

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)*

# **PARTIE 1: RAPPELS ET PRÉ-REQUIS ESSENTIELS**

## **I. TOURNAGE**

- 1. LE TOUR PARALLÈLE.**
- 2. TYPES D'OPÉRATIONS.**
- 3. OUTILS DE TOURNAGE.**

## **II. FRAISAGE**

- 1.FRAISEUSES.**
- 2. LES OUTILS DE FRAISAGE.**

## **III. LES MATÉRIAUX DES OUTILS**

## **IV. LA FORMATION DES COPEAUX**

- 1. GÉNÉRALITÉ DANS LE CAS DU TOURNAGE.**
- 2. LES DIFFÉRENTS TYPES DE COPEAUX.**
- 3. EVOLUTION DU COPEAU EN FONCTION DE SA SECTION.**

## **V. CONDITIONS DE COUPE**

# **PARTIE 2: ISOSTATISME**

- I. DEGRÉS DE LIBERTÉ**
- II. ISOSTATISME**
- III. LIAISONS UTILISABLES**
- IV. PROBLÉMATIQUE**
- V. PRINCIPALES RÈGLES D'UTILISATIONS**
- VI. SYMBOLISATION DE L'ELIMINATION DES DEGREES DE LIBERTE**
- VII. SYMBOLISATION DES ÉLÉMENTS TECHNOLOGIQUES**

## **PARTIE 3: LIAISONS ENTRE LA PIÈCE, LE PORTE-PIÈCE ET LA MACHINE**

- I. PORTE-PIÈCE STANDARD**
- II. PORTE PIÈCE DÉDIÉ SPÉCIFIQUE**
- III. PORTE PIÈCE DÉDIÉ MODULAIRE**
- IV. TABLEAUX COMPARATIFS DES DIFFÉRENTS PORTE-PIÈCES**

## **PARTIE 4: COTATION DE FABRICATION ET TRANSFERT DES COTES**

- I. COTATION DE FABRICATION**
- II. LA COTE MACHINE (CM)**
- III. LA COTE OUTIL (CO)**
- IV. LA COTE DE RÉGLAGE (CR)**
- V. TRANSFERT DES COTES DIMENSIONNELLE**

## **PARTIE 4: LE CONTRAT DE PHASE**

- I. LE CONTRAT DE PHASE**
- II. CONTENU DU CONTRAT DE PHASE**
- III. EXEMPLES**

# PARTIE 1: RAPPELS ET PRÉ-REQUIS ESSENTIELS

## I. TOURNAGE

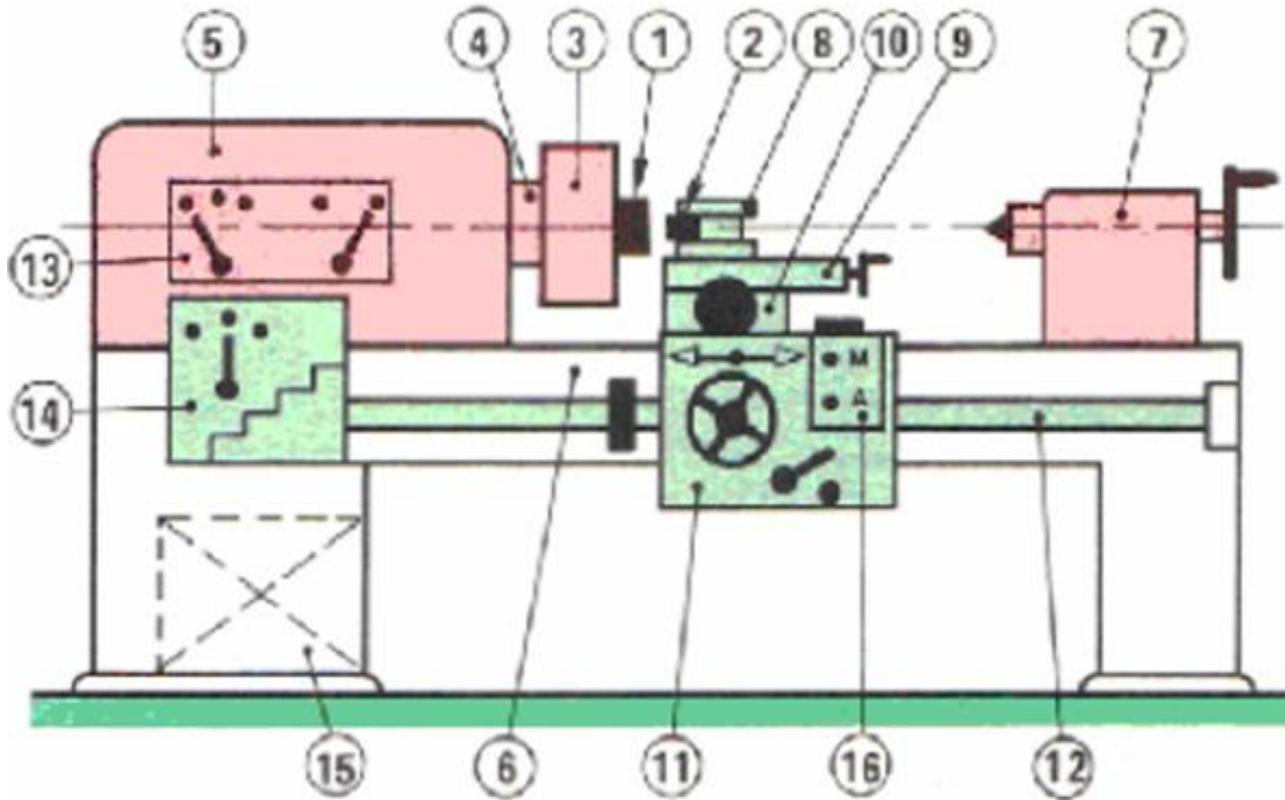
### 1. LE TOUR PARALLÈLE.

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.

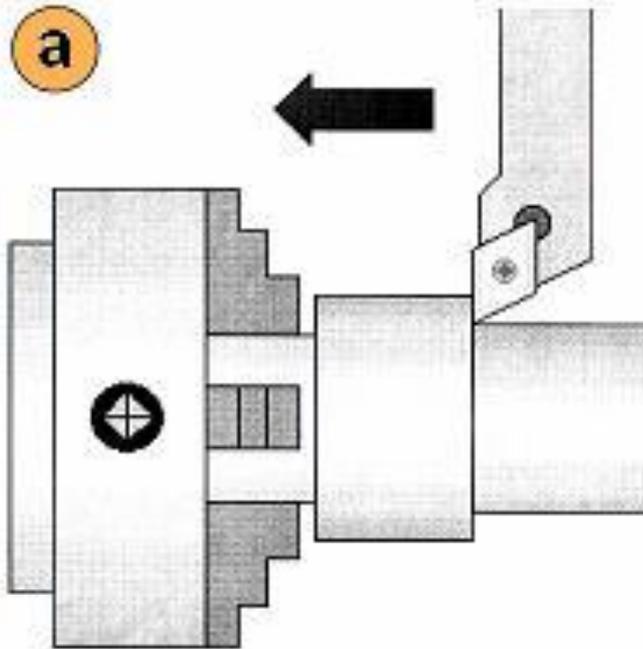


- (1) Pièce ; (2) Outil ;  
(3) Mandrin ; (4) Broche ; (5) Poupée fixe ; (6) Banc ; (7) Poupée mobile ; (8) Tourelle porte-outils ; (9) Chariot supérieur ; (10) Chariot transversal ; (11) Traînard ; (12) Barre de chariotage ; (13) Boite des vitesses ; (14) Boite des avances ; (15) Moteur ; (16) Contacteur.

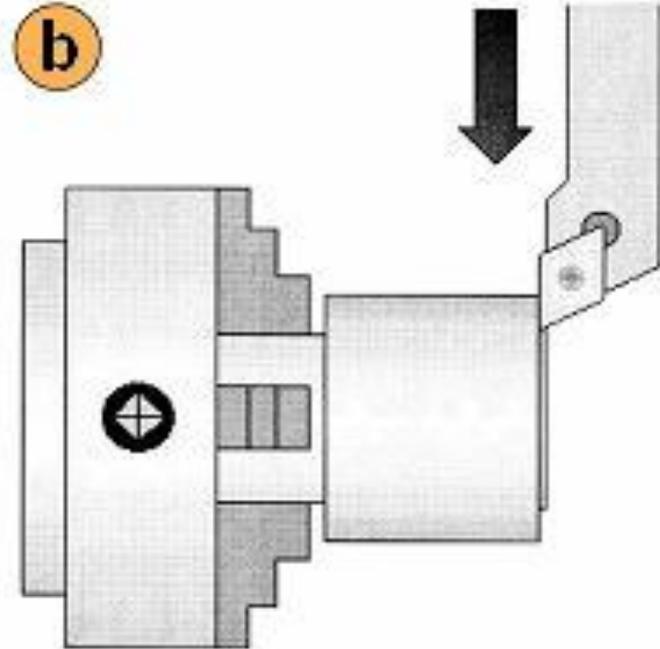
## 2. Types d'opérations

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.

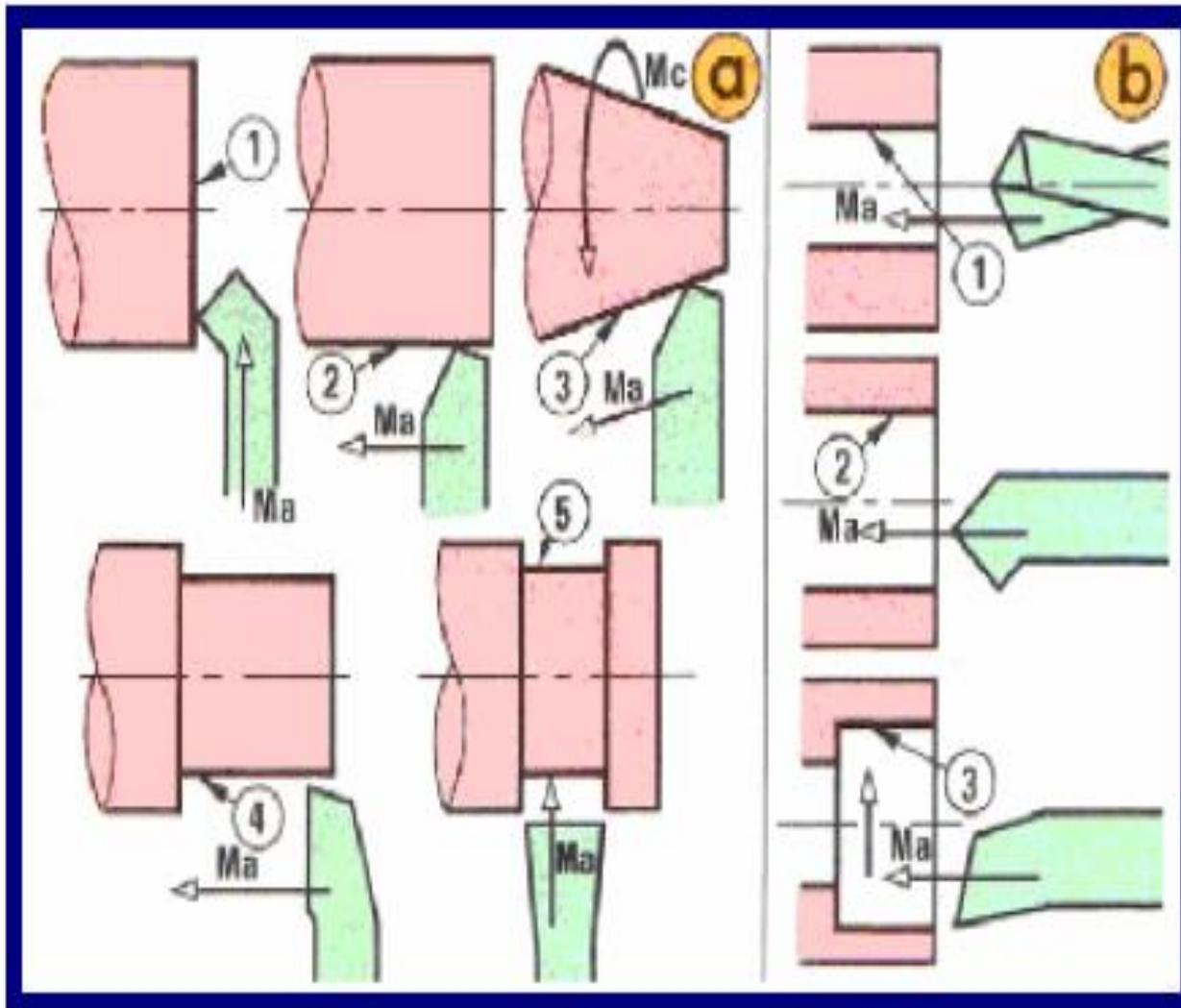


**TOURNAGE LONGITUDINAL**



**TOURNAGE TRANSVERSAL**

## Opérations de tournage



### 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.

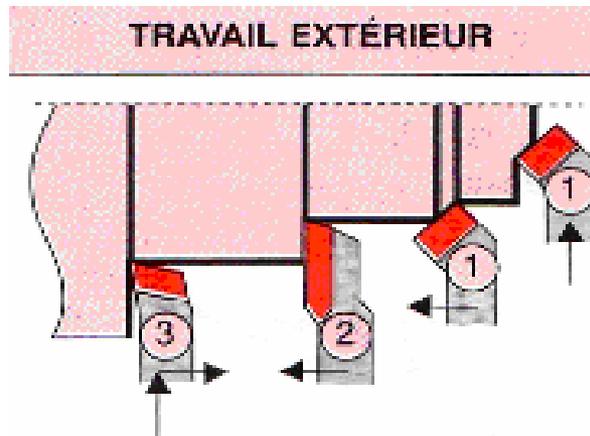
### b) Opérations intérieures.

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

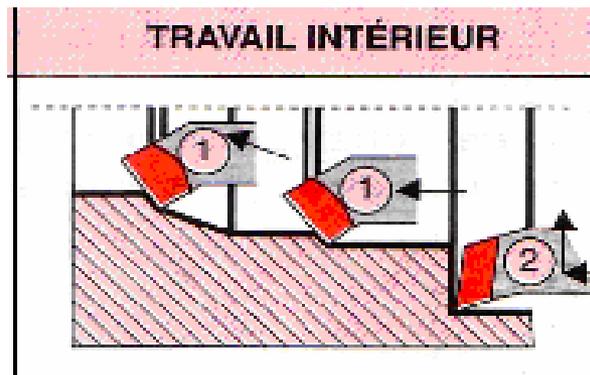
### 3. Outils de tournage

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 charioter :**  
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).

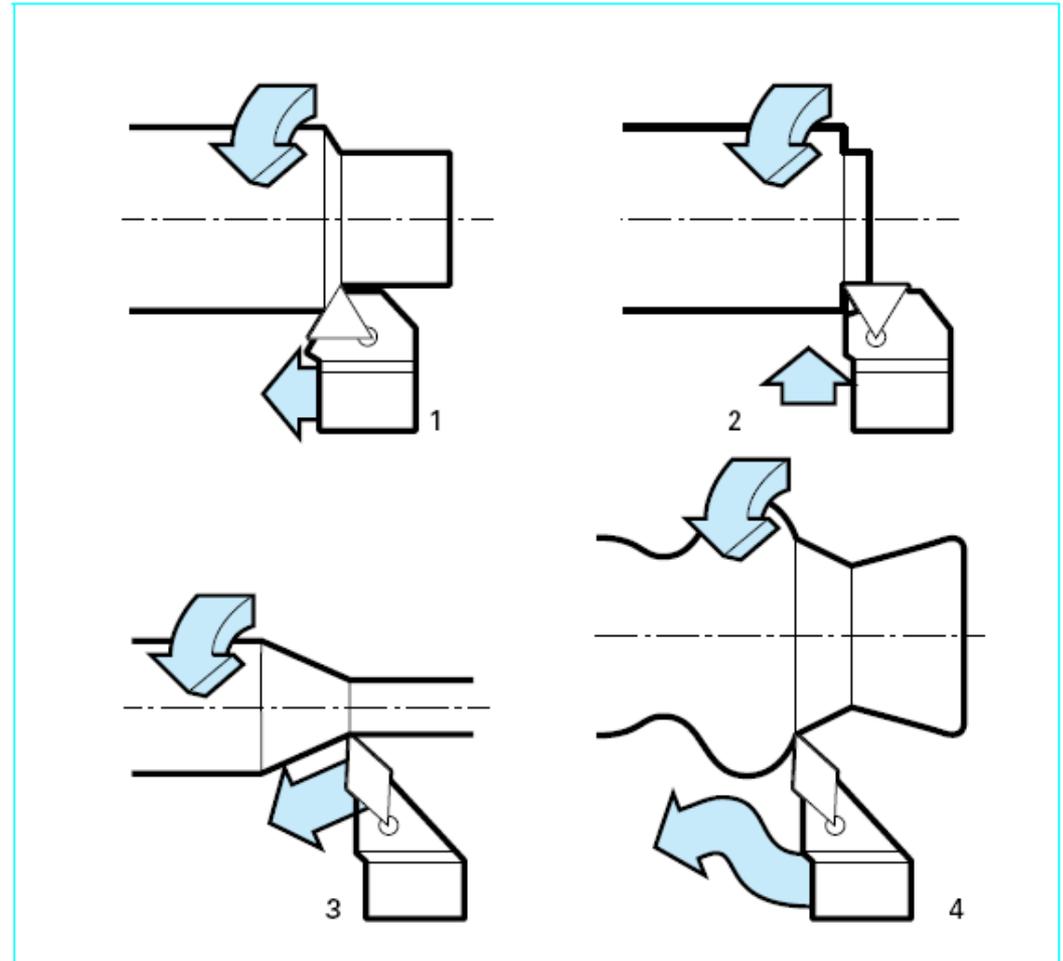


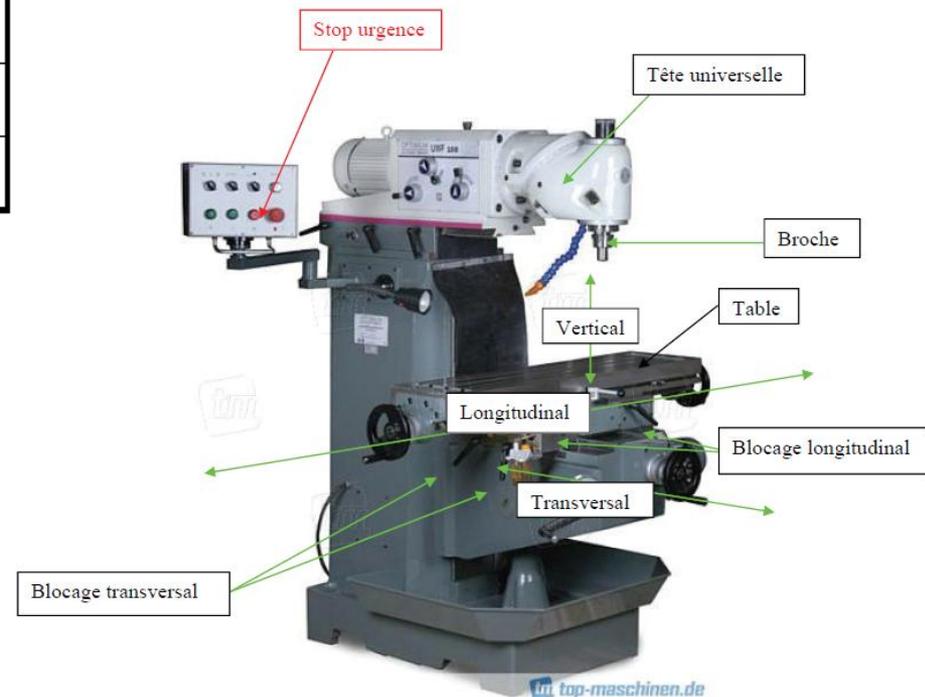
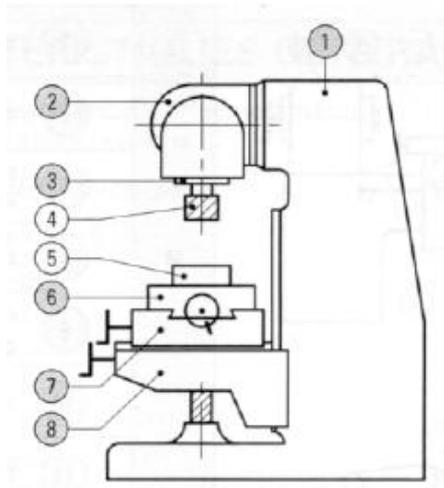
Figure 1 - Opérations de base en tournage

## II. LE FRAISAGE

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

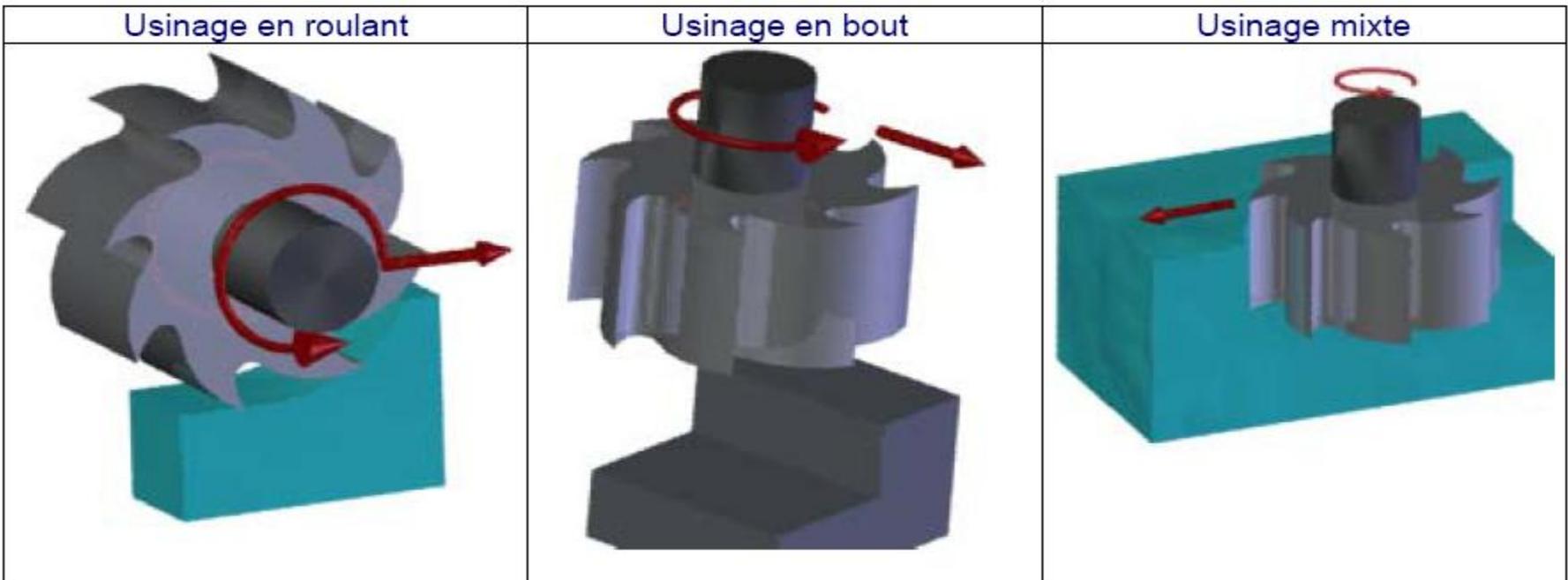
Les centre de fraisage comportent généralement 3 axes (que l'on peut commander individuellement pour faire des formes complexe : hélices...) et un plateau tournant pour présenter toutes les faces de la pièce devant la broche.

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

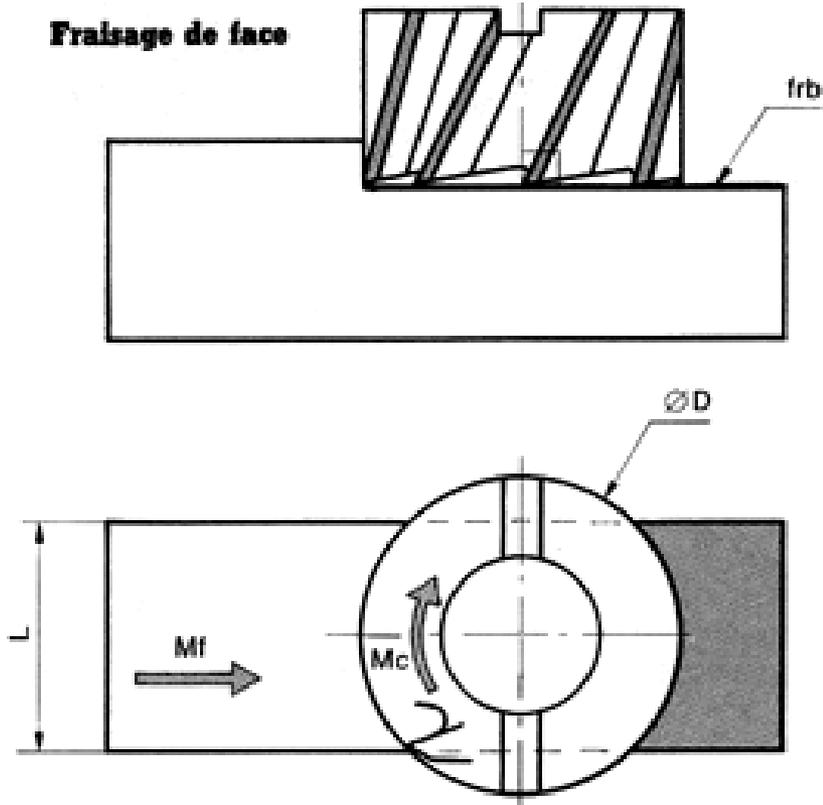


## II. LE FRAISAGE

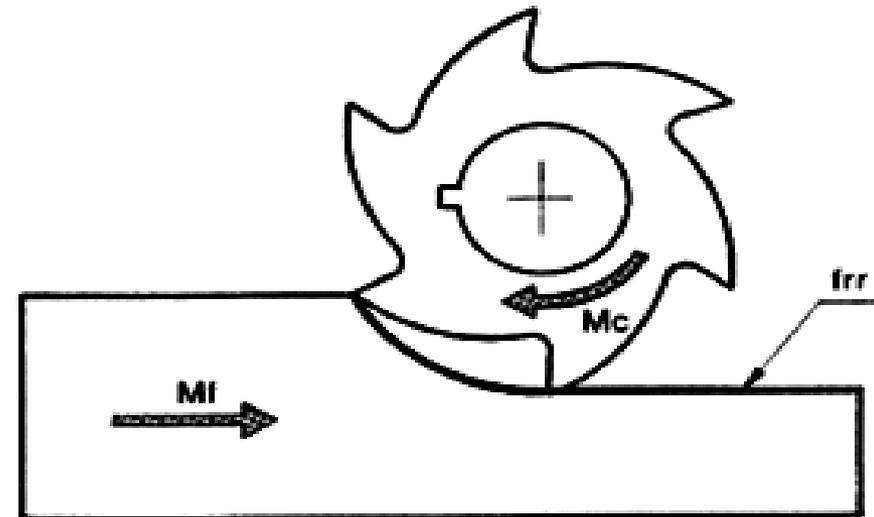
On peut aussi imaginer de monter l'outil au bout un bras de robot. Voir exemple ci-contre.  
L'outil tourne, la pièce se déplace par rapport à l'outil. Cela permet de réaliser des formes planes, des moules...



### Fraisage de face



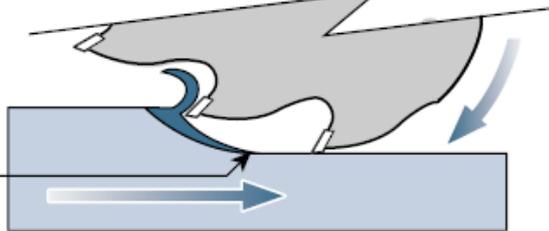
### Fraisage de profil



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

**Fraisage classique (ou en opposition)  
(up milling)**

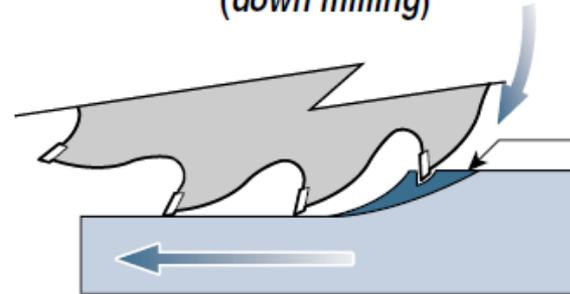
Copeau enlevé à  
une épaisseur  
minimale en début  
de coupe



Mouvement d'avance opposé au sens  
de rotation de la fraise

**Fraisage en avalant  
(down milling)**

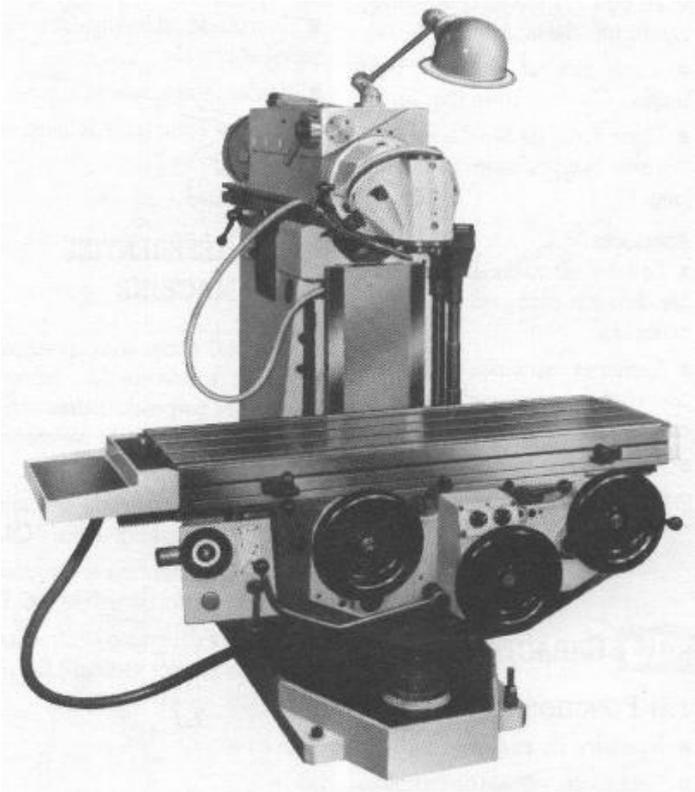
Copeau enlevé à  
une épaisseur  
maximale en  
début de coupe



Mouvement d'avance dans le même  
sens que celui de rotation de la fraise

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.

# Fraiseuse universelle (tête Huré)



# 1. Fraiseuses

**Centre de fraiseage à axe vertical.  
On voit le changeur d'outil sur la gauche.**



**Double tête de fraiseage pour usiner  
les maquettes de voiture en résine**



# 1. Fraiseuses

Centre de fraiseage 5 axes Willemin.  
La broche peut pivoter autour de l'axe X  
et de l'axe Y.

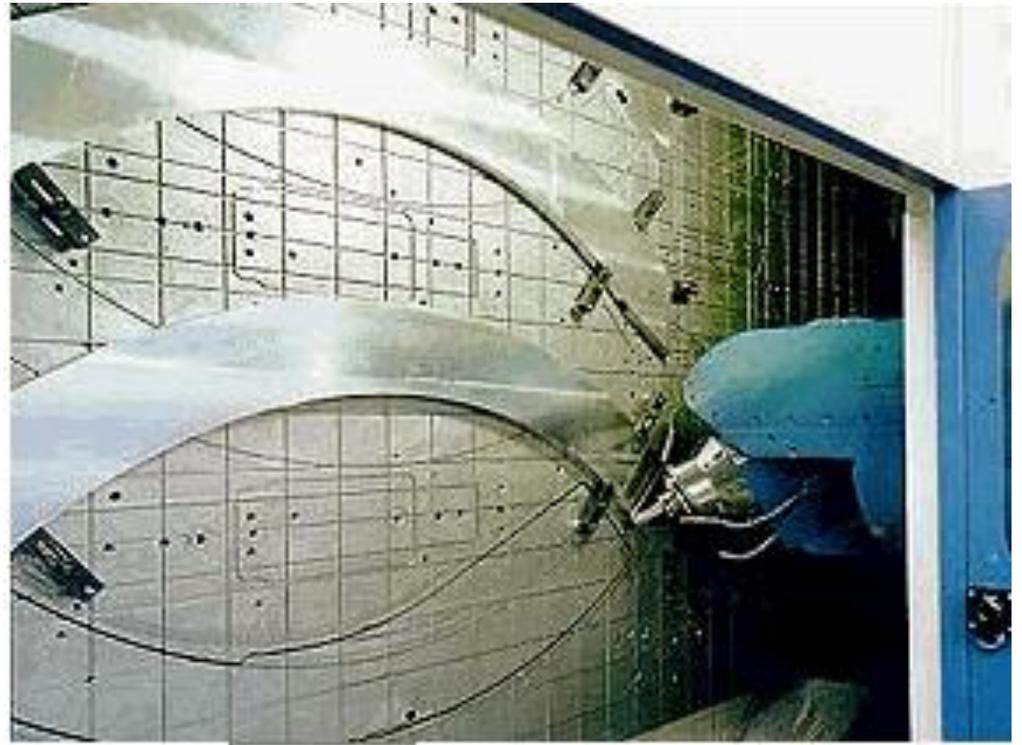


Fraiseuse à broche horizontal



# 1. Fraiseuses

fraisage avec un bras de robot



# 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.



# CLASSIFICATION DES FRAISEUSES

## **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.



# CLASSIFICATION DES FRAISEUSES

## **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.



## **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.



# CLASSIFICATION DES FRAISEUSES

## **Fraiseuse avec coulisseau :**

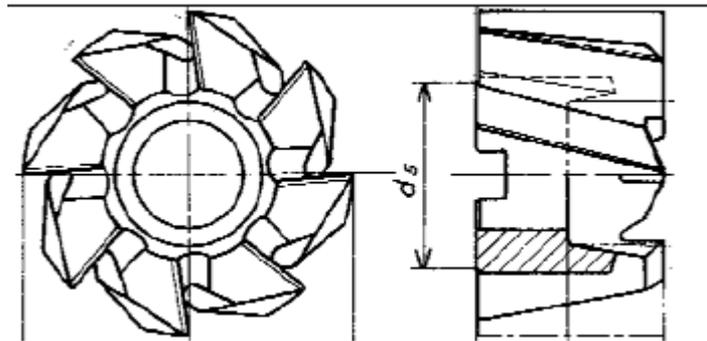
Supérieur motorisé : le coulisseau supérieur contient tous les mécanismes d'entraînement de la broche et un moteur autonome ; la tête de fraisage à l'extrémité du coulisseau peut être universelle ou verticale. Cette version est souvent également prévue avec broche horizontale entraînée par système classique ainsi conçue avec 2 broches ; la machine est rapidement adaptable à des travaux qui nécessitent de fréquents changements de tête à fraiser.



## 2. 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

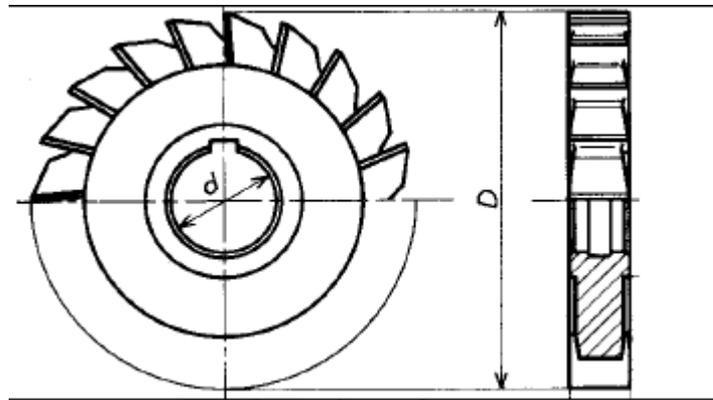
Fraise carbure, de défonçage. Cette fraise permet des ébauches rapides, mais ne permet pas de plonger dans la matière (pas de « coupe au centre »)



## 2. Les outils de fraisage

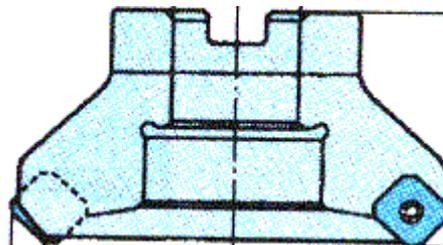
### Fraise 3 tailles

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



### Fraise à surfacer

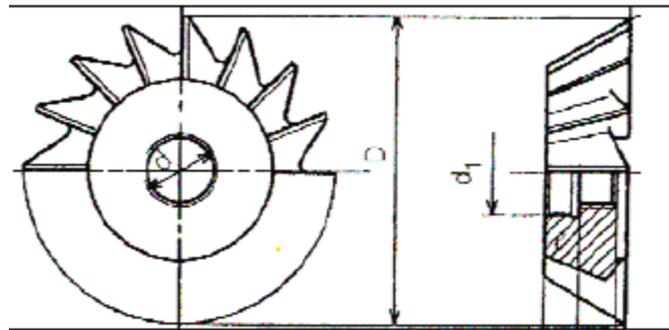
Fraise carbure à surfacer pour usiner des grands plans.



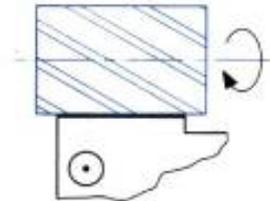
## 2. Les outils de fraisage

### Fraise conique de forme

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

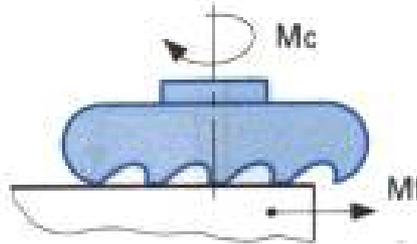


## 2. Les outils de fraisage

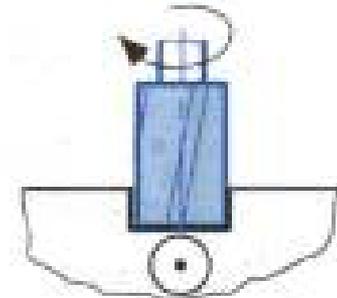


⊙ : direction projetée du mouvement d'avance

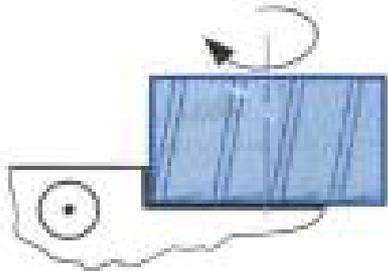
**Fraise 1 taille à surfacer**



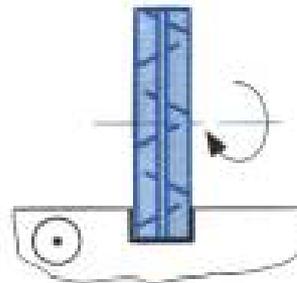
**Fraise cloche à surfacer**



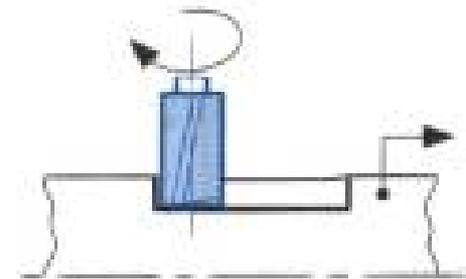
**Fraise 2 tailles à queue cylindrique**



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



**Fraise 3 tailles extensible à denture alternées**

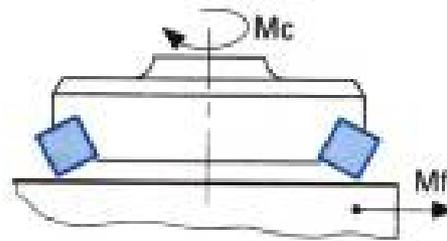


**Fraise à rainurer deux lèvres à coupe centrale**

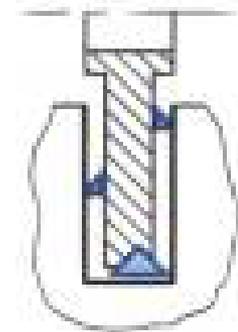
## 2. Les outils de fraisage



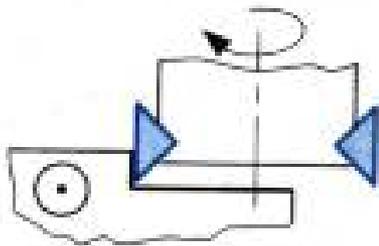
Fraise 2 tailles à queue conique



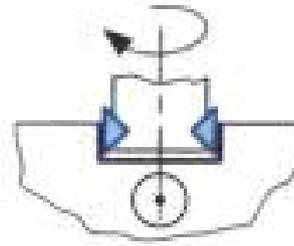
Fraise à surfacer



Fraise 3 tailles à dentures alternées

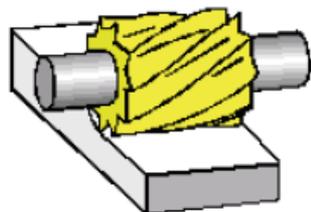


Fraise à surfacer et à dresser

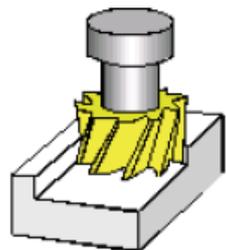


Fraise à rainurer

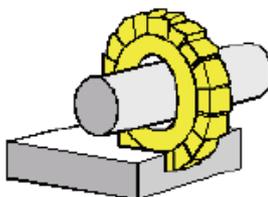
## 2. Les outils de fraisage



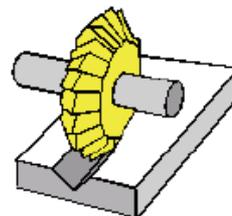
Fraise rouleau 1 taille  
Surfaces planes



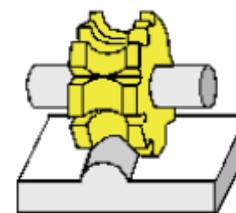
Fraise cylindrique à 2  
tailles  
Surface plane et angles



Fraise 3 tailles  
Dentures alternées  
Gorges, rainure

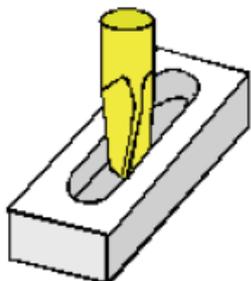


Fraise biconique  
Guides en prisme

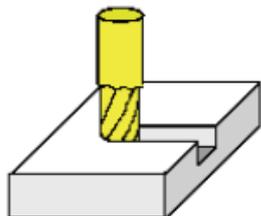


Fraise de profil  
circulaire concave  
Guides circulaires

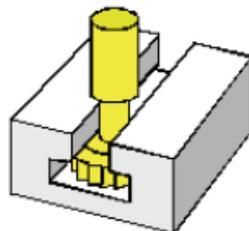
### FRAISE A QUEUE



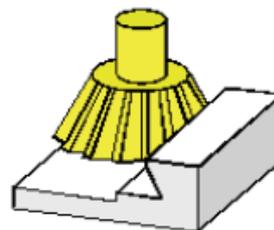
Fraise à gorges  
Rainures et poches



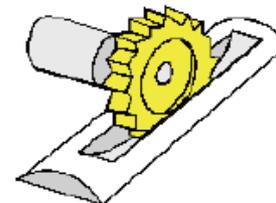
Fraise à rainurer  
Rainures profondes et  
contours



Fraise en T  
Rainures en T



Fraise conique 2 tailles  
Guides en angle



Fraise 1 taille  
Rainures de clavette

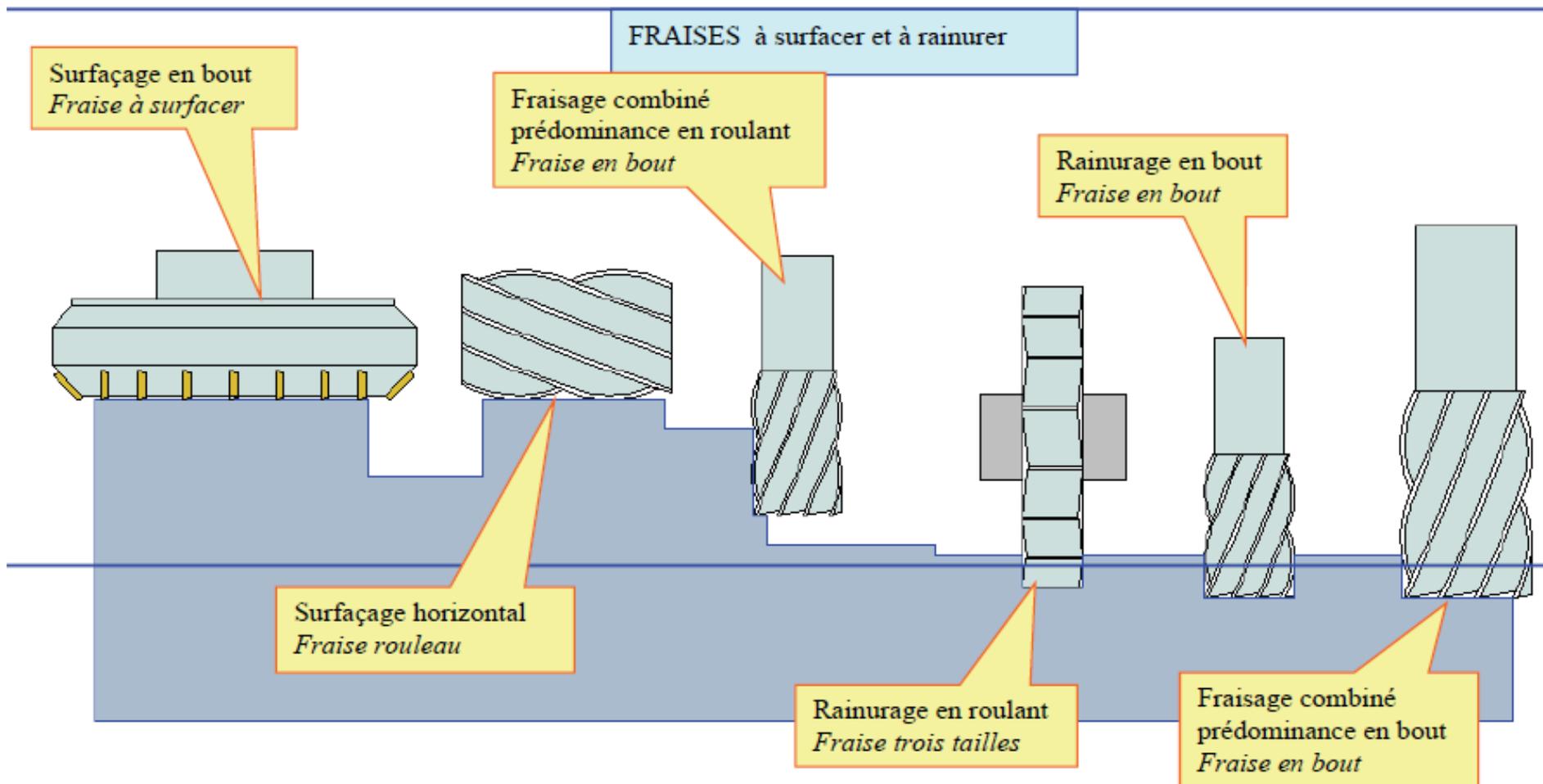
# LES FRAISES À SURFACER ET SURFACER-DRESSER



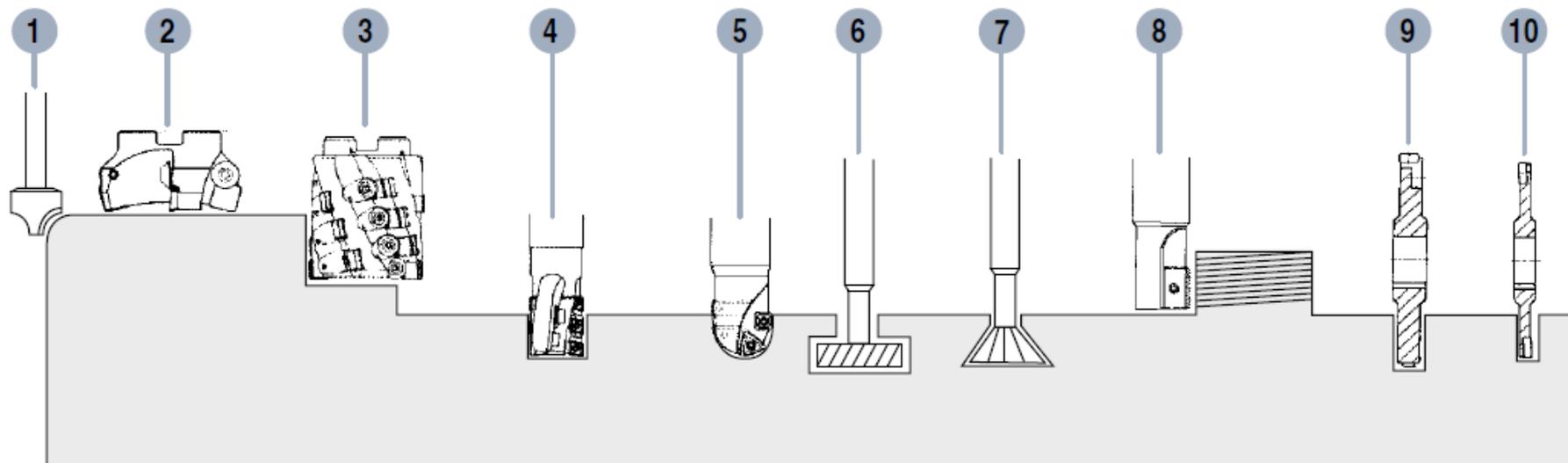
Il existe énormément de fraises différentes de par le nombre de dents, le diamètre, la forme du corps de fraise et de sa plaquette, l'attachement de la fraise et de sa plaquette, les angles de coupe d'attaque, etc. Nous détaillerons plus tard ces variantes.



### 3. les opérations principales du fraisage



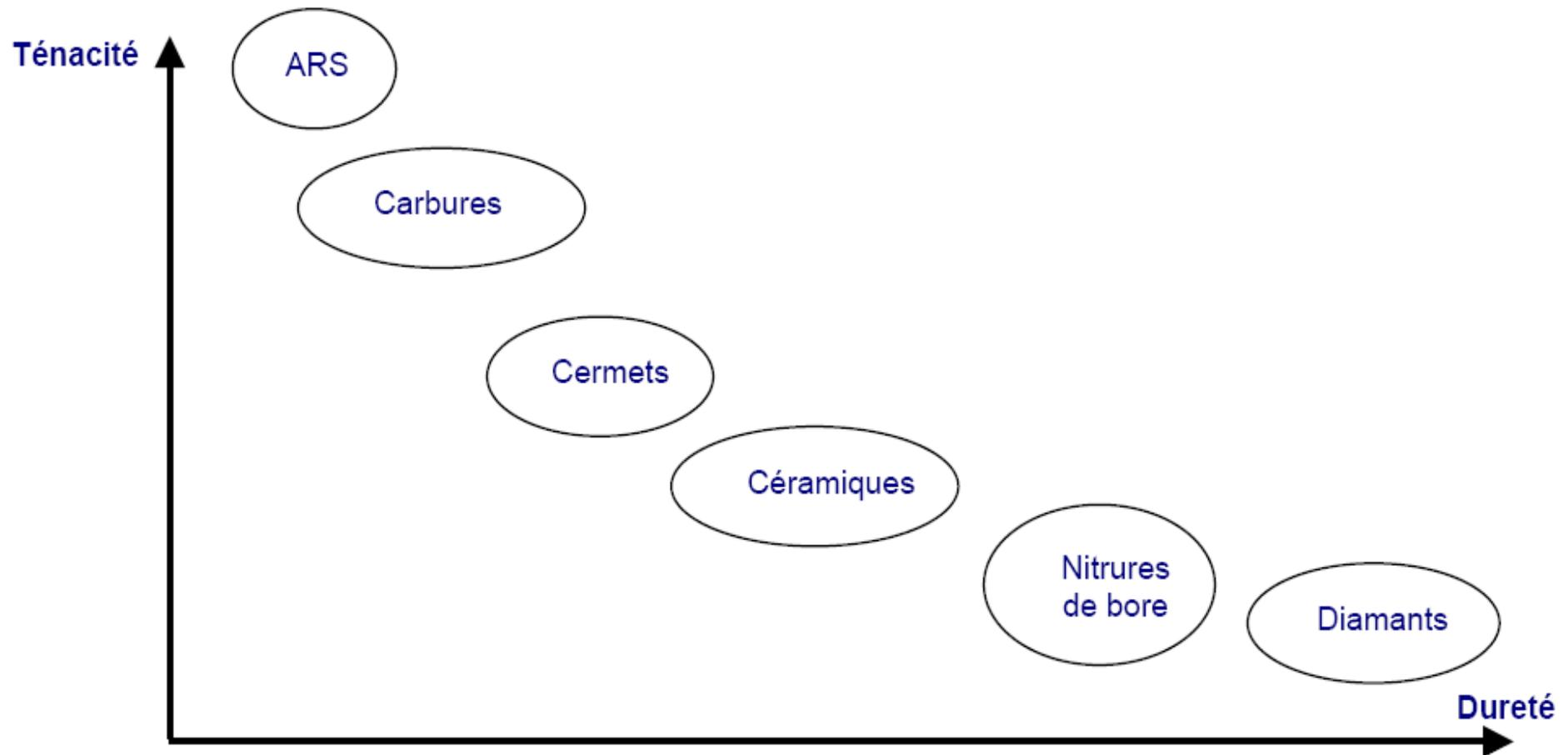
### 3. les opérations principales du fraisage



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

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.

- 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

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.

- 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).

## 5. Nitrure de Bore Cubique (CBN)

Le CBN offre une très grande dureté, c'est le matériau le plus dur après le diamant. Il comporte l'avantage par rapport au diamant de ne pas s'oxyder à haute température. Il est aussi utilisé pour faire des meules de rectification, pour usiner les pièces dures...

### Son utilisation requiert

- Une machine stable
- Une grande rigidité de la pièce et du porte pièce
- Un arrosage

## 6. Diamant

L'utilisation du diamant est fortement répandue dans l'usinage des meules.

Il a un faible coefficient de frottement ce qui limite l'apparition d'arête rapportée.

Par contre, son énorme inconvénient réside dans sa non-stabilité à haute température.

## IV. LA FORMATION DES COPEAUX

### 1. Généralité dans le cas du tournage.

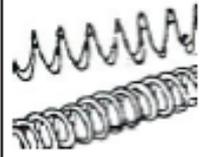
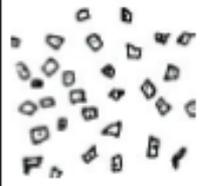
Lors de la coupe, l'outil vient séparer le métal en deux. La facilité de la coupe, donc l'usure et la puissance nécessaire, dépend d'une série de paramètres :

- les matériaux en présence,
- les angles de l'outil,
- la vitesse de coupe
- la section du copeau.

Pour trouver l'influence des différents paramètres sur l'usure des outils, Monsieur Taylor a usiné des kilomètres de barre d'acier.

## 2. Les différents types de copeaux

Une norme existe pour classifier les copeaux obtenus en usinage (NFE 66 505).

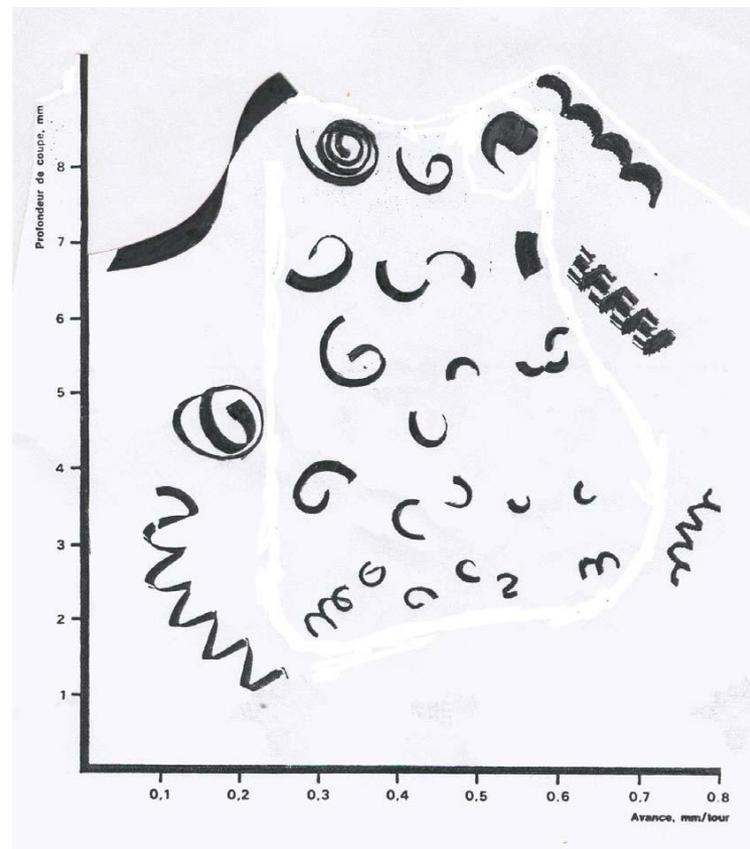
1 : copeau ruban	2 : copeau tubulaire	3 : copeau en spirale	4 : copeau hélicoïdal en rondelle	5 : copeau hélicoïdal conique	6 : copeau élémentaire	7 : copeau aiguille	8 : copeau en arc
11 : Long 	21 : Long 	32 : plat 	41 : Long 	51 : Long 	61 : Enchevêtré 		
12 : Court 	22 : Court 	32 : Conique 	42 : Court 	52 : Court 	62 : détaché 		
13: Enchevêtré 	23: Enchevêtré 		43: Enchevêtré 	53: Enchevêtré 			

### 3. Evolution du copeau en fonction de sa section

La forme du copeau influe sur l'usinage. En effet un copeau filant risque d'abîmer la surface usiner, et sera difficile à évacuer vers les bacs à copeaux.

Pour chaque forme d'outil, on peut établir un diagramme qui donne la forme du copeau en fonction de la vitesse d'avance et de la profondeur de passe.

La zone intéressante se situe au centre (forme de chaussette).



# 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.

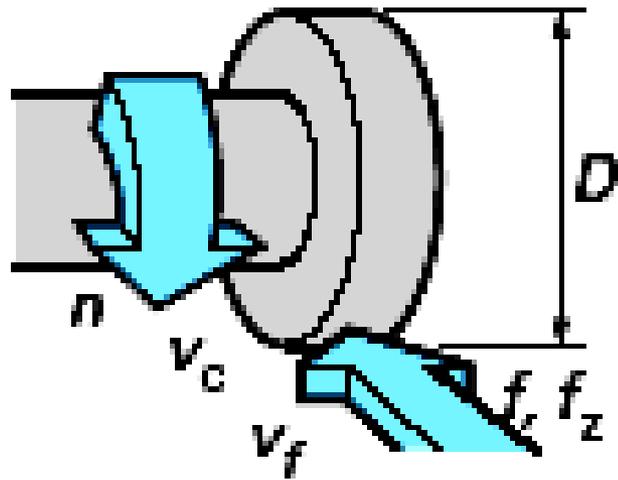
### b. La vitesse de coupe ( $V_c$ en m/min)

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.

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

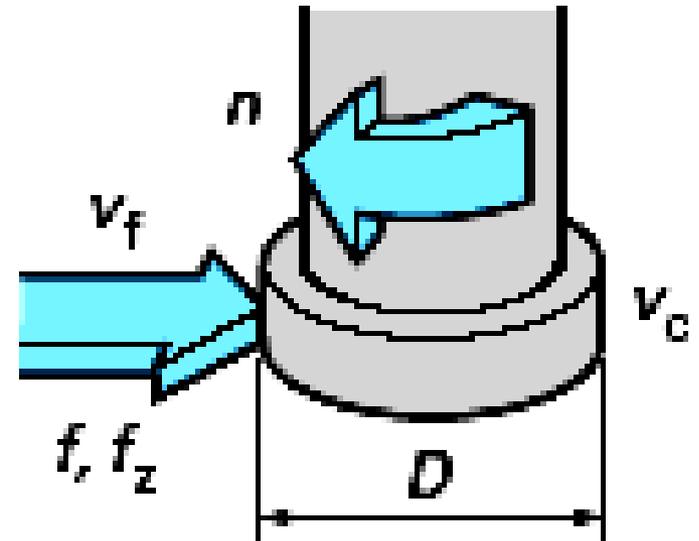
$$v_c = \frac{\pi D n}{1\,000}$$

Avec : **D** - diamètre de l'outil de fraisage (mm),  
**n** -vitesse de broche (tr/min), (Fréquence de rotation)  
**v<sub>c</sub>** -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

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

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)

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.

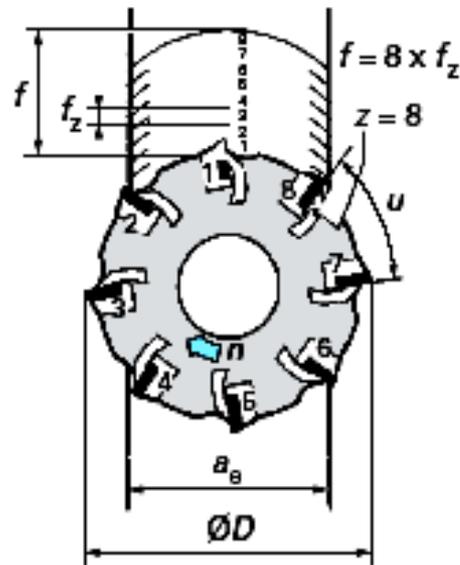
## V. CONDITIONS DE COUPE

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

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.

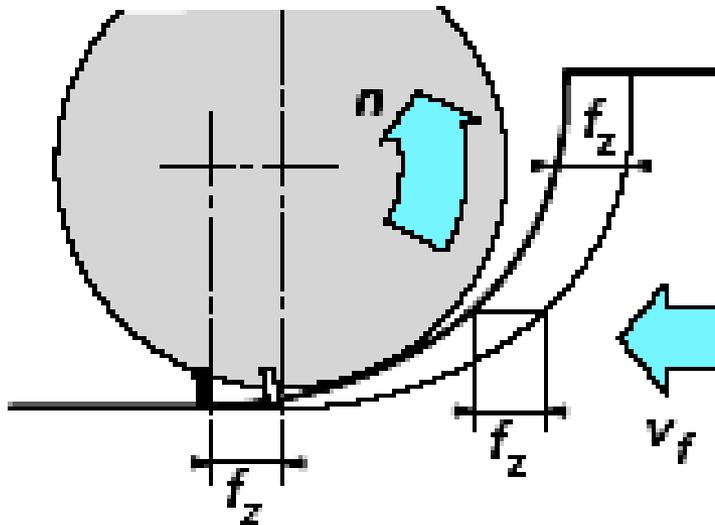
L'avance par dent représente aussi la distance couverte entre la pénétration de deux dents successives dans la pièce. Elle peut donc être exprimée en fonction du nombre d'arêtes de l'outil ( $z$ ) et de l'avance par minute, ou sous forme d'avance par tour.



- $z$  nombre d'arêtes de l'outil
- $f$  avance par tour (mm/tr)
- $f_z$  avance par dent (mm/dent)
- $a_g$  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



- $n$  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)

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

**(c) avances**

vitesse d'avance

**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.

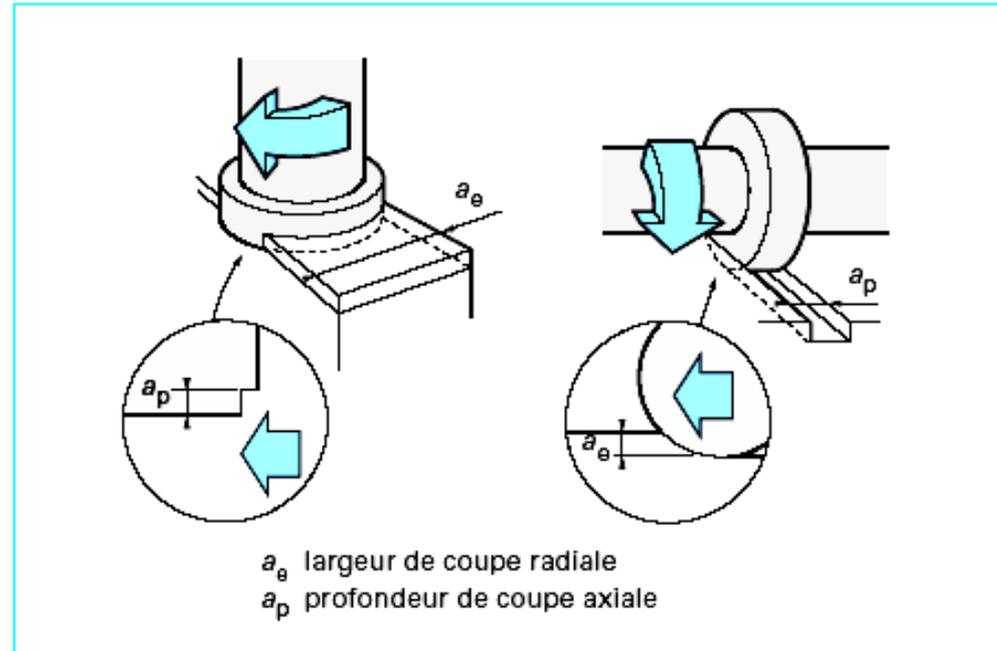
**g. La largeur de coupe ou profondeur de coupe radiale ( $a_e$ ) en surfacage et axiale ( $a_p$ )**

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

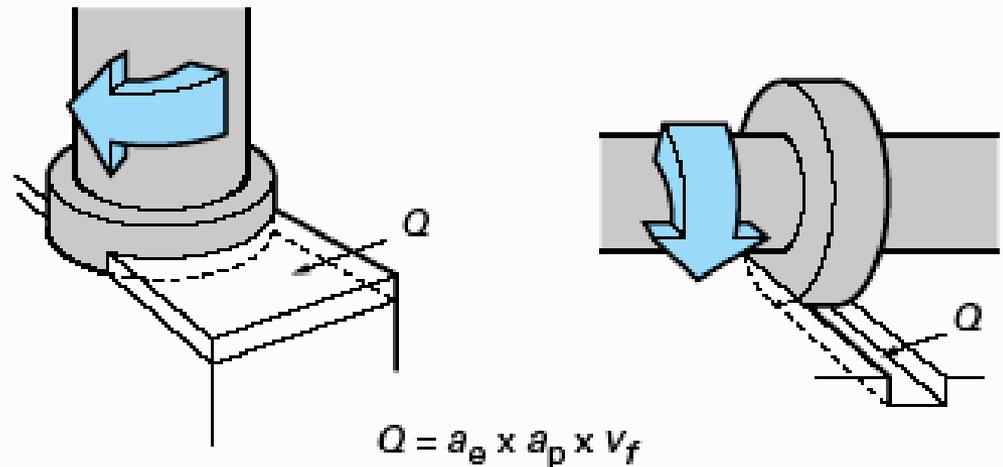
**h. Le volume de matière enlevée par unité de temps ( $Q$ ):**

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	$T = \frac{l}{fN}$

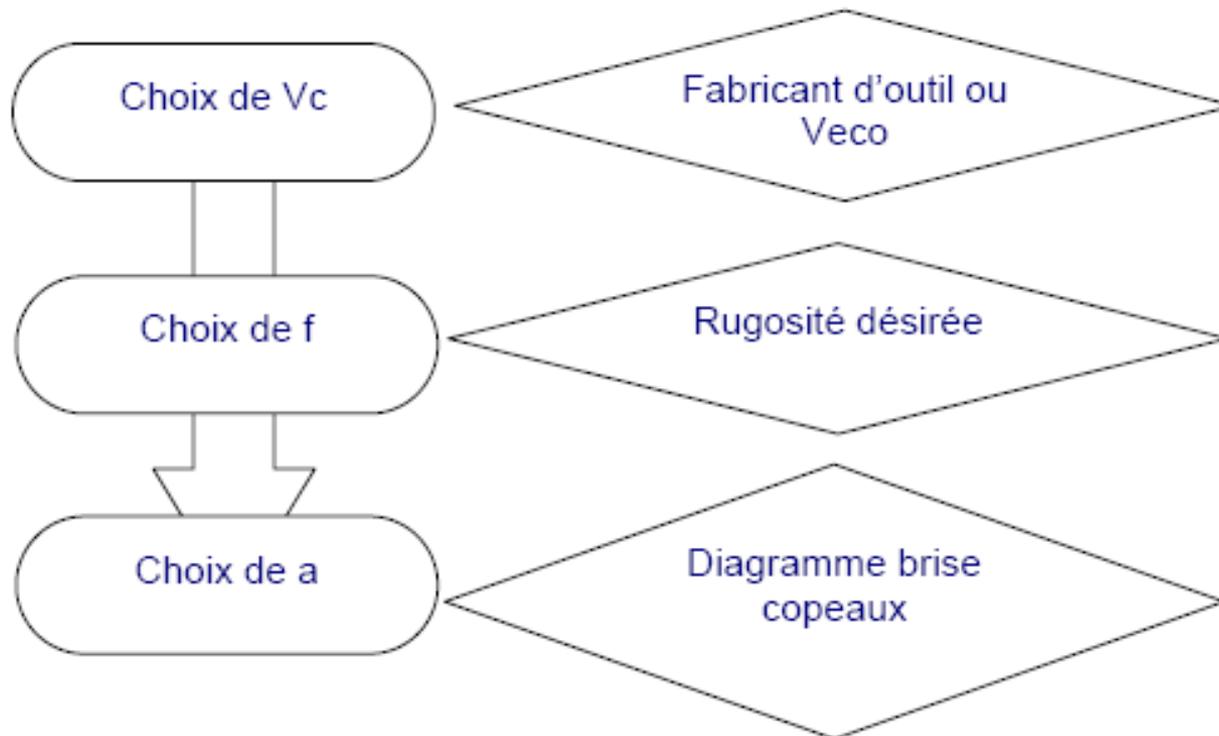
## Fraisage

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	$V_c = \frac{\pi DN}{1000}$
$f$	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	$T = \frac{l}{fnN}$

## 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.



### 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...

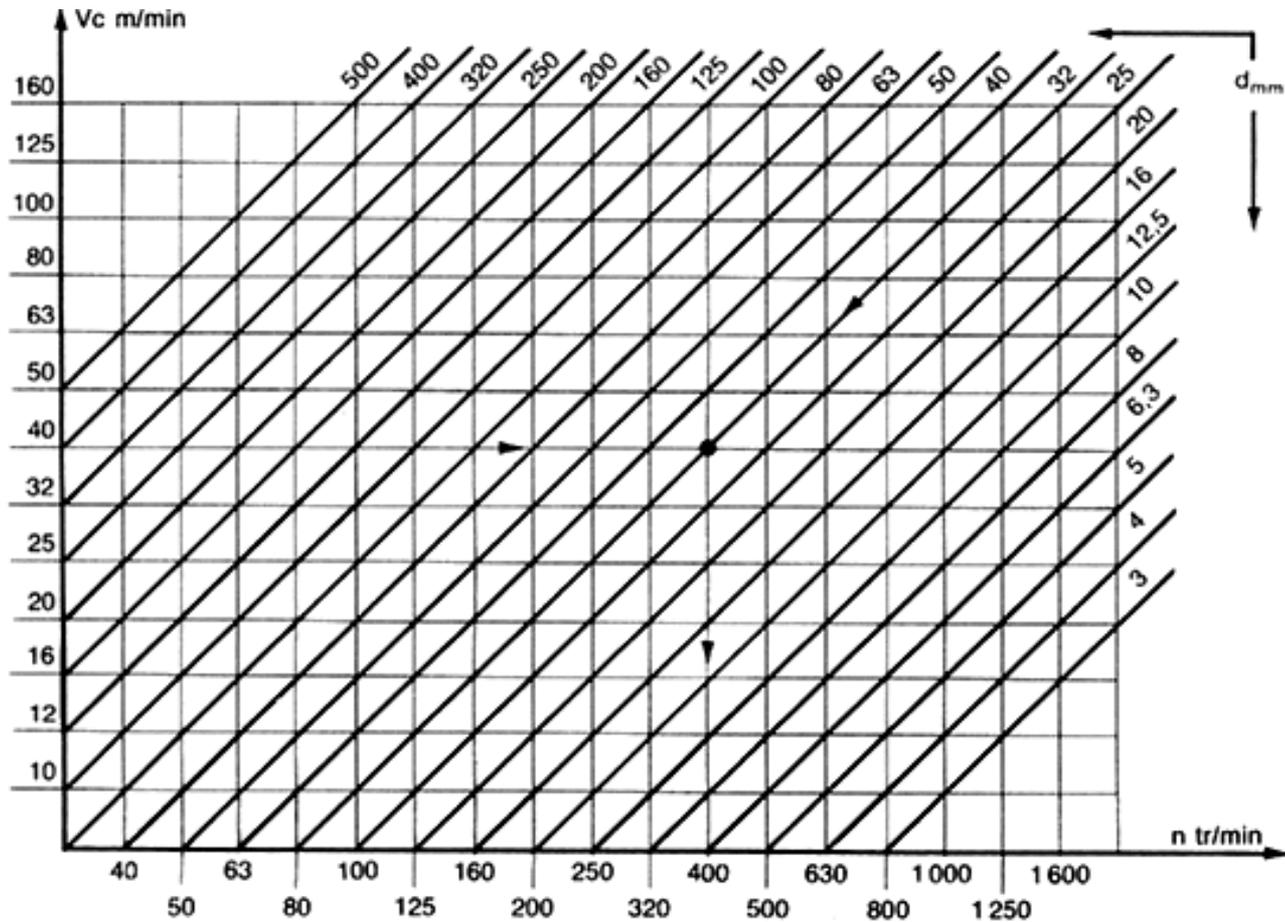
#### *Règles générales*

*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	
	$V_c$		$f_z$	$V_c$	$f_z$
	Ébrèche	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

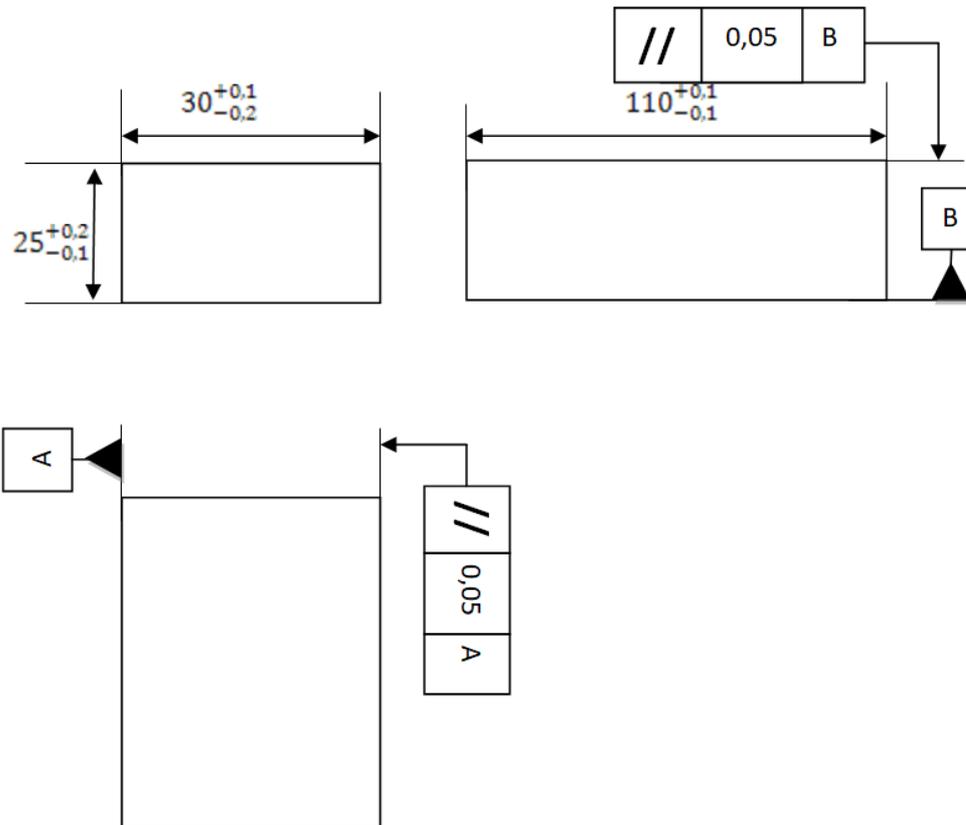
Matières	Rr MPa	Forets et alésoirs ARS						Tarauds A.R.S.				
		$\gamma$	Perçage			Alésage		Alésage		V60	Lubrifiant	
			V60 m/min	angle pointe	angle hélice	$\varnothing < 10$ f mm/tr	$\varnothing > 10$ f mm/tr	V60 m/min	a mm	f mm/tr	V60 m/min	
Acier S235	500	25°	25	135°	30°	0.025 $\Phi$	>0.05	12.5	>0.20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

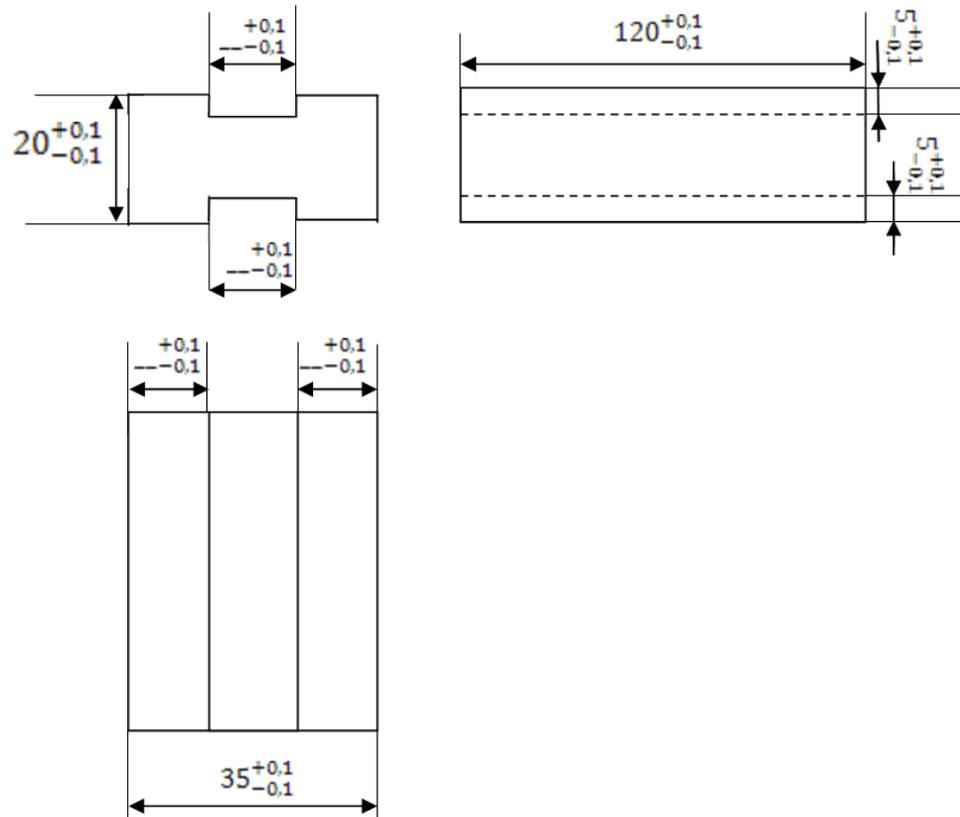


## Exercice 2

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

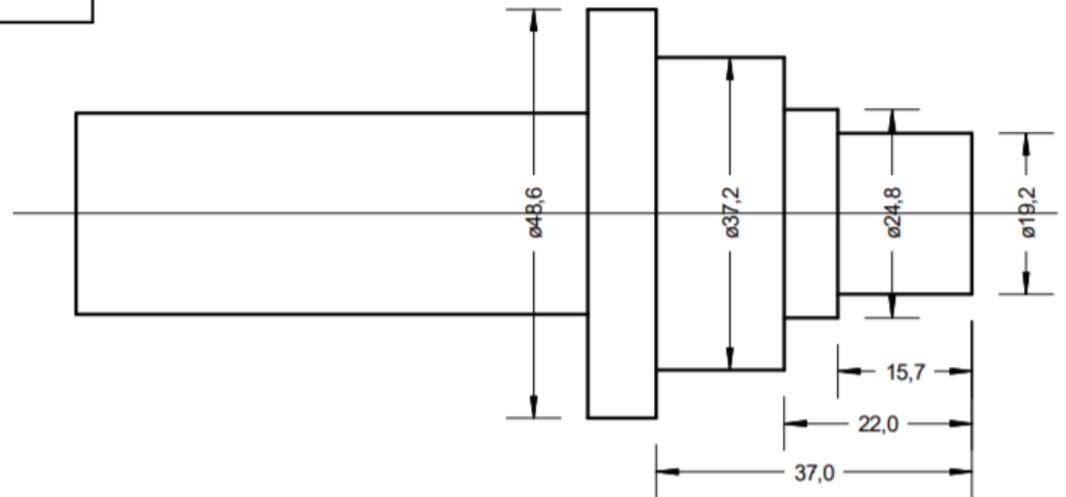
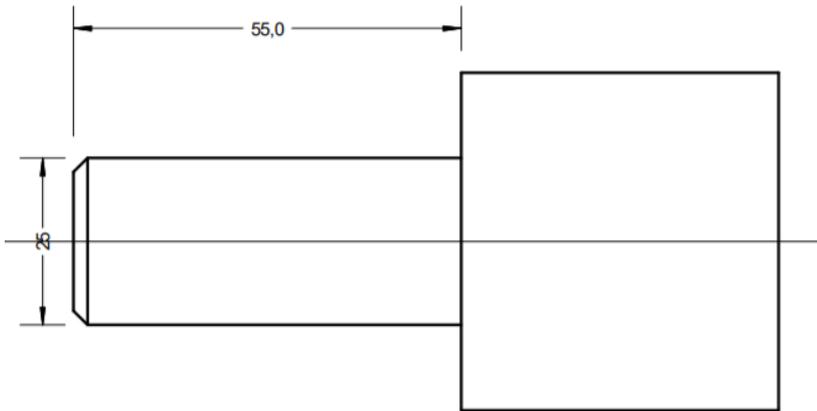
-Outils : Fraise ARS à Rainurer,

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



## Exercice 3

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



## Exercice 3

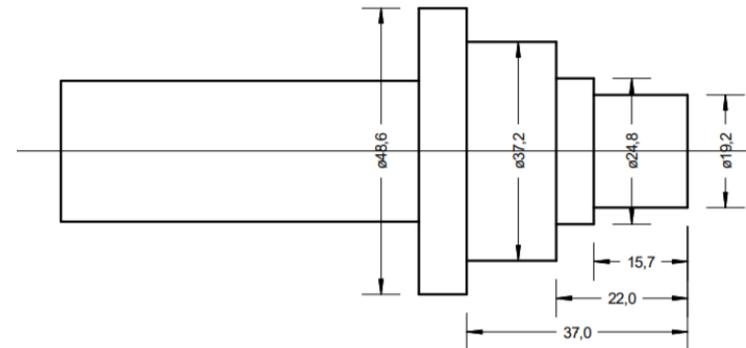
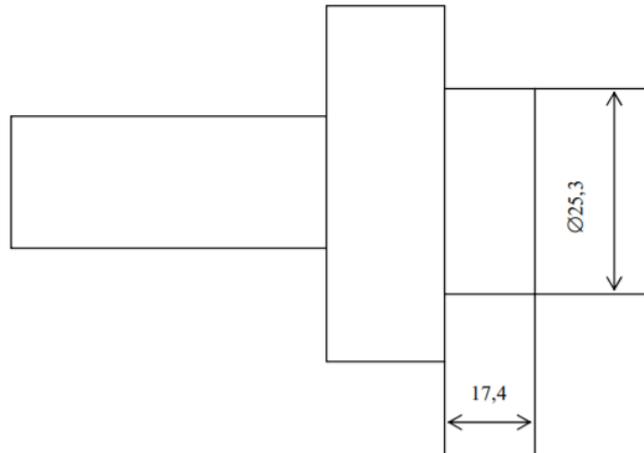
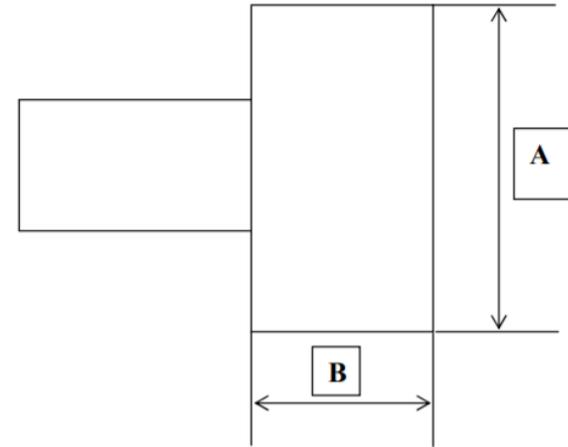
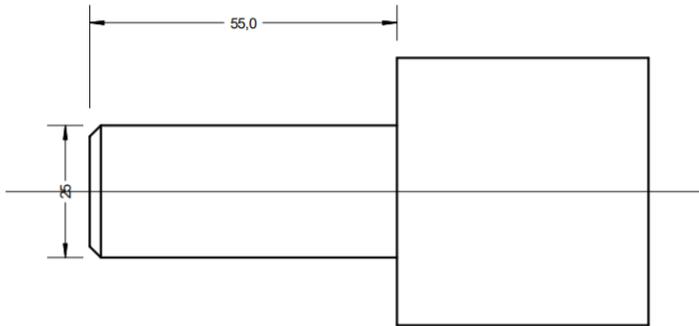
### Mode opératoire

- Mettre la pièce dans le mandrin.
  - Monter un outil couteau sur le porte outil.(Régler la hauteur)
  - Installer l'outil à la bonne hauteur
  - Régler les paramètres de coup
- Mettre en route la machine.
- Tangenter avec la pointe de l'outil sur la face de référence.
  - Mettre à zéro les verniers
  - Afficher une épaisseur de passe de l'outil (maxi :4mm)
  - Lubrifier et effectuer la passe.
  - Contrôler et rectifier si besoin.

NB : Ne pas sortir la pièce du mandrin avant la fin des passes

## Exercice 3

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



## PARTIE 2: ISOSTATISME

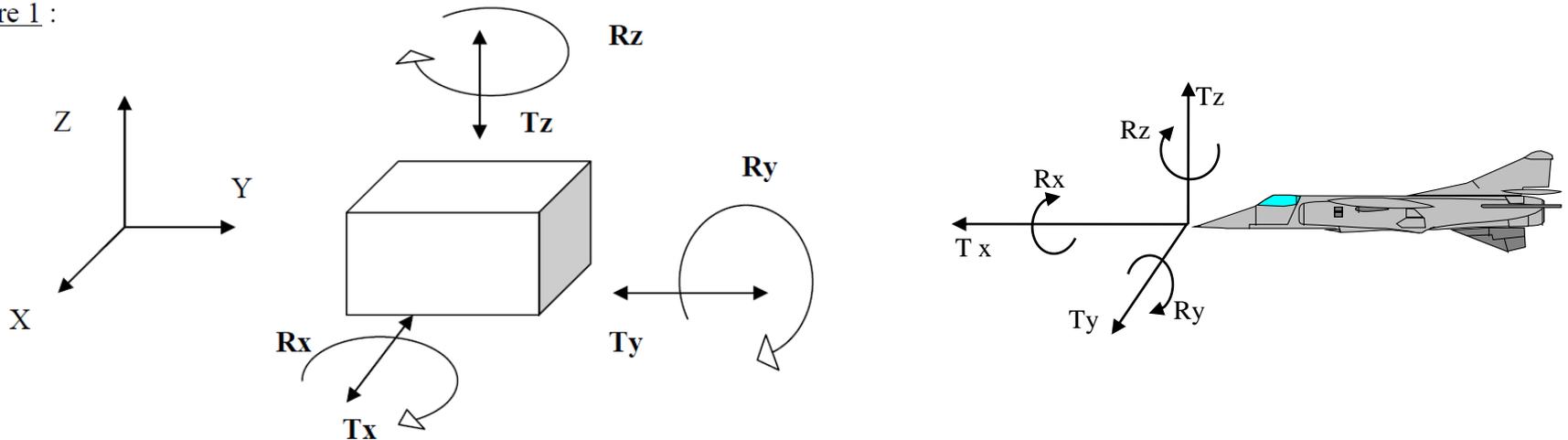
### 1) Degrés de liberté

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.**

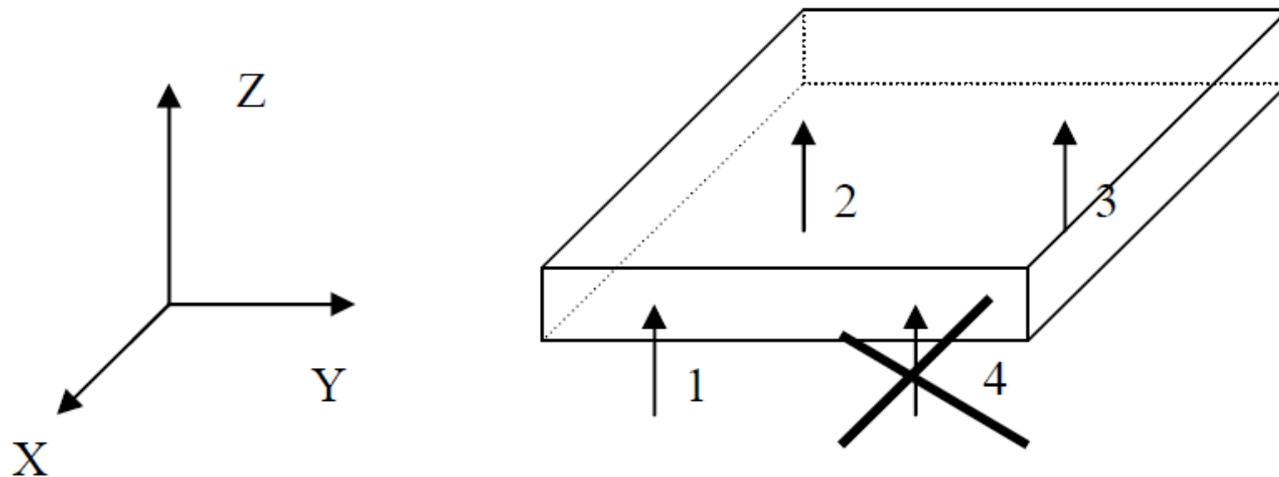
Remarque :

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

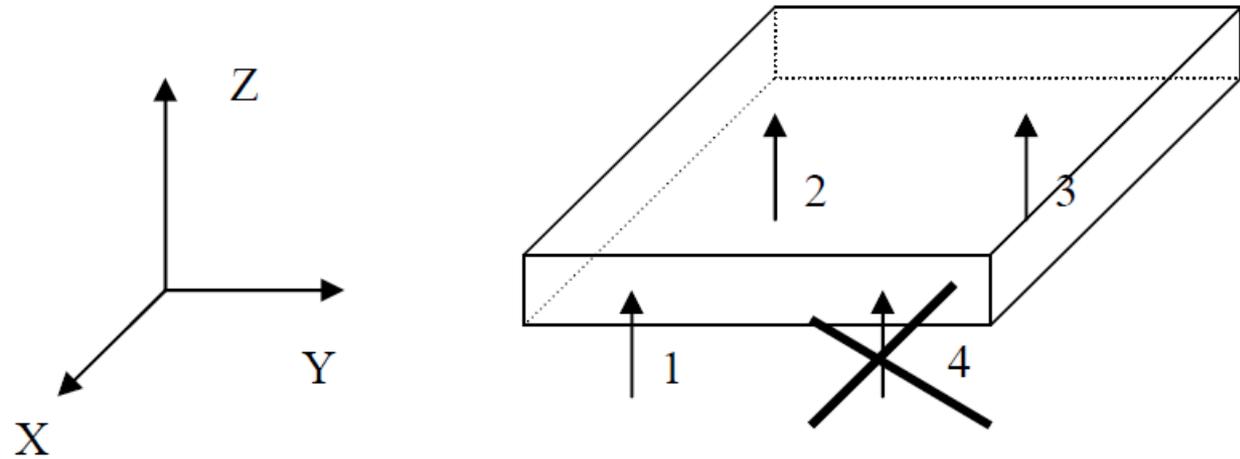
Sur la figure 2, chaque flèche (1, 2, 3 et 4) représente un appui ponctuel perpendiculaire à la surface. Le contact entre l'appui et la pièce est supposé sans frottement.

Figure 2 :



## 2) Isostatisme

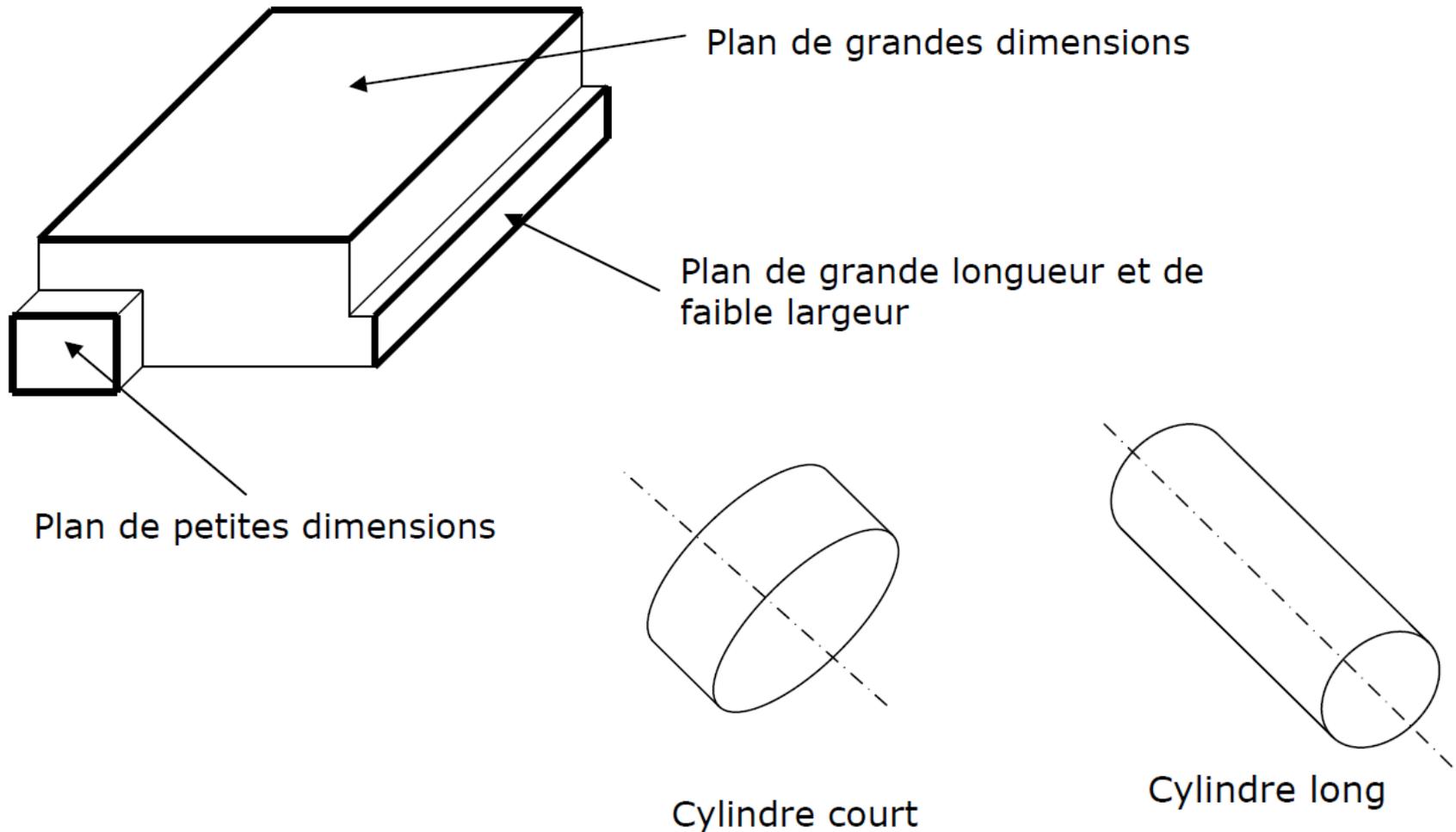
Figure 2 :



- Avec (le 1), on supprime un seul degré de liberté : **Tz**.
- Avec (1 et 2), on supprime 2 degrés de liberté : **Tz et Ry**.
- Avec (1, 2 et 3), on supprime 3 degrés de libertés : **Tz, Ry et Rx**.
- 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

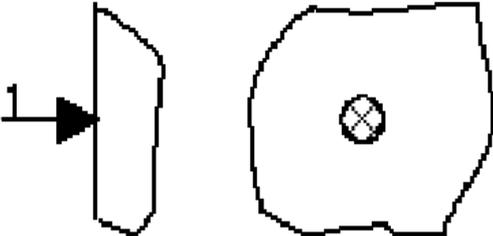
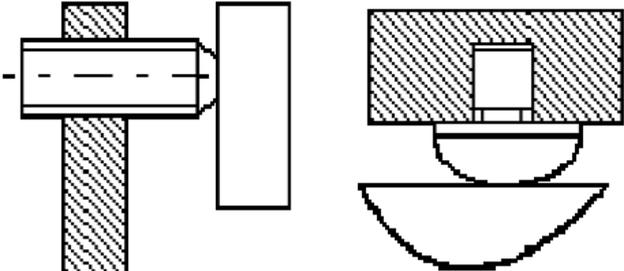
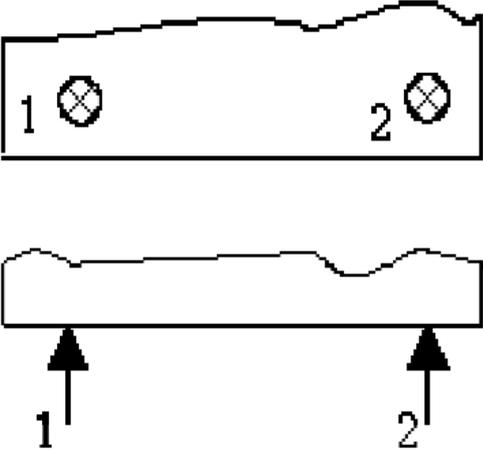
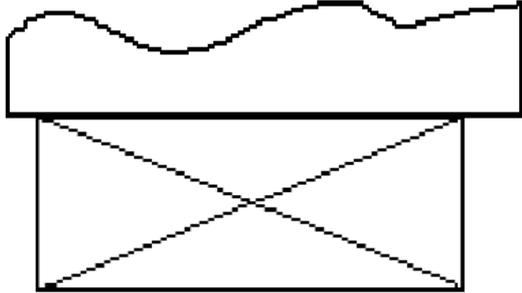
Nombre de degrés de liberté pouvant être supprimés par type de surface :

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

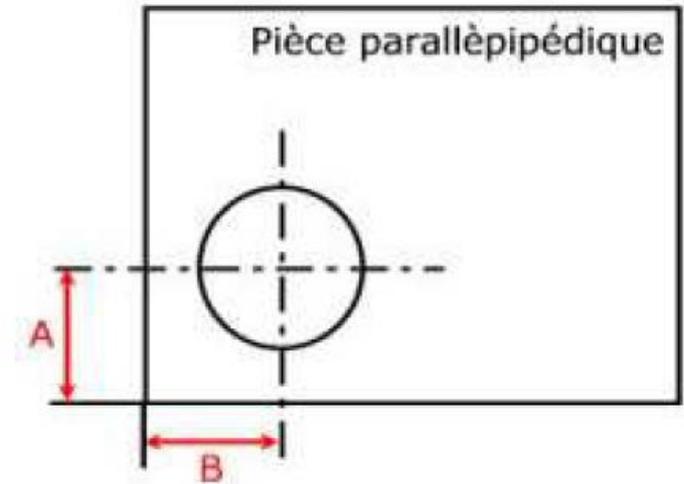
Nom	Représentation	Exemples
<p>Appui ponctuel :</p> <p>élimine 1 degré de liberté</p>		
<p>Liaison linéaire rectiligne :</p> <p>élimine 2 degrés de liberté</p>		

### 3) Liaisons utilisables

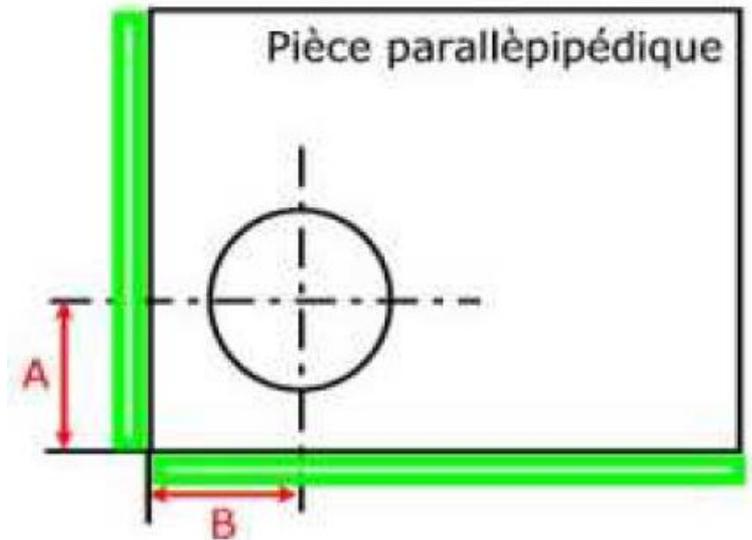
<p>Liaison linéaire annulaire :</p> <p>élimine 2 degrés de liberté</p>		<p><math>L &lt; 0.8</math></p>
<p>Appui</p> <p>élimine 3 degrés de liberté</p>		
<p>Liaison pivot Glissant</p> <p>élimine 4 degrés de liberté</p>		

## 4) Problématique

Sur une série de pièce parallélépipédique, il faut percer un trou respectant les cotes A et B.

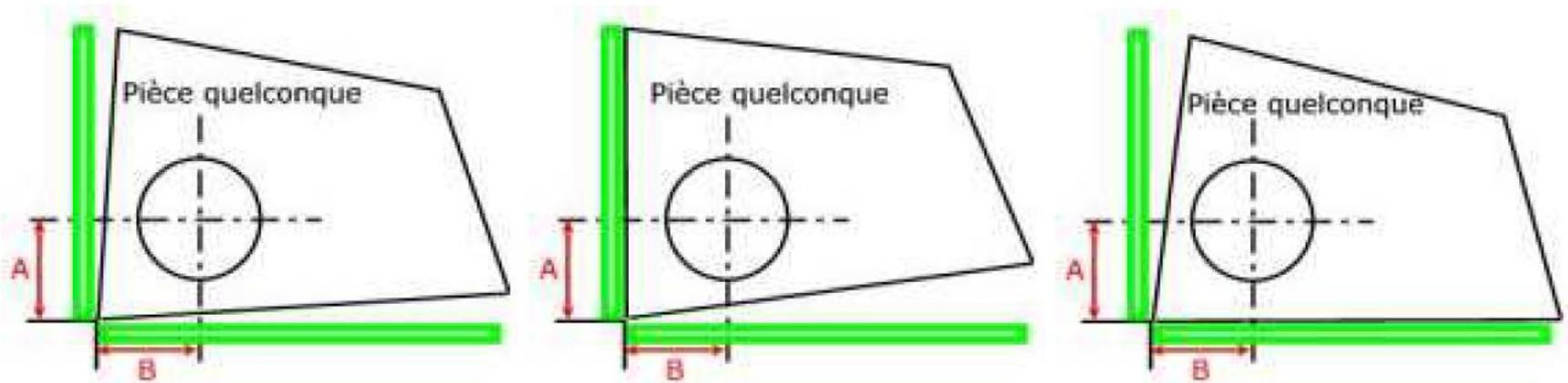


Pour réaliser le perçage il suffit de s'appuyer sur les surfaces de référence des cotes A et B.



## 4) Problématique

Mais les pièces ne sont pas toutes identiques, et pourront prendre différentes positions.



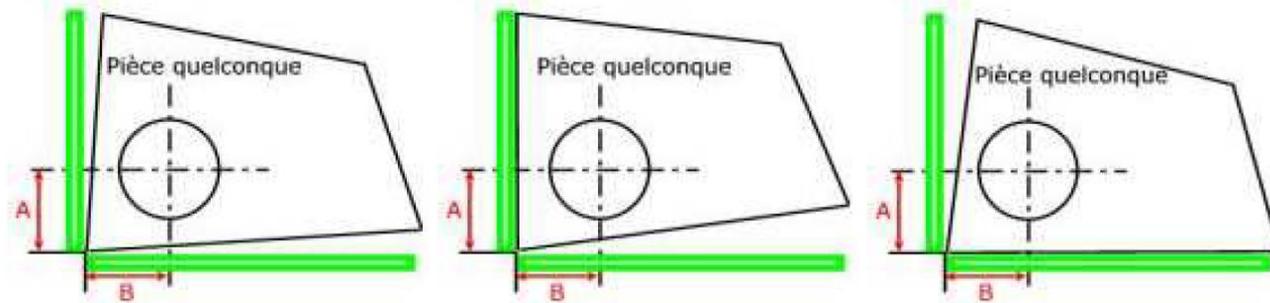
Les cotes A et B ne seront pas respectées.

Quelle mise en position permet d'avoir une mise en position de pièce **UNIQUE** ?

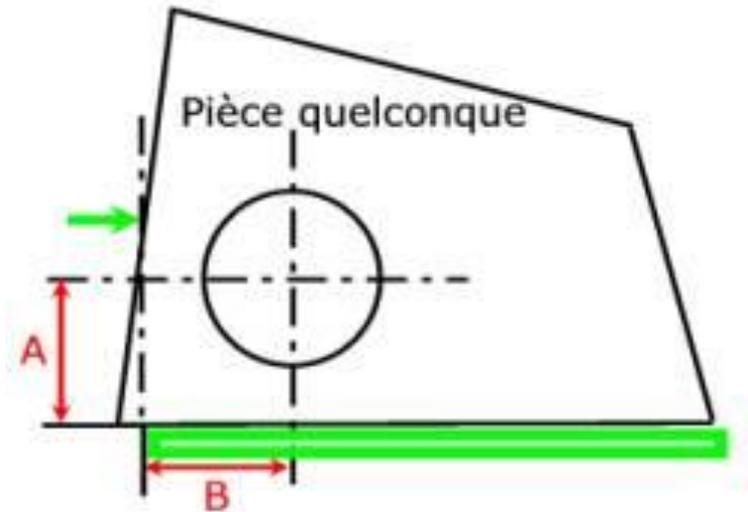
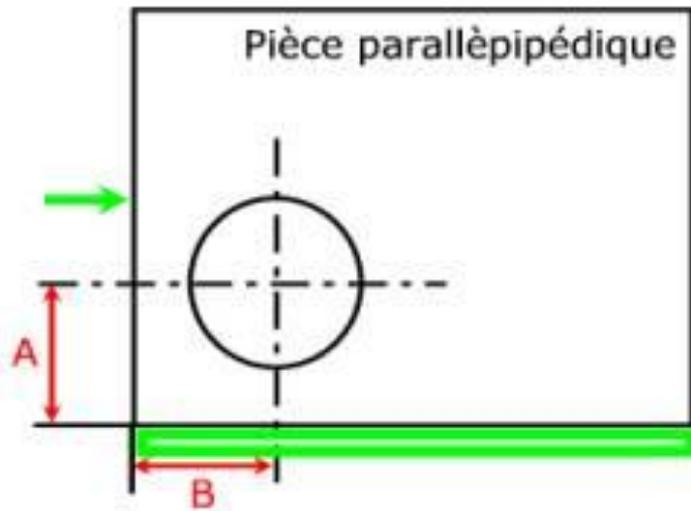
## 4) Problématique

- La pièce est en liaison appui plan avec la feuille, donc on supprime 3 degrés de liberté (1 translation  $T_z$  et 2 rotations  $R_x$   $R_y$ ).
- Il reste 3 degrés de liberté à éliminer.
- En s'appuyant sur les surfaces de référence des cotes A et B on supprime 2 translations ( $T_x$ ,  $T_y$ ), mais 2 fois le même degré de liberté ( $R_z$ ).
- **ATTENTION, on ne doit pas supprimer plusieurs fois le même degré de liberté.**

La mise en position est hyperstatique.



Un peu de réflexion nous amène à choisir la liaison ponctuelle et la liaison linéaire rectiligne placé sur les surfaces de référence.

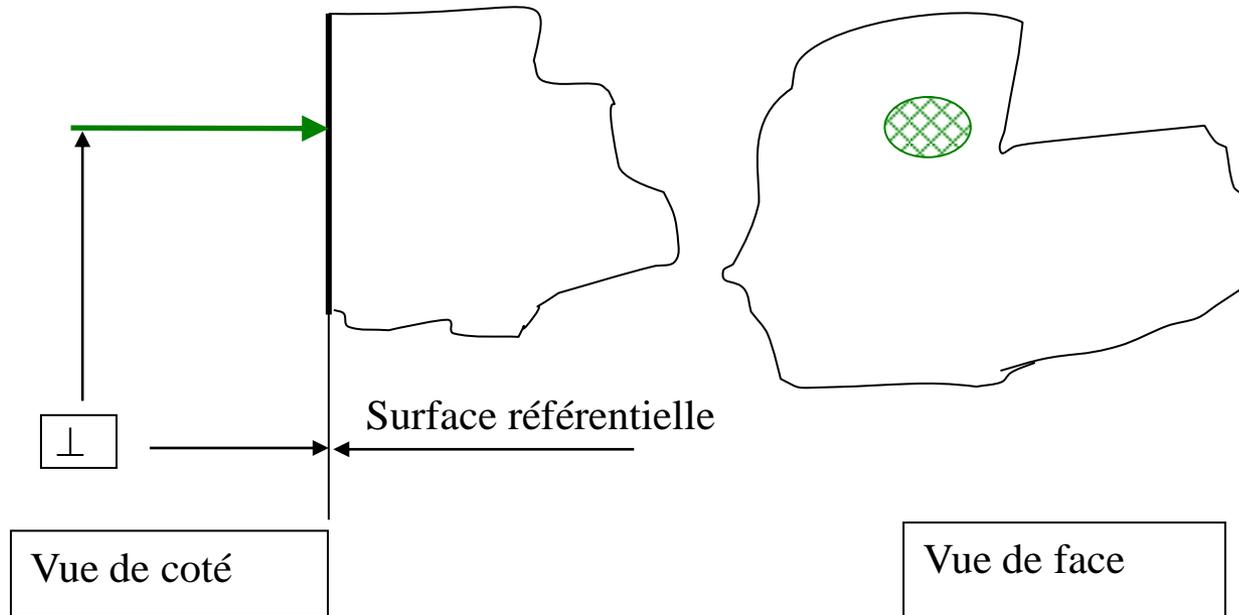


## 5) Principales règles d'utilisations

### 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.

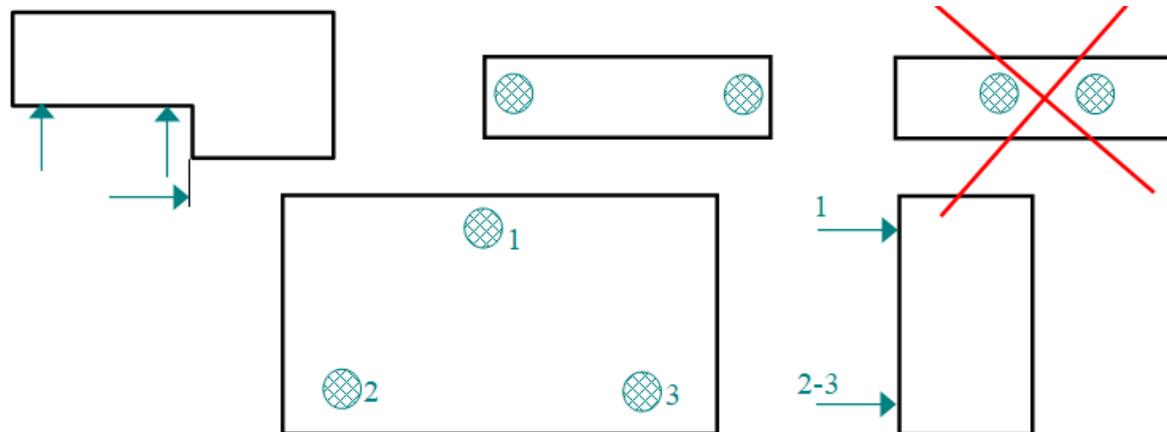


## 5) Principales règles d'utilisations

### 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.



## 5) Principales règles d'utilisations

### 3. Règle d'isostatisme

- a. Repérer sur les cotes et les spécifications à réaliser dans la phase.
- b. Placer les appuis sur les surfaces d'où partent les cotes (on appelle ces surfaces : surfaces de références).

**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).

## 5) Principales règles d'utilisations

### 3. Règle d'isostatisme

- c. Sauf indications particulières, placer le maximum d'appui sur la surface qui a la cote avec le plus petit intervalle de tolérance.
- d. Placer, chaque fois que cela est possible, le maximum d'appuis sur la plus grande surface de référence.
- e. Ne jamais opposer deux appuis sinon le positionnement est hyperstatique.
- f. Chaque fois que cela est possible, placer le plus grands nombres d'appuis opposés à l'effort de coupe.

## 5) Principales règles d'utilisations

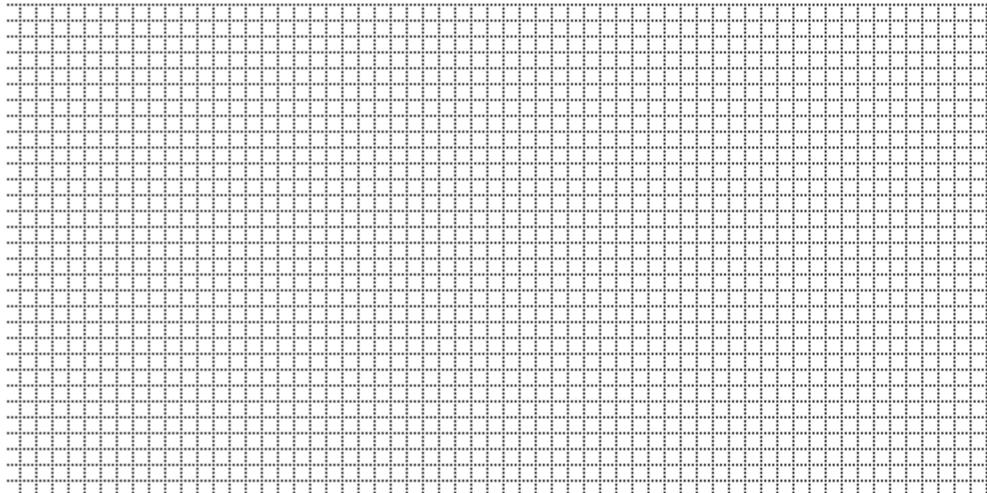
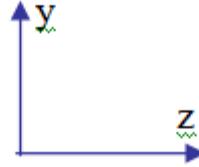
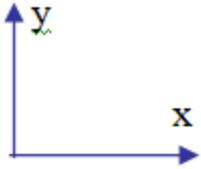
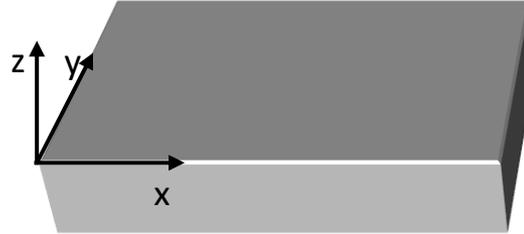
### 3. Règle d'isostatisme

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  $3*3=9$  degrés de liberté sur un total de 6 maximum.

# Exemples de mise en position.

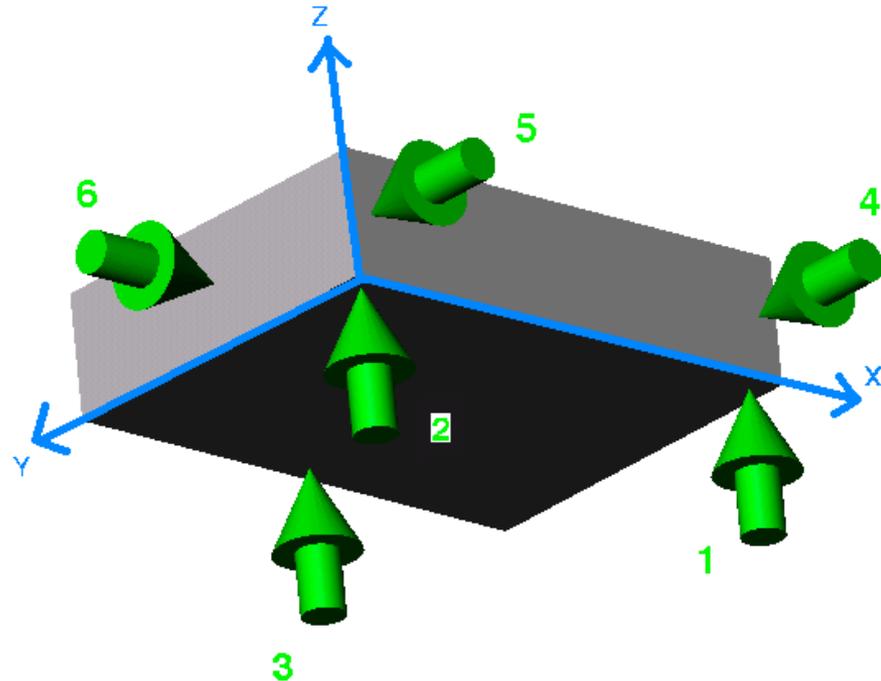
## Exemple I



pts	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz

# Mise en place des normales de repérage.

## Sur un parallélépipède

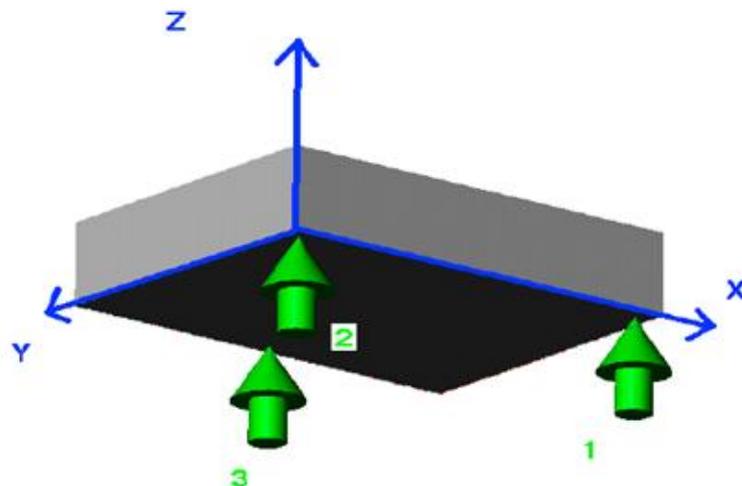


Il faut placer 6 normales de repérages créant ainsi un appui plan , un appui linéaire et un appui ponctuel.

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.

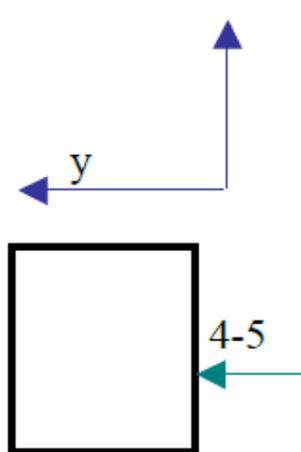
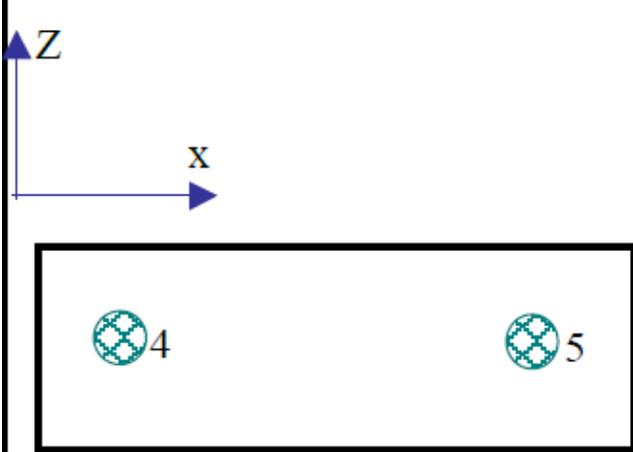
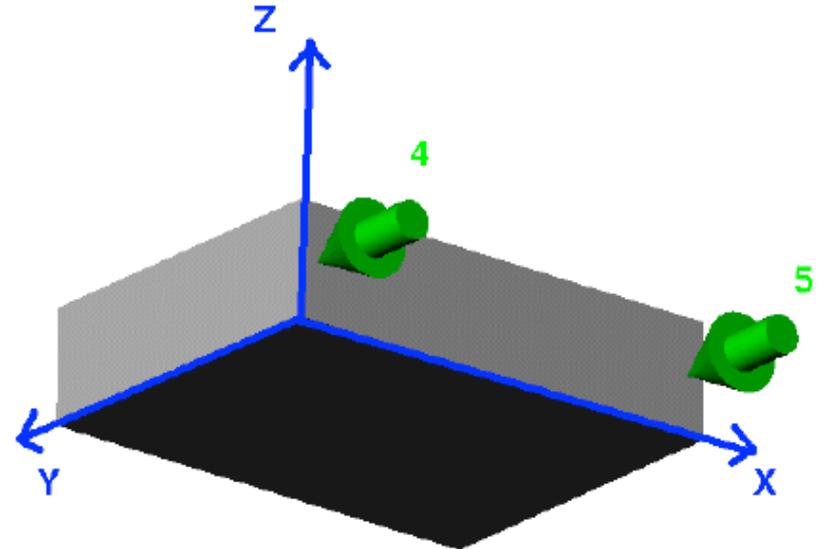
**REMARQUE :**

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



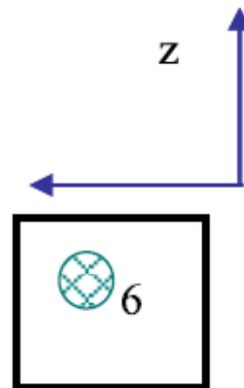
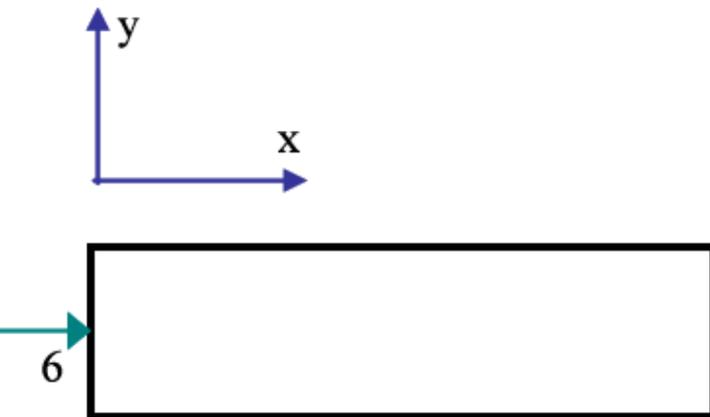
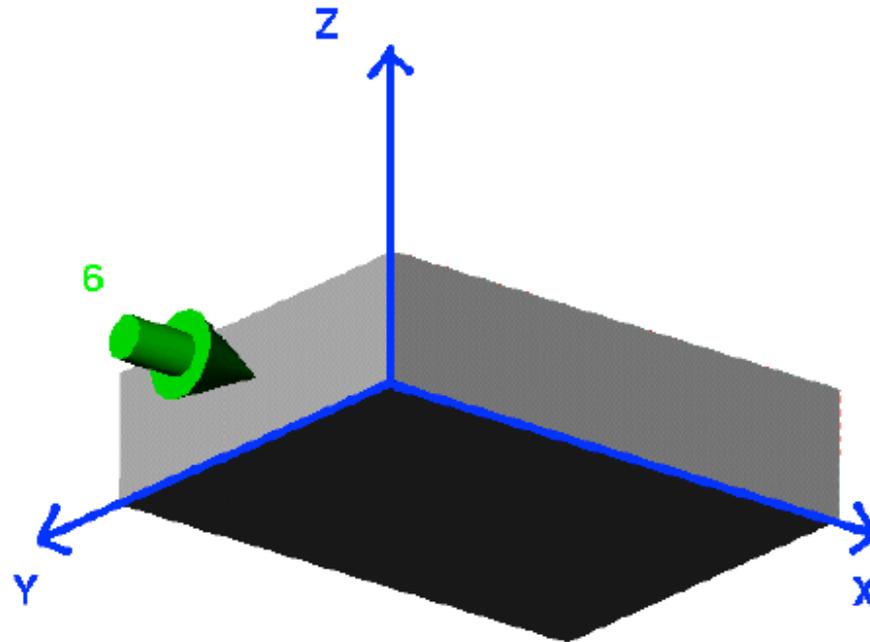
pts	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
1						
2						
3						

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



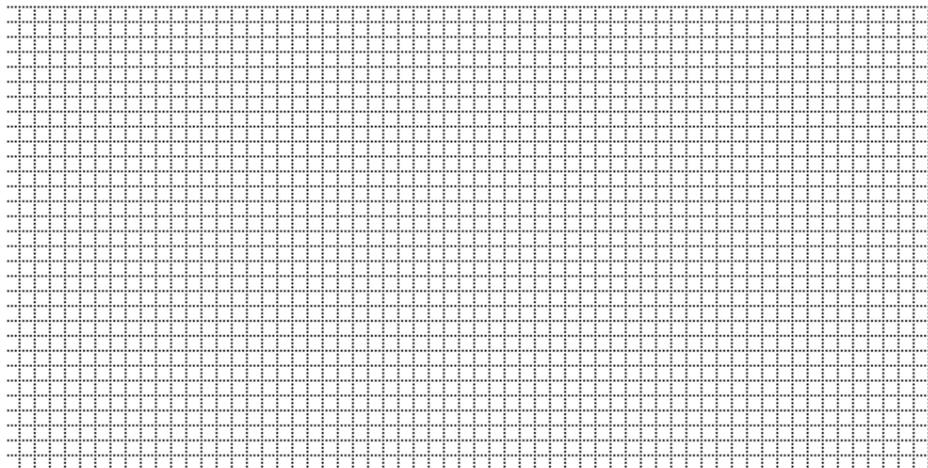
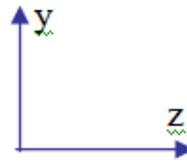
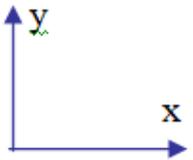
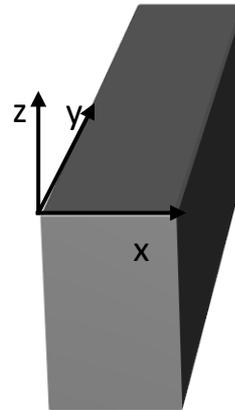
pts	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
4						
5						

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



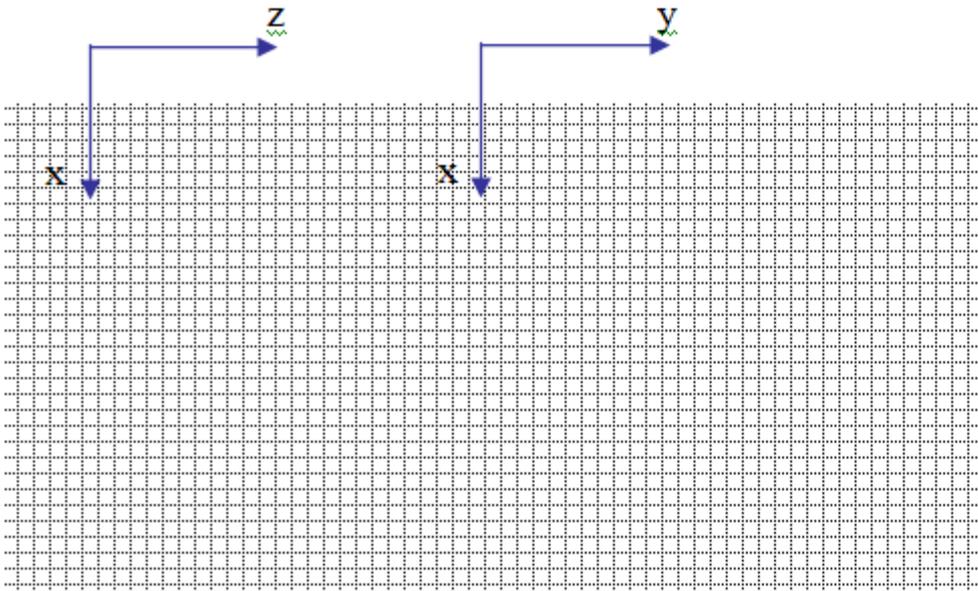
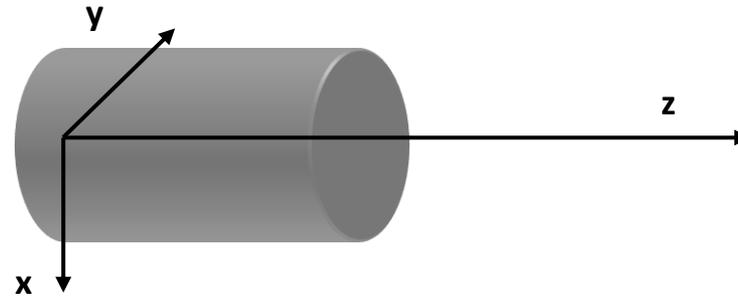
pts	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
6						

## Exemple 2



pts	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz

## Exemple 3



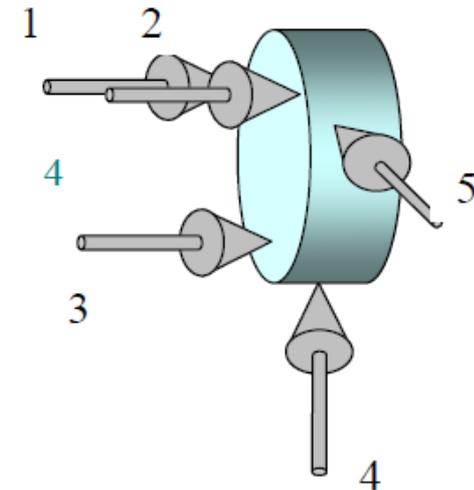
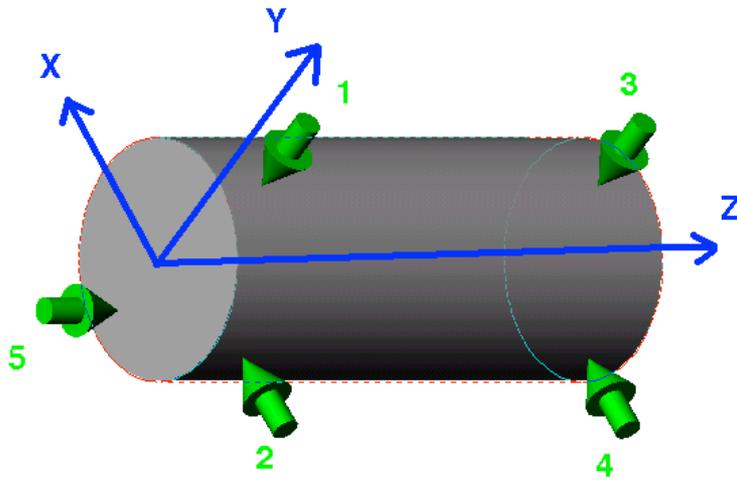
pts	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz

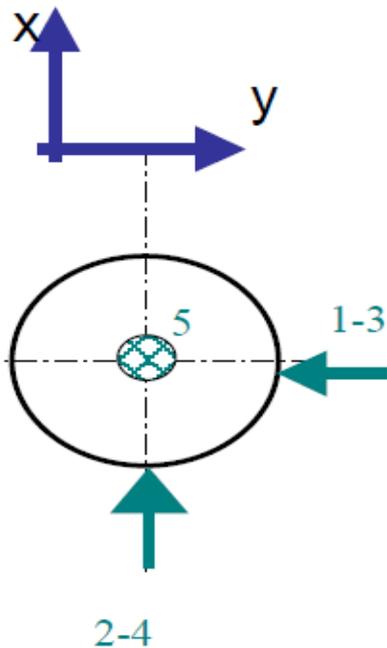
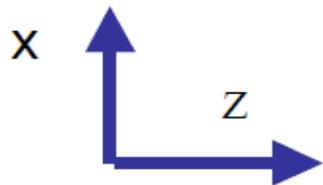
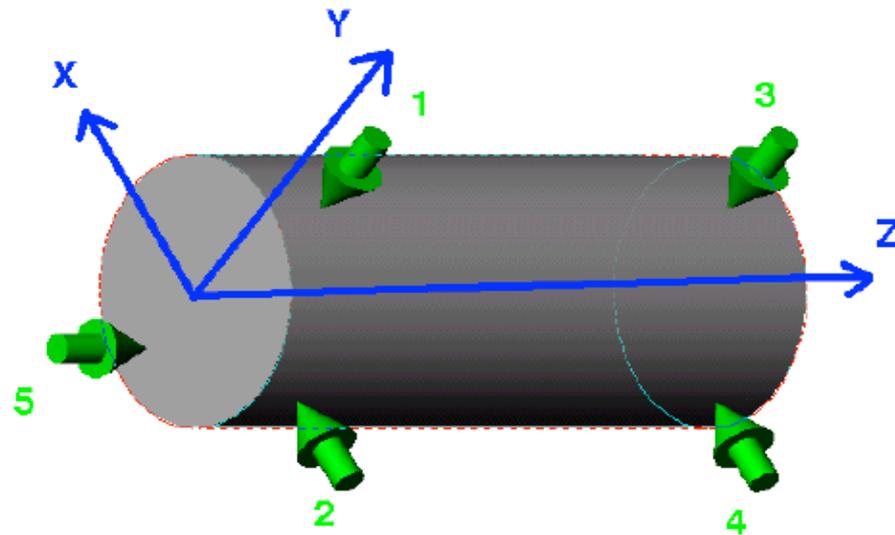
# Mise en place des normales de repérage.

## Sur un cylindre

Il faut placer 5 normales de repérage créant ainsi :

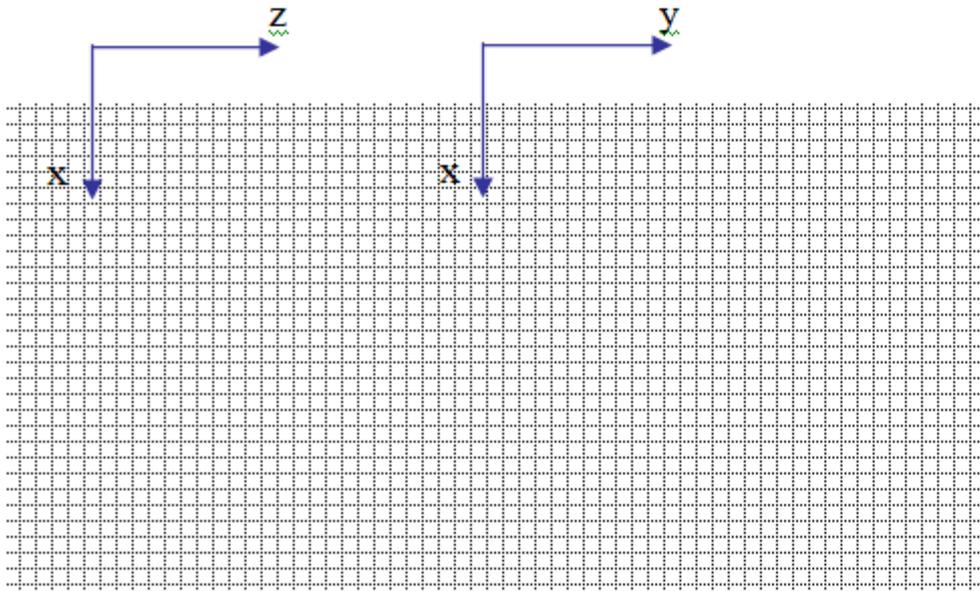
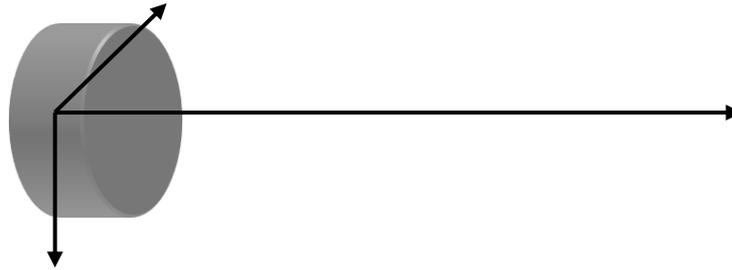
- Soit un centrage long et un appui ponctuel. (liaison pivot glissant + liaison ponctuelle)
- Soit un centrage court et un appui plan. (liaison linéaire annulaire + liaison appui plan)



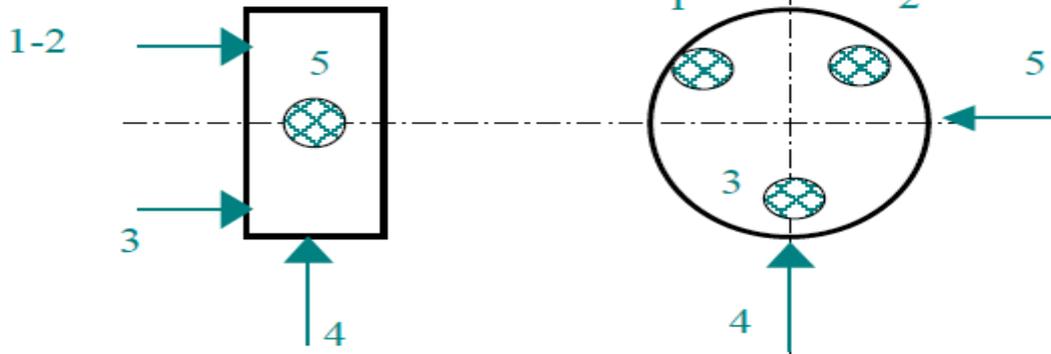
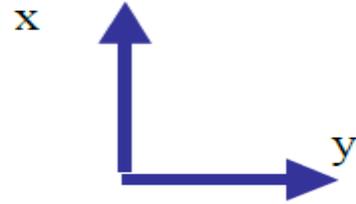
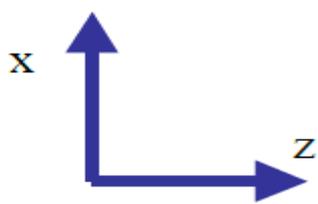
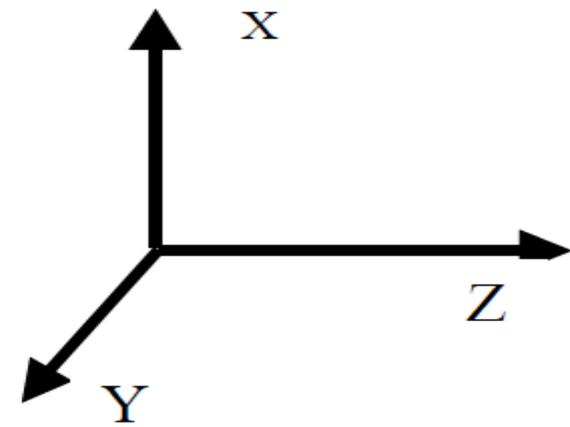
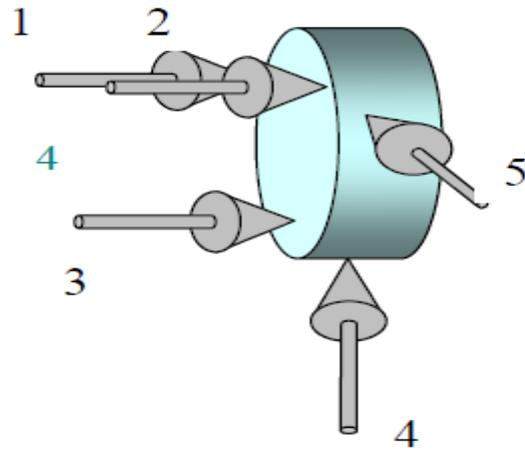


pts	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
1						
2						
3						
4						
5						

## Exemple 4

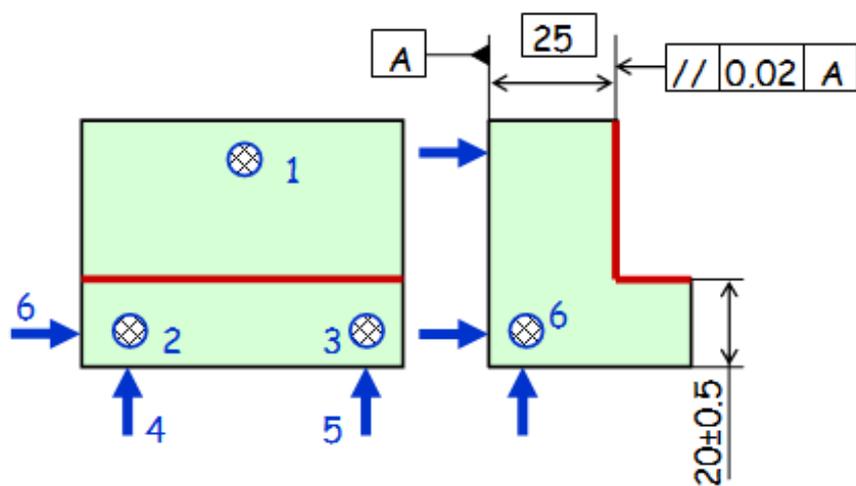


pts	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz



# Exercices: Fraisage

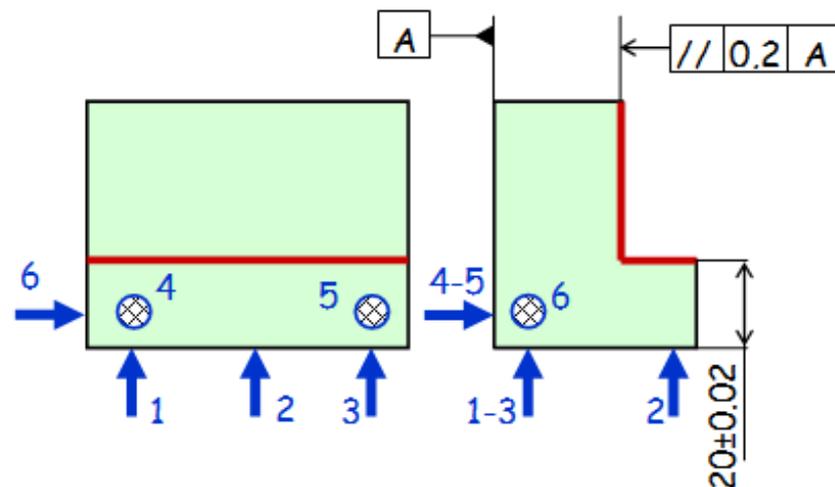
Proposer, pour chaque cas, la mise en position permettant de respecter la cotation.



Appui plan : respect    .

Linéaire rectiligne : respect

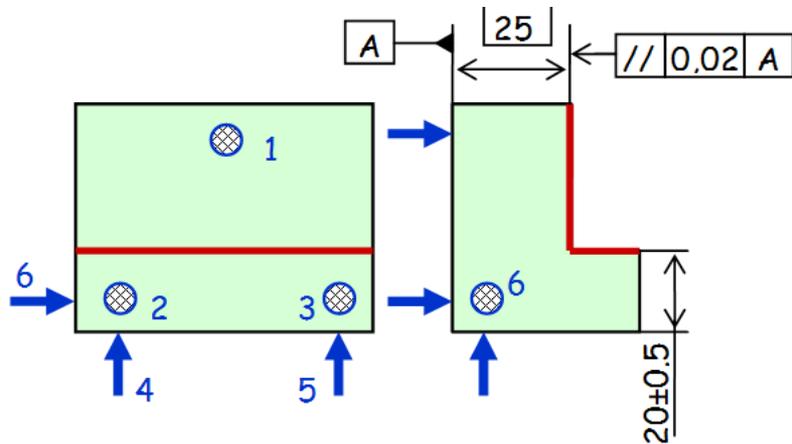
Butée :



Appui plan : respect    .

Linéaire rectiligne : respect    .

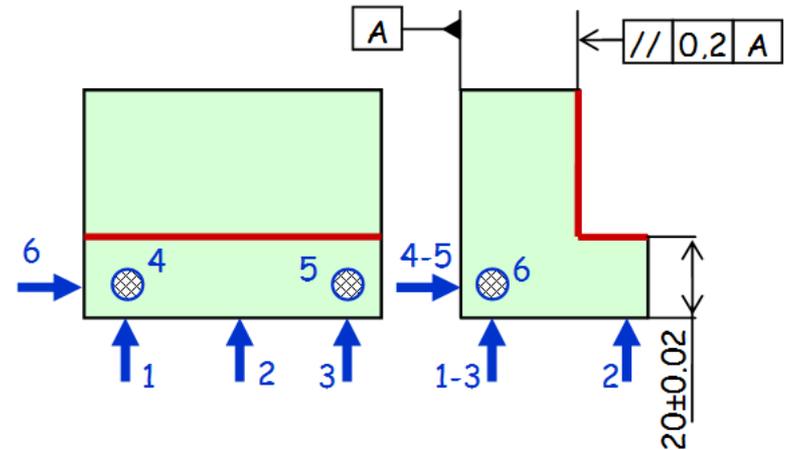
Butée :



Appui plan : respect  $\boxed{\text{/ } 0,0 \text{ A}}$  .

Linéaire rectiligne : respect  $20 \pm 0,5$ .

Butée : position unique de la pièce.



Appui plan : respect  $20 \pm 0,05$ .

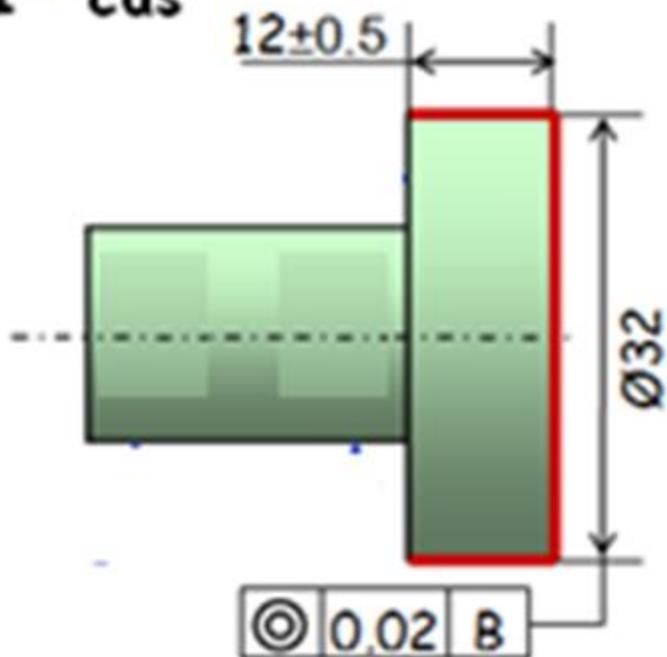
Linéaire rectiligne : respect  $\boxed{\text{/ } 0 \text{ A}}$  .

Butée : position unique de la pièce.

# Exercices: Tournage

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

1<sup>er</sup> cas

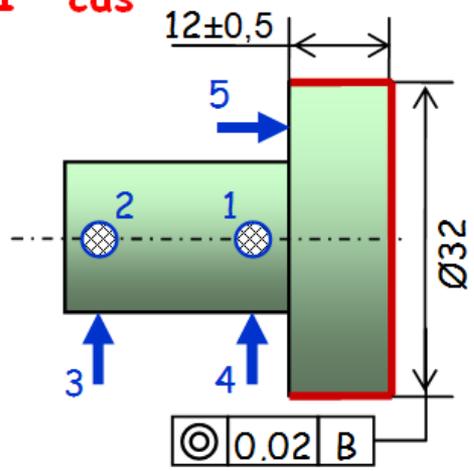


Centrage long : respect

Butée : respect

Arrêt en rotation :

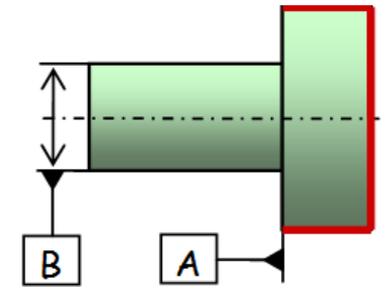
1<sup>er</sup> cas



Centrage long : respect  $\text{◎} 0,02 B$  .

Butée : respect  $12 \pm 0,5$ .

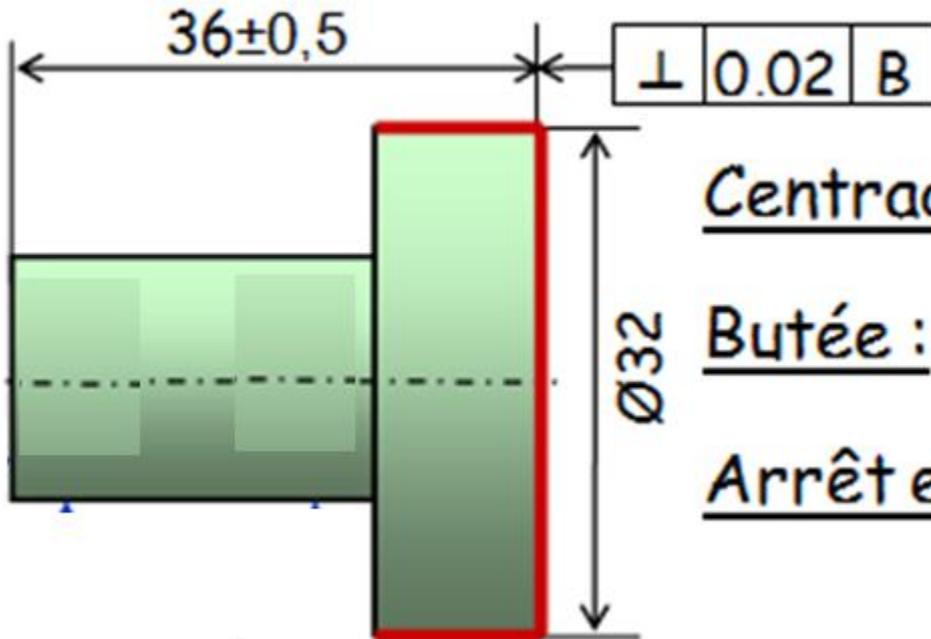
Arrêt en rotation : inutile, entraînement en rotation par adhérence.



# Exercices: Tournage

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

2<sup>ème</sup> cas

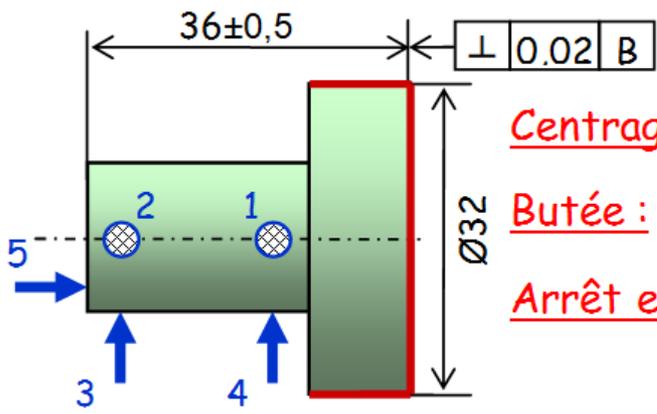


Centrage long : respect

Butée : respect

Arrêt en rotation :

2<sup>ème</sup> cas



Centrage long : respect  $\perp 0,02 B$  .

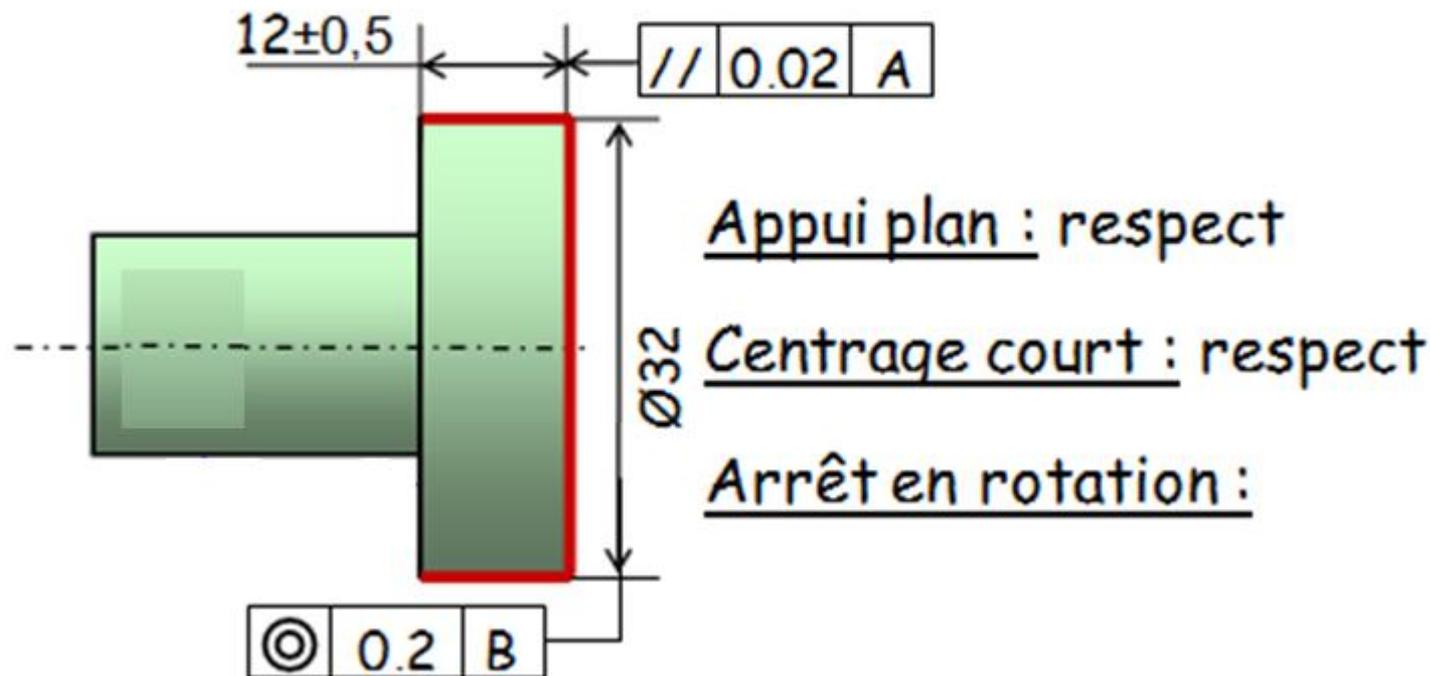
Butée : respect  $36\pm 0,5$ .

Arrêt en rotation : inutile, entraînement en rotation par adhérence.

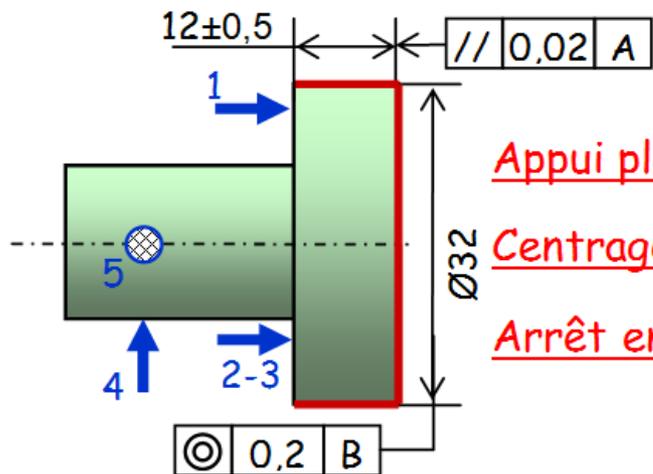
# Exercices: Tournage

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

3<sup>ème</sup> cas



### 3<sup>ème</sup> cas



Appui plan : respect  $// 0,02 A$  .

Centrage court : respect  $12 \pm 0,5$ .

Arrêt en rotation : inutile, entraînement en rotation par adhérence.

## 6. SYMBOLISATION DE L'ELIMINATION DES DEGRES DE LIBERTE

### OBJET

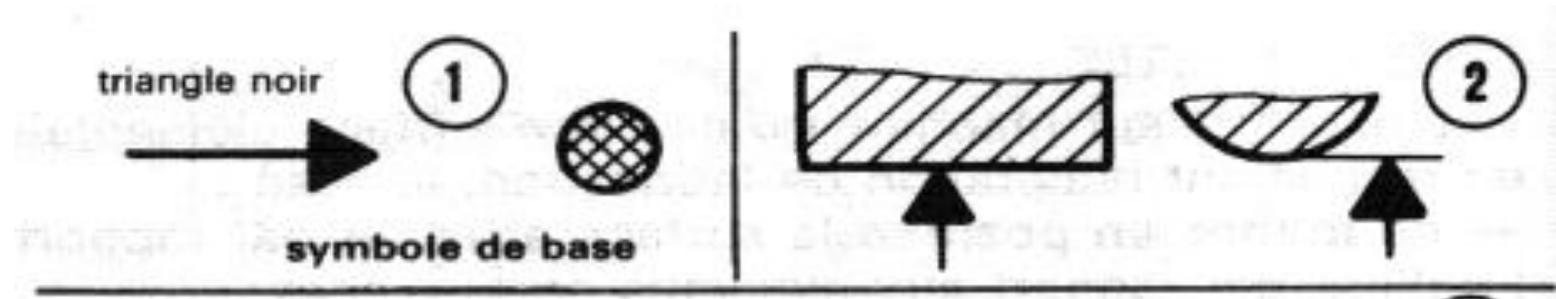
La première partie de la norme concerne la définition de la mise en position géométrique d'une pièce, dans une phase de transformation, de contrôle ou de manutention, en liaison avec la cotation de fabrication.

Elle est à appliquer lors de l'établissement des documents techniques au niveau des avant-projets et projets d'études de fabrication.

## SYMBOLE DE BASE

- Le symbole de base est représenté figure 1 (Il est noirci pour être mieux visualisé).
- Le symbole est placé sur la surface référentielle choisie ou sur une ligne d'attache du côté libre de matière (fig. 2).
- Le segment de droite est normal à la surface considérée.

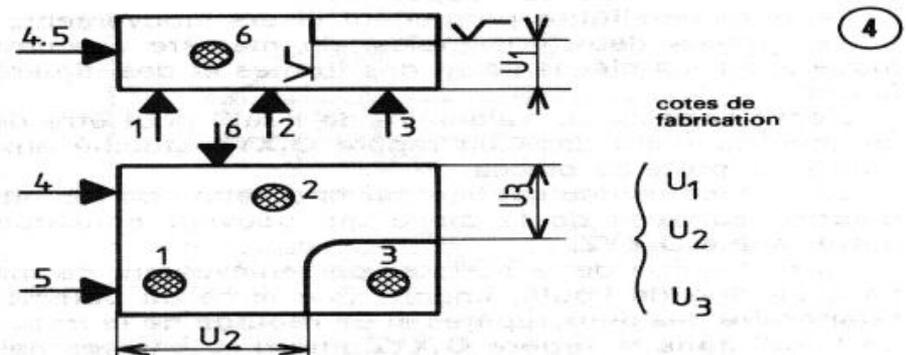
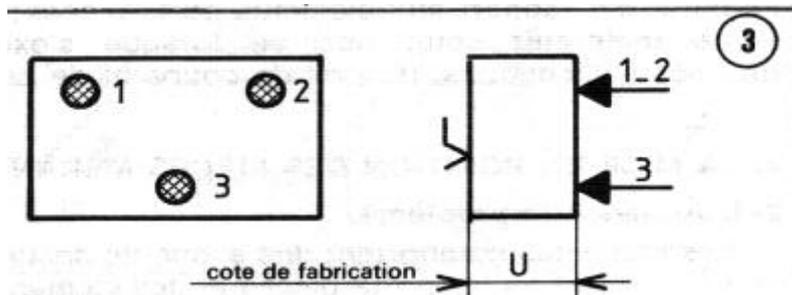
**NB: Si nécessaire, le symbole peut être projeté sous forme d'une surface quadrillée délimitée par un trait fin (cercle) voir figure 1.**



# PRINCIPES D'UTILISATION

- Le symbole de base indique l'élimination d'un degré de liberté.
- Chaque surface référentielle choisie reçoit autant de symboles qu'elle doit éliminer de degrés de liberté (figures 3 et 4).
- Chaque pièce reçoit un maximum de six symboles de base dont la disposition doit satisfaire aux règles de l'isostatisme (figure 4).
- Il est recommandé de les affecter d'un numéro repère de 1 à 6 disposé à côté du symbole.

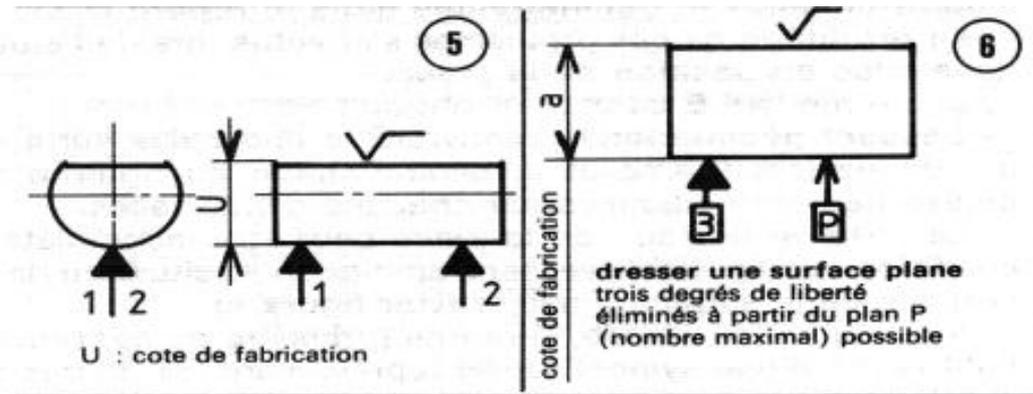
**NB : La position et le nombre de symboles de base se déduisent de la cotation de fabrication (origine d'une ou plusieurs cotes d'usinage) (figures 3, 4).**



# RECOMMANDATIONS

Il est recommandé :

- De limiter le nombre de symboles on fonction des cotes de fabrication à réaliser dans la phase (fig. 5);
- De simplifier la représentation en inscrivant dans un carré le nombre de degrés de liberté s'il n'y a pas plusieurs interprétations possibles comme le montre la figure 6.
- En aucun cas, les deux types de symboles (flèche seule ou flèche avec carré) ne doivent être utilisés simultanément sur le même document.



## COMMENTAIRES PARTICULIERS

- Les croquis de phase des avant-projets d'étude de fabrication ne doivent pas comporter de symbole de Serrage
- Une mise en position géométrique peut être concrétisée par diverses combinaisons d'éléments technologiques.
- Les symboles de base peuvent être associés à un système d'axes de coordonnées.
- La position du symbole sur la surface choisie n'est pas nécessairement celle de l'élément technologique qui élimine le degré de liberté.

## 7. SYMBOLISATION DES ÉLÉMENTS TECHNOLOGIQUES

### OBJET

La 2<sup>ème</sup> partie de la norme définit les symboles représentant les dessins de phase, les éléments d'appui et les éléments de maintien des pièces au cours des opérations auxquelles elles sont soumises lors de leur fabrication, leur contrôle et leur manutention.

### DOMAINE D'APPLICATION

Les symboles proposés sont utilisés pour l'établissement documents techniques concernés par la réalisation matérielle d'une pièce.

# PRINCIPE D'ÉTABLISSEMENT DES SYMBOLES

Chaque symbole est construit à l'aide d'un certain nombre de symboles élémentaires additifs dont le rôle est de préciser :

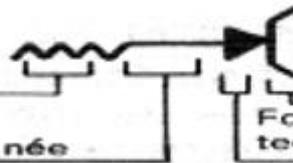
- la nature du contact avec la surface (fig. 1),
- la fonction de l'élément technologique (fig. 2),
- la nature de la surface de contact de la pièce (brute ou usinée) (fig. 3),
- le type de technologie de l'élément (fig. 4).



## Composition d'un symbole

Type de technologie  
(soutien réversible)

Nature de la surface usinée



Nature du contact avec  
la surface (cuvette)

Fonction de l'élément  
technologique (départ de cotation)

# ① - Nature du contact avec la pièce

				
Contact ponctuel	Touche plate	Contact strié	Pointe fixe	Pointe tournante
				
Touche dégagée	Cuvette	Vé	Palonnier	Orienteur

## Symboles indiquant la nature du contact avec la surface

Nature du contact	Symb	Nature du contact	Symb	Nature du contact	Symb
Touche plate		Pointe fixe		Touche dégagée	
Touche striée		Pointe tournante		Cuvette	
Touche bombée		Palonnier		Vé	

## ② - Fonction de l'élément technologique

Fonction			Symbolisation frontale	Symbolisation projetée
<b>MIP</b>	Mise en position rigoureuse	Appui		
	Centrage	Centreur complet		
		Centreur dégagé (locating)		
<b>MAP</b>	Immobilisation de la pièce	Serrage		

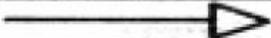
Symboles représentant les fonctions des éléments technologiques

②

Fonction	Symbole	Représentation projetée
Mise en position rigoureuse		appui   Centreur complet   Dégagé
Départ de cotation	Triangle noir	
Maintien en position		
Prépositionnement		
Opposition aux déformations ou aux vibrations	Triangle blanc	

### ③ - Nature de la surface de la pièce

Surface usinée (1 trait)	
Surface brute (2 traits)	

<b>Symboles indiquant la nature de contact de la pièce</b>				<b>③</b>
<b>Nature du contact</b>	<b>Symbole</b>			
Surface usinée		un seul trait		
Surface brute		deux traits		

④ - Type de technologie		
Appui fixe		
Centrage fixe		
Système à serrage		
Système à serrage concentrique		
Système à réglage irréversible		
Système de soutien réversible		
Centrage réversible		

Symboles des types de technologie des éléments		④
Type de technologie	Symbole	
Appui fixe		
Centrage fixe		
Système à serrage		
Système à serrage concentrique		
Système de soutien irréversible		
Système de soutien réversible		

Fonction	Symbole	Projection
Mise en position rigoureuse Départ de cotation		
Maintien en position Prépositionnement Soutien		

Type de technologie	Exemples
Appui fixe	
Centrage fixe	
Système à serrage	
Système à serrage concentrique	
Système de soutien irréversible	
Système de soutien réversible	
Centrage réversible	

Nature du contact	Symbole	Nature du contact	Symbole
contact strié		contact dégagé	
ponctuel		cuvette	
surfacique		vé	
pointe fixe		orienteur	
pointe tournante		palonnier	

Nature de la surface	Symbole
Surface usinée	
Surface brute	

Dispositif et fonction	Symbole
Contact surfacique fixe de départ de cote sur une surface usinée	
Mors striés à serrage concentrique flottant utilisés comme entraîneurs sur une surface brute	
Contact ponctuel fixe de départ de cote sur une surface brute	
Contact dégagé fixe de départ de cote sur une surface brute	
Cuvette de départ de cote sur une surface usinée	
Pointe fixe de départ de cote sur une surface usinée	
Pointe tournante de poupée mobile de maintien en position	
Palonnier de bridage possédant des mors striés, sur une surface brute	
Vé fixe de départ de cote sur une surface usinée	
Orienteur de départ de cote angulaire à contacts ponctuels sur une surface usinée	

# Exemple de symbole composés

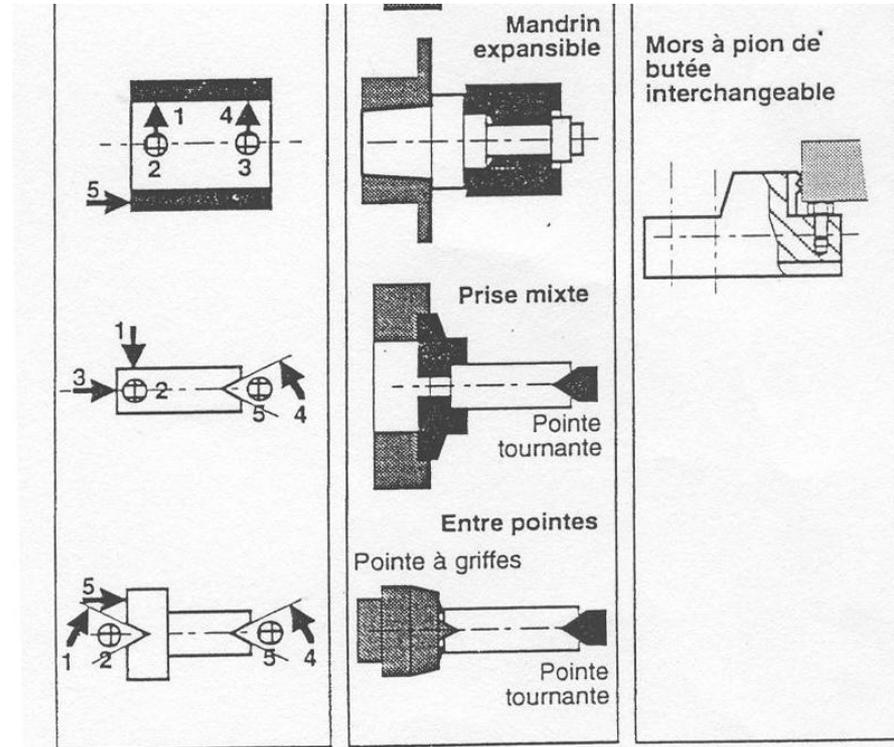
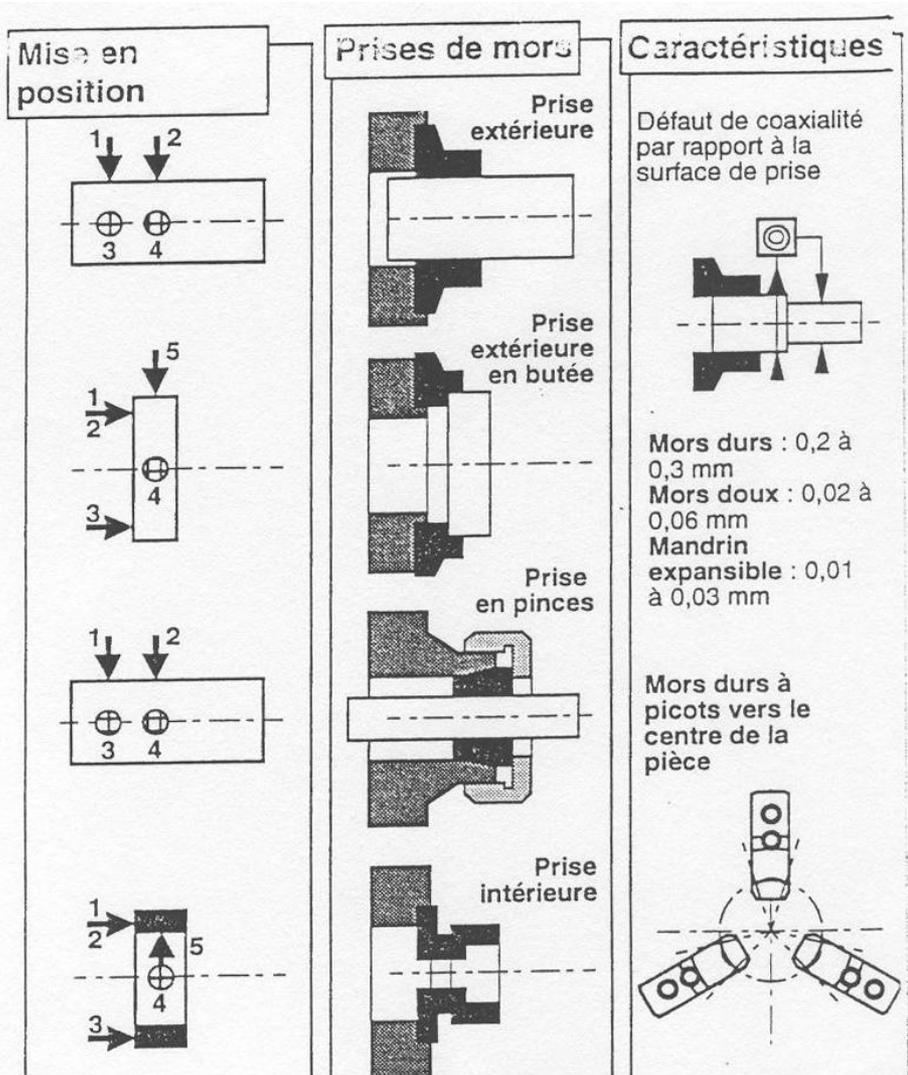
5

Exemples de symboles composés	
Dispositif et fonction	
Touche plate fixe de départ d'usinage en appui sur une surface usinée.	
Touche plate éclipable de départ d'usinage en appui sur une surface usinée	
Mors striés à serrage concentrique flottant utilisés comme entraîneurs sur une surface brute	
Touche bombée fixe de départ d'usinage sur une surface brute	
Touche dégagée fixe de départ d'usinage sur une surface brute	
Cuvette axiale (3) utilisée comme point de départ d'usinage sur une surface usinée	
Pointe fixe axiale utilisée comme point de départ d'usinage sur une surface usinée	
Pointe tournante axiale de poupée mobile utilisée comme point de départ d'usinage sur une surface usinée	
Palonnier de bridage possédant des mors striés, sur une surface brute	
Vé axiale fixe servant de point de départ d'usinage sur une surface usinée	

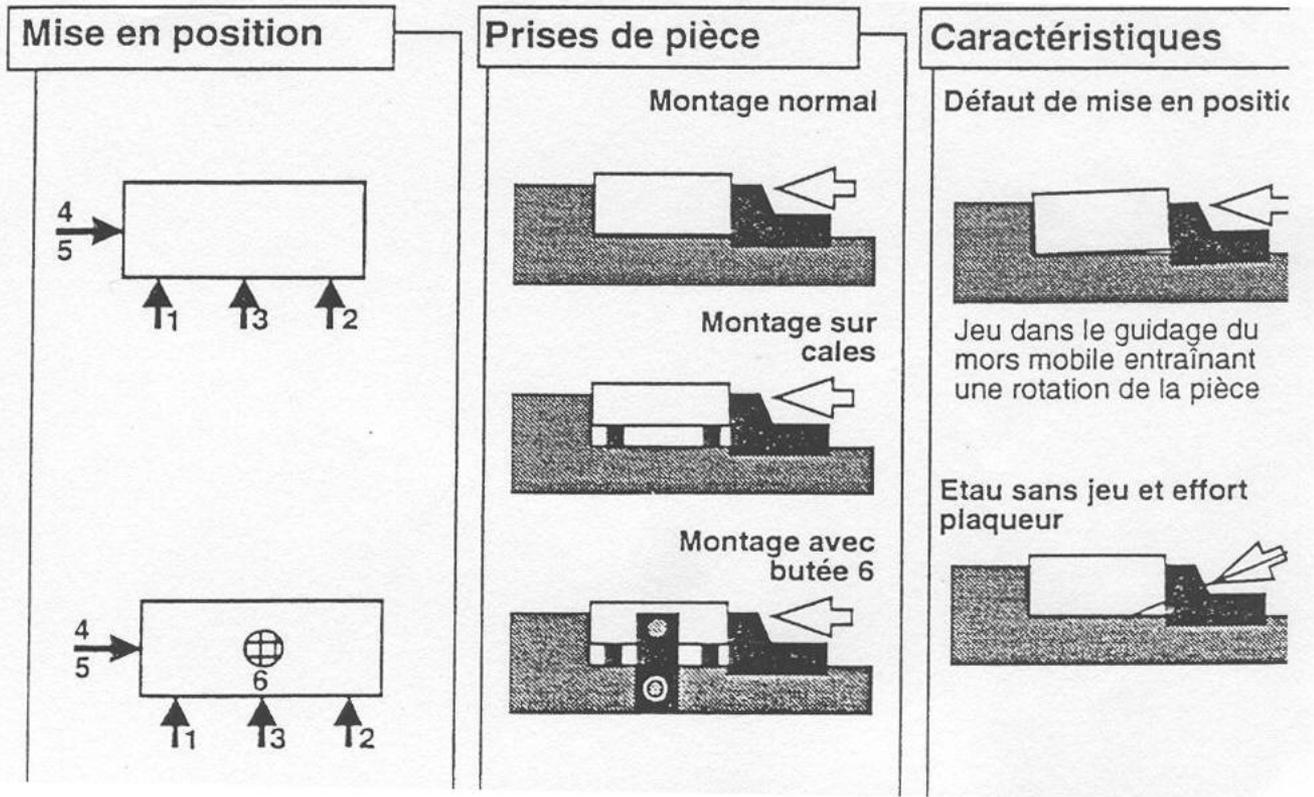
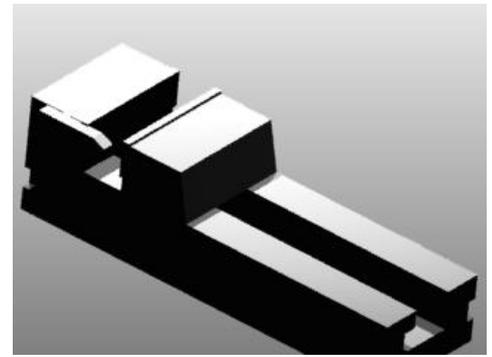
Symbole	

# Moyens de mise en position classique

## Cas du tournage , montage simples

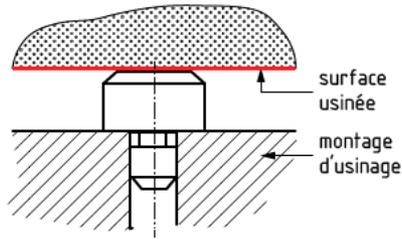
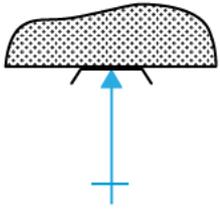


# Cas du fraisage , montage simple



SYMBOLE

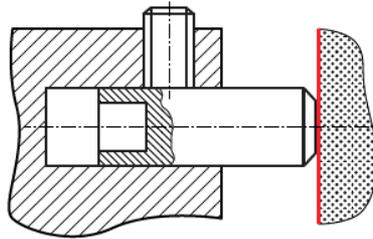
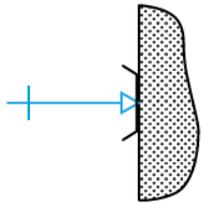
RÉALISATION PRATIQUE



Touche bombée fixe, de départ d'usinage sur une surface brute.

SYMBOLE

RÉALISATION PRATIQUE

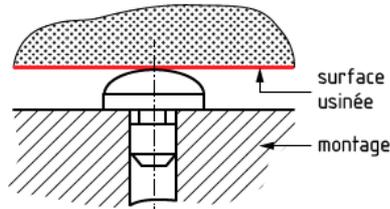
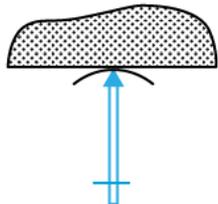


Touche plate éclipseable de départ d'usinage en appui sur surface usinée.

Touche plate fixe, de départ d'usinage en appui sur une surface usinée.

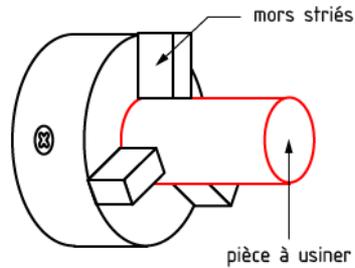
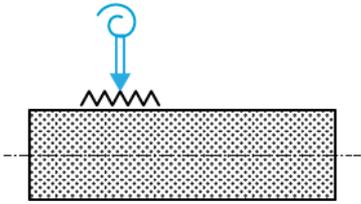
SYMBOLE

RÉALISATION PRATIQUE



SYMBOLE

RÉALISATION PRATIQUE



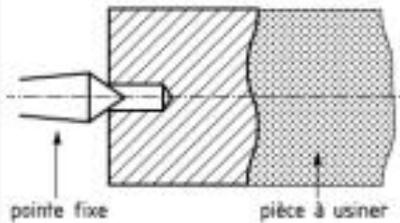
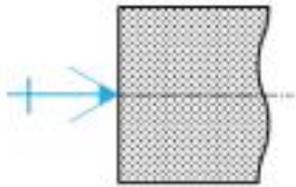
Vé fixe servant de point de départ d'usinage, sur surface brute.

Pointe fixe axiale utilisée comme point de départ d'usinage sur une surface usinée.

Mors striés à serrage concentrique qui assurent le centrage et le serrage simultanément.

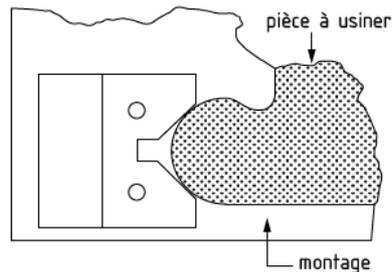
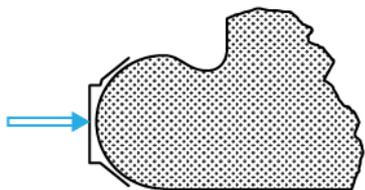
SYMBOLE

RÉALISATION PRATIQUE

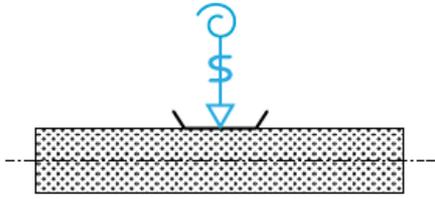


SYMBOLE

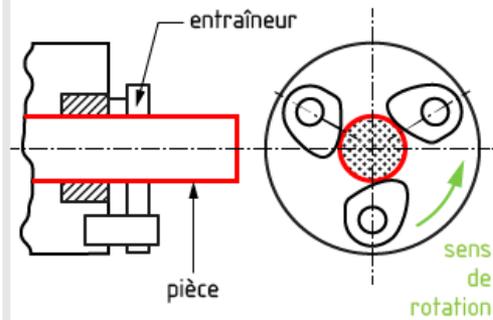
RÉALISATION PRATIQUE



SYMBOLE



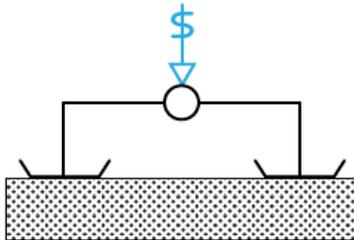
RÉALISATION PRATIQUE



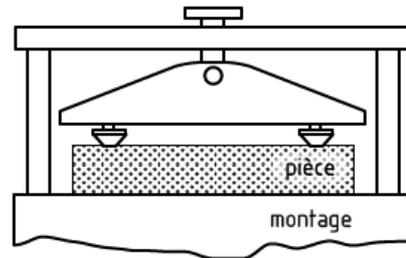
Palonnier de bridage muni de touches plates pour serrer sur une surface brute.

Mors à serrage concentrique flottant utilisés comme entraîneurs sur surface usinée.

SYMBOLE

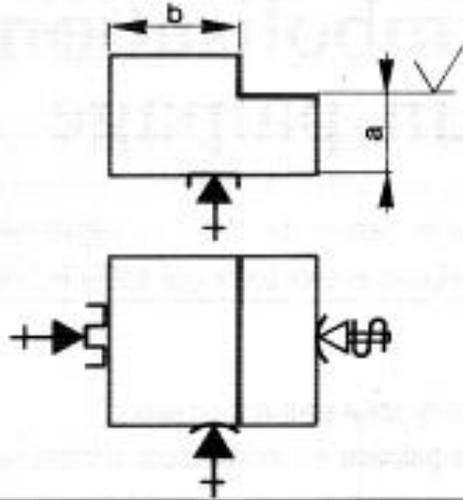


RÉALISATION PRATIQUE

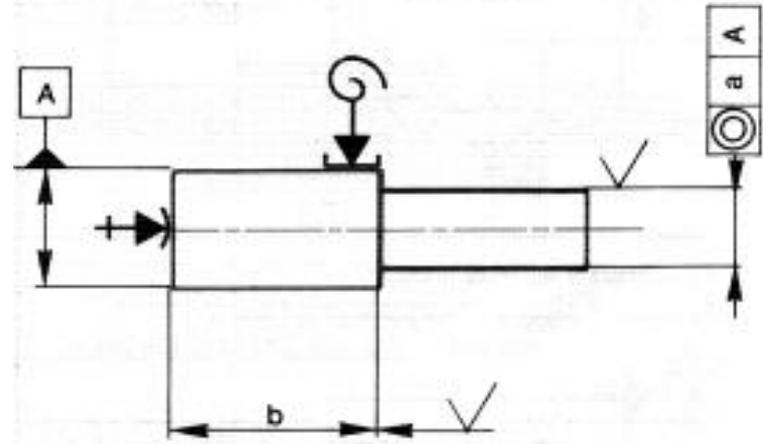


# EXEMPLES D'APPLICATIONS

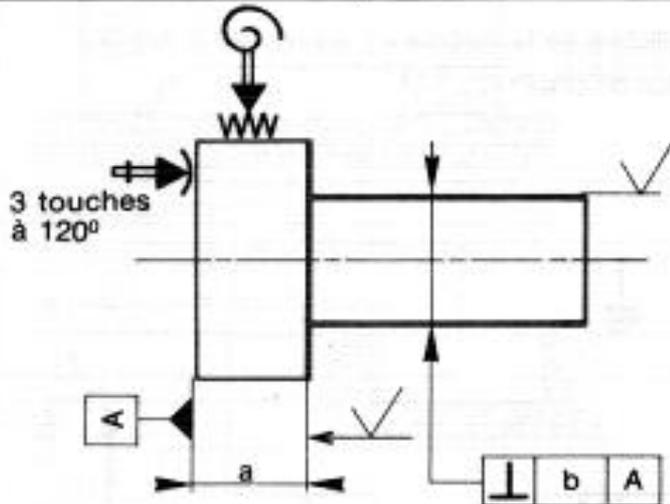
Ex.1



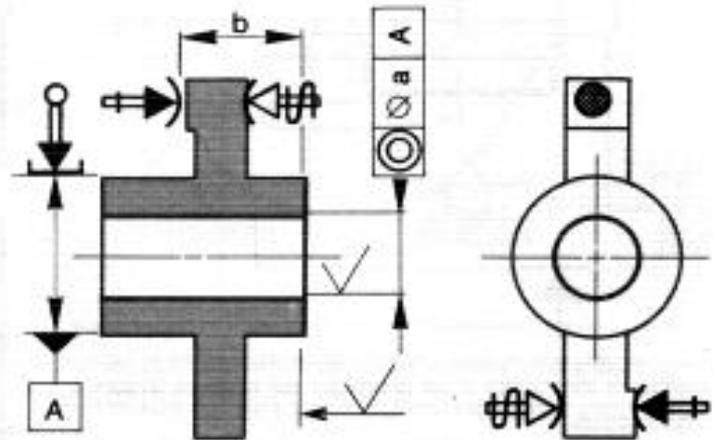
Ex.3



Ex.2

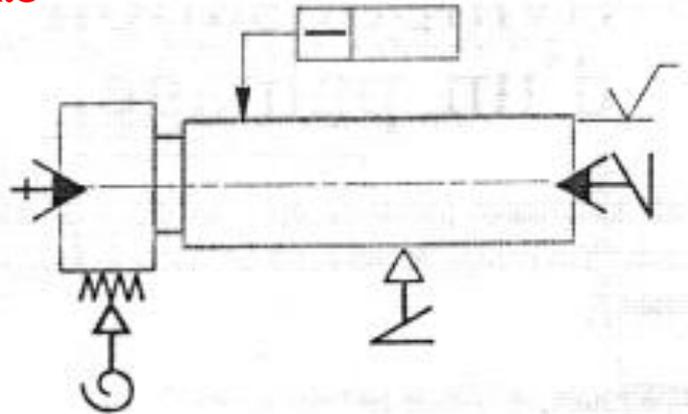


Ex.4

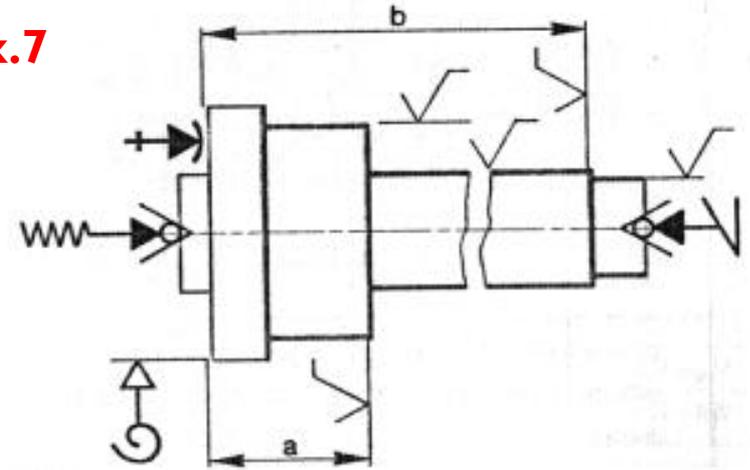


# EXEMPLES D'APPLICATIONS

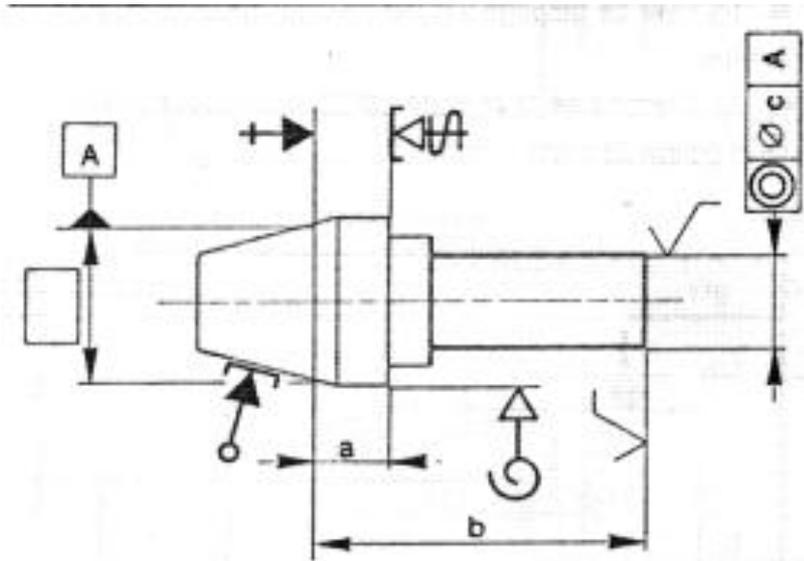
Ex.5



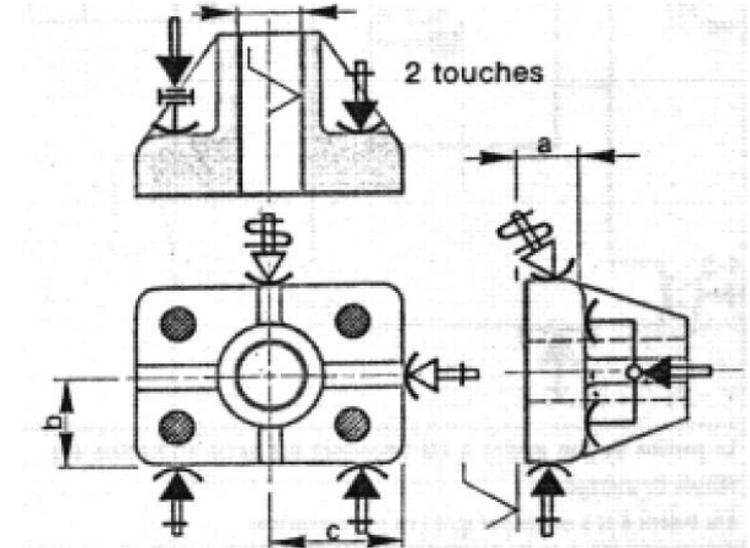
Ex.7



Ex.6



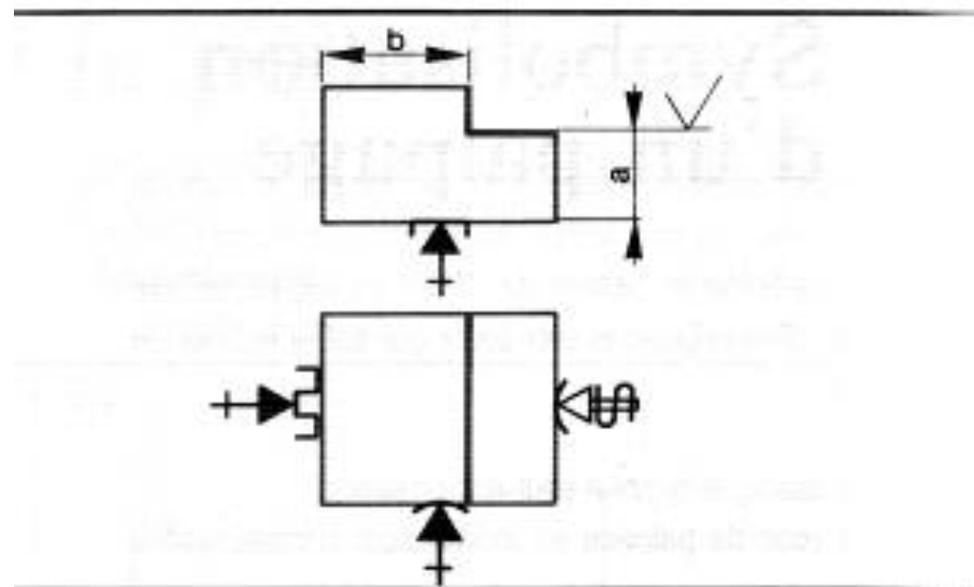
Ex.8



# EXEMPLES D'APPLICATIONS

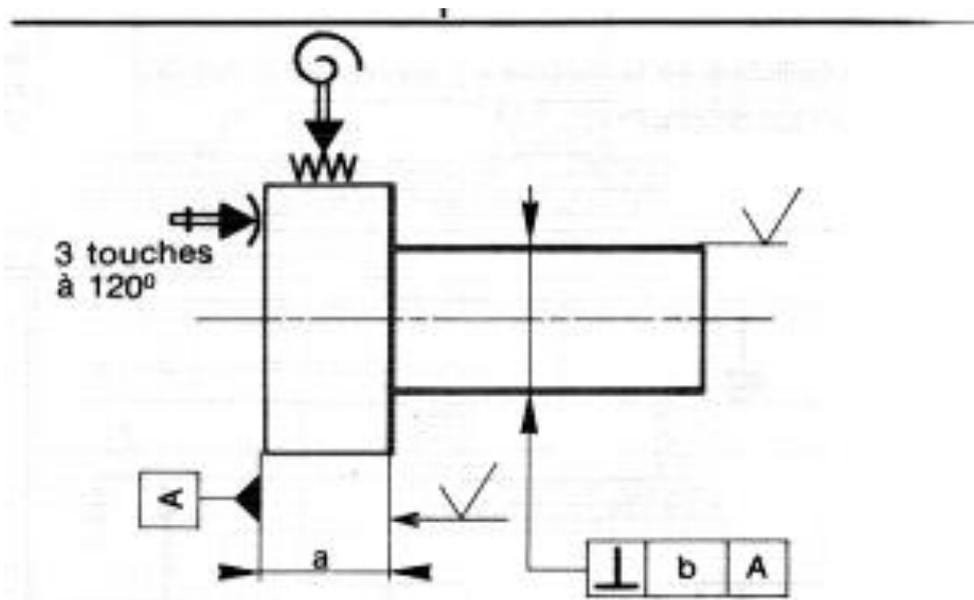
## EXEMPLE 1 :

- Appui sur une surface usinée par un contact plan fixe (cote **a**).
- Orientation sur une surface usinée par une touche fixe dégagée (cote **b**).
- Butée sur une surface usinée par une touche fixe ponctuelle.
- Serrage sur une surface brute par un dispositif à contact ponctuel.



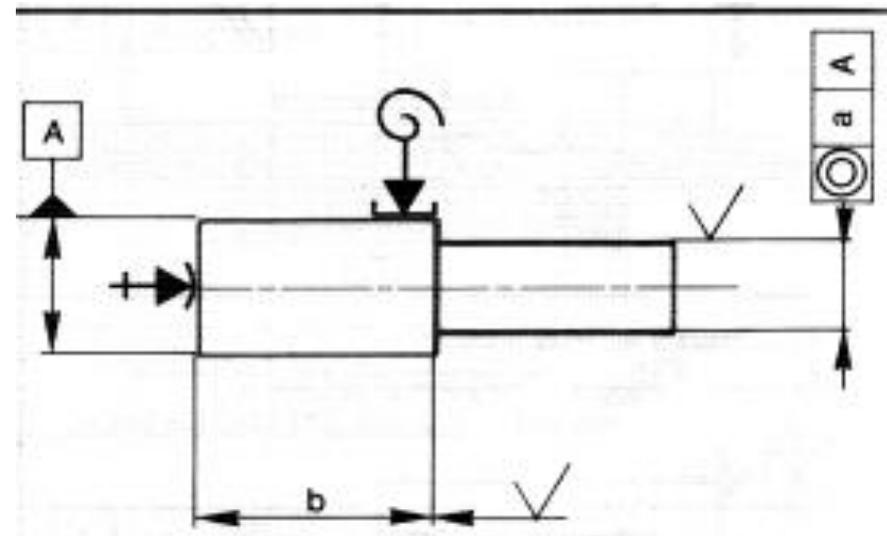
## EXEMPLE 2 :

- Appui sur une face brute par trois touches bombées fixes (cote **a** et tolérance de perpendicularité **b**).
- Centrage court et entrainement sur une surface brute par un dispositif à serrage concentrique et à contacts striés (faible longueur relative des mors).



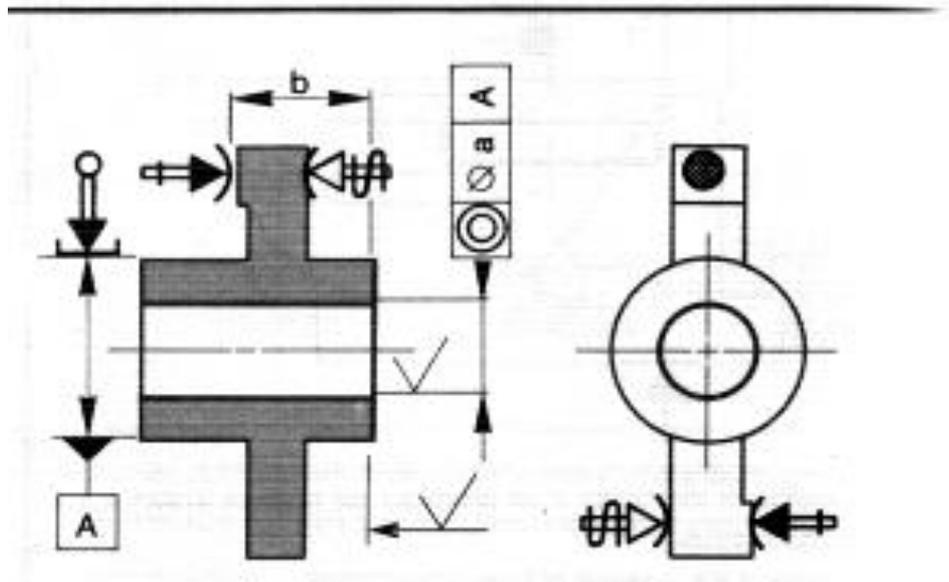
### EXEMPLE 3 :

- Centrage long et entrainement sur une surface usinée par un dispositif à pince (tolérance de coaxialité **a**).
- Butée sur une surface usinée par une touche à contact ponctuel (cote **b**).



### EXEMPLE 4 :

- Centrage long sur une surface brute (tolérance de coaxialité **a**).
- Butée sur une surface brute par une touche fixe à contact ponctuel (cote **b**).
- Orientation sur une surface brute par une touche fixe à contact ponctuel.
- Serrage s'exerçant sur deux surfaces brutes par deux dispositifs à contacts ponctuels.

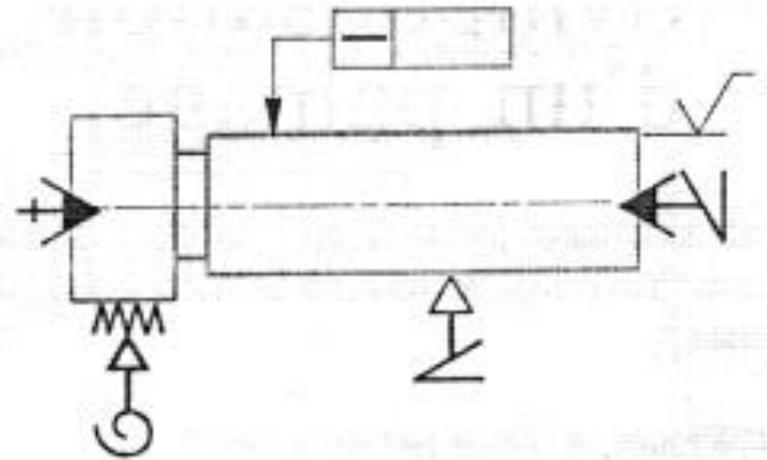


Mise en position axiale et radiale par une pointe fixe et une contrepointe à réglage irréversible.

■ Butée sur la pointe fixe.

■ Entraînement par un dispositif flottant, à serrage concentrique et à contacts striés.

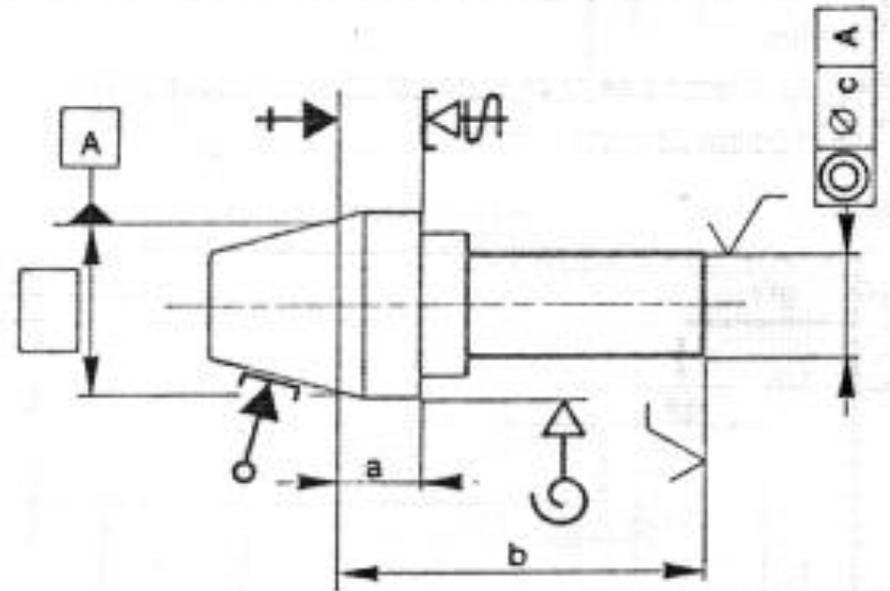
■ Lunette à suivre pour éviter une flexion excessive de la pièce sous les efforts de coupe (tolérance de rectitude).



■ Centrage long sur la surface conique usinée et butée fixe au niveau du plan de jauge (cotes **a**, **b** et tolérance de coaxialité **c**).

■ Serrage s'exerçant sur une surface usinée par un dispositif à contact plan.

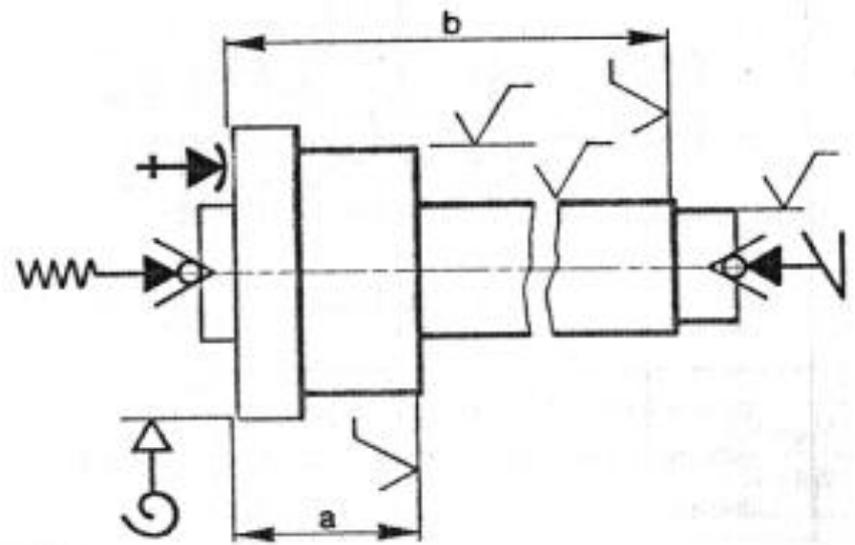
■ Entraînement par un dispositif flottant, à serrage concentrique et à contacts lisses.



- Mise en position radiale par une pointe tournante à ressort et par une contrepointe tournante à réglage irréversible.

- Butée sur une surface usinée par une touche fixe à contact ponctuel (cotes **a** et **b**).

- Entraînement par un dispositif flottant, à serrage concentrique et à contacts lisses.

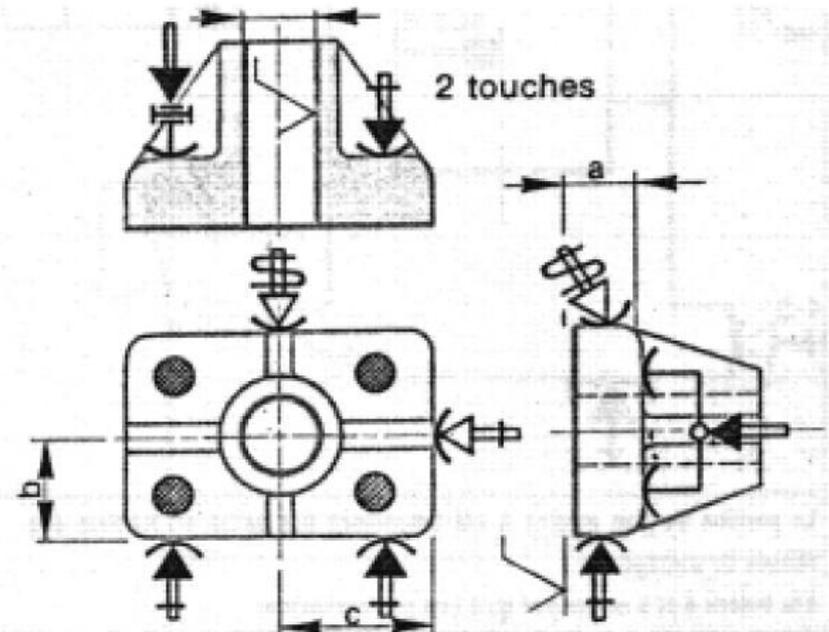


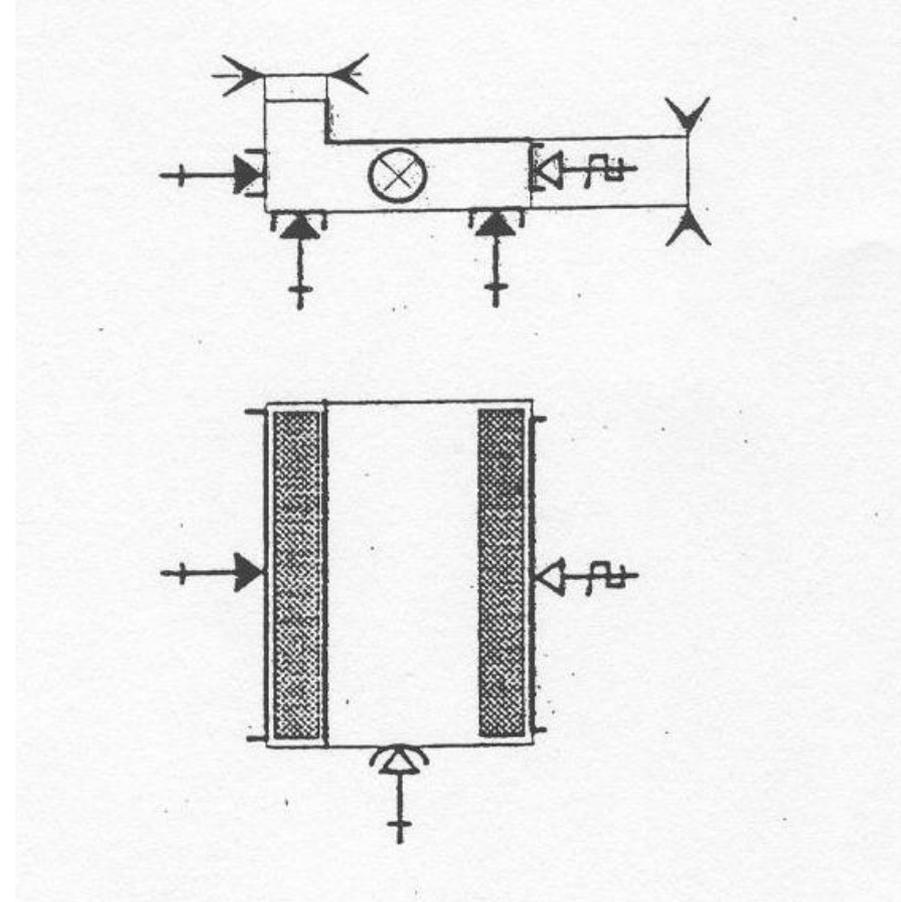
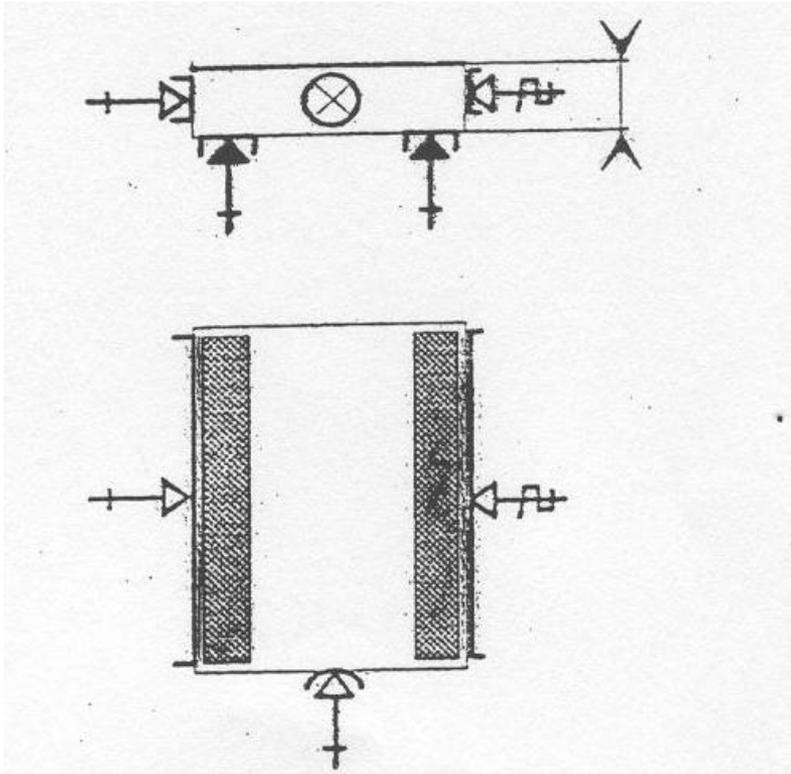
- Appui sur une surface brute par deux touches fixes et deux touches palonnées à contacts ponctuels (cote **a**).

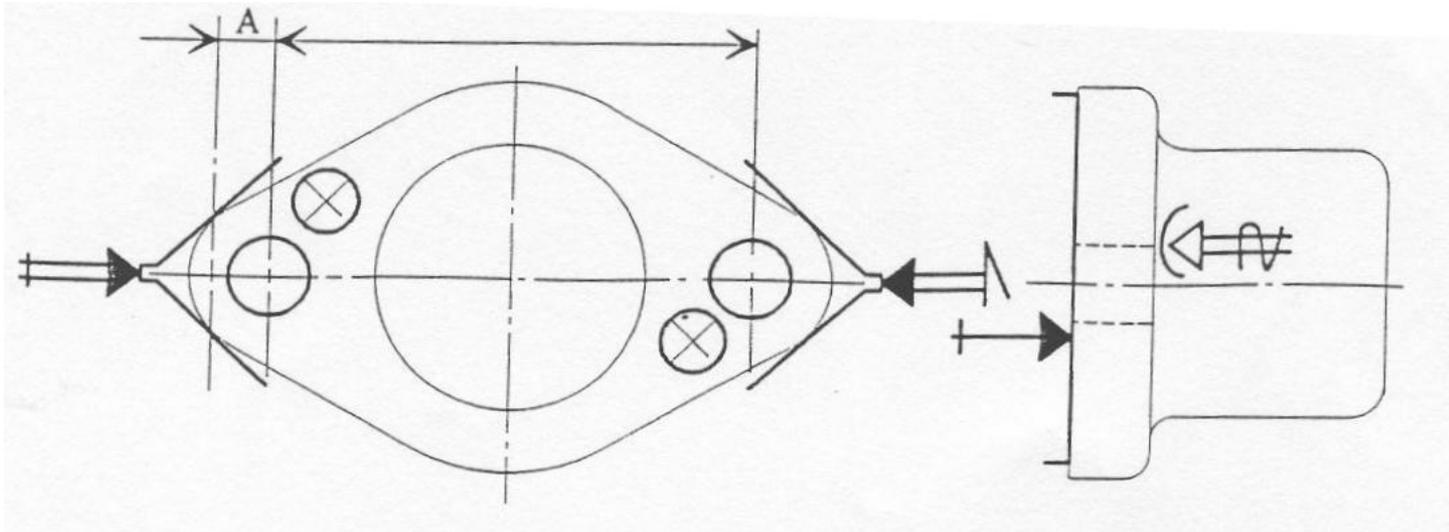
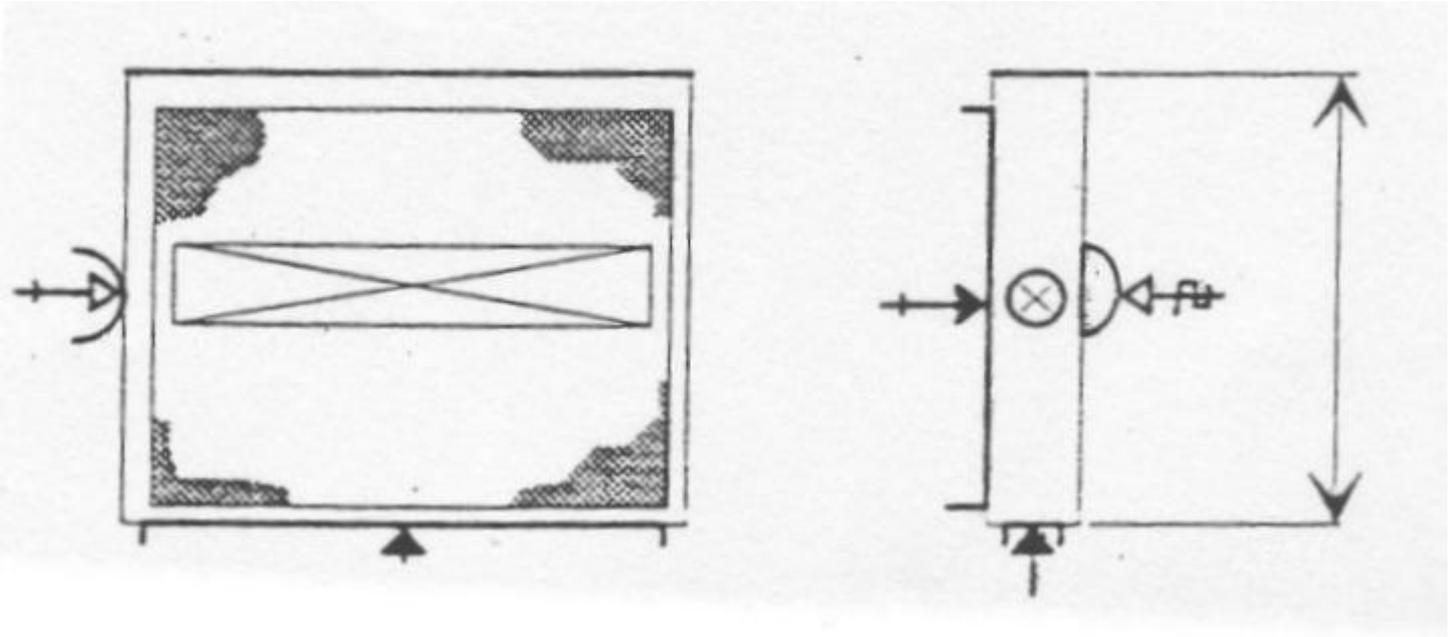
- Orientation sur une surface brute par deux touches fixes à contacts ponctuels (cote **b**).

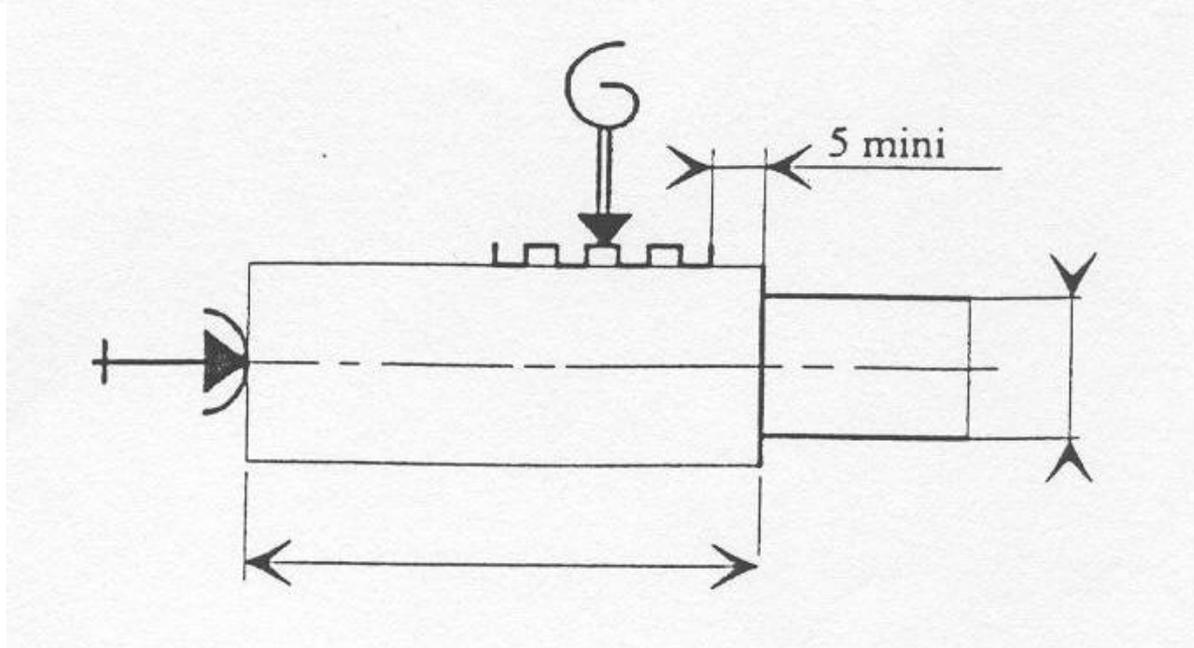
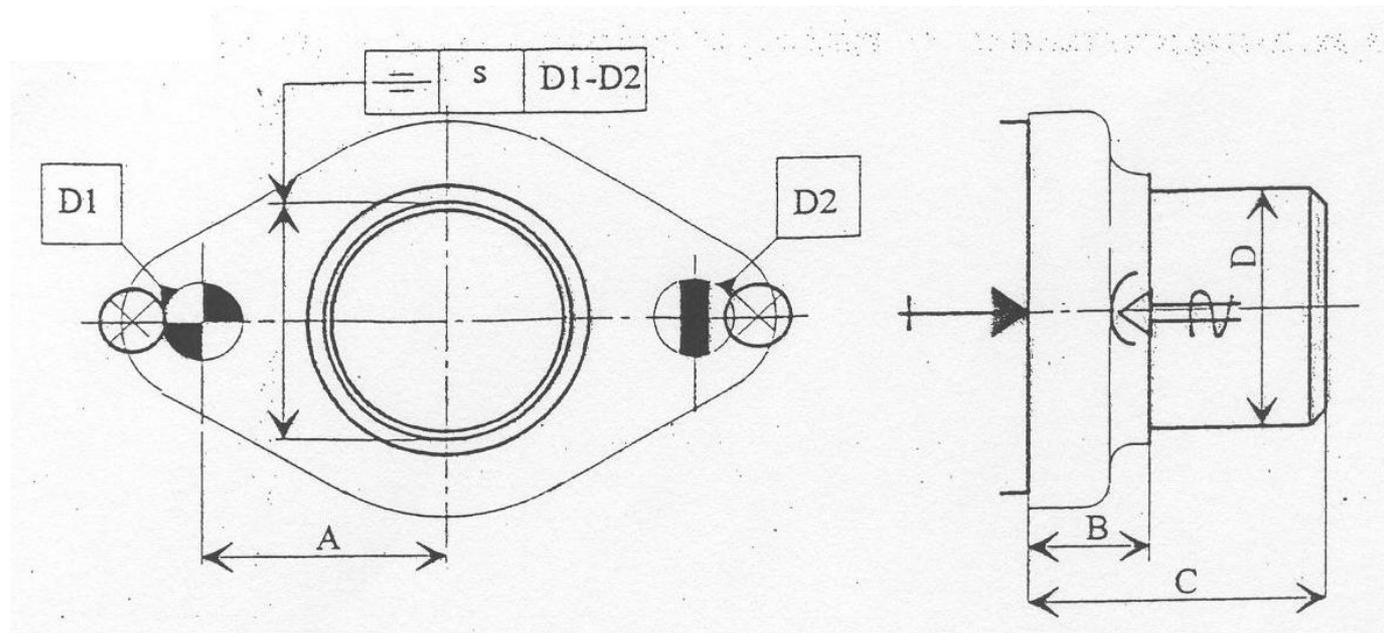
- Butée sur une surface brute par une touche fixe à contact ponctuel (cote **c**).

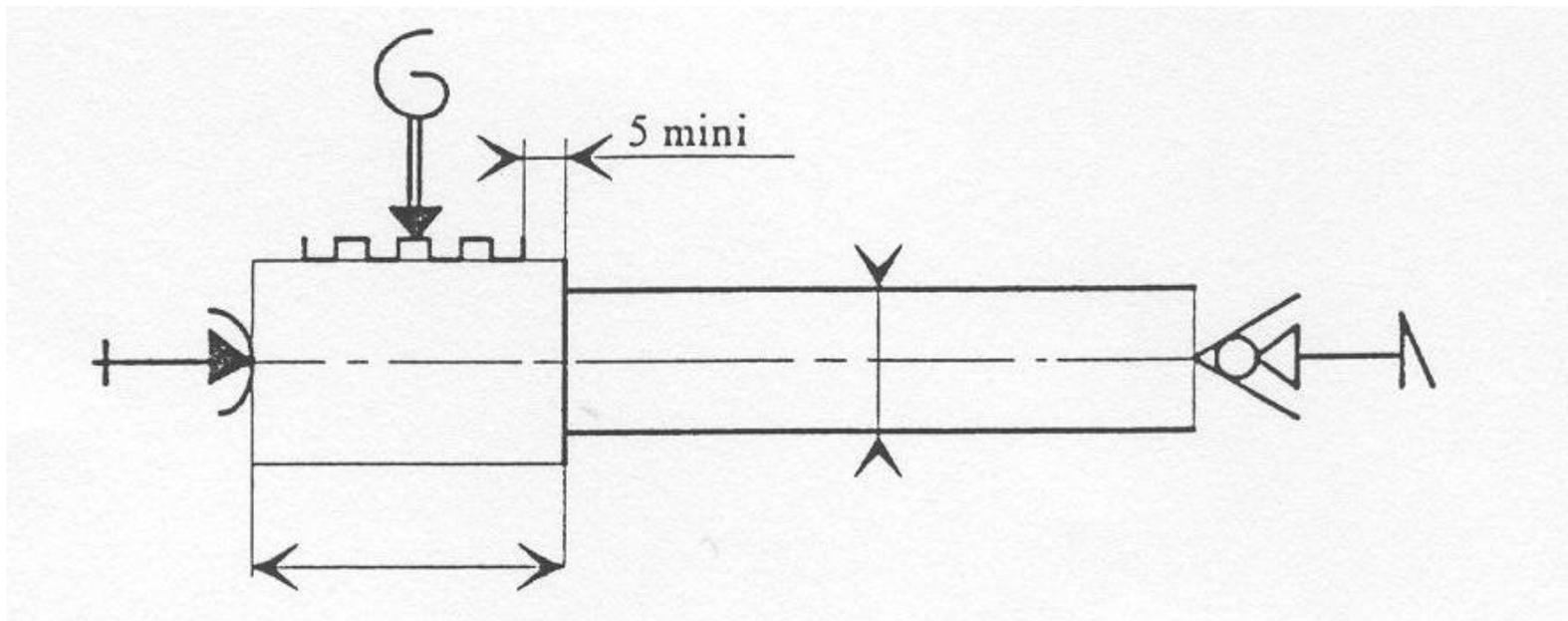
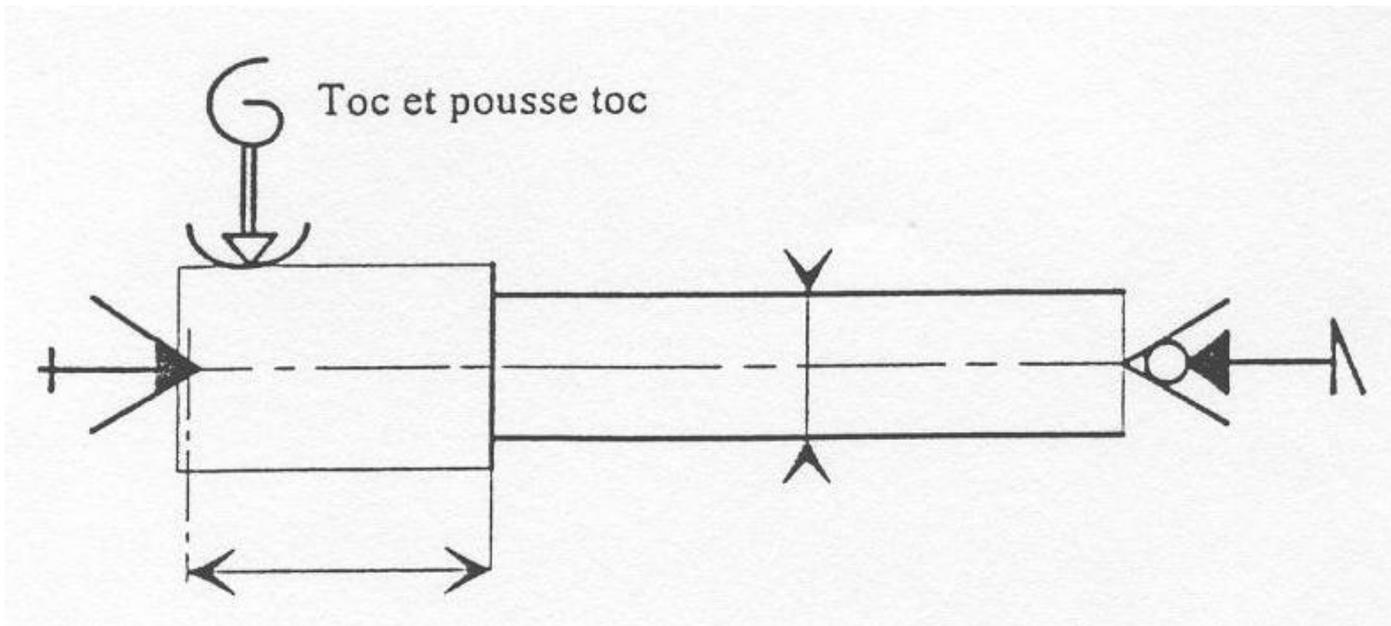
- Serrage sur une face brute par un dispositif à contact ponctuel.



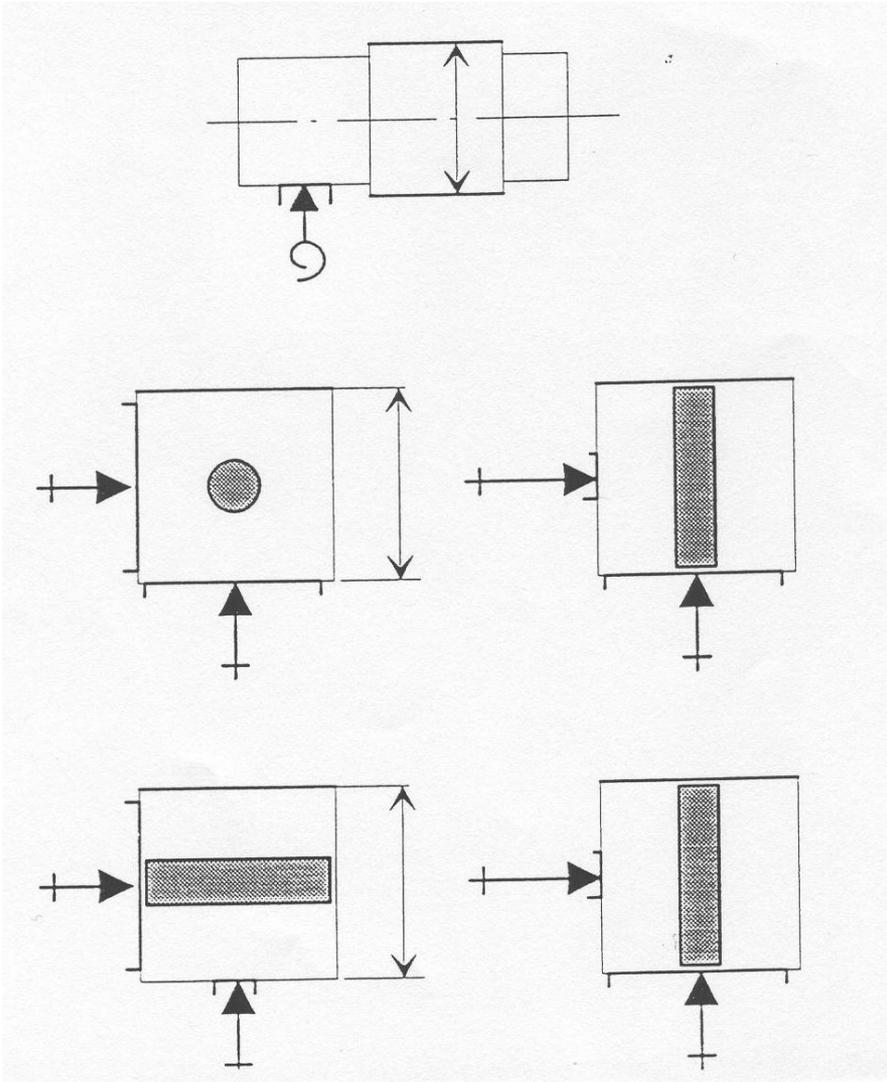




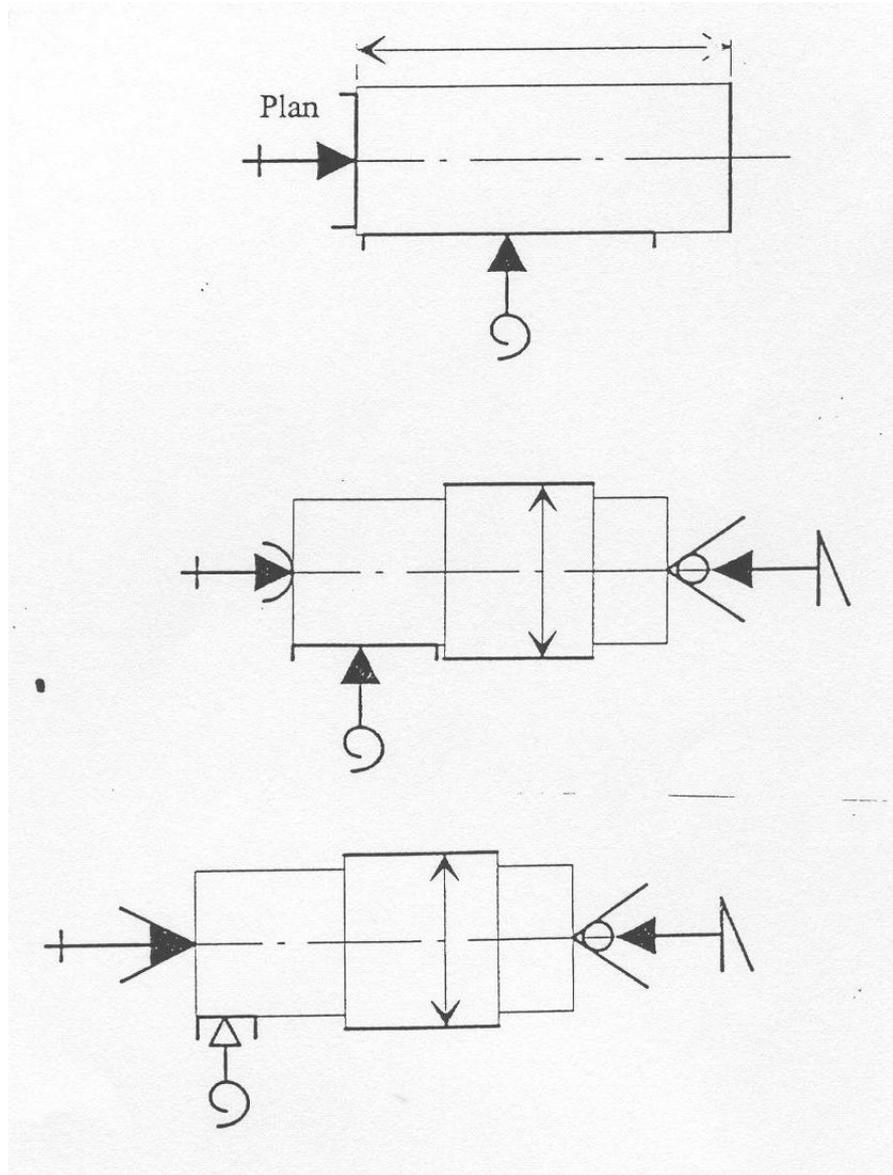




# EXERCICES BON/PAS BON?



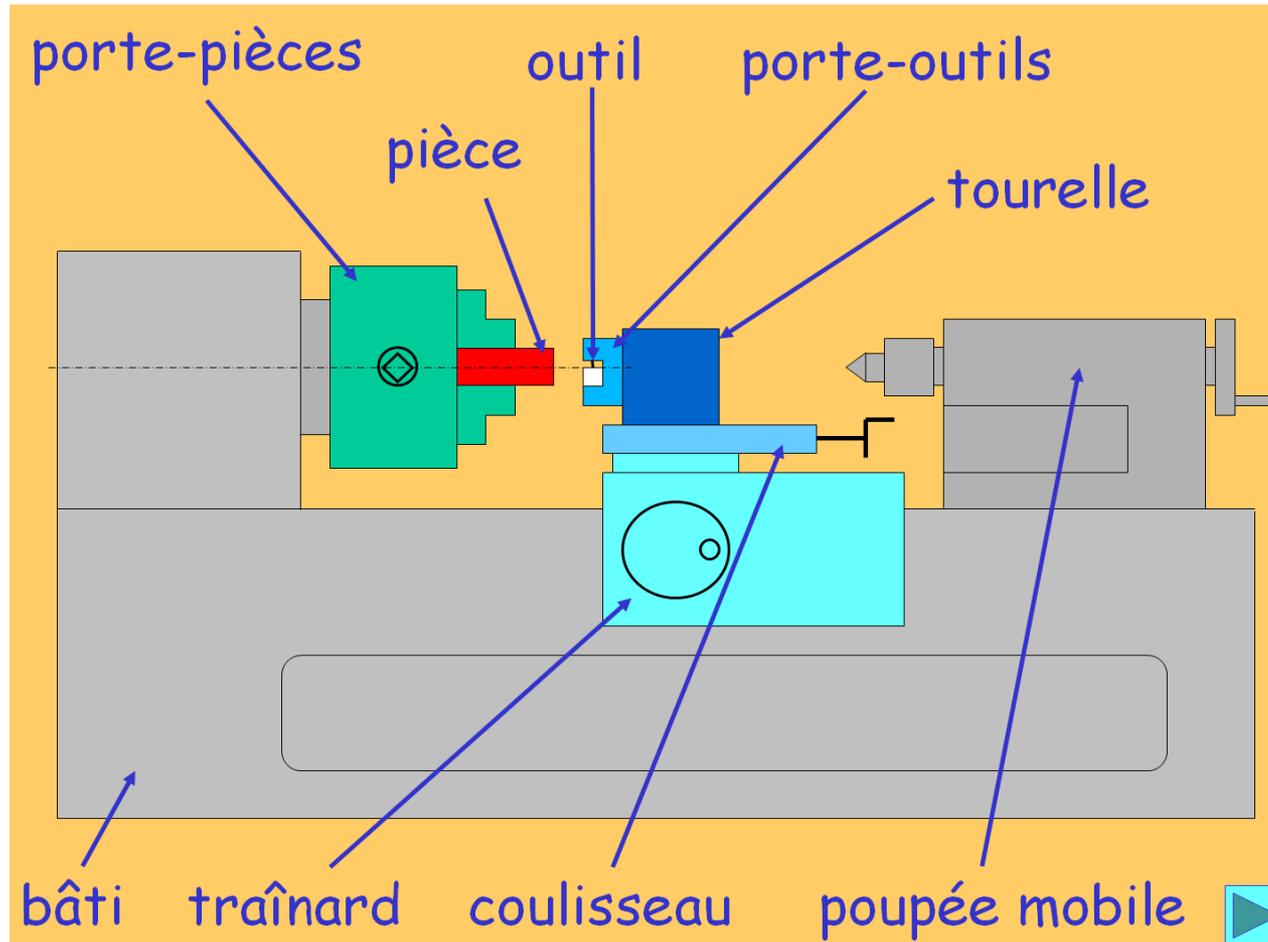
# EXERCICES BON/PAS BON?



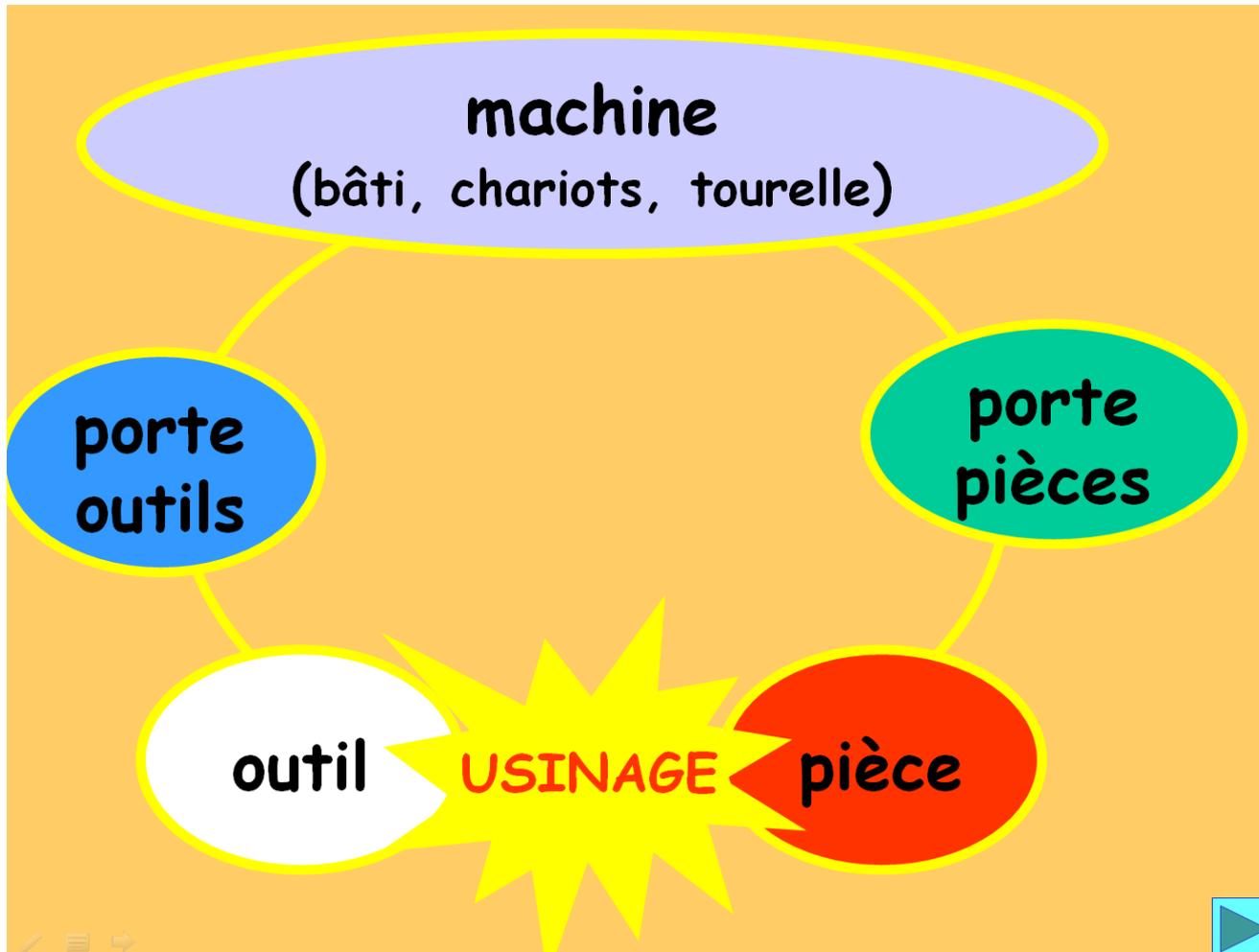
# PARTIE 3: LIAISONS ENTRE LA PIÈCE, LE PORTE-PIÈCE ET LA MACHINE

## I. Modélisation d'une Machine outils

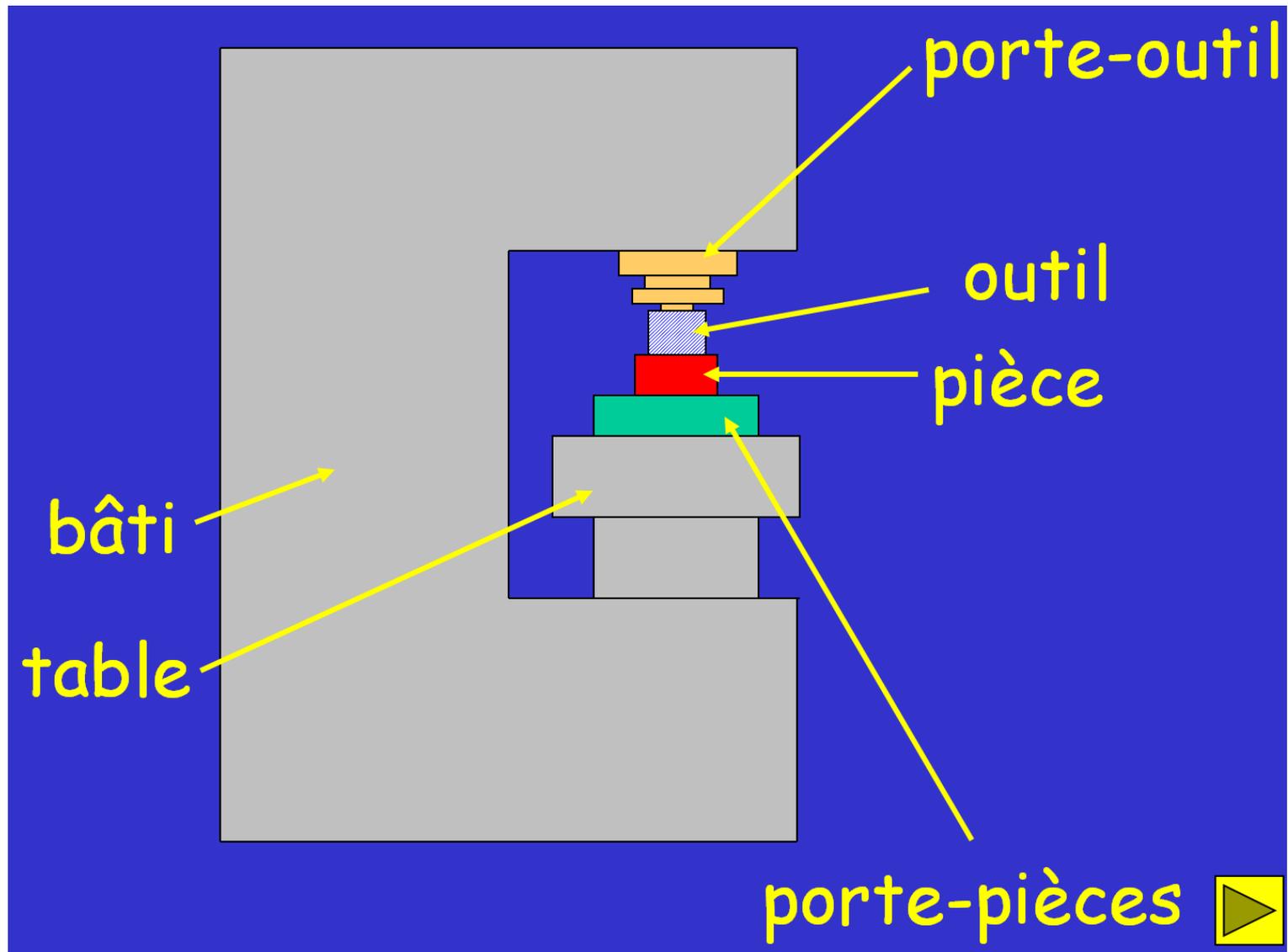
### I. Tour



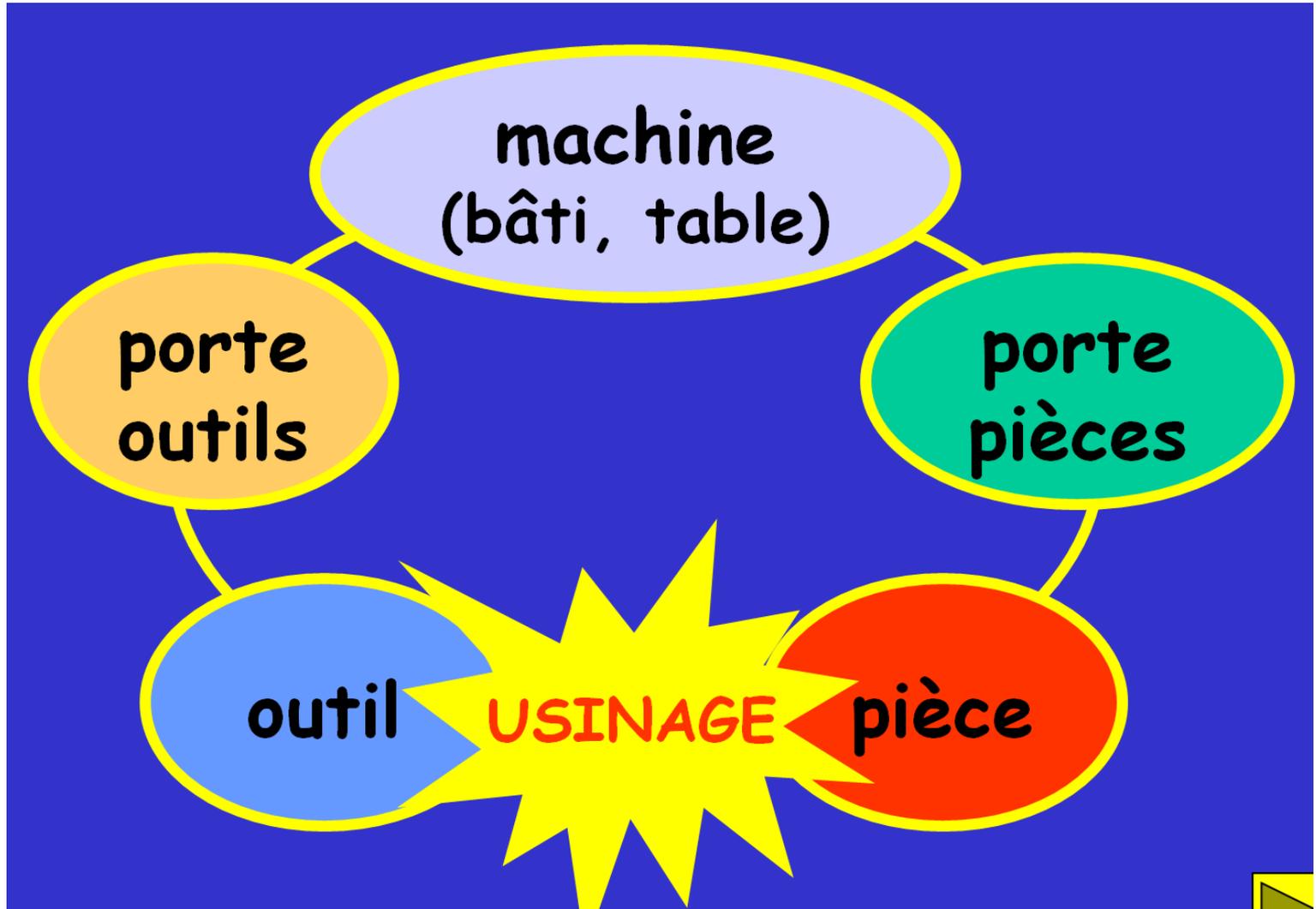
# I.Tour



## 2. Fraiseuse



## 2. Fraiseuse



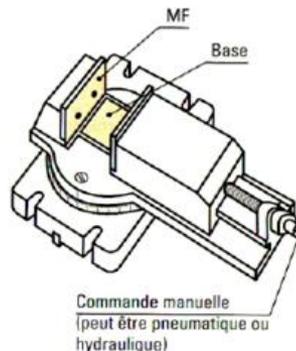
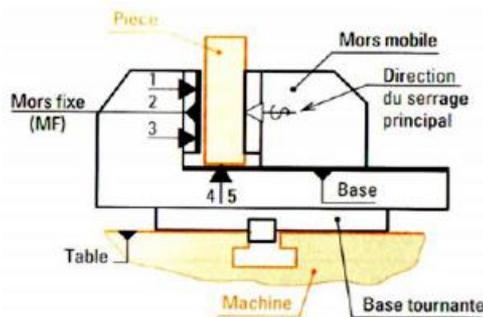
## II. TYPOLOGIE DES PORTES PIÈCES:

On trouve généralement trois types de porte pièces qui sont couramment utilisés en production

### I. PORTE-PIÈCE STANDARD

Ces composants sont disponibles dans le commerce. Ils sont généralement polyvalents et permettent la mise en position et le maintien de pièces de géométrie simple. Ils conviennent pour le travail unitaire et pour un travail sériel en lot unique

Exemples : étau, mandrin, table à dépression, plateau magnétique, étaux combinés...



# EXEMPLES DES PPS EN TOURNAGE

## porte pièces standards



mandrins

montages mixtes

montages entre pointes

montages en pinces

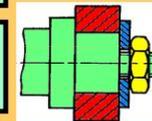
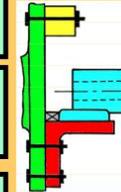
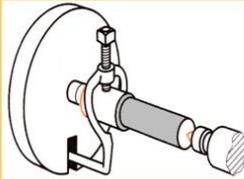
montages sur plateau

montages sur équerre

mandrins expansibles

mandrins de reprise

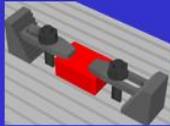
plateaux magnétiques



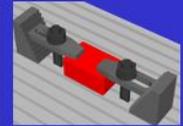
# EXEMPLES DES PPS EN FRAISAGE



étaux



ablocage sur table



plateaux tournants



mandrins diviseurs



porte pinces



plateaux pivotants



tables sinus



plateaux magnétiques



# EXEMPLES DES PPS

## À l'aide d'un étau



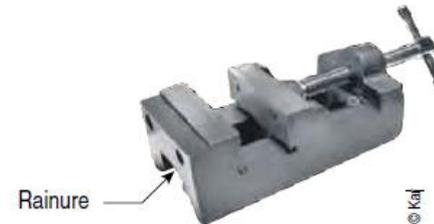
L'étau simple est le plus répandu. Fixé à la table de la fraiseuse ou à un autre dispositif de montage, il convient à une vaste gamme d'opérations de fraisage. Son montage est rapide et sécuritaire si l'on prend soin de ne pas trop le serrer afin d'éviter l'éjection de la pièce.



L'étau pivotant prend plusieurs formes. Il peut pivoter sur sa base.

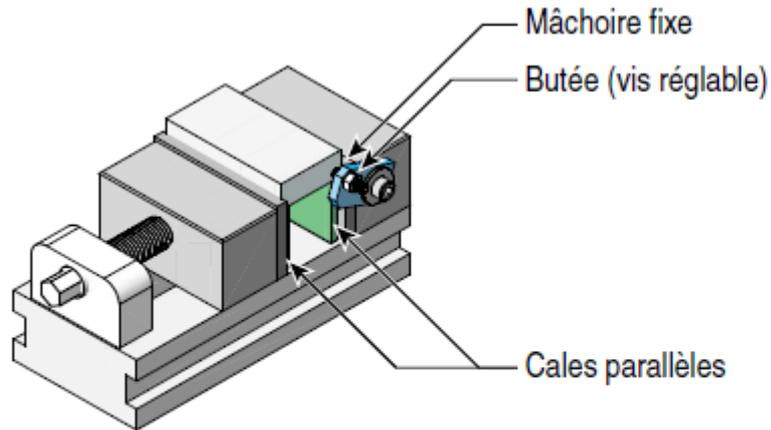


L'étau universel permet le fraisage et le perçage à des angles composés. Sa base, composée d'axes pivotants, lui accorde une liberté de mouvement pour la réalisation de pièces complexes.

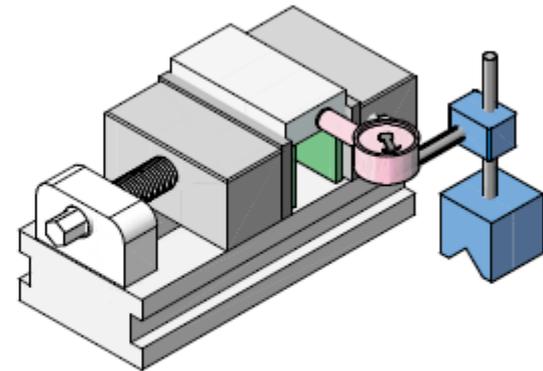


Certains étaux sont munis, sur leurs semelles, de rainures dans lesquelles on fixe une cale qui se localise dans l'une des rainures de la table de la fraiseuse. Ces rainures d'étaux permettent un positionnement rapide avec un degré de précision respectable, que ce soit perpendiculairement ou parallèlement à la table de la fraiseuse.

# EXEMPLES DES PPS



Il est recommandé d'ajouter une butée latérale pour la localisation rapide de pièces. En usinage, il importe de pouvoir démonter la pièce et de la repositionner au même endroit.



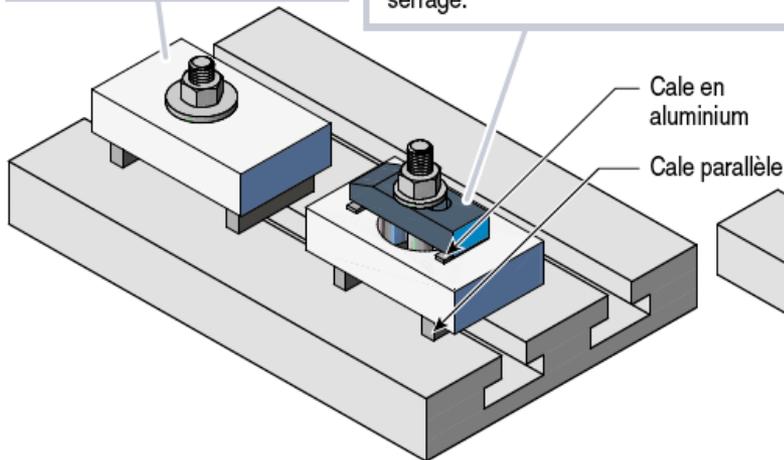
Lorsque le positionnement exige une certaine précision, utiliser une base magnétique munie d'un comparateur à cadran pour réaliser l'usinage de pièces unitaires.

# EXEMPLES DES PPS

## À l'aide de brides

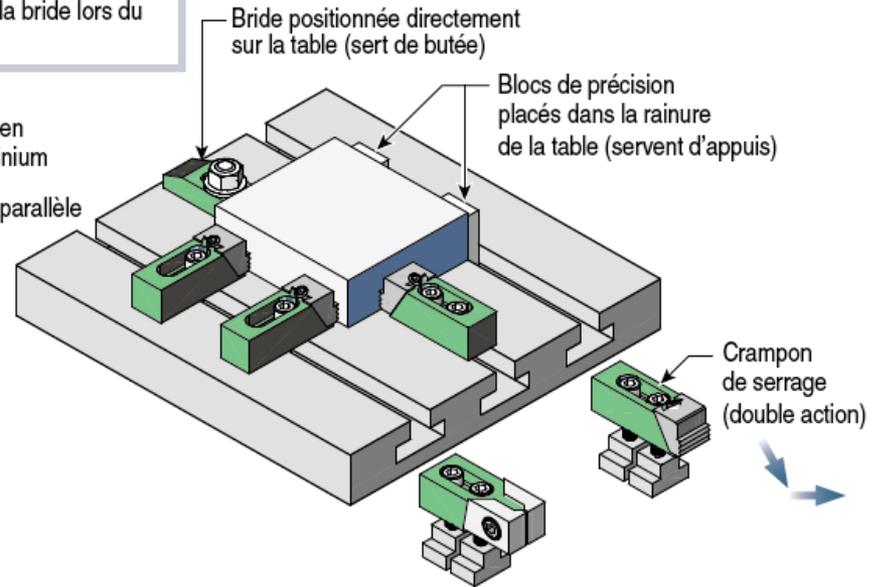
### Montage à l'aide d'un trou dans la pièce

Attention à la déformation lors du serrage!



### Montage à l'aide d'une bride

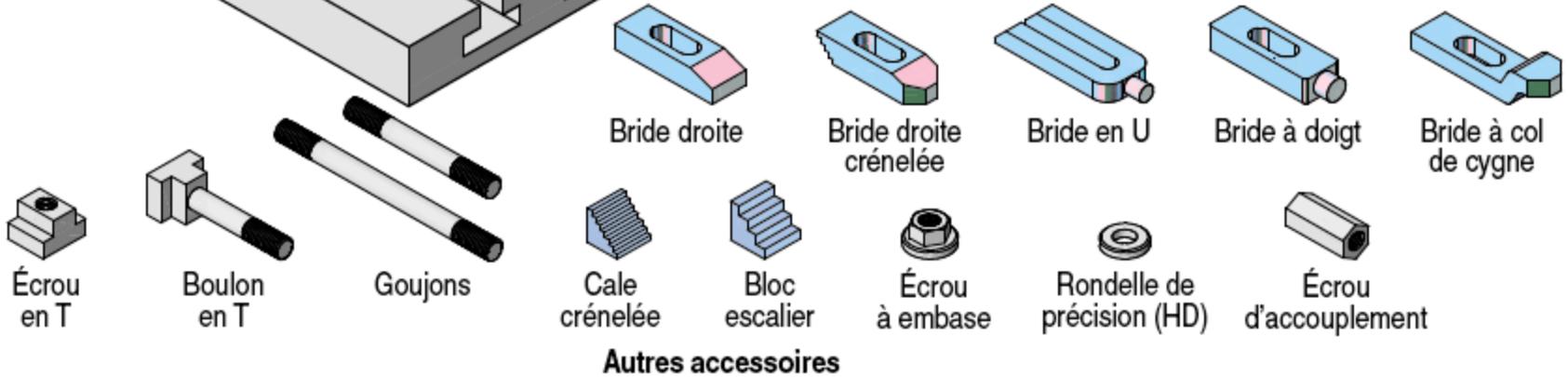
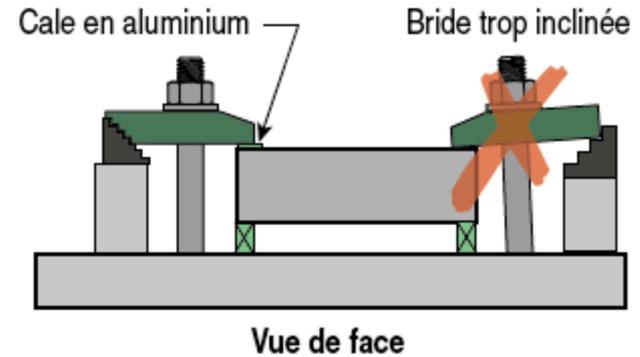
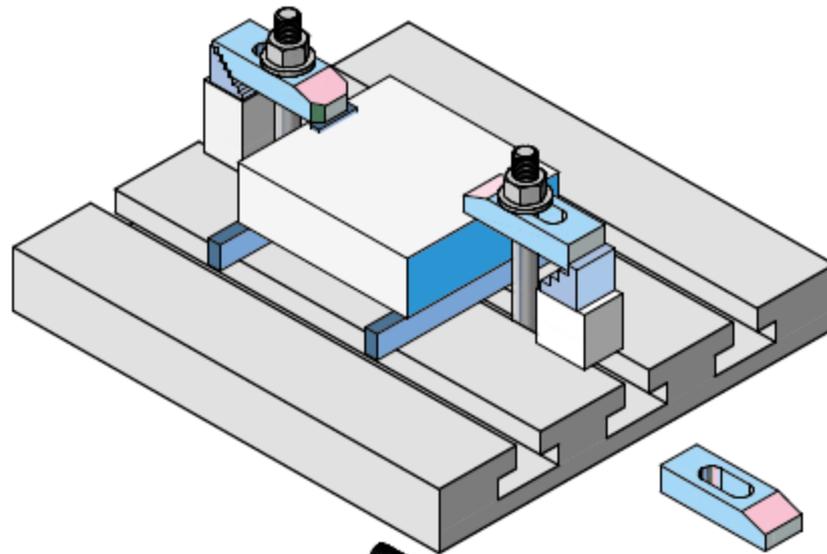
Attention, on doit placer des cales en aluminium directement au-dessus des cales parallèles pour compenser les déformations de la bride lors du serrage.



Autre modèle de crampon de serrage

Bridage à l'aide de crampons de serrage

# EXEMPLES DES PPS



Bridage à l'aide de brides et de blocs escalier (méthode la plus répandue)

# EXEMPLES DES PPS

À l'aide d'une équerre de montage



Standard

- Précision et fini moyens
- Perpendicularité de  $\pm 0,05$  mm aux 150 mm ( $\pm 0,002$  po aux 6 po)
- Si l'équerre est rectifiée : perpendicularité de  $\pm 0,01$  mm aux 150 mm ( $\pm 0,0005$  po aux 6 po)
- Usinage général sur machines-outils



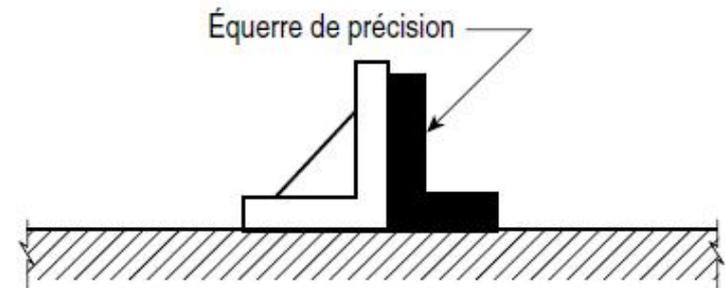
À angles composés

- Usinée en une seule pièce en acier traité
- Bride de serrage incorporée
- Usinage de petites pièces à double perpendicularité



Ajustables

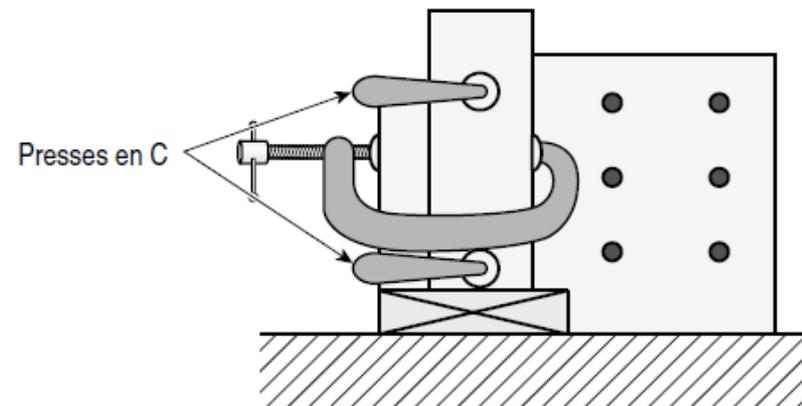
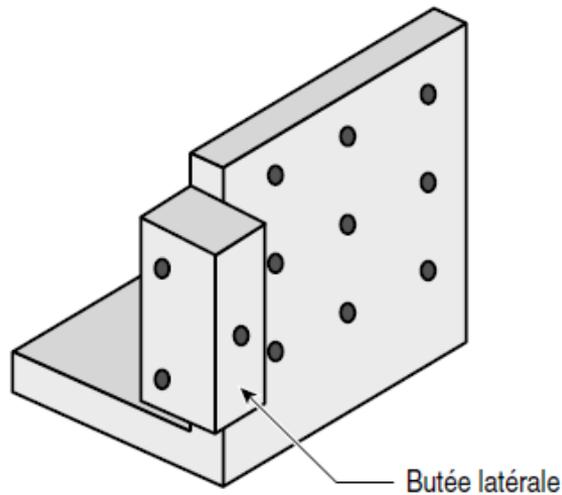
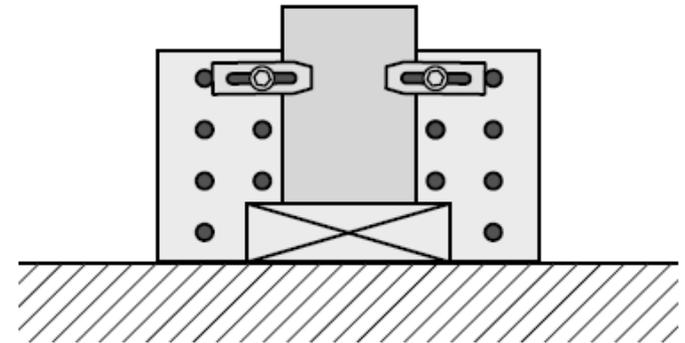
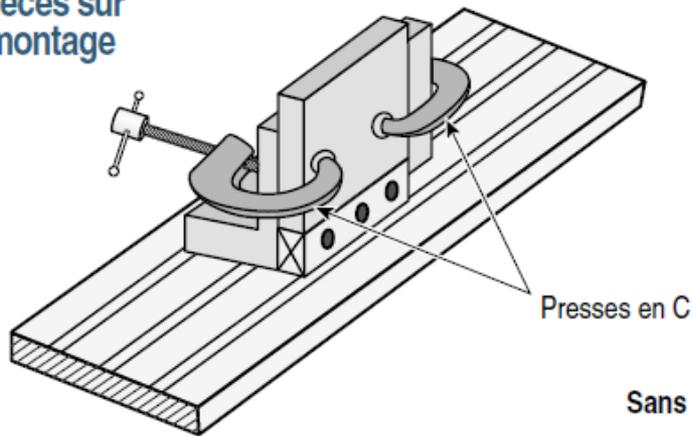
- Pour un montage angulaire
- Munies de rainures en T pour l'utilisation de brides de serrage



Vérification de la perpendicularité de l'équerre de montage à l'aide d'une équerre de précision

# EXEMPLES DES PPS

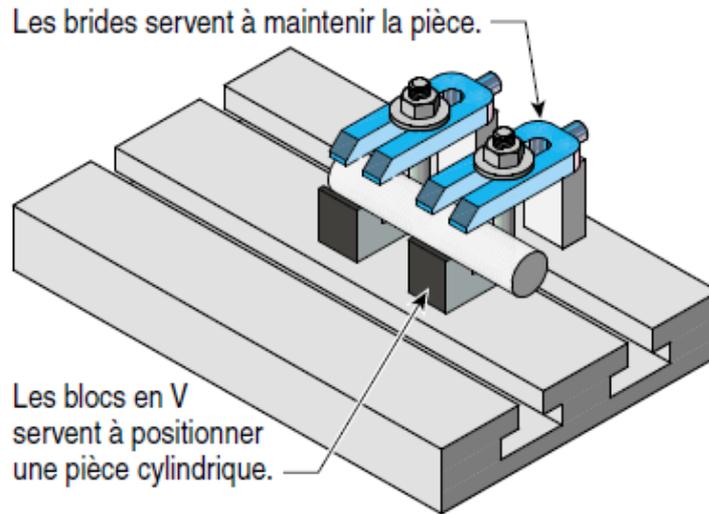
Serrage de pièces sur l'équerre de montage



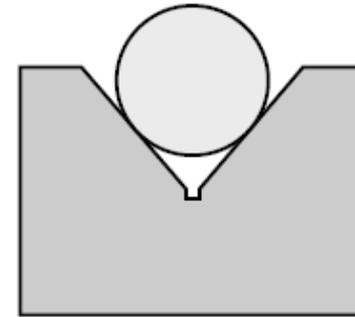
Avec butée latérale pour assurer une perpendicularité sur les deux axes

# EXEMPLES DES PPS

## À l'aide de blocs en V



Positionnement et maintien de pièces cylindriques



Correct

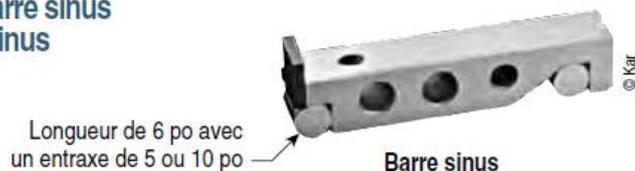


Incorrect

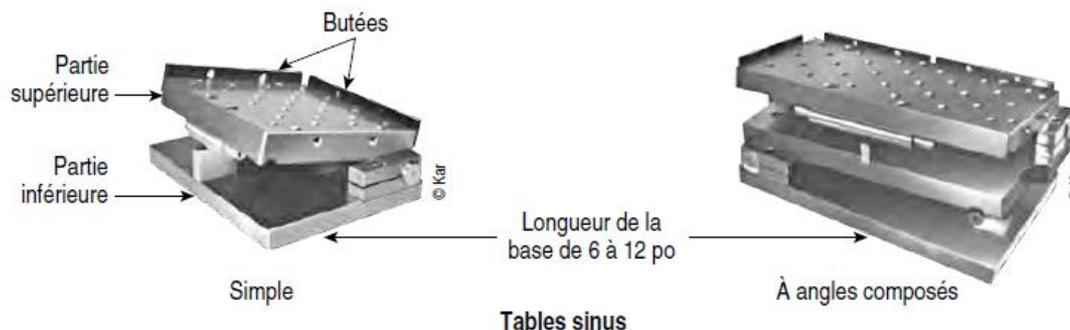
Lors du positionnement d'une pièce à usiner, s'assurer qu'elle est en contact avec les parois du bloc et non avec ses arêtes.

# EXEMPLES DES PPS

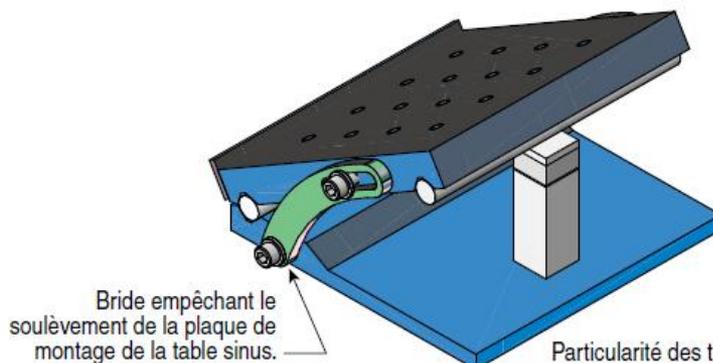
À l'aide d'une barre sinus ou d'une table sinus



Offre une précision remarquable pour les petites pièces étroites ou pour des montages angulaires.



Offre une précision remarquable pour des pièces de grandes dimensions.



Particularité des tables sinus :  
En position parallèle, il y a un espace libre pour ajuster un angle dont la hauteur nécessaire est plus petite que l'épaisseur minimale d'une cale.

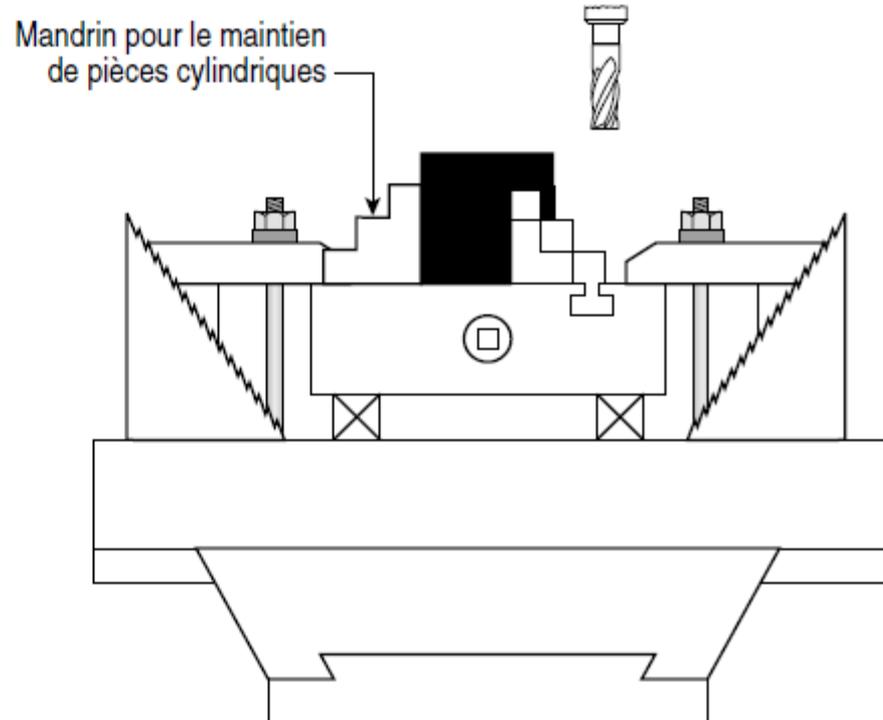
Des cales étalons permettent de positionner la barre et la table sinus à l'angle voulu. Il est préférable d'utiliser des cales d'usure aux extrémités du montage ( $2 \times 0,050$ ) afin de garder la précision et la durabilité du jeu.

Montage des cales de la table sinus

# EXEMPLES DES PPS

## À l'aide de mandrins de tour

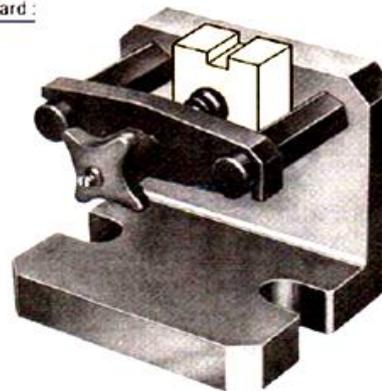
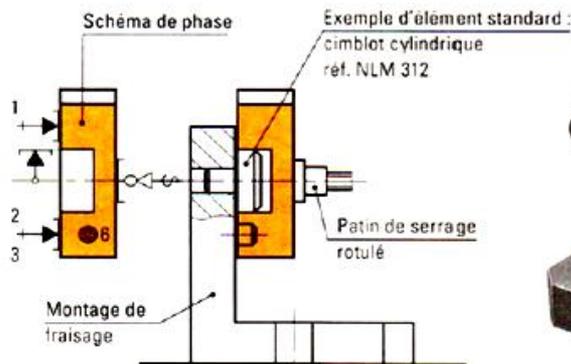
Il est possible de brider les mandrins à la table de la fraiseuse pour soutenir la pièce. Certains modèles de mandrins sont munis de mors mous qui en permettent l'usinage afin d'épouser parfaitement le contour.



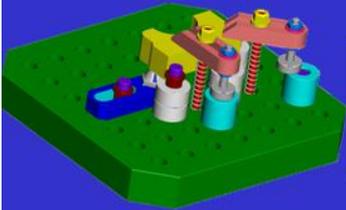
## 2. PORTE PIÈCE SPÉCIFIQUE

Spécifique généralement à une suite d'opérations d'une sous-phase ou d'une phase. Ils conviennent pour les fabrications de moyennes et grandes séries répétitives. Ces porte-pièces ont généralement pour éléments de base des ensembles moulés ou mécano-soudés et utilisent le plus possible des composants standards. Ces porte-pièces ont donc une structure figée dans le temps.

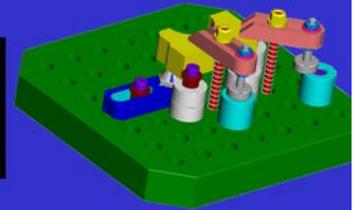
**Exemples : montages de fraisage, de tournage, de perçage...**



# porte pièces spécifiques



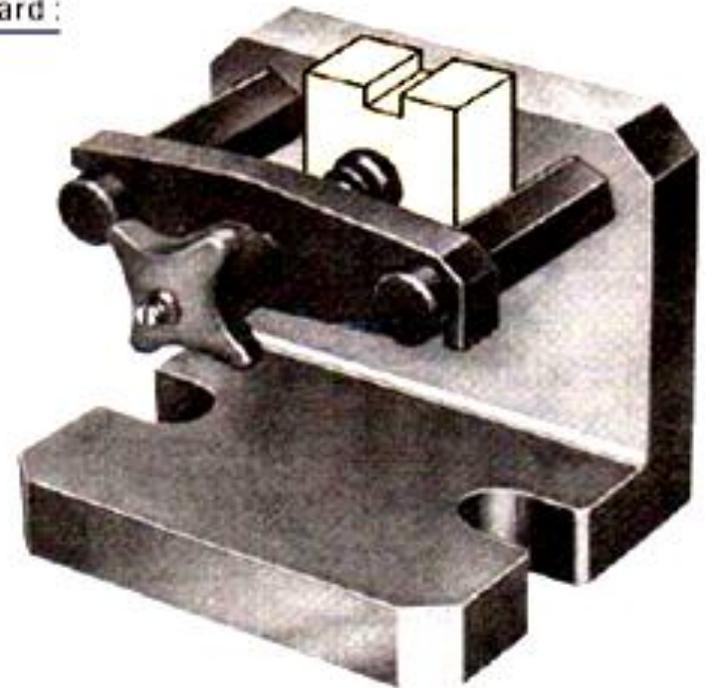
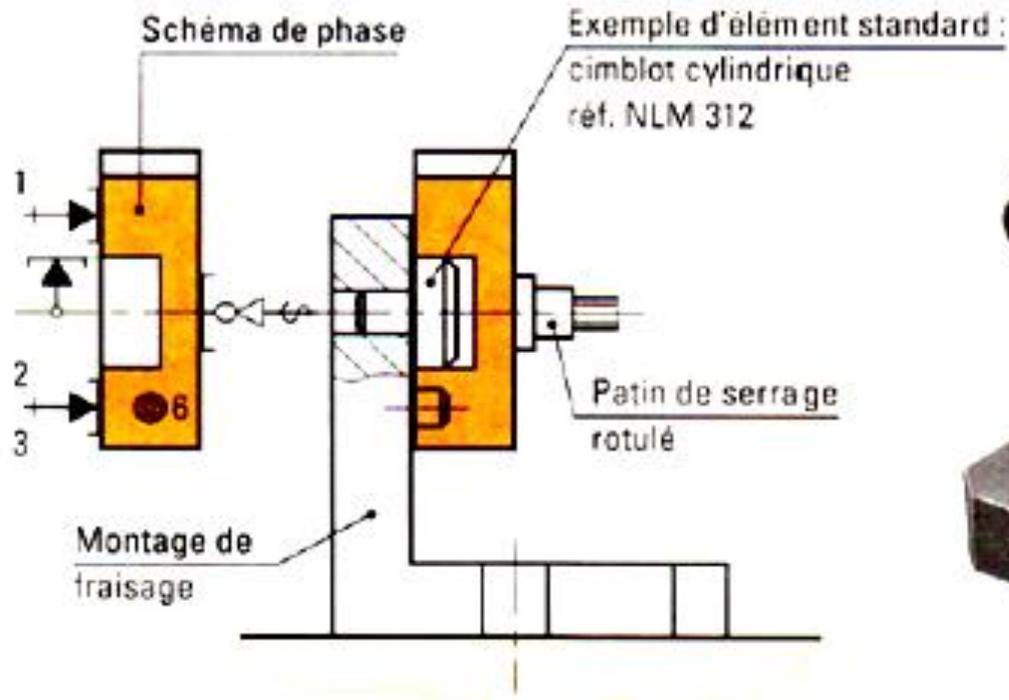
montages modulaires



montages fabriqués



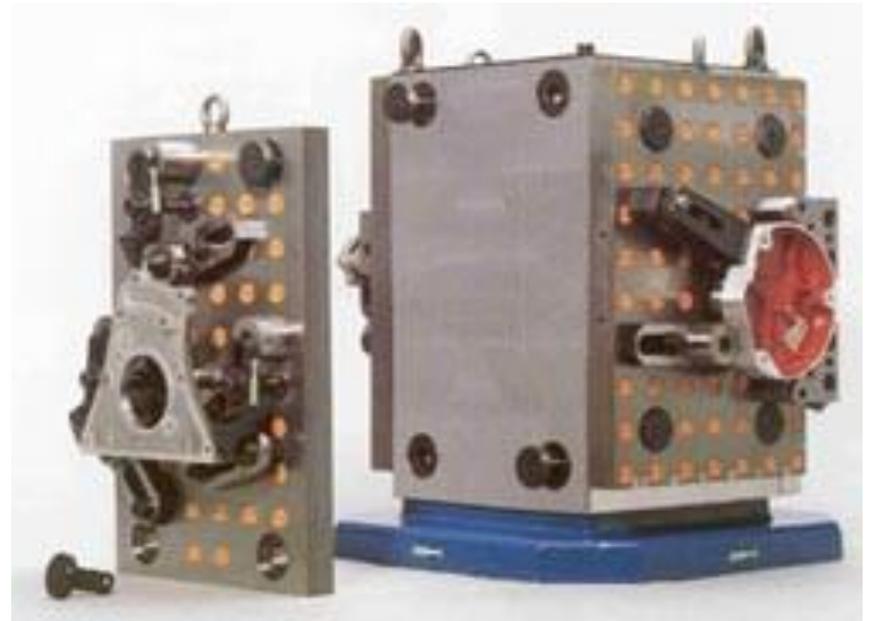
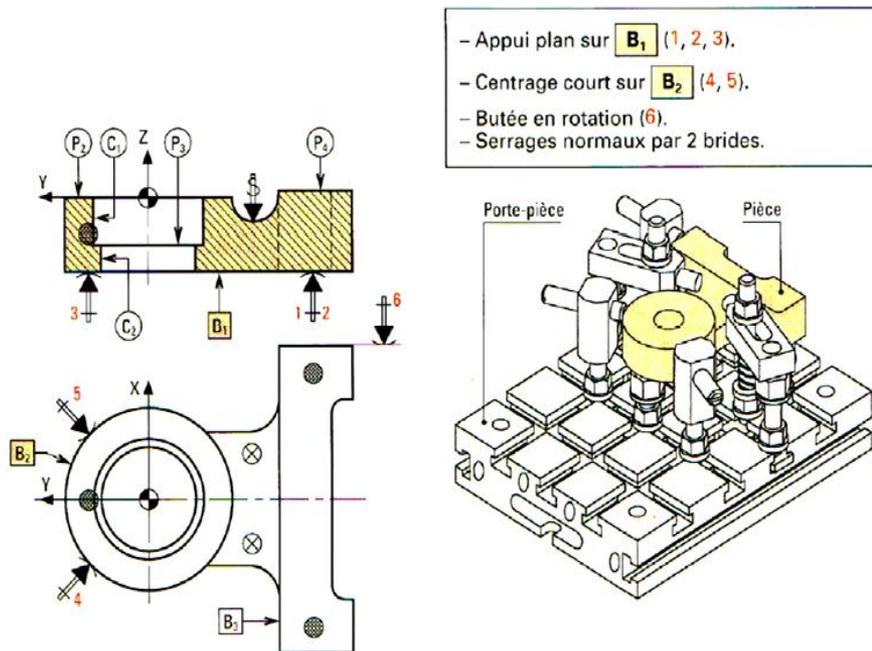
# Représentation



### 3. PORTE PIÈCE MODULAIRE

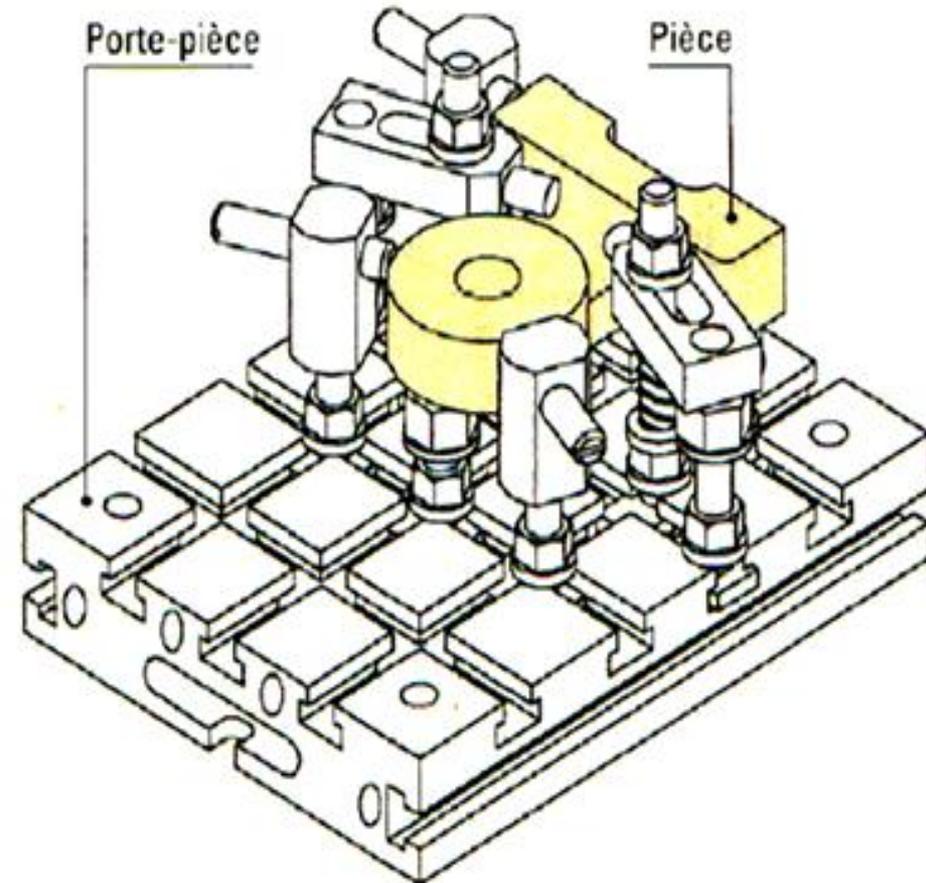
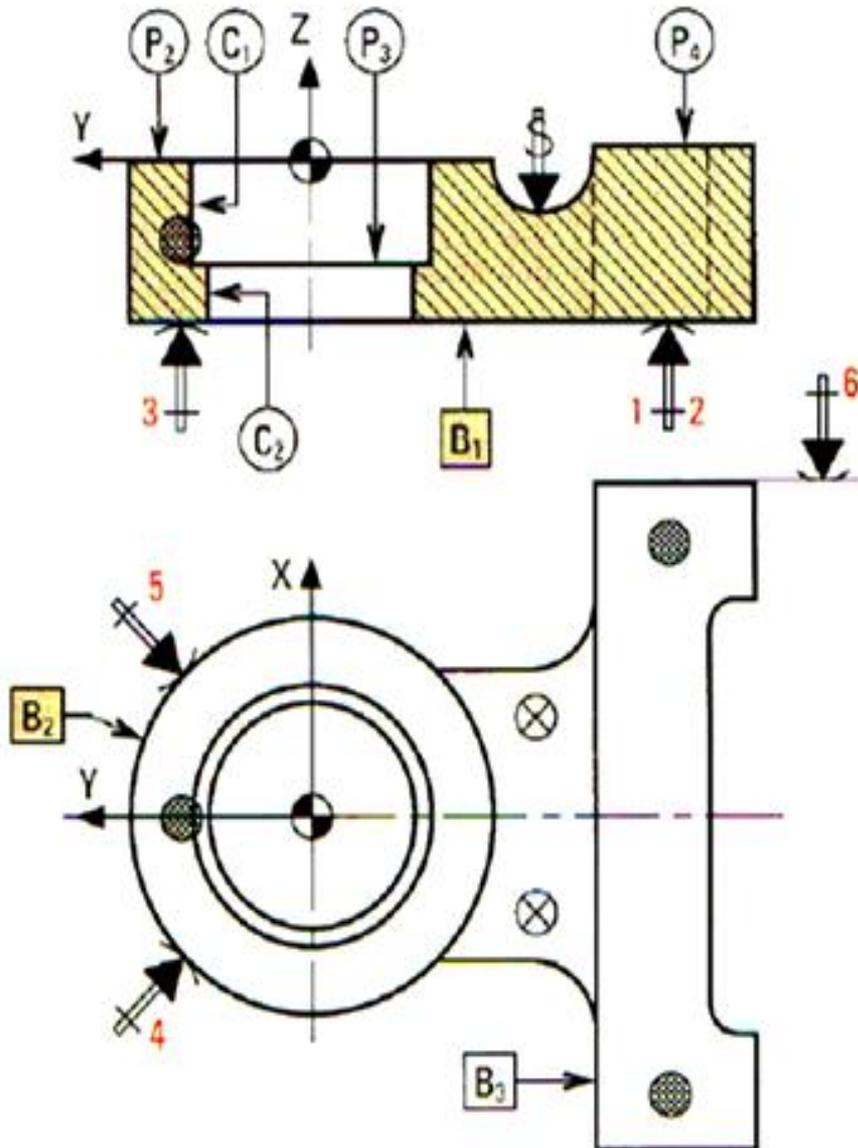
Dédiés généralement à une suite d'opérations d'une sous-phase ou d'une phase. Par combinaison d'éléments modulaires tels que plaque, appui, support, etc. Il est possible de réaliser un porte-pièce à structure modulable dans le temps.

#### Exemples : montage de fraisage, de perçage





- Appui plan sur **B<sub>1</sub>** (1, 2, 3).
- Centrage court sur **B<sub>2</sub>** (4, 5).
- Butée en rotation (6).
- Serrages normaux par 2 brides.



## III. ETUDES COMPARATIFS DES DIFFÉRENTS PORTE-PIÈCES

**Table I**

		Caractéristiques							
Type de porte-pièces	Type de production								
	Flexibilité	Facilité de mise en oeuvre							
		Aptitude à s'adapter à un changement morphologique de la pièce							
		Possibilité d'utilisation pour un autre type de pièce							
		Rapidité de relance d'une production							
		Réduction délai fabrication							
									Coût d'investissement
Standard	Unitaire Petites séries uniques	+	++	-	+	+	+	Faible	
Dédié modulaire	Unitaire Petites et moyennes séries	++	++	+	+	-	++	Important	
Dédié spécifique	Moyennes et grandes séries	0	+	0	0	++	-	Faible à moyen	

**III. ETUDES COMPARATIFS DES DIFFÉRENTS PORTE-PIÈCES**

**Table 2**

		Caractéristiques						
Type de porte-pièces	Type de conception							
		Temps d'étude		Temps de réalisation			Précision	
							Rigidité	
							Absorption des vibrations	
							Longévité	
								Facilité de stockage
Standard	Ensemble du commerce	Aucun	Aucun	-	+	-	++	+
Dédié modulaire	Éléments modulaires	Faible	Faible	++	-/+	-/+	+	++
Dédié spécifique	Assemblé Mécano-soudé	Important	Important	+	++	++	+	-

#### IV. Montage particulier des pièces:

- **Par Collage** à la résine pour le contrôle de pièce sur MMT (*Machine à Mesure Tridimensionnelle*)
- **Par Dépression** (*vide d'air, aspiration*)
- **Par Plateau magnétique** (*plutôt pour rectification*)
- **Par Adhésif double face**
- **Par Gel**

# PARTIE 4: COTATION DE FABRICATION ET TRANSFERT DES COTES

## 1. Cotation de fabrication

Puisque le dessin de définition (DD) du produit ne comporte que les cotes de la pièce finie et compte tenu des contrôles intermédiaires à prévoir durant le processus de fabrication il est nécessaire de mettre en place une cotation dite "de fabrication" concernant :

- la pièce brute
- les cotes intermédiaires (d'ébauche et de demi-finition)
- certaines cotes fabriquées issues d'un transfert de cote imposé par la limitation des possibilités des machines et des outillages ou par une diminution du coût des outillages.

## Par Ailleurs...

Le préparateur imposera des conditions complémentaires pour satisfaire aux exigences technologiques :

- de la coupe (copeaux minimums de finition)
- des procédés d'élaboration des bruts (copeaux minimums d'ébauche)
- des procédés d'usinage (surépaisseur maximum de rectification, etc.).

Ces conditions peuvent aussi être dues à des considérations de prise de pièces, de passage d'outils, etc.

# Classement

Selon les éléments référentiels utilisés pour effectuer les réglages des outils coupants les cotes de fabrication sont classées en trois catégories :

1. **Les cotes dites cotes-machines (Cm)** définissent la forme et la position des surfaces usinées, entre le référentiel pièce et le plan de travail de l'outil (point générateur de l'outil) lorsque celui-ci est réglé par rapport au référentiel
2. **Les cotes dites cotes-appareillages (Ca)** sont obtenues à partir d'un appareillage ou par un gabarit de copiage
3. **Les cotes dites cotes-outils (Co)** définissent la forme, la dimension, la précision des surfaces usinées données, par l'outil (foret, alésoir, fraise, etc.) ou par l'association de plusieurs outils travaillant simultanément (train de fraises) et réglées par des cotes machines ou cotes appareillages

# La cote machine (Cm)

**Définition** : Distance entre la surface fonctionnelle d'un usinage (générée par la coupe d'un outil) et la surface ou ligne d'appui de référence de la pièce (généralement table machine ou guide)

Exemple d'usinage d'une rainure sur une toupie

Guide machine  
(2 points d'appui  
= arête =  
génératrice)

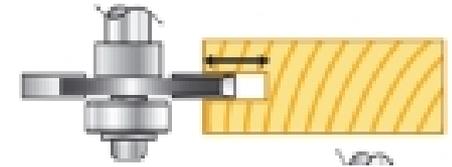
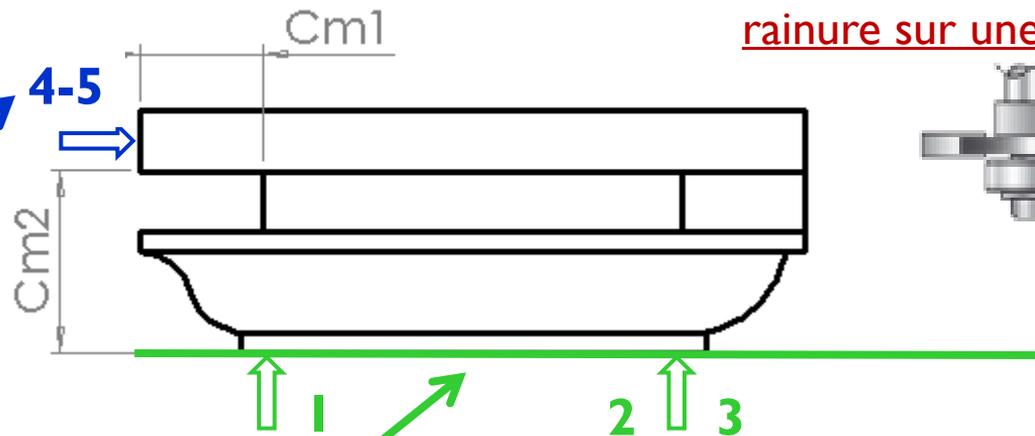
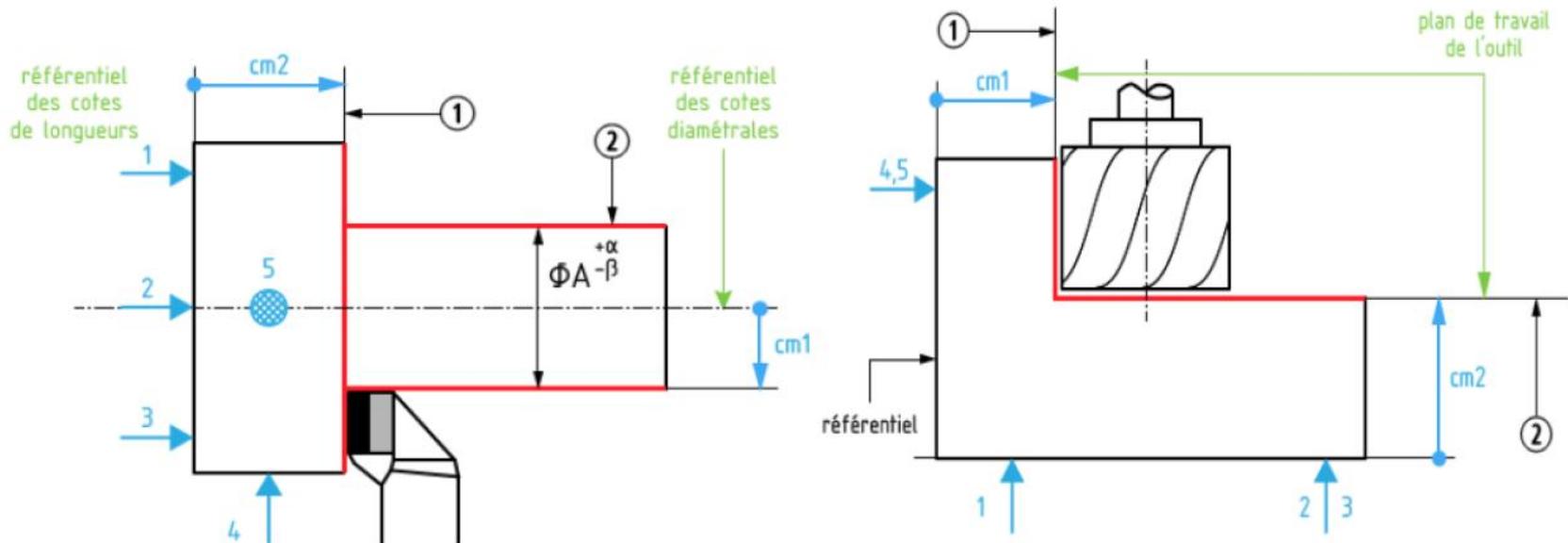


Table machine (3 points d'appui = surface)

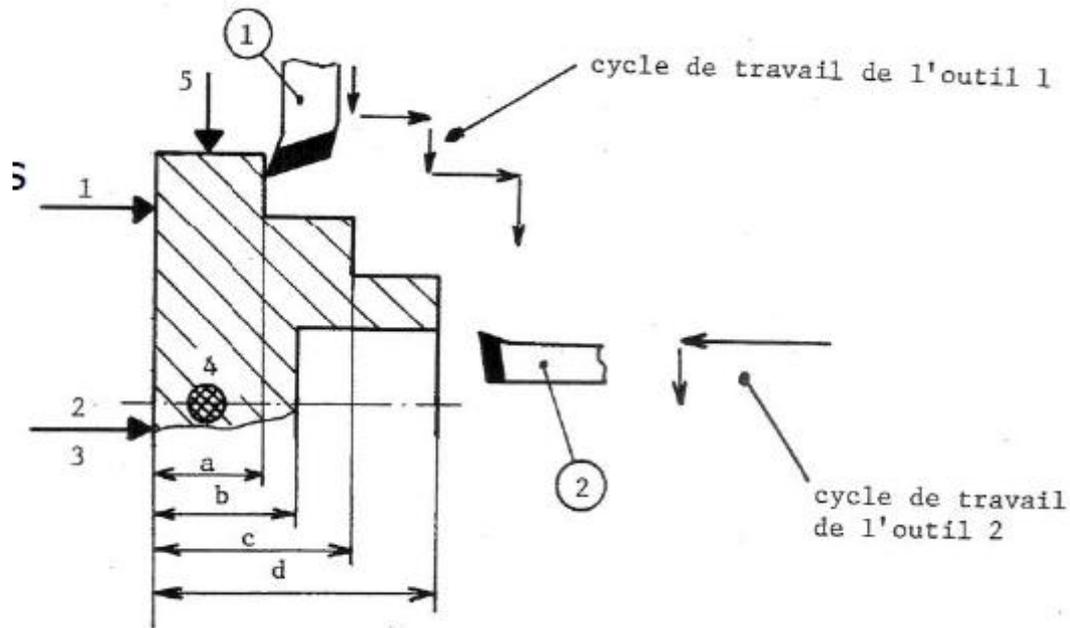
# La cote machine (Cm)

- Contrôlé manuellement, par des butées ou numériquement
- 2 modes:
  - Absolu
  - Incrémental



## Exemple: Cotes machines en mode absolu

- Usinage sur un tour
- Centrage court, appui plan
- Toutes les cotes réalisées dans la même mise en position (même référentiel)
- Toutes les cotes de fabrication sont des cotes machines en absolu
- Les diamètres aussi sont des cotes machines



## Exemple: Cotes machines en mode incrémental

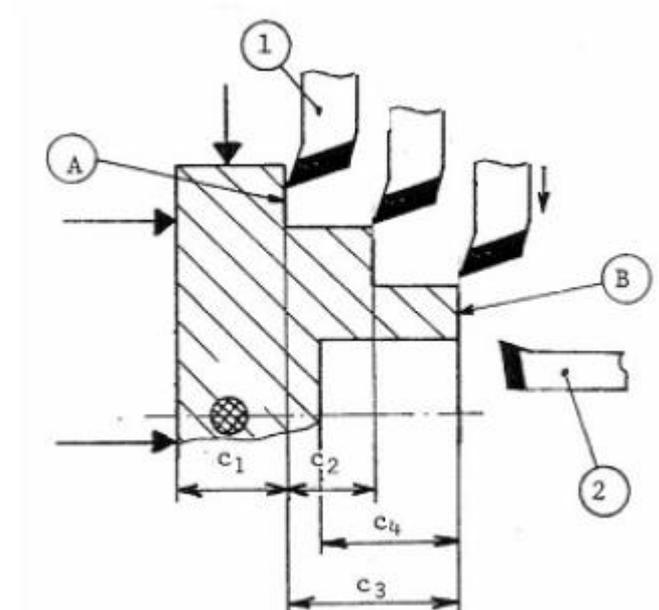
- Usinage sur un tour (même pièce que précédemment)
- Plusieurs mises en position pour réaliser la pièce
- Toutes les cotes de fabrication sont des cotes machines en absolu
- Changement de mise en position --- cotes de fabrication incrémentales

• Usinage séquentiel :

C1

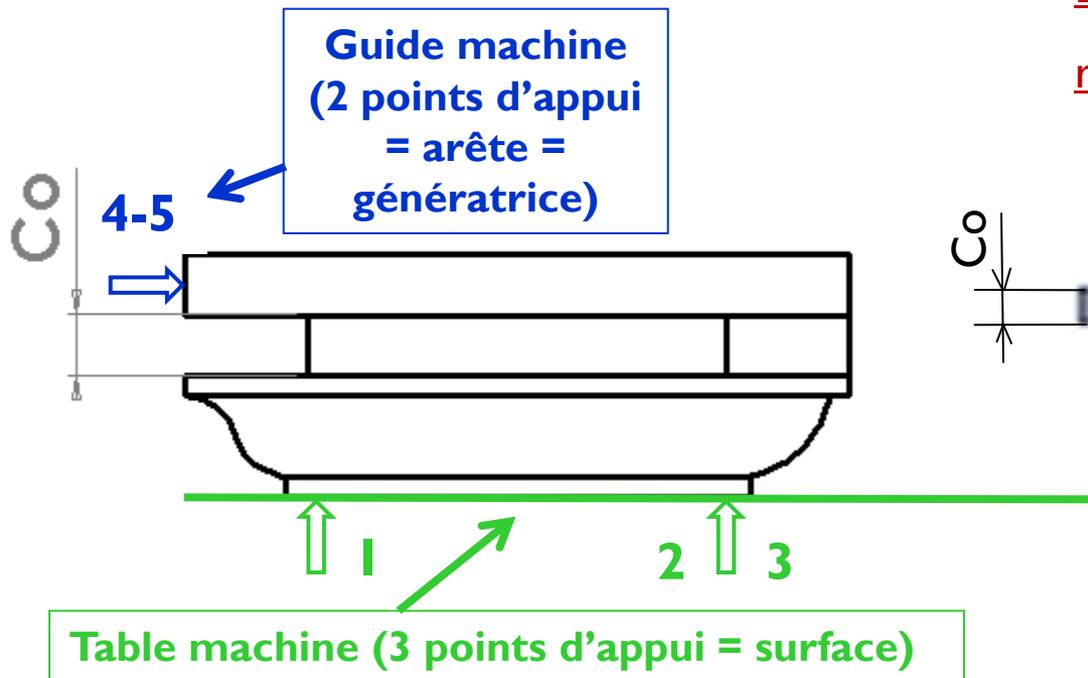
Remise en position sur A: C2, C3

Remise en position sur B: C4



# La cote outil ( $C_o$ )

**Définition** : Distance entre deux surfaces d'un usinage générées par les arêtes de coupe d'un outil

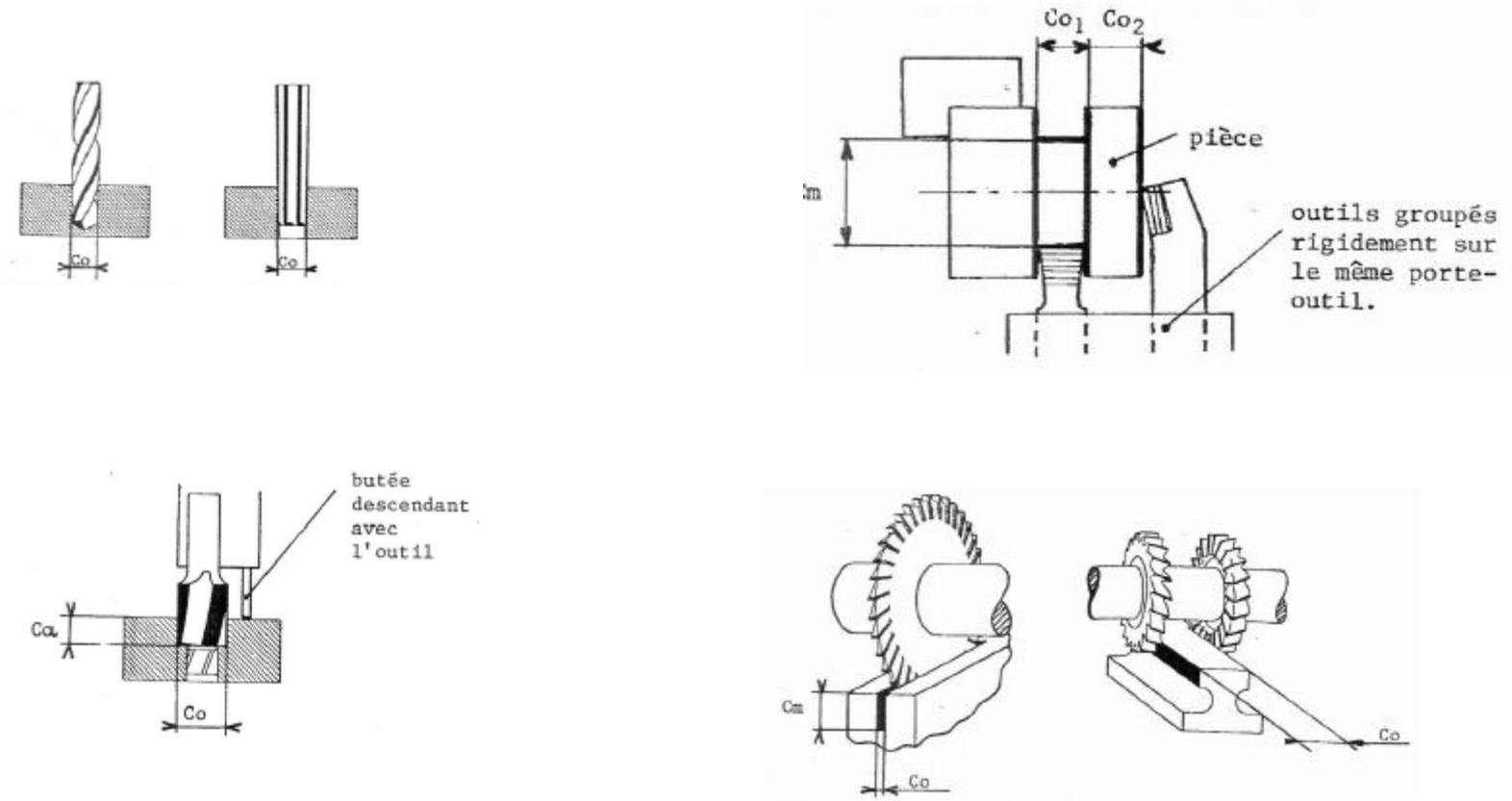


Exemple d'usinage d'une rainure



# La cote outil (Co)

**Définition** : Cote sur la pièce qui reproduit les dimensions des outils ou des réglages sur les outils, Exemple le diamètre d'un trou percé sur un foret





# La cote de réglage (Cr)

**Définition** : Distance entre une surface de référence pièce et la surface générée par l'arête de coupe d'un outil. Cette cote sert uniquement au réglage de la machine.

$$Cr = Cm \text{ Maxi} - IT/3$$

IT = intervalle de tolérance cote de définition

## Exemple d'usinage d'une rainure

Guide machine  
(2 points d'appui  
= arête =  
génératrice)

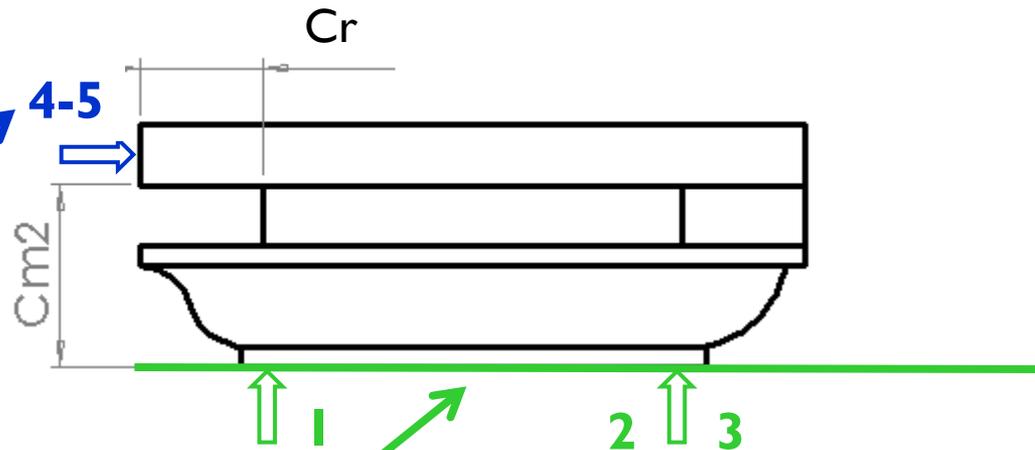
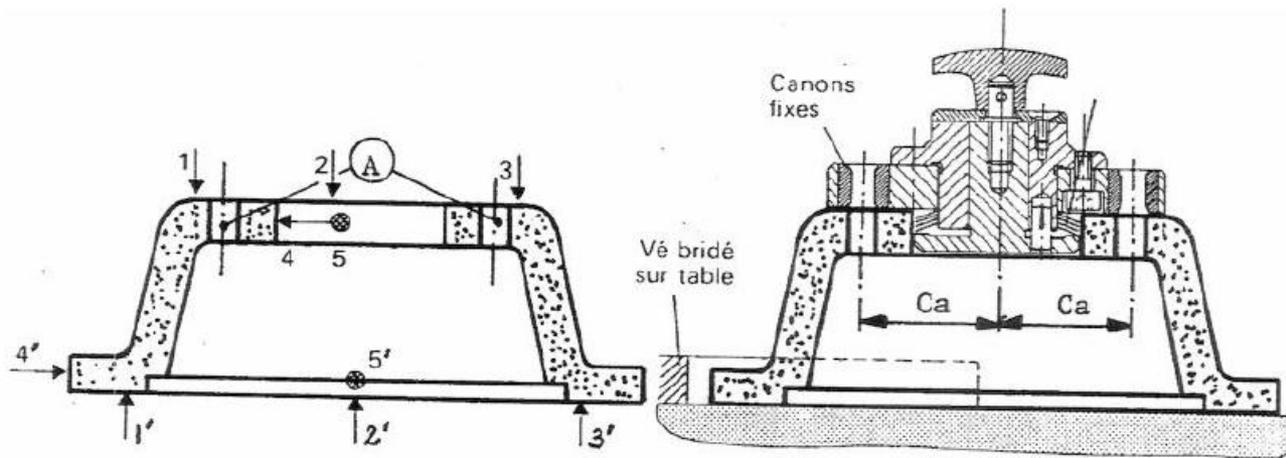


Table machine (3 points d'appui = surface)

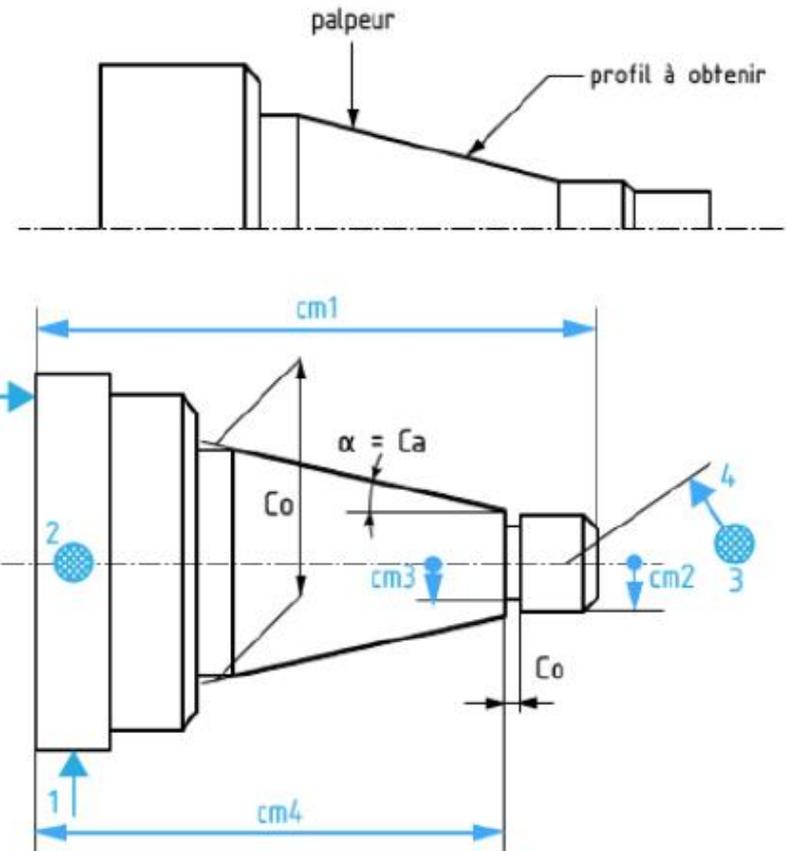
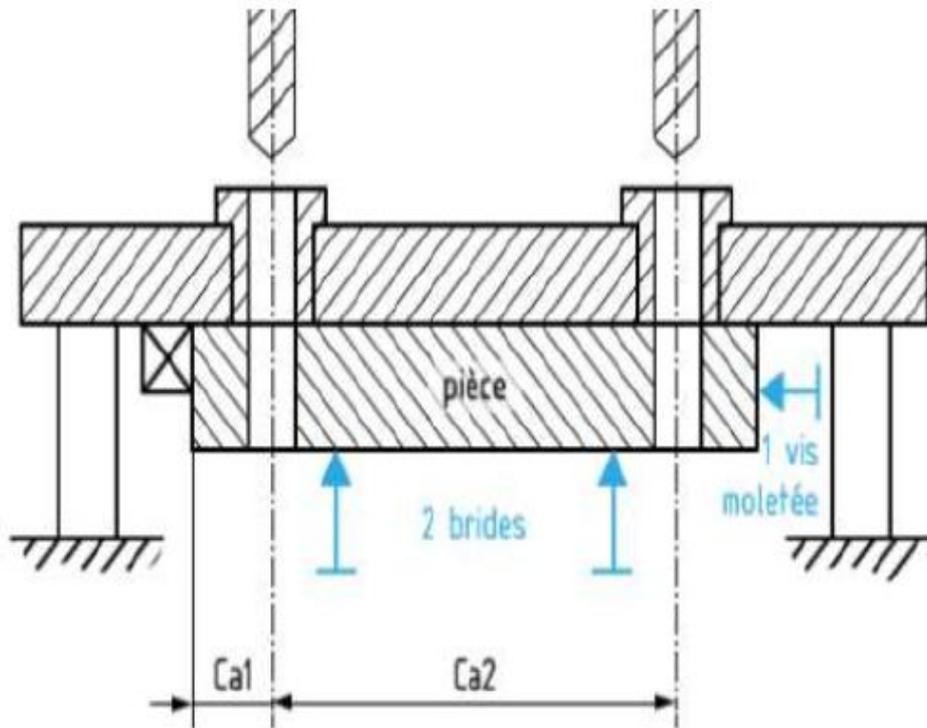
# La cote de réglage (Cr)

## Définition :

- Cotes sur les pièces résultant de dimensions d'appareillage, de montage, etc
- Exemple:
  - Distance entre axes sur une perceuses multibroches
  - Profil sur machines à copier



# La cote de réglage (Cr)

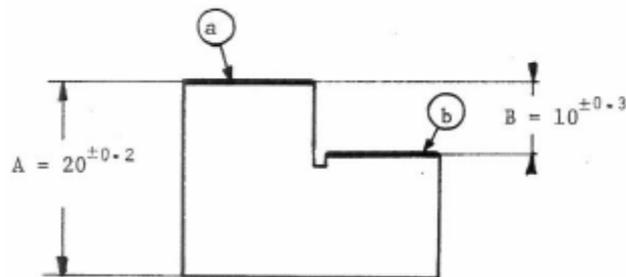


# Transfert des cotes dimensionnelle

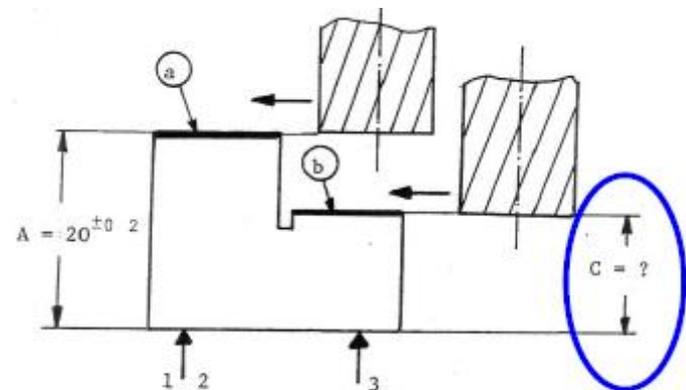
Une cote de fabrication ne correspond pas directement à à une cote du dessin de définition : C'est une cote transférée

Principe de transfert de cote:

- ❖ Réduire les changement de mise position
- ❖ Réduire les coûts
- ❖ Réduire les dispersions d'usinage résultant des remise en position



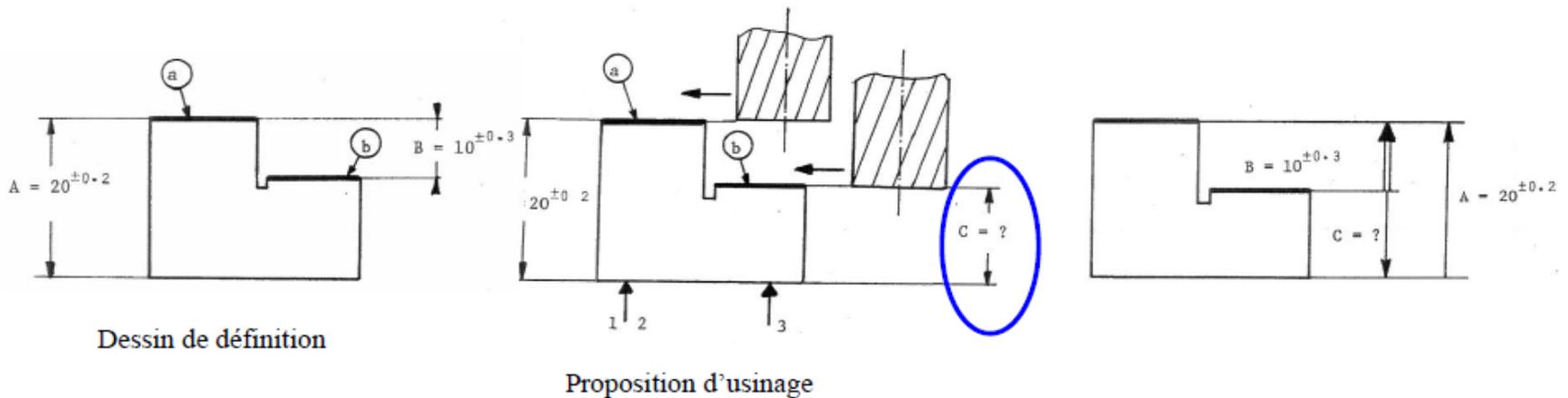
Dessin de définition



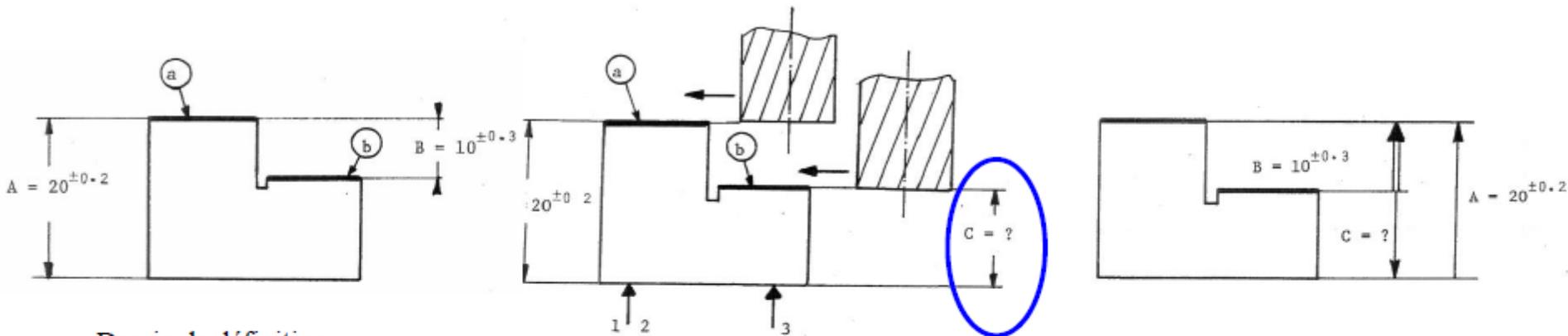
Proposition d'usinage

## ■ Principe de calcul de la cote transférée

- La cote de définition est représentée comme un jeu
- Une chaîne de cotes est établie, incluant la cote de fabrication à calculer
- Les règles de calcul sont les mêmes que pour la cotation fonctionnelle



■ Exemple de calcul de transfert de cote dimensionnelle



Dessin de définition

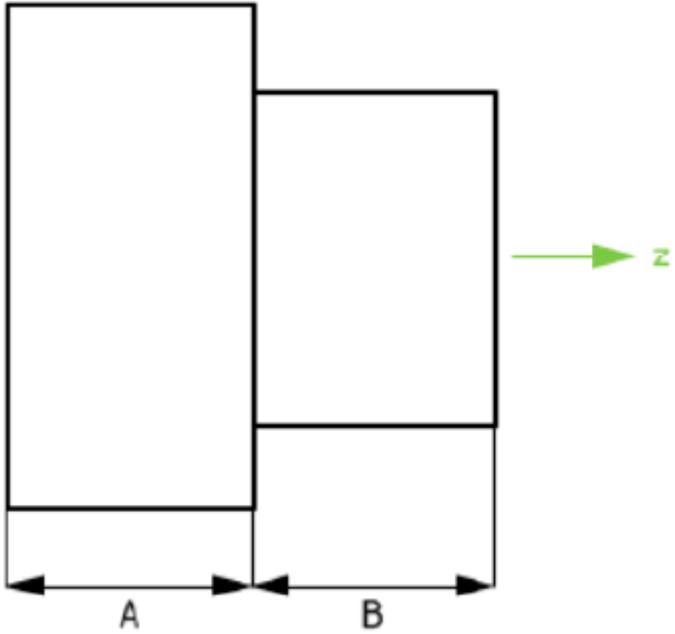
Proposition d'usinage

- $ITB = ITA + ITC$
- $B_{Max} = A_{Max} - C_{min}$
- $B_{min} = A_{min} - C_{Max}$

- $ITC = ITB - ITA = 0,6 - 0,4 = 0,2$
- $C_{min} = A_{Max} - B_{Max} = 20,2 - 10,3 = 9,9$
- $C_{Max} = 9,9 + ITC = 10,1$
- $C = 10^{±0,1}$

# Exemple 2

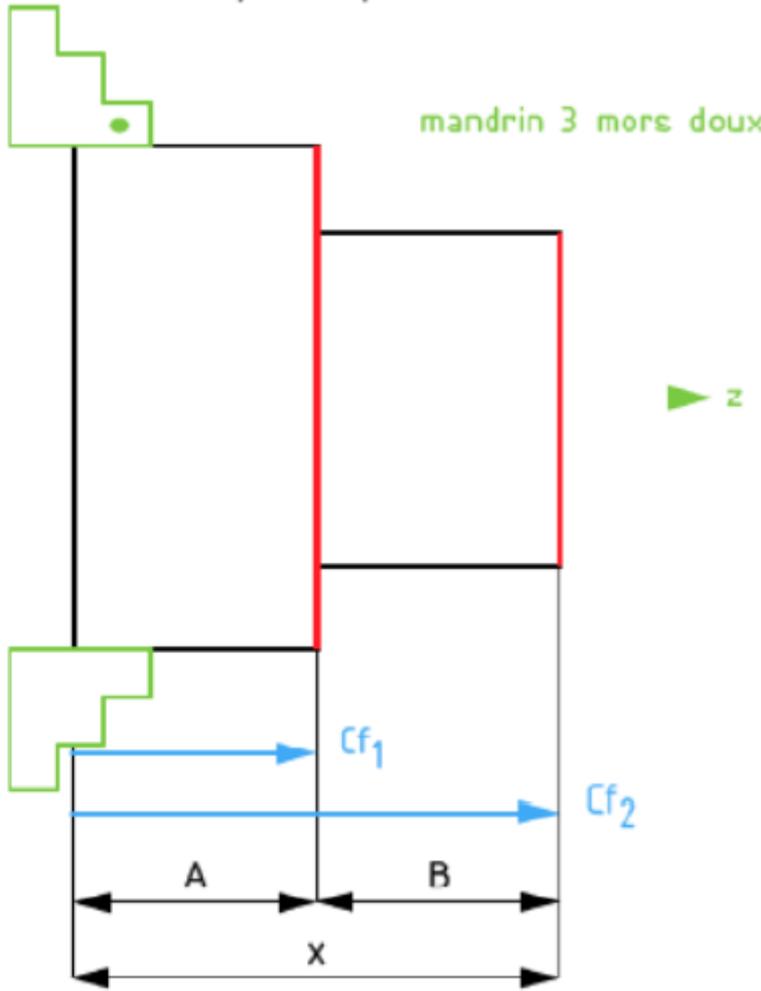
dessin de définition



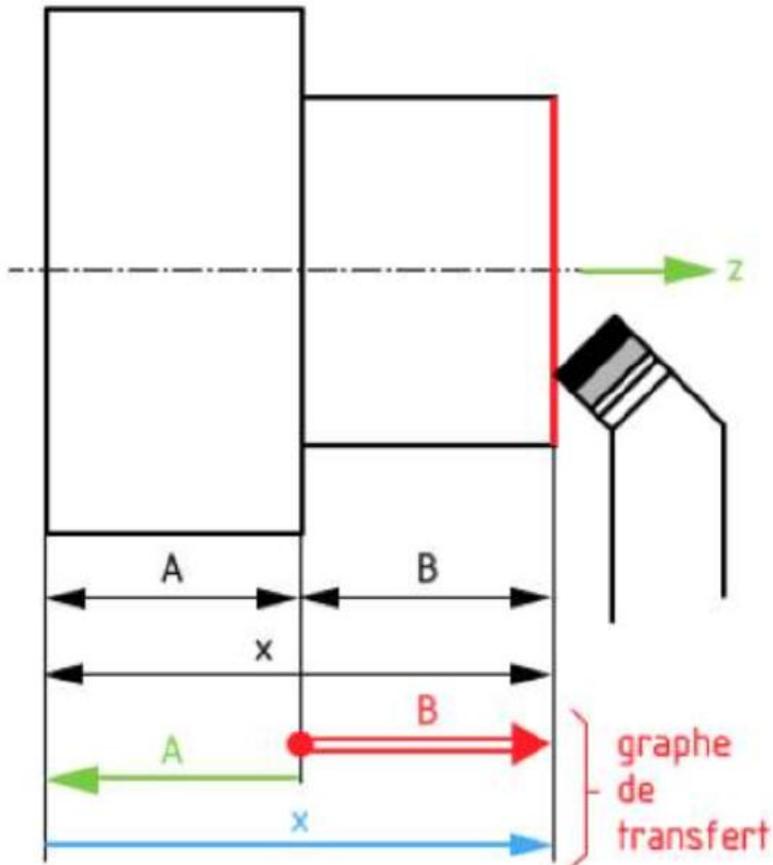
$$A = 20^{\pm 0.2}$$

$$B = 15^{\pm 0.3}$$

croquis de phase



- la cote de définition est représentée comme un jeu ;
- une chaîne de cotes est établie, incluant la cote de fabrication à calculer ;
- les règles de calcul sont les mêmes que pour la cotation fonctionnelle.



$$ITB = ITA + ITX$$

$$B_{Max} = X_{Max} - A_{min}$$

$$ITX = ITB - ITA = 0,6 - 0,4 = 0,2$$

$$X_{Max} = B_{Max} + A_{min} = 15,3 + 19,8 = 35,1$$

$$X_{min} = X_{Max} - ITX = 34,9$$

$$X = 35^{\pm 0,1}$$

## Règles pour une chaîne de cotes

- Les cotes conditions sont représentées par des flèches doubles ( $\rightleftarrows$ ).
- Les cotes composantes sont représentées par des flèches simples ( $\rightarrow$  ou  $\leftarrow$ ), le maxi vers la droite et le mini vers la gauche ;
- Les cotes conditions proviennent des cotes du bureau d'étude ;
- Les cotes composantes proviennent des cotes de brut et des cotes fabriquées dans la gamme prévisionnelle.
- Pour chaque cote condition, on établira une chaîne de cotes partant du pied de la condition et fermant la chaîne à la tête de la condition.

➤ **L'IT cote condition = somme des IT cotes composantes**

Si l'IT d'une cote fabriquée cherchée est négatif, plusieurs solutions s'offrent à nous ;

-Demande de modification d'un IT au bureau d'étude

- Réduction d'un IT de la chaîne pour répartir les tolérances sur les autres cotes

**(Attention de reprendre la simulation en aval pour modification)**

## Conclusion

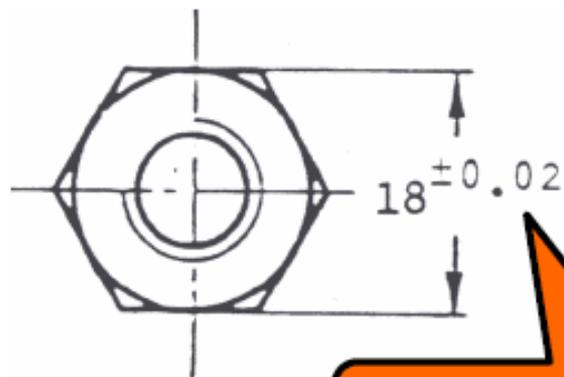
Le transfert de cotes est une méthode qui permet de définir les cotes de fabrications à partir de la cotation fonctionnelle

- Un transfert de cotes réduit énormément l'intervalle de tolérance de la cote transférée
- Évite un démontage/remontage
- Moins de dispersions dues aux manipulations
- Moins de montages d'usinage
- Moins de temps improductifs
- Usinage plus précis
- Augmentation des coûts d'usinage

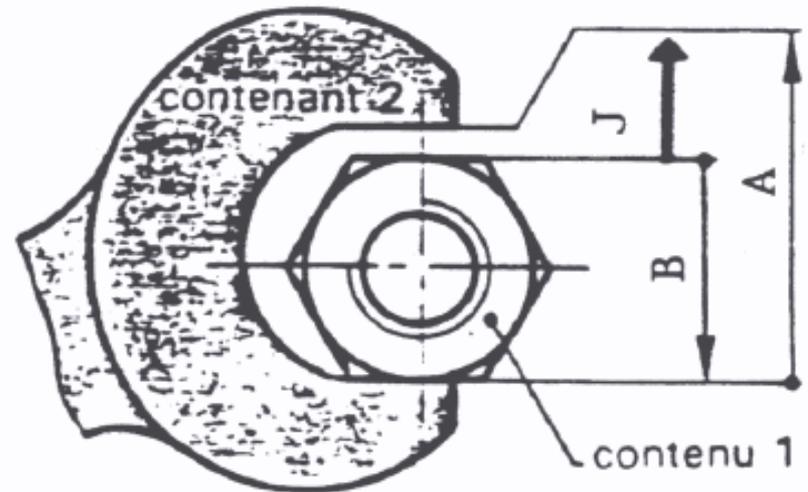
Il faut déterminer le type de cote avec sa valeur afin de pouvoir réaliser les réglages nécessaires à l'obtention de l'usinage.

## EXERCICE 1: Ecrou Standard

- Insertion facile de la clé:  $J_{\min} = 0.03 \text{ mm}$
- La clé n'endommage pas l'écrou:  $J_{\max} = 0.15 \text{ mm}$



IT garanti par le manufacturier



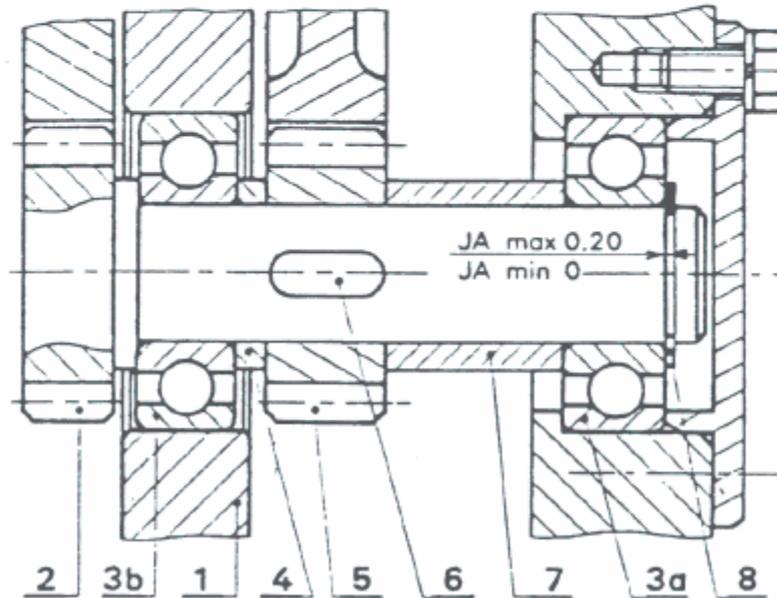
- Ainsi, quelle doit être la cote tolérancée de la clé afin qu'elle s'adapte sur les écrous standards en respectant les valeurs limites de  $J$  ?

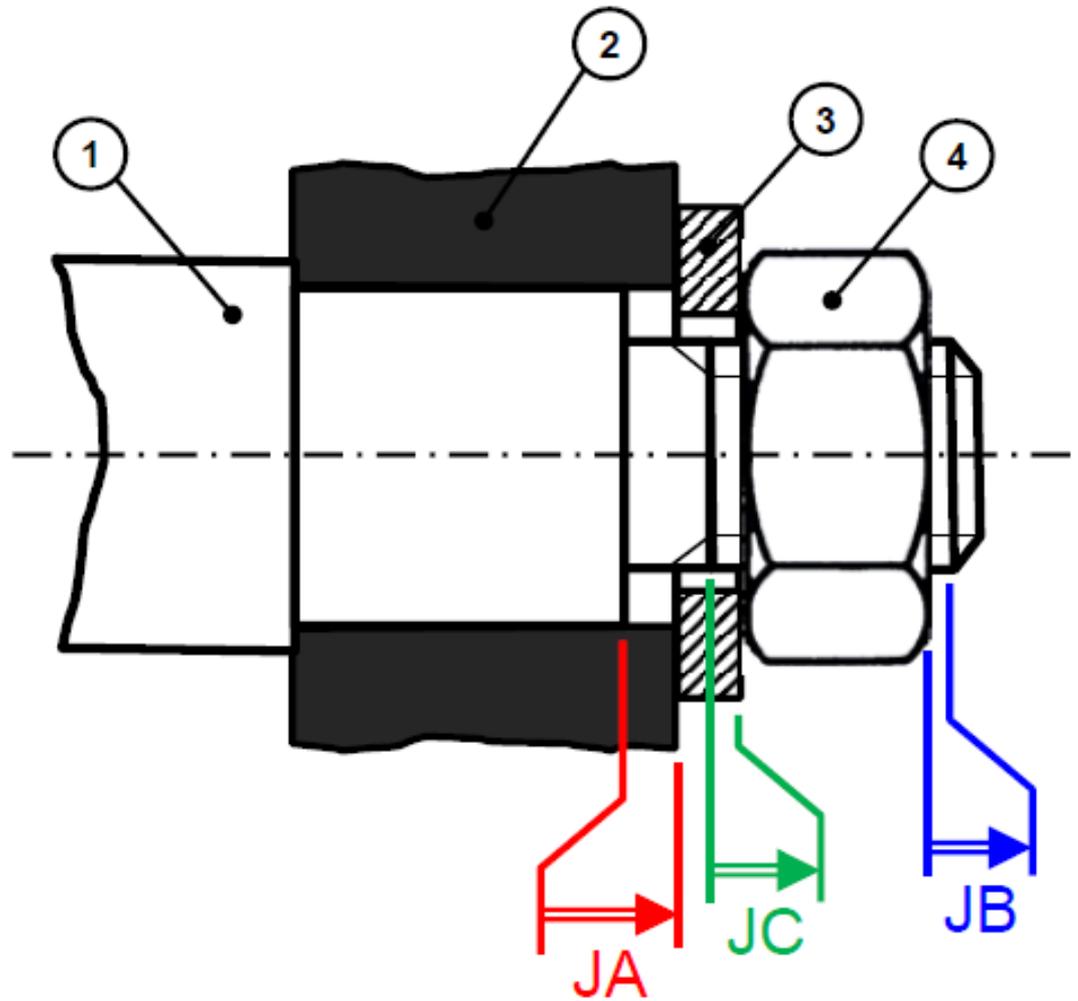
## EXERCICE 2: Montage roulement

1. Établir la chaîne de cotes de JA entre le roulement à billes (3a) et l'anneau élastique (8);
2. Écrire l'expression vectorielle de JA;
3. Vérifier que les jeux min et max sont respectés étant données des tolérances des cotes intervenant dans la chaîne correspondant à un coût de fabrication raisonnable;

### ■ Données:

- $0 < JA < 0,2\text{mm}$
- $A3 = 11_{-0,12}^0$
- $A2 = 59_{\pm 0,1}$
- $A7 = 19_{\pm 0,05}$
- $A5 = 13_{\pm 0,05}$
- $A4 = 3_{\pm 0,05}$
- $A8 = 1h11 = 1_{-0,06}^0$





# PARTIE 4: LE CONTRAT DE PHASE

## 1- LE CONTRAT DE PHASE

Le contrat de phase est le document de référence de l'opérateur. Il décrit l'ensemble des opérations, éventuellement groupées en sous-phases, réalisées sur un même poste de travail.

Réalisé à partir de l'avant projet de fabrication, il permet à l'opérateur de :

- déterminer la cotation de fabrication,
- de mettre en place les montages d'usinage,
- de réaliser les réglages de la machine,
- de préparer le poste de contrôle.

Il devient définitif lorsque les responsables de production ont validé le processus de fabrication et que celle-ci

peut être qualifiée de fabrication stabilisée.

## 2 – CONTENU DU CONTRAT DE PHASE

1. **Le numéro de la phase** : il permet de repérer la phase dans l'ordre chronologique de la nomenclature des phases.
2. **La désignation de la phase.**
3. **Les références de la pièce** :
  - ensemble,
  - pièce,
  - matière,
  - nombre.
4. **La machine-outil utilisée** : dans une unité de production importante, la machine est désignée de façon précise (type,numéro,...) en fonction de la planification de la gestion de production (ordonnancement).

CONTRAT DE PHASE PRÉVISIONNEL	Ensemble : Montage MUPH20 ③	1 1
	Pièce : Centreur ③	
① Phase n° 20	Matière : 20S200 (étiré Ø 28×35) ③	BUREAU DES MÉTHODES
	Nombre : 2 pièces ③	
Désignation : TOURNAGE ②		
Machine-outil : Tour parallèle – Porte-pièce : mandrin 3 mors durs ④		

## 2 – CONTENU DU CONTRAT DE PHASE

### 5. Le croquis de phase :

- Dessin de la pièce à usiner,
- Symbolisation technologique de la mise en position,
- Cotation de fabrication,
- Repérage des surfaces,
- Surface(s) usinée(s) repassée(s) en trait fort,
- Dessin de l'outil de coupe,
- Mc et Mf.
- Les axes machines.

### 6. Les opérations d'usinage.

### 7. Les éléments de coupe.

### 8. L'outillage de fabrication et de vérification.

The technical drawing shows a shaft with two diameters. The larger diameter section has a length of  $Cf1 = 32^{+0,5}$  mm and a surface finish of  $Ra = 3,2$ . The smaller diameter section has a chamfered end with a chamfer width of  $Cf2 = 31,5_{-0,5}^0$  mm at a  $45^\circ$  angle. The drawing includes cutting parameters:  $F4$  (feed),  $Mc$  (cutting speed),  $F2$  (feed),  $F3$  (feed),  $C2$  (cutting speed),  $Mf$  (cutting speed), and  $Mc$  (cutting speed). The drawing is marked with a circled 5 (5) in the top right corner.

Désignation des sous-phases et opérations	Éléments de coupe					Outillage	
	Vc m/min	n tr/min	f mm/tr	fz mm/dt	Vf mm/min	Fabrication	Vérification
201 Dresser F2 en finition $Cf1 = 32^{+0,5}$ $Ra = 3,2$	120	3183	0,15		477	Outil à chariotier-dresser carbure (PCLN)	Pied à coulisse Rugotest
202 Chanfreiner F3 en finition $Cf2 = 31,5_{-0,5}^0$ à $45^\circ$ $Ra = 3,2$	100	3183	manu.			Outil à chariotier-dresser carbure (PSSN)	Projecteur de profil Rugotest
⑥	⑦	⑦	⑦	⑦	⑦	⑧	⑧

<https://www.youtube.com/watch?v=rRuyb7s23>

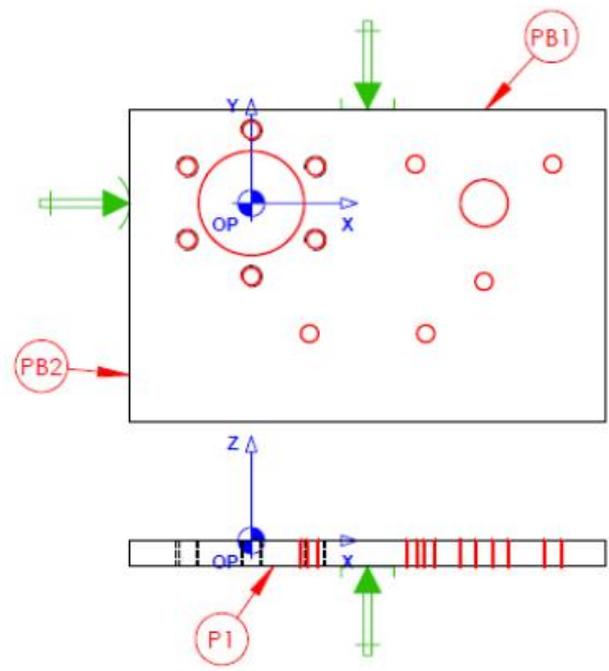
IU

### 3 – EXEMPLES

CONTRAT DE PHASE PRÉVISIONNEL	Ensemble : Montage MUPH20 (3)	1 / 1					
	Pièce : Centreur (3)						
① Phase n° 20	Matière : 20S200 (étiré $\varnothing$ 28x35) (3)	BUREAU DES MÉTHODES					
	Nombre : 2 pièces (3)						
Désignation : TOURNAGE (2)							
Machine-outil : Tour parallèle – Porte-pièce : mandrin 3 mors durs (4)							
Désignation des sous-phases et opérations	Éléments de coupe					Outillage	
	Vc m/min	n tr/min	f mm/tr	fz mm/dt	Vf mm/min	Fabrication	Vérification
201 Dresser F2 en finition Cf1 = 32 $\pm 0,5$ Ra = 3,2	120	3183	0,15		477	Outil à chariot-dresser carbure (PCLN)	Pied à coulisse Rugotest
202 Chanfreiner F3 en finition Cf2 = 31,5 $\begin{smallmatrix} 0 \\ -0,5 \end{smallmatrix}$ à 45° Ra = 3,2	100	3183	manu.			Outil à chariot-dresser carbure (PSSN)	Projecteur de profil Rugotest
(6)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(8)	(8)

### 3 – EXEMPLES

<b>CONTRAT DE PHASE</b>		Ensemble	MOTEUR STIRLING		1
<b>Phase 20</b>		Pièce	PLAQUE SUPPORT		1
<b>FRAISAGE</b> <b>SAPHIR 450</b>		Matériau	EN AW 2017	Nom	DT 04
		Série			
		Programme	% 500		
		Brut	Plaque 90x60x5		



MIP :  
 - appui plan sur P1  
 - appui linéaire rectiligne sur PB1  
 - appui ponctuel sur PB2

Porte-Pièce : etau

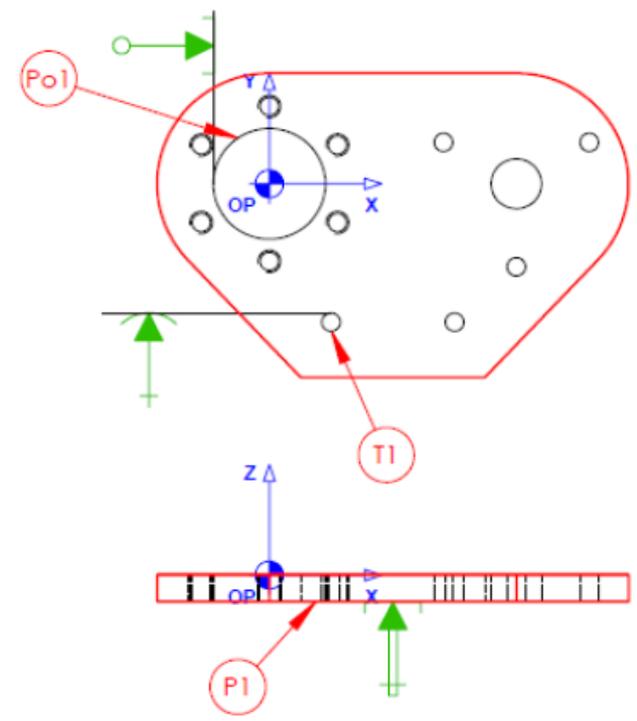
OPERATIONS	OUTILS	Vc m/min	n tr/min	f / fz mm/tr mm/dent	Vf mm/min	T	D
a) Pointer les 11 trous Ta1, Ta2, Ta3, Ta4, Ta5, Ta6, T1, T2, T3, T4 et T5	Foret centreur en carbure 90° d = 8 TITEX A 1174*8		2000	0.05		20	20
b) Percer avec débourrage des 11 trous Ta1, Ta2, Ta3, Ta4, Ta5, Ta6, T1, T2, T3, T4 et T5 (D3.3)	Foret HSS DIN338 118° court d = 3,3 TITEX A 1211 *3,3		2000	0.05		16	16
c) Tarauder les 6 trous Ta1, Ta2, Ta3, Ta4, Ta5 et Ta6 (M4)	Taraud court, entrée C, rainures droites, hélice à droite, DIN 352 M4 TITEX B 1131*M4		250	0.7	175	17	17
d) Usiner les 2 poches Po1 et Po2 en ébauche	Fraise 2 tailles HSS DIN 844K D = 8 TITEX D 2249*8		2000		200	18	18
d) Usiner les 2 poches Po1 et Po2 en finition	Fraise 2 tailles HSS DIN 844K D = 8 TITEX D 2249*8		2000		200	18	18

### 3 – EXEMPLES

## CONTRAT DE PHASE Phase 30

Ensemble	MOTEUR STIRLING		<table border="1"> <tr> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> </tr> </table>	1	1
1					
1					
Pièce	PLAQUE SUPPORT				
Matériau	EN AW 2017				
Série		Nom			
Programme	% 501				
Brut	Plaque 90x60x5		DT 04		

FRAISAGE  
SAPHIR 450



MIP :  
- appui plan sur P1  
- appui linéaire annulaire sur Po1  
- appui ponctuel sur T1

Porte-Pièce : montage d'usinage

OPERATIONS	OUTILS	Vc m/min	n tr/min	f / fz mm/tr mm/dent	Vf mm/min	T	D
a) Contourner le profil Cont1 en ébauche	Fraise 2 tailles série normale DIN 844K D = 14 TITEX D 3213*14		2000		200	12	12
b) Contourner le profil Cont1 en finition	Fraise 2 tailles série normale DIN 844K D = 14 TITEX D 3213*14		2000		200	12	12