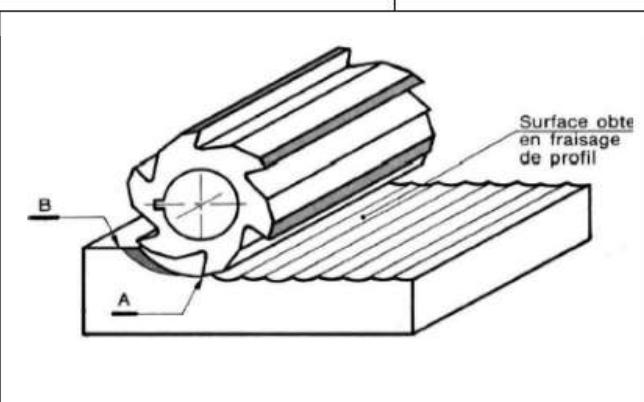
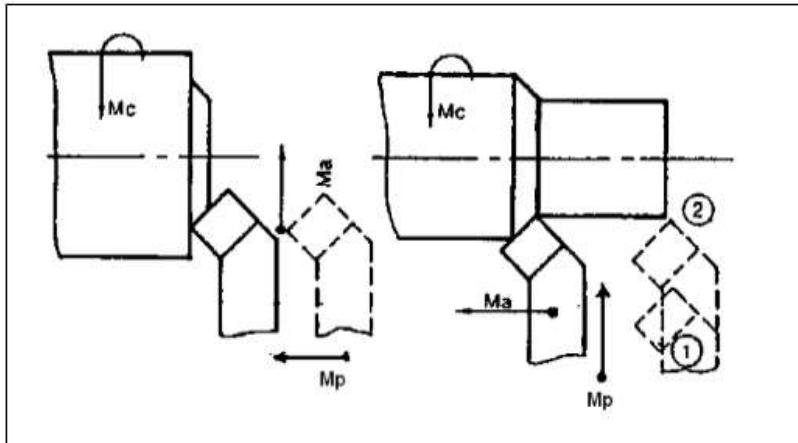


Analyse de fabrication et gammes d'usinage



Chapitre 1 :

LA FONCTION METHODES D'USINAGE

1. ROLE ET SITUATION DANS L'ENTREPRISE

1. 1. GÉNÉRALITÉS

Le passage de l'idée à la réalisation effective d'une pièce mécanique (ou d'un produit quelconque de manière générale) fait intervenir trois fonctions principales :

- la conception**
- l'étude et la préparation de la fabrication,**
- la fabrication.**

Le temps et les moyens consacrés à la réalisation de chaque fonction dépendent du type de produit fabriqué et de son nombre d'exemplaires.

Selon le type d'entreprise, la réalisation des fonctions peut être assurée par une seule personne (fabrication artisanale) ou par des services très spécialisés (fabrications sérielles de produits de moyenne ou grande complexité technique).

Les principaux services mis en jeu sont :

- le bureau des études** (comprenant les services essais et prototypes)
- les bureaux des méthodes** (usinage, élaboration des pièces brutes, etc.)
- les ateliers de fabrication.**

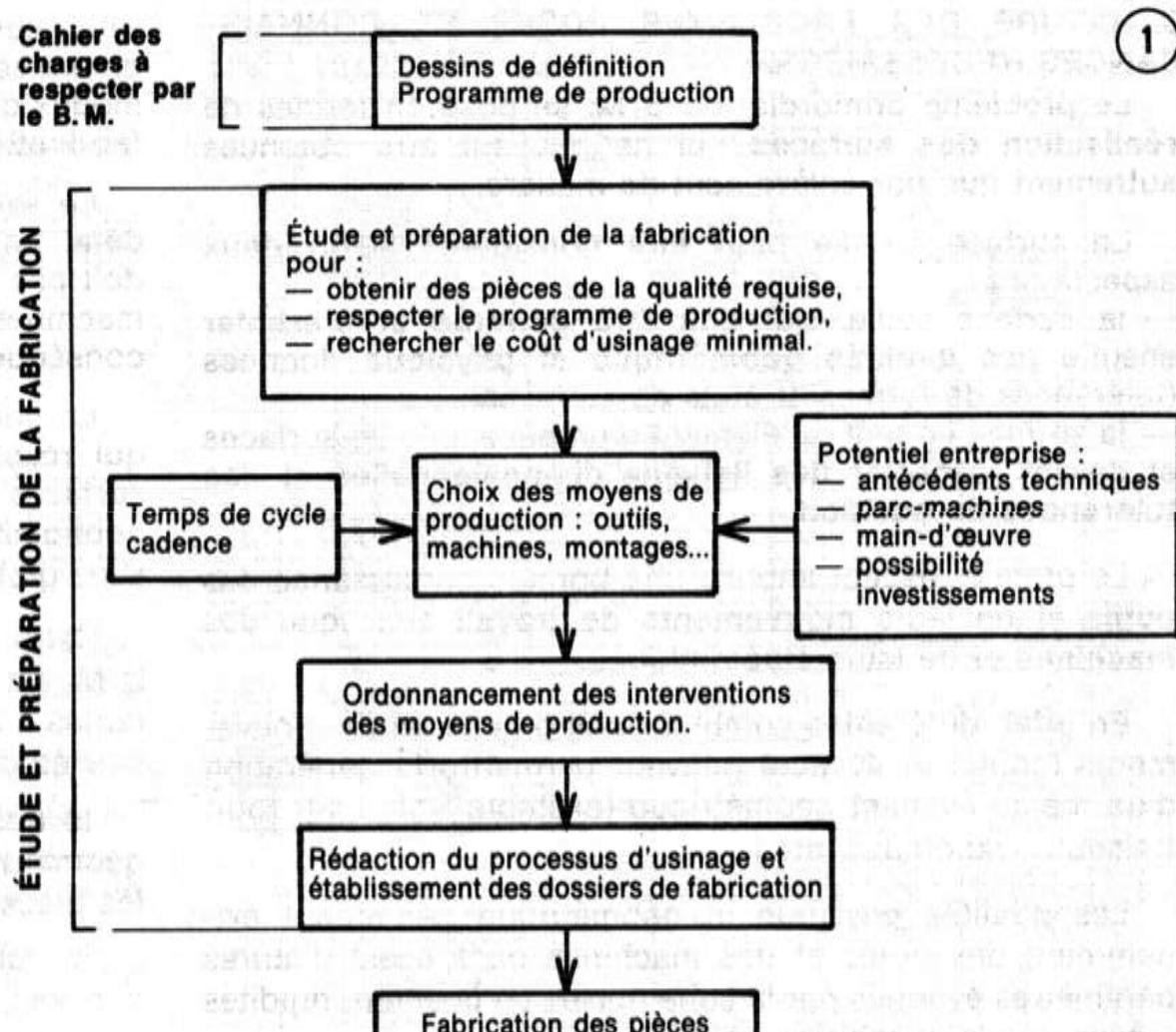
1.2. RÔLE DU SERVICE MÉTHODES USINAGE

Il est responsable de l'étude et de la préparation de la fabrication.

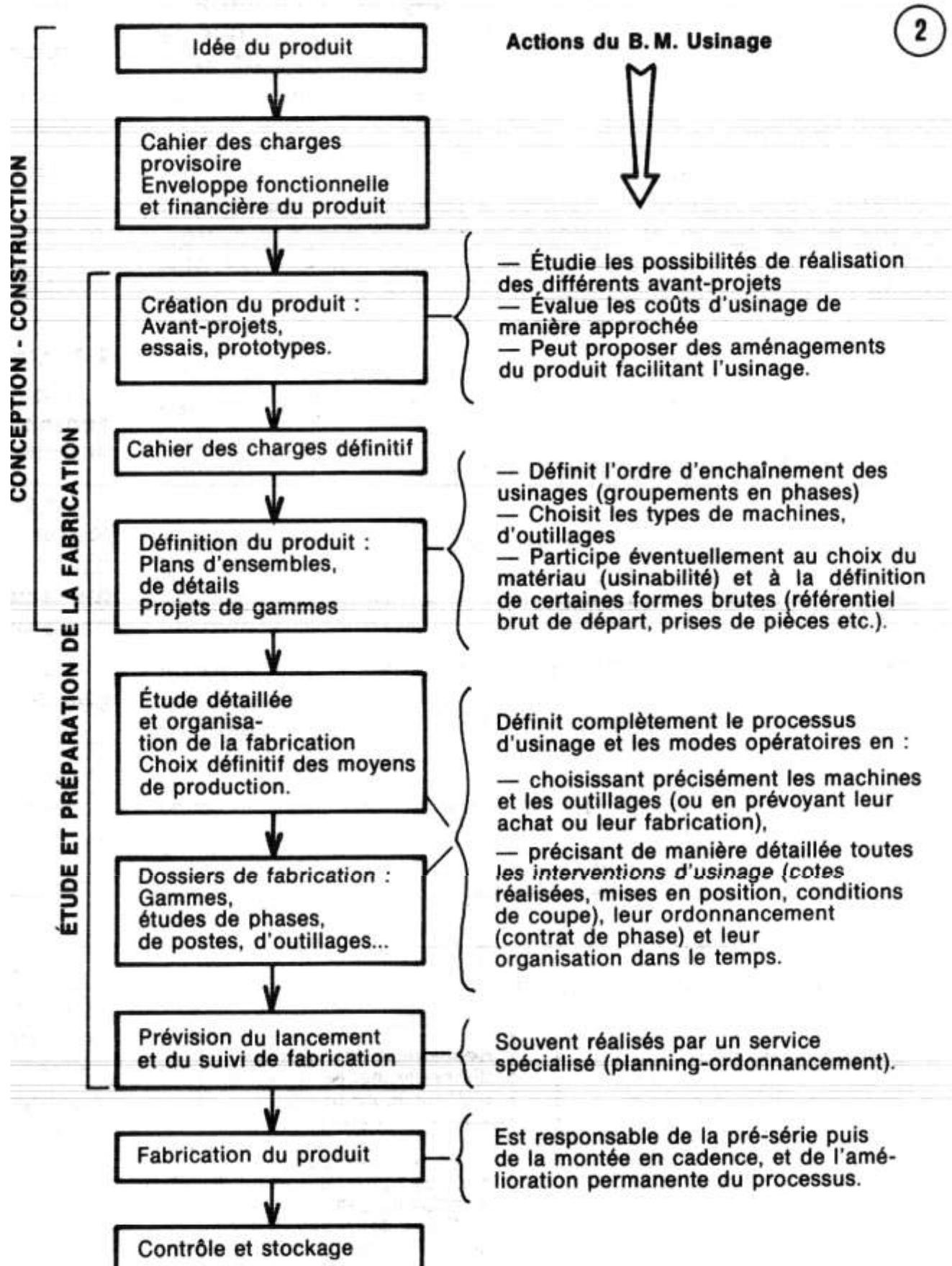
Ce qui consiste à prévoir, préparer, lancer puis superviser le processus d'usinage permettant de réaliser des pièces conformes au cahier des charges exprimé par le dessin de définition, en respectant un programme de production donné, dans un contexte technique, humain et financier déterminé.

Pour atteindre ses objectifs le B. M. peut intervenir de deux manières différentes :

- Soit en étudiant l'usinage de pièces définies par des dessins (cas de pièces unitaires ou de petites séries réalisées en sous-traitance). Voir la figure 1.
- Soit en participant à l'élaboration du dessin de définition avec le bureau des études, puis en étudiant l'usinage (cas de pièces de grandes séries conçues et fabriquées dans la même entreprise).



Actions du B. M. et leurs niveaux d'intervention dans l'organigramme de création d'un produit.



2. NATURE DES PROBLÈMES POSÉS ET CONNAISSANCES NÉCESSAIRES

Le problème primordial du B. M. se pose en termes de réalisation des surfaces qui ne peuvent être obtenues autrement que par enlèvement de matière.

La surface usinée peut être considérée selon deux aspects :

- la surface seule, qui doit être générée et présenter ensuite des qualités géométrique et physique données (tolérances de formes et états de surfaces),
- la surface en tant qu'élément d'un ensemble de surfaces et devant respecter des liaisons dimensionnelles et des tolérances de position.

Le premier aspect impose une bonne connaissance des outils et de leurs mouvements de travail ainsi que des machines et de leurs cinématiques.

En effet, différentes combinaisons d'outils et de mouvements (coupe et avance) peuvent permettre la génération d'un même élément géométrique (exemple : plan sur tour, fraiseuse, raboteuse, etc.).

Les qualités physiques et géométriques dépendent évidemment des outils et des machines mais aussi d'autres paramètres évoqués par la suite (mises en position, rigidités pièces, outils, machines, etc.).

Le deuxième aspect impose l'étude de la mise en position de la surface à générer par rapport à l'outil, à la machine et aux autres surfaces de la pièce, ainsi que la connaissance des performances dimensionnelles et géométriques qui peuvent être réellement obtenues pour chaque usinage.

En effet, l'outil est réglé et se déplace relativement à des éléments de la machine destinés à recevoir les pièces (ou les porte- pièces). Pour usiner une surface liée à d'autres, ces dernières doivent être mises en position sur les éléments de la machine destinés à cette fonction, et ceci de manière isostatique dans le plus complet des cas.

Dans la mise en position il faut distinguer :

- le repérage géométrique qui consiste à choisir les surfaces de mise en position,
- le repérage technologique qui conduit à l'étude des porte- pièces.

La qualité des liaisons dimensionnelles effectivement réalisées sur la pièce dépend donc :

- de la précision du mouvement de génération de l'outil par rapport à la machine,
- de la qualité du porte- pièce et de sa mise en place sur la machine,
- de la qualité de la mise en position (et de son maintien) de la pièce dans la porte- pièce.

La connaissance des ordres de grandeur des précisions obtenues dans chaque cas d'usinage permet de prévoir les modes d'obtention des surfaces, d'effectuer la cotation de fabrication et de simuler le processus retenu.

Le second problème posé au B. M. est le respect d'un délai, parfois d'une cadence. L'usinage total de la pièce ne doit pas dépasser un temps limite et il convient de choisir machines, outils, porte- pièces, conditions de coupe, etc., en conséquence.

Le choix du processus d'usinage à retenir, parmi ceux qui résolvent à la fois les problèmes de réalisation des surfaces et de temps, est dicté par des considérations économiques. (Recherche du coût d'usinage minimal sens global du terme.)

Cette rapide évocation des problèmes à résoudre par B. M. est destinée à mettre en évidence les notions importantes à connaître :

- le dessin technique (cotation fonctionnelle, tolérances géométriques, ajustements, états de surface, tolérances...),
- la mise en position des pièces (aspect théorique normes),
- la liaison pièce- machine (aspect technologique),
- les machines-outils,
- les outils (et éléments de liaison outils- machines),
- la cotation de fabrication,
- le choix des conditions de coupe,
- les temps d'exécution,
- les coûts de production.

Chapitre 2 :

Tournage

I. Généralités :

Le tour est l'une des machines-outils les plus anciennes.

Il est à l'origine de la plupart des machines les plus modernes de notre civilisation.

On en trouve un témoignage sur les monuments laissés par les égyptiens dans la plus lointaine antiquité.

Le tour horizontal a évolué et le perfectionnement a entraîné la transformation de celui-ci en **tour parallèle**.

C'est la position de l'axe de rotation de la pièce par rapport au sol qui paraît avoir amené ce terme de tour parallèle.

II. Le tour parallèle

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. La génération de surface se fait par enlèvement de matière.

1. Mode d'action:

Pour engendrer une surface de révolution sur un tour parallèle, il faut appliquer à la pièce et à l'outil deux mouvements conjugués.

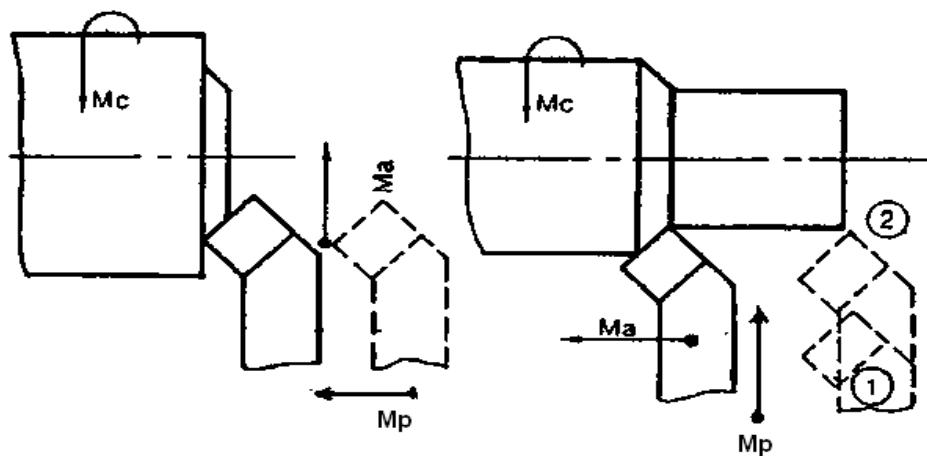
* **à la pièce** - un mouvement circulaire continu rapide.

* **à l'outil** - un mouvement généralement rectiligne uniforme lent.

Le mouvement communiqué à la pièce prend le nom de **mouvement de coupe** et on le désigne par **Mc**.

Le mouvement communiqué à l'outil prend le nom de **mouvement d'avance** et on le désigne par **Ma**.

Pour que l'outil produise une surface par enlèvement de copeau, un réglage de position est nécessaire (prise de passe). Ce troisième mouvement est appelé **mouvement de pénétration** et on le désigne par **Mp**.



III. Conditions de coupe

1. Conditions optimales de production :

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'usinage est en série, il devient intéressant d'essayer d'optimiser ces conditions.

Le meilleur choix des conditions d'usinage entraîne le meilleur prix de revient sans affecter la qualité du produit. Ces conditions (V_c , f , p) dépendent de plusieurs paramètres liés à la machine, à l'outil et à la pièce à usiner.

2. Choix de la vitesse de coupe V_c :

Exprimée en mètre par minute (m/min), elle est choisie en fonction des éléments suivants :

Pièce à usiner : Nature du matériau, rigidité, forme, état de surface à obtenir, précision dimensionnelle et géométrique

Outil : Matière et forme de la partie active, rigidité du corps.

Machine : Puissance, état, type, gamme des vitesses.

Conditions de travail : Nature de l'opération : chariotage, tronçonnage, perçage, filetage, alésage,...

Opération élémentaire : ébauche, finition, demi-finition. Lubrification....

- Vitesse de coupe à choisir pour quelques opérations courantes:

| | |
|-------|--|
| Vc | Chariotage ébauche (c'est la valeur à retirer des tableaux de vitesses recommandées) |
| 4/3Vc | Chariotage finition |
| 3/4Vc | Perçage-alésage |
| 1/2Vc | Tronçonnage – gorge |
| 1/3Vc | Filetage |
| 1/4Vc | Alésoir machine |

3. Choix des avances «f»:

Les avances sont exprimées en millimètres par tour mm/tour ou en mm/min. Le choix se fait généralement selon les critères précités pour la vitesse de coupe.

4. Profondeur de passe « p »:

Le choix se fait généralement selon les critères précités pour la vitesse de coupe.

5. Valeurs indicatives de vitesses de coupe et d'avance :

Voir annexe

6. Vitesse de rotation N (tr/min) :

$$V_c = \pi \times D \times N$$

$$N = \frac{V_c}{\pi \times D} \quad (m)$$

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} \quad (mm)$$

V_c en (m/min)
 N en (tr/min)

7. Temps de coupe :

$$T_c = \frac{L}{f \cdot N}$$

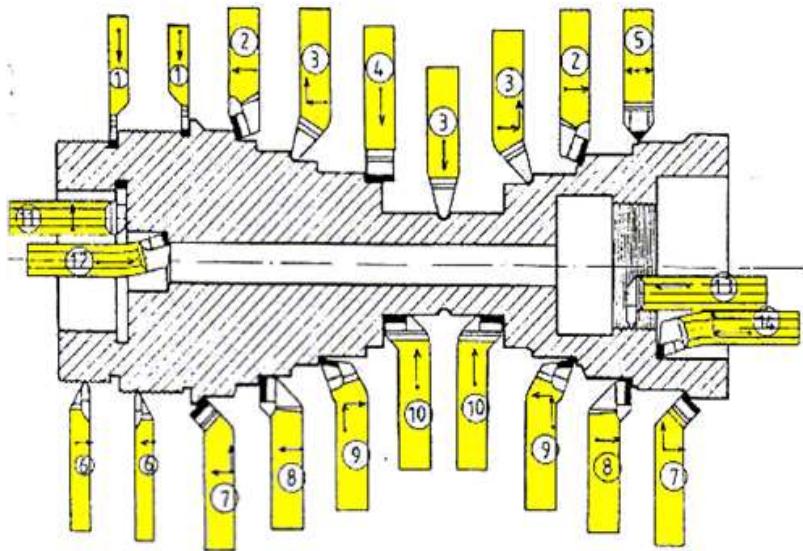
T_c : temps de coupe en (min)

L : longueur de coupe (mm)

f : vitesse d'avance (mm/tr)

N : vitesse de rotation de broche (tr/min)

8. Outils de coupe (en acier rapide supérieur)



- 1°) Outil à saigner
- 2°) Outil à charioter droit
- 3°) Outil à retoucher
- 4°) Outil pelle
- 5°) Outil à retoucher
- 6°) Outil à fileter
- 7°) Outil coudé à charioter
- 8°) Outil couteau
- 9°) Outil à dresser d'angle
- 10°) Outil à dresser les faces
- 11°) Outil à chambrer
- 12°) Outil à aléser
- 13°) Outil à fileter intérieurement
- 14°) Outil à aléser-dresser

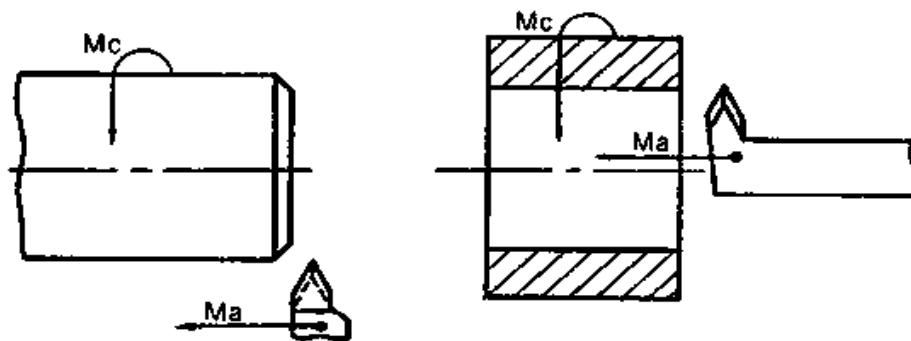
IV. Filetage :

1. Définition:

C'est une opération d'usinage qui consiste à creuser une ou plusieurs rainures hélicoïdales profilées sur une surface cylindrique (quelques fois conique) extérieure ou intérieure. La partie pleine est appelée «filet» et la partie creuse «sillon».

2. Principe d'exécution:

L'hélice est obtenue par la combinaison de deux mouvements: un mouvement de rotation **Mc** et un mouvement de translation **Ma**. C'est l'avance pour un tour de la pièce qui détermine le pas.



3. Caractéristiques

A. Profil

Désigné par un symbole **M-Tr-Rd-G**, il est généralement obtenu par la forme de l'outil.

| | | | |
|-------------------------|--|--|--|
| M (Métrique ISO) | | | Filetage courant |
| Tr (Trapézoïdal) | | | Grande résistance Chariots machines-outils |
| Rd (Rond) | | | Grande résistance Efforts de traction répétés |
| G (Gaz) | | | Tuyauterie, Records |

B. Diamètre nominal

C'est le diamètre théorique qui désigne la dimension du filetage, il permet le calcul des autres éléments.

C. Diamètre de tournage

Il n'est pas donné par le dessin. Il dépend du diamètre nominal, du pas et de la forme du profil.

| | Pas | Diamètre nominal | Diamètre tournage | Profondeur filetage |
|-------------------|------------|-------------------------|---|----------------------------|
| Vis M 24 | 3 mm | 24 mm | \varnothing nominal - 1/20 pas 24 - 0,15 = 23,85 | PRV = 0,6134 p = 1,8402 |
| Ecrou M 24 | 3 mm | 24 mm | Diamètre alésage D1 = D - 1,0825 p = 24 - 3,2475 = 20,7525 | PRE = 0,577 p = 1,731 |

D. Pas

C'est la distance comprise entre deux sommets consécutifs.

REMARQUE:

Pour relever le pas sur une pièce, il est recommandé de mesurer la distance entre plusieurs filets et de diviser ensuite par le nombre de filets considérés.

E. Sens

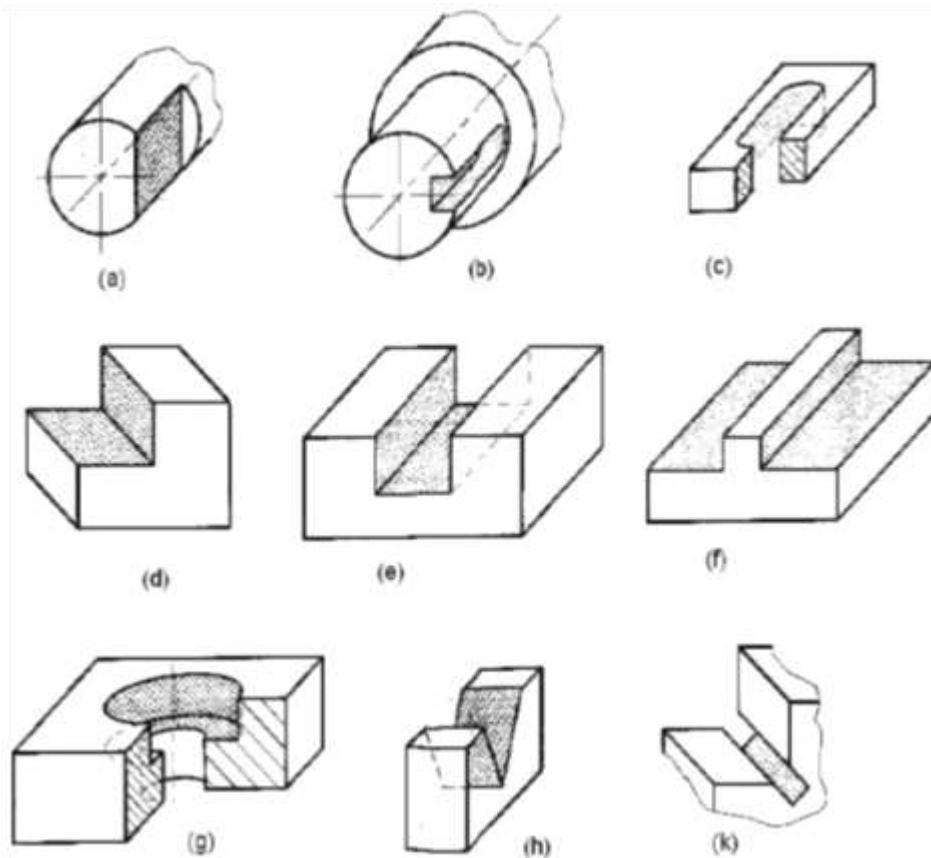
Lorsqu'elle est placée verticalement, **une vis** est à droite si le filet monte vers la droite, et à gauche si le filet monte vers la gauche.

F. Vis à plusieurs filets :

Chapitre 3 :**Fraisage****I. Définition :**

Le fraisage est un procédé de fabrication mécanique par enlèvement de matière faisant intervenir, en coordination, le mouvement de rotation d'un outil à plusieurs arêtes (mouvement de coupe Mc) et l'avance rectiligne d'une pièce (dit mouvement d'avance Mf).

On a également un déplacement de l'outil par rapport à la pièce, lequel peut s'effectuer pratiquement dans n'importe quelle direction.

II. Surfaces obtenues par fraisage :

III. Les outils de coupe : Fraises

3.1. Aciers rapides :

- outils monoblocs
- à dents ou à lames amovibles



3.2. Carbures :

- Sont obtenus par frittage de substance dure (carbures de tungstène, de titane...) et de substance liante (cobalt...) qui confère sa ténacité à la plaquette.
- Outils à plaquette rapportée



IV. Type de fraises :

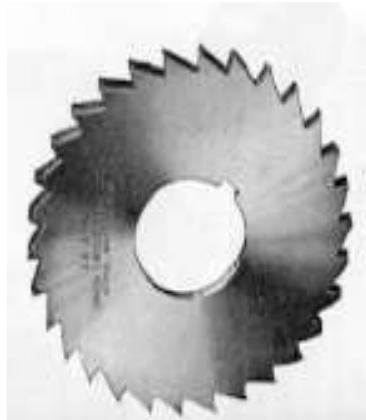
On rencontre trois types de fraises :

- Les fraises à une taille
- Les fraises à deux tailles
- Les fraises à trois tailles

Nombre de tailles = nombre d'arêtes tranchantes par dent

4.1. Les fraises à une taille :

- elles coupent uniquement sur la périphérie
- de faible épaisseur, elles sont utilisées pour tronçonner
- de forte épaisseur, elles permettent la réalisation de plans



4.2. Les fraises à deux tailles :

- elles coupent sur la périphérie et en bout.



4.3. Les fraises à trois tailles :

- elles coupent sur la périphérie et sur chacune des extrémités (en bout et sur la face opposée).

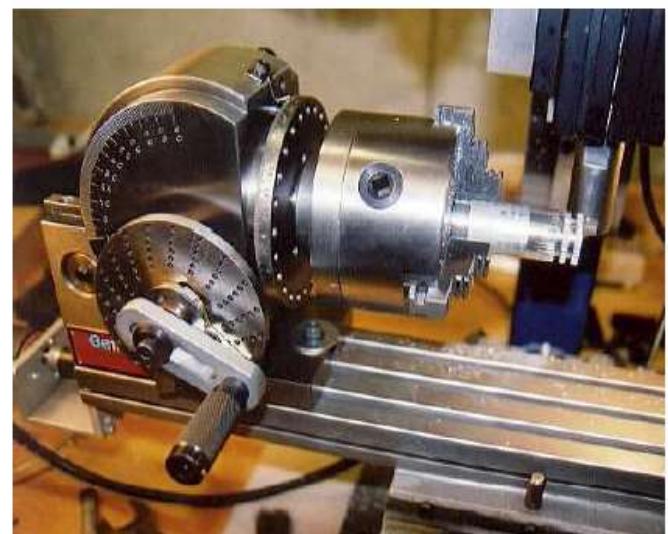


V. Fixation de la pièce :

Etau



Mandrin



Fixation sur la table avec des Brides :

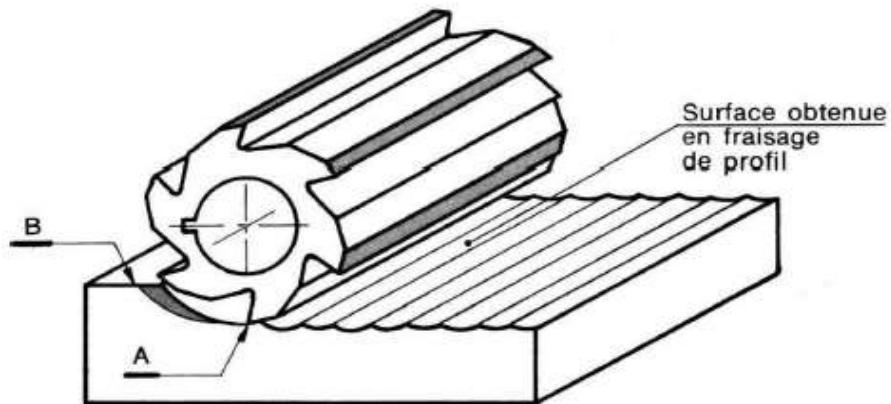


VI. Génération des surfaces planes :

6.1. **Fraisage en roulant :**

Dans le fraisage en roulant, l'axe de la fraise est parallèle à la surface à usiner.

L'état de surface de la pièce est meilleur en fraisage en **avalant** qu'en fraisage en **opposition**.

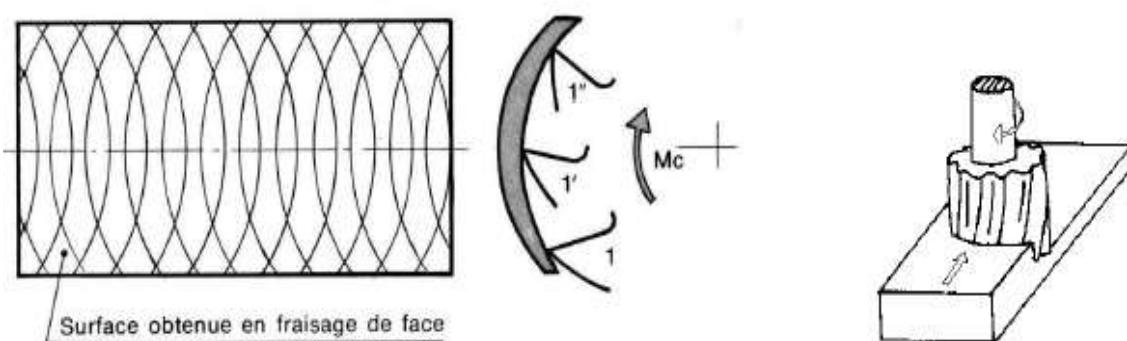


6.2. **Fraisage en bout (de face) :**

L'axe de la fraise est perpendiculaire à la surface fraisée.

On l'utilise souvent pour obtenir des surfaces planes.

L'aspect de la surface usinée est caractérisé par une série de lignes sécantes (cycloïdes) correspondantes aux traces laissées par les dents de la fraise sur la pièce.



VII. Conditions de coupe :

7.1. Vitesse de coupe V_c

Elle est choisie en fonction de :

- matériau de la pièce;
- matériau de l'outil ;
- puissance de la machine.
- lubrification ;

7.2. Vitesse de rotation de la broche :

$$N \text{ (tr/min)} = \frac{1000 V_c \text{ (m/min)}}{\pi D \text{ (mm)}}$$

7.3. Vitesse d'avance de la pièce (mm/min) :

$$V_f \text{ (mm/min)} = F_z \times Z \times N$$

F_z : avance par dent

Z : nombre de dents

N : vitesse de rotation de la broche

Exemple d'application :

- Opération d'ébauche sur une pièce en bronze
- Fraise 2T à queue $\Phi 32$, en acier rapide, $Z=5$ dents
- $V_c = 40 \text{ m/min}$
- $F_z = 0.04 \text{ mm/dent}$

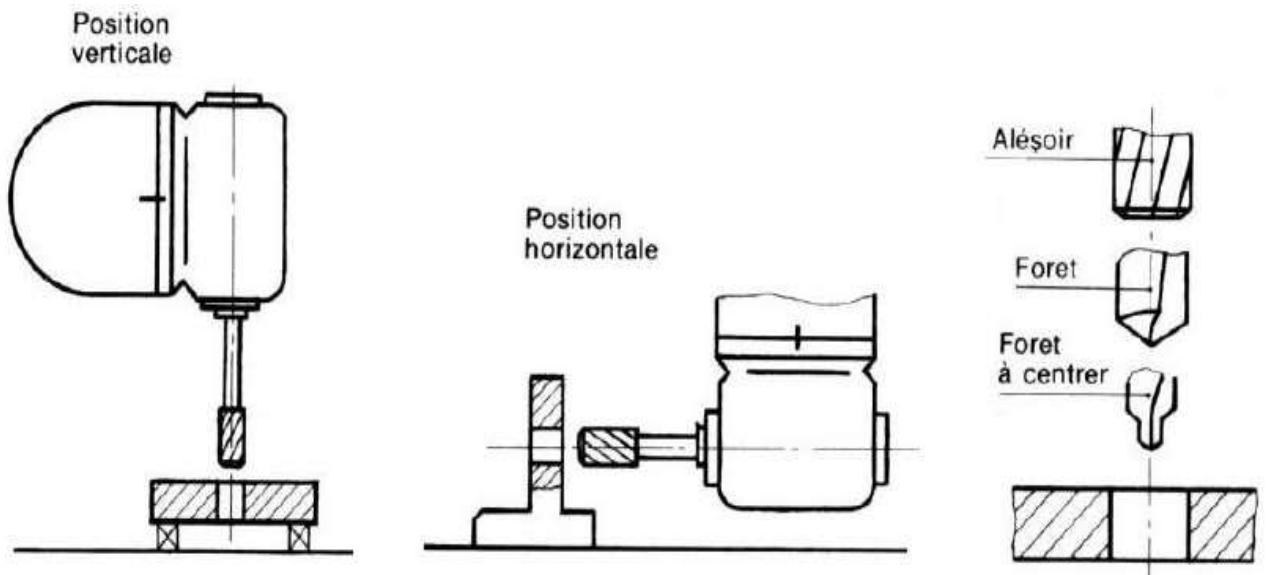
➤ $N = 400 \text{ tr/mn}$

➤ $V_f = 0.04 \times 5 \times 400 = 80 \text{ mm/min}$

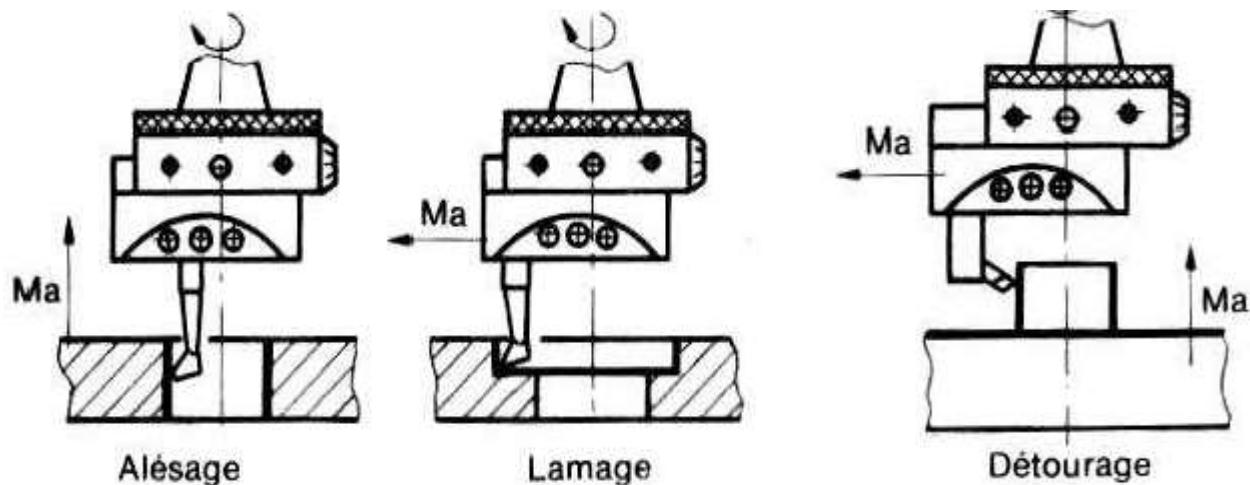
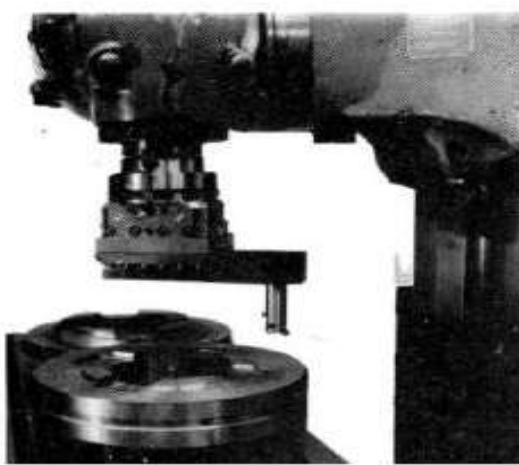
7.4. Valeurs indicatives de vitesses de coupe et d'avance :

Voir annexe

VIII. Fraisage – Perçage :



IX. Fraisage – Alésage : (Alésage avec tête à aléser)



Chapitre 4 :**OPERATIONS ELEMENTAIRES D'USINAGE****1. Définitions et commentaires :**

Phase : C'est l'ensemble des opérations élémentaires, effectuées au même poste de travail sur la même machine à l'aide d'appareillages.

Pour le travail en série, la machine est réglée pour la série complète et produit toutes les pièces sans déréglage,

Sous-phase : Fraction de la phase délimitée par des changements d'outillage ou des reprises différentes.

Opération : C'est en général, l'action d'un outil sur une surface élémentaire ou l'action de plusieurs outils associés sur plusieurs surfaces.

2. Nature, rôle et caractéristiques générales des opérations élémentaires d'usinage :**Ebauche (E) :****a) On élimine l'excédent de matière.**

- Présence d'une couche superficielle brute comportant des défauts physiques et géométriques liés au procédé d'élaboration : moulage, forgeage, laminage...
- Présence d'une surépaisseur d'usinage dont la valeur est fonction de la gamme d'usinage et des différentes contraintes technologiques du processus d'élaboration des bruts.

b) On prépare la finition.

- Pour une meilleure tenue des outils (homogénéisation des caractéristiques du matériau).
- Pour une première correction des gros écarts de forme (régularité des surépaisseurs d'usinage) et de position.

Demi- finition F/2

- a) On corrige les défauts, résultant d'une "grosse" ébauche. En assurant une surépaisseur constante et faible pour la finition.
- b) On réalise une partie des spécifications liées à une surface en assurant la précision géométrique de position (cas d'un alésage).

Finition F

On termine toutes les spécifications imposées par le dessin de définition du produit et on permet d'obtenir, pour la surface usinée: la forme, la rugosité, la dimension et dans certains cas l'orientation et la position.

3. Critères à prendre en compte pour déterminer le nombre d'opérations élémentaires.

a) Spécifications du dessin de définition du produit.

Plus la spécification est précise, plus le nombre d'opérations élémentaires augmente.

| | | |
|---------------------|-------------------|--|
| $Ra \geq 6,3$ | \longrightarrow | Finition directe |
| $0,8 \leq Ra < 6,3$ | \longrightarrow | Qualité : 6-7 \longrightarrow E + F/2 + F Qualité : 8-9-10-11 \longrightarrow E + F |
| | \longrightarrow | IT $\leq 0,05$ \longrightarrow E + F/2 + F IT $\geq 0,05$ \longrightarrow E + F |
| $Ra < 0,8$ | \longrightarrow | E + F/2 + F |

b) Brut

Plus le volume d'excédent de matière est important, plus les défauts de forme risquent d'être conséquents, ce qui entraîne une augmentation du nombre d'opérations élémentaires.

Note: Pour certains procédés d'élaboration du brut (laminage, moulage, forgeage) d'autres critères sont à prendre en compte:

- la présence d'une croûte superficielle plus dure (de 0,5 à 2 mm),
- les problèmes de déport (variation du copeau, travail au choc...),
- la présence de dépouilles (variation du copeau).

c) Caractéristiques intrinsèques

Plus la pièce est fragile et déformable, plus le nombre d'opérations élémentaires augmente pour minimiser les défauts.

Note : La déformation de la pièce peut être due:

- aux variations de l'intensité des forces de coupe,
- à l'intensité de la force de bridage,
- à la rigidité de la pièce,
- aux libérations des tensions internes dans le matériau.

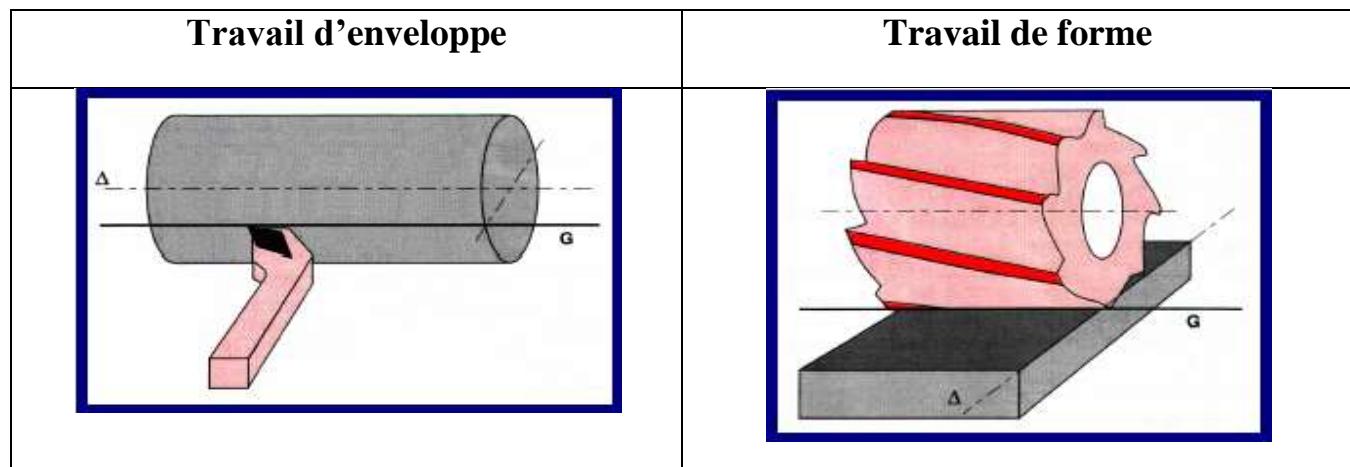
d) Nature de l'outil

- La nature et la forme de l'outil influencent le nombre d'opérations élémentaires.
- Les outils de finition doivent attaquer ou déboucher sur des surfaces saines (donc écroûtées).
- La forme du foret aléseur (pas de coupe dans la partie centrale) oblige à réaliser une opération d'ébauche en perçage.
- Un chanfrein d'entrée sur une surface brute facilite la tenue de l'outil de finition en alésage.



e) Mode de génération

En travail de forme, il faut augmenter le nombre d'opérations élémentaires.



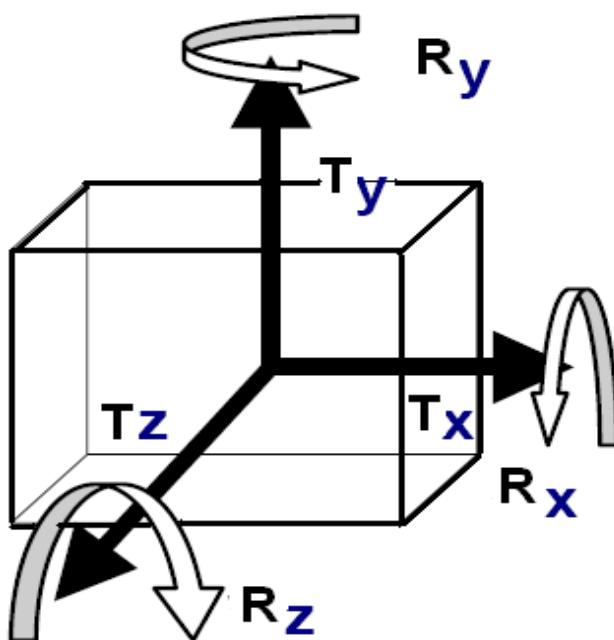
Chapitre 5 :**Mise et maintien en position isostatique****1) Introduction :**

Le montage d'usinage en série doit remplir plusieurs rôles :

- Positionner toutes les pièces d'une série de la même façon,
- Maintenir la pièce pendant l'usinage (l'empêcher de se déplacer, de fléchir ou de vibrer).

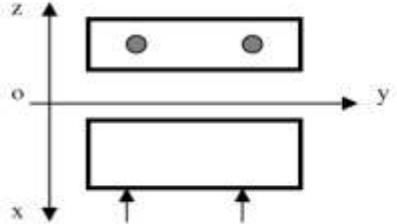
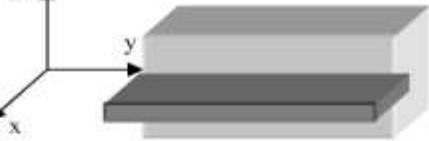
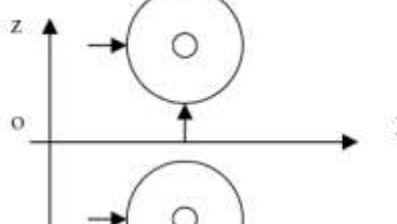
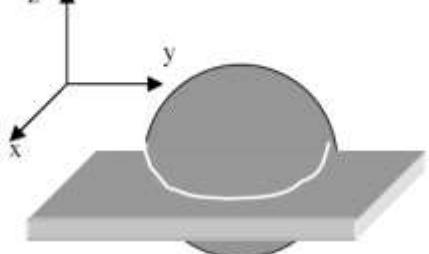
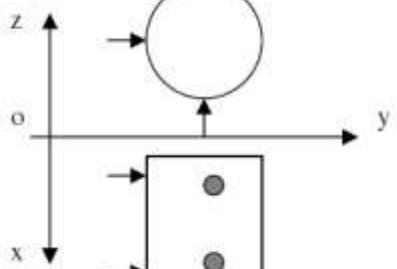
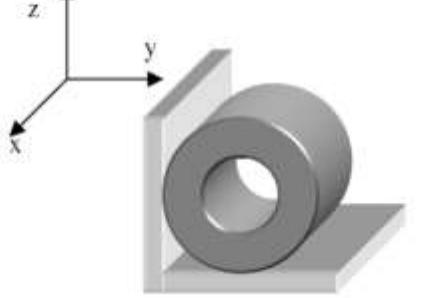
Pour arriver à respecter les conditions imposées par le cahier des charges (dessin de définition) :

- Cotation fonctionnelle
- Tolérances dimensionnelles et géométriques
- Etats de surface

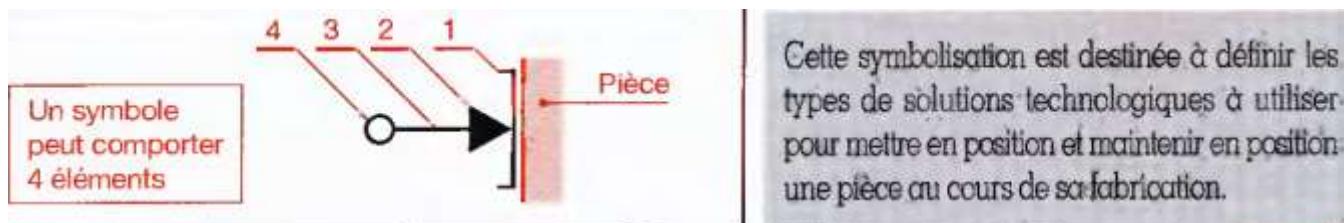
2) Degrés de liberté :

3) Appuis et liaisons pouvant être utilisés :

| Position des contacts d'appuis ou de liaisons | Exemple de matérialisation | Nature de l'appui ou de liaison | 0 : pièce libre 1 : degré de liberté supprimé | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------|---------------------------------------|--|--|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Liaison ponctuelle | <table border="1"> <tr> <td></td><td>OX</td><td>OY</td><td>OZ</td></tr> <tr> <td>T</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr> <td>R</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table> | | OX | OY | OZ | T | 0 | 0 | 1 | R | 0 | 0 | 0 |
| | OX | OY | OZ | | | | | | | | | | | | |
| T | 0 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| R | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | |
| | | Supprime : | 1T en OZ | | | | | | | | | | | | |
| | | Liaison gouttière ou pion de centrage | <table border="1"> <tr> <td></td><td>OX</td><td>OY</td><td>OZ</td></tr> <tr> <td>T</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr> <td>R</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table> | | OX | OY | OZ | T | 1 | 1 | 0 | R | 1 | 1 | 0 |
| | OX | OY | OZ | | | | | | | | | | | | |
| T | 1 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | |
| R | 1 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | |
| | | Supprime : | 1T en OX et OY 1R en OX et OY | | | | | | | | | | | | |
| | | Appui plan | <table border="1"> <tr> <td></td><td>OX</td><td>OY</td><td>OZ</td></tr> <tr> <td>T</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr> <td>R</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table> | | OX | OY | OZ | T | 0 | 0 | 1 | R | 1 | 1 | 0 |
| | OX | OY | OZ | | | | | | | | | | | | |
| T | 0 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| R | 1 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | |
| | | Supprime : | 1T en OZ 2R en OX et OY | | | | | | | | | | | | |

| Position des contacts d'appuis ou de liaisons | Exemple de matérialisation | Nature de l'appui ou de liaison | 0 : pièce libre 1 : degré de liberté supprimé | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|--|---|--|----------|-----------|-----------|----------|---|---|---|----------|--|--|--|----------|---|---|---|
|  |  | <i>Liaison rectiligne</i> <i>Supprime :</i> | <table border="1"> <tr> <td></td><td><i>O</i></td><td><i>OY</i></td><td><i>OZ</i></td></tr> <tr> <td><i>X</i></td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr> <td>T</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr> <td><i>R</i></td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table> 1T en OX 1R en OZ | | <i>O</i> | <i>OY</i> | <i>OZ</i> | <i>X</i> | 1 | 0 | 0 | T | | | | <i>R</i> | 0 | 0 | 1 |
| | <i>O</i> | <i>OY</i> | <i>OZ</i> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>X</i> | 1 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>R</i> | 0 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | <i>Appui sphérique</i> <i>Supprime :</i> | <table border="1"> <tr> <td></td><td><i>O</i></td><td><i>OY</i></td><td><i>OZ</i></td></tr> <tr> <td><i>X</i></td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr> <td>T</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr> <td><i>R</i></td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table> 2T en OX et OY | | <i>O</i> | <i>OY</i> | <i>OZ</i> | <i>X</i> | 1 | 1 | 0 | T | | | | <i>R</i> | 0 | 0 | 0 |
| | <i>O</i> | <i>OY</i> | <i>OZ</i> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>X</i> | 1 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>R</i> | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | <i>Centrage long</i> <i>Supprime :</i> | <table border="1"> <tr> <td></td><td><i>O</i></td><td><i>OY</i></td><td><i>OZ</i></td></tr> <tr> <td><i>X</i></td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr> <td>T</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr> <td><i>R</i></td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table> 2T en OY et OZ 2R en OY et OZ | | <i>O</i> | <i>OY</i> | <i>OZ</i> | <i>X</i> | 0 | 1 | 1 | T | | | | <i>R</i> | 0 | 1 | 1 |
| | <i>O</i> | <i>OY</i> | <i>OZ</i> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>X</i> | 0 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>R</i> | 0 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

4) Modélisation des symboles isostatiques:



1. NATURE DU CONTACT AVEC LA SURFACE OU LE TYPE D'APPUI

| Contact ponctuel | Contact surfacique | Contact strié | Pointe fixe | Pointe tournante |
|------------------|--------------------|---------------|-------------|------------------|
| | | | | |
| Contact dégagé | Cuvette | Vé | Palonnier | Orienteur |
| | | | | |

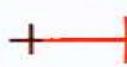
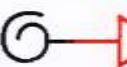
2. FONCTION DE L'ÉLÉMENT TECHNOLOGIQUE

| | | | | |
|--|--|--|---|--|
| Mise en position Départ de cotation | | | Maintien en position Prépositionnement Opposition aux déformations ou aux vibrations | |
|--|--|--|---|--|

3. NATURE DE LA SURFACE DE LA PIÈCE

| | | | |
|-----------------------------------|--|--------------------------------|--|
| Surface usinée (un seul trait) | | Surface brute (deux traits) | |
|-----------------------------------|--|--------------------------------|--|

4. TYPE DE TECHNOLOGIE

| | | | | |
|---------------------------------|---|---|--|---|
| Appui fixe |  | Pièce d'appui, touche... |  | Touche de prélocalisation, détrompeur... |
| Centrage fixe |  | Centreur, broche... |  | Précentreur |
| Système à serrage |  | Mise en position et serrage symétrique... |  | Bride, vérin... |
| Système à serrage concentrique |  | Mandrin, pinces expansibles... |  | Entraîneur (serrage concentrique flottant)... |
| Système de réglage irréversible |  | Appui réglable de mise en position... |  | Appui réglable de soutien... |
| Système de réglage réversible |  | Vis d'appui réglable... |  | Antivibreur... |
| Centrage réversible |  | Pied conique, broche conique... |  | Pied conique, broche conique... |

5. Règles d'utilisation :

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 (Appelées surfaces de références).

- 6 normales de repérages (ou normales de mise en position) pour les pièces 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).

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.

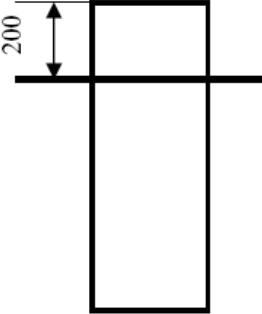
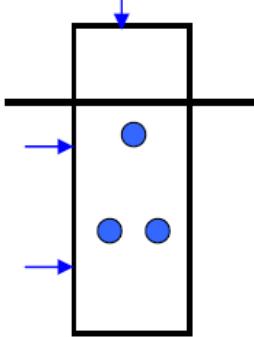
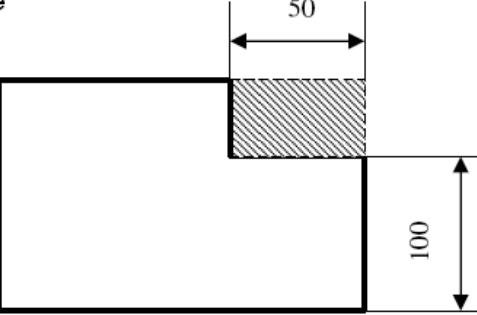
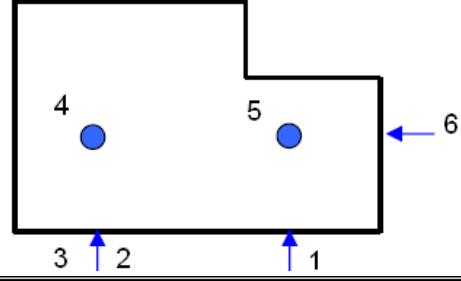
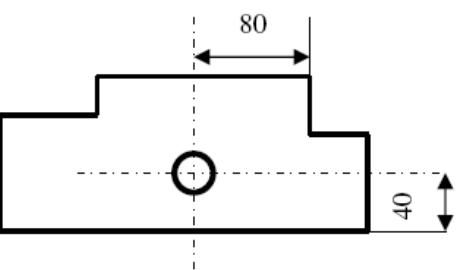
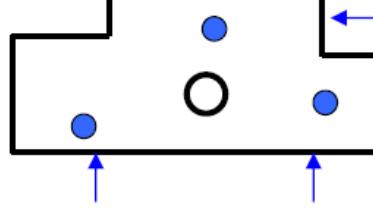
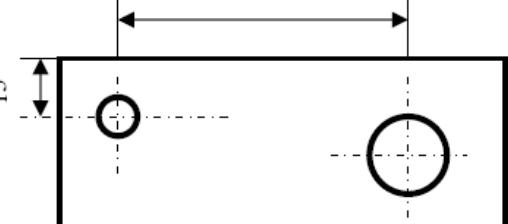
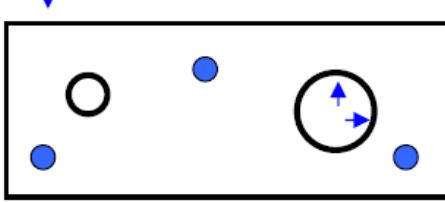
e) Ne jamais opposer deux appuis sinon le positionnement est hyperstatique.

f) Chaque fois que cela est possible, placer le plus grands nombres d'appuis opposés à l'effort de coupe.

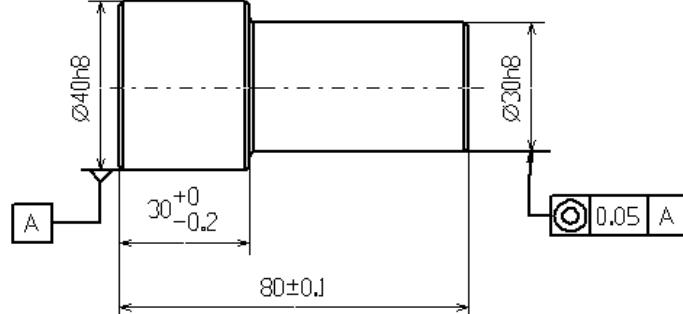
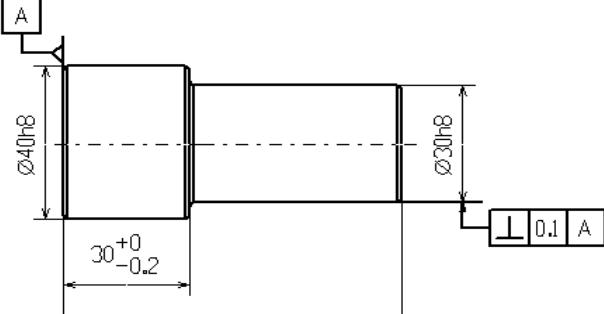
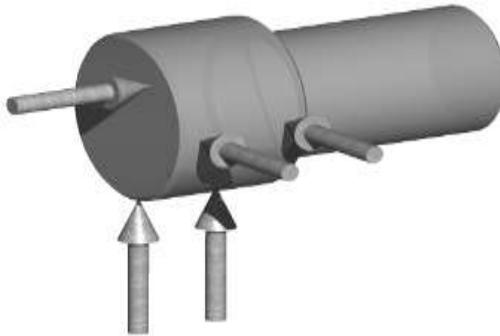
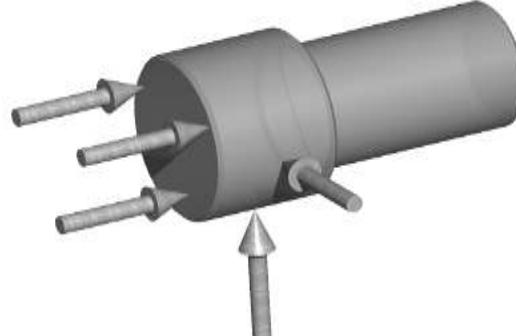
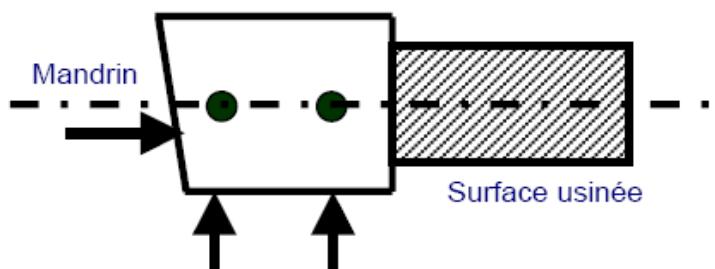
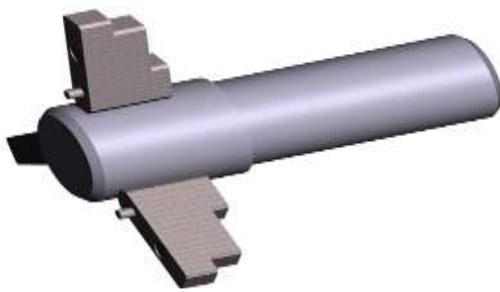
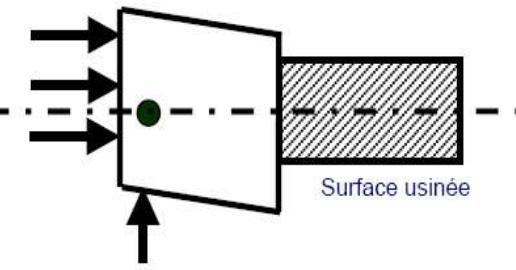
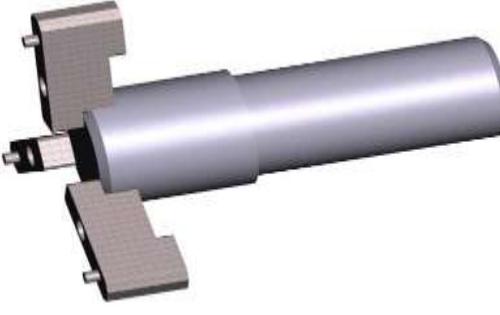
g) Limiter les déformations et vibrations de la pièce : être proche de la zone usinée.

6. Exemples d'applications :

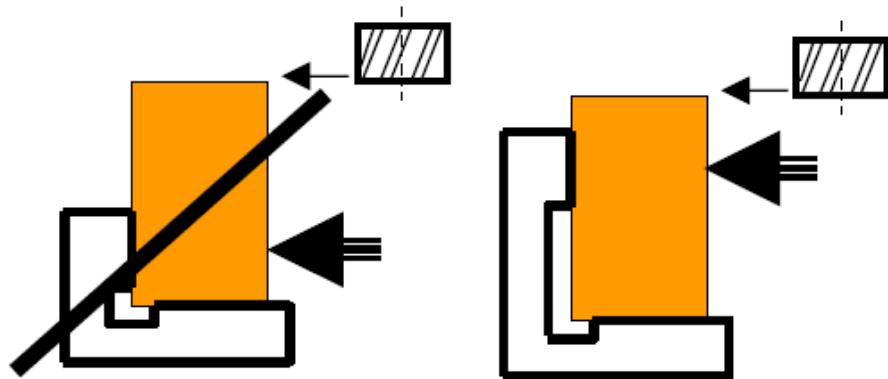
6.1) Représentation de la mise en position isostatique des pièces, sachant que les cotes indiquées doivent être obtenues en cotes directes lors de la fabrication.

| <i>Mise en oeuvre</i> | <i>Croquis solution</i> |
|---|---|
| <p>Cisaillage</p>  |  |
| <p>Fraisage</p>  |  |
| <p>Poinçonnage</p>  |  |
| <p>Perçage</p>  |  |

6.2) Exemple de choix de prise de pièce en fonction de la cotation géométrique

| Centrage long | Centrage court |
|---|---|
|  |  |
| <p>Il faut réaliser une concentricité entre les deux cylindres, on prend donc la pièce en mors doux : centrage long</p> | <p>Il faut réaliser une perpendicularité entre la face et le cylindre usiné, on choisira donc un appui plan sur la face et un centrage court.</p> |
|  |  |
| <p>La référence principale est donnée par le cylindre « A » qui définit l'axe de révolution. L'appui sur la face est la référence secondaire, pour définir la position de la pièce le long de l'axe.</p> | <p>La référence principale est donnée par le plan « A » qui définit la normale au plan. Le centrage court sur le cylindre défini la position de l'axe.</p> |
| <p>Mise en position de la pièce réelle avec ses défauts</p>   |   |

6.3) Exemple pour limiter les vibrations :

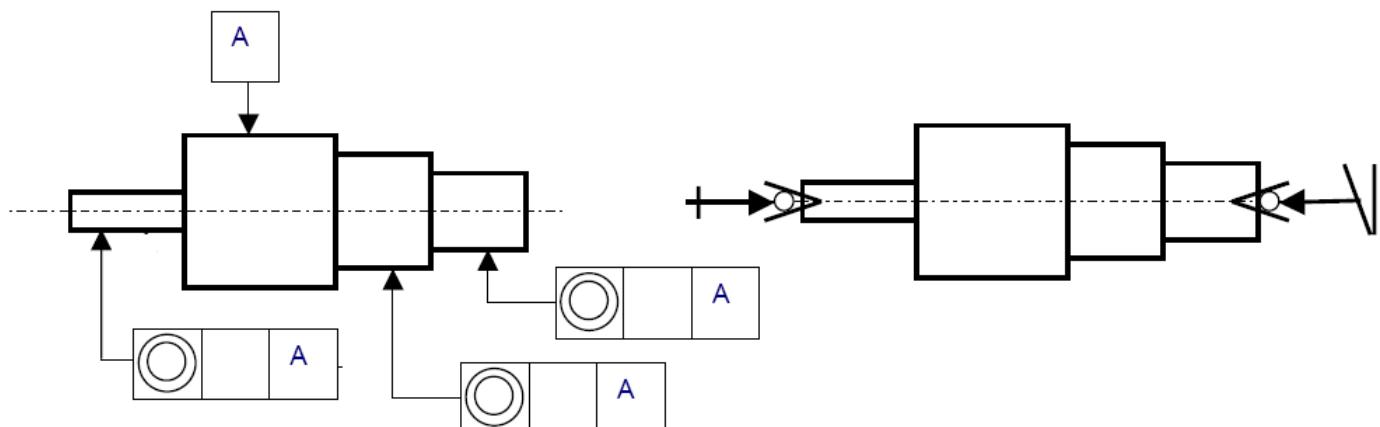


7. Modification de la pièce pour le montage d'usinage :

Il est courant de modifier la pièce en vue de faciliter son montage sur la machine.

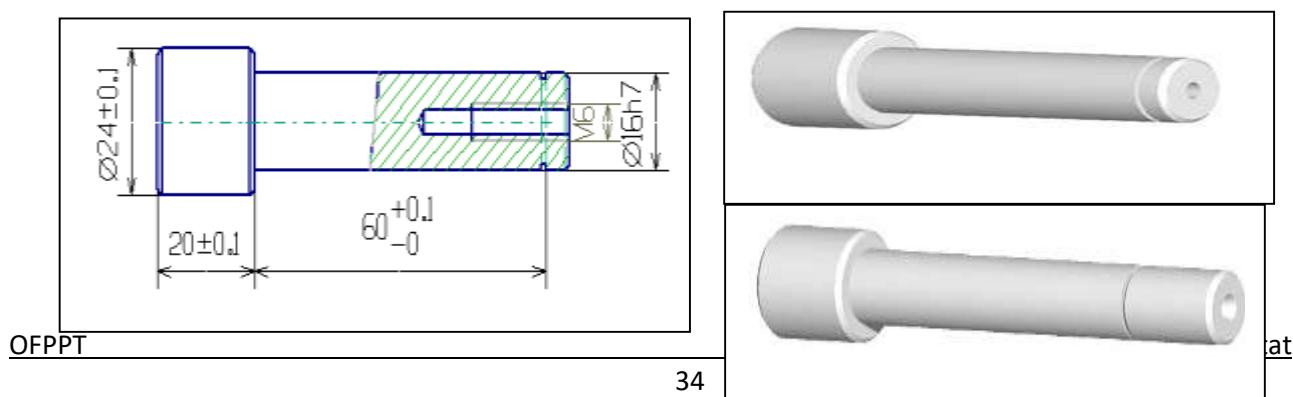
Exemple 1 :

Trou de centrage pour positionner une contre pointe tournante. Cette modification mineure est très courante pour éviter aux pièces longues de flétrir lors de l'usinage.



Exemple 2 :

Pour usiner le diamètre 16h7, il faut tenir la pièce avec une contre pointe. Mais le taraudage M6 serait endommagé. On la rallonge, elle est ensuite coupée par tronçonnage.



Exemple 3 :

Pour usiner les rainures en étoile d'un rotor de pompe à palettes, on utilise une fraiseuse deux tailles de diamètre 6, en usinant, en bout, sur une commande numérique.

Pour tenir la pièce simplement en étau, il faut rallonger le brut et faire deux méplats (fig1). La zone non fonctionnelle sera enlevée par surfaçage.



Chapitre 6 :

CLASIFICATION DES COTES DE FABRICATION

1. GÉNÉRALITÉS :

L'établissement d'un processus d'usinage impose la **détermination, par choix raisonné ou calcul, de toutes les cotes et tolérances géométriques effectivement réalisées sur la pièce** et dont l'ensemble est regroupé sous le terme **cotation de fabrication (ou d'usinage)**.

Celle-ci n'apparaît que sur les documents qui explicitent les processus d'usinage (dessins de phase ou d'opérations).

Elle ne constitue pas une fin en soi, mais une étape dans l'évolution ayant pour origine la pièce brute et pour objectif final la pièce usinée conforme au dessin de définition. Ainsi certaines cotes d'usinage mesurables (ou contrôlables) en cours de processus n'existent plus sur la pièce finie.

La cote d'usinage est obtenue sur la pièce par enlèvement de matière, à l'aide d'outils coupants ayant fait l'objet **de réglages préalables**. Lorsqu'elle apparaît dans une opération, elle concerne dans tous les cas au moins une des surfaces réalisées à cette opération.

Elle fait toujours l'objet **d'un tolérancement** qui doit être compatible avec les moyens d'usinage mis en œuvre.

Avec une même prise de pièce, **au moins une des cotes** de fabrication a pour origine la surface de la pièce en contact avec le référentiel de mise en position (NF E 04-013) afin de situer les usinages réalisés par rapport aux surfaces choisies comme référence.

Les cotes de fabrication sont désignées d'une manière générale par la lettre majuscule **U**.

2. LES DIFFÉRENTES COTES DE FABRICATION :

Selon les éléments référentiels utilisés pour effectuer les réglages des outils coupants, et par ce que dans chaque cas les dispersions qui interviennent sont différentes, les cotes de fabrication sont classées en trois catégories.

2.1. Cotes dite « cotes-machines » : notées Cm (ou Up)

Les outils sont réglés par rapport aux éléments de mise en position (qui sont le montage porte-pièce, la table de la machine, etc.).

Les cotes- machines s'établissent entre les surfaces de la pièce temporairement référentielles et les surfaces usinées.

Les dispersions intervenant sont : $\Delta 1$; $\Delta 2$; $\Delta 3$; $\Delta 4$; $\Delta 5$; $\Delta 6$; $\Delta 7$;

Les figures de 1 à 7 montrent des exemples de cotes machines.

2.2. Cotes appareillages : notées CA (ou UA)

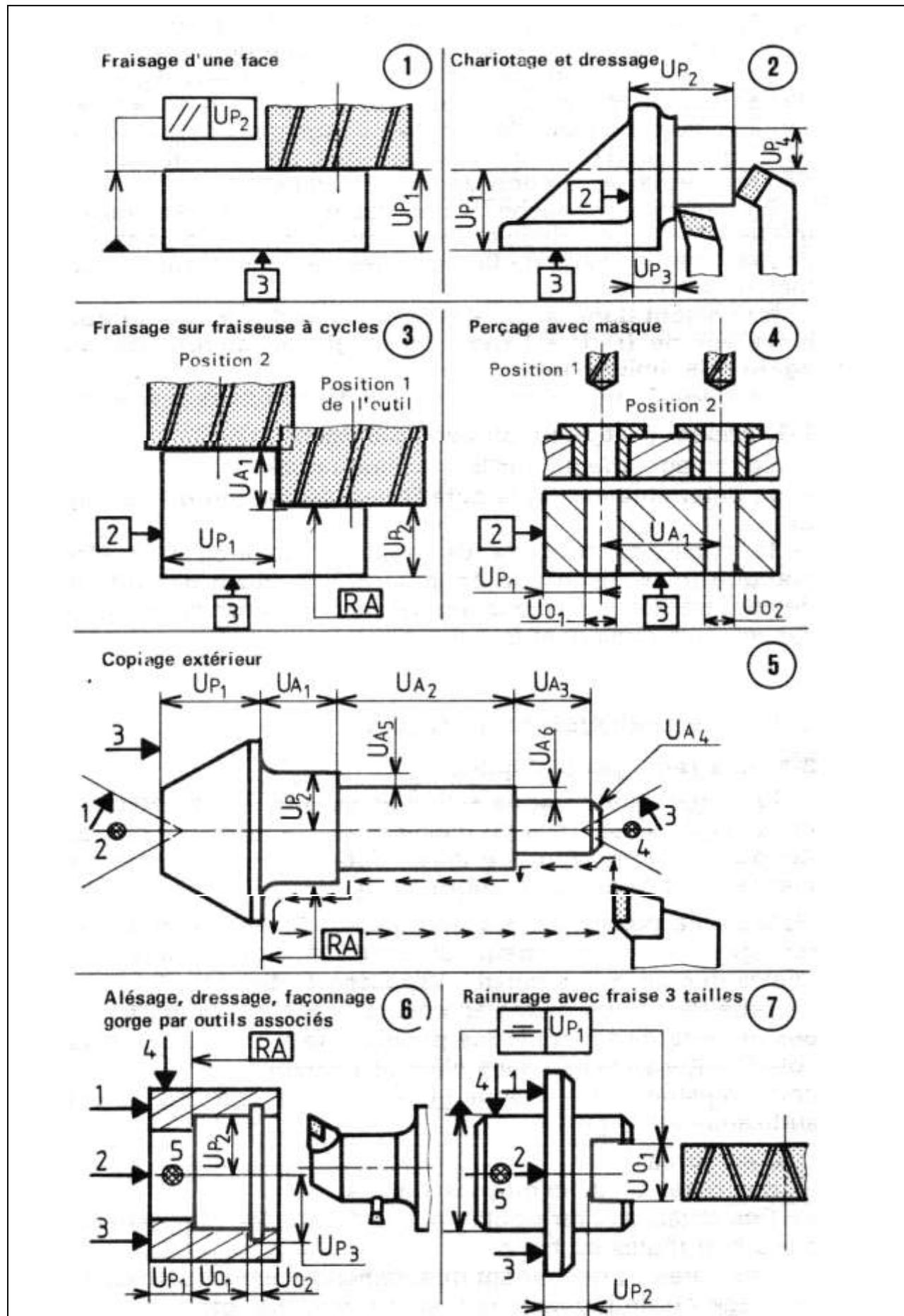
Les trajectoires des outils réalisant les cotes de fabrication sont imposées par des appareillages dont les positons sont définis par rapport à des référentiels fixes. Les appareillages peuvent:

- **faire partie de la machine** : verniers, butées mécaniques (fixes, à bâillet, à came, débrayables). Butées électromécaniques à taquets réglables. Butées électrohydrauliques, arrêts numériques;
- **être des éléments indépendants de la machine** : plateaux diviseurs, dispositif de copiage et gabarit, masques de perçage, canons guides d'alésages, etc.

Les figures 3,4 et 5 montrent des exemples de cotes appareillages.

2.3. Cote outils : notées Co (ou Uo)

Les surfaces qui définissent la cote de fabrication sont réalisées par des outils réglés entre eux.



Chapitre 7 :**COTATION FONCTIONNELLE****1. Objectif de la Cotation Fonctionnelle**

Le but de la **cotation fonctionnelle** est de déterminer les cotes des éléments d'un mécanisme qui assureront, avec les tolérances les plus larges, les conditions de fonctionnement (jeux fonctionnels).

Ces cotes sont appelées **cotes fonctionnelles**. Ce sont celles qui doivent être portées sur les dessins de définition.

2. Méthodes générales pour coter fonctionnellement

- Faire une analyse complète du produit afin de mettre en évidence les cotes condition pour assurer un fonctionnement normal.
- Choisir les cotes qui expriment directement, pour chaque pièce, ces cotes conditions.

3. Dessin de définition

Un dessin de définition doit être coté fonctionnellement. La cote indiquée correspond à la dimension de la pièce finie, y compris éventuellement le revêtement de protection, le traitement de surface, etc.

4. Analyse fonctionnelle :**➤ Exemple Fig.1**

Le détail A représente le support gauche et une portion du montant latéral gauche du tiroir

a. Recherche des cotes condition pour obtenir le fonctionnement recherché

- Le tenant support 1 doit pouvoir pénétrer dans la rainure du montant 2 cela suppose un **jeu JA**
- La face **F1** ne doit pas porter contre la face **F2**. Cela suppose un **jeu JB**
- Le dessus du tiroir ne doit pas être en contact avec le dessus du plateau de table. cela suppose un **jeu JC**.

Afin de conserver à cet exemple la simplicité nécessaire, on se limitera à déterminer seulement les cotes qui expriment directement ces trois jeux fonctionnels.

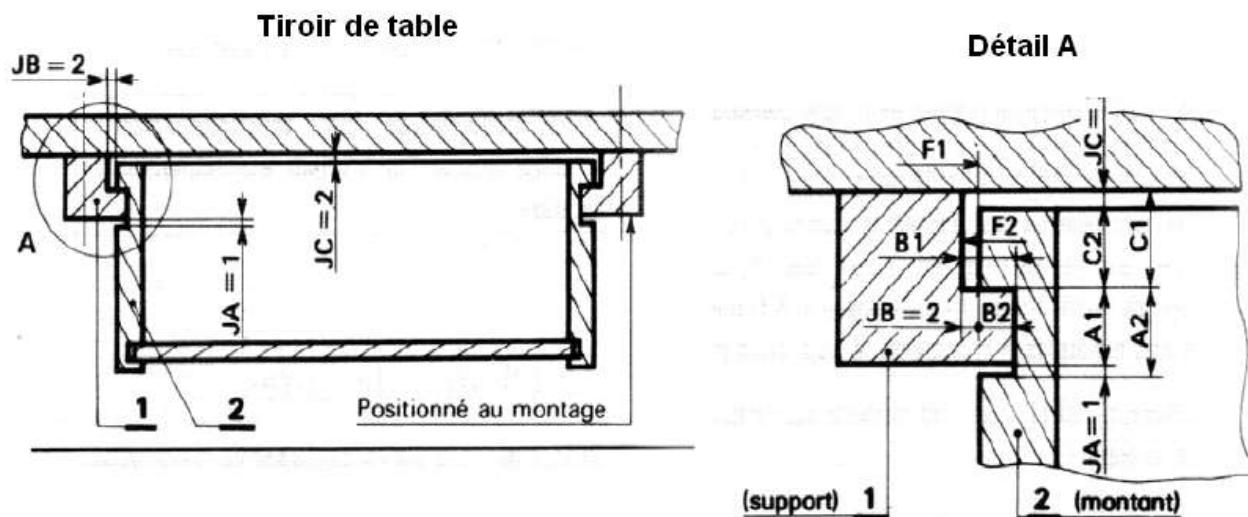


Fig.1

b. Choix des dimensions à coter :

Cote condition JA

Les cotes **A1** et **A2** expriment directement le jeu JA.
Ces trois dimensions sont liées par la relation :

$$JA = A2 - A1$$

Cote condition JB

Les cotes **B1** et **B2** expriment directement le jeu JB.
Ces trois dimensions sont liées par la relation :

$$JB = B1 - B2$$

Cote condition JC

Les cotes **C1** et **C2** expriment directement le jeu JC.
Ces trois dimensions sont liées par la relation :

$$JC = C1 - C2$$

5. Chaine de cotes :

La chaîne de cote est composée de la cote condition, qui est soit un jeu ou un serrage, et des cotes fonctionnelles.

On doit établir la chaîne de cote minimale, c'est-à-dire qu'il faut réussir à établir une chaîne de cote qui n'utilise chaque pièce qu'une seule fois.

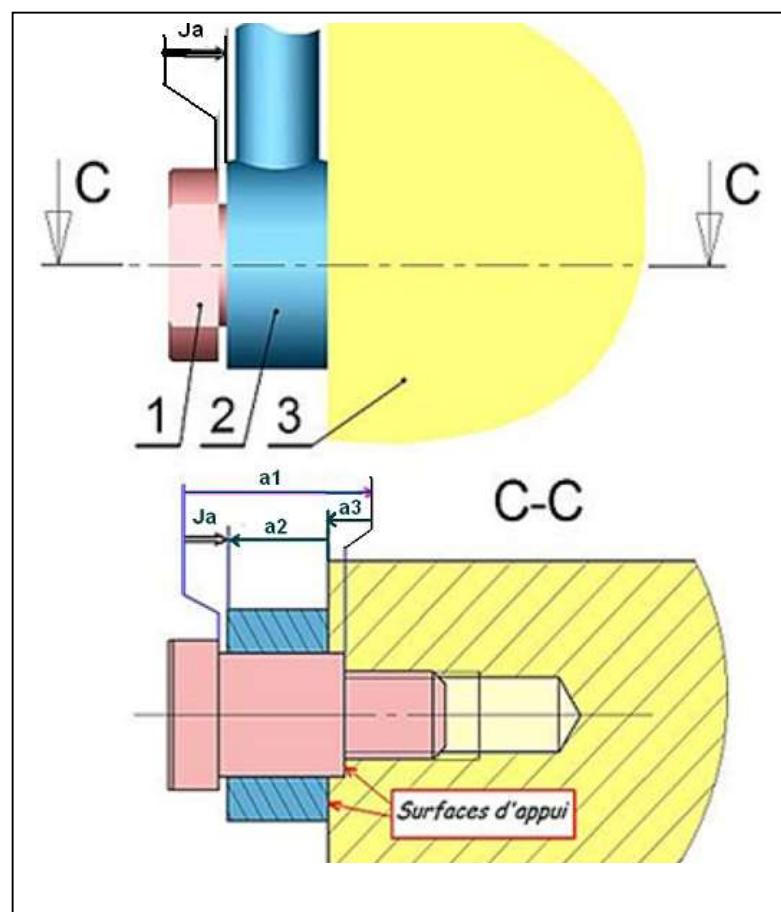
$$\text{Formule: } J_a = a_1 - a_2 - a_3$$

ce qui donne :

$$IT_{Ja} = IT_{a1} + IT_{a2} + IT_{a3}$$

$$Ja_{\text{maxi}} = a_{1\text{ maxi}} - a_{2\text{mini}} - a_{3\text{ mini}}$$

$$Ja_{\text{mini}} = a_{1\text{ mini}} - a_{2\text{maxi}} - a_{3\text{ maxi}}$$

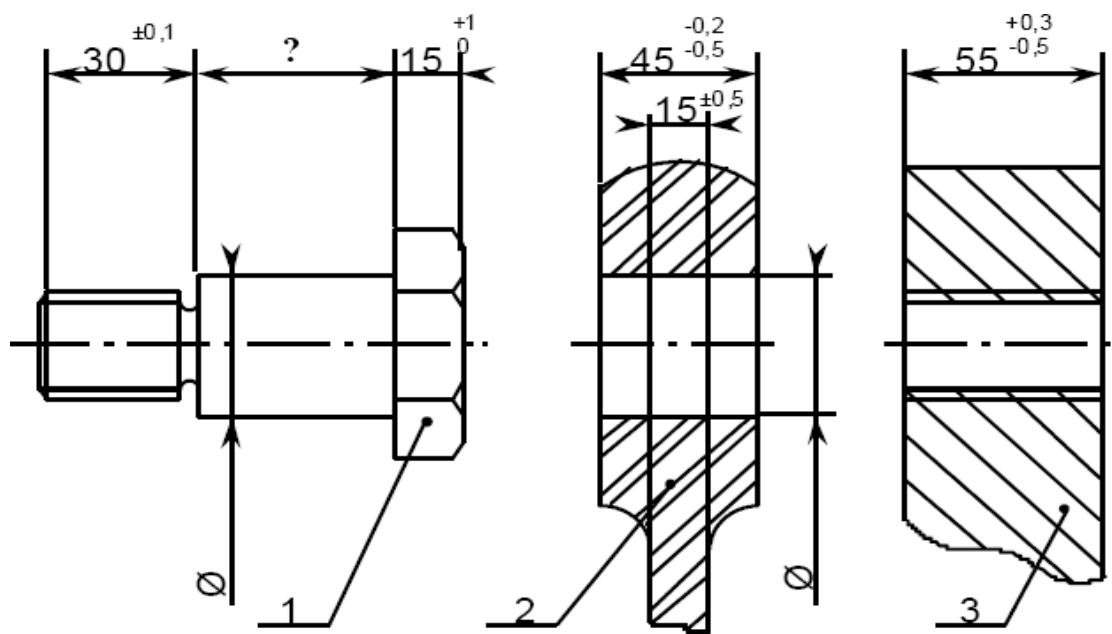
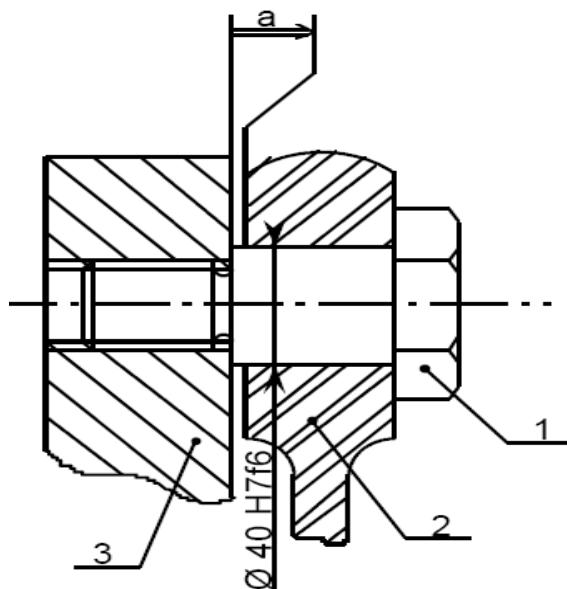


IT_{CC} = **Sommes** des **IT** des cotes fonctionnelles

CC_{moy} = **Somme** des cotes fonctionnelles moyennes

IT : Intervalle tolérance

CC : Cote condition

Exercice d'application :

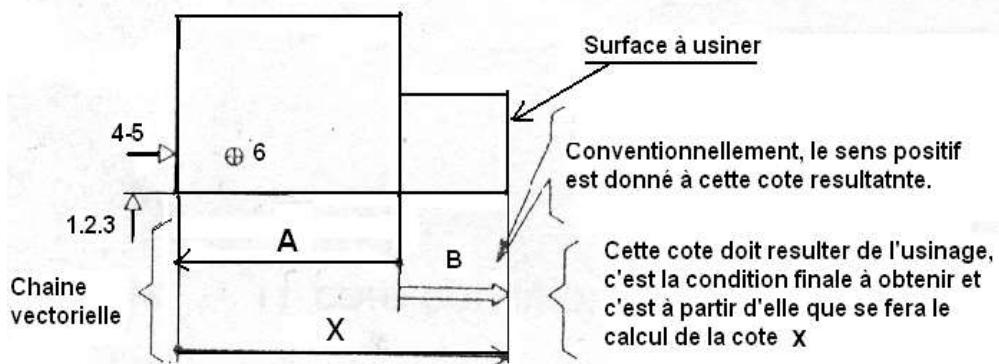
1. Sachant que la condition « a » a pour limites: 0,1 mm à 0,5 mm, calculer la valeur de la cote repérée « ? » appartenant à la vis d'articulation 1.
2. Utiliser les équations aux limites pour le calcul de la cote, puis vérifier votre résultat en utilisant l'équation de la somme des I.T.

Chapitre 8 :

TC1

TRANSFERT DE COTESREGLES**1 - La cote éliminée est considérée comme cote condition****Representation de la chaîne de cote**

composantes



$$B_{\text{Max}} = X_{\text{Max}} - A_{\text{min}} \implies X_{\text{Max}} = B_{\text{Max}} + A_{\text{min}}$$

$$B_{\text{min}} = X_{\text{min}} - A_{\text{Max}} \implies X_{\text{min}} = B_{\text{min}} + A_{\text{Max}}$$

Limites de **X** [cote transférée] = Σ des limites des cotes fonctionnelles

Cote transférée Max. = Cote condition Max. + Cote conservée min.

Cote transférée min. = Cote condition min. + Cote conservée Max.

Transfert partiel

Si l'équation des IT répond à la règle N°2, on procédera à l'établissement de la chaîne de cotes et on calculera la cote transférée

- a) soit par les cotes limites ==> 2 équations 1 "Maxi" et 1 "mini"
- b) soit par la méthode des cotes moyennes

Transfert total :

Si la valeur "IT cote nouvelle = IT cote condition - IT composantes" est négative ou jugée trop petite pour pouvoir être respectée en fabrication, il faut

- modifier les IT des cotes composantes intervenant dans le transfert afin d'obtenir pour la cote nouvelle un IT acceptable
- établir ensuite la chaîne de cotes et effectuer le calcul

=> c'est le transfert total

Nota :

Le préparateur n'a pas le droit d'augmenter la valeur de l'IT d'une cote fonctionnelle mais il peut par contre la réduire. (ceci dans la limite permise par sa réalisation future)

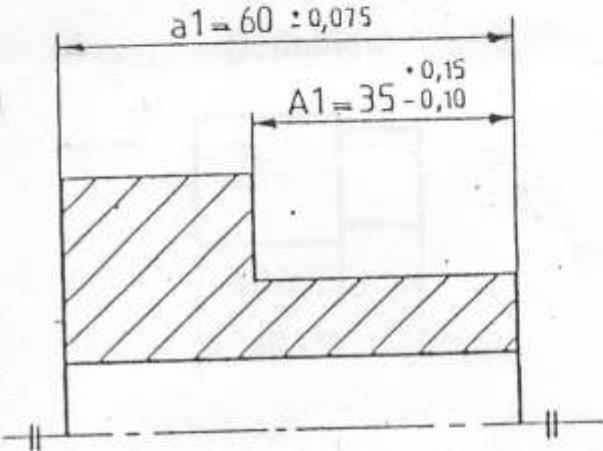
S'il s'avère que la réduction de l'IT est impossible et que seule une augmentation de celui-ci pourra résoudre le problème, le préparateur devra en faire la demande officielle au B.E (avec les valeurs souhaitées) et n'entreprendre toute modification qu'après accord écrit de celui-ci.

COTATION DE FABRICATION

Module : TPSA
Sequence

TC3

COTATION FONCTIONNELLE

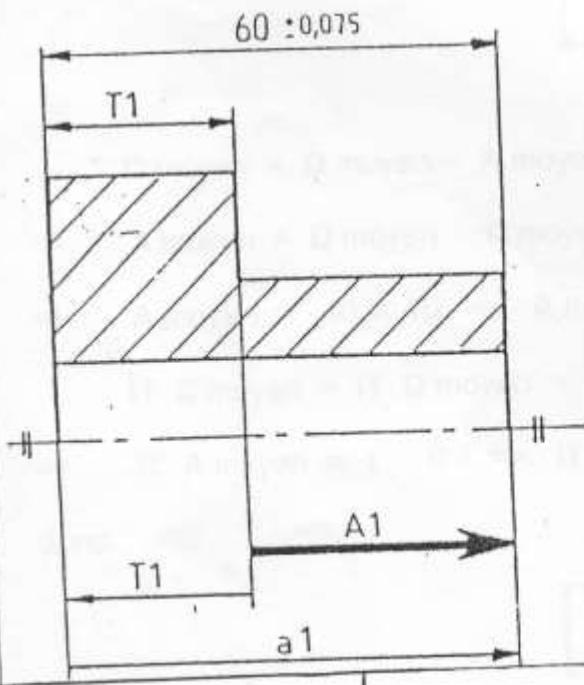


Cheminement d'un transfert de cotes

- 1° Considérer la cote fonctionnelle abandonnée comme une cote condition
A1 abandonnée = cote condition
- 2° Établir une chaîne de cotes sur la pièce seule
- 3° Avant d'effectuer tout calcul et afin que le transfert soit possible, il faut que la tolérance de la cote abandonnée soit plus grande que la tolérance de la cote conservée ($IT_{A1} > IT_{a1}$)
- 4° Écrire et résoudre les équations fondamentales de la cotation fonctionnelle.



COTATION DE FABRICATION



Calcul de la cote T1

$$A1_m = a1_m - T1_m \rightarrow T1_m = a1_m - A1_m$$

$$T1_m = 59,925 - 34,90$$

$$= 25,025$$

$$IT_{A1} = IT_{a1} + IT_{T1} \rightarrow IT_{T1} = IT_{A1} - IT_{a1}$$

$$IT_{T1} = 0,25 - 0,15$$

$$= 0,10$$

$$T1 = 25 - 0,075$$

Vérification

$$A1_m = a1_m - T1_m \rightarrow T1_m = a1_m - A1_m$$

$$T1_m = 60,075 - 35,15$$

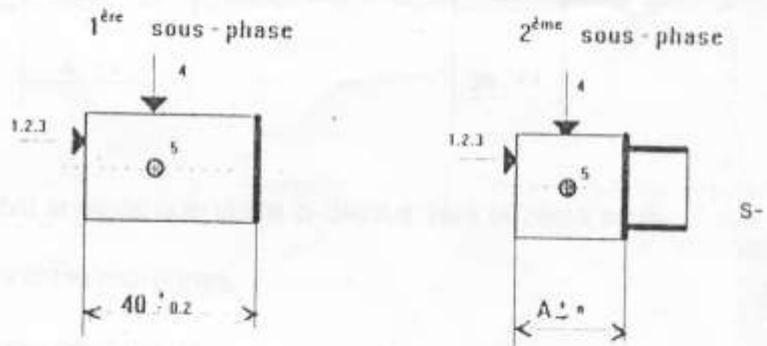
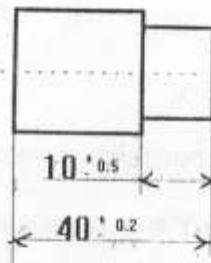
$$= 24,925$$

19/2/96

EXEMPLES

EXEMPLE A

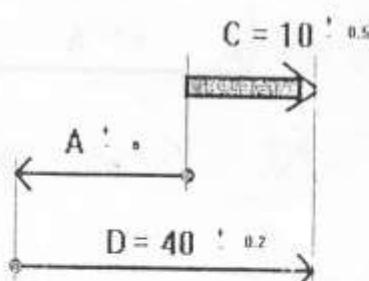
Définition



A partir du dessin de définition ci-contre on établit le mode opératoire ci-dessus 1ère et 2ème sous-phases. Déterminer $A \pm a$ par la méthode des cotes moyennes.

I - On supprime la cote 10 ± 0.5 qui devient la cote condition C

II - On établit la chaîne de cotes



$$C_{\text{moyen}} = D_{\text{moyen}} - A_{\text{moyen}}$$

$$\Rightarrow A_{\text{moyen}} = D_{\text{moyen}} - C_{\text{moyen}}$$

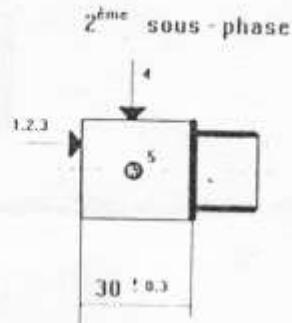
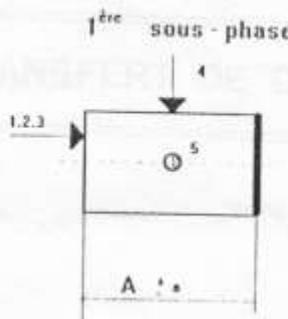
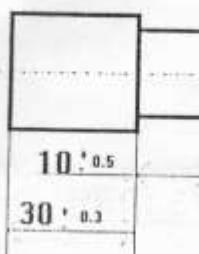
$$\Rightarrow A_{\text{moyen}} = 40 - 10 \Rightarrow A_{\text{moyen}} = 30$$

$$IT\ C_{\text{moyen}} = IT\ D_{\text{moyen}} + IT\ A_{\text{moyen}}$$

$$\Rightarrow IT\ A_{\text{moyen}} = 1 - 0.4 \Rightarrow IT\ A_{\text{moyen}} = 0.6$$

donc :

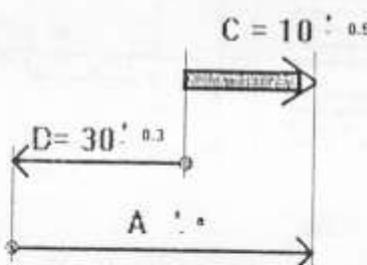
$A = 30 \pm 0.3$

Définition

A partir du dessin de définition ci-contre on établit le mode opératoire ci-dessus 1^{ère} et 2^{ème} sous-phases. Déterminer $A \pm a$ par la méthode des cotes moyennes.

I - On supprime la cote 10 ± 0.5 qui devient la cote condition C

II - On établit la chaîne de cotes



$$C \text{ moyen} = A \text{ moyen} - D \text{ moyen}$$

$$\Rightarrow A \text{ moyen} = C \text{ moyen} + D \text{ moyen}$$

$$\Rightarrow A \text{ moyen} = 10 + 30 \Rightarrow A \text{ moyen} = 40$$

$$IT \ C \text{ moyen} = IT \ A \text{ moyen} + IT \ D \text{ moyen}$$

$$\Rightarrow IT \ A \text{ moyen} = 1 - 0.6 \Rightarrow IT \ A \text{ moyen} = 0.4$$

donc:

$$A = 40 \pm 0.2$$

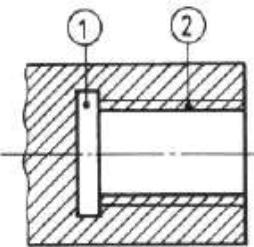
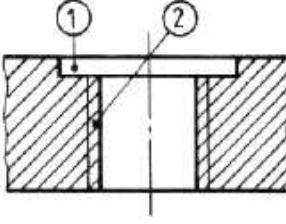
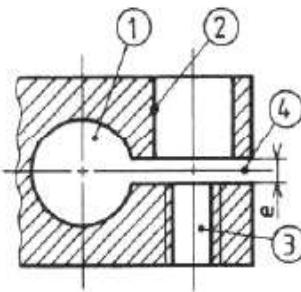
Chapitre 09 :**Contraintes d'usinage**

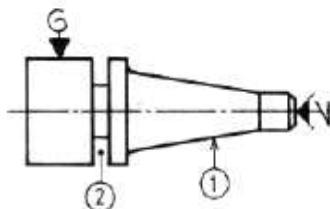
L'ordre des opérations d'usinage doit répondre à des impératifs que l'on désigne sous le nom de contraintes et qui sont d'ordre :

- Technologique ;
- Géométrique et dimensionnel ;
- Economique.

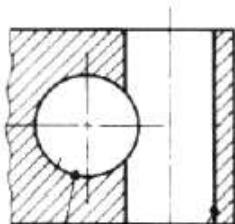
1 CONTRAINTES TECHNOLOGIQUES

Elles sont imposées par les moyens de fabrication.

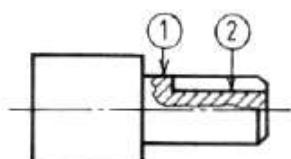
| Croquis | Explications | Ordre des opérations |
|---|--|--|
|  | Un filetage ne peut être entrepris qu'après finition du diamètre enveloppe correspondant et des gorges de tombée d'outil surtout s'il s'agit d'un filetage intérieur non débouchant. | Perçage 2 Gorge 1 Filetage 2 |
|  | Si l'on prévoit d'utiliser une fraise à lamer, il est nécessaire de guider le pilote dans le trou percé. | Perçage 2 Lamage 1 Filetage 2 |
|  | La fente rend la pièce flexible, deux solutions : Sol. 1 : Exécuter la fente avant les perçages 2 et 1 dans ce cas il faut placer une cale d'épaisseur pour éviter la flexion au moment du perçage. Sol. 2 : Exécuter la fente après le perçage. | Sol. 2 Perçage 1 Perçage 2, 3 Taraudage 3 Fente 4 Ébavurage dans 1 |



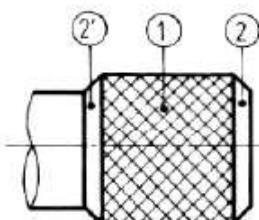
Gorge profonde



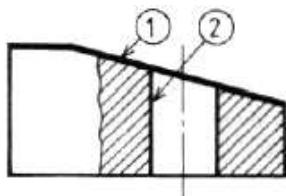
Alésages sécants



Rainure de clavetage



Moletage



Perçage sur une face en pente

REMARQUES:

Certaines surfaces ne peuvent être usinées qu'associées avec leurs voisines, c'est le cas des épaulements, des gorges, des rainures. Les surfaces associées porteront le même nombre .Ex : Voir fig.

Finition de 1

Gorge 2

Afin d'éviter un affaiblissement prématûre d'une pièce, on effectue les saignées profondes en dernier.

Usinage de Ø1

Usinage de Ø1

Deux cas :

- $\text{Ø1} \approx \text{Ø2}$, on réalise d'abord l'alésage le plus précis.

Ex.: $\text{Ø1} = 12\text{H}8$, $\text{Ø2} = 11\text{H}10$

- Ø1 beaucoup plus grand que 0, on réalise d'abord le plus petit diamètre.

Usinage de Ø1

Usinage de Ø1

Pour éviter les chocs nuisibles au bec de l'outil, la rainure sera obligatoirement réalisée après la finition du diamètre.

Finition du Ø1

Rainure 2

Pour supprimer la bavure de moletage, réaliser les chanfreins après cette opération.

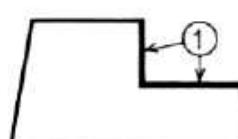
Moletage 2

Chanfreins 2, 3

Pour éviter la déviation du foret, il est souhaitable de percer avant de faire la pente.

Perçage 2

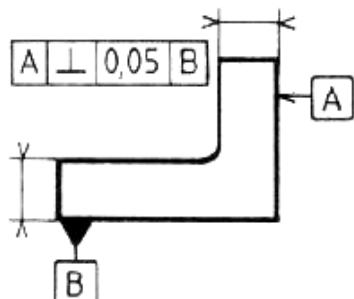
Pente 1



2 CONTRAINTES GEOMETRIQUES ET DIMENSIONNELLES

Elles sont liées au respect des spécifications de formes et de positions notées sur le dessin de définition.

Croquis



Explications

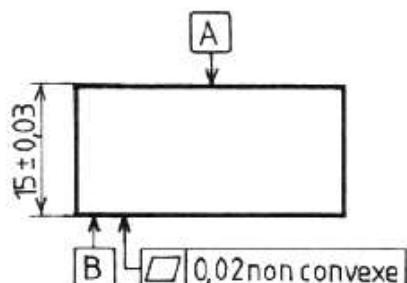
Afin de laisser à la fabrication une tolérance de perpendicularité la plus grande possible, on réalise la plus grande surface en priorité.

Ordre des opérations

Usinage de B

Usinage de A

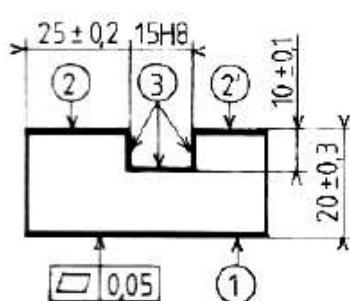
Les tolérances de position imposent un ordre préférentiel.



La surface la plus précise servira pour assurer la liaison appui-plan pour la reprise de l'autre surface.

Usinage de A

Usinage de B



Après l'usinage de la rainure si la pièce est réalisée en laminé, elle a tendance à s'ouvrir, il faut donc prévoir :

- 1 une ébauche générale ;
- 2 une stabilisation ;
- 3 une finition des surfaces précises.

Ébauche de 1

Ébauche de 2- 2'

Ébauche de 3

Modification des tensions internes

Stabilisation

Finition de 1

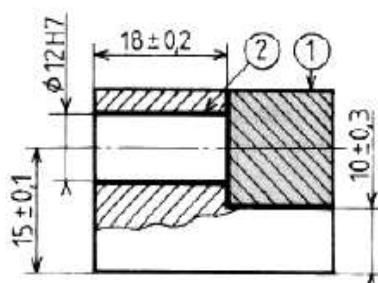
Finition de 2 – 2'

Finition de 3

3 CONTRAINTES ECONOMIQUES

Elles sont liées aux impératifs de réduction des coûts d'usinage.

Croquis



Réduction de la durée de l'usinage précis.

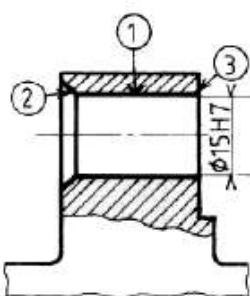
Explications

La finition coûte cher, il faut donc réaliser le maximum d'ébauche avant de l'engager.

Ordre

Fraisage 1

Perçage alésage 2



Usinage précis, débouchant sur une surface brute.

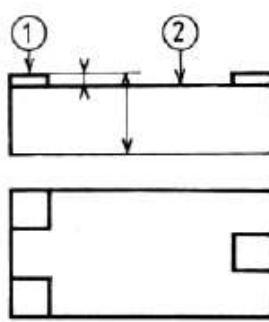
Les impuretés superficielles des surfaces brutes (sable de fonderie) peuvent entraîner une détérioration rapide du bec de l'outil de finition. En règle générale, l'outil de finition ne doit pas attaquer ni déboucher sur une surface brute.

Dressage 3

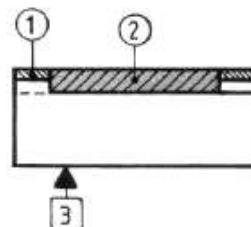
Perçage 1

Chanfrein 2

Alésage 1



Il faut usiner le dégagement avant de finir les 3 portées.



Usinage de 2

Usinage de 1

Règle 1 : L'ordre des opérations d'usinage doit être défini en tenant compte simultanément de toutes les contraintes.

Règle 2 : Si pour une raison d'ordre technique, économique, dimensionnelle ou géométrique, une surface A doit être usinée avant une surface B, elle constitue pour cette dernière, une contrainte d'antériorité.