



Université Internationale  
de Casablanca

UNIVERSITÉ RECONNUE PAR L'ÉTAT



## ***FABRICATION MECANIQUE***

***Smail ZAKI***

*Professeur d'enseignement supérieure*

*Ing., phd. Arts et Métiers*

*Mobile : 06 67 95 38 67*

*Email : [smail.zaki@gmail.com](mailto:smail.zaki@gmail.com)*



# Programme Fabrication mécanique (3<sup>ième</sup> Année)

## Cours :

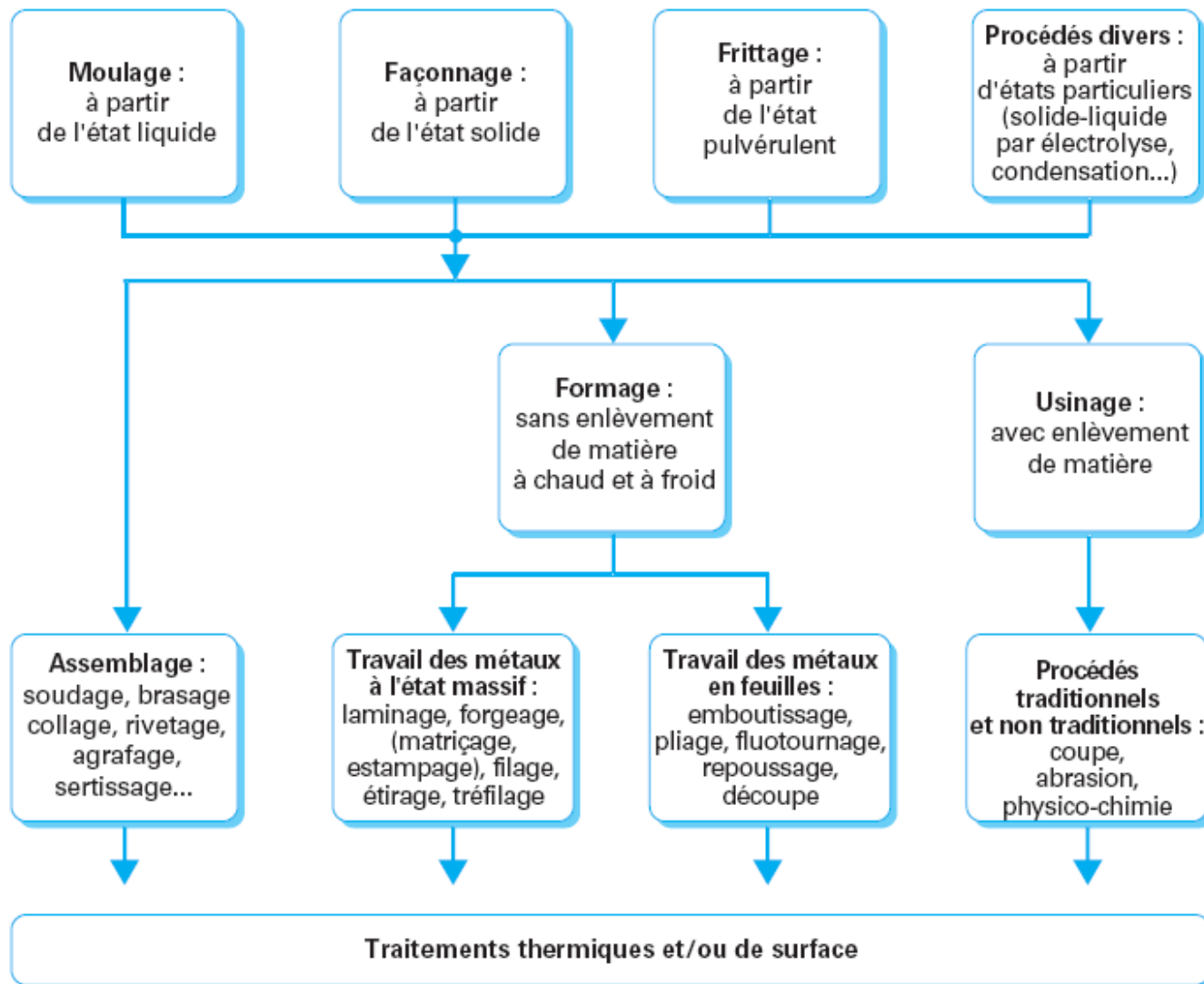
- Techniques et procédés de fabrication de pièces mécaniques avec enlèvement de la matière.
- Usinages conventionnels : tournage, fraisage, perçage, filetage et taraudage, rabotage et mortaisage, brochage, rectification...
- Usinages non conventionnels : par érosion : électroérosion, électrochimie, usinage chimique, au laser, par ultrasons ...
- Isostatisme et serrage d'une pièce
- Moulage : à moule non permanent (en sable, à la cire...) ; à moule permanent (en coquille, en céramique...) ; sous haute et basse pression...
- Déformation plastique de tôles (emboutissage, pliage, découpage,...)
- Déformation plastique de pièces massives (forgeage, estampage, matriçage, extrusion,...).
- Constructions mécano-soudées.

## TP

- Tournage 1 : Utilisation d'un Tour ;
- Tournage 2 : Réalisation d'une pièce de révolution ;
- Fraisage 1 : Utilisation d'une fraiseuse ;
- Fraisage 2 : Réalisation d'une pièce prismatique.



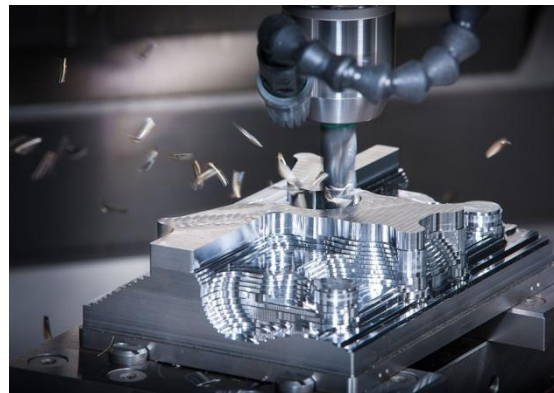
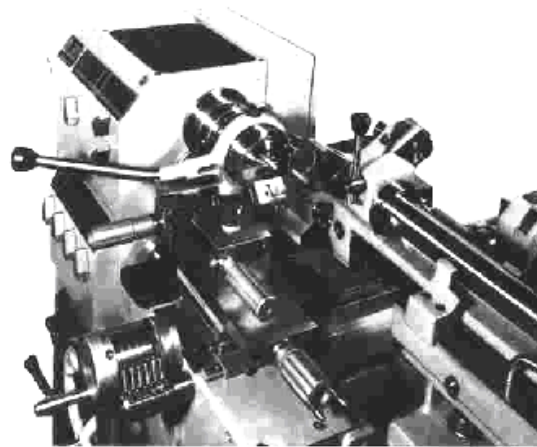
# PARTIE 1: Techniques et procédés de fabrication de pièces mécaniques



La figure I qui récapitule les principales classes de procédés utilisés actuellement montre qu'il existe trois voies principales de mise en forme selon l'état de départ du matériau métallique :

- Le **moulage** à partir de l'état liquide, les pièces prennent leurs formes par solidification et passent donc à l'état solide ayant les propriétés géométriques du moule.
- Le **façonnage** à partir d'une ou plusieurs pièces à l'état solide. Cette voie peut, elle-même, se scinder en **formage**, ou **usinage**, dont les principaux aspects sont présentés dans le volume Usinage;
- Le **frittage** à partir de poudres par disparition des vides intergranulaires à haute température et éventuellement sous pression.
- En raison, entre autres causes, de la classification socio-économique des secteurs industriels correspondants, on distingue dans le formage :
  - — le **travail des métaux à l'état massif**, pratiqué essentiellement dans les industries métallurgiques : le frittage et fonderie ;
  - — le **travail des métaux en feuilles**, pratiqué comme l'usinage dans les industries mécaniques (Chaudronnerie,...)

## Vidéos en directe...



# PARTIE 2: Usinages conventionnels

## I. TOURNAGE

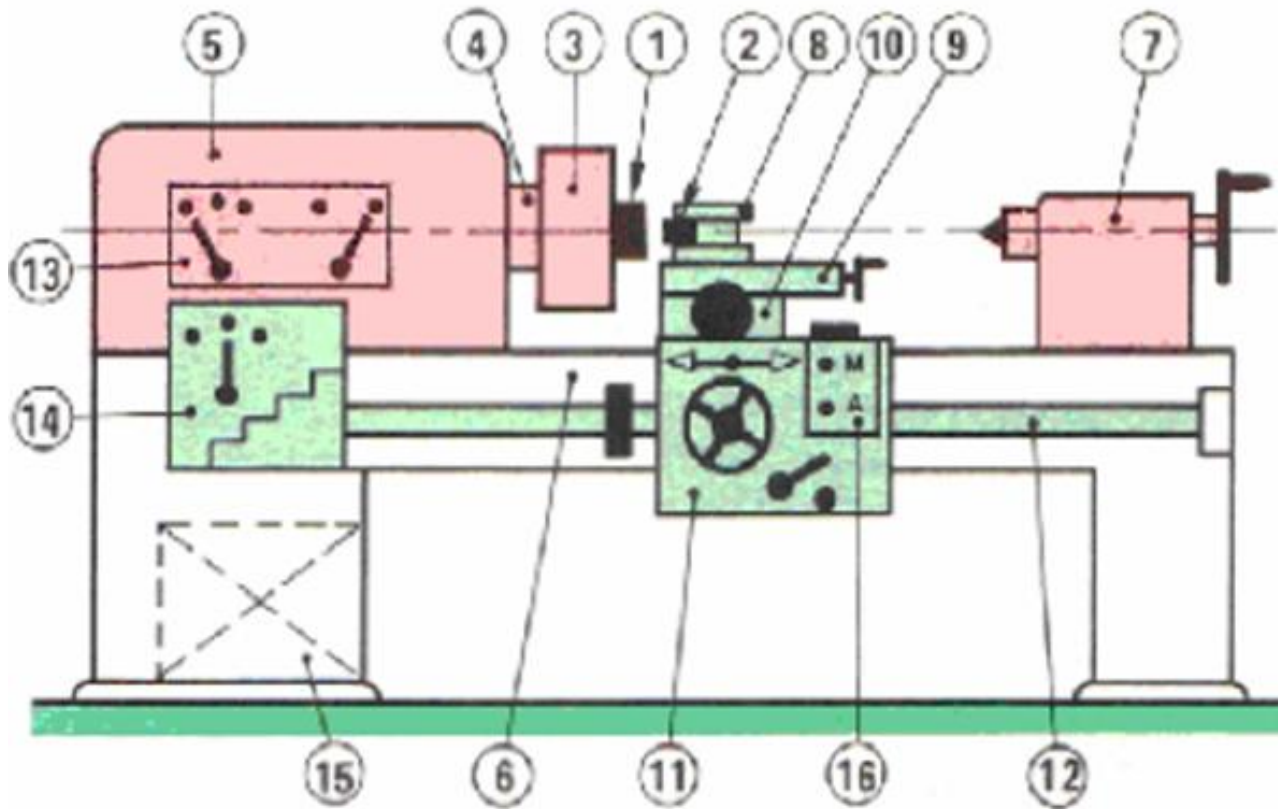
### 1. LE TOUR PARALLÈLE.

Le **tournage** est un **procédé d'usinage** permettant l'**obtention de surfaces de révolution** intérieures et extérieures, de surfaces planes ainsi que d'autres surfaces telles que celles obtenues par filetage, gravure, etc.

Le tournage est la technique de façonnage génératrice de copeaux la plus employée. Les tours constituent presque à eux seuls le quart de l'ensemble des machines-outils.

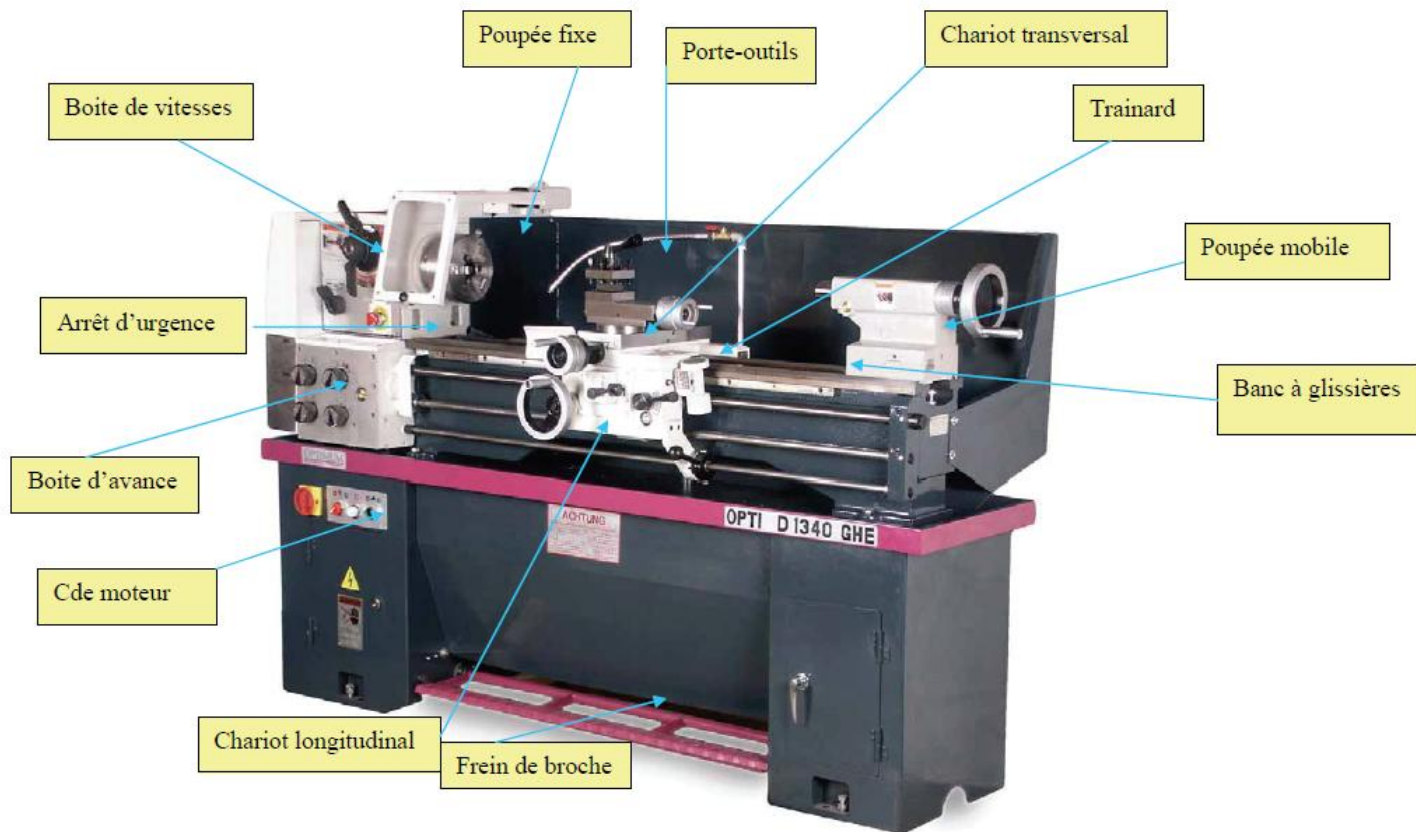
•Le tour c'est une machine d'outillage conçue pour le travail unitaire et la petite série.

•Il permet la réalisation de différentes surfaces nécessitant toujours une rotation de la pièce autour d'un axe de révolution.



(1) Pièce ; (2) Outil ;  
(3) Mandrin ; (4) Broche ; (5)  
Poupée fixe ; (6) Banc ; (7)  
Poupée mobile ; (8) Tourelle  
porte-outils ; (9) Chariot  
supérieur ; (10) Chariot  
transversal ; (11) Traînard ; (12)  
Barre de chariotage ; (13) Boite  
des vitesses ; (14) Boite des  
avances ; (15) Moteur ; (16)  
Contacteur.



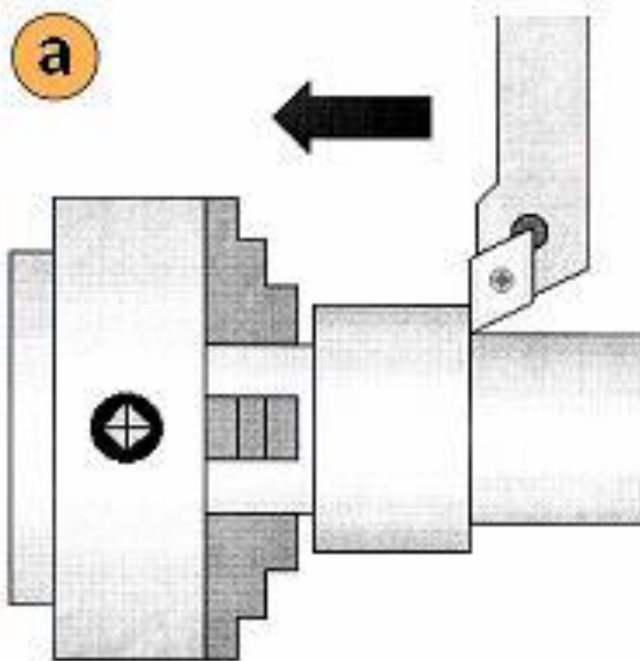




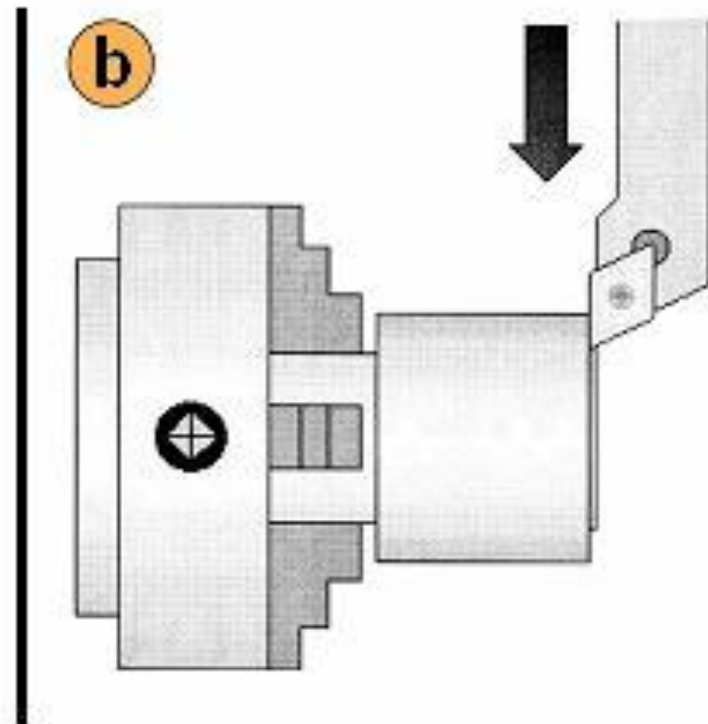
## 2. Types d'opérations

Le tournage longitudinal (fig. a) est la technique de tournage la plus pratiquée. L'outil se déplace parallèlement à l'axe longitudinal de la pièce à usiner et réduit à cette occasion son diamètre.

Lors du tournage transversal (fig. b) la surface à usiner se trouve la plupart du temps à la verticale de l'axe longitudinal de la pièce à usiner. À cette occasion, le travail de l'outil s'opère de l'extérieur vers le centre ou inversement.

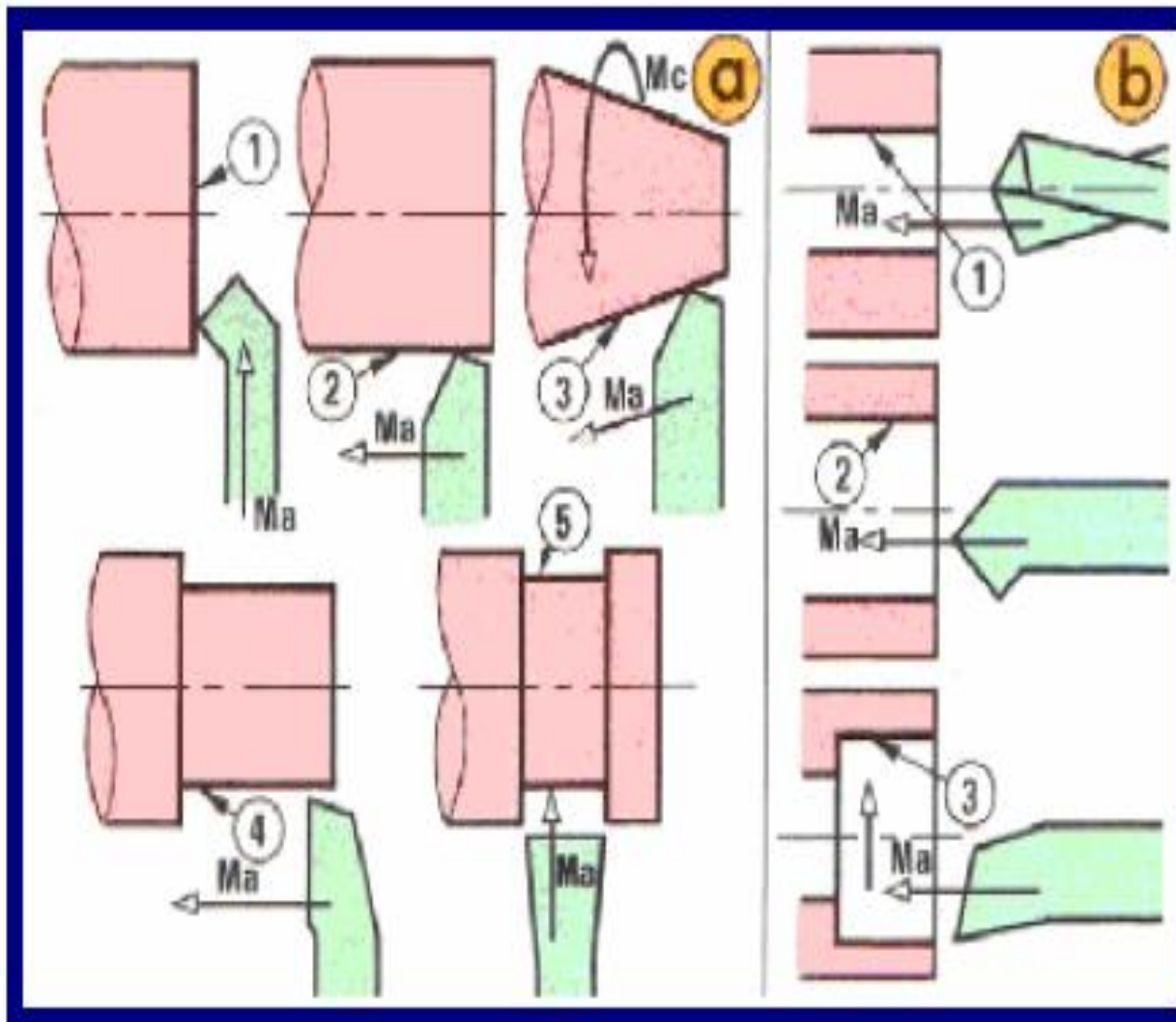


**TOURNAGE LONGITUDINAL**



**TOURNAGE TRANSVERSAL**

## 2. Types d'opérations



### a) Opérations extérieures.

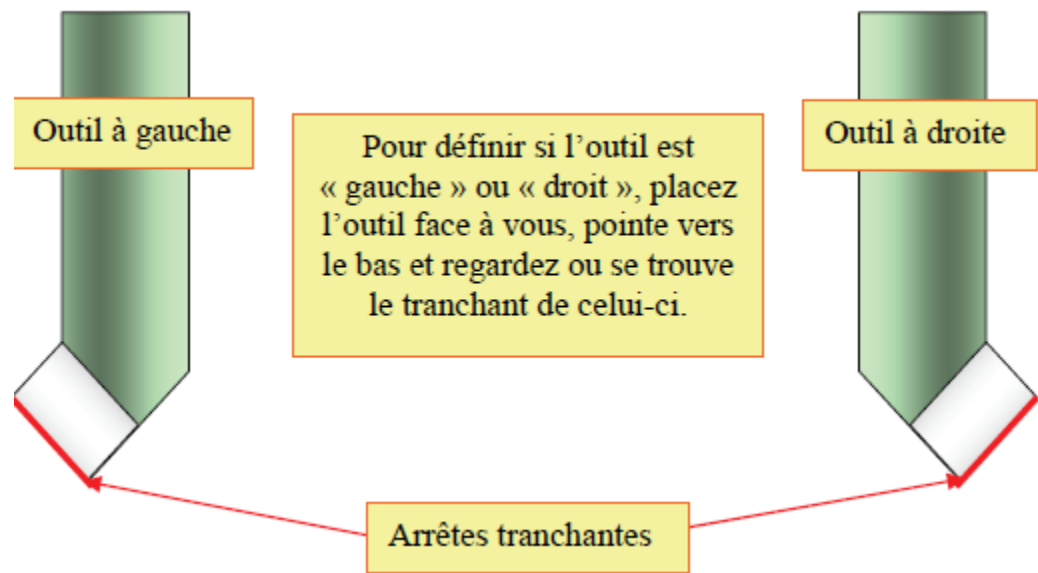
(1) Dressage radial à l'outil à chariotier coudé ; (2) Cylindrage et (3) chariotage conique à l'outil à chariotier ; (4) Décolletage à l'outil couteau; (5) Rainurage à l'outil à gorge.

### b) Opérations intérieures.

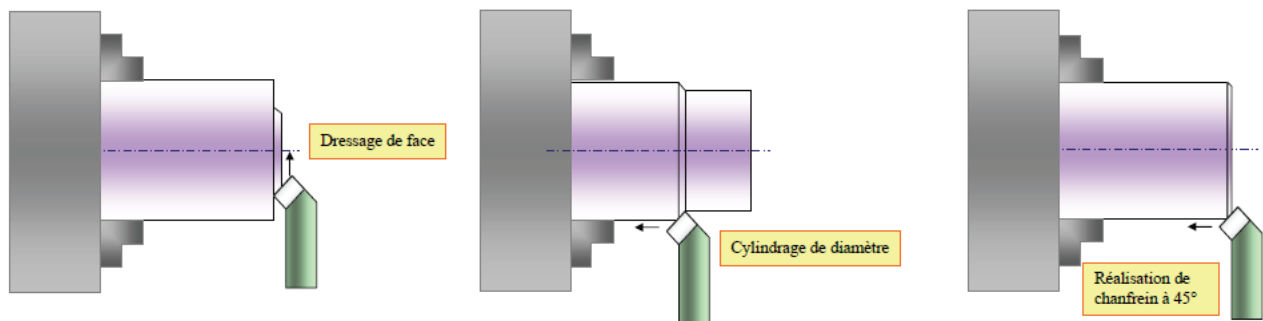
(1) Perçage ; (2) Alésage cylindrique ; (3) Alésage et dressage.

# Dressage (l'outil coudé à charioter)

Opération consistant à usiner des épaulements ou des faces plates sur une machine-outil. Sur un tour, le dressage correspond à un déplacement de l'outil suivant un axe perpendiculaire à l'axe de rotation de la pièce.

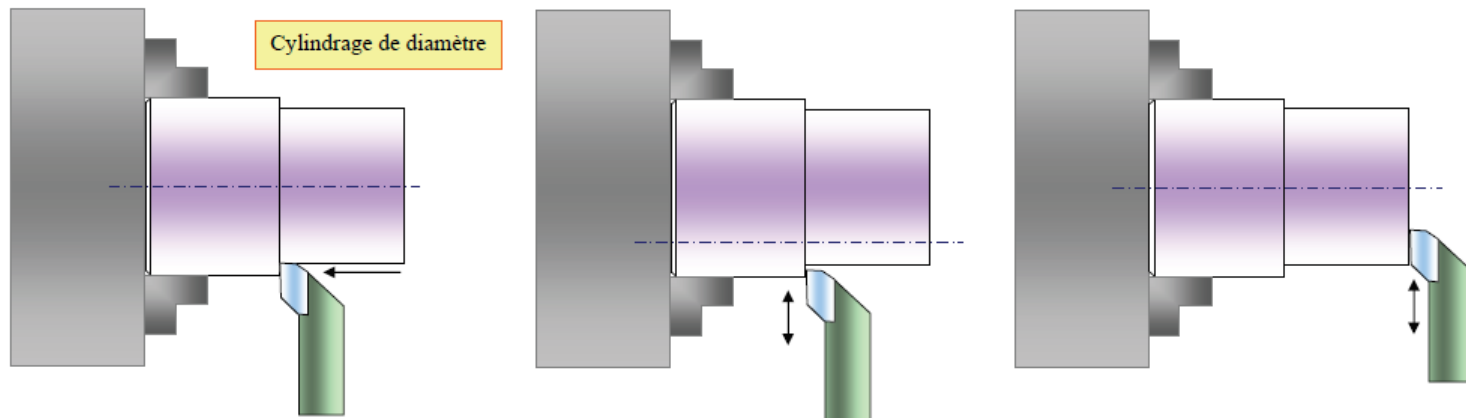
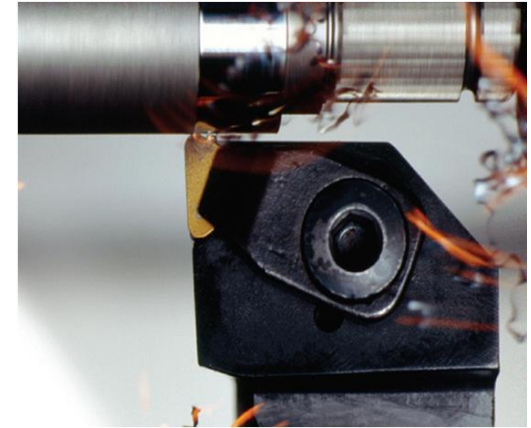


## Types de dressage

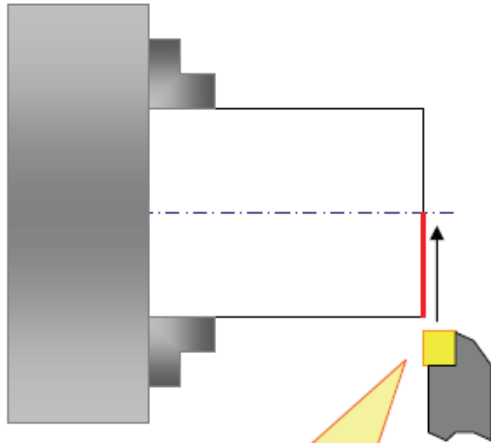


## Le chariotage ou cylindrage

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.

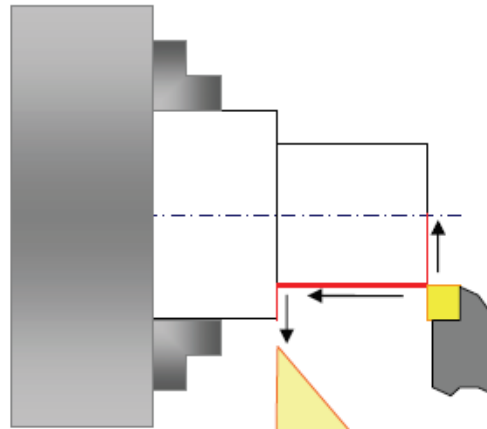


## DRESSAGE



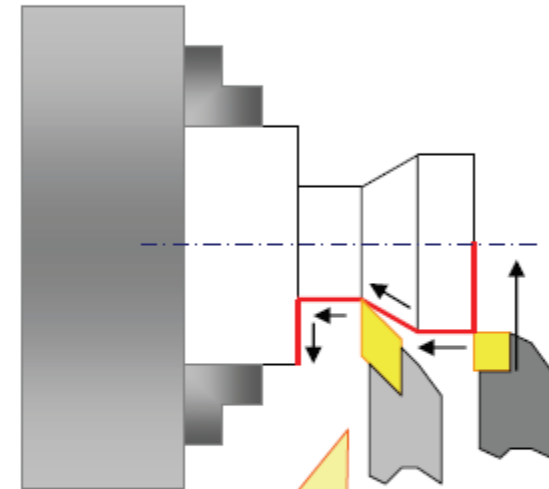
Le dressage s'effectue en général du Ø le plus grand au plus petit (en poussant). Les résultats d'état de surface et de forme sont meilleurs.

## DRESSAGE FACE CYLINDRAGE DRESSAGE ÉPAULEMENT



Le dressage d'épaulement s'effectue indifféremment du Ø le plus grand au plus petit (en poussant). Où 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

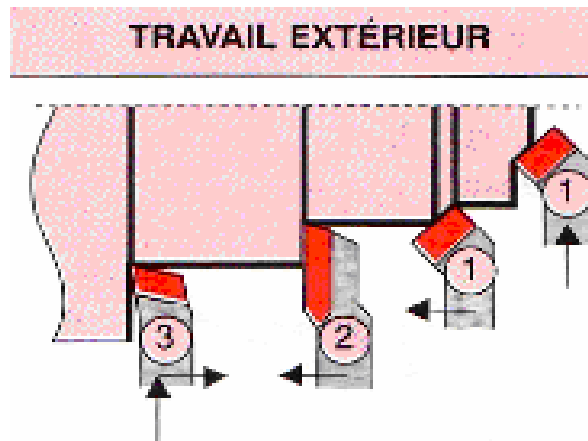


Dans certains types d'usinage, le changement de l'outil est nécessaire pour une question de forme de la pièce. Elle impose un choix différent.

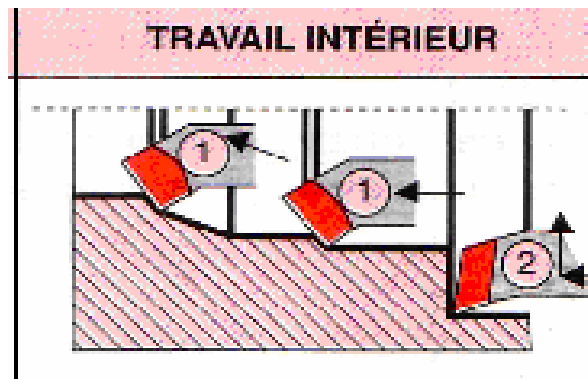
### 3. Outils de tournage

Ce sont des outils normalisés, à corps prismatique (*section carrée ou rectangulaire*) et partie active en acier rapide ou en carbure

#### a. Outils ARS








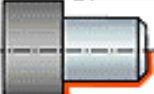

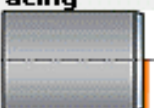



- ① **Outil coudé à charloter :**  
Dressage, chariotage, chanfreinage.
- ② **Outil couteau :**  
Chariotage et dressage d'épaulement simultané.
- ③ **Outil à dresser d'angle :**  
Dressage et raccordement d'épaulement.



- ① **Outil à aléser :**  
Alésage de cylindres et de cônes, généralement débouchants, à partir d'un trou.
- ② **Outil à aléser-dresser :**  
Alésage de cylindres et de cônes et dressage de fonds.

## b. Outils carbures

	Negative inserts				Positive inserts	Ceramic and CBN inserts	
Tooling system	<u>CoroTurn RC</u>	<u>T-MAX P</u>			<u>CoroTurn 107</u>	<u>CoroTurn RC</u>	<u>T-MAX</u>
Clamping system	 Rigid clamp design	 Lever design	 Wedge clamp design	 Screw and top clamp design	 Screw clamp design	 Rigid clamp design	 Top clamp design
Longitudinal turning/facing 	**	*	*		*	**	*
Profiling 	**	*	*	*	**	**	*
Facing 	**	*	*	*	*	**	*
Plunging 		*			**		**





## Remarques

Pour faciliter le choix du type d'outil, on peut considérer qu'il existe, en tournage, quatre opérations de base (figure 1) :

- tournage longitudinal, ou chariotage (1) ;
- dressage (2) ;
- tournage de cônes (3) ;
- contournage (4).

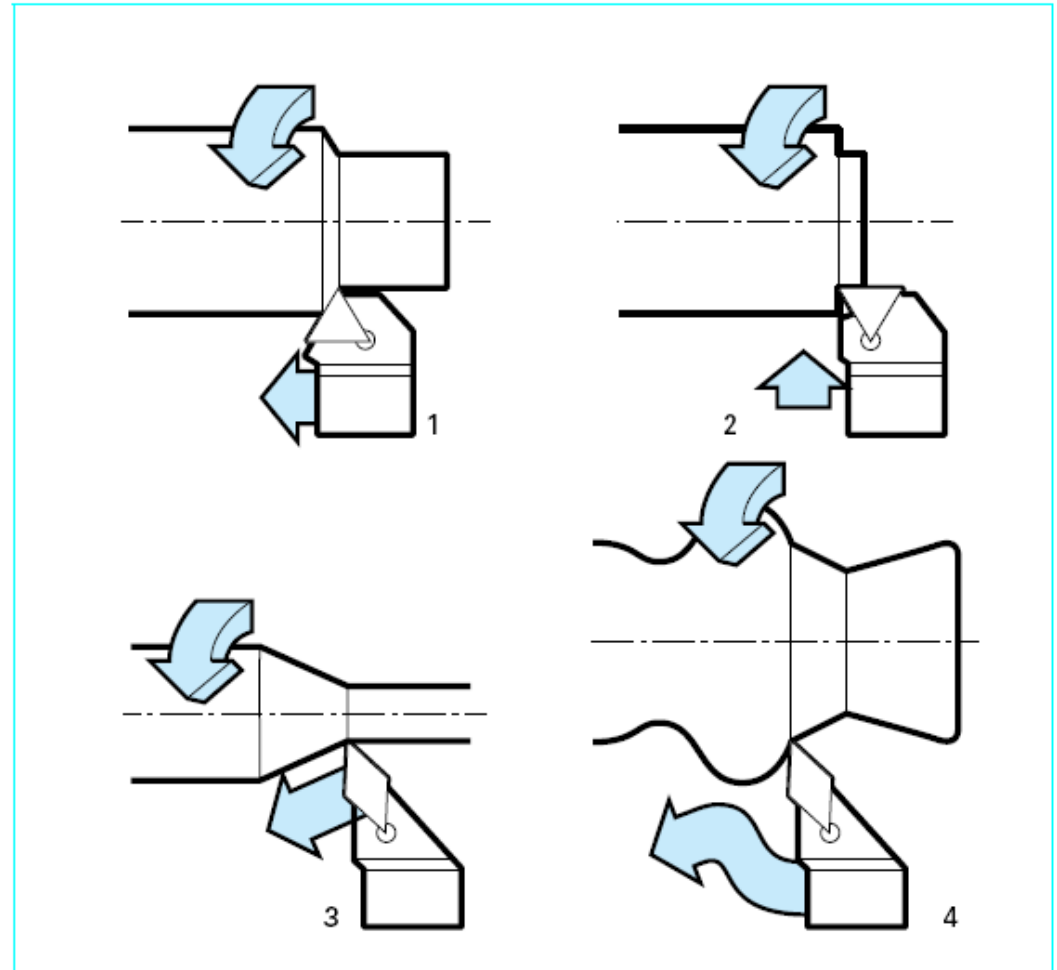


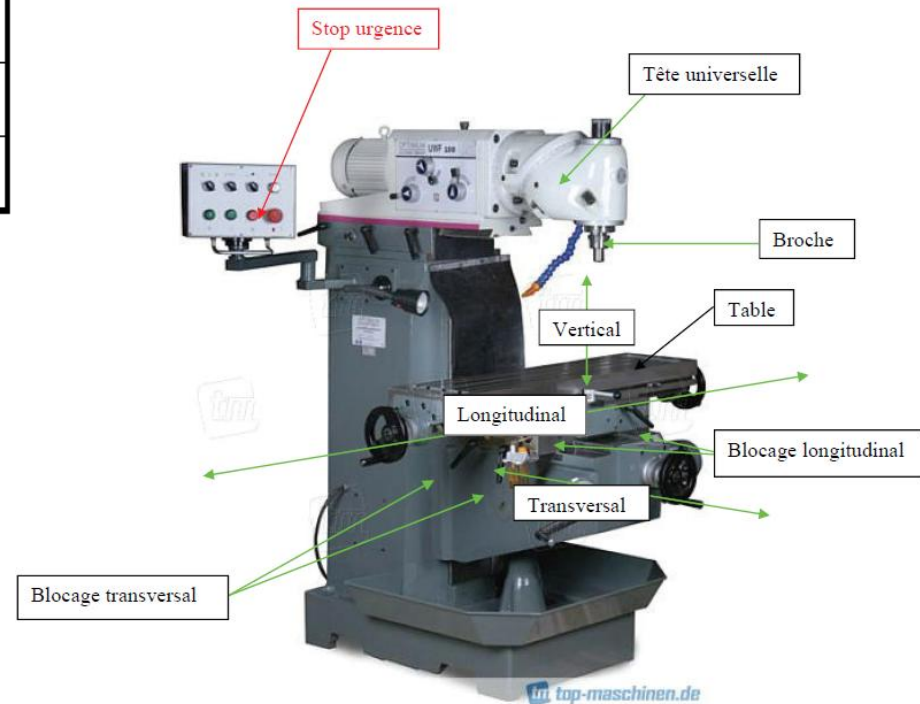
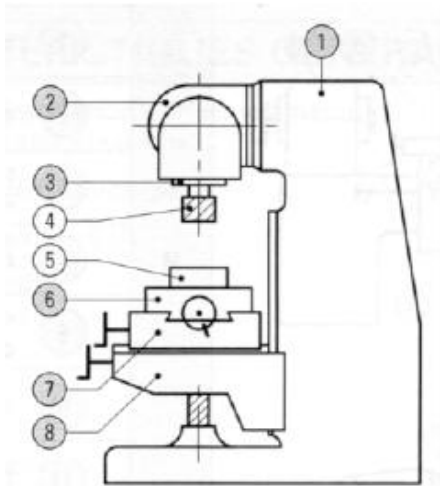
Figure 1 - Opérations de base en tournage

## II. LE FRAISAGE

Dans le cas du fraisage : l'outil tourne, la pièce se déplace.

Les centre de fraisage comportent généralement 3 axes (que l'on peut commander individuellement pour faire des formes complexes : hélices...) et un plateau tournant pour présenter toutes les faces de la pièce devant la broche.

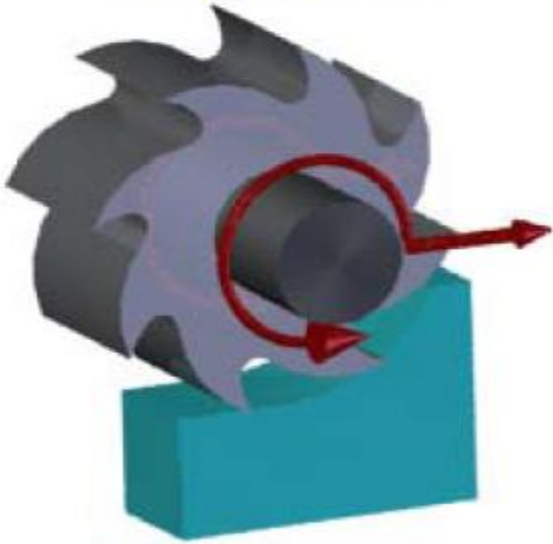
1	Bâti	5	Pièce
2	Tête	6	Chariot longitudinal
3	Broche	7	Chariot transversal
4	Outil (fraise)	8	Chariot vertical



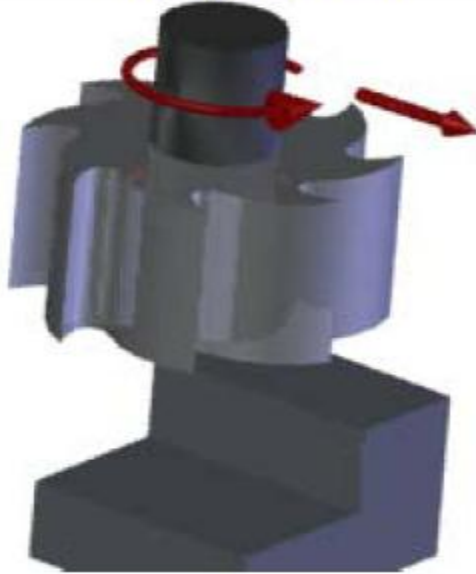
## 1.Type de fraisage

On peut aussi imaginer de monter l'outil au bout un bras de robot. Voir exemple ci-contre.  
L'outil tourne, la pièce se déplace par rapport à l'outil. Cela permet de réaliser des formes planes, des moules...

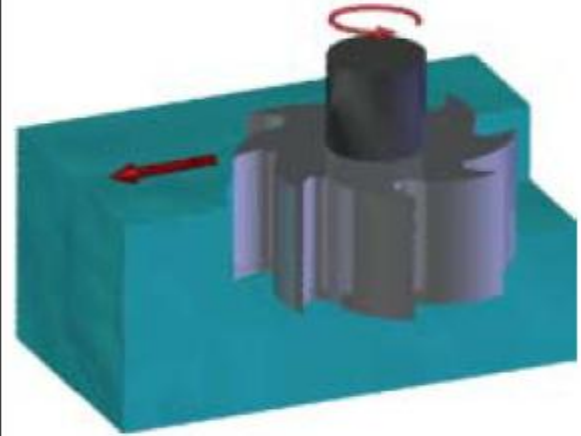
Usinage en roulant



Usinage en bout

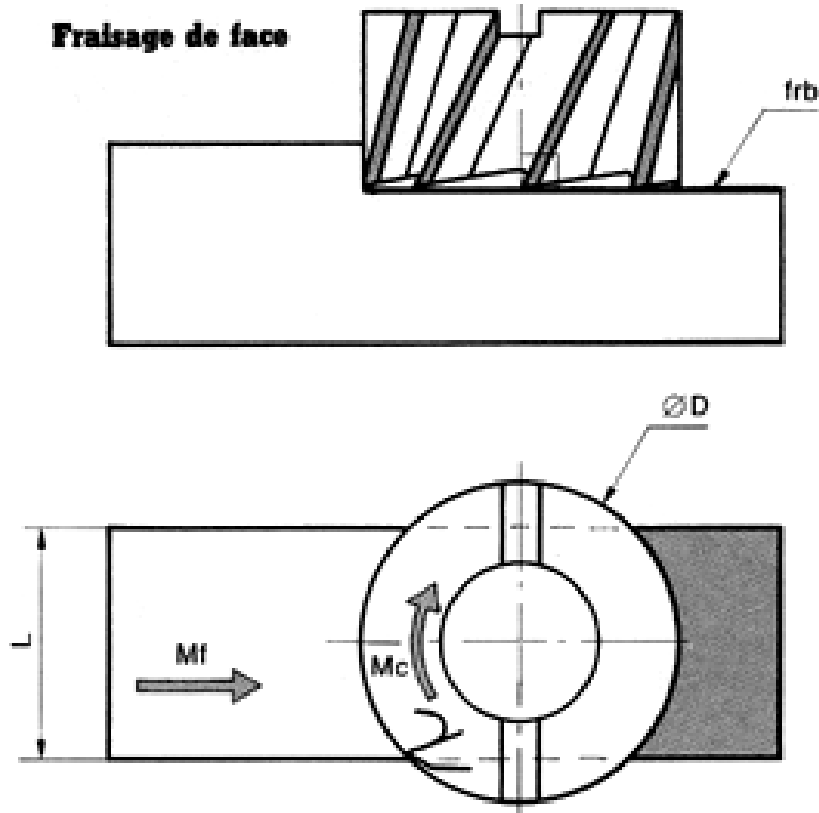


Usinage mixte

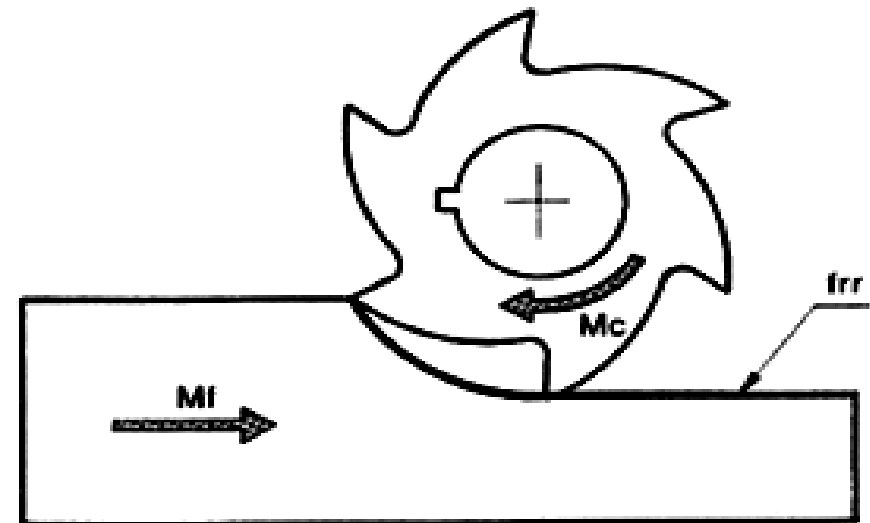


## 1.Type de fraisage

**Fraisage de face**

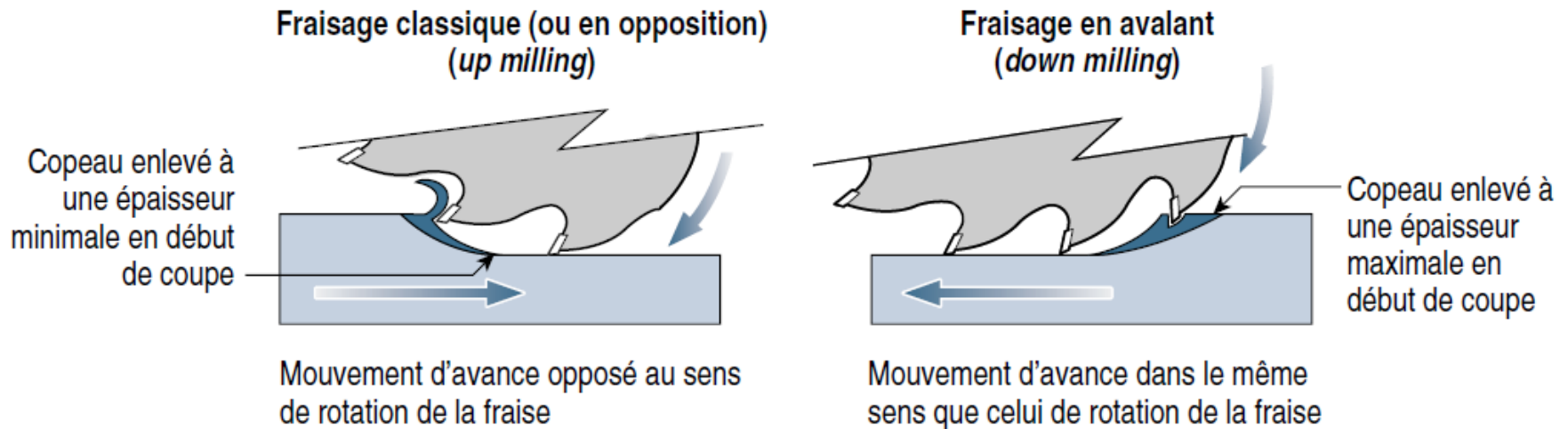


**Fraisage de profil**



# 1.Type de fraisage

En tenant compte du sens de fraisage, il existe deux types de fraisages.



Le fraisage en avalant demande moins de puissance de la part de la machine, réduit les bavures sur la pièce et prolonge la durée de vie de la fraise. Mais pour ce faire, la fraiseuse doit être munie d'un mécanisme de reprise de jeu. Sur les fraiseuses à commande numérique, le fraisage se fait presque uniquement en avalant.

## 2. Classification des fraiseuses

### A. 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.



## 2. Classification des fraiseuses

### B. 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 surfaçages, 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 surfaçages 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.





## 2. Classification des fraiseuses

### C. 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.



### D. 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.



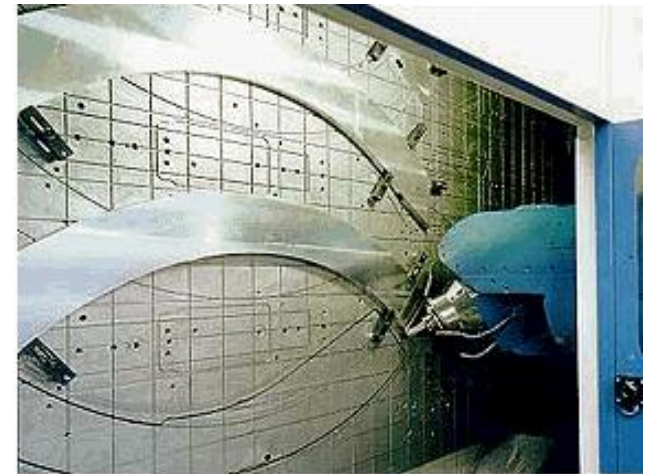
## 2. Classification des fraiseuses

### E. 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.



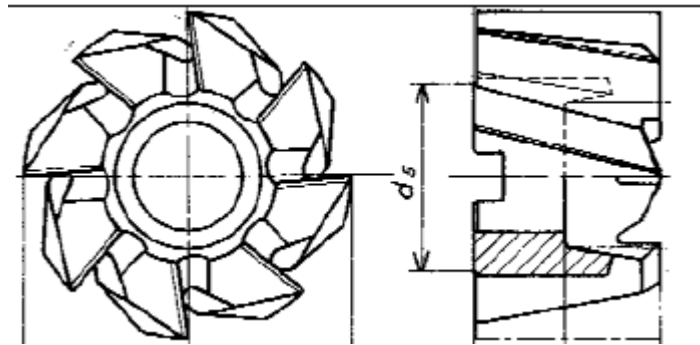
### F. Fraisage avec un bras de robot



### 3. Les outils de fraisage

#### Fraise deux tailles **ARS**:

Usinages de plans. La fraise est en ARS. Cette fraise, une des plus courante, est remplacée par des fraises carbure.



#### Fraise deux tailles à plaquettes rapportées

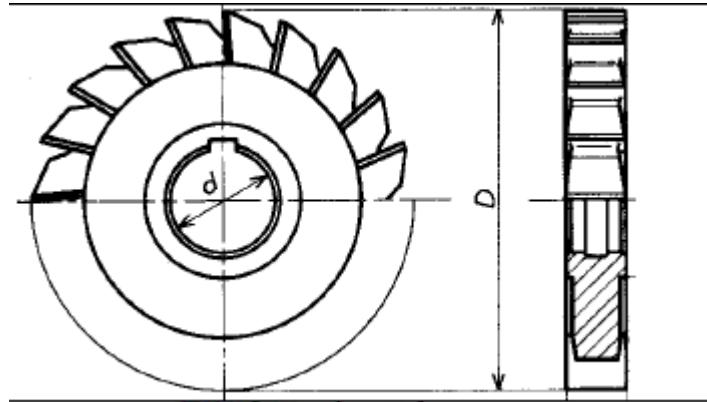
Fraise carbure, de défonçage. Cette fraise permet des ébauches rapides, mais ne permet pas de plonger dans la matière (pas de « coupe au centre »)



### 3. Les outils de fraisage

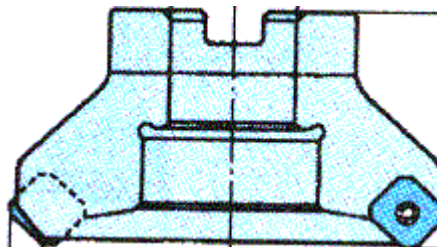
#### Fraise 3 tailles

Fraise pour usiner les rainure. 3 plans sont usinés dans une seule passe.



#### Fraise à surfacer

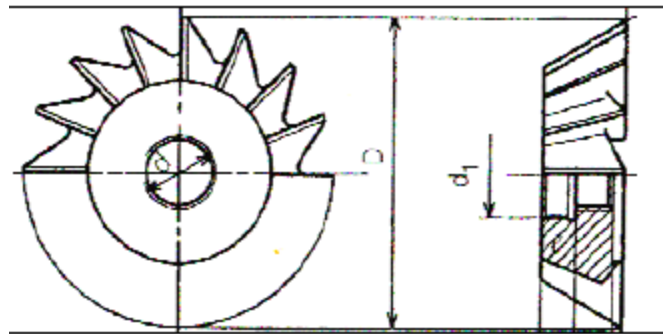
Fraise carbure à surfacer pour usiner des grands plans.



### 3. Les outils de fraisage

#### Fraise conique de forme

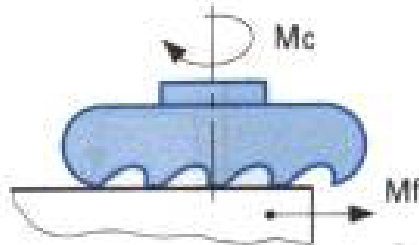
Fraise de forme pour usiner des rainure de queue d'aronde.



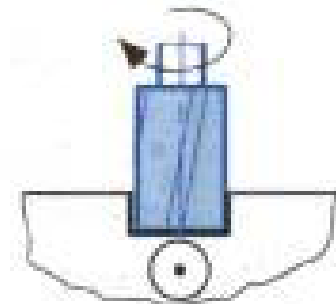
### 3. Les outils de fraisage



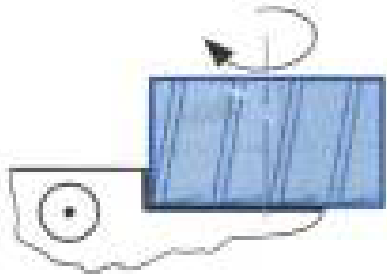
**Fraise 1 taille à surfacer**



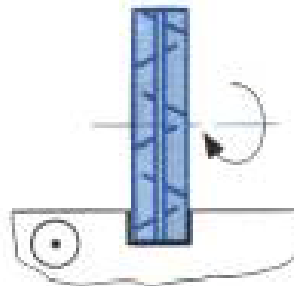
**Fraise cloche à surfacer**



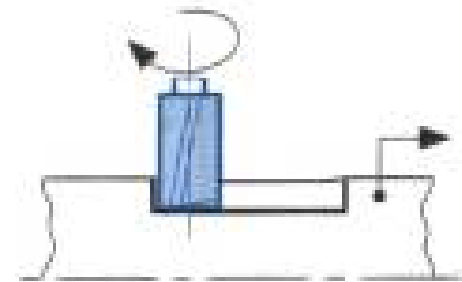
**Fraise 2 tailles à queue cylindrique**



**Fraise 2 tailles à alésages et à entraînement par tenon**



**Fraise 3 tailles extensible à denture alternées**

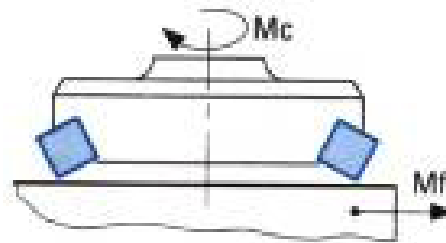


**Fraise à rainurer deux lèvres À coupe centrale**

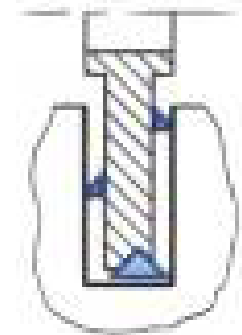
### 3. Les outils de fraisage



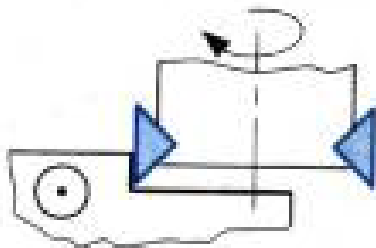
**Fraise 2 tailles à queue conique**



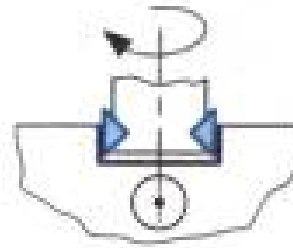
**Fraise à surfacer**



**Fraise 3 tailles à dentures alternées**



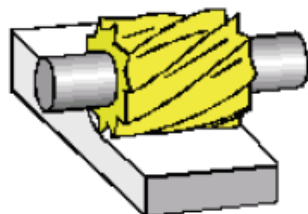
**Fraise à surfacer et à dresser**



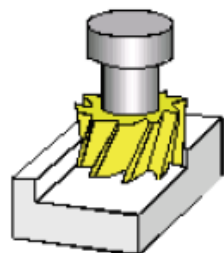
**Fraise à rainurer**



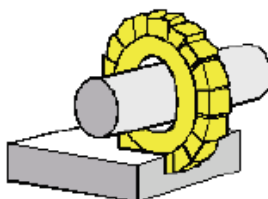
### 3. Les outils de fraisage



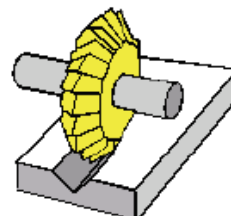
Fraise rouleau 1 taille  
Surfaces planes



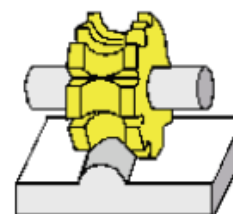
Fraise cylindrique à 2  
tailles  
Surface plane et angles



Fraise 3 tailles  
Dentures alternées  
Gorges, rainure

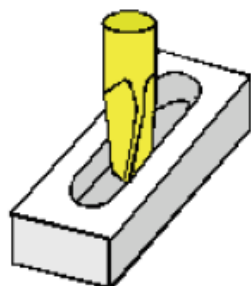


Fraise biconique  
Guides en prisme

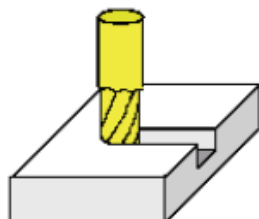


Fraise de profil  
circulaire concave  
Guides circulaires

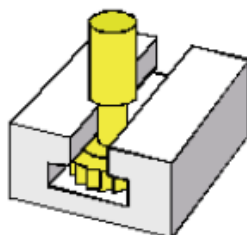
#### FRAISE A QUEUE



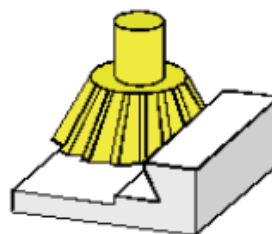
Fraise à gorges  
Rainures et poches



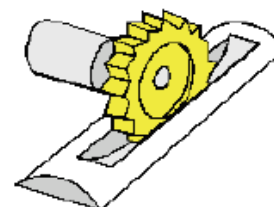
Fraise à rainurer  
Rainures profondes et  
contours



Fraise en T  
Rainures en T

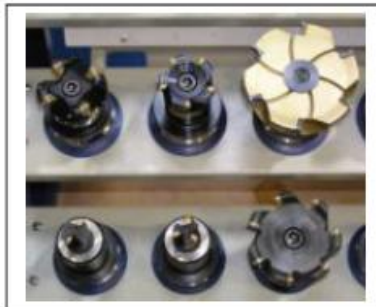


Fraise conique 2 tailles  
Guides en angle



Fraise 1 taille  
Rainures de clavette

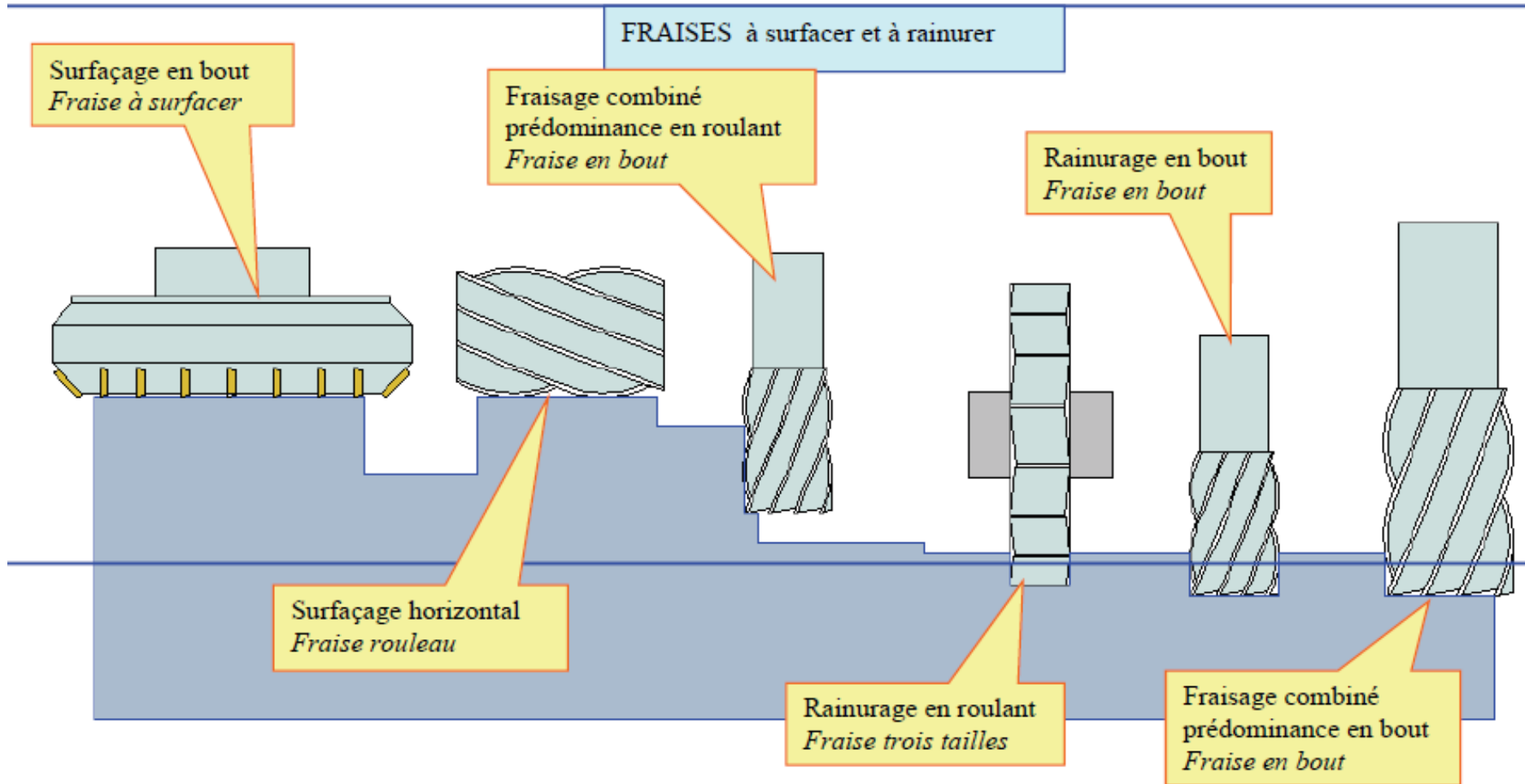
# LES FRAISES À SURFACER ET SURFACER-DRESSER



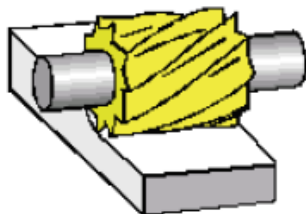
Il existe énormément de fraises différentes de par le nombre de dents, le diamètre, la forme du corps de fraise et de sa plaquette, l'attachement de la fraise et de sa plaquette, les angles de coupe d'attaque, etc. Nous détaillerons plus tard ces variantes.



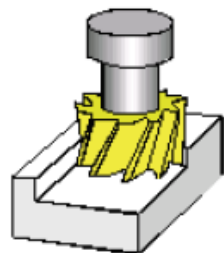
## 4. les opérations principales du fraisage



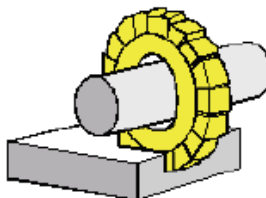
## 4. les opérations principales du fraisage



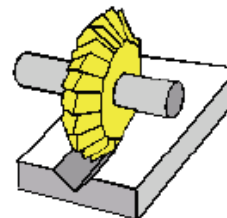
Fraise rouleau 1 taille  
Surfaces planes



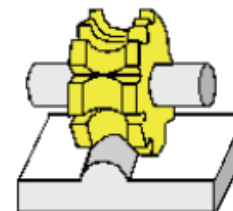
Fraise cylindrique à 2  
tailles  
Surface plane et angles



Fraise 3 tailles  
Dentures alternées  
Gorges, rainure

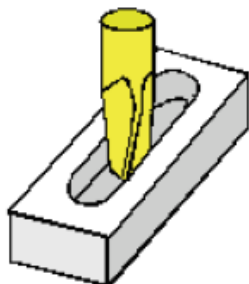


Fraise biconique  
Guides en prisme

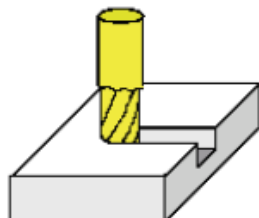


Fraise de profil  
circulaire concave  
Guides circulaires

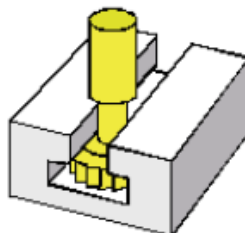
### FRAISE A QUEUE



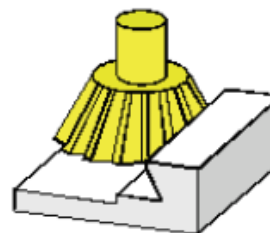
Fraise à gorges  
Rainures et poches



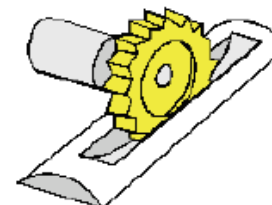
Fraise à rainurer  
Rainures profondes et  
contours



Fraise en T  
Rainures en T

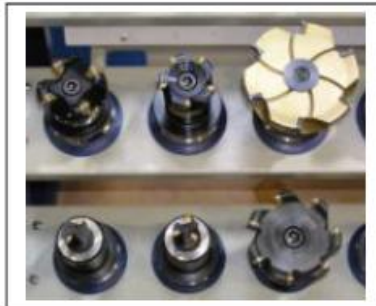


Fraise conique 2 tailles  
Guides en angle



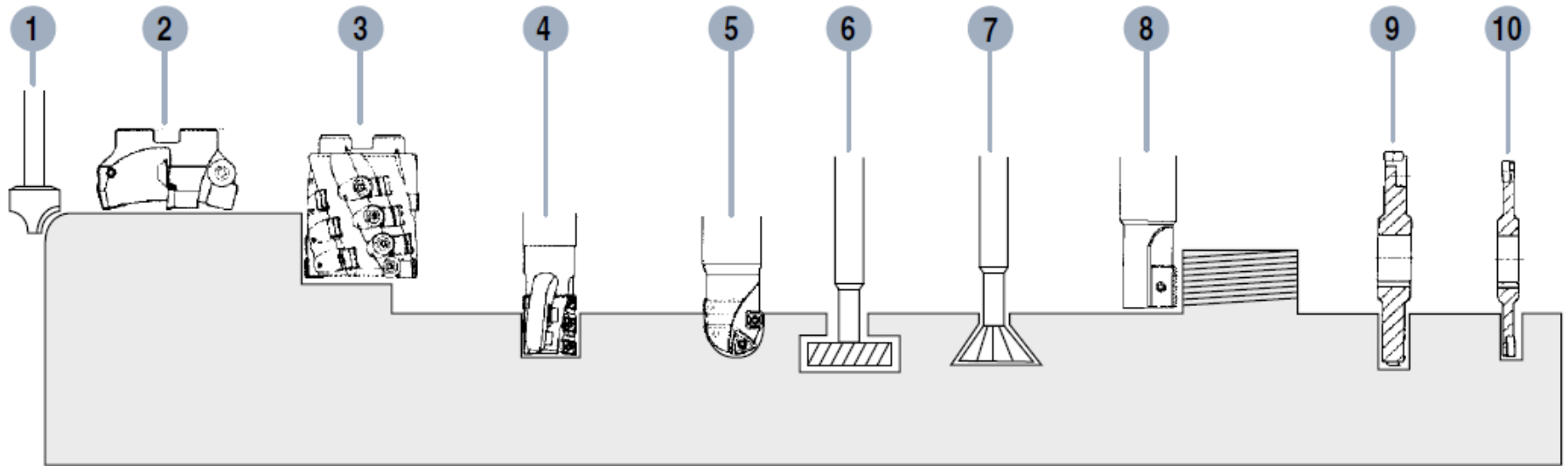
Fraise 1 taille  
Rainures de clavette

# 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.





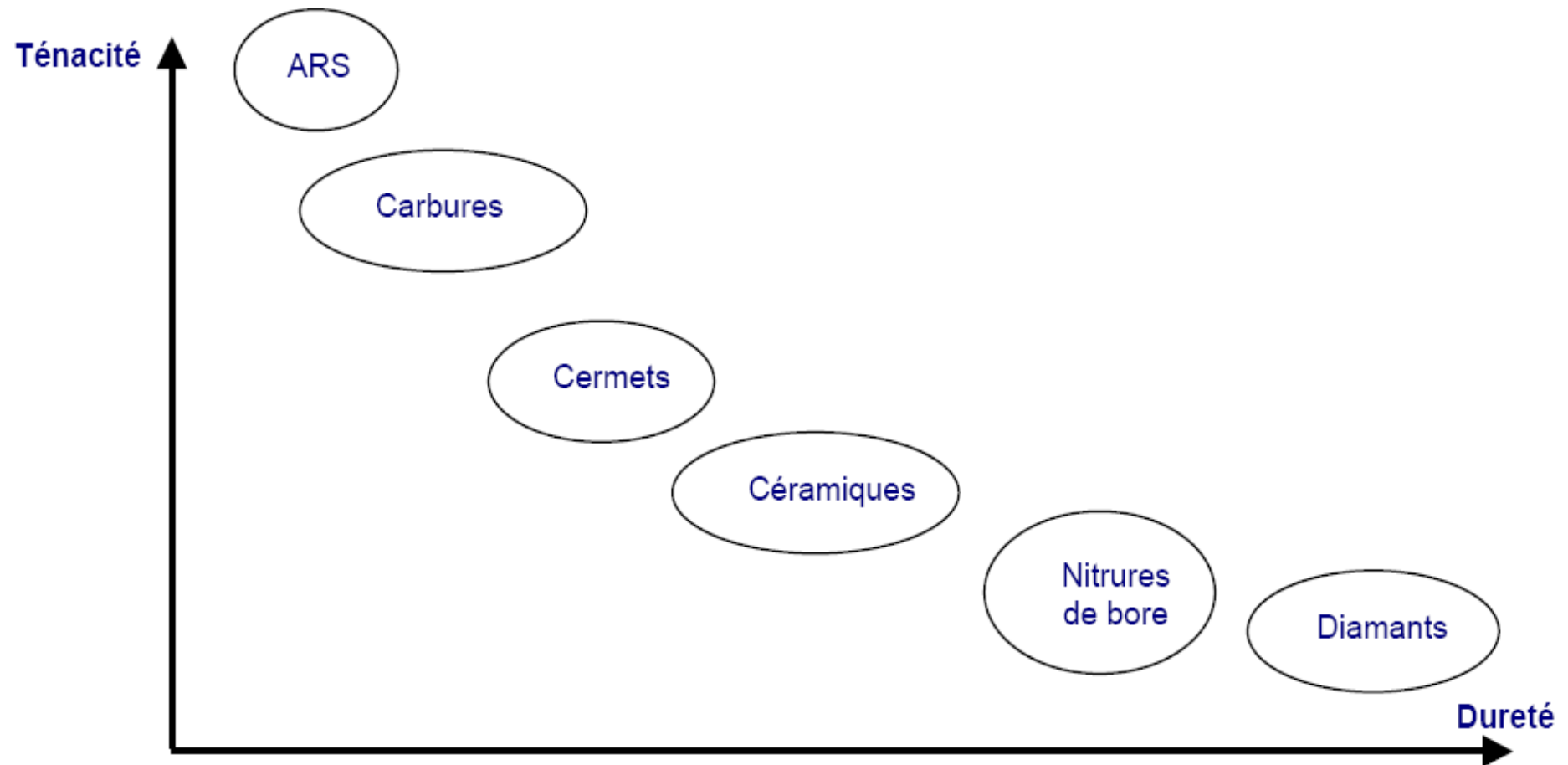
1. Fraise à arrondir les coins
2. Fraise à surfacer
3. Fraise à surfacer et à dresser
4. Fraise en bout à rainurer
5. Fraise à rayon

6. Fraise en T
7. Fraise pour queues d'aronde
8. Outil à tailler des filets sur fraiseuse
9. Fraise trois tailles
10. Fraise-scie





### III. LES MATÉRIAUX DES OUTILS





## 1. ARS

Les outils ARS (Acier Rapides Supérieurs) sont élaborés à partir d'un acier faiblement allié subissant un traitement thermique TTR. Il est toujours utilisé pour certains types d'outils comme les forets, ou les outils nécessitant un angle tranchant très faible.

Ils ne permettent pas une vitesse de coupe élevée car un échauffement trop important élimine la trempe de l'outil, et crée donc un effondrement rapide de l'arête de coupe.

## 2. Carbures

Les outils carbures sont les plus utilisés actuellement. Il en existe de toutes formes pour chaque type de matériau et pour chaque type d'usinage. Ils se présentent sous la forme d'une plaquette que l'on vient fixer sur un porte outil. Le remplacement de la plaquette est donc très rapide.

Ils sont souvent revêtus d'un carbure plus dur. On obtient ainsi une plaquette dont le noyau est tenace et dont la surface extérieure est très dure.

## 1. ARS

- Fabrication : par coulée en coquille ou par métallurgie des poudres
- Composition : 0,7 % de Carbone minimum, 4 % de Chrome environ , Tungstène, Molibdène, Vanadium Cobalt pour les plus durs.
- Dureté : de 63 à 66 Hrc

## 2. Carbures

- Fabrication : par frittage de poudre, puis revêtement
- Composition : Noyau en carbure de tungstène ( $T^{\circ}$  de fusion  $2600^{\circ}$ ) Ou en carbure de titane ( $3100^{\circ}$ ), ou tantale ( $3780^{\circ}$ ) ou niobium ( $3500^{\circ}$ )
- Liant : cobalt : le plus courant ou nickel.
- Revêtement en oxyde d'aluminium (céramique appelée corindon :  $Al_2O_3$ )

### 3. Cermets

Ce nom vient de céramique-métal car il représente les carbures ayant des particules de Titane, de carbonitrure de Titane ou de nitrure de Titane.

Ces outils doivent être alliés à du carbure de Molybdène pour augmenter leur ténacité.

Ils sont utilisés pour des grandes vitesses de coupe associées à de faibles avances, donc pour de la finition.

Le matériau étant fragile, il ne faut pas d'interruption de coupe (plan de joint...).

### 4. Céramiques

Ce sont, pour les outils de coupe, les oxydes et les nitrures : oxyde d'aluminium et nitrure de silicium.

Les céramiques ont une grande dureté (donc une faible ténacité) avec une grande stabilité à haute température et aucune réaction avec la matière usinée.

Les céramiques permettent un grand débit de matière, mais nécessitent une grande stabilité de la machine, un strict respect des conditions de coupe et une méthode d'usinage adaptée (approche de l'outil).



# V. CONDITIONS DE COUPE

## 1. Les paramètres de coupe

### a. La vitesse de broche ( $n$ en tr /min) (ou Fréquence de rotation)

est le nombre de tours que l'outil de fraisage, monté sur la broche de la machine-outil, effectue par minute. Il s'agit là d'une valeur dépendant de la machine, qui ne renseigne guère sur ce qui se passe à la périphérie où l'arête de coupe fait son office.

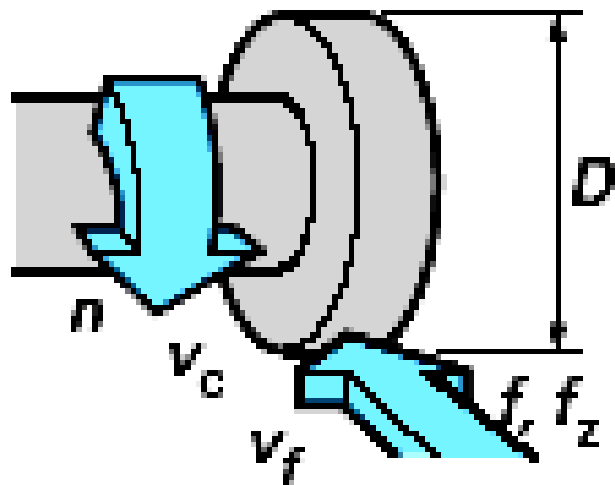
### b. La vitesse de coupe ( $V_c$ en m/min)

indique pour sa part la vitesse à laquelle l'**arête** de coupe travaille la surface de la pièce. C'est un important paramètre de l'outil, qui fait partie intégrante des conditions de coupe avec, pour fonction, de garantir que l'opération est effectuée dans les meilleures conditions d'efficacité par l'outil concerné.

$$n = \frac{V_c \times 1\,000}{\pi D}$$

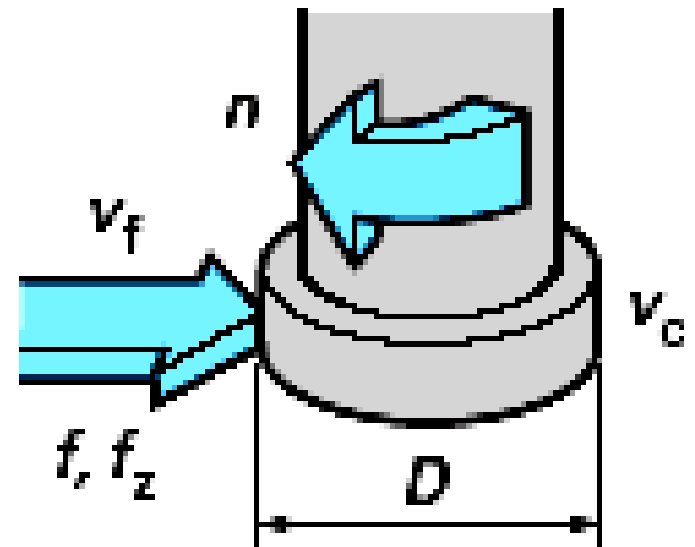
$$V_c = \frac{\pi D n}{1\,000}$$

Avec : **D** - diamètre de l'outil de fraisage (mm),  
**n** -vitesse de broche (tr/min), (Fréquence de rotation)  
**vc** -vitesse de coupe (m/min).



$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D}$$

**(a) vitesse de broche  $n$**



$$v_c = \frac{\pi \times D \times n}{1000}$$

**(b) vitesse de coupe  $v_c$**

## V. CONDITIONS DE COUPE

### 1. Les paramètres de coupe

#### c. L'avance par minute ou vitesse d'avance ( $V_f$ en mm/min) (figure c)

est l'avance de l'outil en direction de la pièce, exprimée en unités de distance par unité de temps. On parle également ici d'avance de table.

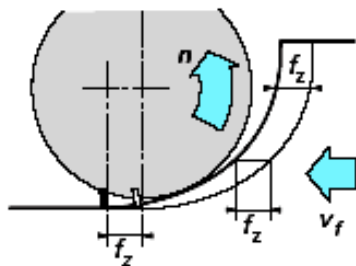
#### d. L'avance par tour ( $f$ en mm/tr) (figure c)

est une valeur spécialement utilisée pour calculer l'avance et déterminer l'aptitude d'une fraise à surfacer à travailler en finition. Elle indique de combien l'outil avance au cours d'une rotation.

#### e. L'avance par dent ( $f_z$ en mm/dent) (figure c)

est un important paramètre en fraisage. La fraise étant un outil à arêtes multiples, il faut en effet disposer d'un moyen de mesure pour contrôler que chacune de ces arêtes travaille dans des conditions satisfaisantes. La capacité d'enlèvement de matière de chaque dent est l'élément limitatif au niveau des performances de l'outil. L'avance par dent indique la distance linéaire parcourue par l'outil alors qu'une certaine dent est engagée.

L'avance par dent représente aussi la distance couverte entre la pénétration de deux dents successives dans la pièce. Elle peut donc être exprimée en fonction du nombre d'arêtes de l'outil ( $z$ ) et de l'avance par minute, ou sous forme d'avance par tour.

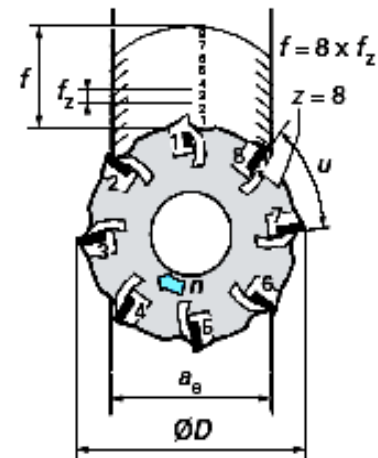


$$f_z = \frac{v_f}{n \times z} \quad f = \frac{v_f}{n}$$

Ⓒ avances

## vitesse d'avance

- $n$  vitesse de broche (tr/min)
- $v_c$  vitesse de coupe (m/min)
- $D$  diamètre de l'outil (m)
- $v_f$  avance par minute (mm/min)
- $f$  avance par tour (mm/tr)
- $f_z$  avance par dent (mm/dent)



- $z$  nombre d'arêtes de l'outil
- $f$  avance par tour (mm/tr)
- $f_z$  avance par dent (mm/dent)
- $a_\theta$  largeur de coupe (mm)
- $u$  pas de la fraise

$f_z$  est un facteur capital en fraisage, décisif pour le taux d'enlèvement de métal par arête, la charge par arête, la durée de vie et, dans une certaine mesure, la structure de surface.

## Avance par dent et avance par tour



## 1. Les paramètres de coupe

### **f. La profondeur de coupe, axiale ( $a_p$ ) en surfacage ou radiale ( $a_e$ )**

pour le fraisage d'épaulements, correspond à l'épaisseur de matière enlevée par l'outil. C'est la distance à laquelle l'outil est réglé au-dessous de la surface initiale de la pièce.

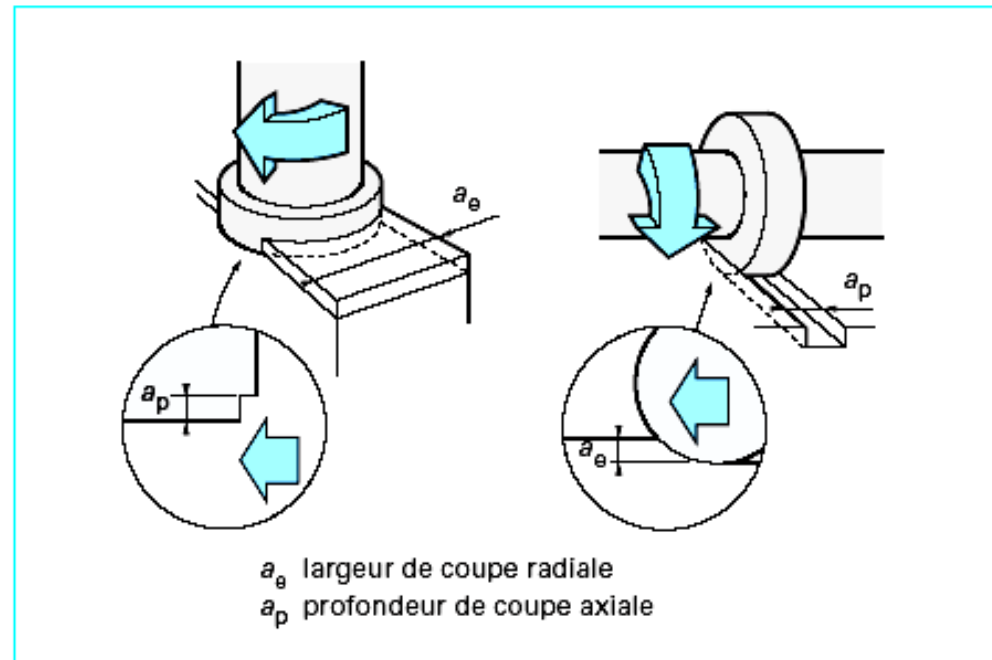
### **g. La largeur de coupe ou profondeur de coupe radiale ( $a_e$ ) en surfacage et axiale ( $a_p$ )**

pour le fraisage d'épaulements, est la distance parcourue par l'outil sur la surface de la pièce (figure 5).

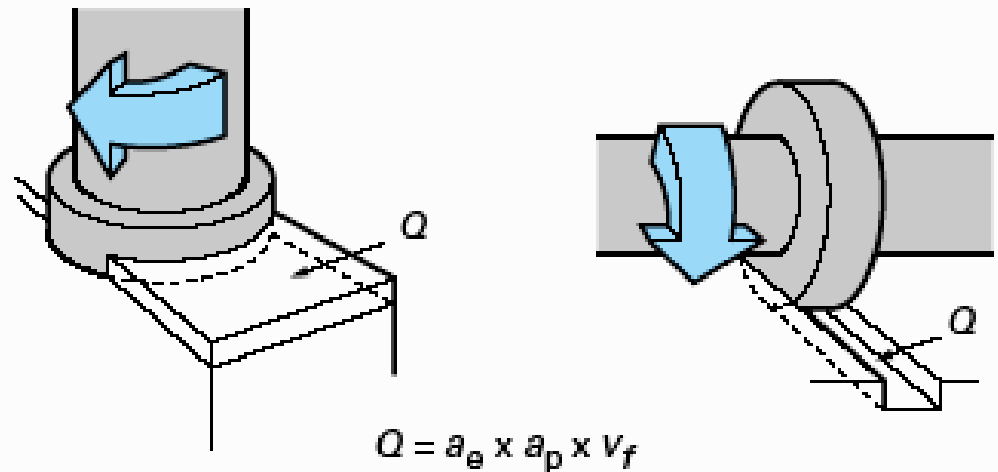
### **h. Le volume de matière enlevée par unité de temps (Q):**

peut être déterminé en utilisant certaines de ces définitions. Ce volume correspond à la profondeur de coupe multipliée par la largeur de coupe, multipliées par la distance dont l'outil se déplace au cours de l'unité de temps concernée. Le volume d'enlèvement de matière est exprimé en millimètres cubes par minute (figure 6).

## Profondeur de coupe en surfacage ( $a_e$ ) et en fraisage d'épaulement ( $a_p$ )



## Volume de métal enlevé par unité de temps



## Tournage

symbole	Désignation	Unité	Calcul
$V_c$	La vitesse de coupe	m/min	Imposé par le fabricant d'outil
$N$	la vitesse de broche	trs/min	$V_c = \frac{\pi DN}{1000}$
$f$	l'avance par tour	mm/trs	Fonction de la rugosité désirée, du copeaux mini
$a$	la profondeur de passe radiale	mm	1/3 de la largeur de la plaquette maxi. Fonction du diagramme brise copeaux
$h_m$	Epaisseur moyenne du copeaux	mm	
$D$	Diamètre usiné		
$T$	le temps de coupe	min	$T = \frac{l}{fN}$

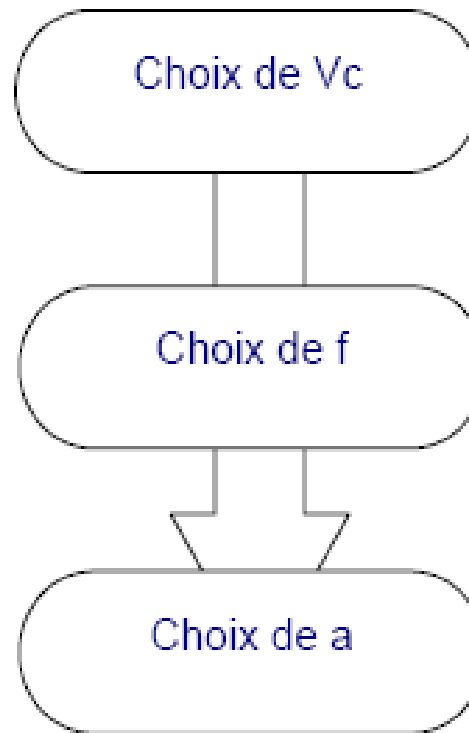
## Fraisage

symbole	Désignation	Unité	Calcul
$V_c$	La vitesse de coupe	m/min	Imposé par le fabricant d'outil
$V_f$	Vitesse d'avance pour le fraisage	mm/min	$V_f = f * n * N$
$N$	la vitesse de broche	trs/min	$V_c = \frac{\pi D N}{1000}$
$f$	l'avance par dent	mm/dents	Fonction de la rugosité désirée, du copeau mini
$n$	Nombre de dents sur la fraise		
$a$	la profondeur de passe radiale	mm	1/3 de la largeur de la plaquette maxi. Fonction du diagramme brise copeaux
$h_m$	Epaisseur moyenne du copeaux	mm	
$D$	Diamètre usiné		
$t_c$	le temps de coupe	min	$T = \frac{l}{f n N}$

## 2. Choix des paramètres de coupe

Lorsque l'on fait un usinage unitaire, il n'est pas nécessaire d'optimiser les conditions de coupe.

On se contente alors de choisir les conditions pour que l'usinage se passe bien. Lors que l'on fait une série de pièces, il devient intéressant d'essayer d'optimiser un des paramètres (voir chapitres suivants).



### 3. Influence des conditions de coupe sur la rugosité

L'état de surface dépend de:

- La combinaison : avance-rayon de bec.
- La stabilité de la machine, vibration, variation thermique
- La qualité de la coupe : présence de lubrifiant, d'une arête rapportée...

#### *Règles générales*

*On peut améliorer l'état de surface par des choix de vitesses de coupe plus élevées et par des angles de coupe positifs*

*En cas de risque de vibration, choisir un rayon de bec plus petit.*

*Les nuances revêtues donnent de meilleurs états de surface que les non revêtus.*

## DÉTERMINER LES PARAMÈTRES DE COUPE

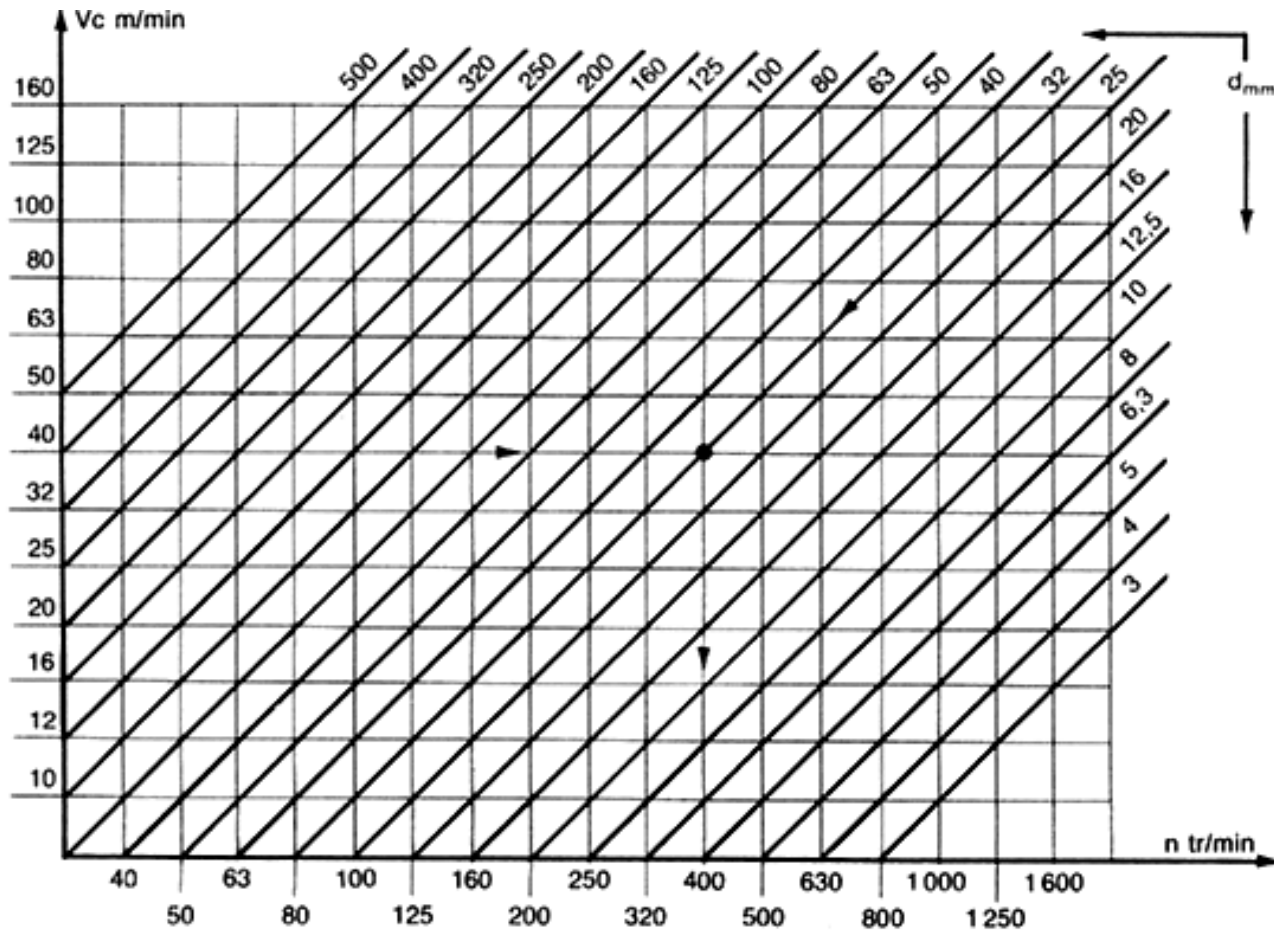




Tableau des valeurs recommandées pour  $V_c$  et  $f_z$ .

Fraisage de face	Outil A.R.S.			Outil carbure	
Matériaux usinés	$V_c$		$f_z$	$V_c$	$f_z$
	Ébrouche	Finition			
Aciers $R_m \leq 70$ hbar	22	26	0,15	90	0,2
Aciers $R_m$ de 70 à 100 hbar	18	22	0,12	70	0,2
Aciers $R_m$ de 100 à 120 hbar	16	20	0,1	60	0,15
Fonte Ft 20	22	26	0,15	70	0,25
Fonte GS	16	20	0,12	60	0,2
Laiton	60	80	0,1	220	0,3
Bronze	40	55	0,1	180	0,2
Alliages d'aluminium	100	140	0,1	250	0,2

## Tableau des valeurs recommandées pour Vc et fz.

### TOURNAGE (Attention : pour les gorges et le tronçonnage : prendre 50% des valeurs de tournage ci dessous)

Matières	Rr MPa	Outil ARS						Outil Carbure					
		$\gamma$	Ebauche			Finition		$\gamma$	Ebauche			Finition	
			V60 m/min	a max mm	f mm/tr	V60 m/min	f mm/tr		V60 m/min	a max mm	f mm/tr	V60 m/min	f mm/tr
Acier S235	500	18°	30	2	0.1	45	>0.04	14°	150	2	0.2	250	>0.10
Acier INOX	500	14°	27	2	0.1	32	>0.04	6°	105	2	0.2	115	>0.10
Acier 35CD4	1100	10°	20	2	0.1	28	>0.04	0°	100	2	0.2	160	>0.10
PVC	60	15°	90	4	0.3	150	>0.10	8°	100	4	0.3	150	>0.20
Nylon PA6	80	15°	90	2	0.2	120	>0.05	5°	100	2	0.35	180	>0.12
Plexi PMMA	78	15°	75	2	0.2	90	>0.10	10°	100	2	0.25	150	>0.12
Laiton UZ30	400	10°	70	1	0.3	110	>0.02	20°	200	2	0.3	230	>0.10
BronzeUE12P	200	10°	32	2	0.2	43	>0.02	20°	90	2	0.3	120	>0.10
Dural AU4G	280	22°	200	2	0.3	250	>0.02	25°	400	3	0.4	500	>0.10

### FRAISAGE EN BOUT (surfaçage)

Matières	Rr MPa	Fraises ARS						Plaquettes Carbure					
		$\gamma$	Ebauche			Finition		$\gamma$	Ebauche			Finition	
			V60 m/min	a max mm	fz mm/(tr.d)	V60 m/min	fz mm/(tr.d)		V60 m/min	a mm	fz mm/(tr.d)	V60 m/min	fz mm/(tr.d)
Acier S235	500	20°	29	2	0.11	40	>0.06	20°	100	2	0.2	120	>0.07
Acier INOX	500	20°	18	2	0.08	22	>0.05	15°	72	2	0.15	92	>0.07
Acier 35CD4	1100	12°	20	2	0.06	25	>0.04	12°	80	2	0.12	90	>0.07
PVC	60	20°	200	4	0.2	300	>0.50	20°	800	4	0.3	1000	>0.07
Nylon PA6	80	20°	100	2	0.15	200	>0.20	20°	400	2	0.35	500	>0.07
Plexi PMMA	78	0°	60	2	0.15	80	>0.20						
Laiton UZ30	400		72	1	0.09	95	>0.07		130	2	0.5	180	>0.16
BronzeUE12P	200		23	1	0.07	31	>0.06		60	2	0.2	82	>0.16



## Tableau des valeurs recommandées pour Vc et fz.

### FRAISAGE EN ROULANT (rainurage, combiné...)

Matières	Rr MPa	Fraises A.R.S. ( $\varnothing > 20$ )						Fraises A.R.S. ( $\varnothing < 20$ )					
		$\gamma$	Ebauche			Finition		$\gamma$	Ebauche			Finition	
			V60 m/min	a maxi mm	fz mm/(tr.d)	V60 m/min	fz mm/(tr.d)		V60 m/min	a maxi mm	fz mm/(tr.d)	V60 m/min	fz mm/(tr.d)
Acier S235	500	20°	25	2	0.08	32	>0.05	20°	19	2	0.03	22	>0.03
Acier INOX	500	20°	24	2	0.06	28	>0.04	20°	16	2	0.03	18	>0.03
Acier 35CD4	1100	20°	18	2	0.04	24	>0.03	12°	16	2	0.03	20	>0.03
Laiton UZ30	400	10	72	2	0.16	90	>0.03		41	3	0.01	46	>0.01
BronzeUE12P	200	10	30	2	0.18	35	>0.03		18	3	0.01	22	>0.01
Dural AU4G	280	20°	240	2	0.07	270	>0.06	20°	95	5	0.05	105	>0.03

### PERÇAGE, ALÉSAGE

Matières	Rr MPa	Forets et alésoirs ARS									Tarauds A.R.S.	
		γ	Perçage			Ø < 10	Ø > 10	Alésage			V60 m/min	Lubrifiant
			V60 m/min	angle pointe	angle hélice	f mm/tr	f mm/tr	V60 m/min	a mm	f mm/tr		
Acier S235	500	25°	25	135°	30°	0.025Φ	>0.05	12.5	>0.20	0.3	12	Huile de coupe
Acier INOX	500	25°	20	120°	30°	0.02Φ	>0.04	8	>0.20	0.15	6	Huile soluble
Acier 35CD4	1100	25°	22	120°	30°	0.012Φ	>0.03	9	>0.20	0.17	10	Huile de coupe
PVC	60		60	135°	30°	0.02Φ		non	non	non	15	Air comprimé
Nylon PA6	80	0°	30	100°	30°	0.02Φ		non	non	non	15	Air comprimé
Plexi PMMA	78	0°	40	140°	30°	0.02Φ		non	non	non	10	Air comprimé
Laiton UZ30	400	18°	45	120°	15°	0.03Φ	>0.03	30	>0.20	0.4	13	a sec
BronzeUE12P	200	10°	20	120°	30°	0.037Φ	>0.03	12	>0.20	0.9	7	Huile de coupe
Dural AU4G	280	35°	65	140°	30°	0.032Φ	>0.06	30	>0.20	0.4	18	Pétrole

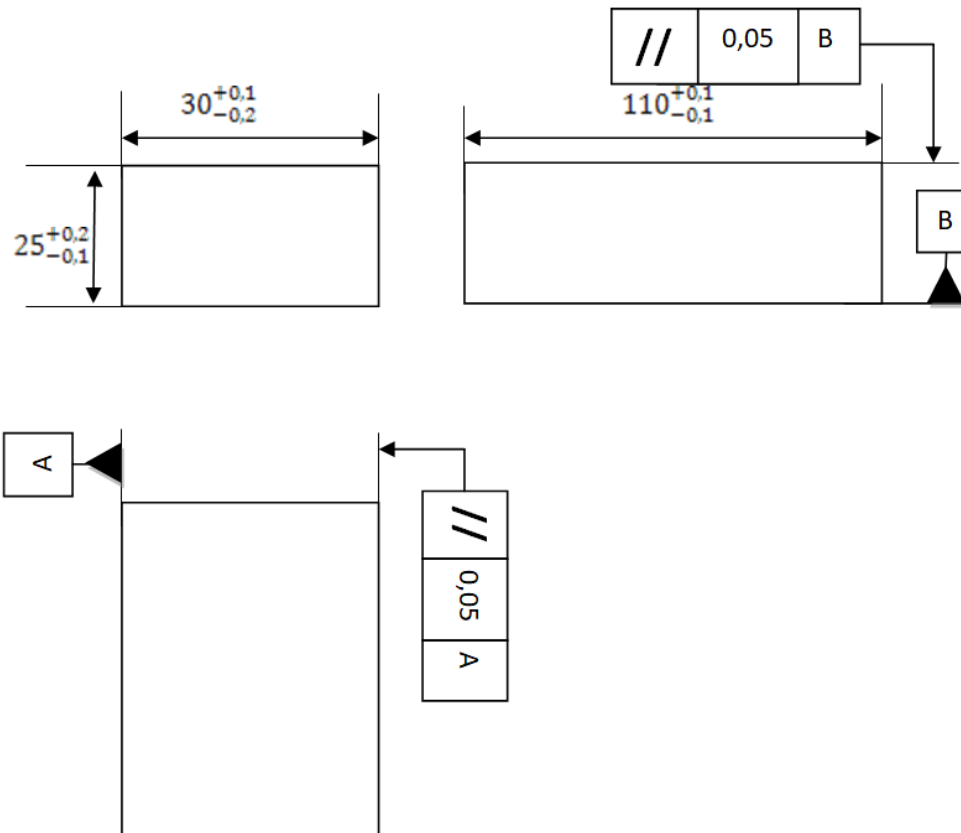


## Exercice 1

-Brut : Fer-carrée de dimensions 40mmx40mmx150mm, en acier : 35CD4,

-Outils : Fraise à carbure à surfacer,

-Machine : Fraiseuse conventionnelle (Préparée avec Etau Dégauchi),

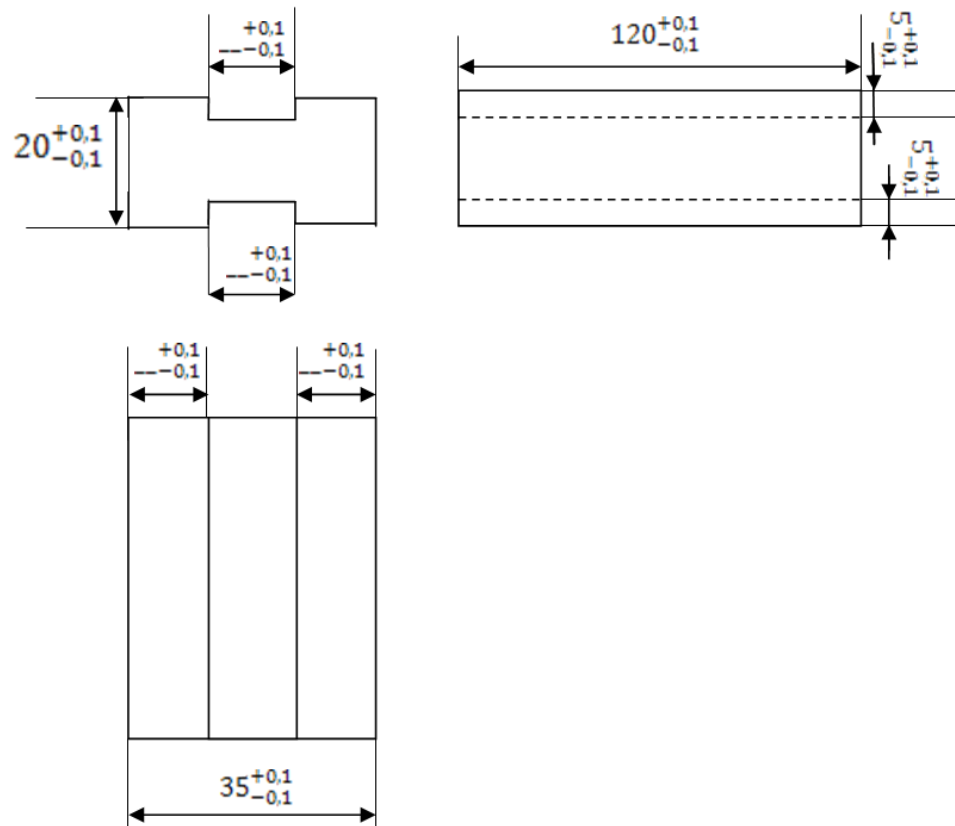


## Exercice 2

-Brut : Fer-carrée Pré-usiné, de dimensions 20mmx35mmx120mm, en acier : 35CD4,

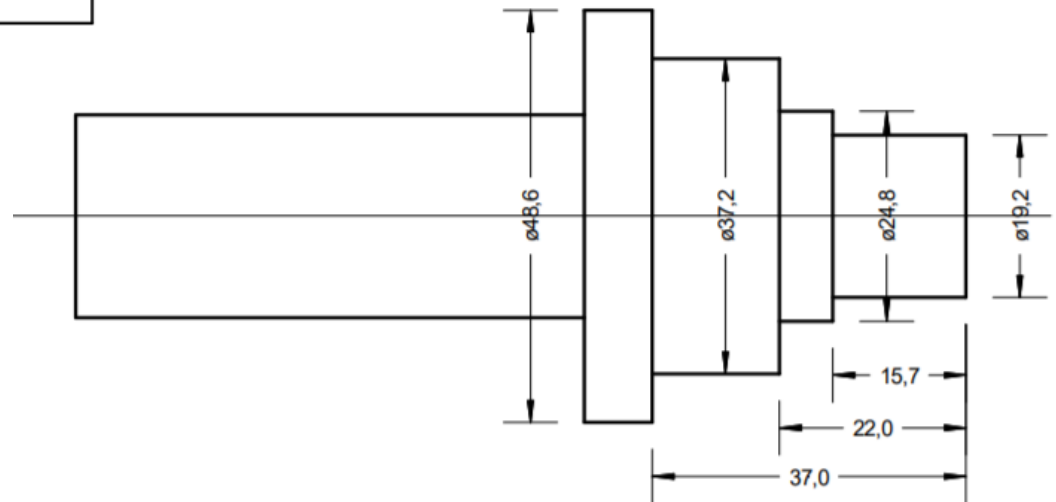
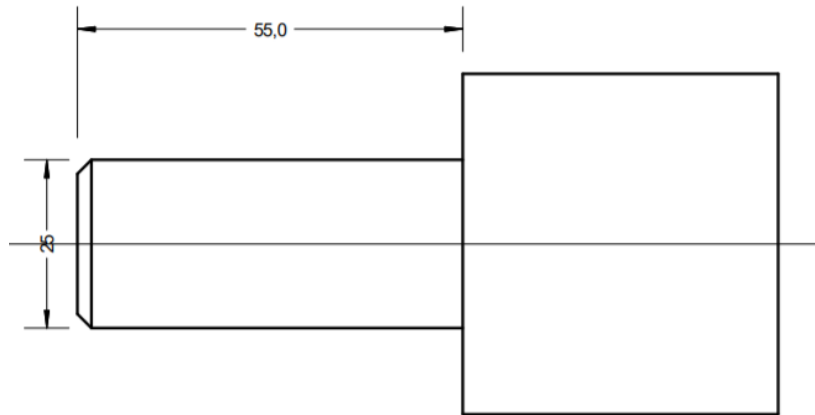
-Outils : Fraise ARS à Rainurer,

-Machine : Fraiseuse conventionnelle (Préparée avec Etau Dégauchi),



## Exercice 3

- Brut : Fer-carrée Pré-usiné, de dimensions ....en acier : 35CD4,
- Outils : Outil coteau
- Machine : Tour //



## PARTIE 3: ISOSTATISME

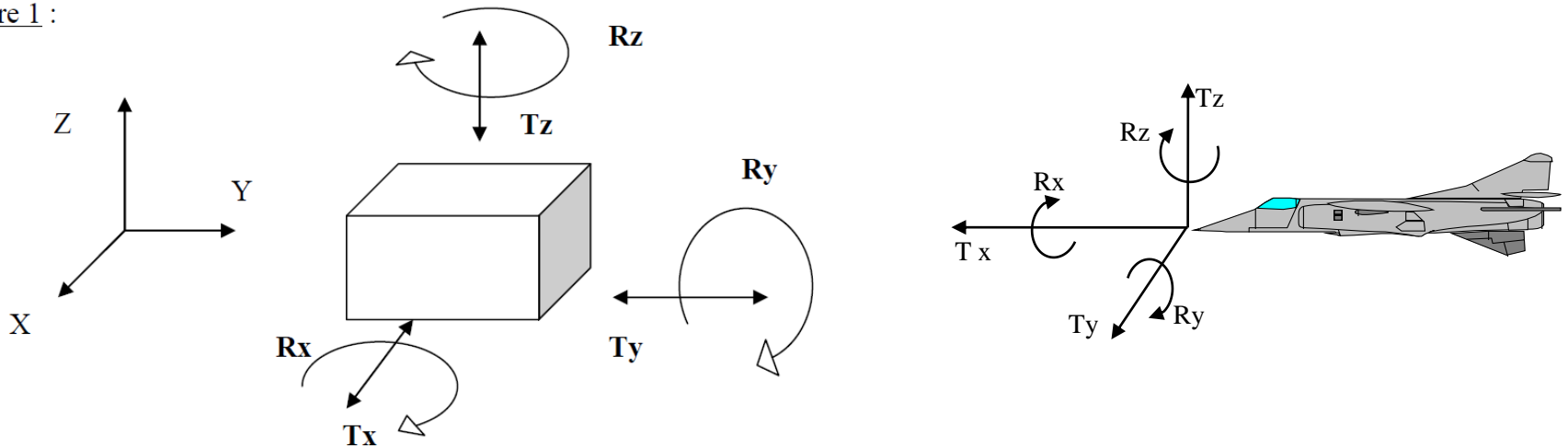
### 1) Degrés de liberté

Dans l'espace, un solide possède 6 degrés de liberté.

Si l'on associe un repère orthonormé direct  $(o,x,y,z)$  à l'espace, les 6 degrés de liberté du solide sont :

- 3 translations suivant  $x, y, z$  notées :  $T_x, T_y$  et  $T_z$ .
- 3 rotations autour de  $x, y, z$  notées :  $R_x, R_y$  et  $R_z$ .

Figure 1 :





Lors de l'usinage, la pièce doit-être complètement **immobilisée** , c'est-à-dire que chaque degré de liberté doit être supprimé par rapport au porte-pièce.

**L'immobilisation de la pièce est faite en 2 temps :**

- **Un positionnement supprimant chaque degré de liberté dans 1 seul sens.**
- **Un maintien de mise en position (appelé bridage ou ablocage) pour que la pièce garde sa position sous l'effet des efforts de coupe.**

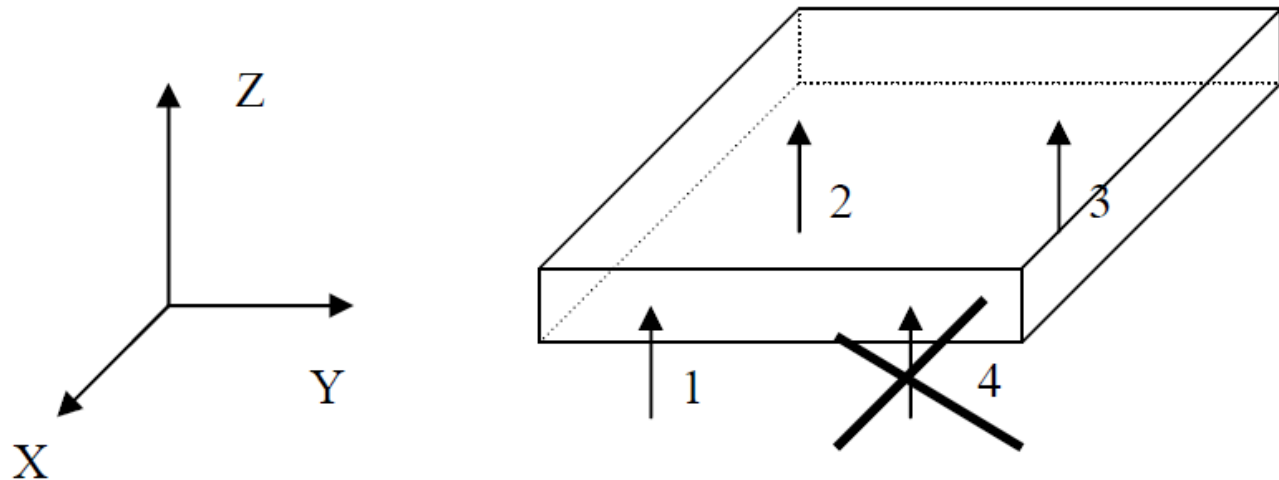
Remarque :

Il ne faut pas confondre : la mise en position (qui correspond à l'isostatisme)  
et le maintien de la pièce par un serrage.

## 2) Isostatisme

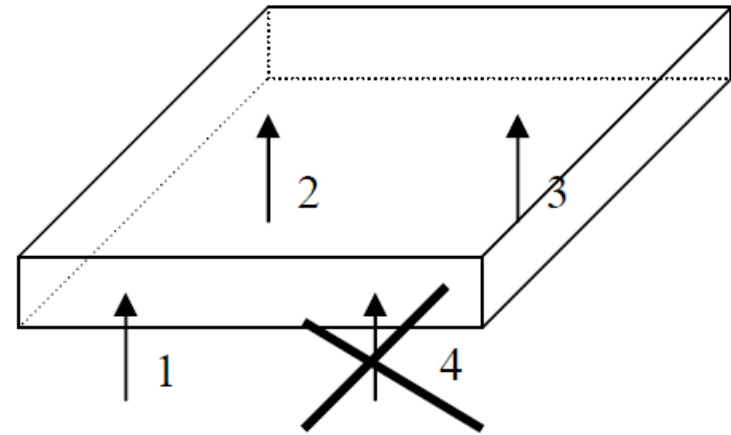
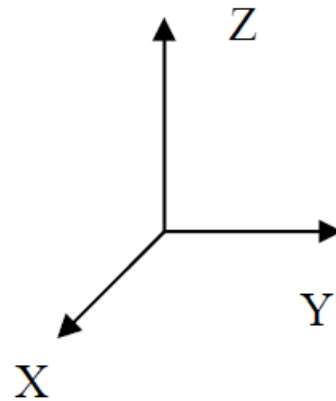
Sur la figure 2, chaque flèche (1, 2, 3 et 4) représente un appui ponctuel perpendiculaire à la surface. Le contact entre l'appui et la pièce est supposé sans frottement.

Figure 2 :



## 2) Isostatisme

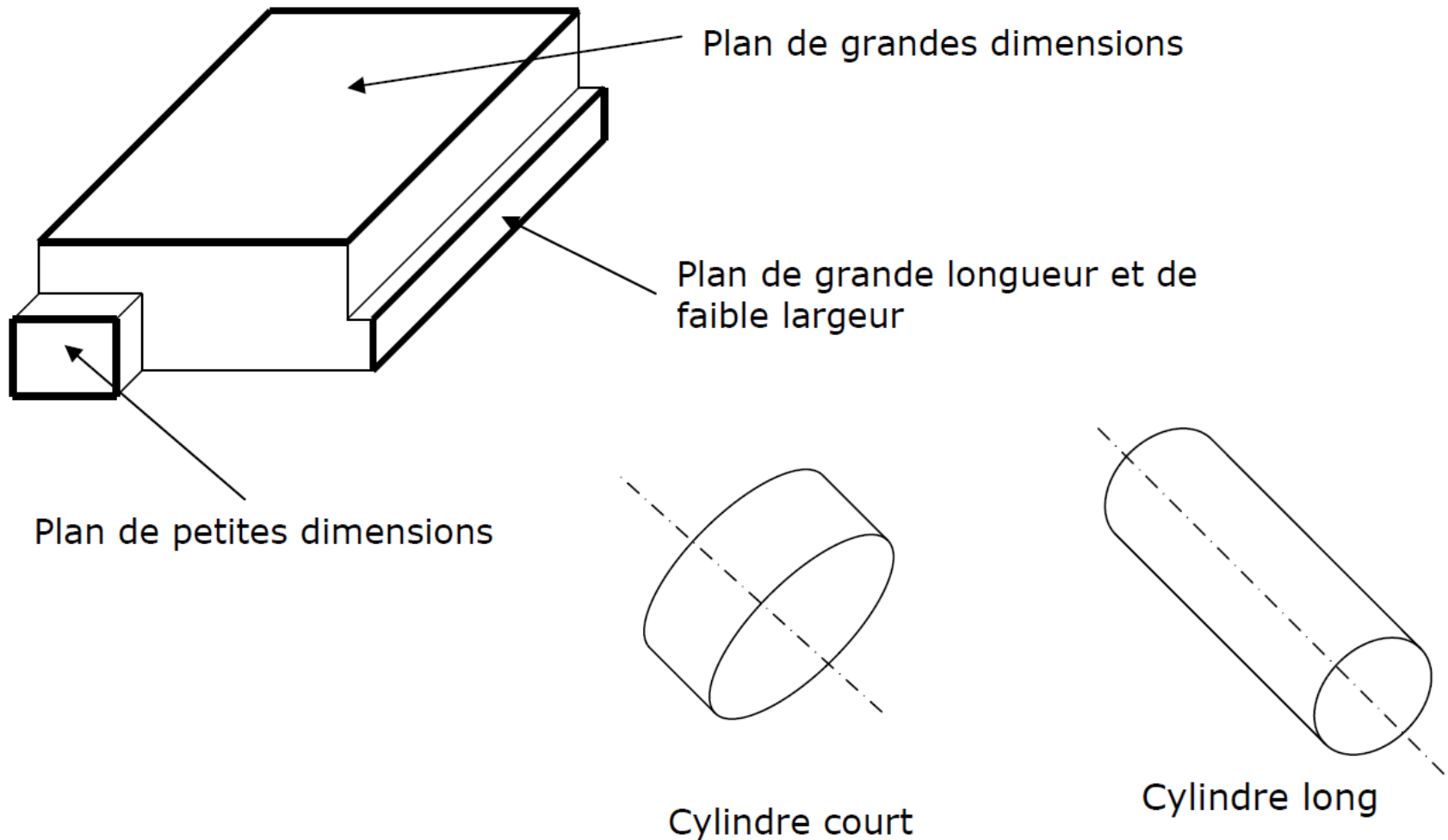
Figure 2 :



- Avec (le 1), on supprime un seul degré de liberté :  **$T_z$** .
- Avec (1 et 2), on supprime 2 degrés de liberté :  **$T_z$  et  $R_y$** .
- Avec (1, 2 et 3), on supprime 3 degrés de libertés :  **$T_z$ ,  $R_y$  et  $R_x$** .
- Si on ajoute un quatrième appui (4), on ne supprime pas de degré de liberté supplémentaire puisque cet appui ne s'oppose ni à  $T_x$ , ni à  $T_y$ , ni à  $R_z$ .
  - **Il y a incertitude sur sa position.**
- On dit alors que la mise en position de la pièce est hyperstatique.

### 3) Liaisons utilisables

Nombre de degrés de liberté pouvant être supprimés par type de surface ?

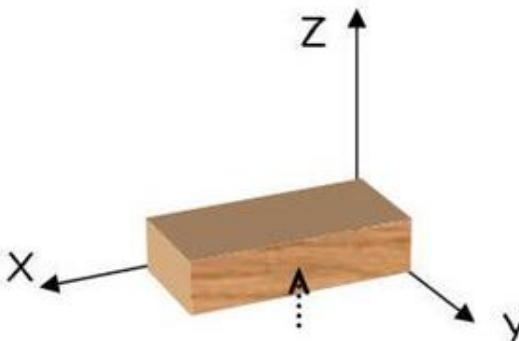
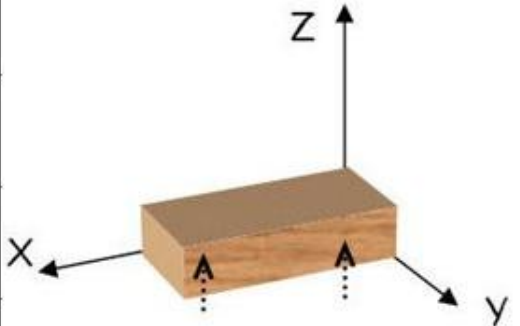
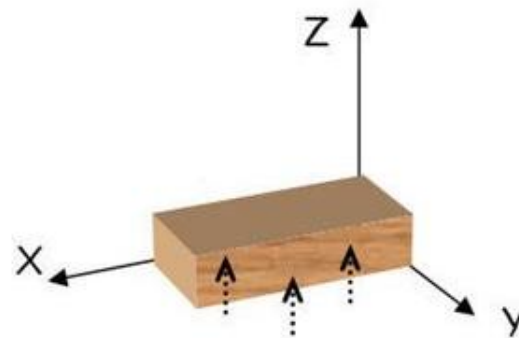
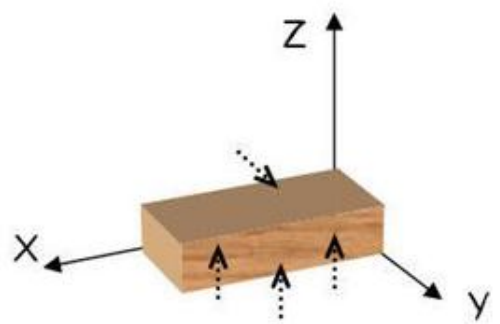


### 3) Liaisons utilisables

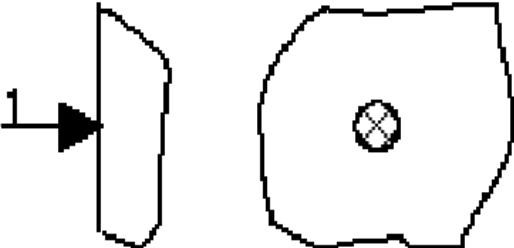
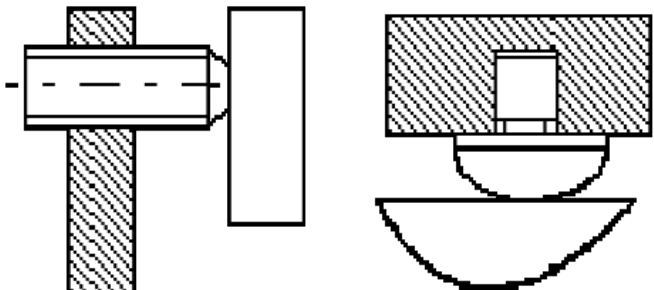
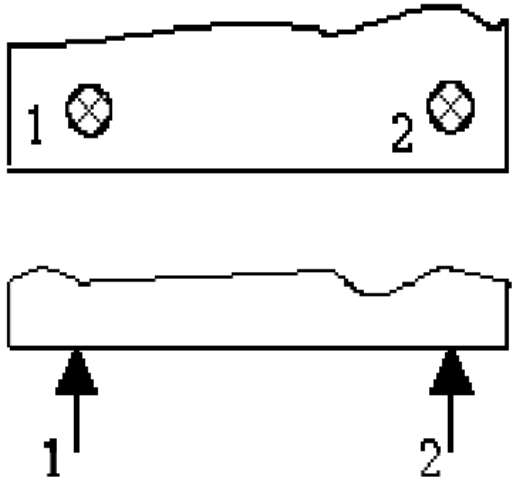

**Nombre de degrés de liberté pouvant être supprimés par type de surface :**

Plans de petites dimensions	1	1T
Plans de grande longueur et faible largeur	2	1T et 1R
Plans de grandes dimensions	3	1T et 2R
Cylindres longs ( $l/d > 0,7$ )	4	2T et 2R
Cylindres courts ( $l/d < 0,3$ )	2	2T
Sphère	3	3T

### 3) Liaisons utilisables

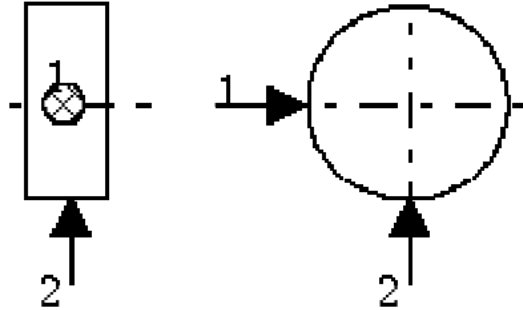
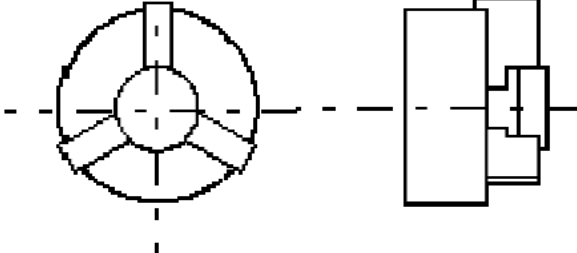
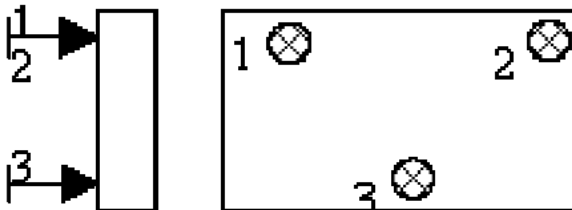
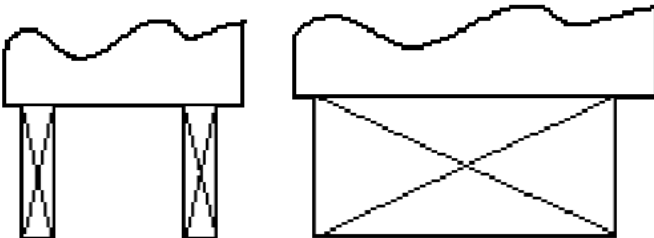
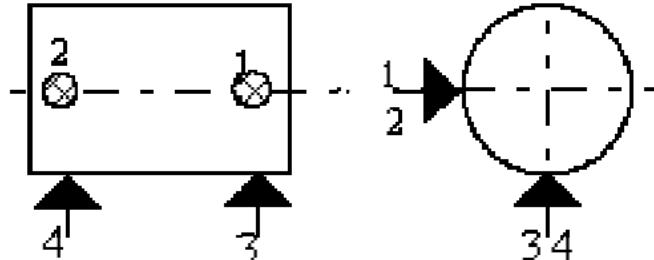
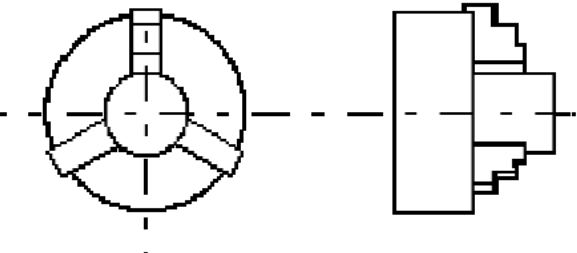
1 point d'appui				2 points d'appuis			
	T	R			T	R	
OX	1	1		OX	1	1	
OY	1	1		OY	1	0	
OZ	0	1		OZ	0	1	
3 points d'appuis non alignés : PLAN				4 points d'appuis : PLAN + 1			
	T	R			T	R	
OX	1	0		OX	1	0	
OY	1	0		OY	0	0	
OZ	0	1		OZ	0	1	

### 3) Liaisons utilisables

Nom	Représentation	Exemples
<p>Appui ponctuel :</p> <p>élimine 1 degré de liberté</p>		
<p>Liaison linéaire rectiligne :</p> <p>élimine 2 degrés de liberté</p>		



### 3) Liaisons utilisables

<p>Liaison linéaire annulaire :</p> <p>élimine 2 degrés de liberté</p>		 <p><math>L &lt; 0.8</math></p>
<p>Appui</p> <p>élimine 3 degrés de liberté</p>		
<p>Liaison pivot Glissant</p> <p>élimine 4 degrés de liberté</p>		

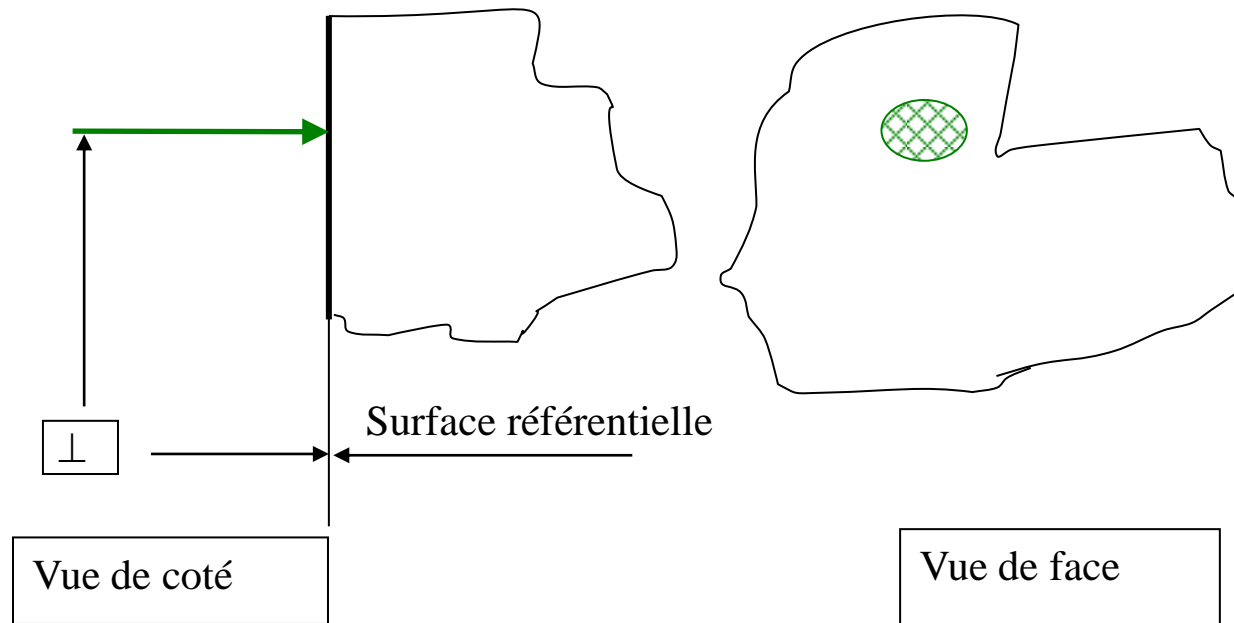


## 4) Principales règles d'utilisations

### 1. Symbole de base

Chaque contact est représenté par un vecteur normal (perpendiculaire) à la surface référentielle considérée. On appelle ce vecteur normale de repérage.

Chaque normale de repérage élimine 1 degré de liberté.

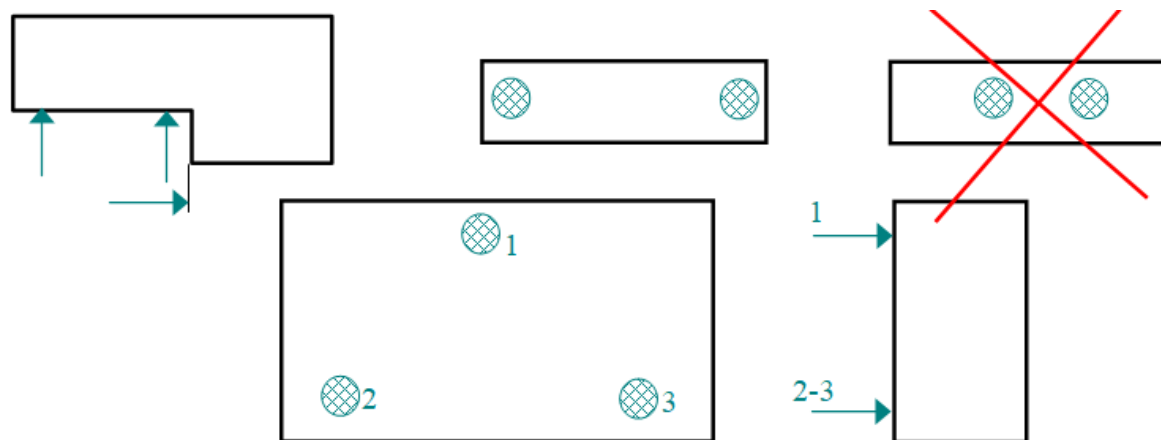


## 4) Principales règles d'utilisations

### 2. Représentation

Les normales de repérages sont installées :

- **Du côté libre de la matière**, directement sur la surface du référentiel et éventuellement sur une ligne de rappel en cas de manque de place.
- **Eloignées** au maximum pour une meilleure stabilité ( voir schéma ci-dessus).
- Sur les vues où leurs positions **facilitent leur compréhension**.
- **Affectées** d'un indice numérique de 1 à 6.



## 4) Principales règles d'utilisations

### 3. Règle d'isostatisme

- a. Placer les appuis sur les surfaces d'où partent les cotes (on appelle ces surfaces : surfaces de références).
- c. Placer, chaque fois que cela est possible, le maximum d'appuis sur la plus grande surface de référence.
- d. Ne jamais opposer deux appuis sinon le positionnement est hyperstatique.
- e. Chaque fois que cela est possible, placer le plus grands nombres d'appuis opposés à l'effort de coupe.

## 4) Principales règles d'utilisations

### 3. Règle d'isostatisme

On cherche à placer la liaison qui supprime le plus grand nombre de degré de liberté sur la plus grande surface.

Les degrés de liberté ne sont supprimés qu'une seule fois. On ne peut donc pas mettre en place un isostatisme avec 3 liaisons appui plan, cela enlèverait  $3 \times 3 = 9$  degrés de liberté sur un total de 6 maximum.

**A retenir:**

**6 normales de repérages (ou normales de mise en position) pour les pièce prismatiques :**

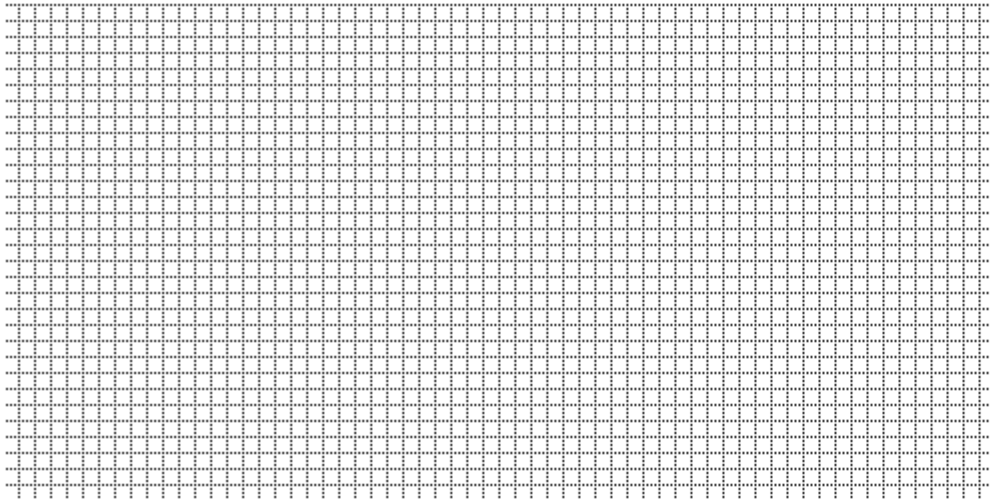
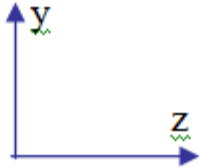
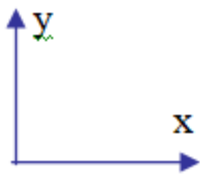
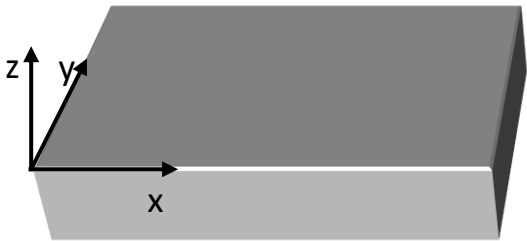
**( appui plan, appui linéaire, appui ponctuel).**

**5 normales de mise en position pour les pièces cylindriques :**

**( centrage long et appui ponctuel ou centrage court et appui plan).**

# Exemples de mise en position.

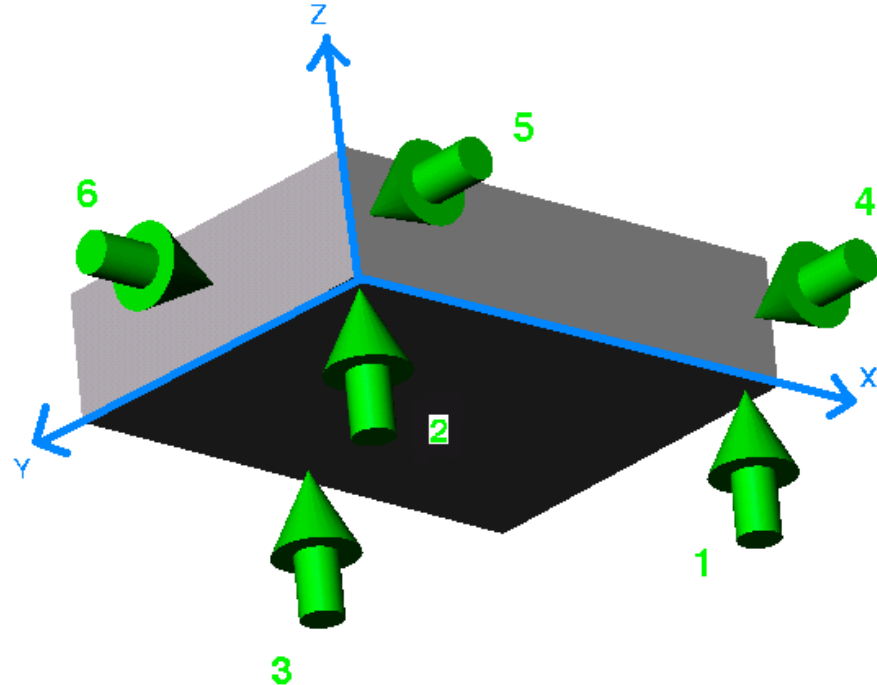
## Exemple I



pts	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz

# Mise en place des normales de repérage.

## Sur un parallélépipède

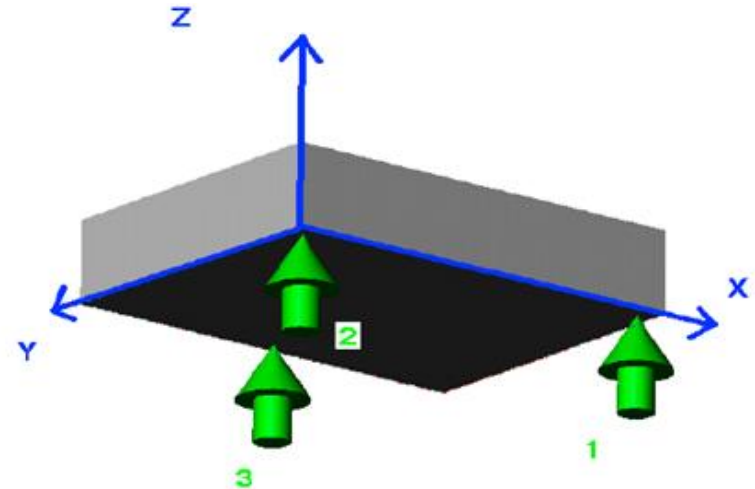


Il faut placer 6 normales de repérages créant ainsi un appui plan , un appui linéaire et un appui ponctuel.

a) appui plan (liaison appui plan): élimine 3 degrés de liberté , 1 translation et 2 rotations .Les 3 points ne sont pas alignés, ils forment un triangle et ils sont éloignés le plus possible les un des autres.

**REMARQUE :**

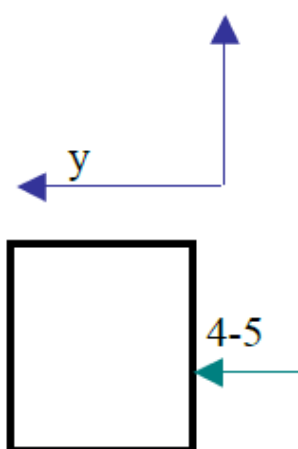
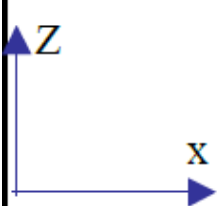
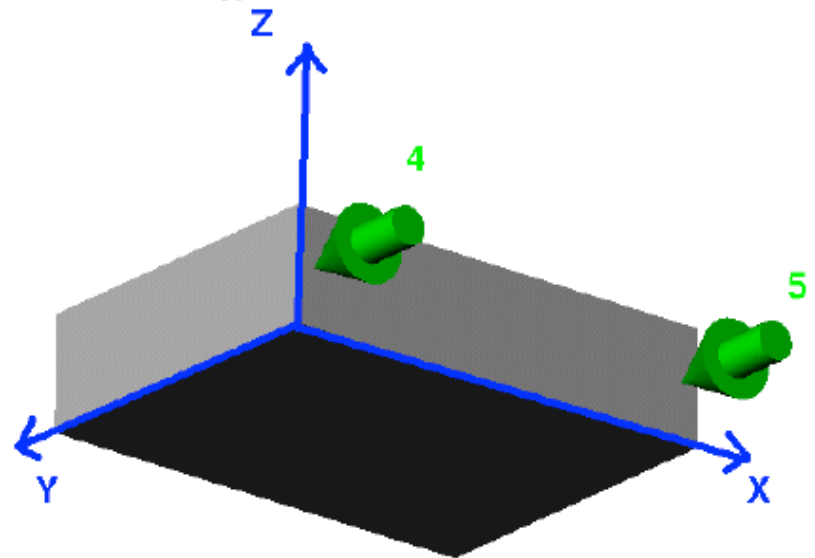
On positionne l'appui plan sur la plus grande surface d'un prisme



pts	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
1						
2						
3						

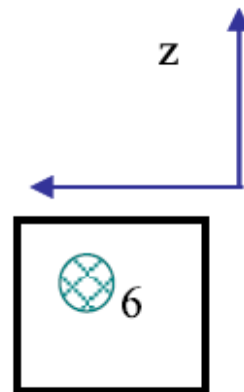
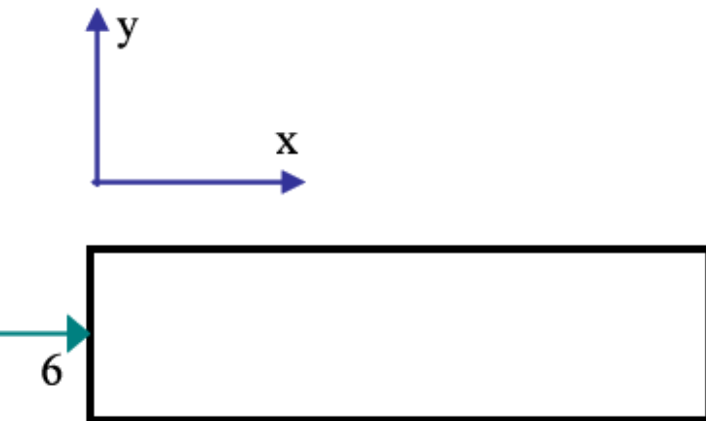
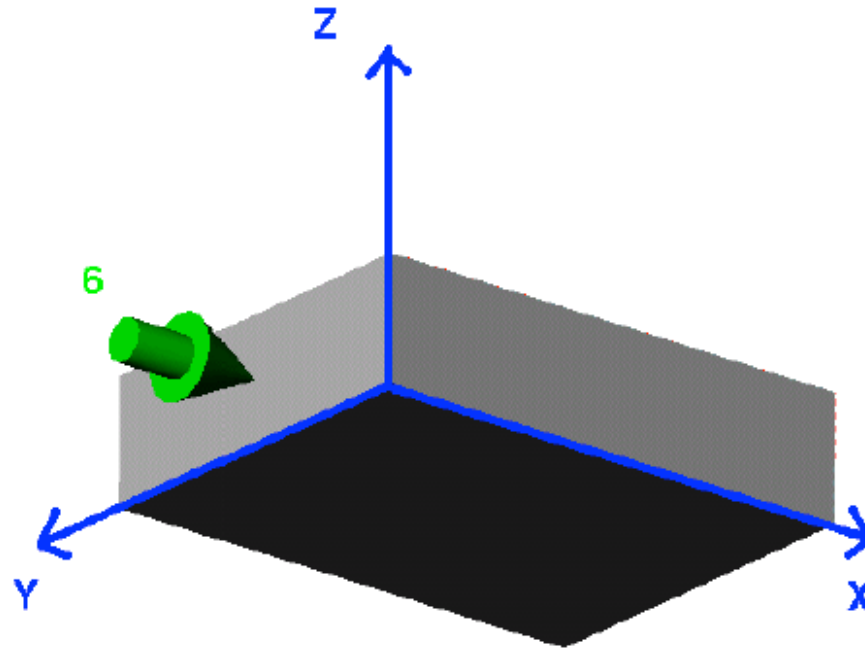


b) appui linéaire (liaison linéaire rectiligne): élimine 2 degrés de liberté, 1 translation et 1 rotation.



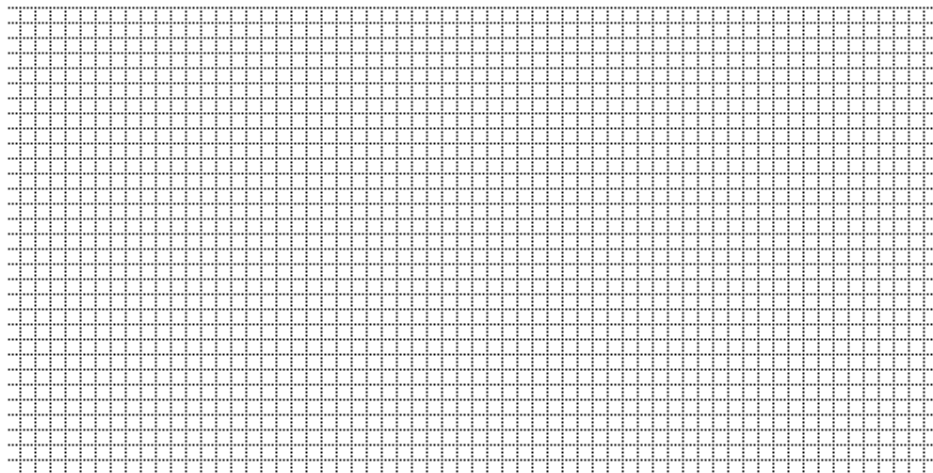
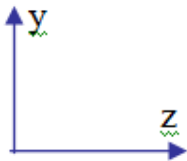
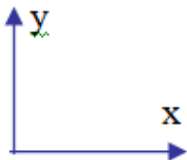
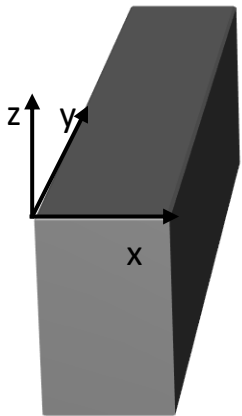
pts	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
4						
5						

c) appui ponctuel (liaison ponctuelle) : élimine 1 degré de liberté , 1 translation.



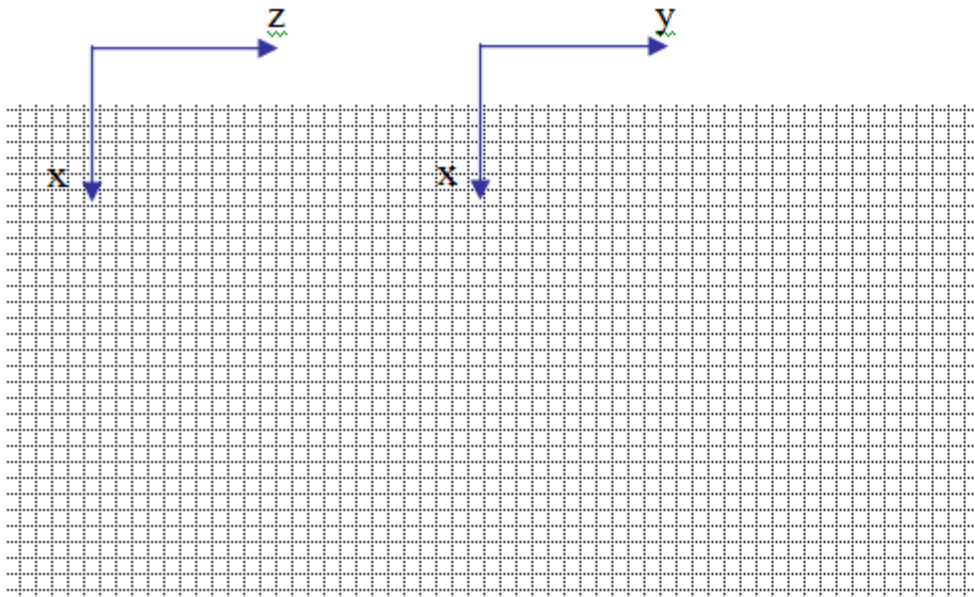
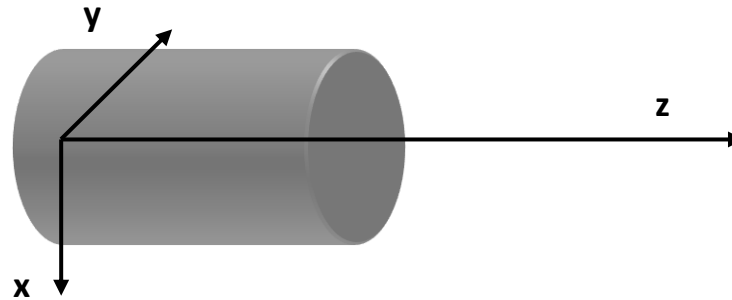
pts	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
6						

**Exemple 2**



pts	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz

### Exemple 3



pts	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz

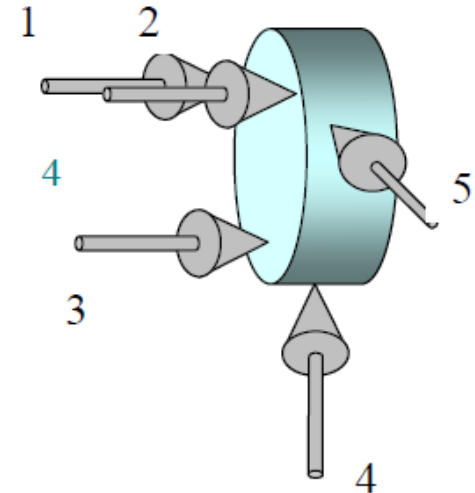
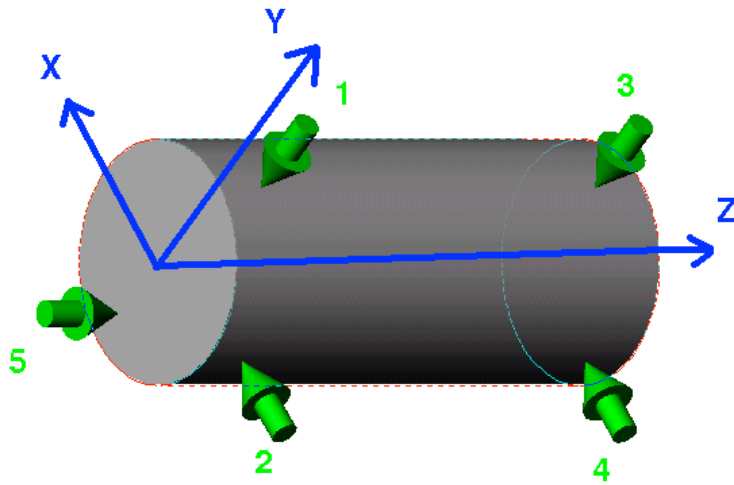


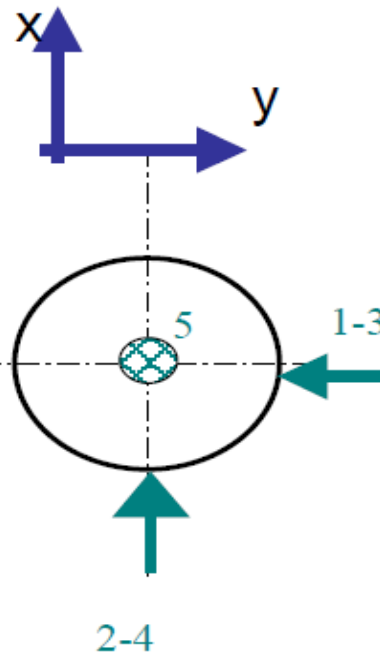
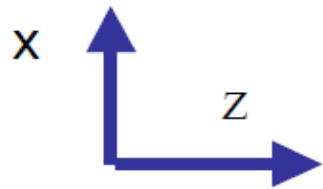
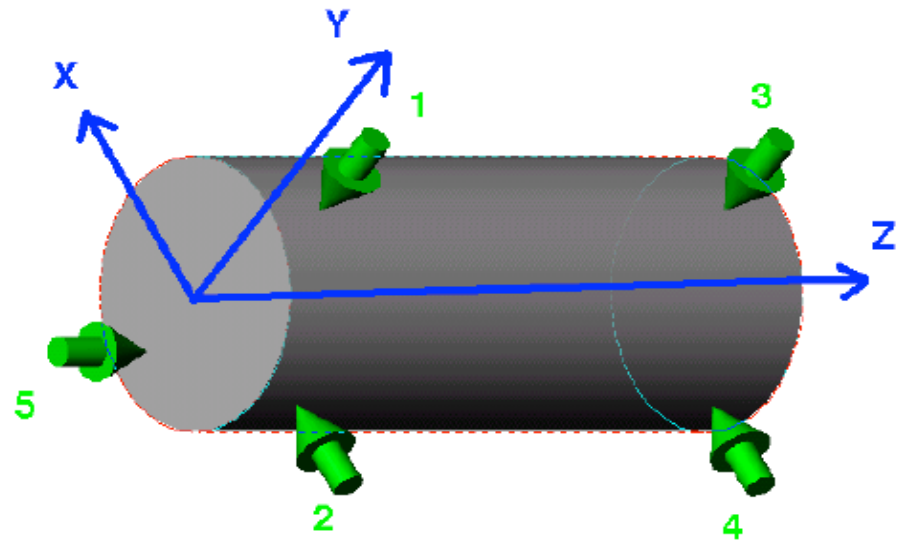
# Mise en place des normales de repérage.

## Sur un cylindre

Il faut placer 5 normales de repérage créant ainsi :

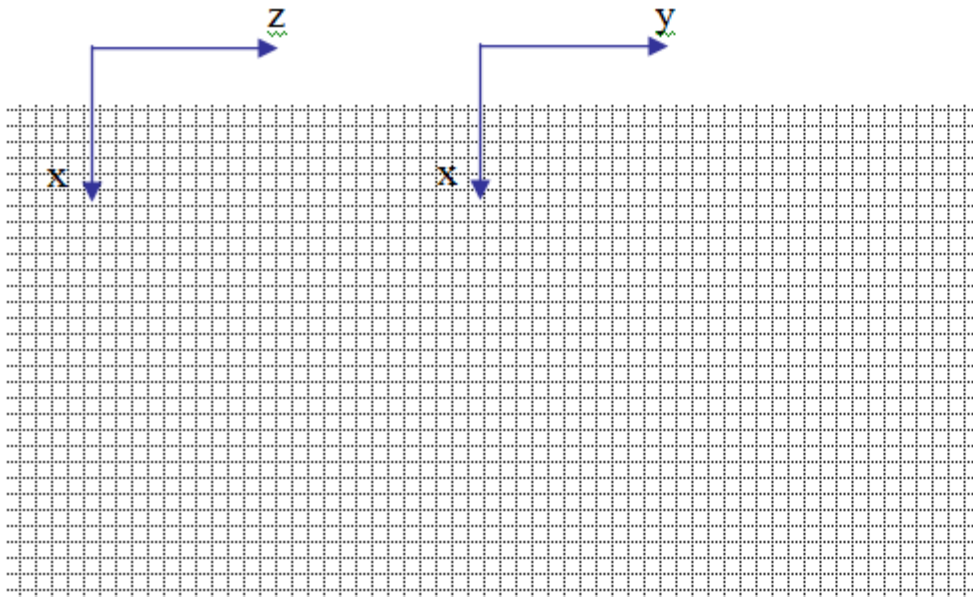
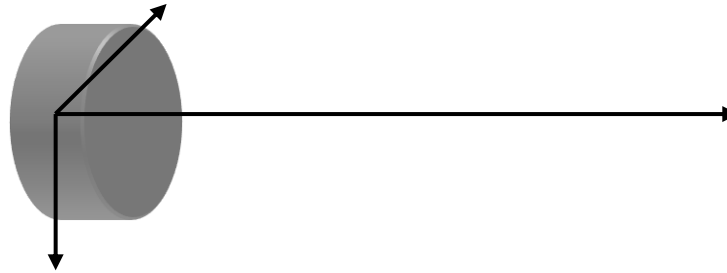
- Soit un centrage long et un appui ponctuel. (liaison pivot glissant + liaison ponctuelle)
- Soit un centrage court et un appui plan. (liaison linéaire annulaire + liaison appui plan)





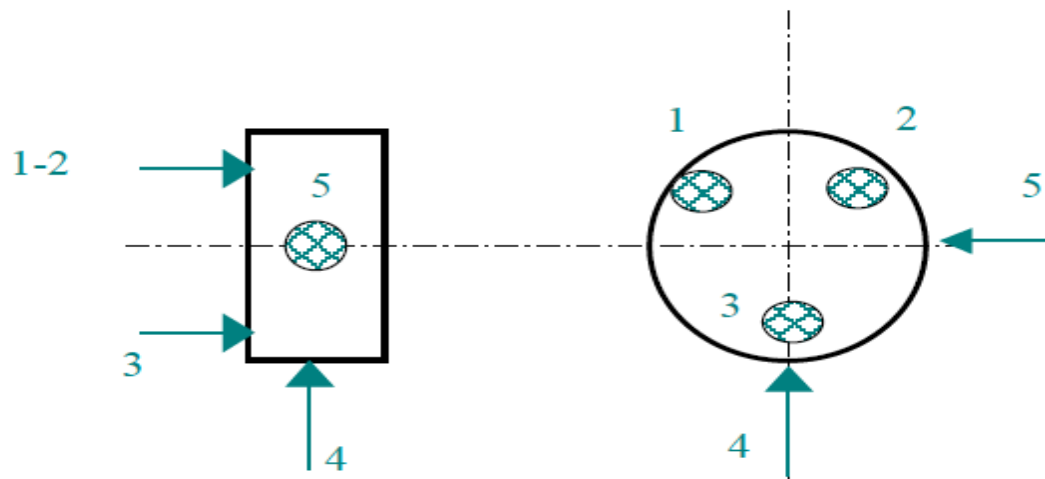
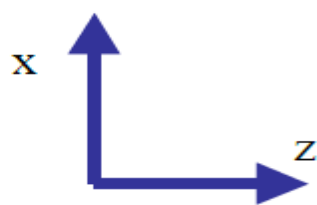
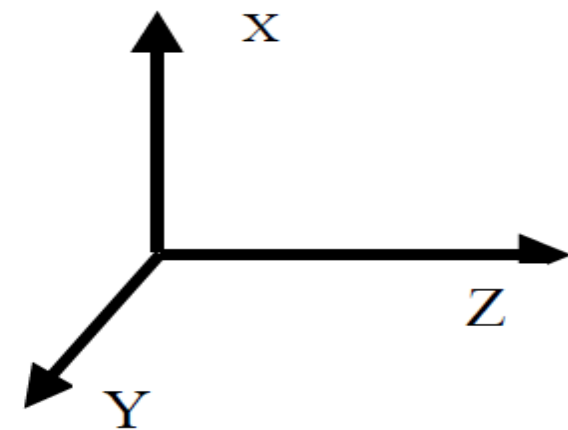
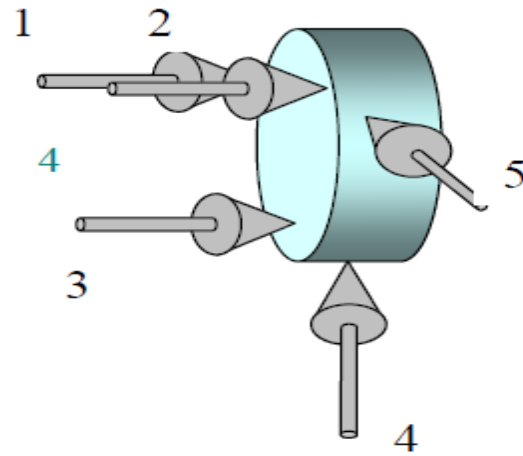
pts	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
1						
2						
3						
4						
5						

## Exemple 4



pts	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz

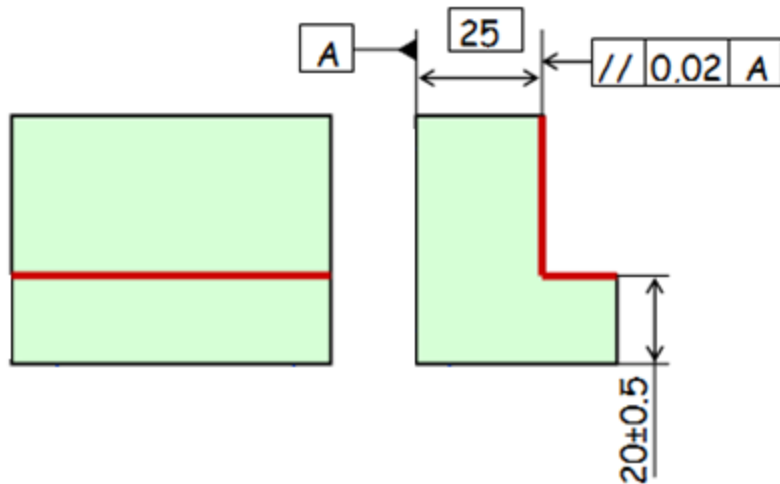






# Exercices: Fraisage

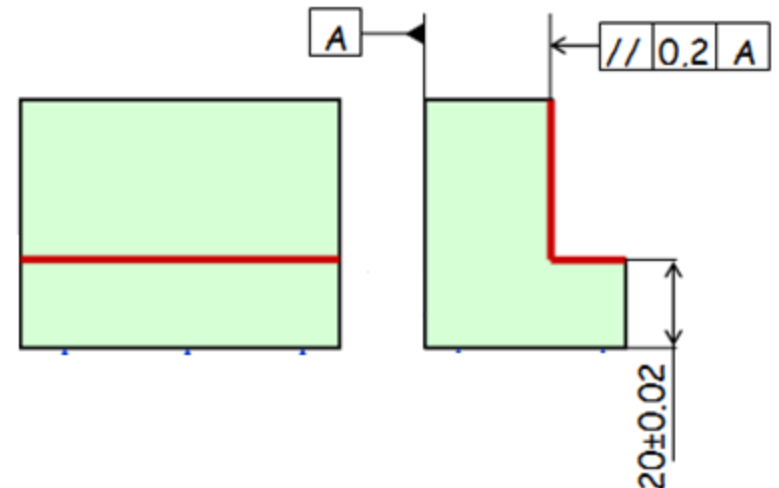
Proposer, pour chaque cas, la mise en position permettant de respecter la cotation.



Appui plan : respect    .

Linéaire rectiligne : respect

Butée :



Appui plan : respect

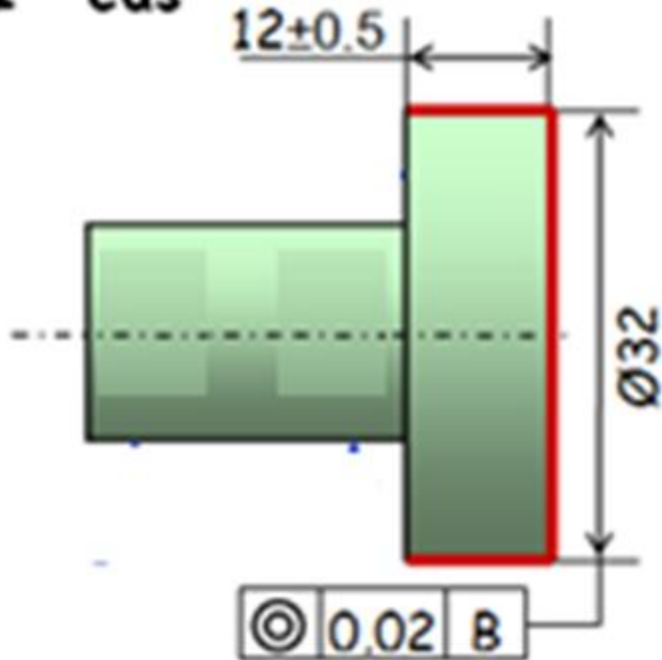
Linéaire rectiligne : respect

Butée :

# Exercices: Tournage

Proposer, pour chaque cas, la mise en position permettant de respecter la cotation.

1<sup>er</sup> cas



Centrage long : respect

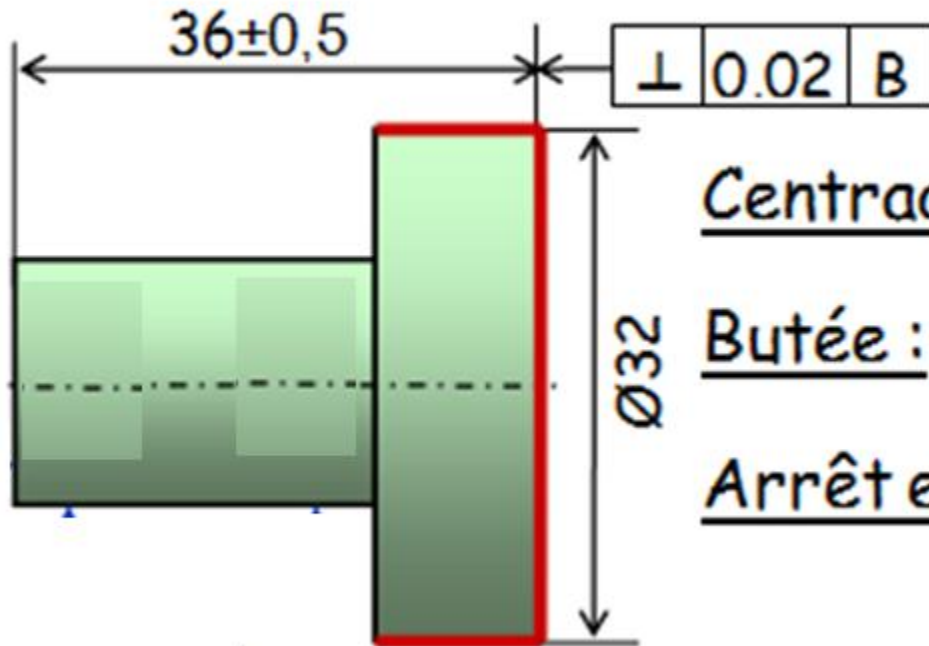
Butée : respect

Arrêt en rotation :

## Exercices: Tournage

Proposer, pour chaque cas, la mise en position permettant de respecter la cotation.

2<sup>ème</sup> cas



Centrage long : respect

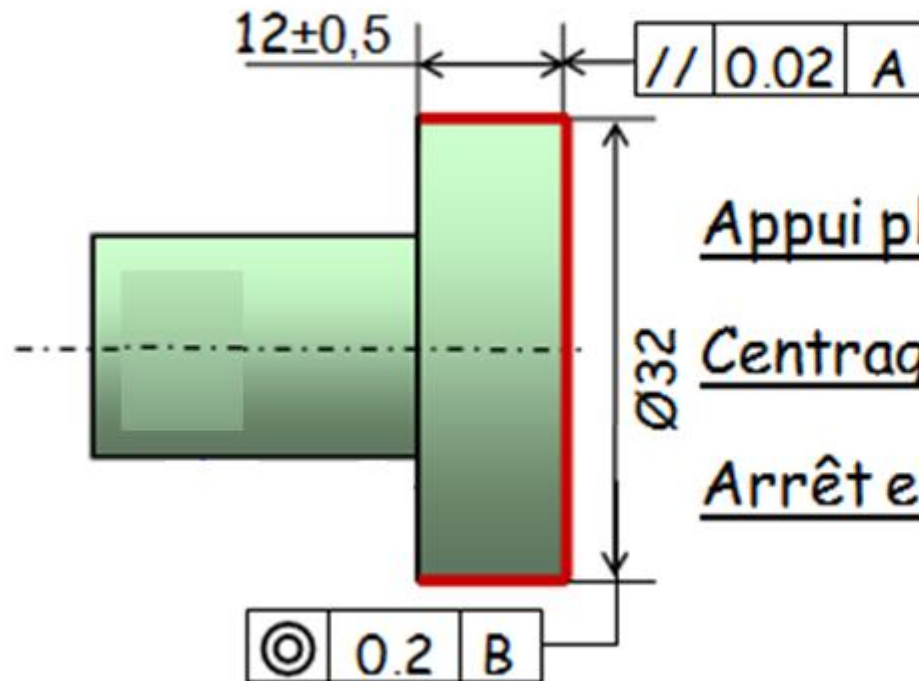
Butée : respect

Arrêt en rotation :

# Exercices: Tournage

Proposer, pour chaque cas, la mise en position permettant de respecter la cotation.

3<sup>ème</sup> cas



Appui plan : respect

Centrage court : respect

Arrêt en rotation :