordinaire	Supérieur	Extra	
Acier dur 85kg/mm ² Rt	6 m/min	9 m/min	12 m/min	80 m/min
Acier $\frac{1}{2}$ -dur 65kg/mm ² Rt	10 m/min	13 m/min	16 m/min	120 m/min
Acier doux 45kg/mm ² Rt	16 m/min	19 m/min	22 m/min	150 m/min
Fonte mécanique	13 m/min	16 m/min	18 m/min	80 m/min
Bronze	20 m/min	26 m/min	32 m/min	200 m/min
Laiton	26 m/min	32 m/min	38 m/min	250 m/min
Alliages d'aluminium	50 m/min	65 m/min	75 m/min	400 m/min

Ces valeurs ne sont données qu'à titre indicatif pour commencer la formation.

Le tableau ci-contre indique la valeur des vitesses de coupe économique **VC** en m/minute relatives aux conditions types d'usage suivantes : travail à sec, avec fraise à denture taillée renforcée, largeur de coupe = 50 mm, avance par dent à 0,05 mm.

Selon le travail ou le genre d'outil :

Sur la croûte des pièces, réduire ces vitesses de $\frac{1}{2}$

Avec fraises de forme ou délicates, réduire ces vitesses de $\frac{1}{4}$

Avec fraises à outils rapportés, les augmenter de $\frac{1}{4}$

Calcul de la vitesse de rotation en fonction du diamètre de la fraise et de sa vitesse de coupe

VC m/min est donc une donnée, il faut calculer la vitesse de rotation N min-1

Provient de la simplification de 1000 par π (3.14)

VC du tableau en mètres/min

$$N = \frac{1000 \times VC}{\pi \times D}$$

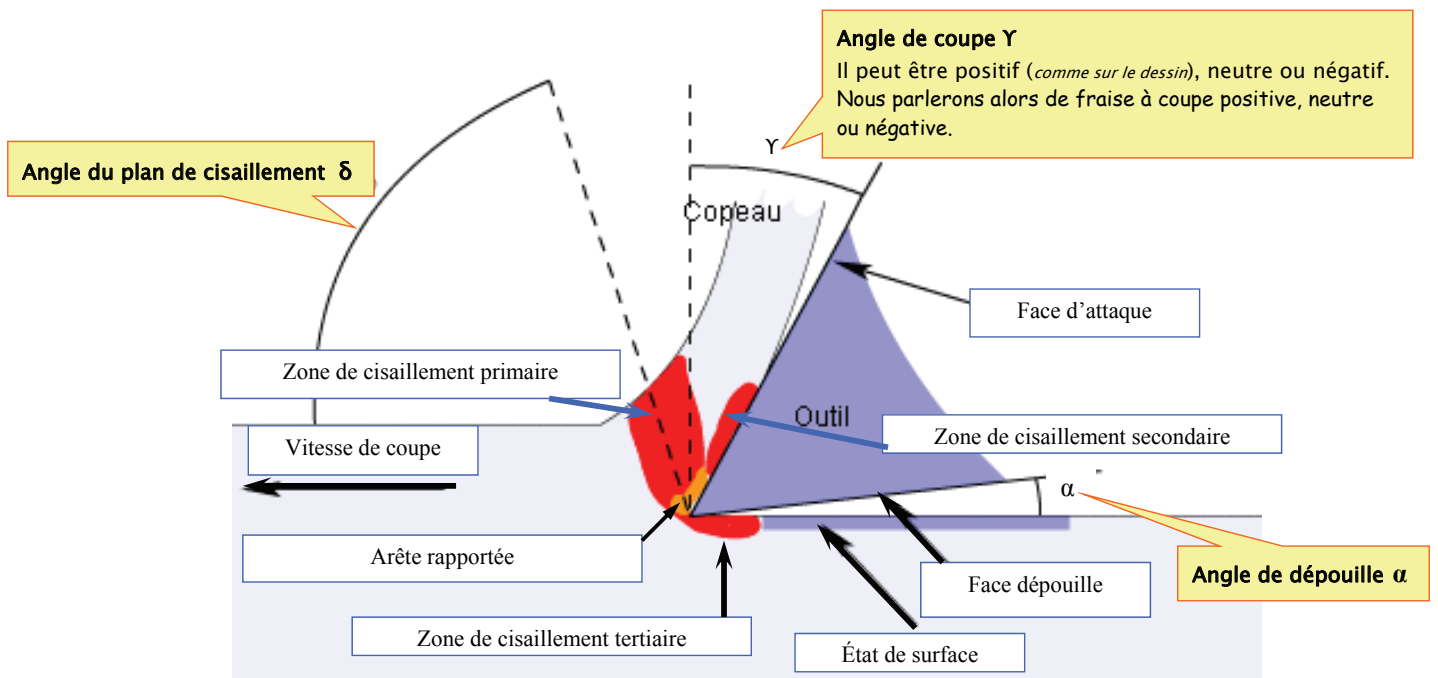
En pratique

$$N = \frac{300 \times VC}{D}$$

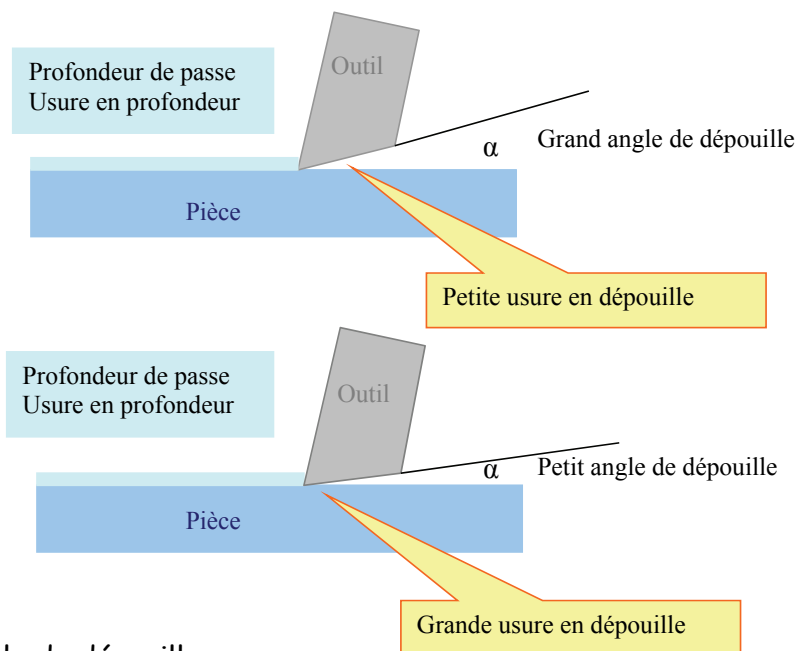
Diamètre de la fraise en mm

Avec arrosage abondant, augmenter les vitesses ainsi obtenues de 25 %.
Lubrification : huile soluble ou huile de coupe.

LES ANGLES DE COUPE ET LA FORMATION DU COPEAU



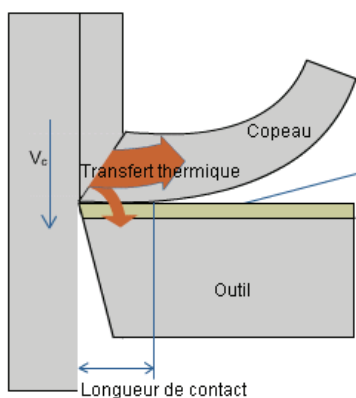
L'angle de dévaille



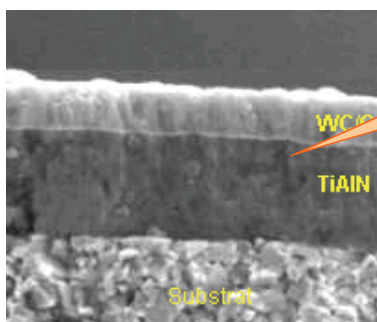
L'angle de dévaille.

- Il crée un espace entre l'outil et la pièce.
- Il empêche le frottement entre la face de dévaille de l'outil et la pièce.
- Il favorise l'acuité d'arête nécessaire au fraisage d'alliages d'aluminium.

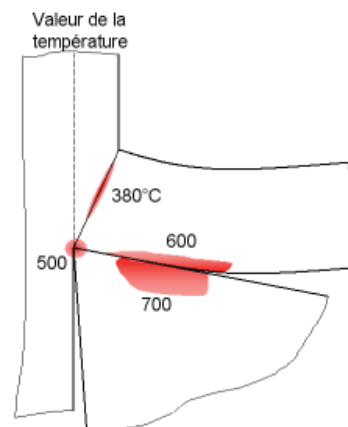
L'USINAGE ET LA PRODUCTION DE CHALEUR



Le transfert thermique idéal serait de faire passer toute la chaleur dans le copeau. Mais ceci est impossible et nous aurions un transfert optimal avec les valeurs ci-contre. (Fig.1)



Le dépôt de certains recouvrements sur les outils diminue les frottements. D'où diminution de la production thermique.

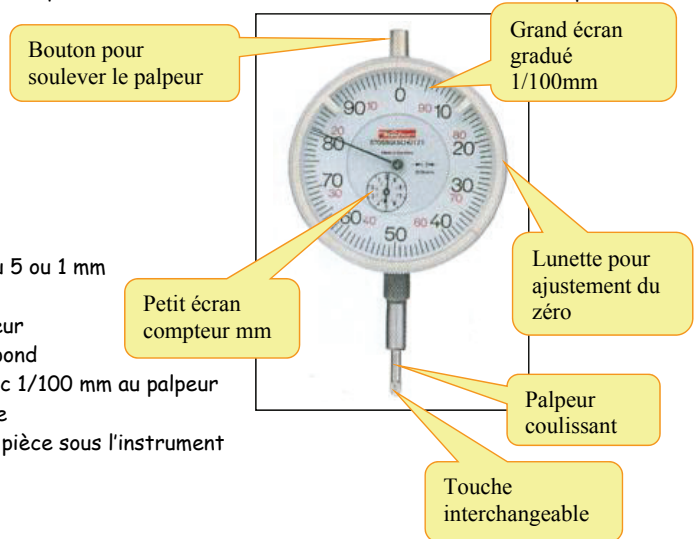


COMPARATEUR À CADRAN

Contrairement au principe des instruments vus jusqu'ici, les dimensions sont mesurées par un mouvement de faible amplitude de la touche. Ce mouvement est agrandi par un système de crémaillère et de pignons. Précision de lecture : 1/100 mm. La tolérance de l'instrument sur 2 mm et plus de déplacement est de $\pm 2/100$ mm. Il s'ensuit qu'il faut limiter au maximum la course de la touche, à partir d'une dimension donnée.

Parties de l'instrument :

- Touche interchangeable, suivant la forme des pièces
- Palpeur coulissant, dont la course utile est habituellement de 3 ou 5 ou 1 mm
- Lunette pour ajuster le zéro du cadran sur l'aiguille principale
- Petit cadran du compteur de mm pour repérer la position du palpeur
- Grand cadran, gradué en 100 divisions : un tour du cadran correspond à un déplacement d'1 mm du palpeur ; une division représente donc 1/100 mm au palpeur
- Repères de tolérance réglables, ne servant qu'au contrôle de série
- Bouton moleté permettant de soulever le palpeur pour placer une pièce sous l'instrument



Entretien :

- Protéger l'instrument de tout dommage et particulièrement des chocs
- Éviter tout effort latéral sur le palpeur

Autres types de comparateurs



Quelques accessoires



Utilisation

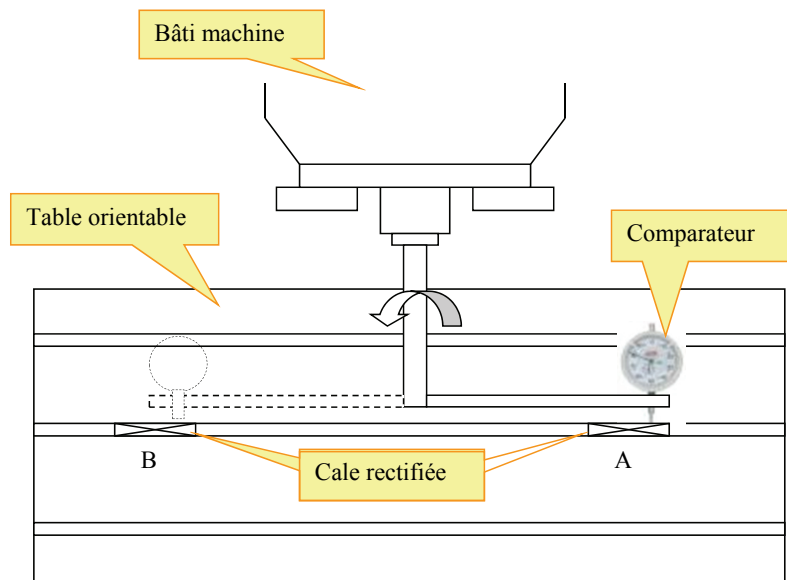


DÉGAUCHISSAGE DE LA TABLE ORIENTABLE

Il s'agit de vérifier et de corriger éventuellement la perpendicularité de la rainure centrale de la table par rapport à l'axe de la broche horizontale ; la tête universelle étant déposée.

Figure 1 :

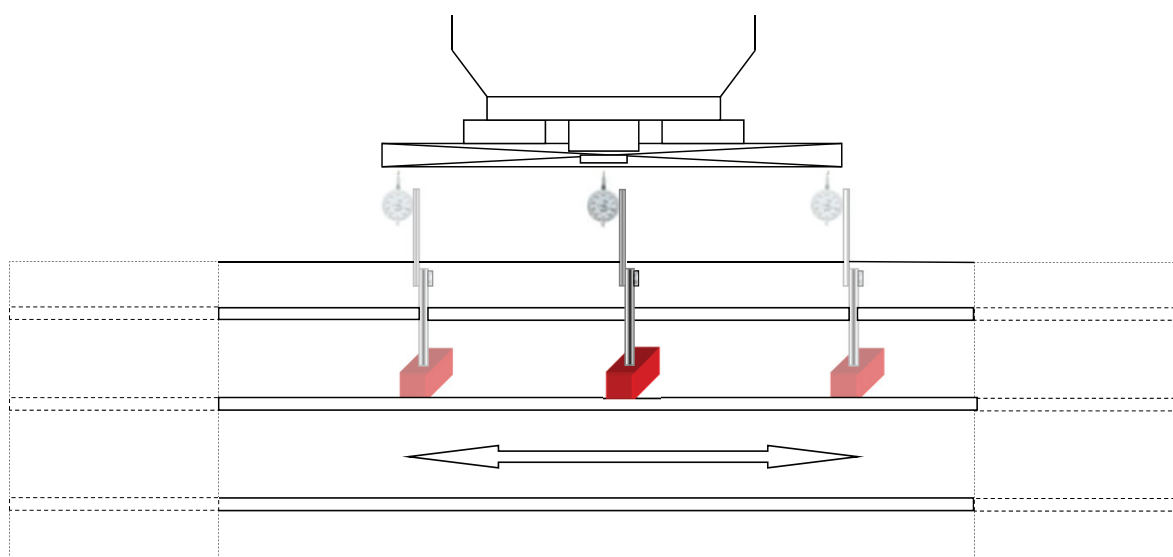
- Le courant est coupé après positionnement et blocage des 3 mouvements ;
- Les leviers de vitesse sont placés de manière à ce que la broche soit libre d'engrènement ;
- Placer le mandrin et dispositif support de comparateur de manière à ce que le palpeur puisse explorer les points A et B distants d'au moins 300 mm ;
- La rotation du point A vers B et inversement se fait manuellement ;
- La correction s'effectue en frappant légèrement avec un maillet à l'extrémité droite ou gauche de la table ; constatée entre les points A et B, les dispositifs de blocage de l'orientation de la table étant légèrement serrés.



Autre méthode empirique mais acceptable qui permet le réglage sans déposer la tête universelle.

Un comparateur placé sur la table, une règle sur les glissières du bâti machine et par déplacement de la table effectuer le contrôle.

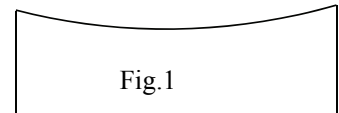
Figure 2 :



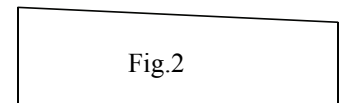
DÉGAUCHISSAGE DE LA TÊTE UNIVERSELLE



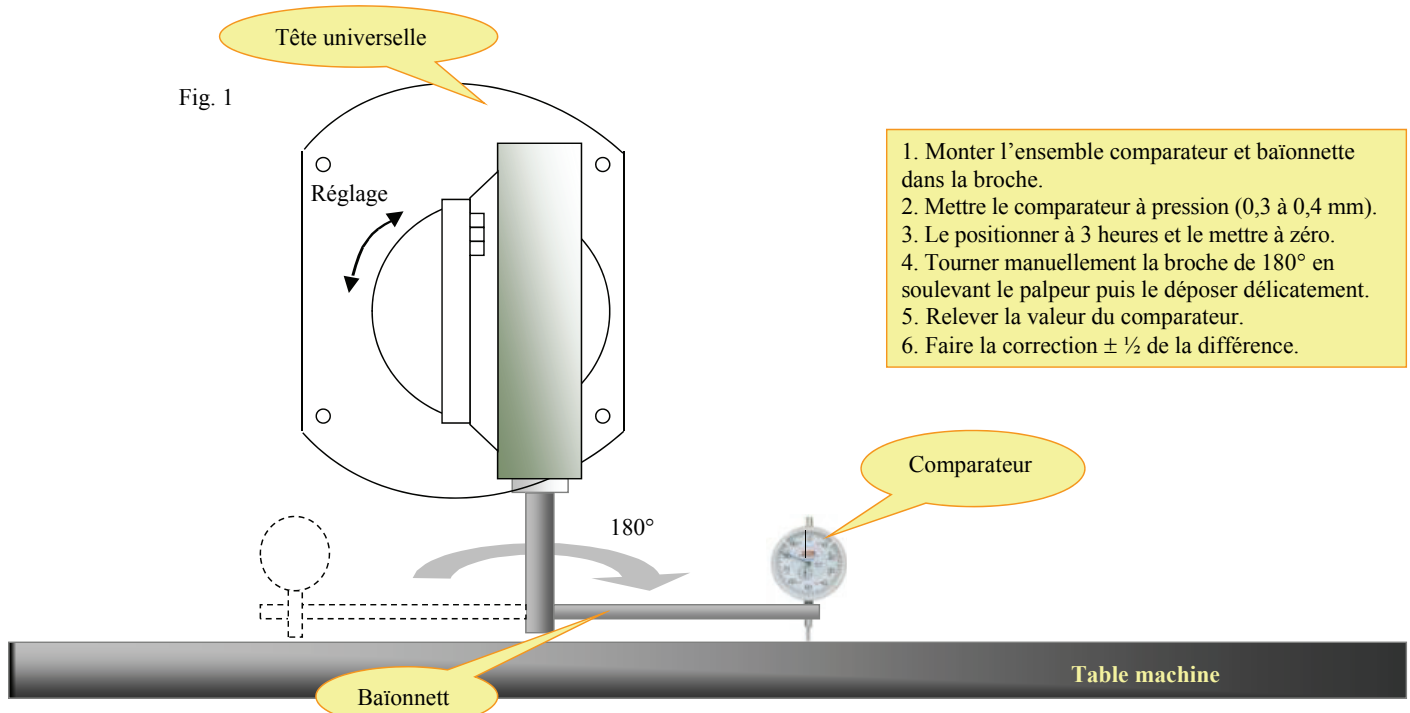
Contrôler et corriger éventuellement la perpendiculaire de l'axe de la broche par rapport à la surface horizontale de la table. Si cette condition n'est pas remplie, lors d'un surfaçage, des défauts de forme et/ou de géométrie seront révélés. Par exemple, si la tête est légèrement inclinée dans le plan longitudinal, la fraise produira une surface concave (fig. 1).



D'autre part, si elle est légèrement inclinée dans le plan transversal, la fraise produira une surface non parallèle à la table (fig. 2).

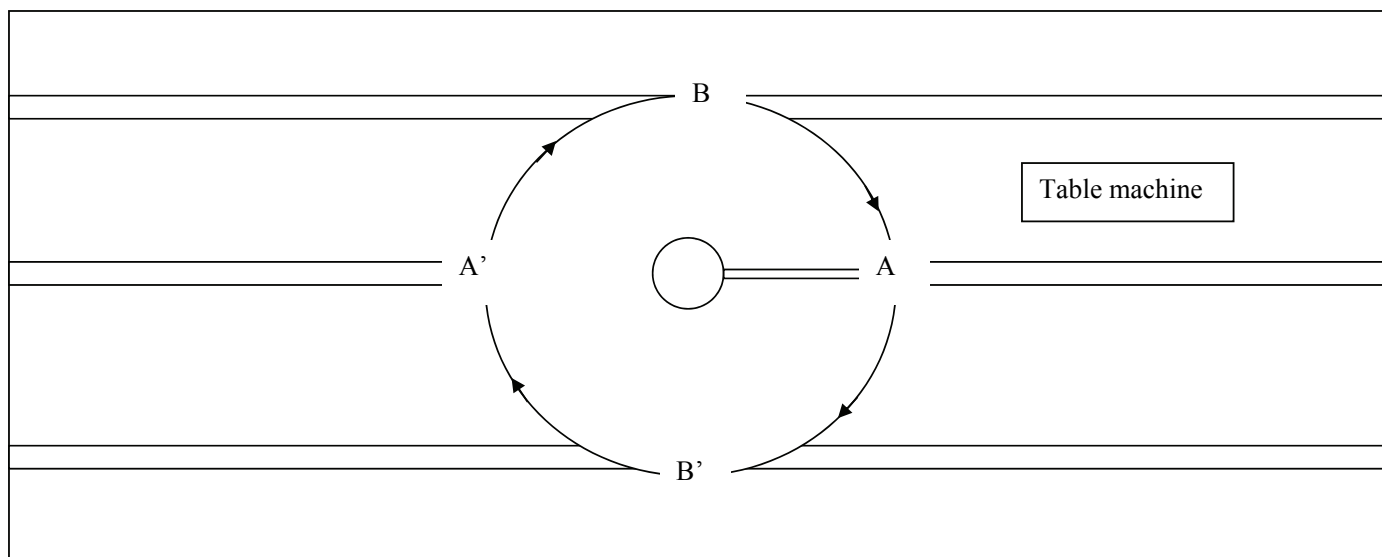


Processus pour le réglage de la tête universelle
L'opération s'appelle « dégauchissage ».



Après cette opération, le même travail est à effectuer sur l'axe transversal.
 Dès lors, nous aurons pris la précaution de monter le palpeur perpendiculaire à la table pour qu'il puisse explorer un cercle de diamètre légèrement inférieur à la largeur de la table, soit les 4 points A-A' B-B' situés à 90°. La comparaison de lecture se fera entre A et A' rotation de 180° pour le réglage dans le plan longitudinal et entre B et B' pour le réglage dans le plan transversal.

La rotation doit se faire manuellement et, pendant le dégauchissage, les 3 mouvements doivent être bloqués.



DÉGAUCHISSAGE DE L'ÉTAU

1. Contrôle de la perpendicularité des mors par rapport au mouvement vertical

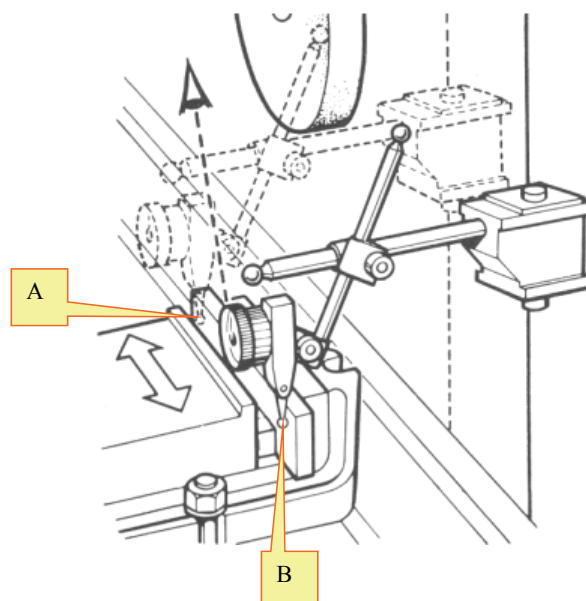
- La base magnétique du comparateur est fixée au bâti.
- Si un défaut de perpendicularité est constaté, il y a lieu d'y remédier, soit par interposition d'un clinquant métallique de précision entre le mors trempé et la mâchoire, soit par une rectification des mors.

2. Contrôle du parallélisme du mors fixe par rapport au mouvement longitudinal ou transversal de la table, selon le cas.

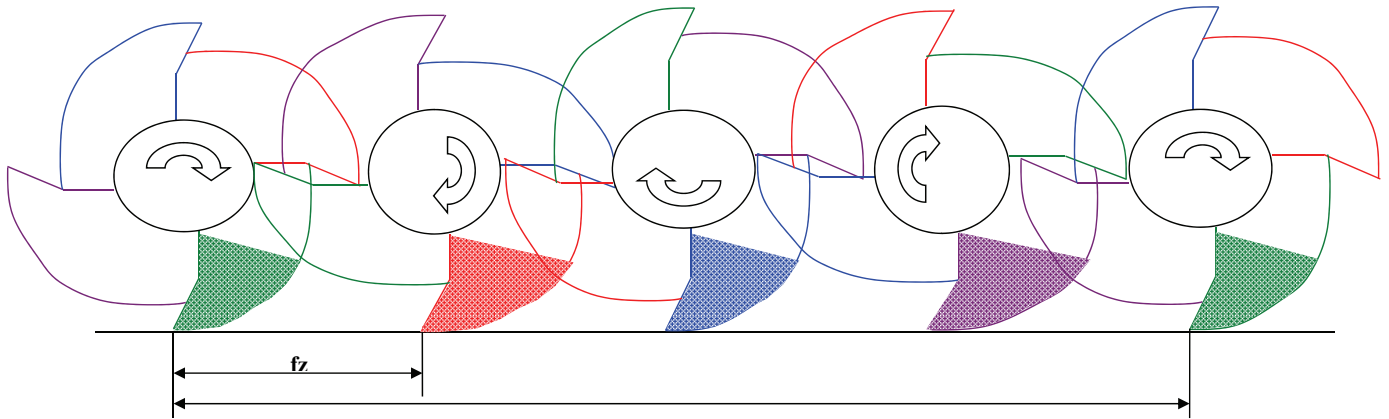
- Corriger, s'il y a lieu, en libérant le serrage de la base orientable de l'étau (maintenir légèrement serré) et en frappant de petits coups avec un maillet dans le sens voulu. Les corrections à apporter seront d'une valeur égale à la 1/2 de la différence indiquée par le comparateur entre les 2 points extrêmes, soit entre A et B.
- Après réglage, ne pas omettre de bloquer les boulons de l'étau.

Remarque

Lors du montage de l'étau sur la table, il faut particulièrement veiller à ce qu'aucune parcelle de métal (copeau) ne se trouve collée à la semelle ou sur la table.



VITESSE D'AVANCE



Considérons une fraise de **Z** dents, tournant à **N** tr/min.

Chaque tour de la fraise correspond au passage de **Z** dents en un point déterminé.

Chaque fois qu'une dent est remplacée par la suivante, la fraise a tourné d'une fraction de tour.

Pendant cette fraction de tour nécessaire pour qu'une dent vienne à la place de la précédente, la pièce s'est déplacée d'une longueur **fz** que l'on appelle l'**AVANCE PAR DENT**.

Cette avance par dent a une valeur connue qui dépend de plusieurs facteurs :

1. La qualité de l'état de surface (un bon fini impose une faible avance) ;
2. La résistance ou la fragilité de la fraise (les fraises-scies, les petites fraises sont fragiles) ;
3. La solidité de la fixation de la pièce, compte tenu de sa forme et de ses dimensions.

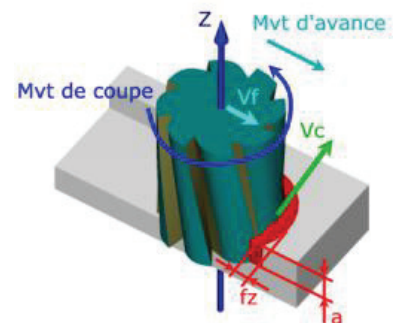
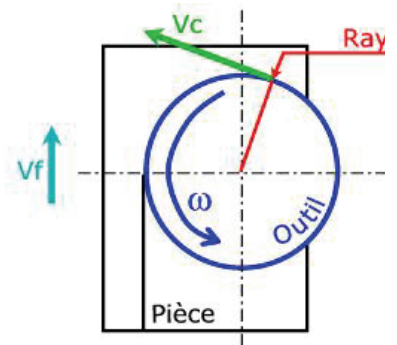
En 1 tour, les **Z** dents sont passées et la pièce s'est déplacée de (**fz x Z**) en mm/Tr

En 1 minute, la fraise a tourné de **N** tours et la pièce s'est déplacée de : **Vf = fz x z x N**

La distance parcourue par le centre de la fraise en une minute est égale à **Vf** l'**avance par minute** et correspond à la vitesse d'avance de la table.

Avance de la table : unité **mm/min**

Avance par dent : $Vz = \frac{Vf}{z \times n}$ unité **mm**



Symbole et formule

D mm	Diamètre outil
Z	Nombre de dents
Vc m/min	Vitesse de coupe
Fz	Avance par dent
N 1/min	Vitesse de rotation
Vf mm/min	Avance de table
π	3.1416

Pour rappel :

Au tour, l'avance des chariots porte-outils est exprimée en mm ou fraction de mm pour un tour de pièce.

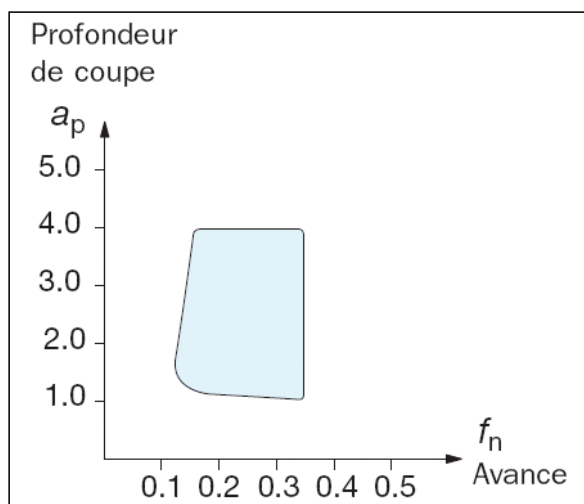
Le fait d'augmenter la vitesse de rotation n'augmente pas relativement l'avance, la transmission du mouvement étant réalisée par engrenage à partir de la broche du tour.

Cependant, à la fraiseuse, aucune liaison mécanique n'existe entre la broche et le mouvement d'avance, ce dernier étant commandé par un moteur indépendant. Il y a donc lieu de choisir chaque fois l'avance en fonction de la vitesse de rotation.

Valeurs moyennes

Tableau des valeurs moyennes des avances par dent« fZ » ou épaisseur du copeau enlevé par une dent			
TYPE DE FRAISE	Pour l'acier (mm)	Pour la fonte (mm)	Pour les métaux légers (mm)
Fraise cloche	0,07 à 0,1	0,1 à 0,15	0,15 à 0,2
Fraise rouleau	0,1 à 0,3	0,15 à 0,4	0,2 à 0,6
Fraise à 3 tailles à denture alternée	0,05 à 0,2	0,07 à 0,3	0,1 à 0,45
Fraise à 2 tailles à queue cylindrique/conique	0,02 à 0,15	0,025 à 0,2	0,035 à 0,3
Fraise à 2 tailles à trou fileté ou lisse	0,1 à 0,3	0,15 à 0,24	0,2 à 0,6
Fraise-scie	0,02 à 0,15	0,025 à 0,2	0,035 à 0,3
Fraise de forme à denture alternée	0,03 à 0,1	0,05 à 0,15	0,08 à 0,2

L'avance selon catalogue



Exemple :
 Tableau donnant la plage d'utilisation d'une géométrie de plaquette.
 Avance
 Prof. de coupe

Quelle est la profondeur minimum que nous pouvons prendre avec ce type de plaquette ?

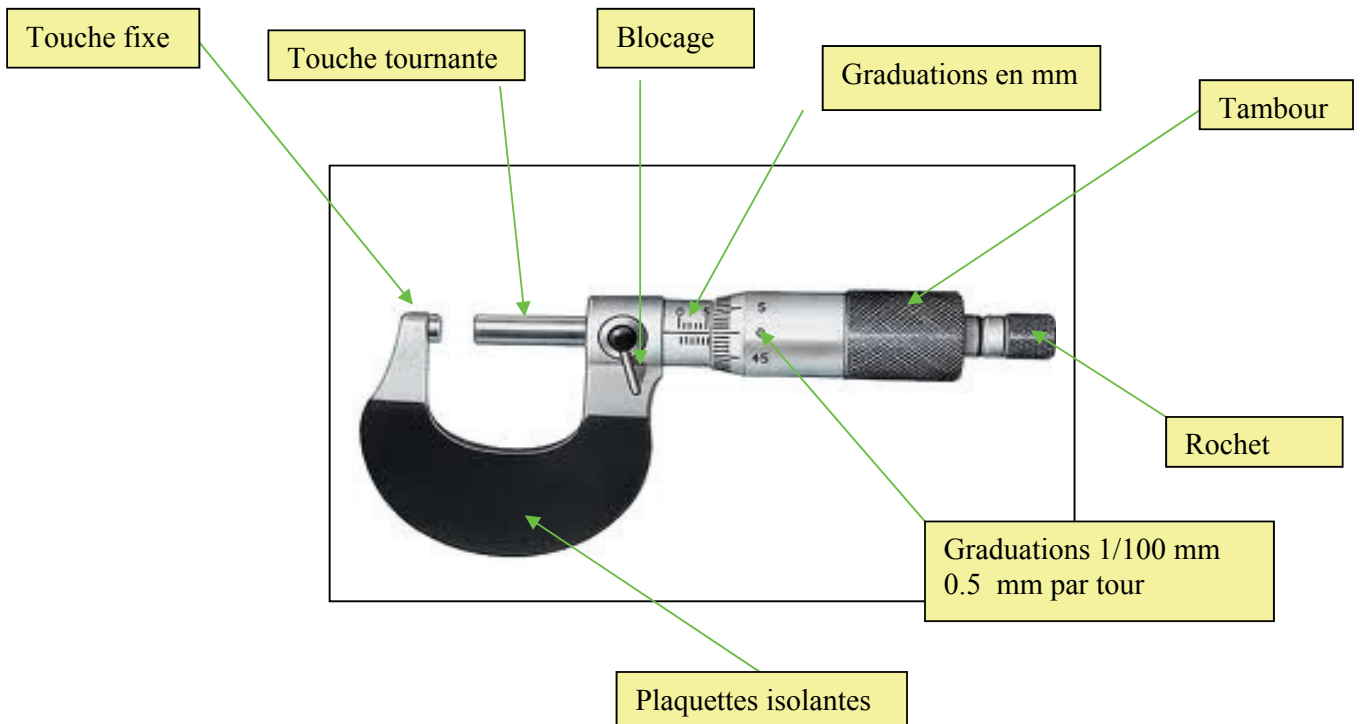
Quelle est la profondeur maximum que nous pouvons prendre avec ce type de plaquette ?

Quelle est l'avance minimum que nous pouvons prendre avec ce type de plaquette ?

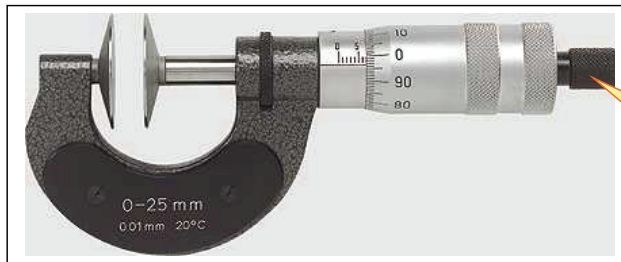
Quelle est l'avance maximum que nous pouvons prendre avec ce type de plaquette ?

Quelle sera l'avance à mettre sur la fraiseuse si nous avons une fraise de 5 dents, un diamètre de 80mm et une vitesse de coupe de 200m/min ? Calcul :

LE MICROMÈTRE À ENCLUME



Variantes du micromètre



Micromètre à plateau
Seules les touches changent.
Pour des mesures difficiles d'accès.



Micromètre à filet : attention, chaque pas a son peigne et un étalonnage est nécessaire.



Micromètre digital
Existe dans toutes les formes traditionnelles.

TABLEAU PARAMÈTRES DE COUPE

Réglages recommandés pour fraisage de :		Refroidissement acier rap. sup. (ARS)	Vitesse de coupe V (m/min)				Avancement de fraise Sz (mm)						
Matière	Résistance (kp/mm²)		Ébauche		Finition		Ébauche						Finition
			Hss	Carb	Hss	Carb							
Acier Non Aille	< 50	Emulsion sec baisser V	25	125	32	160	0,16	0,25	0,08	0,1	0,02	0,2	0,1
Acier Non Et Faibl. Aille	50-70		20	100	25	125	0,12	0,2	0,06	0,08	0,016	0,2	0,1
Acier Non Et Faibl. Aille	70-90		16	80	20	100	0,1	0,16	0,05	0,06	0,012	0,16	0,1
Acier Faibl. Aille, Revenu	90-120		10	63	16	80	0,06	0,1	0,04	0,04	0,014	0,12	0,08
Acier Faibl. Aille, Revenu Spec.	120-160	Emulsion	6,3	50	10	63	0,05	0,08	0,03	0,04	0,013	0,12	0,08
Acier Fort. Aille (Cr, Cr-Ni,...)	60-90	Emulsion	10	40	16	63	0,1	0,12	0,05	0,06	0,012	0,16	0,1
Fonte grise	DB ≈ 200	Sec	16	50	20	80	0,16	0,2	0,06	0,08	0,016	0,2	0,1
Laiton, Bronze à l'étain, Bronze spéc.		Sec ou émulsion	40	125	63	200	0,2	0,25	0,08	0,08	0,016	0,2	0,1
Alliage Al Malure			160	500	250	800	0,1	0,12	0,06	0,08	0,016	0,16	0,05
Fonte Al (Silumin)		Emulsion	100	400	160	630	0,1	0,12	0,06	0,08	0,016	0,16	0,05
Alliage Mg		Sec	315	800	400	1000	0,1	0,16	0,08	0,08	0,016	0,1	0,05
Matière Plast. Dures		Sec	32	80	50	125	0,16	0,2	0,1	0,08	0,02	0,2	0,1

Fraises cyl. (opposition)	Fraises cyl. 2 tailles > Ø 50	Fraises-scies	Fraises en bout Ø 40	Fraises en bout Ø 100	Fraises à plaques perdues carb.	Fraises de face carb. ou ARS
---------------------------	-------------------------------	---------------	----------------------	-----------------------	---------------------------------	------------------------------

RÉCAPITULATIF

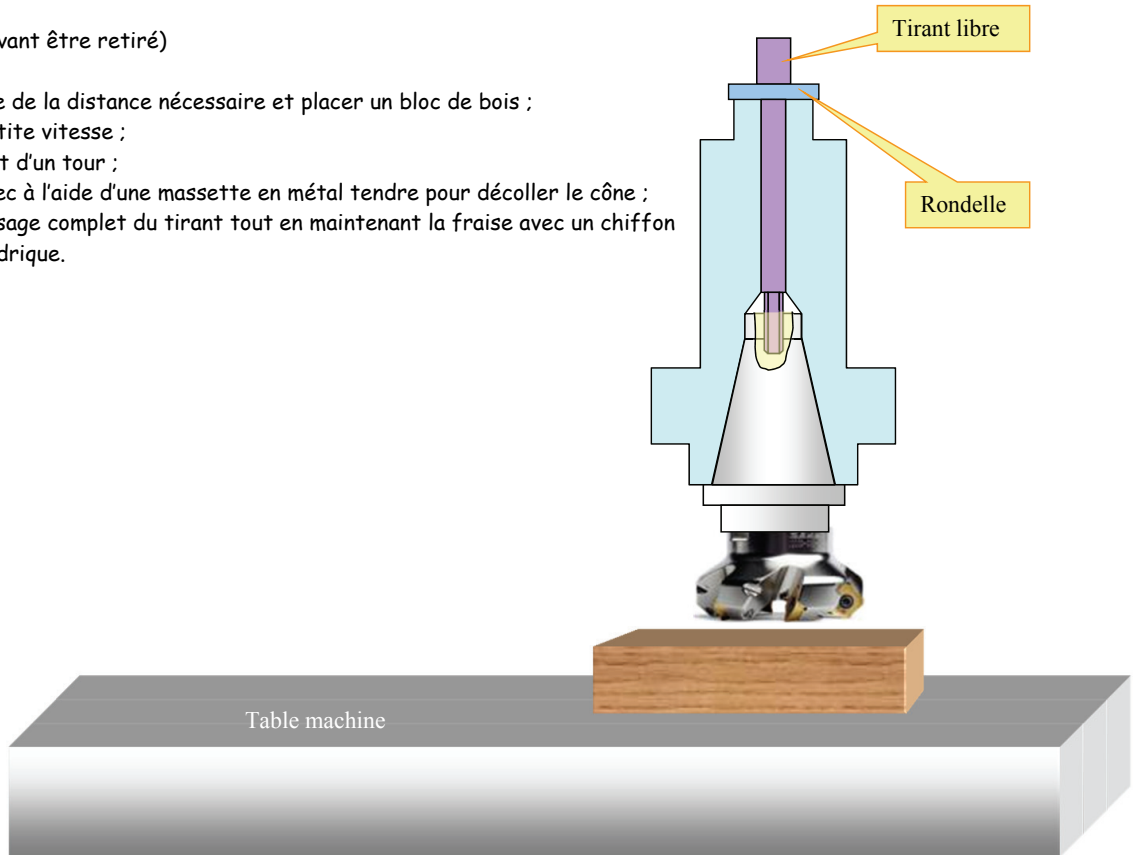
	MM
Vc = Vitesse de coupe par minute	m/min
D = Diamètre	mm
N = Tours minute	min-1
F = Avance par tour	mm/tr
Vf = Avance par minute	mm/mm
fz = Avance par dent	mm
Z = Nombre de dents	
Q = Matière enlevée par minute	Cm³/min
ap = Profondeur de coupe	mm
ae = Largeur de coupe	mm
t = Temps de travail par minute	min
l = Longueur de coupe	mm

POUR TROUVER	MM
Vitesse de coupe par minute	$Vc = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000}$
Tours minute	$N = \frac{vc \cdot 1000}{\pi \cdot D}$
Avance /tour	$fn = \frac{Vf}{N}$
Avance /dent	$fz = \frac{Vf}{N \cdot z}$
Avance par minute	$Vf = N \cdot z \cdot fz$

DÉMONTAGE DES MANDRINS PORTE-FRAISE

A. Avec tirant libre (pouvant être retiré)

1. Descendre la table de la distance nécessaire et placer un bloc de bois ;
2. Engager la plus petite vitesse ;
3. Desserrer le tirant d'un tour ;
4. Frapper un coup sec à l'aide d'une massette en métal tendre pour décoller le cône ;
5. Continuer le dévissage complet du tirant tout en maintenant la fraise avec un chiffon par la partie cylindrique.



B. Avec un tirant prisonnier

Une bague filetée empêche le tirant de sortir lors du dévissage.

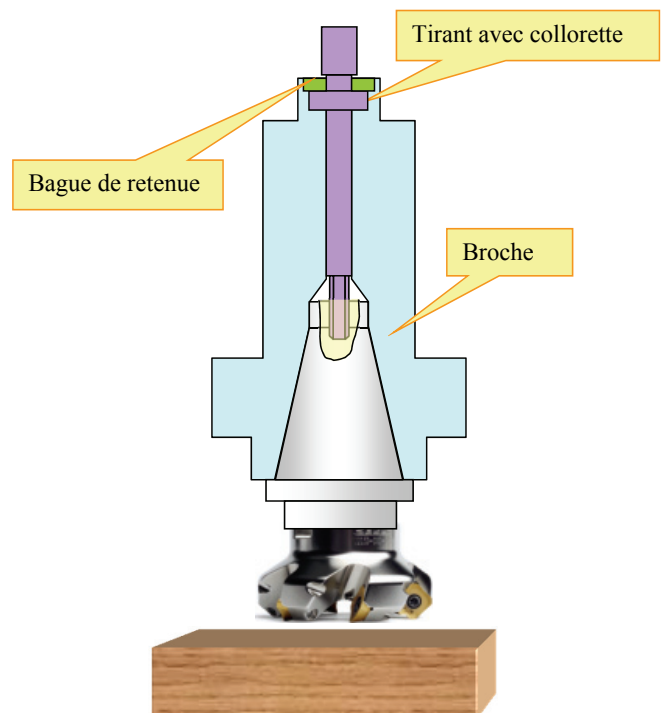
- 1 et 2. Même procédé qu'en A
3. Desserrer le tirant

Le décollage du cône se fait automatiquement.

Pour la suite du démontage, procéder comme en A.
Le changement de tirant est possible après avoir dévissé et enlevé la bague de retenue.

Au remontage, veiller à la propreté du cône et à l'engagement correct des tenons d'entraînement dans les rainures du mandrin ; visser le tirant à la main et n'employer la clé que pour le blocage final.

Vérifier la rotation concentrique du mandrin.



JAUGES ET MICROMÈTRES DE PROFONDEUR



Jaугe de profondeur normale.



Jaугe de profondeur pour trous avec pointes interchangeables en acier trempé.



Micromètre de profondeur avec tiges en acier trempé facilement interchangeables.

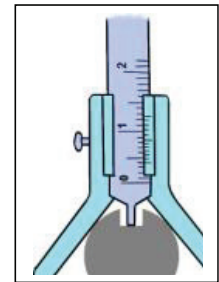


Jaугe de profondeur avec comparateur et rallonges interchangeables.

Jaугe de profondeur à talon pour mesurer à partir d'un épaulement. L'autre extrémité de la règle est parfois terminée comme une jaугe normale graduée de l'autre côté.



Jaугe de profondeur prévue pour mesurer la profondeur de rainures de clavettes. On ajuste au préalable la position des becs sur la partie cylindrique de l'axe claveté pour obtenir l'indication du zéro.



EXEMPLE DE SPÉCIFICATION MATIÈRE

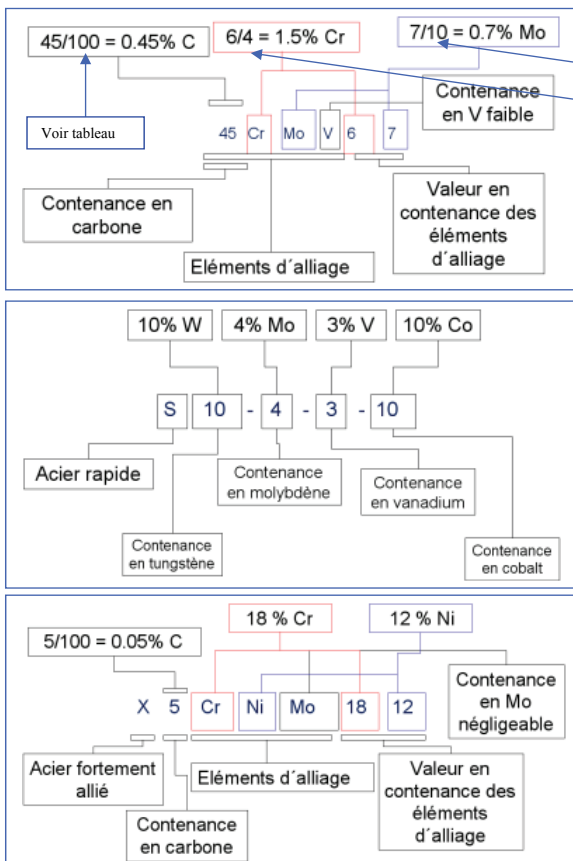


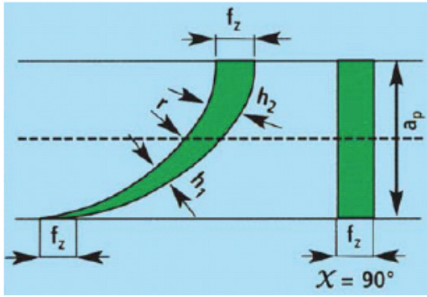
Tableau des coefficients

4		10		100	
Chrome	Cr	Aluminium	Al	Carbone	C
Cobalt	Co	Cuivre	Cu	Phosphore	P
Manganèse	Mn	Molybdène	Mo	Soufre	S
Nickel	Ni	Tantale	Ta	Azote	N
Silicium	Si	Titane	Ti		
Tungstène	W	Vanadium	V		

Propriétés mécaniques

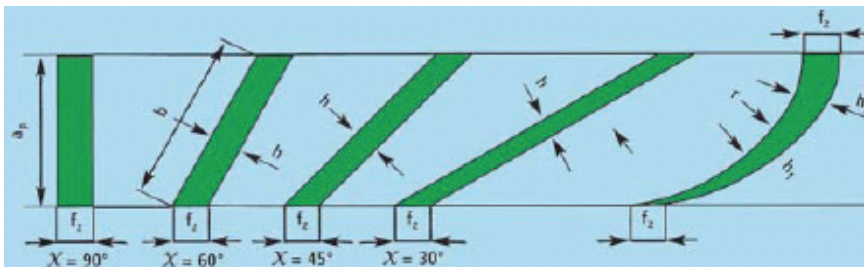
Eléments d'alliages	Propriétés mécaniques												
	Dureté	Ténacité	Limite d'allongement	Allongement	Contrainte	Résistance aux chocs	Elasticité	Résistance à la chaleur	Formation de carbures	Résistance à l'usure	Forgeabilité	Usinabilité	Résistance à la corrosion
Silicium	↑↑	↑	↑↑↑	↓	↑	↓	↑↑↑	↑	↓	↓	↓	↓	---
Manganèse dans aciers perlitiques	↑↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	---
Manganèse dans aciers austénitiques	↓↓↓	↑	↑	↑↑↑	↑	↑	---	---	---	---	↓↓↓	↓↓↓	---
Chrome	↑↑	↑↑	↑↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑↑	↑	↓	---	↑↑↑
Nickel dans aciers perlitiques	↑	↑	↓	↑	↑	↑	---	---	---	---	↓	↓	---
Nickel dans aciers austénitiques	---	↑	↓	↑↑↑	↑↑	↑↑↑	---	↑↑↑	---	---	↓↓↓	↓↓↓	↑↑
Aluminium	---	---	---	↓	↓	↑	---	---	---	---	↓	↓	---
Tungstène	↑	↑	↑	↓	↓	↑	---	↑↑↑	↑↑	↑↑↑	↓	↓	---
Vanadium	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑↑	↑↑↑	↑↑	↑	↑	---
Cobalt	↑	↑	↓	↓	↓	↑	↑	↑	---	---	↓	↓	---
Molybdène	↑	↑	↓	↓	↓	↑	---	↑↑	↑↑↑	↑↑	↓	↓	---
Cuivre	↑	↑	↑↑	↑	↑	↑	---	---	---	---	↓	↓	---
Soufre	---	---	↓	↓	↓	↓	---	---	---	---	↑↑↑	↑↑	↓
Phosphore	↑	↑	↑	↑	↑	↑	---	---	---	---	↓	↑↑	---
Carbone	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↓	↑	↓	↓	↓	---	---	↓	↓	↑

SECTION DU COPEAU



Comparaison de la section d'un copeau entre celui obtenu avec une plaquette ronde et celui qui est généré par une plaquette à angle d'attaque de 90°.

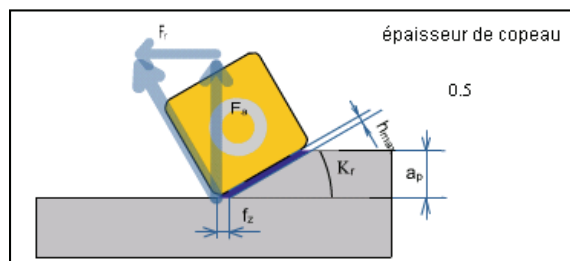
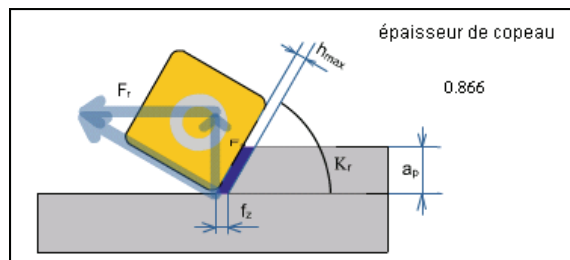
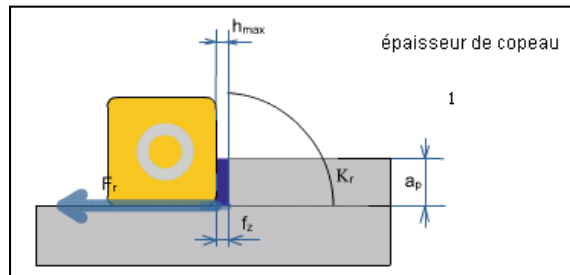
- ap est la profondeur de passe
- fz l'avance par dent
- h l'épaisseur du copeau
- r le rayon
- x l'angle d'attaque



Ce dessin permet de comprendre l'importance de la géométrie des arêtes de coupe de la fraise selon les différents angles d'attaque. Plaquettes à 90° sur la gauche, ensuite 60°, 45°, 30°, et ronde sur la droite.

- ap est la profondeur de passe
- fz l'avance par dent
- h l'épaisseur du copeau
- r le rayon
- x l'angle d'attaque
- b la longueur du copeau

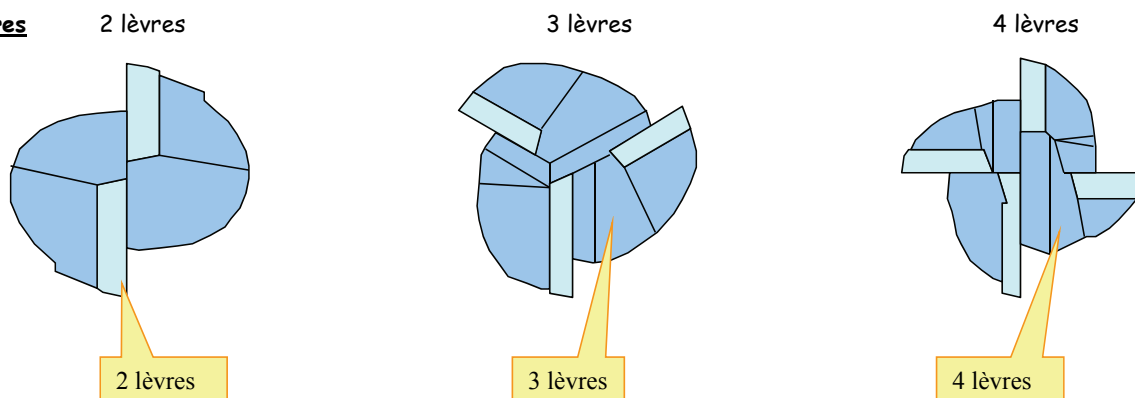
Remarque : plus l'angle d'attaque diminue, plus la longueur augmente et plus l'épaisseur du copeau diminue pour une même avance par dent.



TYPES DE FRAISES

<u>FRAISES EN BOUT</u>	
FRAISE À 2, 3 ou 4 DENTS → FRAISES À RAINURER (fig 1)	FRAISE EN BOUT À DEUX TAILLES (fig 2)
<p>Ne possèdent que 2 dents en général. Cependant, il existe des fraises à rainurer à 3 dents et 4 dents.</p> <p>Diamètre sur lèvres précis, en vue de pouvoir creuser une rainure de largeur déterminée, à la tolérance H8, par exemple.</p> <p>S'utilise surtout pour tailler des rainures de clavetage sur les arbres, rainures débouchantes ou non. \varnothing de fraise</p> <p>Profondeur de passe max = $\frac{\varnothing}{2}$</p> <p>Seule fraise capable de pénétrer axialement dans la matière. Peut donc servir à percer un trou à la manière d'un foret, et pour obtenir un trou à fond plat. Peut aussi aléser.</p> <p>Affûtage : en bout seulement, pour conserver à la fraise son \varnothing extérieur et sa précision propre d'origine.</p>	<p>Nombre de dents variable selon le diamètre et d'au moins 4.</p> <p>Ne donne pas un sillon de largeur calibrée.</p> <p>Usage principal : réalisation d'épaulements ou de mortaises.</p> <p>Passe maximum</p> <ul style="list-style-type: none"> - si la profondeur de passe est égale au \varnothing fraise : largeur max de passe = $\frac{1}{4} \varnothing$ fraise - si la largeur de passe est égale au \varnothing fraise : profondeur max de passe = $\frac{1}{4} \varnothing$ fraise <p>Pas de pénétration axiale à la manière des forets.</p> <p>Affûtage possible en bout ET sur lèvres.</p>

Par le nbr de lèvres



Selon leur denture en bout

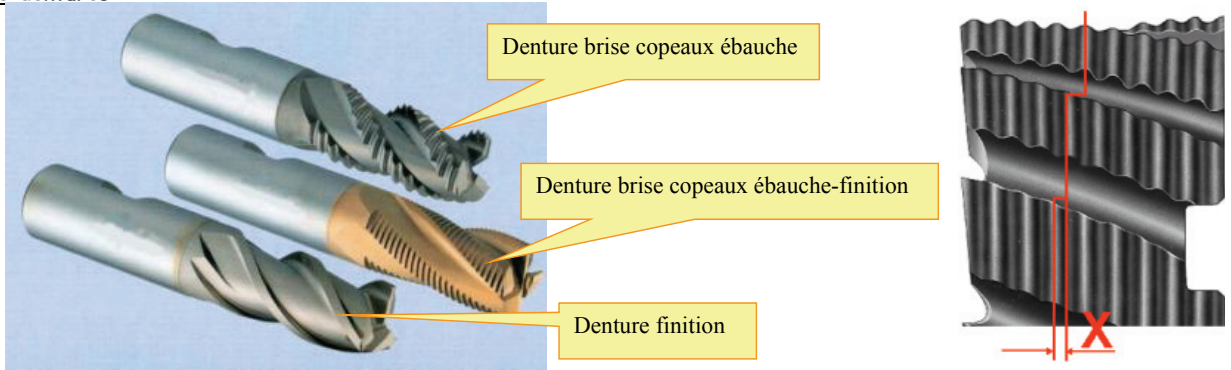
Coupe au centre
1 lèvre plus longue
Passe axiale autorisée.



Sans coupe au centre
lèvres identiques
Passe axiale non autorisée.



Par le profil de dentures



Dans les dentures EB et EB/FIN
Nous avons 5 types de brises copeaux



NR



HR



NF



HNR



HF

EB normale

Matières résistantes à la traction normale. Grandes avances possibles. Surfaces fortement structurées.

EB fine

Matières résistantes à la traction haute. Grandes avances possibles. Surfaces structures plus fines qu'avec NR.

EB / Finition normale

Matières résistantes à la traction normale. Surfaces structures plus fines qu'avec NR et HR.

EB fine

Matières hautement résistantes et usinabilité difficile. Le plat renforce la résistance de l'outil.

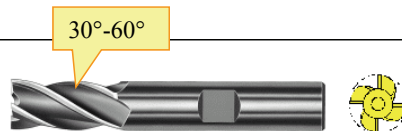
EB / Finition fine

Profil plat. Matières hautement résistantes et usinabilité difficile. Le plat renforce la résistance de l'outil

Par la géométrie de gorge et l'inclinaison de l'hélice

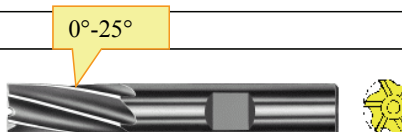
DIN 1836 **N**

Matière de dureté et de résistance normale
jusqu'à 1000N/mm²



DIN 1836 **H**

Matière dure, rigide et/ou des copeaux courts
jusqu'à 1300N/mm²

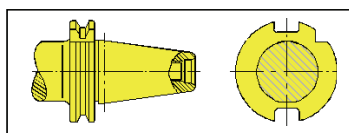
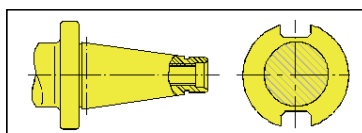
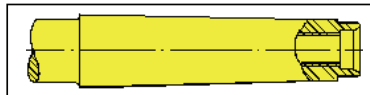
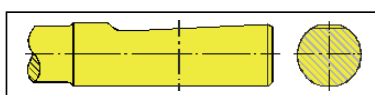
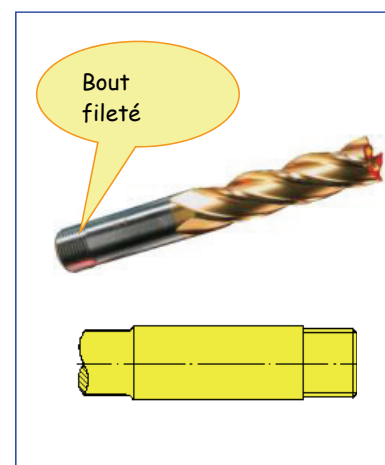
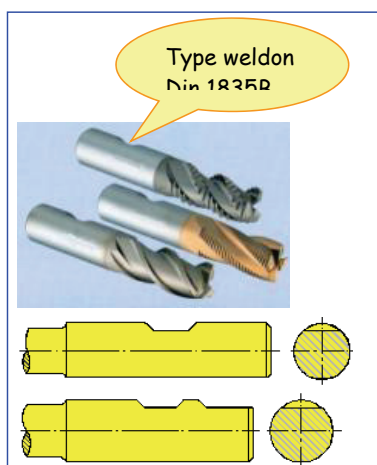


DIN 1836 **W**

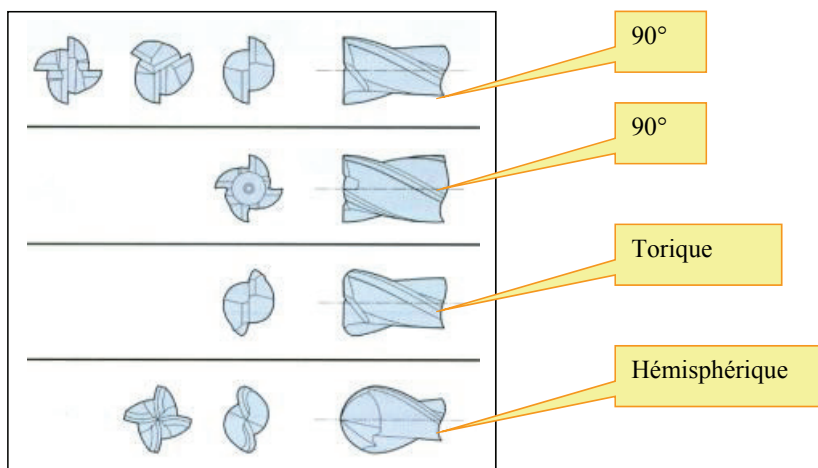
Matière tendre, rigide et/ou des copeaux longs
jusqu'à 500N/mm²



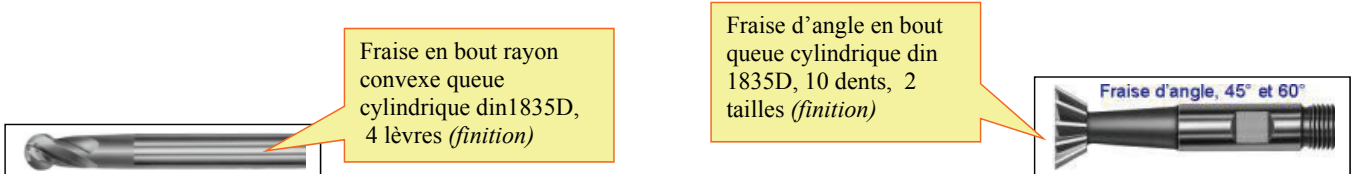
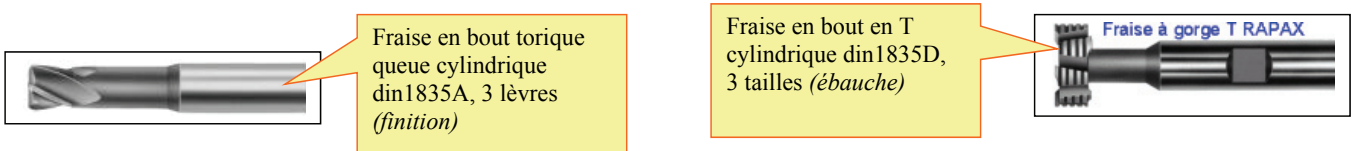
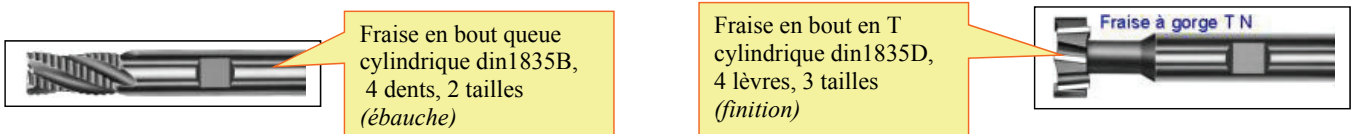
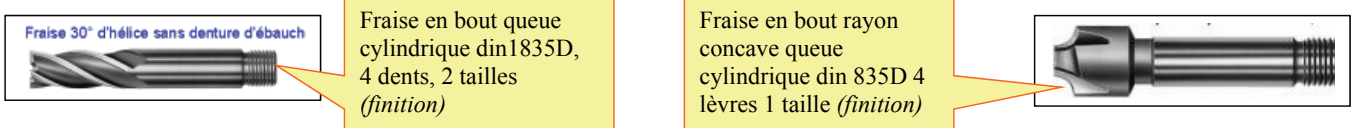
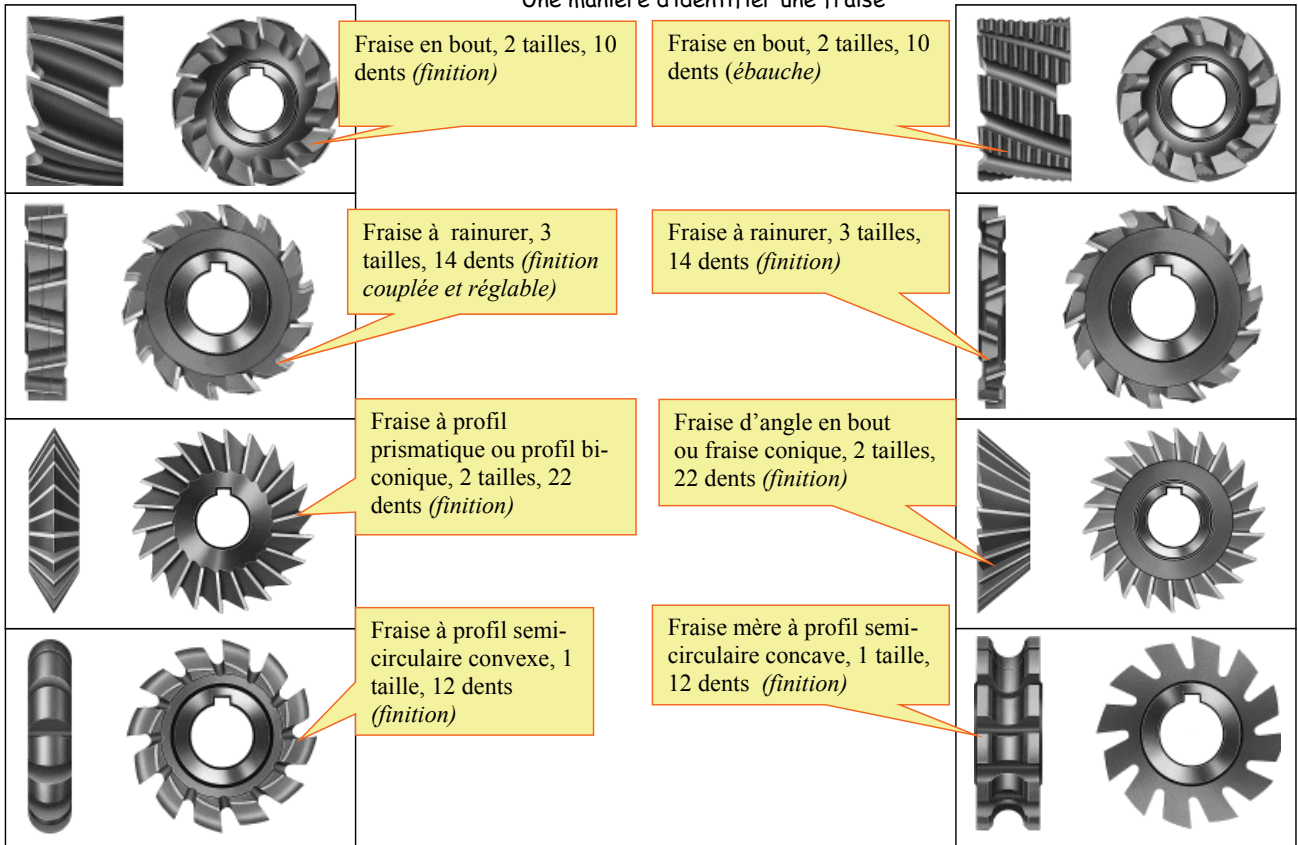
Par l'attachement

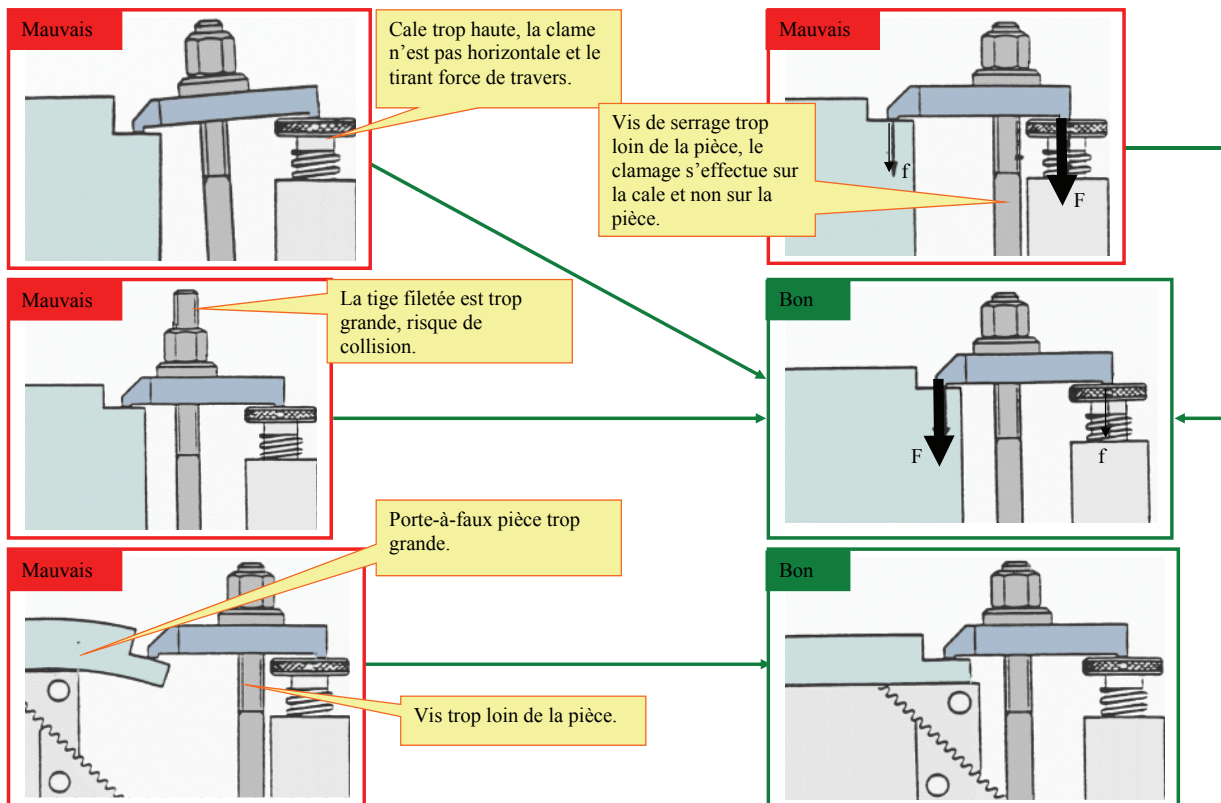


Par la forme

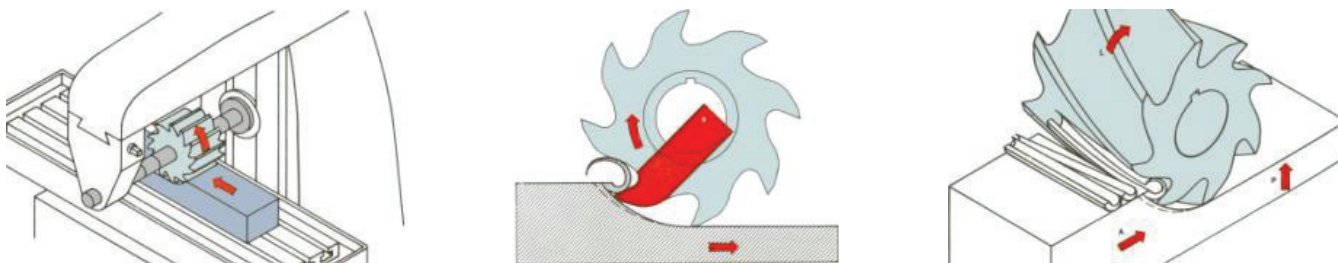


Une manière d'identifier une fraise

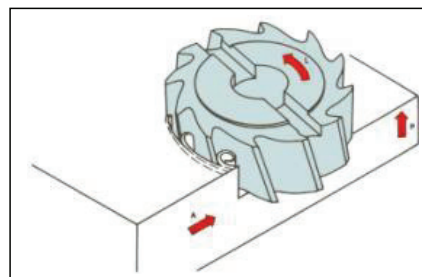




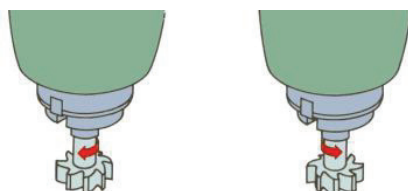
LES EFFORTS DE COUPE



Nous devons tenir compte des efforts de coupe et une analyse nous permet de voir que la fraise a tendance à soulever la pièce dans ce cas de figure. Pour résoudre certains problèmes de vibration (broutage), nous devons faire des choix en tenant compte de la résultante des efforts.



En effet, il existe certains outils avec des hélices différentes, d'où inversion du sens de rotation. Le mouvement de rotation place la dent de fraise en opposition avec la matière.



LE RATRAPAGE DU JEU

JEU NON RATRAPÉ

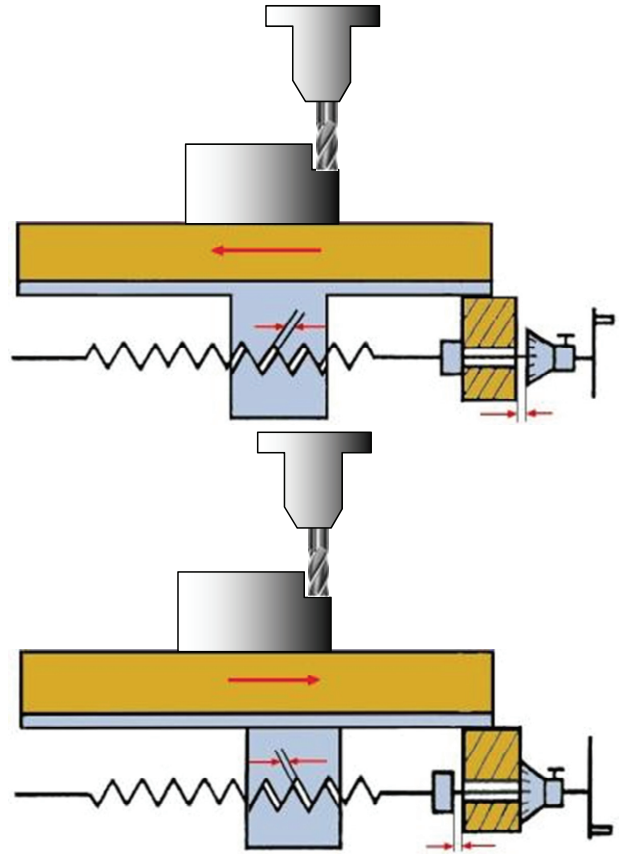
Le chariot se déplacera dans le sens d'attaque de la fraise, de la valeur du jeu existant entre la vis et l'écrou.

Résultat : cote mangée, bris de la fraise.

JEU RATRAPÉ

Le chariot sollicité par l'attaque de la fraise ne peut se déplacer.

Résultat : bon travail, pas d'à-coup, cote respectée, aucun risque de casse.



CONCLUSIONS

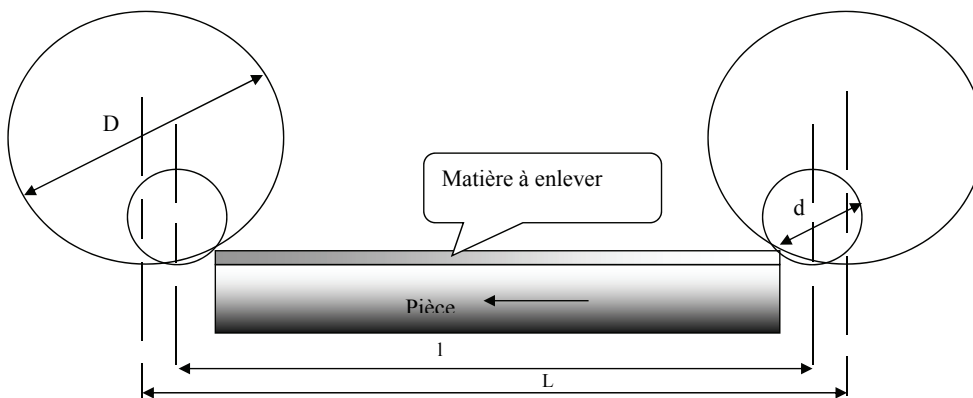
Avant l'exécution d'une opération quelconque de la fraiseuse, il faut absolument s'assurer :

1. que le sens de l'avance est correct - pas de travail en avalant ;
2. que les mouvements non utilisés sont bloqués ;
3. que le rattrapage du jeu a été effectué comme expliqué plus haut.

La négligence de ces consignes a pour effet le bris immanquable de la fraise.

CHOIX DU DIAMÈTRE

Afin de réduire au maximum les temps d'usinage des pièces, il est nécessaire de faire un choix du diamètre des fraises employées car, comme on peut le constater dans la figure ci-dessous, l'espace parcouru pour le parachèvement d'une même grandeur de surface est, d'une façon caractéristique, très différent par des fraises de diamètres inégaux.



En effet, la distance « L » prouve que la fraise de Ø « D » a effectué un déplacement beaucoup plus grand que la fraise « d » (distance l) pour réaliser le parachèvement d'une même surface. Il en résulte donc une perte de temps considérable, et ce particulièrement lors des travaux de série.

En conclusion

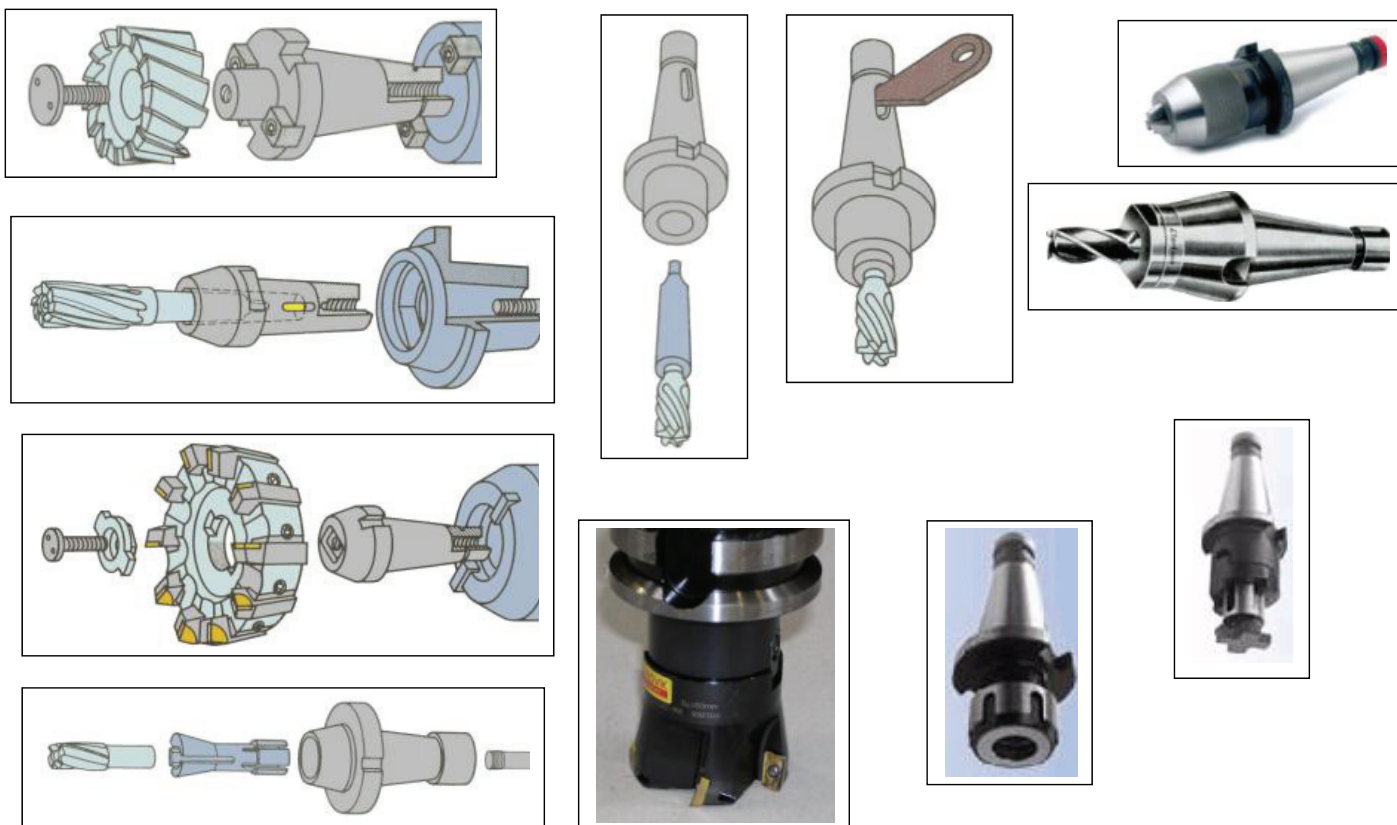
Il faut choisir le diamètre de la fraise en fonction de la largeur à fraiser. **GAIN DE TEMPS**

Exemple : pour une opération de surfacage de face, la largeur à fraiser étant de 50 mm, le diamètre de la fraise sera au maximum égal à 1,5 x cette largeur, soit :

$$1,5 \times 50 = 75 \text{ mm}$$

S'il s'agit de réaliser des épaulements, la fraise sera choisie en fonction du plus large épaulement d'une même pièce.

LES ATTACHEMENTS ET MANDRINS



ÉLABORATION DES CARBURES MÉTALLIQUES

Les alliages sont généralement obtenus par fusion simultanée d'un métal de base et d'un ou plusieurs métaux d'addition dans le même bain et il y a fusion complète des composants.

Lors de l'élaboration des carbures métalliques, seul le métal qui joue un rôle de liant entre en fusion pendant l'opération de **frittage** qui consiste à mélanger le carbure de base réduit en poudre et le liant métallique, à lui faire subir une compression de l'ordre de 4 à 5 tonnes pas cm², suivi d'une cuisson à température de fusion du métal liant.

Principaux carbures de coupe :

Carbure de TUNGSTENE T° de fusion 3.400°

Carbure de MOLYBDENE T° de fusion 2.600°

Carbure de TITANE T° de fusion 1.800°

métal liant COBALT

T° de fusion 1.480°

Carbure de TANTALE T° de fusion 2.600°

liant NICKEL

T° de fusion 1.450°

Observations

Les plaquettes de carbures métalliques ne nécessitent pas de traitement thermique, leur affûtage doit se faire sur des meules en carborundum (verte) et l'affûtage fin sur meules diamantées, jamais sur des meules émeri-corindon ou Alundon.

ÉVOLUTION ET COMPARAISON DES MATÉRIAUX DE COUPE

	Acier au carbone	Acier rapide	Stellite	Carbure métallique	Céramique	Diamant
Année d'invention	Avant 1800	1895	1907	1928	1955	Avant 1800
T° limite du bec de l'outil	280°	550°	600°	800°	900°	/
Vitesse de coupe Acier 60kg/mm ²	15m/min	25m/min	40m/min	Jusqu'à 200m/min	200m/min	400m/min

USURE DES PLAQUETTES

Contraintes en fraisage

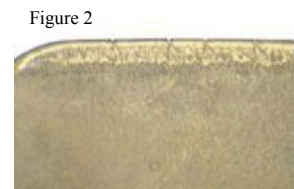
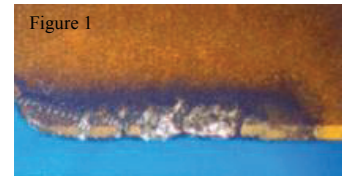
En fraisage, les arêtes des plaquettes sont exposées à des contraintes qui se différencient dans une large mesure de celles qui apparaissent en tournage. La raison en est l'usinage intermittent, c'est-à-dire que les arêtes ne sont en prise que pendant une partie du temps et que l'épaisseur de copeau varie pendant la coupe.

Variations de température

Quand la plaquette est prise, la température de son arête croît rapidement jusqu'à 600°C. De plus, la température dans la plaquette change quand l'épaisseur du copeau varie. La plaquette est refroidie pendant la partie du tour au cours de laquelle la plaquette n'est pas en prise. Ces variations de température entraînent des tensions thermiques dans la plaquette qui peuvent occasionner ce que l'on appelle des « lissures en peigne » (voir fig 1), lesquelles sont perpendiculaires à l'arête de coupe.

Contraintes mécaniques

A l'attaque, la plaquette est également exposée à un choc mécanique lorsque les forces de coupe sont engendrées. Ensuite, ces forces varient quant au sens et à la valeur pendant le travail de la plaquette. Cela peut entraîner des fissures dues à la fatigue, qui sont essentiellement parallèles à l'arête de coupe (fig 2).



Formes d'usure

Écaillage

Les dites variations de température et de force de coupe peuvent entraîner, dans des cas défavorables, un écaillage, c'est-à-dire que des particules sont arrachées de l'arête.

Le remède est, d'une part, de choisir une nuance de carbure métallique qui est moins sensible à ce type d'usure (une nuance spéciale de fraisage ou une nuance généralement plus

tenace) et, d'autre part, de réduire les contraintes, par exemple en changeant les conditions de coupe.

Un autre type d'écaillage se présente quand les contraintes mécaniques sur l'arête même deviennent trop grandes. De petites particules se détachent alors de l'arête (fig 4). Pour contrecarrer cela, on peut renforcer l'arête en l'arrondissant ou en lui donnant un biseau primaire négatif. Il est également possible de choisir une nuance ayant une meilleure ténacité.

Déformation

Si la température sur l'arête devient trop élevée, celle-ci peut se déformer sous l'effet de la contrainte mécanique (fig 5). Dans ce cas, il faut abaisser la température en réduisant les conditions de coupe ou, si possible, en choisissant une nuance de carbure métallique résistant mieux à la déformation.

Usure en dépouille

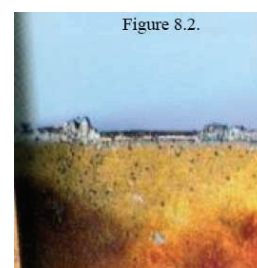
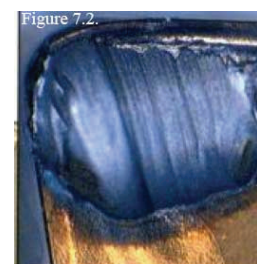
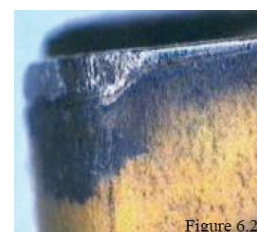
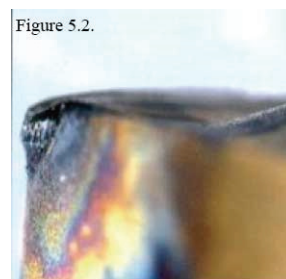
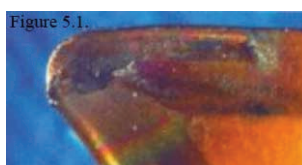
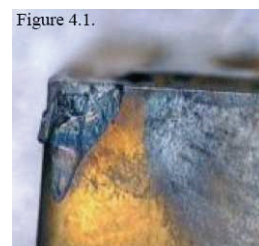
Normalement, l'usure en dépouille constitue le critère de durée de vie (fig 6). Quand l'usure en dépouille est trop grande, les forces de coupe augmentent et l'état de surface devient moins bon. Pour éviter une usure en dépouille trop rapide, l'avance doit être choisie suffisamment grande pour éviter l'usure par frottement de l'arête qui résulte de très petites épaisseurs de copeau.

Usure en cratère







Ce type d'usure (fig 7) ne se présente que très rarement en fraisage. Il convient dans ce cas de choisir une nuance plus résistante à l'usure ou bien de réduire la vitesse de coupe.

Arête rapportée

Si la température est trop basse dans la zone de coupe, le copeau ne s'écoule pas correctement et la matière se soude sur l'arête (fig 8). On obtient alors ce qui est appelé une « arête rapportée ». Le résultat est une mauvaise surface et nécessite plus de puissance. Pour résoudre ce problème, il faut augmenter les conditions de coupe. Il est également possible de faciliter la formation de copeau à l'aide d'angles de dégagement positifs.



RÉCAPITULATIF DES PROBLÈMES ET DES REMÈDES

<p>Echauffement intermittent de l'arête de coupe. Enlèvement d'un gros volume de matière ou à haute vitesse.</p>	<p>A Utiliser une nuance plus résistante à la température contenant du TaC. B Utiliser un outil avec un angle positif. C Augmenter le rayon de pointe. D Réduire la vitesse de coupe, l'avance ou la profondeur de passe. E Eviter l'utilisation d'arrosage.</p>		<p>Fissures thermiques</p>
<p>Plaquette de coupe excessivement cassante. Plaquette trop dure pour les conditions d'application.</p>	<p>A Utiliser une nuance plus tenace avec une teneur en cobalt plus élevée. B Utiliser une plaquette avec un angle négatif. C Utiliser un rayon plus important. D Utiliser une plaquette à listel plus large. E Augmenter la vitesse de coupe.</p>		<p>Ebrèches</p>
<p>La plaquette de coupe est trop tendre. La vitesse de la machine est trop élevée.</p>	<p>A Utiliser une nuance plus dure et plus résistante à l'usure. B Réduire la vitesse de coupe. C Augmenter l'avance. D Utiliser l'arrosage.</p>		<p>Usure en dépouille excessive</p>
<p>Une usure en entaille se produit à la ligne de profondeur de passe. Généralement, ceci est dû à une surface écrouie, l'écaillage ou l'abrasion.</p>	<p>A Augmenter au maximum l'angle de direction d'arête. B Utiliser un rayon plus important pour les faibles profondeurs de coupe. C Réduire la vitesse de coupe et l'avance. D Faire varier la profondeur de passe.</p>		<p>Usure en entaille</p>
<p>La vitesse de coupe est trop faible par rapport à la matière usinée.</p>	<p>A Augmenter la vitesse de coupe. B Utiliser une nuance qui diminue le frottement, par exemple, une nuance revêtue TiAlN. C Utiliser un arrosage haute lubricité.</p>		<p>Arête rapportée</p>
<p>Fortes avances ou vitesses de coupe élevées.</p>	<p>A Réduire la vitesse de coupe. B Réduire l'avance. C Utiliser une nuance plus dure. D Utiliser une nuance plus résistante à la chaleur.</p>		<p>Déformation</p>
<p>Chaleur excessive et soudure des copeaux à la pointe.</p>	<p>A Utiliser une nuance plus dure. B Réduire la vitesse de coupe. C Réduire l'avance.</p>		<p>Cratérisation</p>

Problèmes	Rupture de plaquette	Écaillage de l'arête	Usure rapide en dépuille	Usure rapide en cratère	Formation d'arête rapportée	Bourrage de copeaux	Vibrations	Mauvais état de surface	Écaillage de pièce	Mesures
			x	x						Utiliser un carbure métallique plus résistant à l'usure
	x	x								Utiliser un carbure métallique plus tenace
		x			x			x		Augmenter la vitesse de coupe « V »
			x	x						Réduire la vitesse de coupe « V »
			x		x					Augmenter l'avance par dent Sz
	x	x		x		x		x	x	Réduire l'avance Sz
	x	x			x	x	x		x	Remplacer la fraise (géométrie)
	x					x				Remplacer la fraise (espaces à copeaux augmentés)
							x	x		Est-ce que la largeur du biseau plan est correcte ?
									x	Réduire l'angle d'attaque
	x	x					x	x		Accroître la stabilité
		x					x			Utiliser un volant
							x	x		Vérifier la fixation de la fraise
		x	x							Renforcer l'arête de la coupe (chanfrein)

FRAISE À SURFACER À PLAQUETTES RÉVERSIBLES EN CARBURE MÉTALLIQUE



Vis de serrage A

Les plaquettes à coupe positive possèdent plusieurs arêtes de coupe. Lors du changement d'arête, desserrer la vis « A », enlever les plaquettes et nettoyer chaque logement ainsi que les plaquettes.

Introduire chaque plaquette en présentant l'arête neuve vers la circonférence extérieure, la face de coupe étant dirigée vers l'opérateur (observer les faces de dépuille).

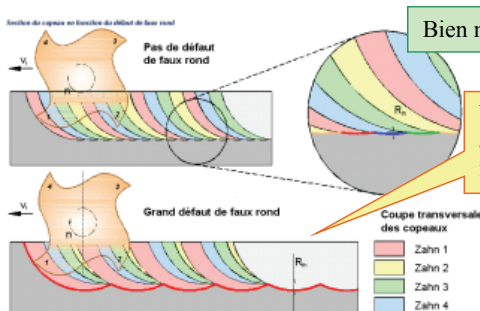
Pendant le serrage de la vis, maintenir la plaquette dans son logement en appuyant dans la direction de la flèche.

Utiliser la clé appropriée fournie avec la fraise.

Ne pas serrer exagérément. Clé dynamométrique adaptée.

Contrôler visuellement le positionnement correct de toutes les plaquettes, ensuite en faisant tourner la machine à vitesse moyenne pour vérifier la concentricité du montage.

Utiliser éventuellement un comparateur pour ce contrôle s'il y a un doute.



Bien montée

Une seule dent risque de travailler avec une fraise montée avec un faux rond



Limite d'usure

En pratique, on prend souvent comme limite de coupe une usure d'environ 0,8 mm sur la face de dépuille. Parfois, un excès d'étincelles annonce que les arêtes de coupe doivent être changées ; si on continue à employer une fraise dont les plaquettes sont usées, la puissance absorbée par la machine augmente, le fini et la précision exigés ne peuvent plus être obtenus.



IFPM est une initiative de



.AGORIA



WWW.IFPM.BE - WWW.TECHNIOS.BE

 [IFPM.TECHNIOS](https://www.facebook.com/IFPM.TECHNIOS)