

République Algérienne Démocratiques et Populaire  
Ministère de l'Enseignements Supérieur  
et de la Recherche Scientifique  
Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbas  
Faculté de Technologie  
Département de Génie Mécanique



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
جامعة جيلالي ليابس - سيدي بلعباس  
كلية التكنولوجيا  
قسم الهندسة الميكانيكية

## *Polycopié pédagogique*

# *Bureau des méthodes*

### **Cours destiné aux étudiants :**

**Filière : Génie Mécanique**

**Option : Fabrication Mécanique et Productique & Construction Mécanique**

**Parcours : Master**

**Semestre : S1**

**Unités d'enseignement : UEF 2.1.1, UEM 2.1**

### **Cours présenté par :**

Dr. MERZOUG Mohammed

Année universitaire 2021/2022

Ce polycopié pédagogique s'élève comme un terrain d'application des méthodes d'organisation de la production dans un atelier de fabrication. L'objectif visé est la réalisation d'un tel ouvrage centré principalement sur les techniques d'usinage par enlèvement de matière et sur leur mise en œuvre.

Il est destiné à être consulté par la communauté scientifique et en particulier les étudiants de l'enseignement supérieur (licence productique, master fabrication mécanique et construction mécanique). Il concerne aussi le cycle d'Ingénieur dans des spécialités en relation avec le génie mécanique.

L'étudiant méthodiste sera capable :

- de connaître les différents procédés de production, leurs caractéristiques et domaines d'application,
- d'analyser et d'interpréter les spécifications et les contraintes issues de la définition de produit en vue d'établir la cotation de fabrication (traduction du cahier de charges en spécifications fonctionnelles)
- d'utiliser son savoir faire pour définir un processus de production et un avant projet de gamme avec évaluation des moyens,
- de pouvoir choisir les moyens de production, de montage, d'assemblage en fonction des caractéristiques des produits et en fonction des moyens de production disponibles.
- de savoir intégrer dans une analyse de fabrication des contraintes de qualité, coûts et de délais, en précisant la chronologie des phases de fabrication,
- savoir établir une fiche de phase et savoir optimiser les paramètres de fabrication,
- de pouvoir proposer des modifications au bureau d'études, avec lequel il pourra travailler en collaboration en vue de créer des équipements de production des biens qui permettront d'améliorer la productivité.

Dr MERZOUG Mohamed

# TABLE DES MATIÈRES

## BUREAU DES MÉTHODES

### CHAPITRE I

#### **LE BUREAUX DES MÉTHODES ET CES RELATIONS AVEC LES AUTRES SERVICES**

I.1	Introduction	01
I.2	La fonction production	02
I.3	Rôle et mission d'un bureau des méthodes	06
I.4	Analyse du dessin de définition	07
	I.4.1 Le dessin de définition	07
	I.4.2 Cotes uni-limites	07
I.5	Notions de tolérances de forme et de position	08
	I.5.1 Les tolérances de forme	08
	I.5.2 Les tolérances d'orientation	10
	I.5.3 Les tolérances de position	12

### CHAPITRE II **ISOSTATISME**

II.1	Introduction	18
II.2	Prise de pièce	19
	II.2.1 Liaisons utilisables	19
II.3	Symbolisation géométrique	21
	II.3.1 Symboles de base	21
	II.3.2 Principales règles d'utilisation	21
	II.3.3 Mise en place des normales de repérage	22
	II.3.3.1 Sur un parallélépipède (prisme)	22
	II.3.3.2 Sur un cylindre	25
II.4	Choix des surfaces de mise en position	27
	II.4.1 Principe	27
	II.4.2 Les règles de choix	27
	II.4.3 Les règles de disposition des normales	28

<b>II.5</b>	<b>Symbolisation technologique</b>	30
II.5.1	Type de technologie	31
II.5.2	Nature de la surface de contact	32
<b>II.6</b>	<b>Exemples d'application</b>	32

### **CHAPITRE III** **COTATION DE FABRICATION**

<b>III.1</b>	<b>Définition</b>	39
III.1.1	Cote machine "Cm"	39
III.1.2	Cote outil "Co"	42
III.1.3	Cote appareillage "Ca"	43
<b>III.2</b>	<b>Transfert de cotes et d'orientation</b>	44
III.2.1	Principe de calcul de la cote transférée	45
III.2.2	Règles à suivre pour tracer la chaîne de cotes	45
<b>III.3</b>	<b>Exemples de transfert de cotes</b>	46
III.3.1	Calcul du transfert total	49
III.3.2	Etablissement d'une chaîne de cotes	52
III.3.2.1	Objectif de la Cotation Fonctionnelle	52
III.3.2.2	Méthode	52
III.3.2.3	Détermination des conditions fonctionnelles	52
III.3.2.4	Etablissement d'un graphe des contacts (graphe des liaisons)	53
III.3.2.5	Règles à suivre	54
III.3.3	Application numérique	55
III.3.3.1	Graphe des contacts	55
III.3.3.2	Tracé des chaînes de cotes	56

### **CHAPITRE IV** **OPÉRATIONS ÉLÉMENTAIRES ET ANTÉRIORITÉS DUES AUX CONTRAINTES D'USINAGE**

<b>IV.1</b>	<b>Les opérations élémentaires d'usinage : tournage, fraisage, perçage, alésage, taillage d'engrenage et rectification</b>	58
IV.1.1	Les opérations élémentaires en tournage	58
IV.1.2	Les opérations élémentaires en fraisage	59
IV.1.3	Les opérations élémentaires en perçage	61
<b>IV.2</b>	<b>Les antériorités dues aux contraintes d'usinage : dimensionnelles, géométriques et technologiques</b>	62
IV.2.1	Contraintes dimensionnelles	62
IV.2.2	Contraintes géométriques	63
IV.2.3	Contraintes technologiques	65

**CHAPITRE V**  
**ÉTABLISSEMENT D'UN PROCESSUS COMPLET DE**  
**FABRICATION D'UN PRODUIT ET CONCEPTION DES**  
**GAMMES D'USINAGE**

<b>V.1</b>	<b>Introduction</b>	69
<b>V.2</b>	<b>Détermination du nombre des opérations d'usinage selon la qualité et l'état de la surface usinée</b>	70
<b>V.3</b>	<b>Détermination des antériorités des opérations d'usinage</b>	72
	V.3.1 Etude du dessin de définition	73
<b>V.4</b>	<b>Méthode matricielle d'établissement de l'ordre d'usinage</b>	74
	V.4.1 Tableau des opérations élémentaires	74
	V.4.2 Tableau des groupements de surfaces	74
	V.4.3 Tableau d'analyse des contraintes	75
	V.4.4 Tableau des niveaux	75
	V.4.5 Tableau de groupement des phases	76
	V.4.6 Feuille d'analyse de fabrication	77
<b>V.5</b>	<b>Projet de gamme d'usinage</b>	79
<b>V.6</b>	<b>Contrat des différentes phases d'usinage et choix du régime de coupe</b>	86
	V.6.1 Objectif	86
	V.6.2 Contenu du contrat de phase	86
	V.6.3 Tableau des conditions de coupe	89
	V.6.4 Principaux types de temps	90
	V.6.5 Définitions des temps classes en fonction de la nature des activités	90
	V.6.5.1 Temps technologique $T_t$	90
	V.6.5.2 Temps manuels $T_m$	90
	V.6.5.3 Temps technico-manuels $T_{tm}$	90
	V.6.5.3 Temps fréquentiel : $T_f$	
<b>V.7</b>	<b>Temps classé d'après sa position relative dans le cycle de travail</b>	91
	V.7.1 Temps masqué $T_z$	91
	V.7.2 Temps d'équilibrage $T_e$	91
<b>V.8</b>	<b>Temps classés en fonction de leur fréquence</b>	91
	V.8.1 Temps de préparation $T_s$	91
	V.9 Étude de quelques temps technologiques	92
	V.9.1 Temps technologique de chariotage (tournage)	92
	V.9.2 Temps technologique de dressage (tournage)	92
	V.9.3 Temps technologique en filetage (tour)	93
	V.9.4 Temps technologique en brochage	93
	V.9.5 Temps technologique pour le fraisage en roulant	94

<u>V.9.6</u>	<u>Temps technologique pour le fraisage en bout</u>	<u>94</u>
<u>V.9.7</u>	<u>Temps technologique pour le rabotage</u>	<u>95</u>
<u>V.9.8</u>	<u>Temps technologique pour les opérations de perçage, lamage, alésage</u>	<u>95</u>
<u>V.9.9</u>	<u>Temps technologique pour l'opération de taraudage</u>	<u>96</u>
<u>V.9.10</u>	<u>Temps technologique pour la rectification plane</u>	<u>97</u>
<u>V.9.11</u>	<u>Temps technologique pour la rectification cylindrique</u>	<u>97</u>

## I.1 Introduction

Dans la construction mécanique les différents éléments faisant partie des divers systèmes mécaniques, eux-mêmes composants des équipements et des biens de consommation, sont obtenus par une suite d'opérations dont les principales sont :

- l'élaboration du matériau
- la mise en forme (transformation), permettant d'obtenir des pièces brutes
- l'usinage par enlèvement de matière (pour obtenir des pièces finies).

Les principales fonctions mises en jeu pour la réalisation effective d'une pièce sont respectivement :

1. la conception-construction,
2. l'étude et la préparation de la fabrication,
3. la fabrication.

Le temps et les moyens consacrés pour réaliser chaque fonction dépendent du type de produit fabriqué, du nombre d'exemplaires produits (fabrication en petite, moyenne et grande série) et de leur complexité. Les principaux services participant aux fonctions précédemment énoncées sont :

- le bureau d'études (BE)
- le bureau de méthodes (BM)
- les ateliers de fabrication

## I.2. La fonction production

Qu'est ce que le système de production ?

**Définition** : le système de production décrit l'ensemble du processus grâce auquel l'entreprise produit un bien ou un service apte à satisfaire une demande à l'aide de facteurs de production acquis sur le marché.

Dans le cadre d'une entreprise, le système de production, outre sa finalité première qui est de produire un bien économique, cherche à satisfaire d'autres objectifs secondaires :

- L'objectif en terme de quantités produites :

La fonction de production doit permettre à l'entreprise de satisfaire la demande qui lui est adressée ce qui suppose que l'entreprise adapte sa capacité de production au volume des ventes.

Ceci passe par des actions visant à maintenir en l'état les capacités productives ou par la mise au point de plans d'investissements en capacité.

- Objectif en terme de qualité :

Les biens économiques produits doivent être de bonne qualité, c'est-à-dire doivent permettre de satisfaire les besoins de la clientèle.

Mais la production doit aussi être de qualité en terme d'utilisation de ressources afin de respecter le critère d'efficience attaché au système productif.

Le système productif doit donc être économe en ressources et constant en terme de qualité.



- Objectif de coût :

Le système productif adopté par l'entreprise doit proposer les plus faibles coûts de production possibles de manière à garantir la compétitivité de l'entreprise. De plus, les coûts de production calculés doivent aussi être mis en relation avec les coûts de production prévus par le centre opérationnel.

Sur la longue période, cet objectif de coût se traduit par la recherche permanente de gains de productivité afin de détenir ou de conserver un avantage compétitif coût pour l'entreprise.

- Objectif de délai :

Le système de production doit certes produire, mais dans des délais raisonnables, c'est-à-dire en conformité avec le niveau de la demande à laquelle doit faire face l'entreprise.

Ceci suppose la mise en place d'un mode de production réactif qui permettra soit d'éviter des stocks de biens finaux, soit de ne pas connaître de goulets d'étranglement.

En terme de productivité, l'objectif de délai signifie aussi réduire les délais de fabrication.

- Objectif de flexibilité :

Le système productif doit être flexible soit pour pouvoir s'adapter aux variations de la demande, soit pour tenir compte des évolutions de l'environnement productif de l'entreprise (innovations technologiques...), soit pour permettre une production simultanée de plusieurs types de produits différents en même temps.

- Organisation de la fonction de production

Lorsque l'on parle de fonction de production, il est important de noter que cette fonction se décompose en un certain nombre de services qui ont un rôle soit opérationnel, soit fonctionnel.

- Rôle opérationnel: un service a un rôle opérationnel lorsqu'il a pour mission soit la fabrication, soit l'expédition du bien produit par l'entreprise

- Rôle fonctionnel: un service a un rôle fonctionnel lorsqu'il se charge de définir, d'organiser ou de contrôler l'activité de production de l'entreprise.

- Principaux services opérationnels:

On distingue dans l'entreprise différents types de services opérationnels.

- Le service fabrication: est en charge de la fabrication proprement dite des produits finaux de l'entreprise ce qui implique la gestion des quantités produites, de la qualité de la production et du respect des délais de fabrication prévus.

- Le service d'expédition: a en charge la préparation des commandes et leur livraison au service de transport chargé de les livrer aux clients de l'entreprise. Ce service assure donc en outre la gestion des stocks de produits finis de l'entreprise.

- Le service manutention : qui prend en charge l'organisation de la circulation des flux physiques au sein de l'entreprise entre les différents services ou ateliers entrant dans le processus de production.

- Service outillage : est chargé de gérer les stocks d'outils indispensables à la réalisation de la production qu'il faille les acheter ou qu'il faille les produire en interne.

- Service entretien: a pour mission de maintenir le bon fonctionnement de la chaîne de production soit en intervenant sur les pannes éventuelles, soit en assurant une maintenance permanente de l'outil de production.

- Principaux services fonctionnels:

Ces services prennent en charge la préparation du travail (c'est-à-dire l'organisation du mode de production) et le contrôle du bon fonctionnement de la chaîne de production.

- Le bureau des études : il conçoit les prototypes des produits réalisés par l'entreprise et en donne une définition complète qui permettra de mettre en place un processus de production standardisé notamment au niveau des pièces et composants utilisés.

- Le bureau des méthodes : définit les méthodes de production qui vont être utilisées pour réaliser le produit proposé par les bureaux des études dans le souci de permettre une production au moindre coût.

Ce service décrit donc entre autre la succession des opérations à réaliser pour produire un bien, l'organisation de ces différentes phases de production dans le temps et dans l'espace,...

-Le bureau d'ordonnancement : assure le lancement proprement dit de la phase de production en cherchant à minimiser le délai global de production et ce, pour un coût global qu'il ne faut pas dépasser.

- Service de contrôle de production : se charge de vérifier que les services opérationnels remplissent bien leur mission dans les conditions définies par le bureau des méthodes que ce soit en terme de délai, de qualité, de rendement ou de coût de production.

### I.3. Rôle et mission d'un bureau des méthodes

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.

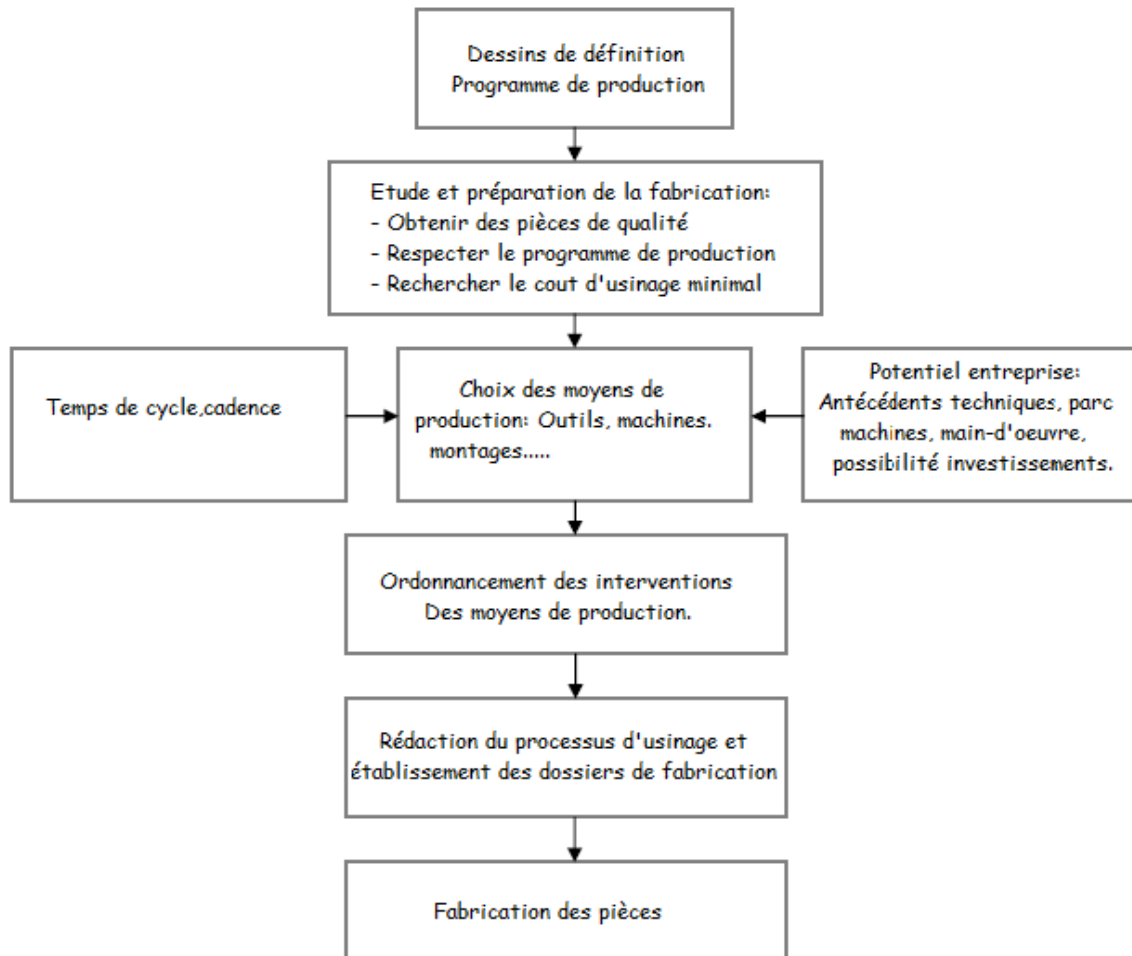
a) Son objectif

- Améliorer les conditions de travail et les stabiliser.
- Simplifier le travail.
- Mesurer le temps du travail.

b) Sa réflexion

- Améliorer le résultat d'un travail.
- Améliorer les conditions dans lesquelles il s'effectue.

Il précise complètement sans ambiguïté les exigences auxquelles le produit doit satisfaire.



## I. 4. Analyse du dessin de définition

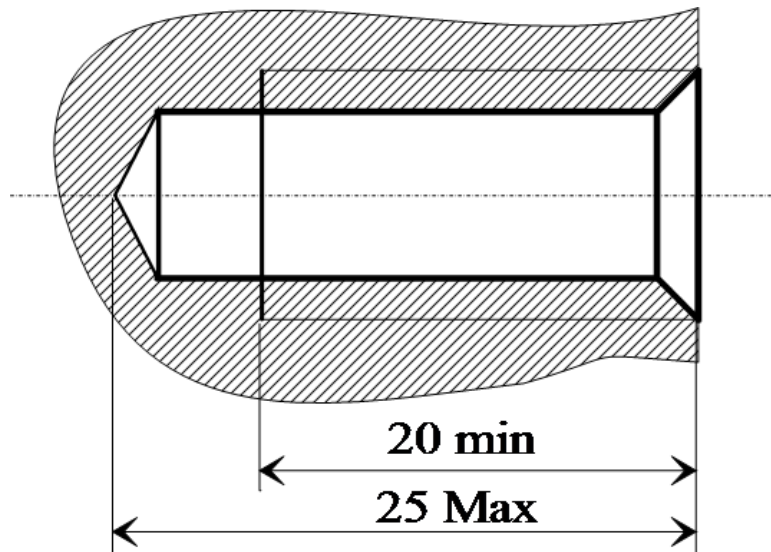
### I.4.1. Le dessin de définition

Cette cotation contribue à la diminution des coûts de production en donnant les plus larges tolérances possibles à l'exécution.

### I.4.2. Cotes uni-limites

Connaissance de la valeur minimale ou maximale de la cote fonctionnelle.

**Exemple** : cotation de la profondeur d'un trou taraudé.



### I.5. Notions de tolérances de forme et de position

La normalisation fixe les définitions géométriques nécessaires pour assurer les conditions correctes de fonctionnement et d'aptitude à l'emploi du produit.

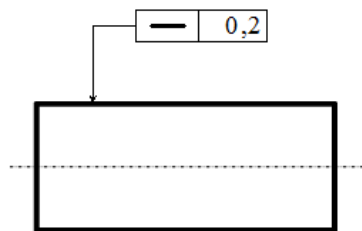
#### I.5.1. Les tolérances de forme

##### a - Rectitude d'une ligne ou d'un axe

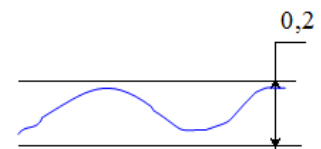
Symbole



Indication sur le dessin

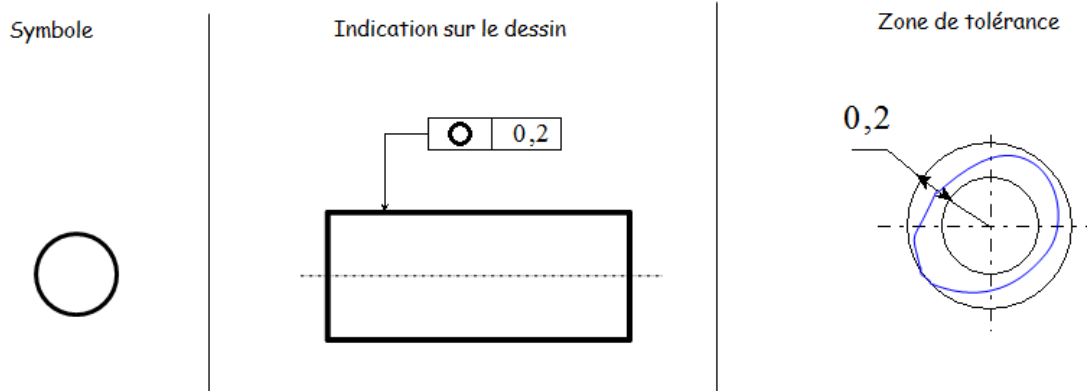


Zone de tolérance



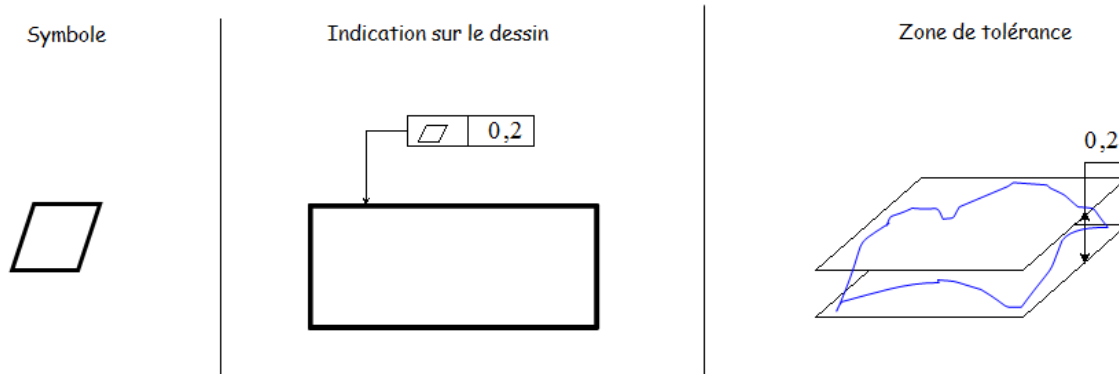
Une ligne quelconque de la surface supérieure, parallèle au plan de projection dans lequel l'indication est donnée, doit être contenue entre deux droites parallèles distantes de 0,2. Leur longueur est celle de l'élément spécifié

### b - Circularité d'un disque, d'un cône, d'un cylindre



Le pourtour de chaque section droite du cylindre doit être compris entre deux cercles concentriques distants de 0,2.

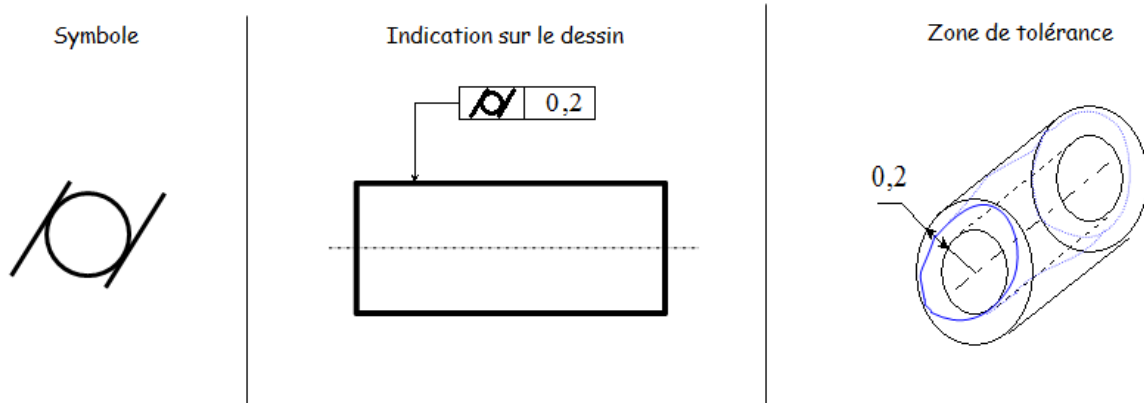
### c - Planéité d'une surface



La zone de tolérance est limitée par deux plans parallèles distants de 0,2 dont l'étendue est celle de l'élément spécifié.

Tous les points de la surface spécifiée doivent se trouver dans la zone de tolérance.

## d -Cylindricité

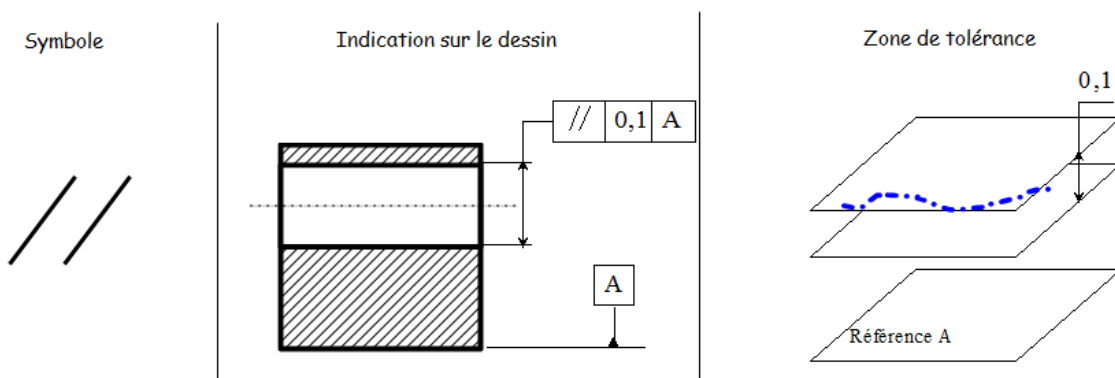


La zone de tolérance est limitée par deux cylindres coaxiaux distants de 0,2 dont la longueur est celle de l'élément spécifié.

Tous les points de la surface spécifiée doivent se trouver dans la zone de tolérance.

## I.5.2 Les tolérances d'orientation

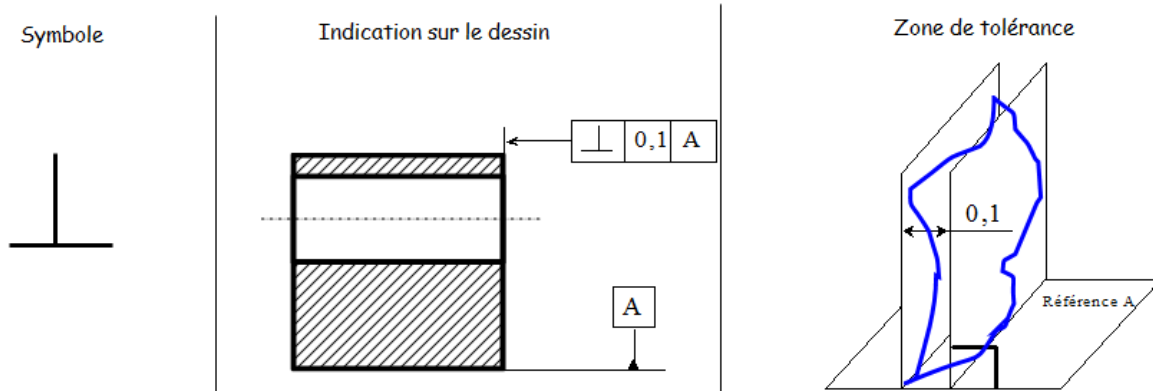
### a- Parallélisme



L'axe du trou doit se trouver dans la zone de tolérance limitée par deux plans parallèles distants de 0,1 dont l'étendue est celle de l'élément spécifié et parallèles au plan de référence A.

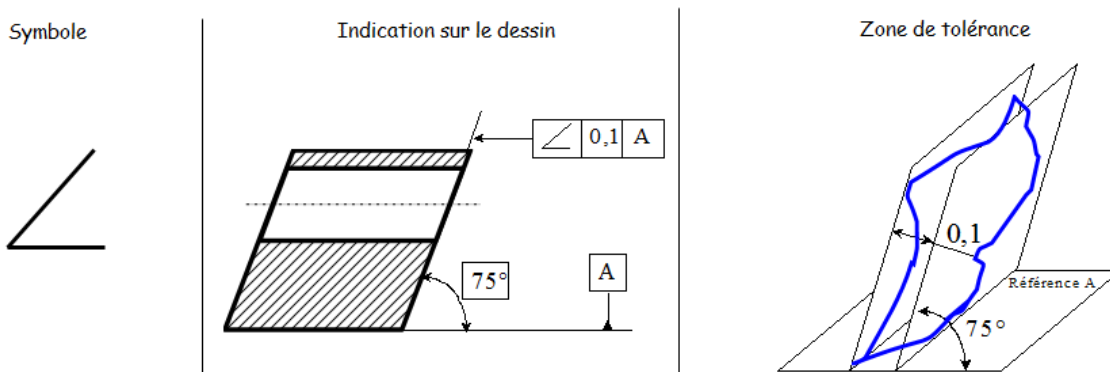


### b- Perpendicularité



Tous les points de la surface spécifiée doivent se trouver dans la zone de tolérance limitée par deux plans parallèles distants de 0,1 dont les étendues sont celles de l'élément spécifié et perpendiculaires au plan de référence A .

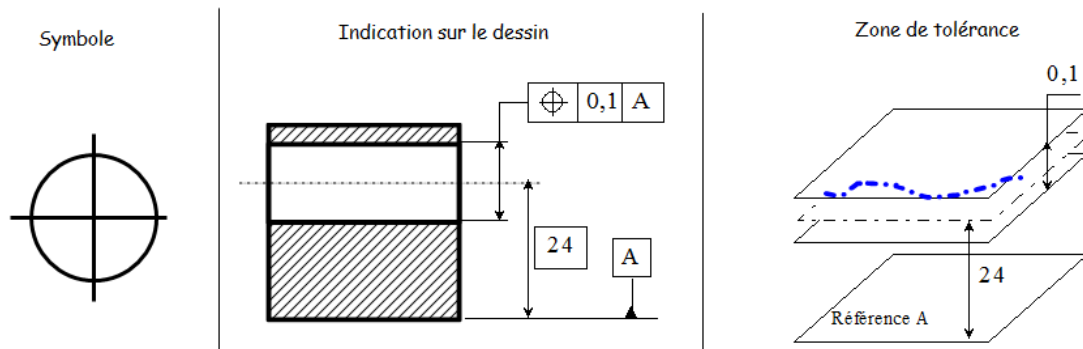
### c- Inclinaison



Tous les points de la surface spécifiée doivent se trouver dans la zone de tolérance limitée par deux plans parallèles distants de 0,1 dont les étendues sont celles de l'élément spécifié et inclinés de 75° par rapport au plan de référence A.

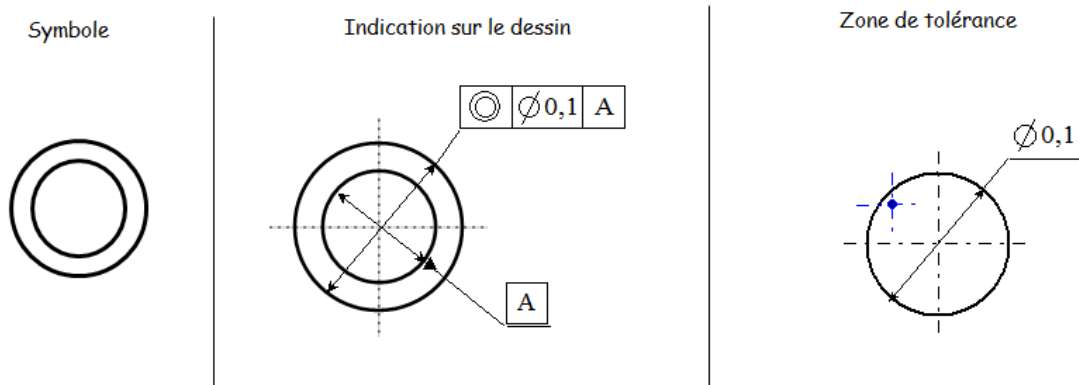
### I.5.3 Les tolérances de position

#### a- Localisation



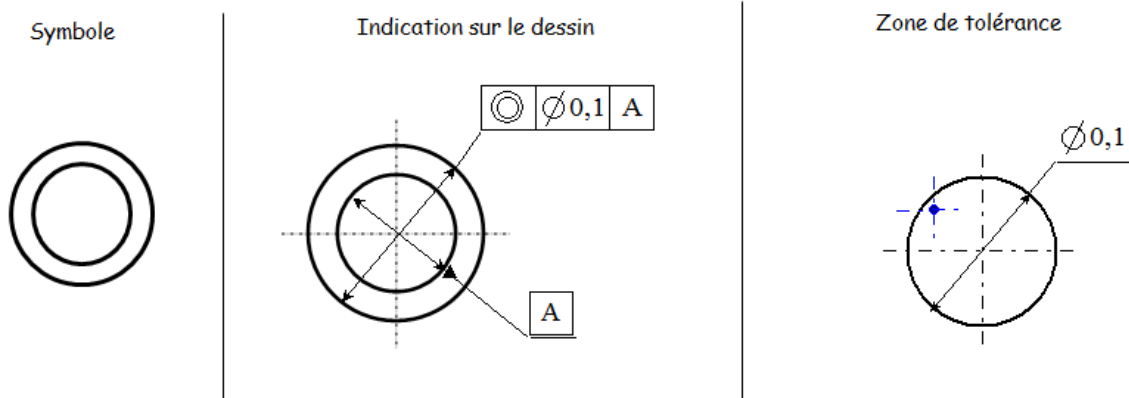
L'axe du trou doit être compris entre deux plans parallèles distants de 0,1 dont l'étendue est celle de l'élément spécifié et symétriquement disposés par rapport à la position exacte du plan spécifié par rapport à la surface de référence.

#### b- Concentricité



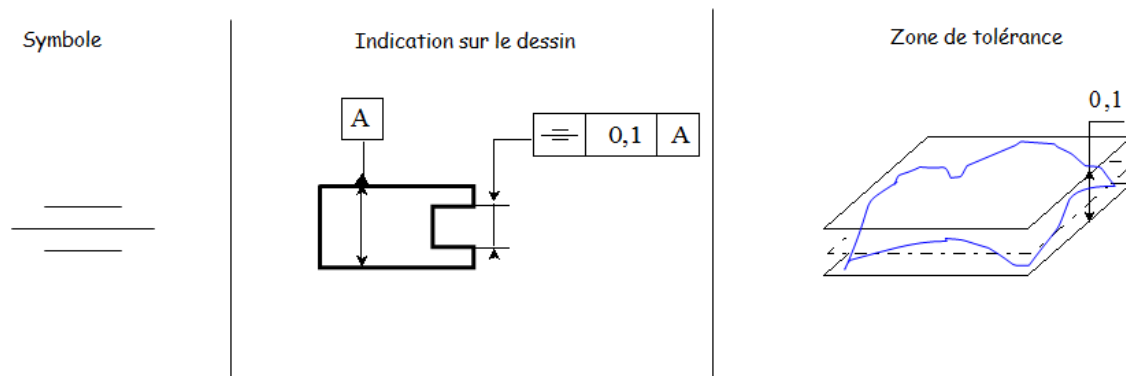
Le centre du cercle dont la cote est reliée au cadre de tolérance doit être compris dans un cercle de diamètre 0,1 concentrique au centre de référence A.

## c- Coaxialité



L'axe du cylindre dont la cote est reliée au cadre de tolérance doit être compris dans un cylindre de diamètre 0,1 coaxial à l'axe de référence A dont la longueur est celle de l'élément spécifié.

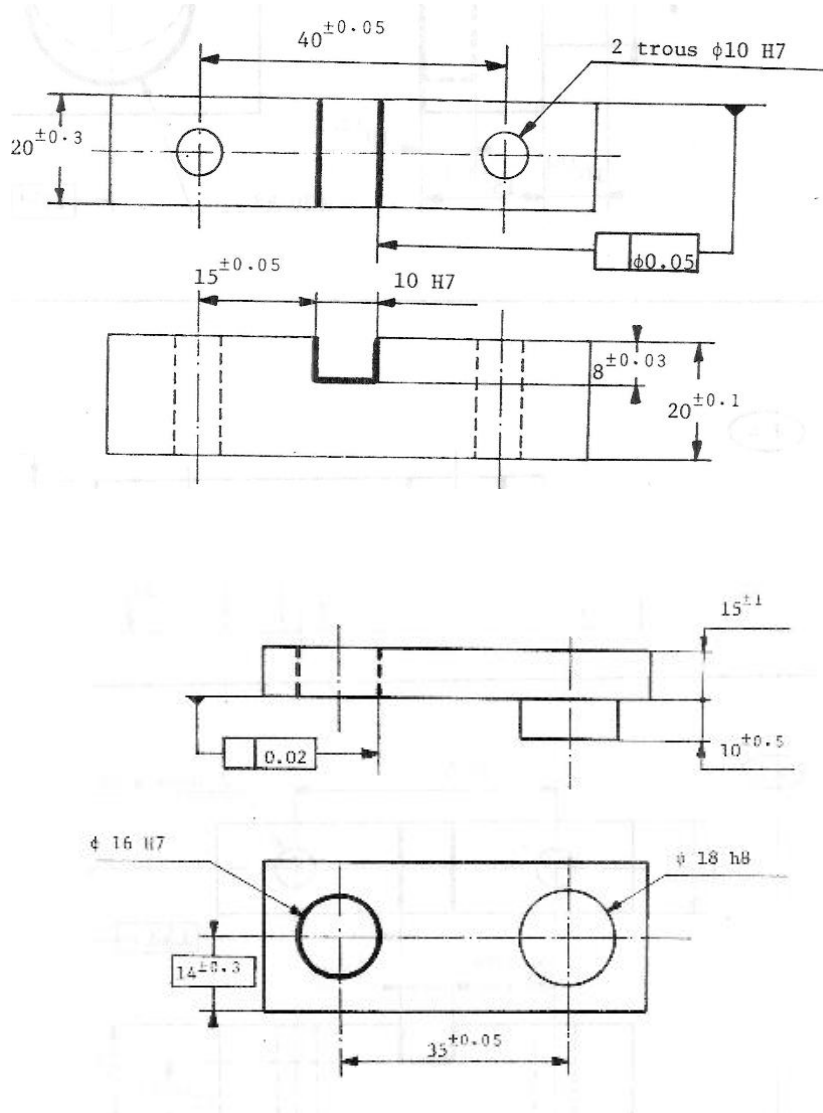
## d- Symétrie

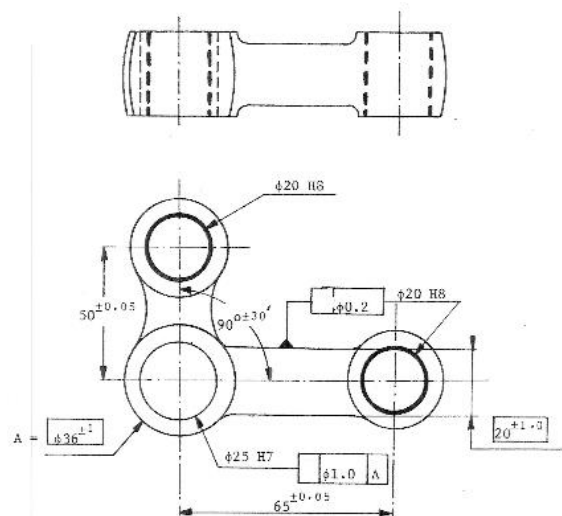
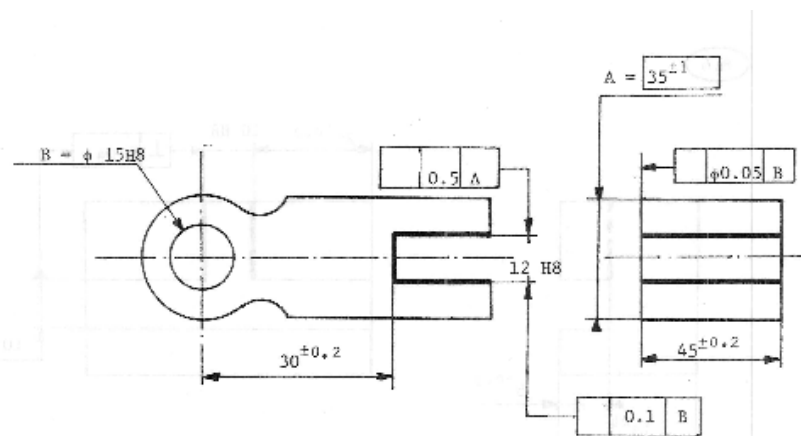
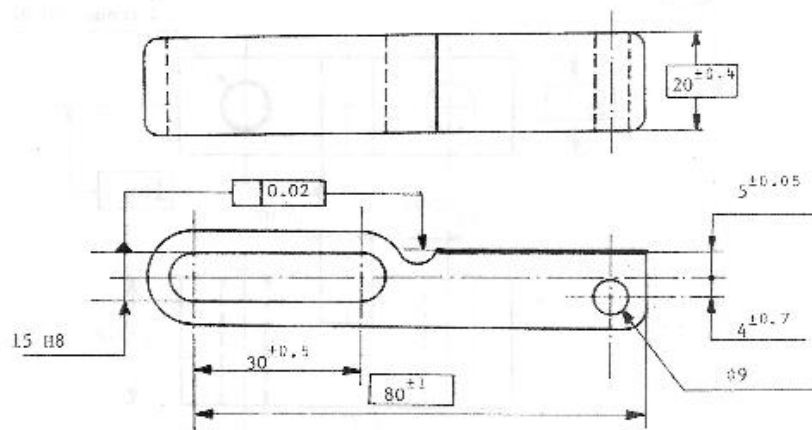


Le plan médian de la rainure doit être compris entre deux plans parallèles distants de 0,1 dont l'étendue est celle de l'élément spécifié et disposés symétriquement par rapport au plan médian de référence.

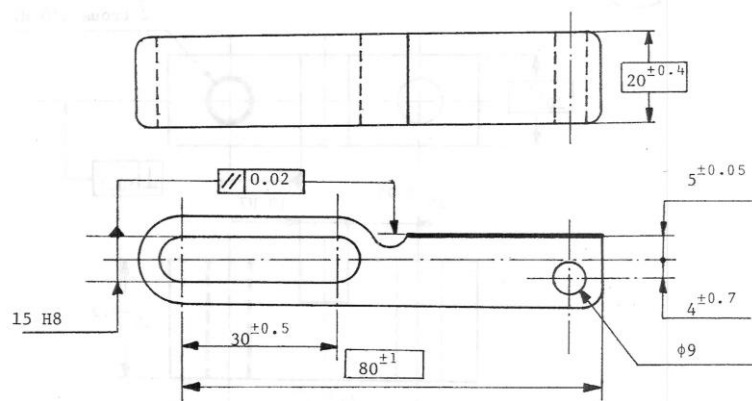
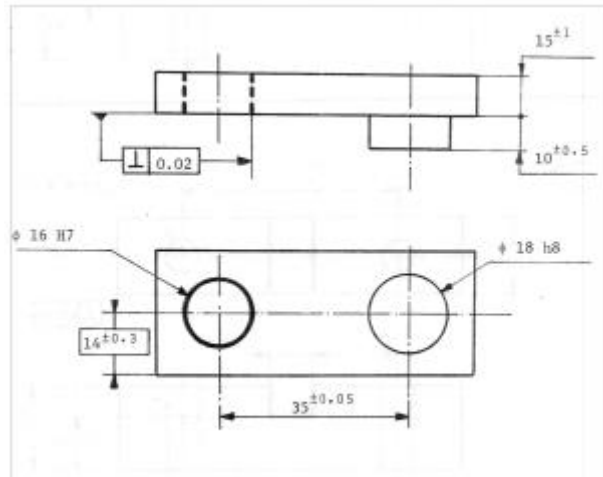
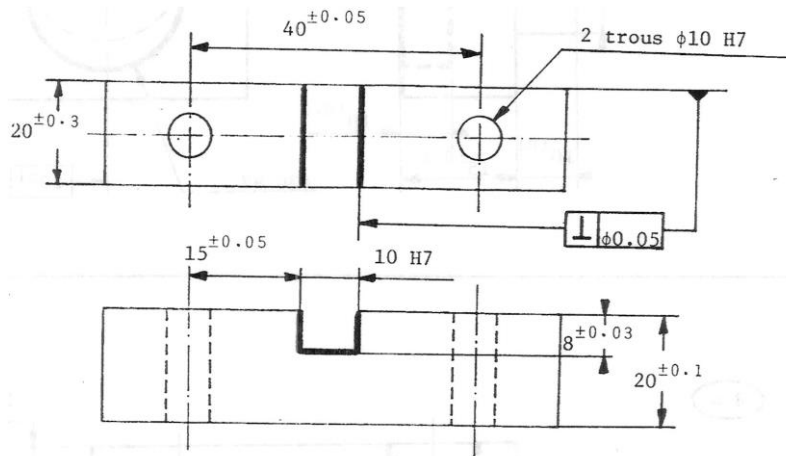
Exercice

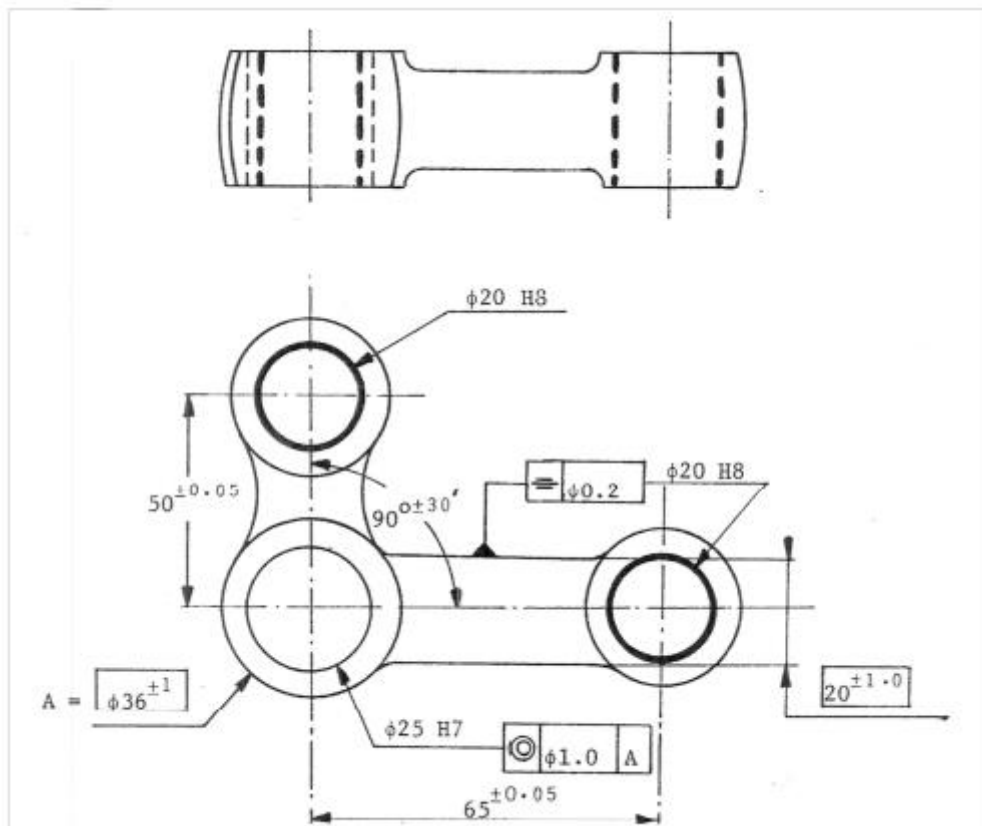
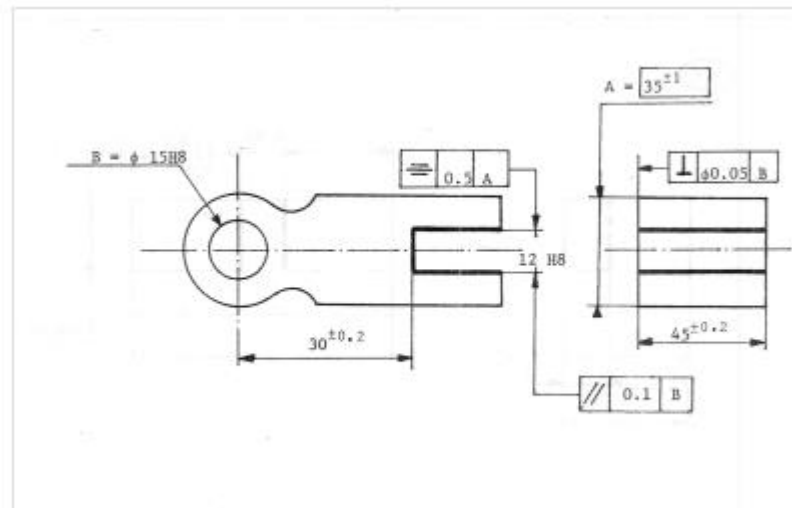
Mettre en place sur les dessins de définition suivants, les tolérances géométriques correspondantes





Solution

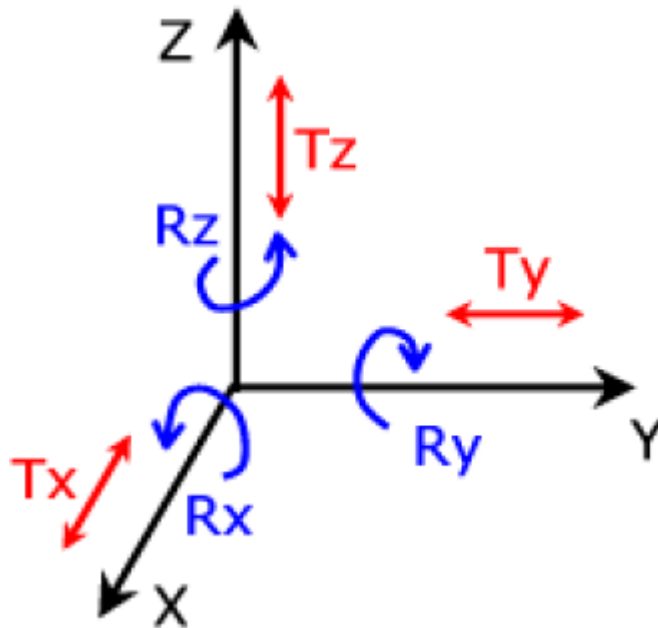




## II.1 Introduction

Le mouvement d'un solide dans l'espace peut se décrire suivant la combinaison de 3 translations et de 3 rotations par rapport à une base orthogonale. Ces 6 mouvements représentent les 6 degrés de liberté du solide.

Pour immobiliser un solide dans l'espace, il suffit de supprimer ces 6 degrés de liberté.



$T_x, T_y, T_z$  : mouvements de translation.

$R_x, R_y, R_z$  : mouvements de rotation.

Le repère XYZ est appelé référentiel.

En fabrication, l'isostatisme est l'étude de la suppression des degrés de liberté d'un solide. Il est en effet préférable que la pièce soit bien mise en place pendant les



opérations d'usinage. Pour supprimer les degrés de liberté, il suffit d'utiliser une ou plusieurs liaisons qui s'opposent aux mouvements.

## II.2 Prise de pièce

Pour positionner totalement un solide,

- il faut 6 repérages élémentaires
- il faut que chaque repérage élimine un mouvement

Si le nombre de repérage est inférieur à 6, le repérage est partiel

Si le nombre de repérage est supérieur à 6, le repérage est hyperstatique

### II.2.1 Liaisons utilisables

On va associer plusieurs liaisons simples pour supprimer les 6 degrés de liberté.

liaison	Rotation supprimée	Translation supprimée
ponctuelle	0	1
linéaire	1	1
Appui plan	2	1
Linéaire annulaire	0	2
Pivot glissant	2	2

Le tableau ci dessous présente les liaisons associé à des réalisations concrètes.

Nom	Représentation	Exemples
<b>Appui ponctuel:</b> élimine 1 degré de liberté		
<b>Liaison linéaire rectiligne:</b> élimine 2 degrés de liberté		
<b>Liaison linéaire annulaire:</b> élimine 2 degrés de liberté		
<b>Appui plan</b> élimine 3 degrés de liberté		
<b>Liaison pivot glissant</b> élimine 4 degrés de liberté		

### II.3 Symbolisation géométrique

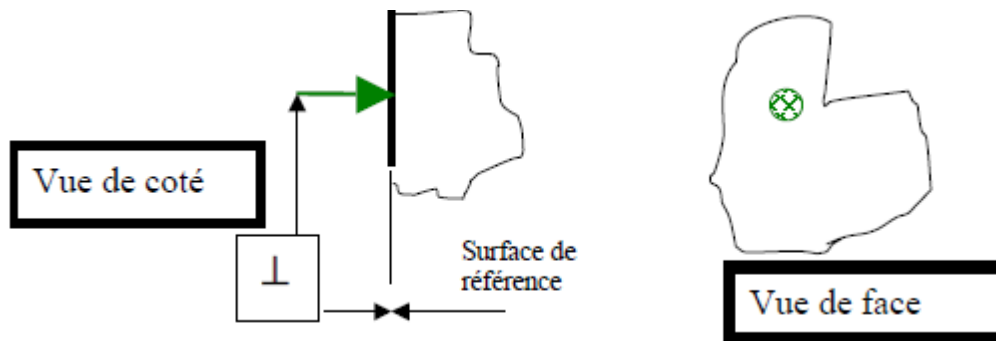
La pièce doit être positionnée par rapport à la machine dans une situation telle que l'on puisse réaliser plusieurs pièces identiques.

#### II.3.1 Symboles de base

Chaque contact est représenté par un vecteur perpendiculaire à la surface de référence considérée.

On appelle ce vecteur normale de repérage.

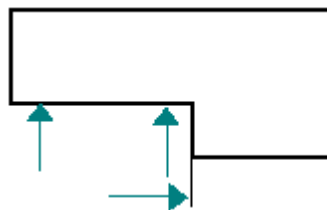
Chaque normale de repérage élimine 1 degré de liberté.



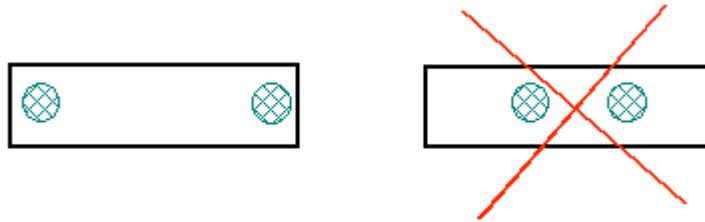
#### II.3.2 Principales règles d'utilisation

Les normales de repérage sont installées :

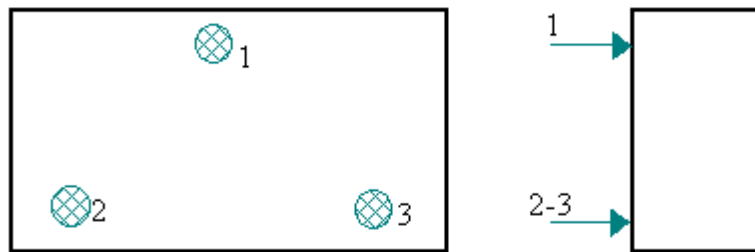
- Du côté libre de la matière, directement sur la surface de référence et éventuellement sur une ligne de rappel si on manque de place.



- Eloignées au maximum pour une meilleure stabilité.



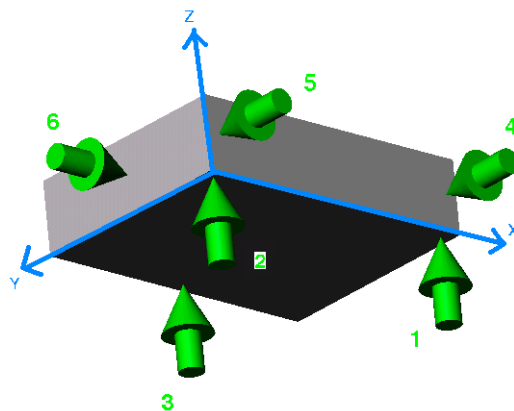
- Sur les vues où leurs positions facilitent leur compréhension.
- Affectées d'un indice numérique allant de 1 à 6 maximum.



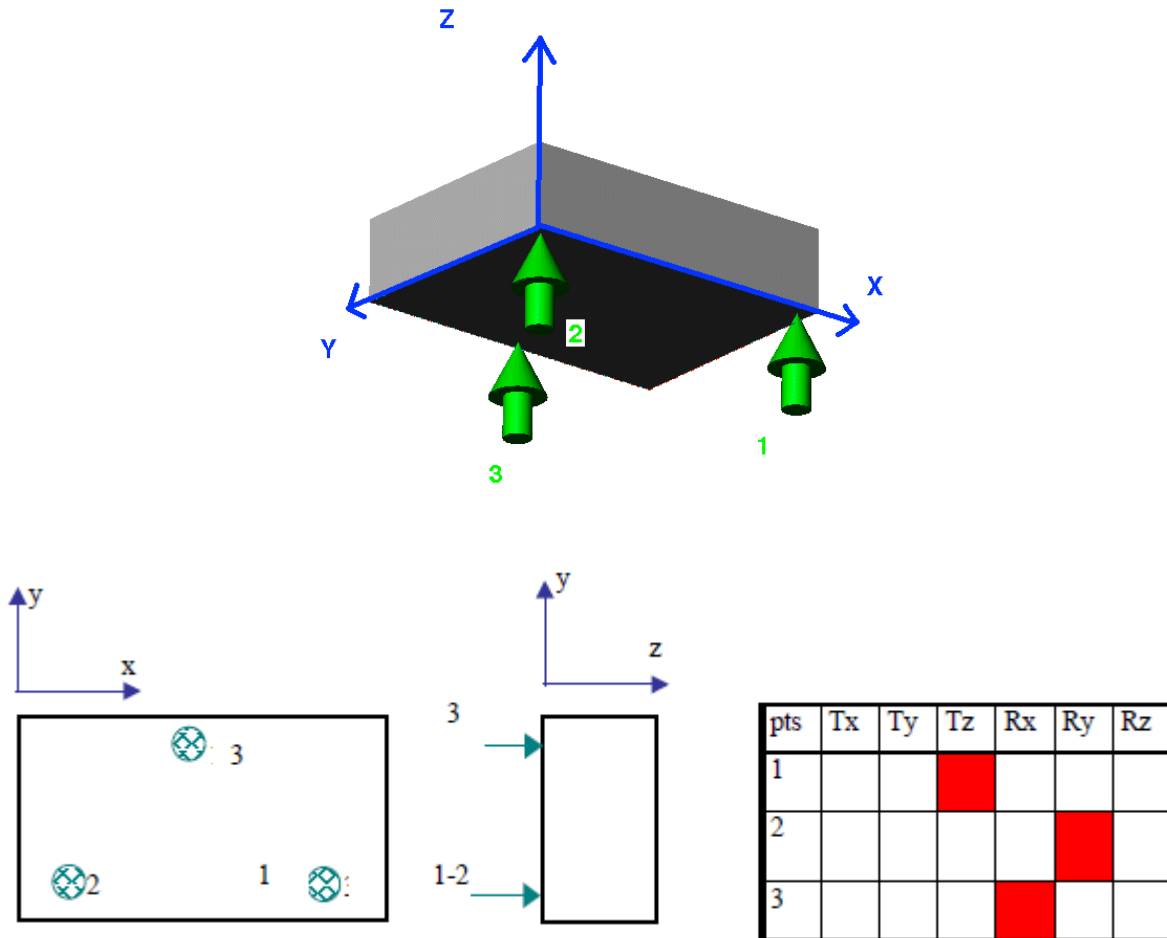
### II.3.3 Mise en place des normales de repérage

#### II.3.3.1 Sur un parallélépipède (prisme).

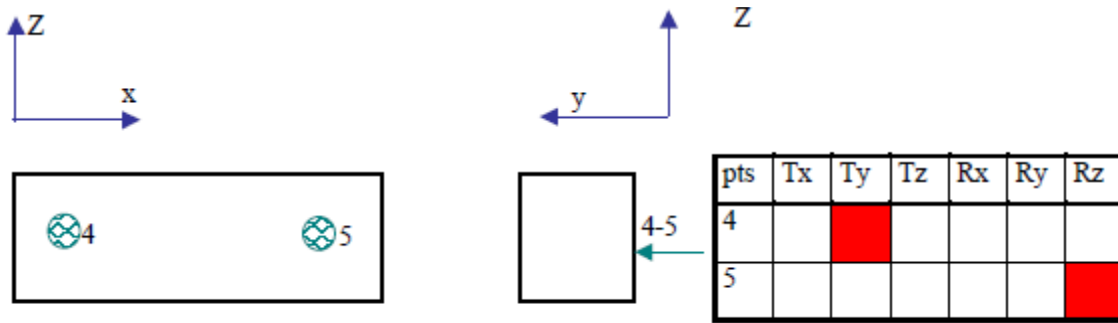
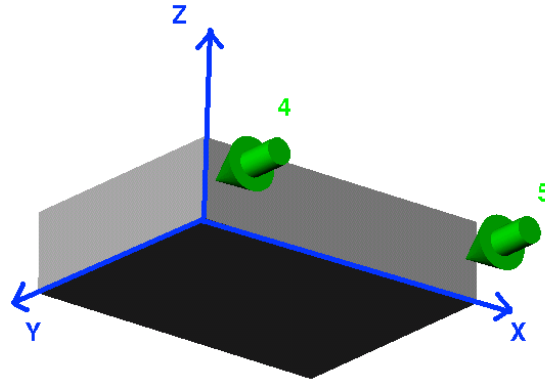
Il faut placer 6 normales de repérage créant ainsi un appui plan , un appui linéaire et un appui ponctuel.



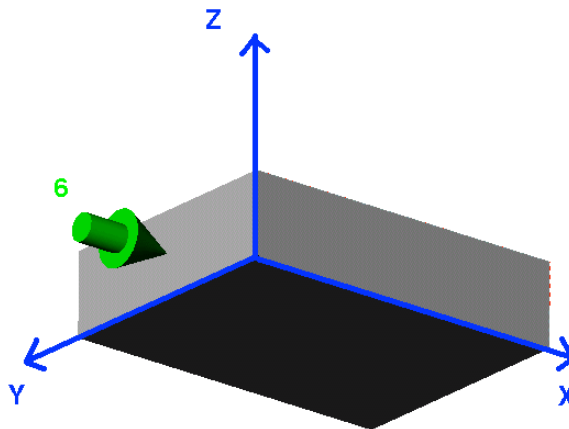
a) **appui plan (liaison appui plan)**: élimine 3 degrés de liberté, 1 translation et 2 rotations. Les 3 points ne sont pas alignés, ils forment un triangle et ils sont éloignés le plus possible les uns des autres.



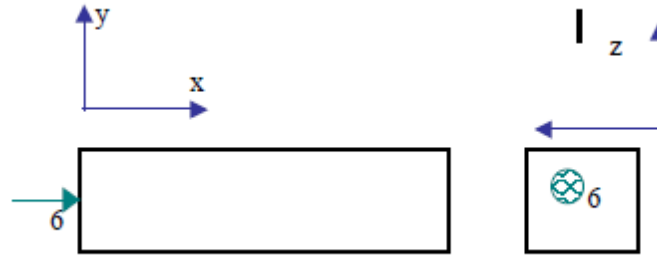
b) **appui linéaire (liaison linéaire rectiligne)**: élimine 2 degrés de liberté, 1 translation et 1 rotation.



c) Appui ponctuel (liaison ponctuelle) : élimine 1 degrés de liberté, 1 translation.



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



### II.3.3.2 Sur un cylindre

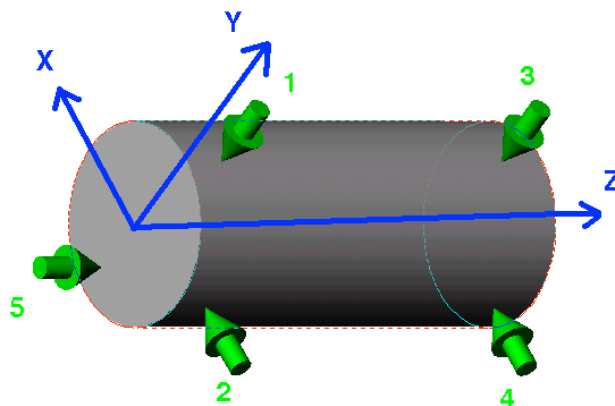
Il faut placer 5 normales de repérages créant ainsi :

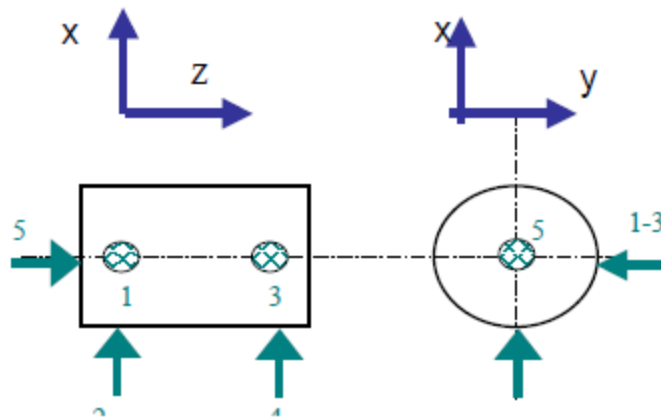
- Soit un centrage long et un appui ponctuel. (liaison pivot glissant + liaison ponctuelle)
- Soit un centrage court et un appui plan. (liaison linéaire annulaire + liaison appui plan)

**Remarque :**

1. on considère que la mise en position se fait sur un cylindre court si  $L < D$
2. en tournage il n'y a que 5 normales de repérage car la rotation suivant Z est obligatoire.

- a) **Centrage long et appui ponctuel (liaison pivot glissant + liaison ponctuelle):**  
élimine 2 rotations et 3 translations.

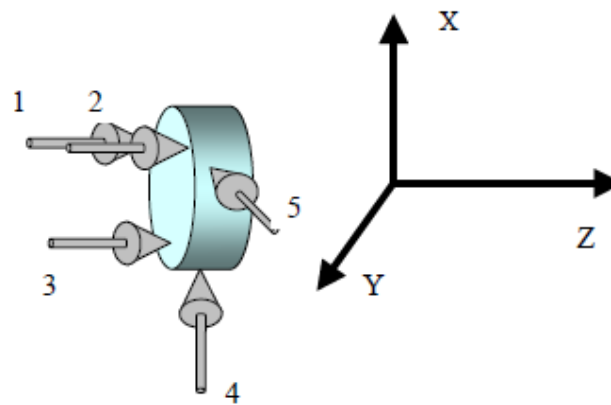




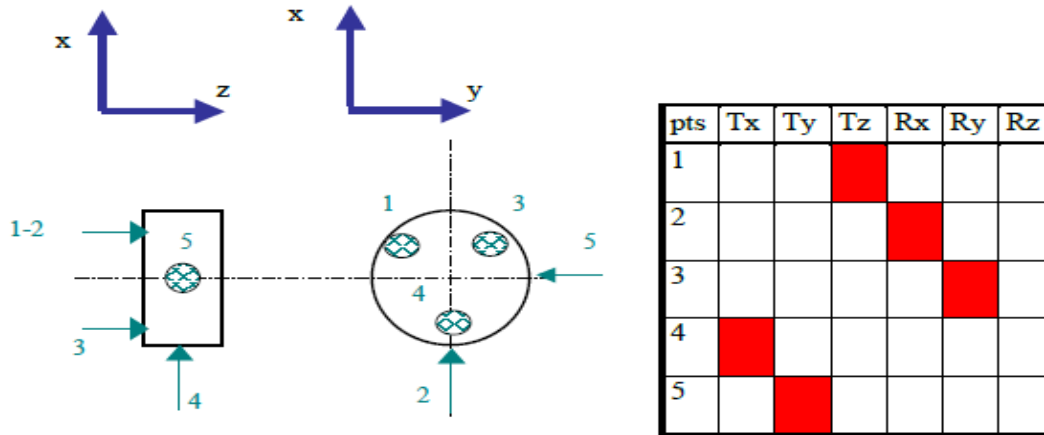
pts	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
1						
2						
3						
4						
5						

5/6

b) Centrage court et appui plan (liaison linéaire annulaire+ liaison appui plan) :  
 élimine 2 rotations et 3 translations.







## II.4. Choix des surfaces de mise en position

### II.4.1 Principe

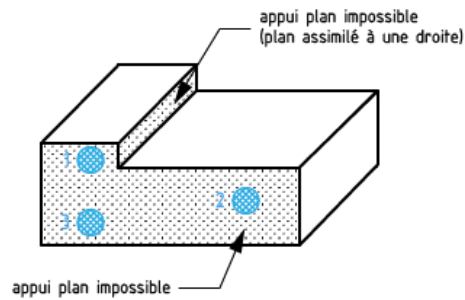
On dit qu'une pièce est immobile si le nombre des degrés de liaisons (normales) est égal au nombre de degrés de libertés supprimés, Chacune des normales contribue à éliminer un degré de liberté.

Chacune des normales contribue à éliminer un degré de liberté.

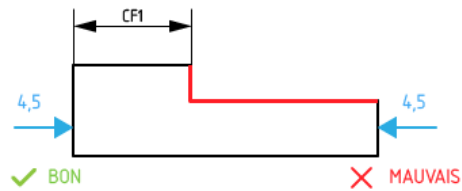
### II.4.2 Les règles de choix

Cette problématique sera traitée principalement en fonction de la cotation.

- La surface choisie doit être suffisamment importante pour recevoir le nombre de normales choisi.
- Une cote relie la surface usinée à la surface de mise en position.
- Le nombre de normales sur chaque surface est fonction de la précision de la cote. plus la cote est précise, plus le nombre de normales est important.



Choix de la liaison selon la taille de la surface

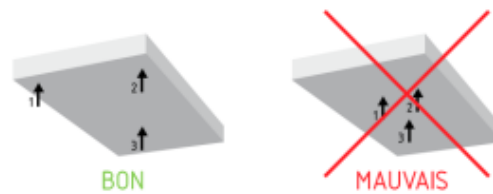


La cote fabriquée  $Cf1$  relie la surface usinée et celle de mise en position

### II.4.3 Les règles de disposition des normales

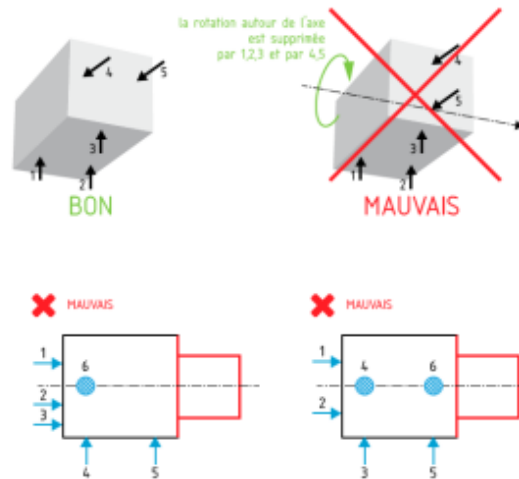
Les normales de repérages doivent être les plus espacées possibles afin d'assurer une meilleure stabilité de la pièce durant l'usinage.

**Exemple** : la mise en position doit assurer une bonne stabilité à la pièce



- L'emplacement d'une normale de repérage est déterminé afin que le degré de liberté qu'elle supprime ne soit pas déjà interdit par une autre normale.

**Exemple :** Supprimer une seule fois le même degré de liberté

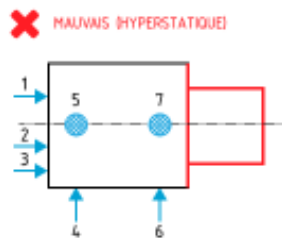


- Ne jamais placer plus de trois normales parallèles ; dans ce cas, les points de contact ne doivent pas être en ligne droite.

**Exemple :** Vérifier l'emplacement des 3 normales dans le même plan.

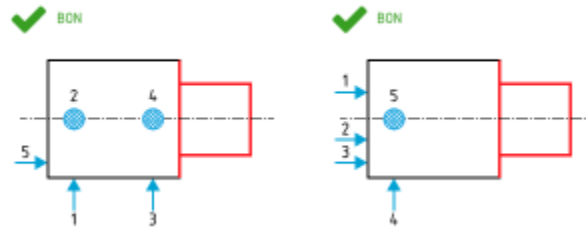


- Ne jamais placer plus de six normales pour obtenir une mise en position isostatique.



Mise en position hyperstatique

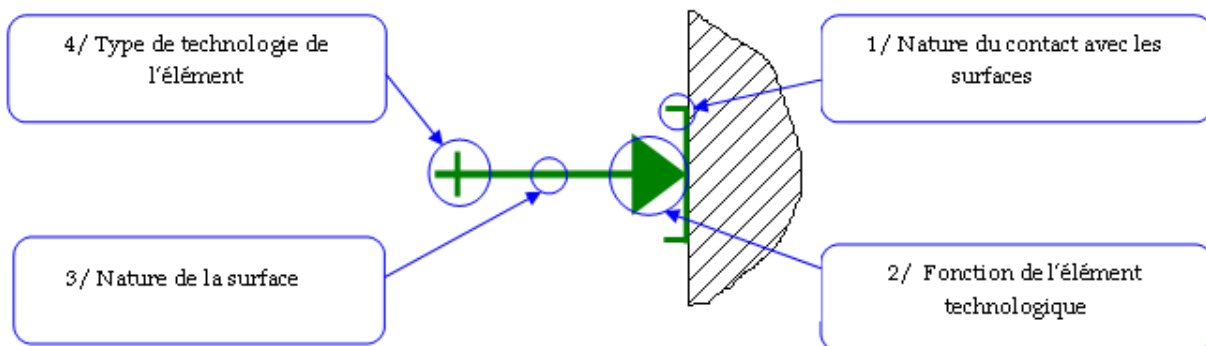
Seule exception autorisée : l'hypossatisme, pour l'usinage des pièces cylindriques montées en l'air.



## II.5 Symbolisation technologique

La symbolisation de l'isostatisme définit les solutions technologiques retenues pour assurer la mise en position mais aussi le maintien en position de la pièce.

On appelle cette symbolisation la symbolisation technologique.



Représentation technologique

**II.5.1. Type de technologie**

Appui fixe		Pièce d'appui, touche...		Touche de pré-localisation, détrompeur...
Centrage fixe		Centreur, broche...		Pré-centreur...
Système à serrage		Mise en position et serrage symétrique...		Bride vérin...
Système à serrage concentrique		Mandrin pinces expansibles...		Entraineur...
Système de réglage irréversible		Appui réglage de mise en position...		Appui réglable de soutien...
Système de réglage réversible		Vis d'appui réglable...		Antivibreur
Centrage réversible		Pied conique...		Pied conique, broche conique...




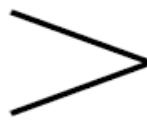



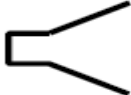
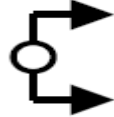
**- Nature de la surface repérée**

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

**- Fonction de l'élément technologique**

Mise en position		Maintien en position	
------------------	--	----------------------	--

### II.5.2 Nature de la surface de contact

Contact ponctuel	Contact surfacique	Contact strié	Pointe fixe	Pointe tournante
				
Contact dégagé	Cuvette	Vé	Palonnier	
				

### II.6 Exemples d'application

#### Exemple 1

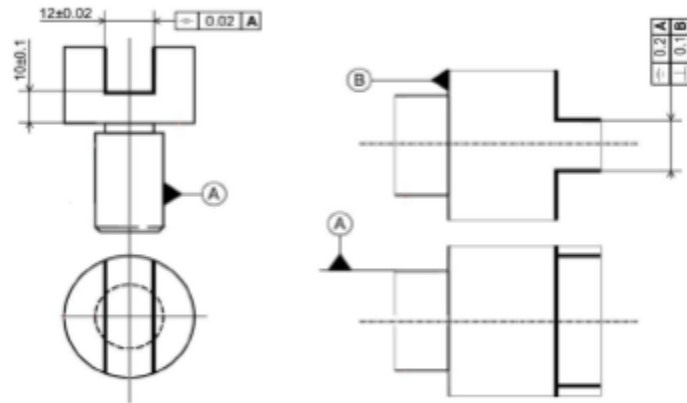
D'après les figures et les spécifications à respecter pour l'usinage considéré (surface en trait fort), procéder à la schématisation de la mise en position isostatique et compléter la nature des degrés de liberté (DL).

Nature DL						Symbolisation
$T_x$	$T_y$	$T_z$	$R_x$	$R_y$	$R_z$	

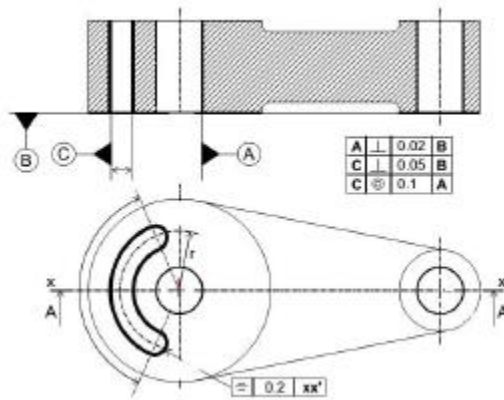
Nature DL						Symbolisation
$T_x$	$T_y$	$T_z$	$R_x$	$R_y$	$R_z$	



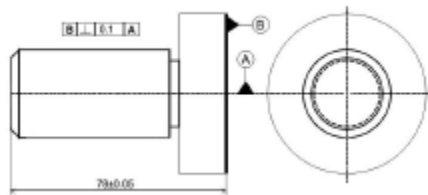
Exemple 2



Exemple 3



Exemple 4

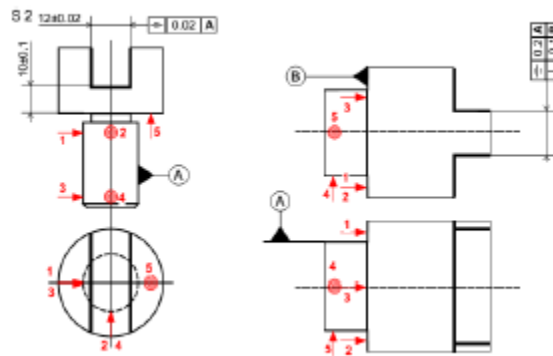


Solution  
Exemple 1

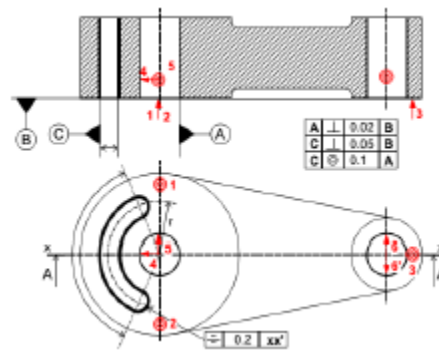
Nature DL						Symbolisation
$T_x$	$T_y$	$T_z$	$R_x$	$R_y$	$R_z$	
•				•	•	
•	•		•	•		
•			•	•	•	

Nature DL						Symbolisation
$T_x$	$T_y$	$T_z$	$R_x$	$R_y$	$R_z$	
		•	•	•		
•				•	•	
		•	•	•		

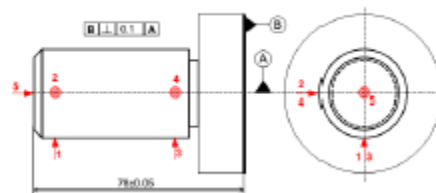
Exemple 2



Exemple 3



Exemple 4



### III.1. Définition

Les cotes de fabrication d'une pièce sont liées au processus d'usinage qui sera utilisé. Elles peuvent être différentes en fonction des paramètres suivants :

- ⇒ Isostatisme
- ⇒ Machines utilisées
- ⇒ Outils de coupe
- ⇒ Réglage machine

Donc les cotes fabriquées sont réalisées pendant un usinage sans démontage de la pièce. Elles relient :

- soit une surface de mise en position avec une surface usinée.
- soit deux surfaces usinées dans la même phase.

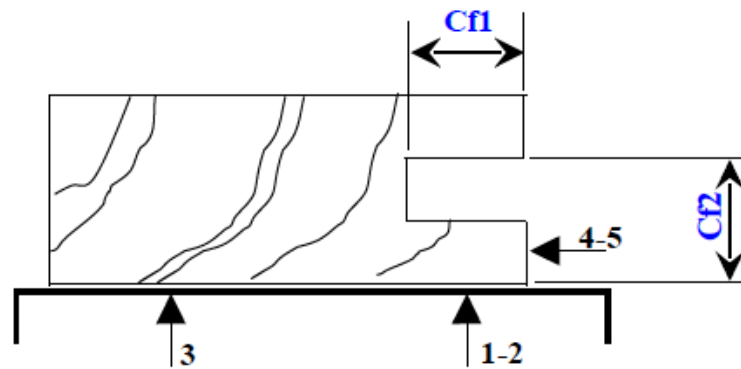
3 catégories de cotes de fabrication :

- Les cotes machines ( $C_m$ ).
- Les cotes outils ( $C_o$ ).
- Les cotes appareillage ( $C_a$ )

#### III.1.1 Cote machine " $C_m$ "

Cote mesurable entre une surface usinée et la surface de la référence de cet usinage. Cette cote fabriquée doit correspondre à une cote du dessin de fabrication (cote comprise entre une surface de référence et une surface usinée).

Exemple 1:

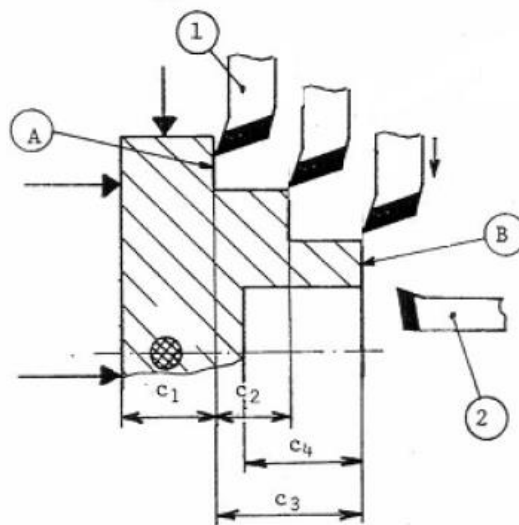


Profilage d'une rainure. (Toupie).

$Cf1$  = cote fabriquée 1 = cote machine 1

$Cf2$  = cote fabriquée 2 = cote machine 2

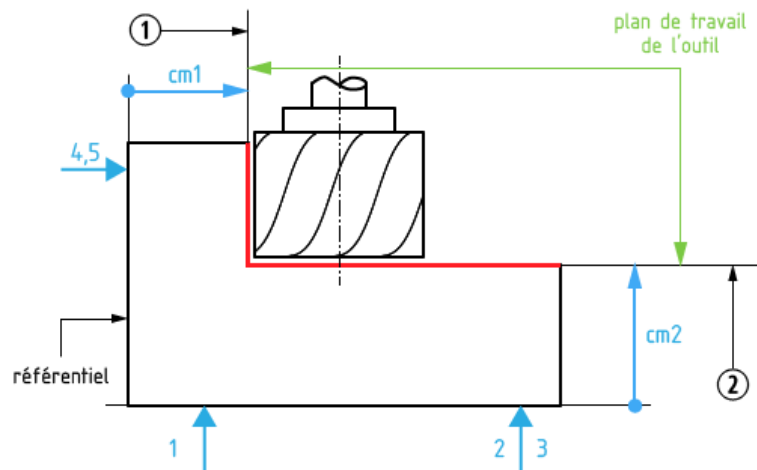
Exemple 2:



Pièce usinée en tournage

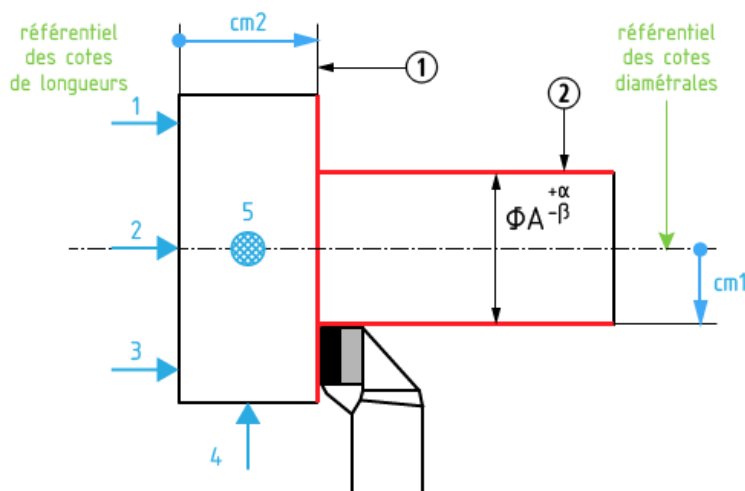
$C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  et  $C_4$  sont des cotes machines

Exemple 3



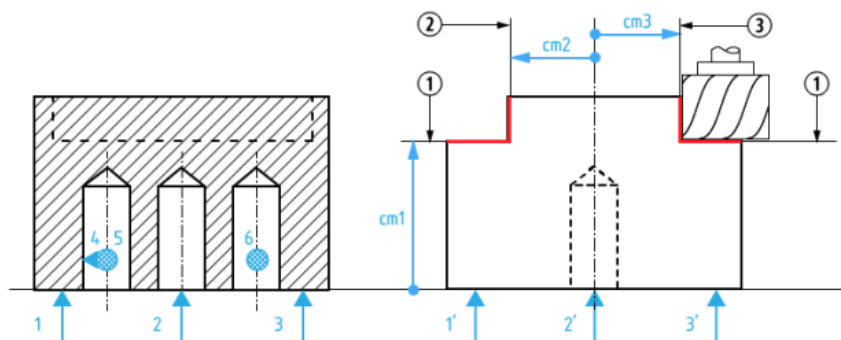
Exemples de cotes - machines en fraisage

Exemple 4



Exemples de cotes - machines en tournage

Exemple 5

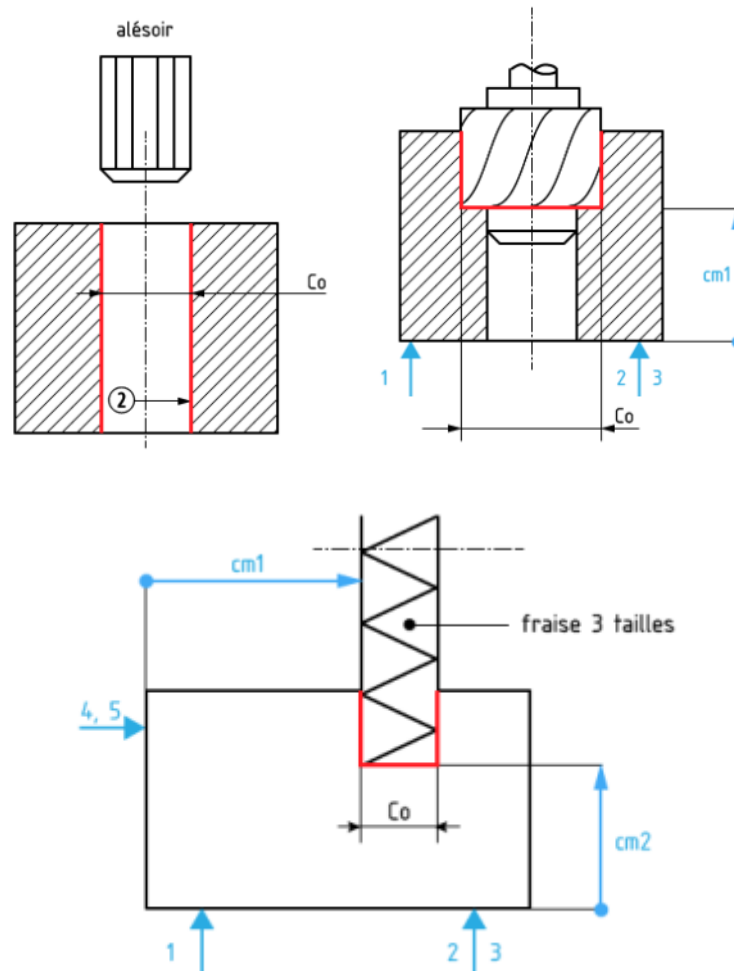


Exemples de cotes - machines

### III.1.2 Cote outil "Co"

La cote outil correspond à la distance entre deux surfaces générées par les arêtes tranchantes d'un outil ou deux outils associés.

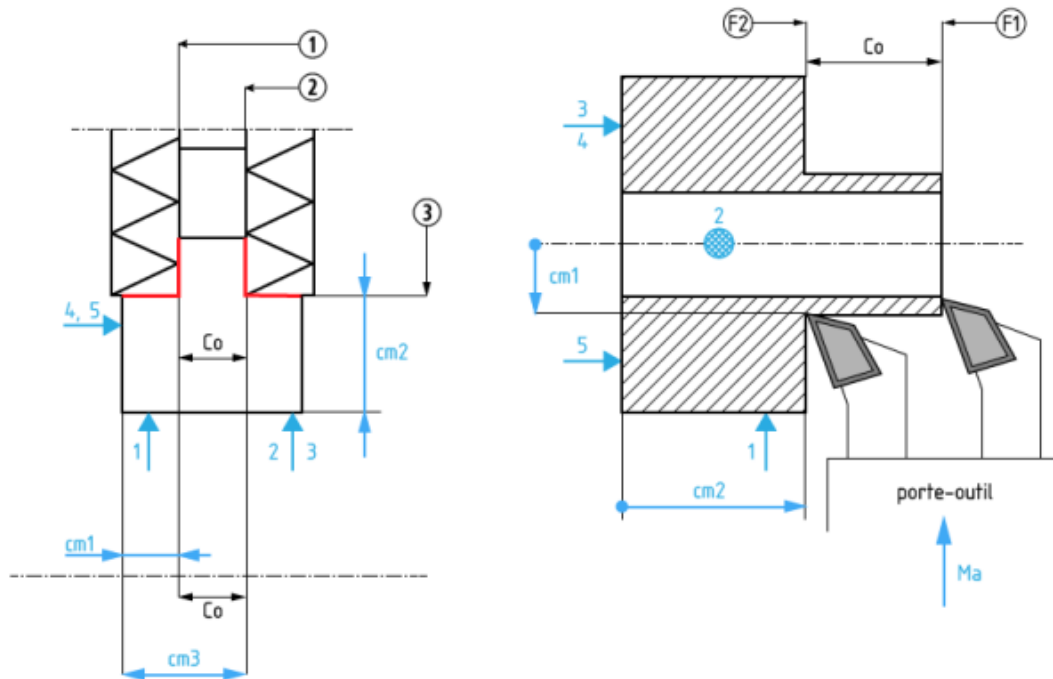
Exemple1 :



Cote obtenue par un seul outil



Exemple2 :

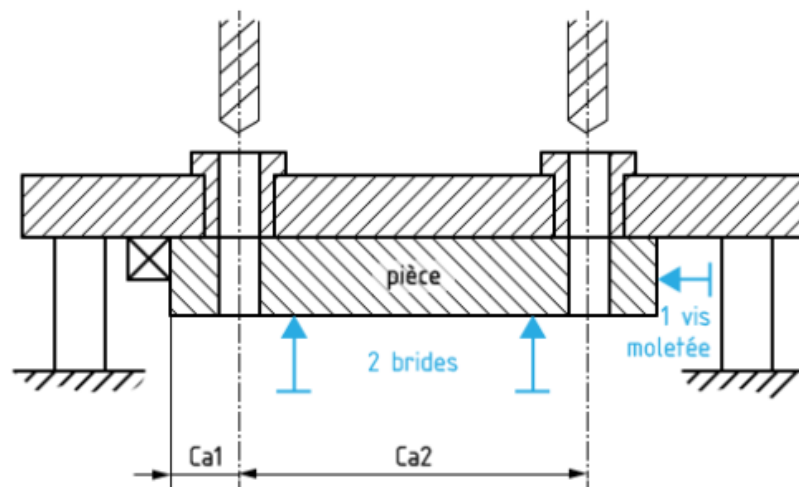


Cote obtenue par association de plusieurs outils

### III.1.3 Cote appareillage "Ca"

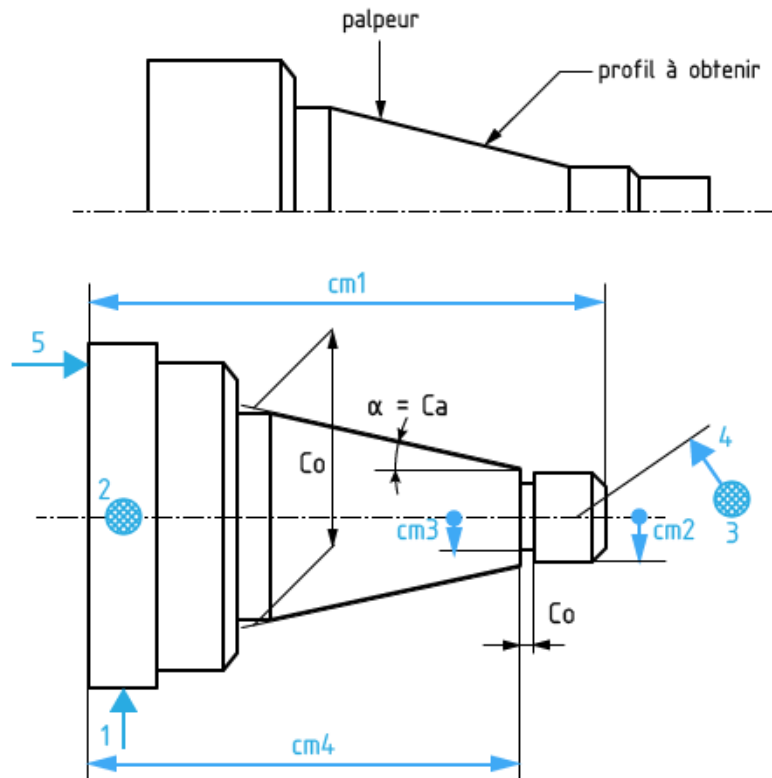
Cote de fabrication obtenue sur la pièce grâce à un appareillage auxiliaire de la machine tel que règle avec butée, dispositif de copiage ou de guidage, montage d'usinage, gabarit de perçage, etc.....

Exemple 1 :



Utilisation des canons de perçage pour obtenir des cotes appareillage

## Exemple 2 :



Exemples des cotes-appareillages.

## III-2 Transfert de cote et d'orientation.

La détermination des cotes et des tolérances géométriques d'usinage permet l'obtention d'une pièce conforme au dessin de définition et facilite la recherche du moindre coût d'usinage. Le bureau d'étude réalise la cotation du dessin de fabrication en fonction de la cotation fonctionnelle. Et cependant l'usinage on constate que certaines cotes de fabrication ne correspondent pas directement à une cote de dessin de définition : C'est une cote transférée.

**Il y'a transfert de cotes lorsque la cote de fabrication ne figure pas sur le dessin de définition**

### III.2.1 Principe de calcul de la cote transférée

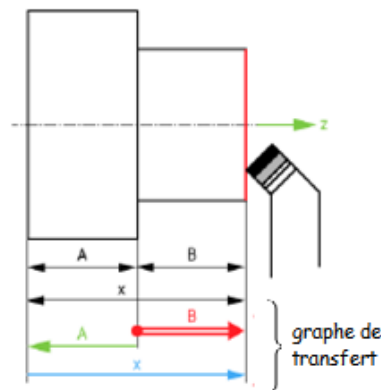
- la cote de définition (cote condition) est représentée comme un jeu.
- Une chaîne de cotes est établie, incluant la cote de fabrication à calculer.

#### Relation des IT (intervalle de tolérance).

- Si la relation est vérifiée, le transfert est possible
- Si la relation n'est pas vérifiée le transfert est **total** (impossible)

$$\text{IT cote condition} \geq \sum \text{des IT des cotes composantes}$$

Pour éviter les erreurs, il est souhaitable de tracer la chaîne de cotes (chaîne de transfert). La représentation graphique de la chaîne de transfert est appelée graphe de transfert.



Chaîne et graphe de transfert

### III.2.2 Règles à suivre pour tracer la chaîne de cotes

1. La cote condition (à transférer) est la cote qui ne peut être réalisée directement.

2. Le vecteur cote condition est tracé en double trait (  $\Longrightarrow$  ), les cotes composantes sont représentés par des flèches simple (  $\longrightarrow$  ou  $\longleftarrow$  )

Le sens positif (**maxi**) habituellement utilisé est de la gauche vers la droite ou de bas en haut et le sens négatif (**mini**) de la droite vers la gauche ou de haut en bas.

3. Il ne peut pas avoir plus d'une cote fabriquée  $C_f$  par chaîne de cotes.
4. La chaîne de cotes doit être la plus courte possible.
5. L'IT de la cote condition doit être supérieur ou égal à la somme des IT des cotes composantes.
6. Les cotes de même sens que le vecteur cote condition sont maxi ou mini en même temps
7. Les vecteurs des composantes sont tracés de manière à fermer la chaîne, leur sens étant choisi afin que la somme algébrique de ces composantes soit égale au vecteur cote condition. Pratiquement on part de l'extrémité de la cote condition et on arrive à son origine (**le vecteur condition assure la fermeture de la chaîne de cotes**).

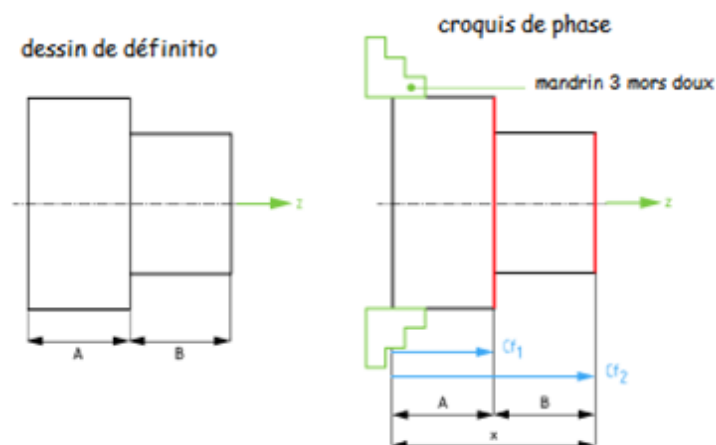
### III.3 Exemples de transfert de cotes

#### Exemple 1

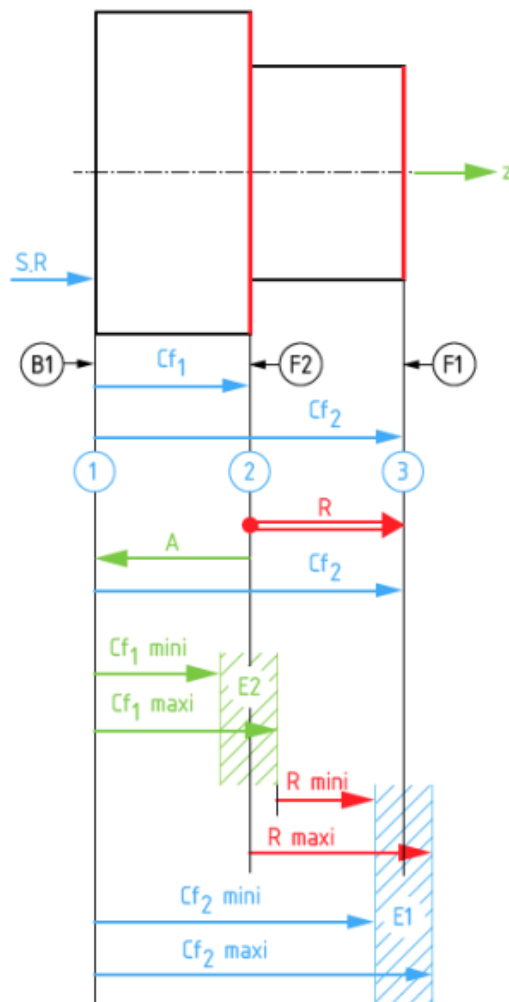
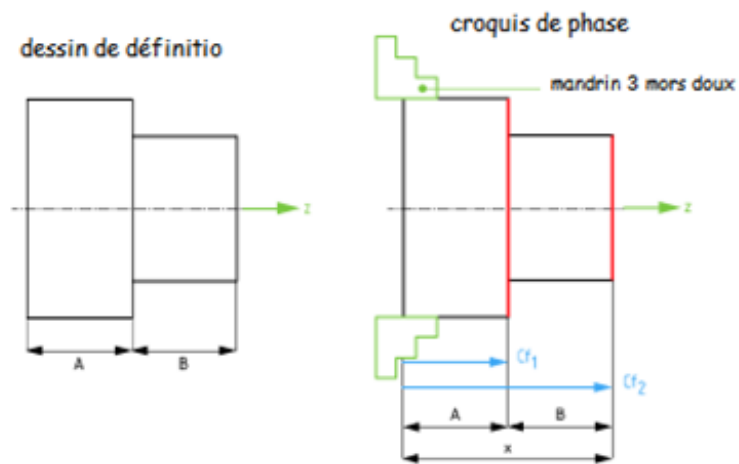
Tracer la chaîne de côtes et calculer la cote X avec le choix de la cote condition.

$$A = 15^{\pm 0,1}$$

$$B = 30^{\pm 0,2}$$



Calcul de  $C_{f1}$  en prenant la cote condition au minimum



Le calcul de la cote X avec le choix de la condition au minimum, se fait à l'aide du tableau suivant.

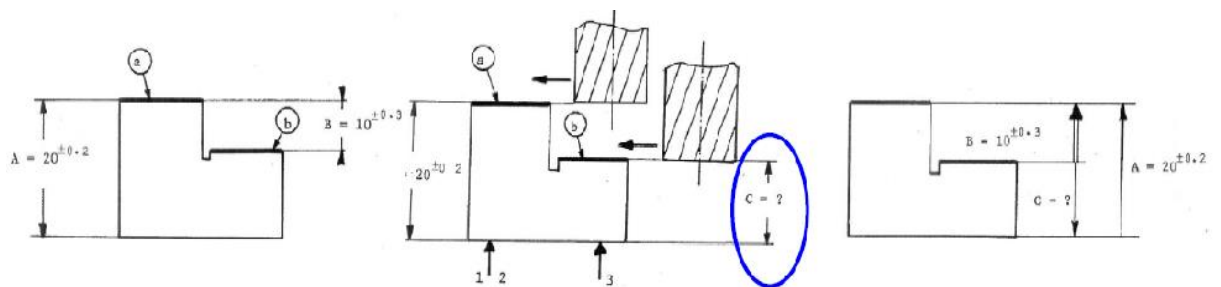
		Cond min ←		
Cotes	← min	→ max		tolérances
$B = 30^{±0,2}$	29,8			0,4
$A = 15^{±0,1}$		15,1		0,2
$\Sigma$ (la somme)	44,9			0,2

Calcul de Cf1 en prenant la condition au maximum

		Cond max ⇒		
Cotes	← min	→ max		tolérances
$B = 30^{±0,2}$		30,2		0,4
$A = 15^{±0,1}$	14,9			0,2
$\Sigma$ (la somme)		45,1		0,2

La cote finale  $X = 45^{±0,1}$

### Exemple 2 :



$$ITB = ITA + ITC$$

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

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

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

$$C_{min} = A_{Max} - B_{Max} = 20,2 - 10,3 = 9,9$$

$$C_{Max} = 9,9 + ITC = 10,1$$

$$C = 10^{±0,1}$$

### III.3.1 Calcul du transfert total

Les transferts établis précédemment sont souvent appelés « transferts partiels » lorsque l'IT de la cote nouvelle est acceptable sans qu'il ait été nécessaire de modifier les cotes d'origine. Dans certains cas, le calcul de la nouvelle cote est inacceptable :

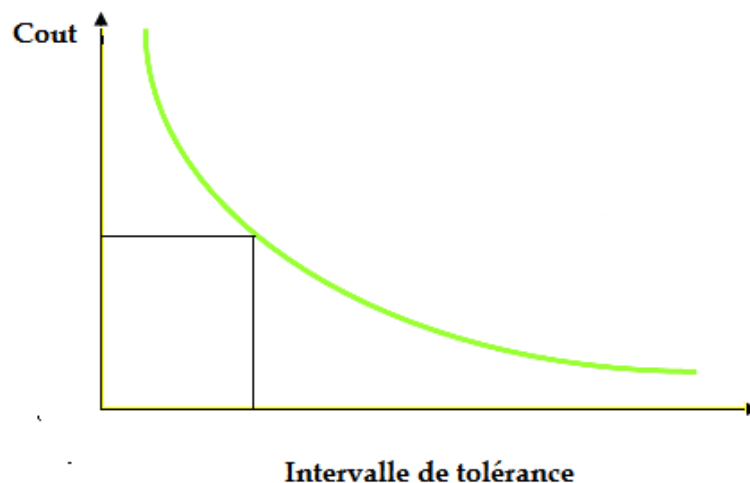
- quand l'IT obtenu est négatif
- lorsque l'IT obtenu est positif mais de valeur trop faible pour pouvoir être respectée en fabrication.

On peut alors envisager un transfert total. Le calcul lui-même est identique à celui d'un transfert partiel mais il faut modifier les IT d'une ou plusieurs cotes d'origine, afin d'obtenir pour la nouvelle cote un IT acceptable.

$$\text{IT cote condition} < \sum \text{ des IT des cotes composantes}$$

Le préparateur n'a pas le droit d'augmenter la valeur de l'IT d'une cote fonctionnelle, mais il peut le réduire.

En effet, plus l'intervalle de tolérance diminue plus le coût de fabrication augmente (opérateur plus qualifié, machine plus performante, ...).



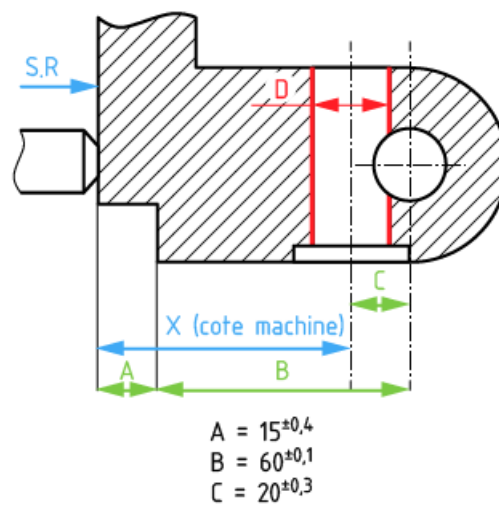
Tolérance économique

**Exemple 1 :**

Soit D le cylindre à usiner

- X est la cote machine à calculer
- les cotes fonctionnelles du contrat sont  $A = 15^{\pm 0,4}$  ;  $B = 60^{\pm 0,1}$  et  $C = 20^{\pm 0,3}$
- C est la cote condition (elle sera supprimée et remplacée par X pour remplacer D).

$12^{\pm 0,8}$



Vérifier d'abord si le transfert est acceptable :

$$IT X = IT C - IT A - IT B$$

$$IT X = 0,6 - 0,8 - 0,2 = - 0,4$$

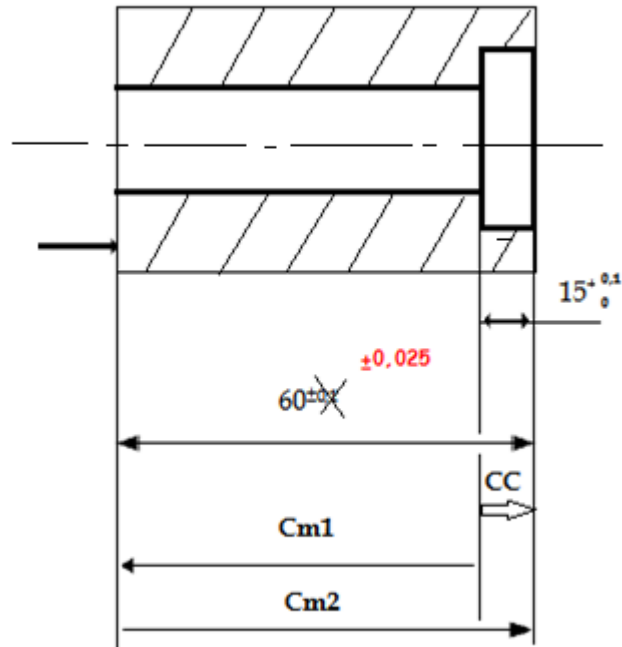
Conclusion : ITX étant négatif, le transfert n'est pas acceptable (**transfert total**).

Comme  $IT A > IT B$  on va essayer d'abord de réduire ITA à une valeur encore réalisable normalement en fabrication, soit 0,2 par exemple. L'équation ci-dessus devient :

$$IT X = 0,6 - 0,2 - 0,2 = 0,2$$



## Exemple 2:



$$IT\ CC = IT\ Cm1 + IT\ Cm2$$

$$IT\ Cm1 = 0,1 - 0,2 = -0,1$$

Transfert total

Il faut répartir l'IT de la cote condition CC sur chaque cote composante

$$IT\ Cm2 = ITCC/2 = 0,05$$

Donc  $Cm2$  devient  $60^{\pm 0,025}$  et elle doit être modifiée au niveau du bureau d'étude (BE)

$$Cm1 = Cm2 - CC = 60 - 15 = 45$$

$$Cm1 = 45^{\begin{smallmatrix} -0,025 \\ -0,075 \end{smallmatrix}}$$

### III.3.2 Etablissement d'une chaîne de cotes

#### III.3.2.1 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. L'utilisation de cette méthode de cotation conduit à une réduction du coût de fabrication.

#### III.3.2. 2 Méthode

Pour déterminer les cotes fonctionnelles d'un mécanisme, il faut, à partir du dessin d'ensemble, suivre la méthode énoncée ci-dessous.

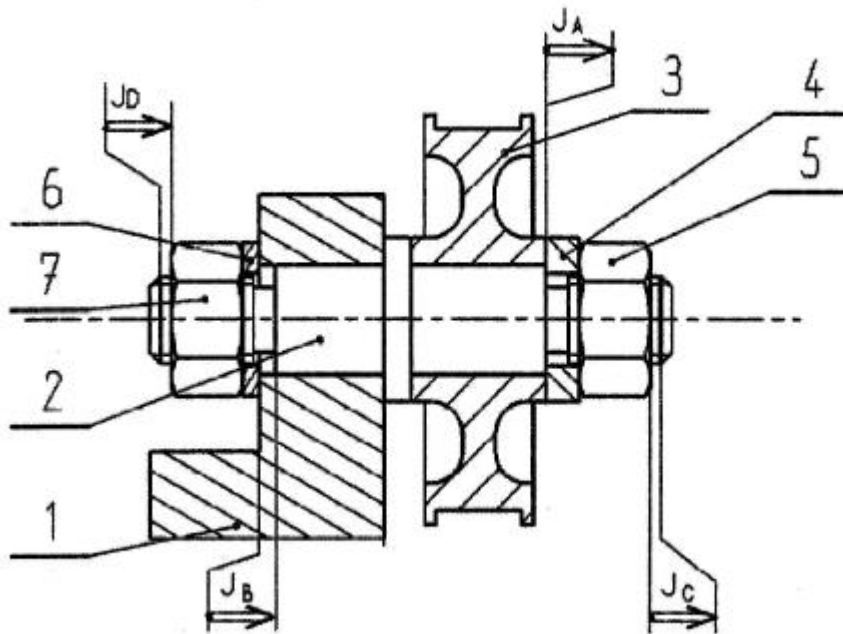
#### III.3.2.3 Détermination des conditions fonctionnelles

Après détermination, les conditions fonctionnelles sont mises en évidence sur le dessin d'ensemble par des vecteurs conditions orientés, représentés par des flèches à double trait, conventionnellement positivement de la gauche vers la droite, ou, du bas vers le haut.

Ces vecteurs condition, seront notés JA, JB, JC, ...

Les conditions fonctionnelles traitées en exemple sont :

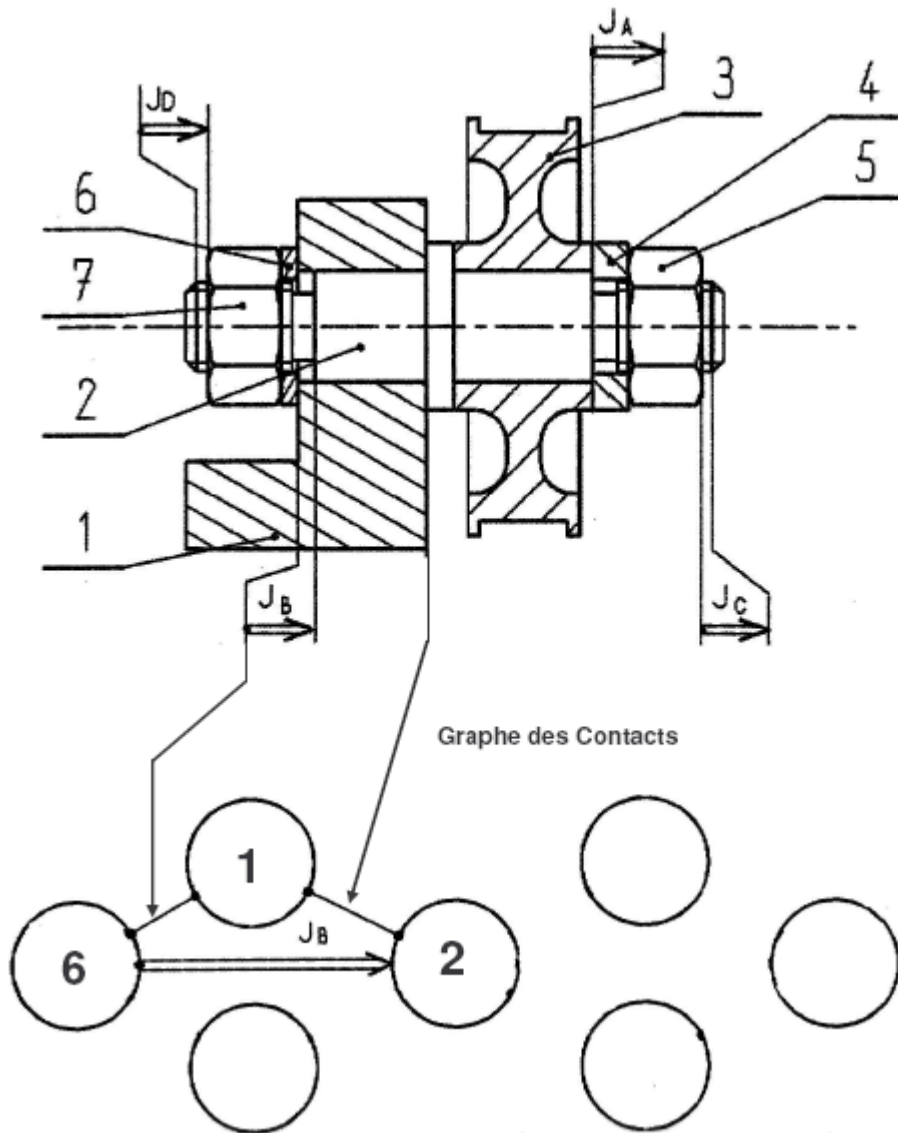
- JA pour le jeu axial de la liaison entre la poulie 3 et la rondelle 4,
- JB pour le jeu axial de la liaison entre l'arbre 2 et la pièce 1,
- JC pour le jeu axial de la liaison entre l'arbre 2 et l'écrou 5,
- JD pour jeu axial de la liaison entre l'arbre 2 et l'écrou 7.



#### III.3.2.4 Établissement d'un graphe des contacts (graphe des liaisons)

Ce graphe fait apparaître les surfaces de contact qui assurent le positionnement relatif des éléments du mécanisme dans la direction de la condition fonctionnelle, ainsi que les conditions de fonctionnement.

Dans ce graphe, les éléments du mécanisme sont représentés par des bulles, les surfaces de contact par des lignes, et les conditions fonctionnelles par des flèches à double trait.

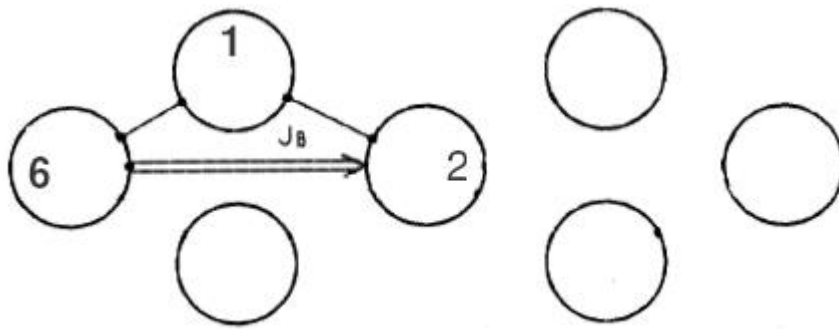


### III.3.2.5 Règles à suivre

Partir de l'origine du vecteur condition et rejoindre son extrémité sans passer plus d'une fois par le même contact pour une même condition, et sans passer par un autre vecteur condition.

Les vecteurs qui, à l'intérieur d'une bulle, permettent de passer d'une surface de contact à une autre sont appelés : vecteurs maillons. Ils peuvent être notés sous la forme : Lettre de la condition (indice) n° de pièce, comme par exemple B2.

Par conséquent on obtient  $IT_{JB} = JB_{max} - JB_{min}$ .



Tracer sur le dessin d'ensemble les vecteurs déduits du graphe des contacts

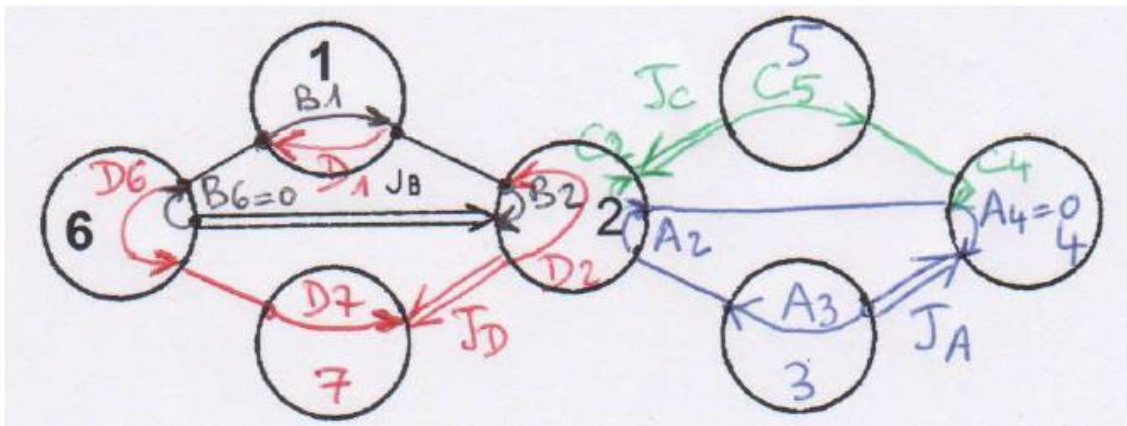
Le tracé obtenu constitue la chaîne de cotes relative à la condition traitée.

$$J_B \text{ max} = B1 \text{ max} - B2 \text{ min}$$

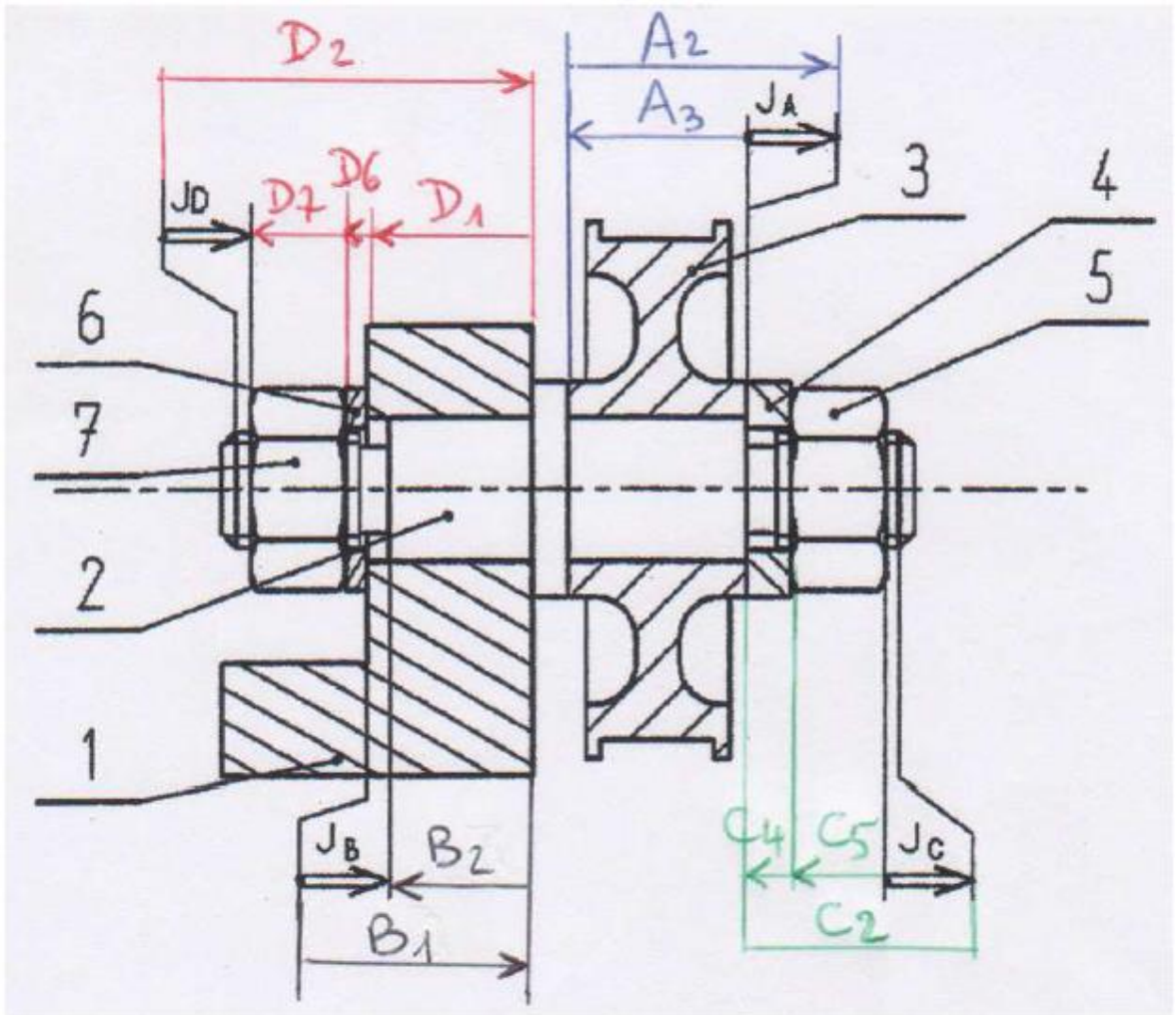
$$J_B \text{ min} = B1 \text{ min} - B2 \text{ max}$$

### III.3.3. Application numérique

#### III.3.3.1 Graphe des contacts



## III.3.3.2 Tracé des chaînes de cotes

**Condition JB**

On choisit  $J_B = 0,75 \pm 0,25$

$IT B_1 = IT B_2$

$IT J_B = IT B_1 + IT B_2 = 0,5 = 2 IT B_1$

$IT B_1 = IT B_2 = 0,25$

Donnée:  $B_1 = 15$

$J_B = + B_1 - B_2$  car  $B_1 > 0$  puisque dirigé de la gauche vers la droite

$B_2 < 0$  puisque dirigé de la droite vers la gauche

$B_2 = B_1 - J_B = 15 - 0,75 = 14,25$

$B_1 = 15 \pm 0,125$

$B_2 = 14,25 \pm 0,125$

**Vérification :**

$J_B \text{ max} = 1 = + B_1 \text{ max} - B_2 \text{ min} = 15,125 - 14,125$

$J_B \text{ min} = 0,5 = + B_1 \text{ min} - B_2 \text{ max} = 14,875 - 14,375$

**Condition JA**

On choisit  $JA = 0,2 \pm 0,1$

$$IT A2 = IT A3$$

$$JA = + A2 - A3$$

Donnée :  $A3 = 16$

$$A2 = A3 + JA = 16 + 0,2 = 16,2$$

$$IT JA = IT A2 + IT A3 = 0,2 \quad IT A2 = IT A3 = 0,1$$

$$A2 = 16,2 \pm 0,05$$

$$A3 = 16 \pm 0,05$$

**Condition JC**

Données : Pour les pièces 5 et 7 Erou M10 - Tolérance fabricant js11

$$C5 = D7 = 8,4 \text{ js11} = 8,4 \pm 0,045$$

On choisit  $JC = 1,5 \pm 0,5$  et  $C4 = 3$

$$JC = + C2 - C5 - C4$$

$$C2 = JC + C5 + C4 = 1,5 + 8,4 + 3 = 12,9$$

$$IT JC = IT C2 + IT C5 + IT C4$$

$$IT C2 + IT C4 = IT JC - IT C5 = 1 - 0,09 = 0,91$$

On choisit :  $IT C2 = 0,6$  à cause de la difficulté de mesure

$$IT C4 = 0,31$$

$$C2 = 12,9 \pm 0,3$$

$$C4 = 3 \pm 0,155$$

**Vérification :**

$$JC \text{ max} = 2 = + C2 \text{ max} - C5 \text{ min} - C4 \text{ min} = 12,9 + 0,3 - (8,4 - 0,045) - (3 - 0,155) = 2$$

$$JC \text{ min} = 1 = + C2 \text{ min} - C5 \text{ max} - C4 \text{ max} = 12,6 - 8,445 - 3,155 = 1$$

**Condition JD**

Données :  $D1 = B1 = 15 \pm 0,125$   $IT D1 = 0,25$

$$D7 = 8,4 \text{ js11} = 8,4 \pm 0,045$$

$$D6 = 2 \text{ js11} = 2 \pm 0,03$$

$$JD = + D2 - D1 - D6 - D7$$

$$IT JD = IT D2 + IT D1 + IT D6 + IT D7 = IT D2 + 0,25 + 0,06 + 0,09$$

On choisit comme avant  $IT D2 = 0,6$   $IT JD = 0,6 + 0,25 + 0,06 + 0,09 = 1$

On choisit  $JD = 1,5 \pm 0,5$   $D2 = JD + D1 + D6 + D7 = 1,5 + 15 + 2 + 8,4 = 26,9$

$$D2 = 26,9 \pm 0,3$$

**Vérification :**

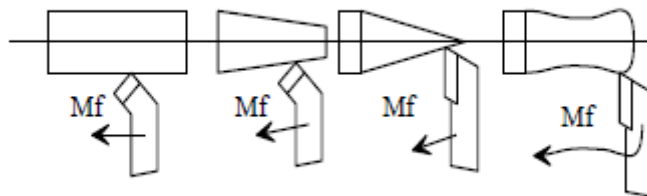
$$JD \text{ max} = 2 = + D2 \text{ max} - D1 \text{ min} - D6 \text{ min} - D7 \text{ min} = 27,2 - 14,875 - 1,97 - 8,355 = 2$$

$$JD \text{ min} = 1 = + D2 \text{ min} - D1 \text{ max} - D6 \text{ max} - D7 \text{ max} = 26,6 - 15,125 - 2,03 - 8,445 = 1$$

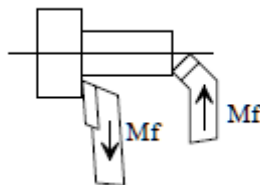
## IV.1. Les opérations élémentaires d'usinage : tournage, fraisage, perçage, alésage, taillage d'engrenage et rectification.

### IV.1.1 Les opérations élémentaires en tournage

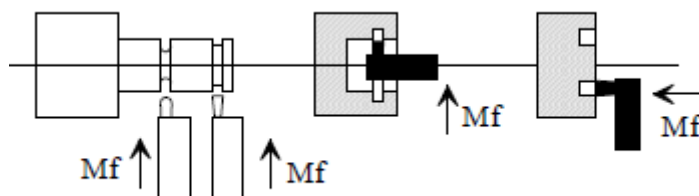
- a) **Le chariotage** : C'est une opération d'usinage qui consiste à réaliser toutes les surfaces de révolution par travail d'enveloppe. (C'est la trajectoire de l'outil qui donne la forme de la surface)



- b) **Le dressage** : C'est une opération qui consiste à réaliser une surface plane par un déplacement de l'outil de façon rectiligne et perpendiculairement à l'axe de révolution de la pièce.

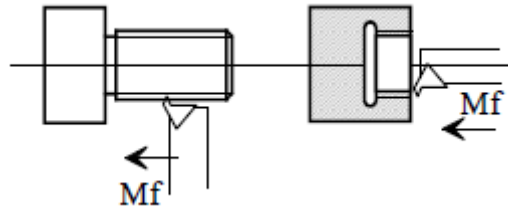


- c) **Réalisation d'une gorge**



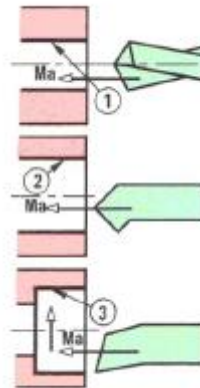
- d) **Réalisation d'un filetage** : En général, on utilise des outils de forme, c'est-à-dire des outils qui ont la forme d'un filet.





### e) Perçage et alésage

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

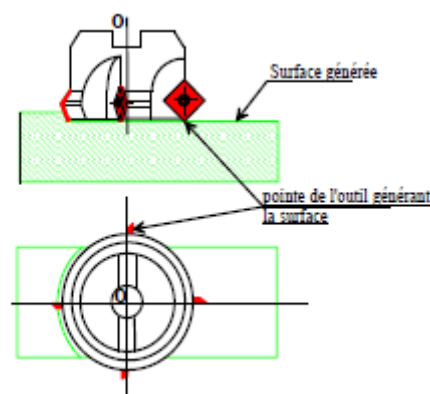


### IV.1.2 Les opérations élémentaires en fraisage

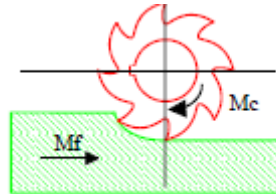
Le fraisage permet d'obtenir des surfaces planes, cylindriques, coniques hélicoïdales ou spéciales. L'usinage s'obtient par combinaison de deux mouvements:

- mouvement *de coupe* (donné à l'outil).
- mouvement *d'avance* (donné à la pièce).

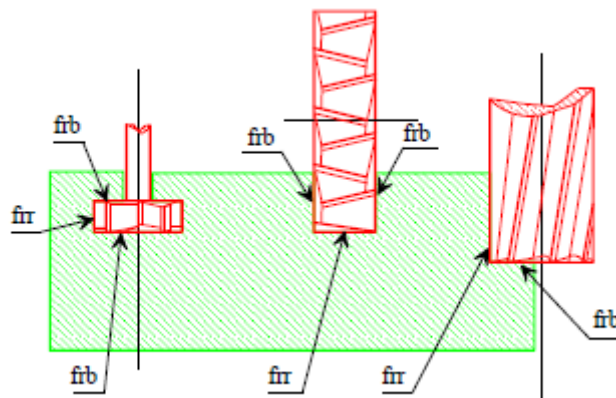
a) **Fraisage de face ou en bout** : Le fraisage de face ou en bout est un mode de fraisage où l'axe de la fraise est perpendiculaire au plan fraisé. C'est un travail d'enveloppe.

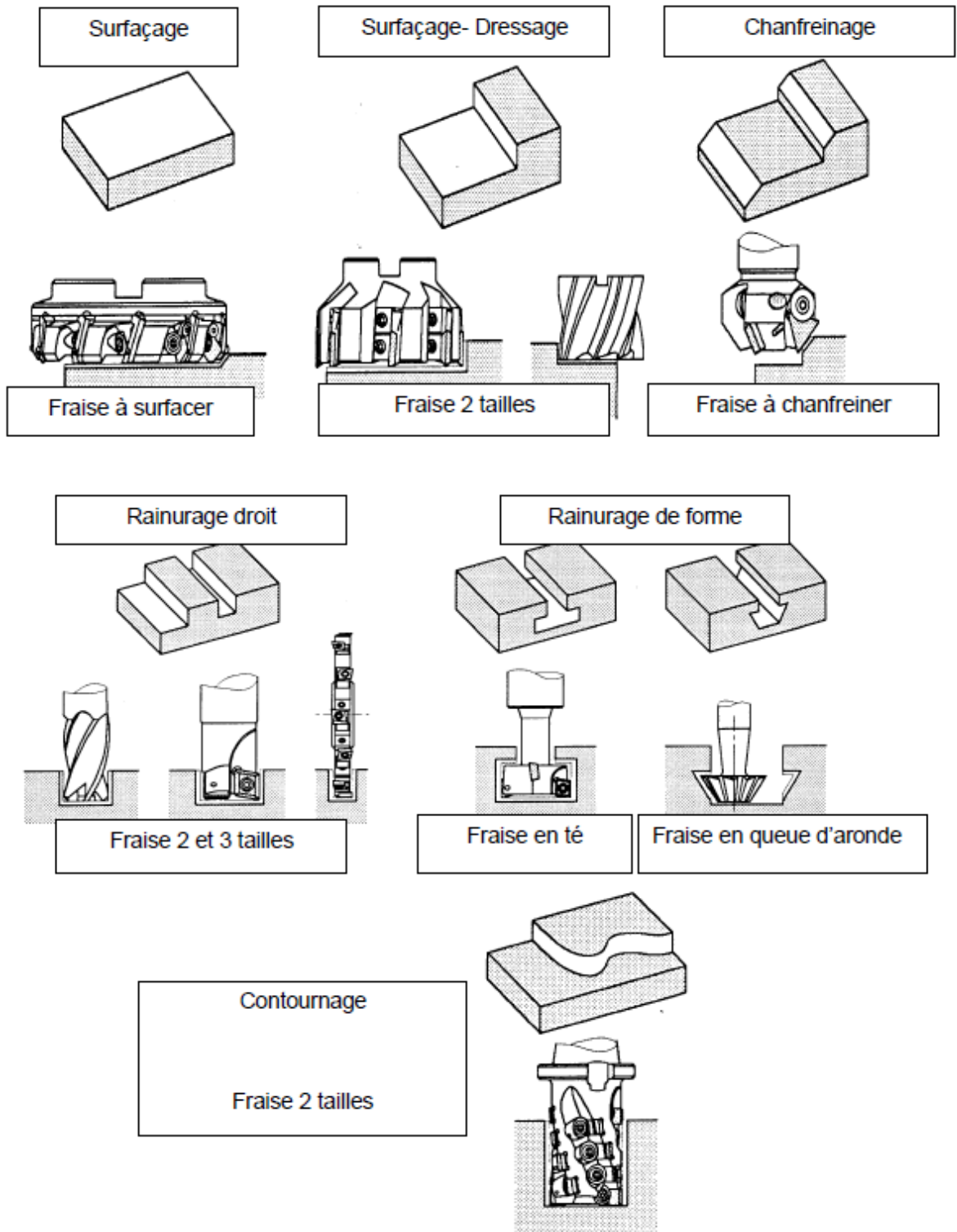


b) **Fraisage de profil où en roulant** : La génératrice de la fraise est parallèle à la surface usinée. Ce mode de fraisage est aussi appelé fraisage en roulant. C'est un travail de forme.



c) **Le fraisage en combiné**: Les deux modes de fraisage peuvent se trouver en application au cours d'une même opération. C'est le cas des fraises deux tailles, trois tailles, travaillant simultanément de face et de profil.



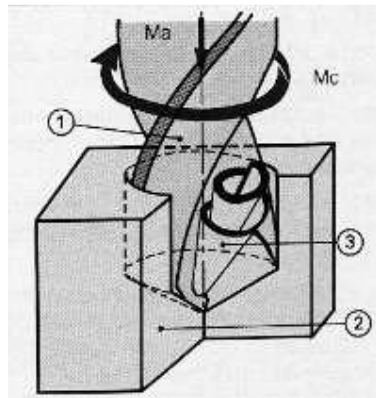


### IV.1.3 Les opérations élémentaires en perçage

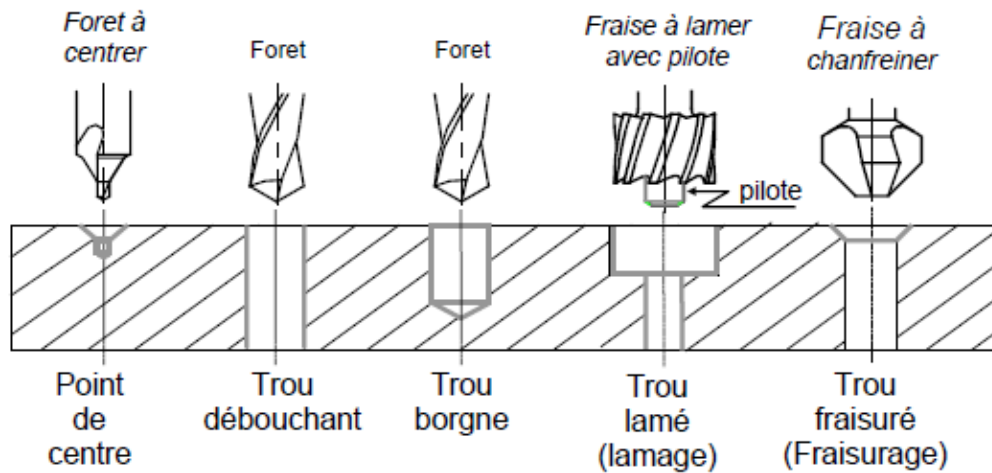
La génération d'un trou ou surface cylindrique intérieure nécessite deux mouvements conjugués :

- Une rotation rapide autour de l'axe de l'outil appelé mouvement de coupe  $M_c$

- Une translation lente parallèle à l'axe de l'outil appelé mouvement d'avance  $M_a$



1. Foret hélicoïdal
2. Pièce
3. Copeau

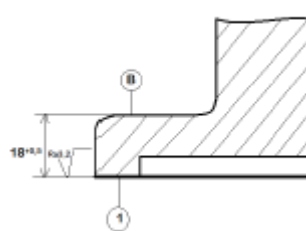


## IV.2 Les antériorités dues aux contraintes d'usinage : dimensionnelles, géométriques et technologiques

### IV.2.1 Contraintes dimensionnelles

#### a) Surface brute à surface usinée

La surface brute (B) doit précéder La surface (1).

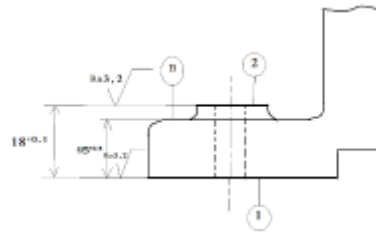


(B) → (1)

**b) Surface usinée à surface usinée**

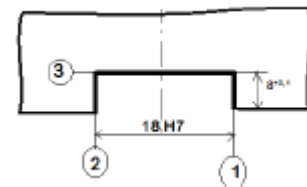
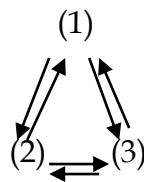
La surface brute (B) doit précéder la surface (1) : **(B) → (1)**

La surface brute (1) doit précéder la surface usinée (2) : **(1) → (2)**



**d) Surface usinées associées**

Les surfaces (1) (2) (3) sont réalisées simultanément à l'aide d'une fraise 3 tailles

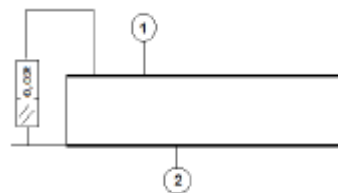
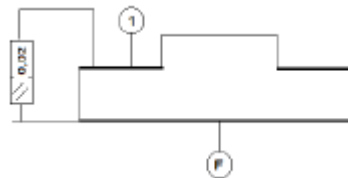


**IV.2.2 Contraintes géométriques**

**a) Parallélisme**

La surface usinée (F) doit précéder la surface usinée (1)

**(F) → (1)**



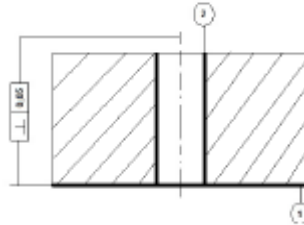
Aucune contrainte n'est imposée, le choix de la première surface à usiner importe peu.

**(1) ↔ (2)**

**b) Perpendicularité**

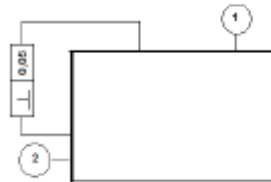
La surface usinée (1) doit précéder la surface usinée (2) pour la contrainte d'antériorité

(1) : (1) → (2)



Aucune contrainte n'est imposée, le choix de la première surface à usiner importe peu

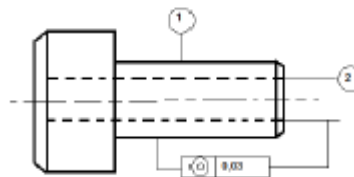
(1) ↔ (2)



**c) Coaxialité**

La surface usinée (1) doit précéder le trou percé (2)

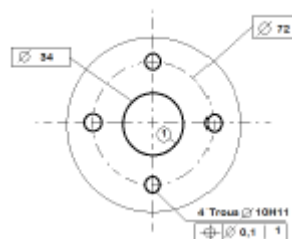
(1) → (2)



**d) Position**

Les 4 trous ont pour contrainte d'antériorité (1) l'usinage de ces trous fait sur perceuse multibroches

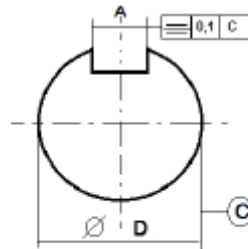
(1) → (4 trous)



### e) Symétrie

La rainure (A) a pour contrainte d'antériorité la réalisation du cylindre (C)

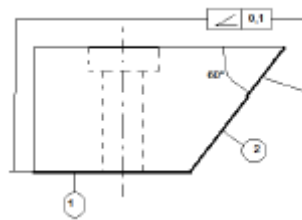
(C) → (A)



### f) Inclinaison

La surface oblique (2) a pour contrainte d'antériorité la surface usinée

(1) → (2)



## IV.2.3 Contraintes technologiques

Elles sont imposées par les moyens de fabrication

### a) D'opération

- **Ebauche (E)** : Permet d'enlever la plus grande partie de la surépaisseur d'usinage en une ou plusieurs passes.

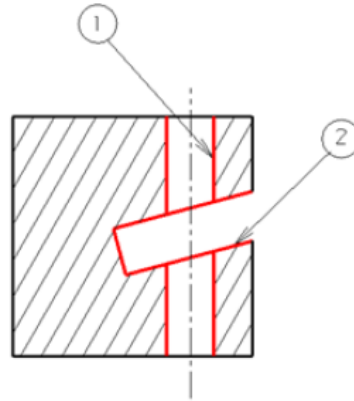
- **Demi- finition (F/2)** : On corrige les défauts d'ébauche et on réalise une partie des spécifications (précision géométrique de position)

- **Finition (F)** : On termine toutes les spécifications imposées par le dessin de définition du produit

- **Superfinition (SF)** : Se fait par arrachement des particules à l'aide des meules poudres, etc.....

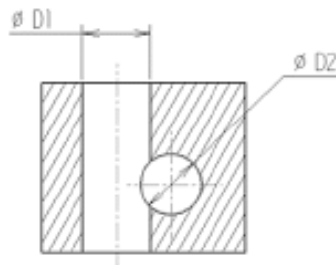
**Exemple 1 :**

Étude de l'usinage d'une pièce comportant un alésage (1) et une rainure(2)



Compte tenu des contraintes technologiques, Il y a risque de déviation du foret si l'usinage de la rainure (2) est fait avant le perçage de la surface (1).

Donc l'ordre d'usinage est le suivant : (1) → (2)

**Exemple 2 :**

Dans le cas d'alésages sécants, le problème vient du fait que la forêt ou l'alésoir va travailler aux chocs à l'intersection des 2 alésages. Il y a donc un risque de coincement de l'outil pour le 2ème trou, ou de détérioration rapide de celui-ci.

Deux cas sont possible :

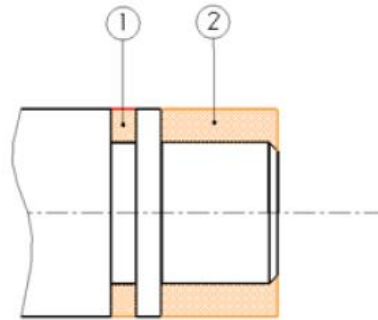
$D1 \approx D2$ . On réalise l'alésage le plus précis en premier

$D1 \gg D2$ . On réalise d'abord l'alésage qui a le plus petit diamètre



**Exemple 3 :**

Étude chronologique de l'usinage pour une rainure (1) et un chariotage (2)

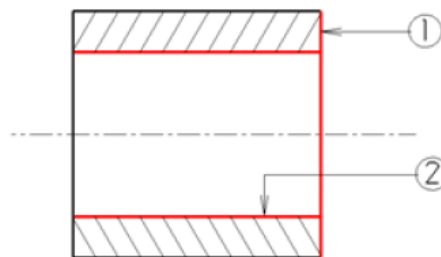


On remarque que l'usinage de la gorge (1) en premier risque d'affaiblir la pièce pour l'usinage de (2) en chariotage.

L'ordre des opérations sera le suivant : (2) → (1)

**Exemple 4 :**

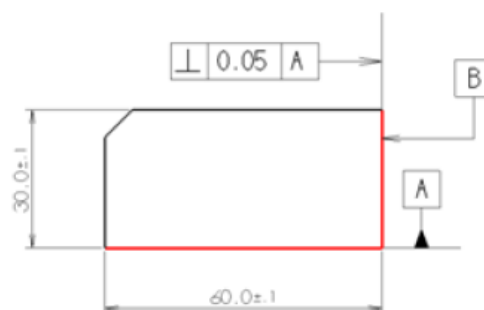
Réalisation d'un dressage (1) et alésage (2).



L'ordre des opérations sera le suivant : (1) → (2E) → (2F/2) → (2F)

**Exemple 5**

Respect des spécifications géométriques d'orientation

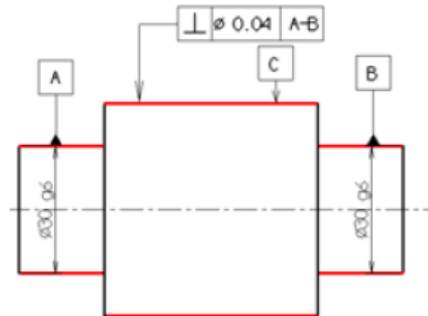


La surface (B) est la surface tolérancée. Elle doit être perpendiculaire à la surface de référence (A).

L'ordre des opérations sera le suivant : (A)  $\longrightarrow$  (B)

### Exemple 6

Respect des spécifications géométriques de position



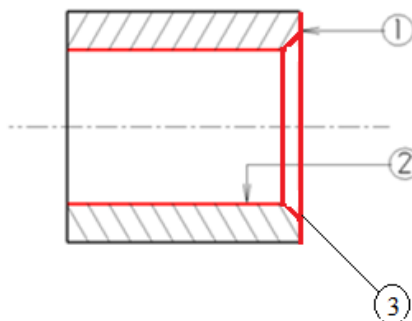
Les surfaces (A) et (B) sont une référence commune, l'axe considéré étant celui passant par A -B. Il est donc préférable de les usiner sans démontage. Il en résulte un montage entre pointes de la pièce.

L'ordre des opérations sera le suivant :

(Centrage)  $\longrightarrow$  (A ; B)  $\longrightarrow$  (C)

**b) de bavures :** se sont les déchets où les petits copeaux laissés par la trace de l'outil.

Elles sont très dangereuses car elles provoquer un frottement et une usure rapide, donc il faut toujours les éliminer.



(1F)  $\longrightarrow$  (2E)  $\longrightarrow$  (2F/2)  $\longrightarrow$  (3F)  $\longrightarrow$  (2F)

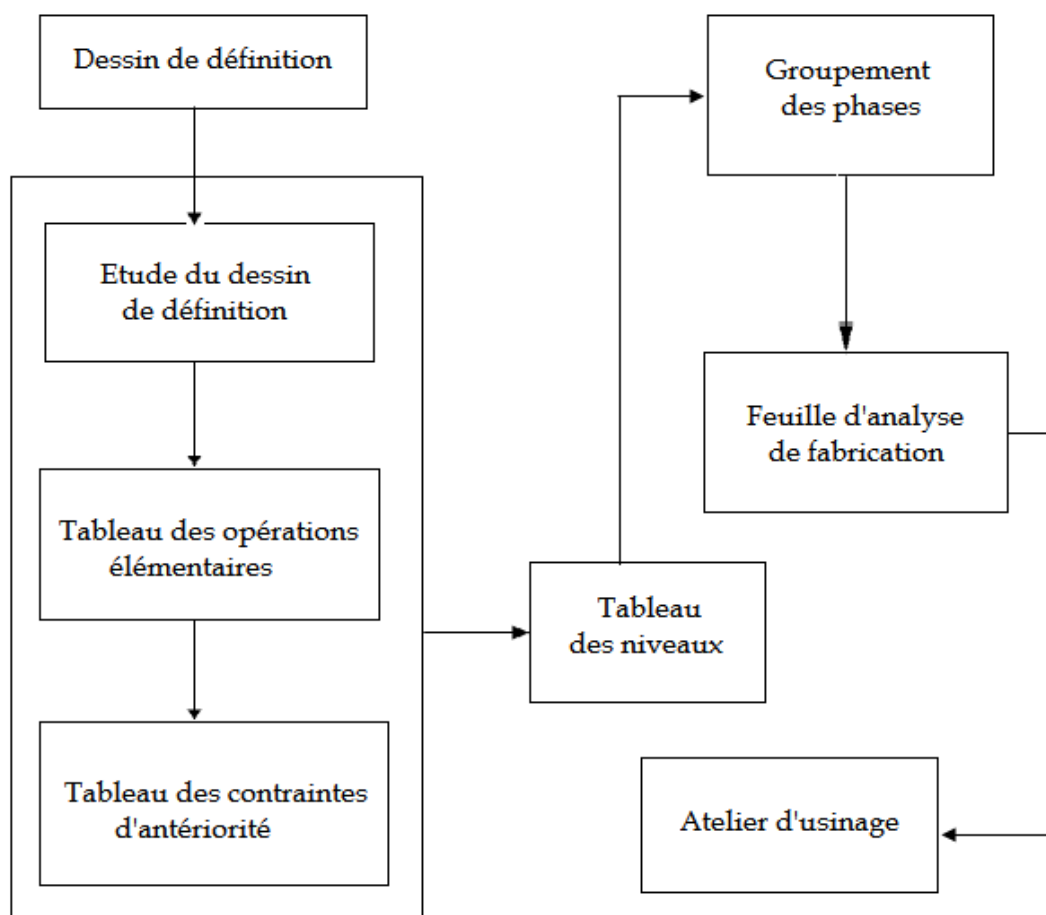
## V.1 Introduction

L'analyse d'usinage comporte trois aspects essentiels pour la préparation du travail :

- L'étude de fabrication,
- L'élaboration des gammes,
- L'analyse des phases.

Le traitement des gammes d'usinage a pour objectifs :

- De définir la suite logique des usinages pour une pièce à réaliser,
- De choisir les machines et les outillages à employer pour réaliser des pièces bonnes, à un prix de revient minimal,
- De rédiger les documents nécessaires décrivant la méthode complète d'obtention de la pièce.



## V.2 Détermination du nombre des opérations d'usinage selon la qualité et l'état de la surface usinée

Une opération est un ensemble d'actions de transformation mettant en œuvre un seul moyen.

### Opérations d'ébauche (E)

Cette opération permet d'enlever un maximum de matière afin de préparer les opérations suivantes.

### Opérations de demi - finition (E/2)

Cette opération permet une bonne approche de la surface finale, d'assurer la rugosité du copeau de finition et d'assurer la précision géométrique de position.

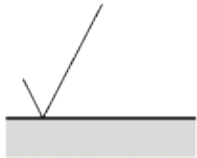
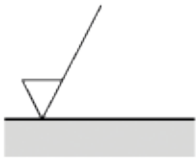
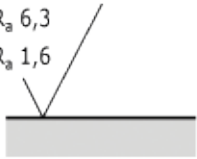
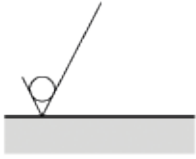
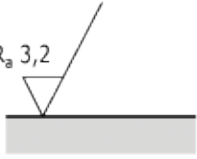
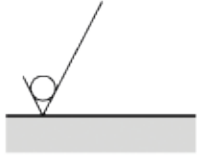
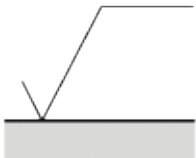
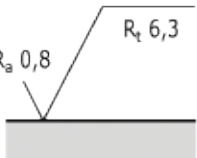
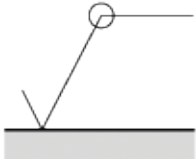
### Opérations de finition (F)

Cette opération permet d'obtenir l'état de surface ainsi que la précision géométrique et dimensionnelle.

### Opérations de super - finition (SF)

Cette opération est nécessaire dans le cas de spécifications dimensionnelles et d'état de surface très serrées.

## Indication d'un état de surface

Symbole de base	Indications de l'état de surface		
		L'état de surface $R_a$ de limite supérieure $6,3 \mu\text{m}$ peut être obtenu par un procédé d'élaboration quelconque (enlèvement de matière par usinage facultatif).	
Surface à usiner par enlèvement de matière, sans spécification d'exigence pour l'état de surface.		L'écart moyen arithmétique du profil $R_a$ doit être compris entre une limite supérieure de $6,3 \mu\text{m}$ et une limite inférieure de $1,6 \mu\text{m}$ .	$R_a 6,3$ $R_a 1,6$ 
Surface où l'enlèvement de matière est interdit, sans spécification d'exigence pour l'état de surface.		L'état de surface $R_a$ de limite supérieure $3,2 \mu\text{m}$ doit obligatoirement être obtenu par usinage.	$R_a 3,2$ 
REMARQUE : Sur les dessins d'opérations de fabrication, ce symbole peut être employé seul. On spécifie ainsi que la surface doit rester dans l'état obtenu lors d'une précédente opération, qu'il y ait eu ou non enlèvement de matière.		L'état de surface $R_a$ de limite supérieure $0,8 \mu\text{m}$ doit être obtenu par un procédé sans enlèvement de matière.	
Surface avec spécifications complémentaires pour l'état de surface.		L'état de surface doit respecter deux paramètres de rugosité : - $R_a$ limite supérieure $0,8 \mu\text{m}$ , - $R_t$ limite supérieure $6,3 \mu\text{m}$ .	$R_a 0,8$ $R_t 6,3$ 
L'état de surface est le même pour toutes les surfaces de la pièce.			
NOTA : Ces indications sont relatives aux écarts admissibles des 2 <sup>e</sup> , 3 <sup>e</sup> et 4 <sup>e</sup> ordre.			

### V.3 Détermination des antériorités des opérations d'usinage

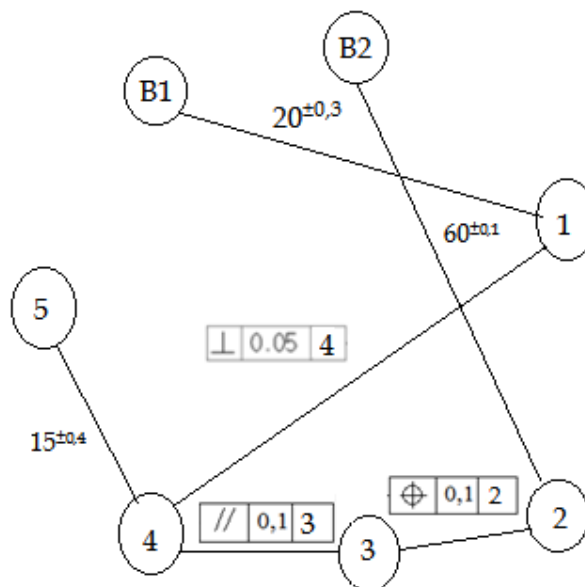
- A partir du dessin de définition, on effectue le repérage des surfaces usinées et brutes (chiffres, lettres, lettres avec indices, etc).

- Prendre ensuite rapidement connaissance des caractéristiques principales :

- de la pièce : matière, dimensions et formes
- des surfaces brutes : nature, formes et dimensions de ces surfaces
- des surfaces usinées : nature, formes, dimensions, précision, cotation relative à chaque surface,
- liaisons au brut : cotes entre surfaces usinées et surfaces brutes

- Établissement des liaisons d'ordre dimensionnel et/ou géométrique entre les surfaces brutes et usinées ou entre les surfaces usinées seulement.

- Le nombre d'opérations minimum à envisager est fonction de l'état de surface imposé



Graphe de liaison

### V.3.1 Etude du dessin de définition

Dans cette étude, on doit analyser et étudier le dessin dans les domaines suivants :

- **Domaine métrologique (étude des mesures)**

Dans cette phase, on doit connaître les dimensions extrêmes de la pièce, la nature de la pièce ainsi que l'épaisseur de copeaux à enlever sur chaque surface.

- **Domaine économique**

Dans cette partie, on doit connaître la nature de fabrication (unitaire, moyenne série, grande série etc.....) suivant le nombre de pièces.

- de 10 à 100 pièces : la fabrication est unitaire.

- de 100 à 1000 pièces : la fabrication est en série moyenne.

- plus que 1000 pièces : la fabrication est en grande série.

On doit connaître aussi le délai de la fabrication.

Avec la connaissance du nombre de pièces et le délai, on obtient la cadence :

#### Nombre de pièce /unité de temps

- **Domaine de cotation**

Pendant cette étude on doit connaître les cotes à hautes précision ainsi que les étapes de surface les plus précis.


Données métrologiques	Données économiques	Données relatives à la cotation
Dimensions brutes	Fabrication	Cotation précise
Matières	Délai	Etude de surface
Surépaisseur d'usinage	Cadence	

## V.4 Méthode matricielle d'établissement de l'ordre d'usinage

### V.4.1 Tableau des opérations élémentaires

Ce tableau regroupe les facteurs suivants :

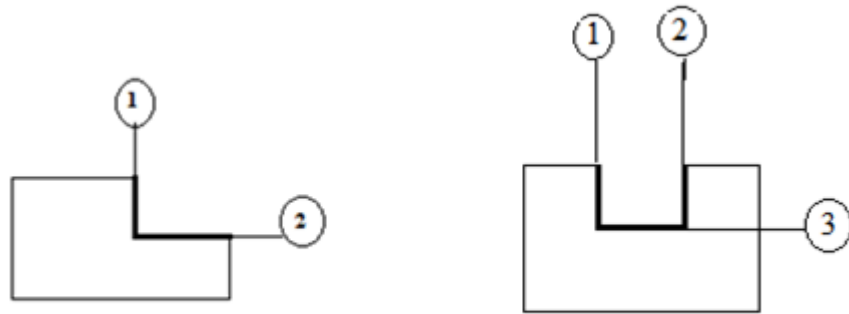
- Le repère ordonné des surfaces usinées,
- Les cotes de liaison au brut (CLB) ainsi que les cotes de liaison des surfaces usinées (CLU). Chacune de ces liaisons doit contenir son intervalle de tolérance.
- En comparant l'intervalle de tolérance avec l'état de surface, on obtient le nombre d'opérations à effectuer sur chaque surface.
- Le groupement des opérations (surfaces usinées par un même outil).

Repère	C.L.B	C.L.U	IT	Ra	Spécification Forme et position	Opérations élémentaires
①	ⓑ1 : 20 <sup>±0,3</sup>	⑤ : 15 <sup>±0,4</sup>	0,6 0,8	—		1F
②						2E - 2F
.						
.						
.						

### V.4.2 Tableau des groupements de surfaces

Surfaces groupées	Motif du groupement	Opérations élémentaires	symbole
1 et 2	Fraise 2 tailles	Finition directe	G <sub>1</sub> F
1,2 et 3	Fraise 3 tailles	Finition directe	G <sub>2</sub> F





### V.4.3 Tableau d'analyse des contraintes

Ce tableau doit contenir toutes les opérations élémentaires déterminées par le tableau précédent ainsi que les contraintes d'ordre dimensionnelles, géométriques, technologiques et les contraintes d'ordre économiques.

O.E	$\leftrightarrow$	//	$\perp$	$\oplus$	$\odot$	$\ominus$	Opération	Ordre de fabrication
B	5F 6F 7F							
1F								
2F								
3								
4F								
5F								
6F								
7F	5F							

### V.4.4 Tableau des niveaux

Ce tableau réduit l'analyse de contraintes d'antériorité sous forme de chiffre et permet de donner la succession logique de toutes les opérations à effectuer sur la pièce.

	1E	1F	2F	3F	GF	0	1	2	3	4
1E		1				1				
1F			1	1	1	3				
2F						0				
3F					1	1				
GF										

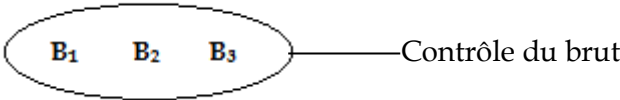

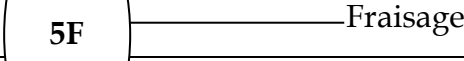
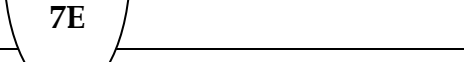

Détermination des niveaux d'usinage. On va totaliser d'abord, dans la colonne prévue, l'ensemble des antériorités indiquées sur les lignes. Les surfaces (ou les opérations) ayant obtenu zéro (donc aucune contrainte d'antériorité) seront réalisées en premier lieu. La détermination des opérations de niveau 1 est faite en supprimant dans le tableau des niveaux les colonnes correspondant aux surfaces ou aux opérations ayant obtenu zéro sur la ligne. On effectue une nouvelle sommation, des zéros apparaîtront maintenant au niveau 1.

On procédera ainsi, de la même manière, jusqu'à l'épuisement des antériorités, ce qui peut être vérifié facilement car à la fin de chaque ligne nous devons avoir la valeur zéro

#### V.4.5 Tableau de groupement des phases

Dans ce tableau, on regroupe les surfaces usinées sur le même poste c'est-à-dire sur la même machine et on appelle cette opération phase.

Après avoir placé verticalement les niveaux et sur chaque ligne de ceux-ci les opérations élémentaires on procède au groupement des opérations en prenant en compte les considérations d'antériorité type réalisation par le même outil ou groupement évident par type de surfaces, etc. Le regroupement se fera également sur la base des considérations économiques, des possibilités techniques, du parc machines disponible, etc.

Niveau	Phases groupées
0	
1	
2	
3	
4	

#### V.4.6 Feuille d'analyse de fabrication

Dans la première partie de cette feuille, on doit faire apparaître :

- Le numéro de la phase (100, 200, 300 où 10, 20, 30.....)
- Le nom de la phase : Tournage, Fraisage, Perçage,....
- Le type de montage d'usinage par des appuis, ensuite la rédaction du type d'opération qui comporte une phase.

La deuxième partie fait apparaître :

- Le type d'outil utilisé pour chaque opération et le type d'appareil de contrôle.

La troisième partie fait apparaître un schéma de chaque phase qui comprend les détails suivants :

- Le schéma doit être en position de travail,
- La représentation isostatique de la pièce,
- Les surfaces usinées en trait (fort où de couleur) avec le repérage (numéro de surface),
- Les cotes de fabrication relatives à la phase,
- L'indice de rugosité.

N° phase	Désignation Phase - S/ phase-Opération	M.O	Outillages de coupe et de contrôle	Schéma de phase
100	<p><u>Contrôle du brut :</u></p> <p>Vérifier si le brut est capable de donner la pièce demandée par le BE</p>		Pied à coulisse	
200	<p><u>Tournage</u></p> <p>Référentiel est défini par :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Appui plan (3N)</li> <li>- Centrage court (2N)</li> </ul> <p><u>201 : Dressage</u></p> <p>Dressage de (1) en finition</p> <p><math>C_m = 62</math></p> <p><math>\sqrt[6.3]{Ra}</math></p>	Tour//	<p>Outil à dresser en carbure métallique</p> <p>ped à coulisse</p>	

### V.5 Projet de gamme d'usinage.

Etablir la gamme d'usinage de la pièce ci-dessous.

Données:

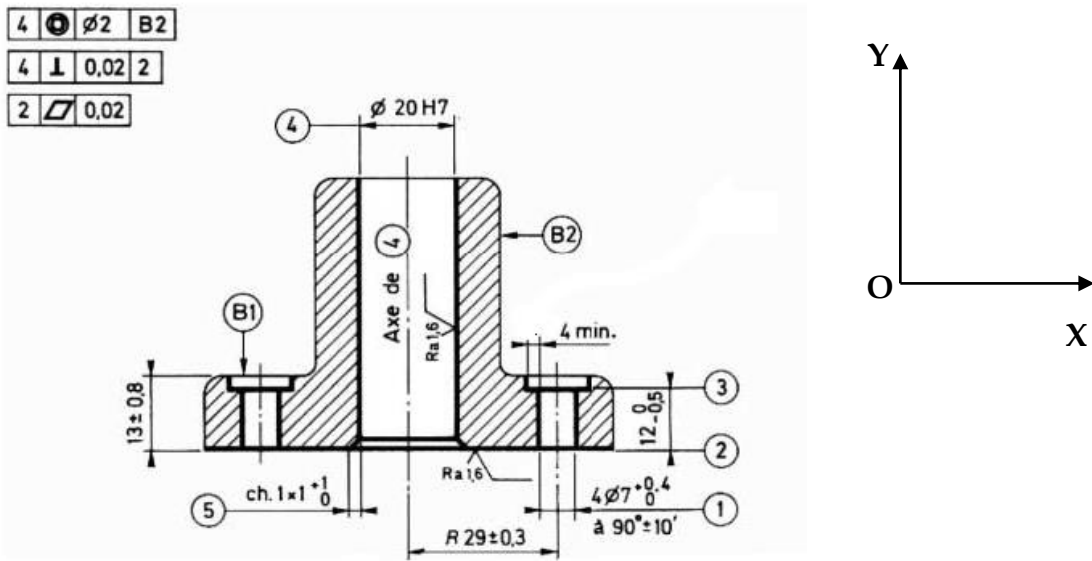
Brut : moulé en sable.

Matière : Ft 20

Fabrication en série.

$Ra = 6,3$  sauf indication

Machines-outils : Tour automatique et perceuse multibroches.



① à ⑤ : Surfaces usinées

$4 \varnothing 7 \text{ } \begin{smallmatrix} +0,4 \\ 0 \end{smallmatrix}$  : signifie 4 trou  $\varnothing 7 \text{ } \begin{smallmatrix} +0,4 \\ 0 \end{smallmatrix}$  dont les axes sont à  $90^\circ \pm 10'$  dans la surface (2)

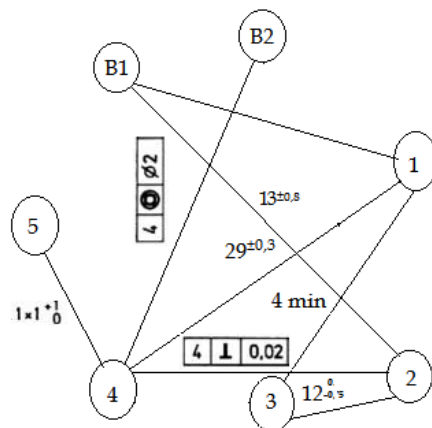
ⓑ1 ⓑ2 : Surfaces brutes

ch : chanfrein

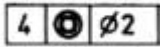
Ra = 6,3 sauf indication : signifie que toutes les surfaces sont usinées en finition sauf celles indiquées

R : rayon

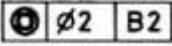
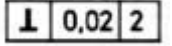
### 1. Graphe de liaison



## 2. Etude du dessin de définition

Données technologiques	Données économiques	Données métrologiques
Brut : Moulé en sable	Fabrication : série	$\longleftrightarrow$ : 20 H7
Matière : Ft 20	Cadence: /	Géométrique : 
Dimension du brut : $\varnothing$ 80x38	Délai : /	Ra : 1,6
Surépaisseur : /		

## 3. Tableau des opérations élémentaires

Repère	C.L.B	C.L.U	IT	Ra	Spécification	Opérations élémentaires
①		④ : $29^{\pm 0,3}$	0,6	6,3		1F
②	ⓑ : $13^{\pm 0,8}$		1,6	1,6		2E, 2F/2, 2F
③		② : $12^{\begin{smallmatrix} 0 \\ -0,5 \end{smallmatrix}}$ ① : 4 min	0,5	6,3		3F
④				1,6	 	4E, 4F/2, 4F
⑤		④ : $1 \times 1^{\begin{smallmatrix} +1 \\ 0 \end{smallmatrix}}$	1	6,3		5F

## 4. Tableau d'analyse des contraintes

O.E	$\longleftrightarrow$	//	$\perp$	$\oplus$	$\odot$	$\underline{\quad}$ $\underline{\quad}$	Opération	Ordre de fabrication
B1	2E, 2F/2,2F							
B2					4E,4F/2, 4F			
1F	3F							
2E	3F		4E,4F/2, 4F				2F/2	
2F/2	3F		4E,4F/2, 4F				2F	
2F	3F		4E,4F/2, 4F					
3F								
4E	1F, 5F						4F/2	
4F/2	1F, 5F						4F	
4F	1F							
5F								4F

5. Tableau des niveaux

	B1	B2	1F	2E	2F/2	2F	3F	4E	4F/2	4F	5F	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
B1												0									
B2												0									
1F								1	1	1		3	3	3	3	3	2	1	1	0	
2E	1											1	0								
2F/2	1			1								2	1	0							
2F	1				1							2	1	1	0						
3F			1	1	1	1						4	4	3	2	1	1	1	1	1	0
4E		1		1	1	1						4	3	2	1	0					
4F/2		1		1	1	1		1				5	4	3	2	1	0				
4F		1		1	1	1			1			6	5	4	3	2	2	1	0		
5F								1	1			2	2	2	2	2	1	0			

B1 2E 2F/2 2F 4E 4F/2 5F 4F 1F 3F

B2

6. Tableau de groupement de phases

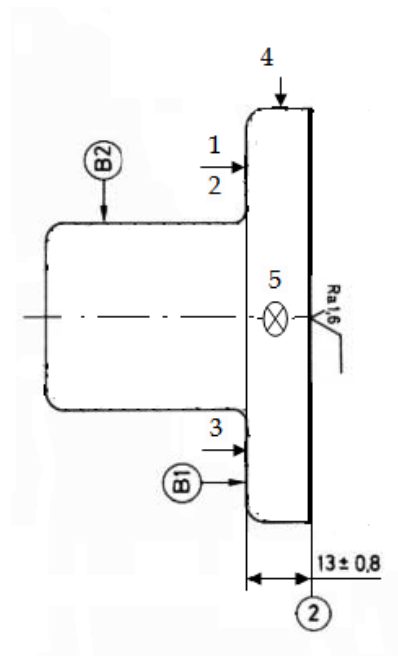
Niveau	Surfaces	Phases
0	B1, B2	Contrôle du brut
1	2E 2F/2 2F 4E 4F/2 5F 4F	
2		
3		
4		Tournage
5		
6		
7		
8	1F	Perçage
9	3F	



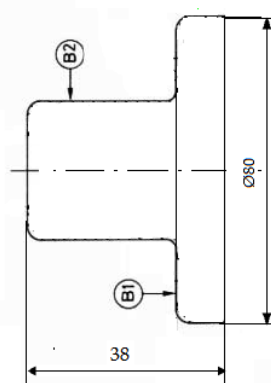
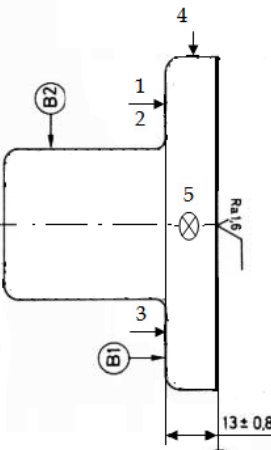
- Phase 100 : Contrôle du brut B1, B2
- Phases 200 : Tournage 2E, 2F/2, 2F, 4E, 4F/2, 5F et 4F
- Phase 300 : Perçage 1F, 3F

### 7. Etude de la 1<sup>ère</sup> prise de la pièce

↔	C.L.B	IT	Nature des surfaces	normales	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
OX	(B2) : Ø2	2	Centrage court	2N	4		5			
OY	(B1) : 13±0,8	1,6	Appui plan	3N		1		2		3
OZ										



8. Feuille d'analyse de fabrication

N° phase	Désignation Phase - S/ phase-Opération	M.O	Outillages de coupe et de contrôle	Schéma de phase
100	<p><b>Contrôle du brut :</b></p> <p>Vérifier si le brut est capable de donner la pièce demandée par le BE</p>		Pied à coulisse	
200	<p><b>Tournage</b></p> <p>Référentiel est défini par :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Appui plan 3N (1-2-3) sur (B<sub>1</sub>)</li> <li>- Centrage court 2N (4-5) sur (B<sub>2</sub>)</li> </ul> <p><b>210 :</b></p> <p>Dressage de (2) en E Cm= 15 mm</p> <hr/> <p><b>220 :</b></p> <p>Dressage de (2) en F/2 Cm= 14 mm</p> <hr/> <p><b>220 :</b></p> <p>Dressage de (2) en F Cm= 13±0,8</p>	Tour auto	<p>Outil à dresser en carbure métallique</p> <p>Pied à coulisse</p>	

	<p><math>1.6\sqrt{Ra}</math> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2 ▧ 0,02</span></p> <p><b>220 :</b> Centrage de (2) en F</p> <hr/> <p><b>250 :</b> Même référentiel Perçage de (4) en E Co = Ø18 mm</p> <hr/> <p><b>260 :</b> Perçage de (4) en F/2 Co = Ø19,75 mm</p> <hr/> <p><b>270 :</b> Chanfreinage de (5) en F Ca = <math>1 \times 1 \begin{smallmatrix} +1 \\ 0 \end{smallmatrix}</math></p>		<p>Foret à centrer en ARS</p> <hr/> <p>Foret Ø18 mm en CM</p> <hr/> <p>Foret Ø19,75 mm en CM</p> <hr/> <p>Outil à aléser et à chanfreiner en CM</p>	
	<p><b>280 :</b> Alésage de (4) en F Co = 20H7</p> <p><math>1.6\sqrt{Ra}</math></p> <p><span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">⊙ Ø2 B2</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">⊥ 0,02 2</span></p>	<p>Tour auto</p>	<p>Outil à aléser où alésoir machine 20H7 TLD 20H7</p>	
<p>300</p>	<p><b>Perçage :</b> Référentiel est défini par :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Appui plan 3N (1-2-3) sur (2)</li> <li>- Appui linéaire 2N (4-5) sur (B<sub>2</sub>)</li> <li>- Appui ponctuel 1N (6) sur (B<sub>1</sub>)</li> </ul> <p><b>301 :</b> Perçage de (1) (4 trous) en finition Co = Ø7<sub>0</sub><sup>+0,4</sup> Ca = 29±0,3</p> <p><math>6.3\sqrt{Ra}</math></p>	<p>PMB</p>	<p>Foret Ø7 mm en ARS</p> <hr/> <p>Pied à coulisse</p>	

	<p><b>302 :</b> Perçage ou lamage de (3) en finition</p> <p><math>C_m = 12_{-0,5}^0</math></p> <p><math>C_o = 4 \text{ min}</math></p> <p><math>\sqrt[6,3]{Ra}</math></p>	PMB	<p>Fraise à lamer</p> <p>Ø15 où foret étagé pour exécuter le perçage et le lamage simultanément</p> <p>P à Coulisse</p> <p>Jauge de profondeur</p>	
400	<p><b><u>Contrôle final</u></b></p> <p><u>410</u> : Dimensions</p> <p><u>420</u> : Spécifications</p> <p><u>430</u> : Etat de surface</p>		Poste de contrôle	

## V.6 Contrat des différentes phases d'usinage et choix du régime de coupe

### V.6.1 Objectifs

Le contrat de phase est un document contractuel entre le bureau des méthodes, qui le rédige, et l'atelier de fabrication, qui l'applique. Il détaille les opérations d'usinage d'une phase définie dans l'avant projet d'étude de fabrication. Ce document tient compte des choix d'outils et des conditions de coupe.

### V.6.2. Contenu du contrat de phase

Partie 1 : Cette partie contient des informations relatives à la phase et à la pièce :

- Mode d'usinage (tournage, fraisage,...)
- Numéro de phase

- Type de machine utilisée
- Nom de la pièce et de l'ensemble
- Nombre de pièces et cadence
- Matière de la pièce
- État du brut (coulé ; laminé, étiré,...)
- Nature du porte-pièce

Partie 2 : Cette partie contient le dessin de la pièce en position d'usinage et dans l'état où elle se trouve à la fin de la phase :

- Surfaces à usiner, en trait fort
- Normales de repérage avec la symbolisation technologique.
- Repérages des surfaces usinées et de mise en position
- Cotes fabriquées (Cf)
- Tolérances géométriques et état de surface
- Représentation schématique des outils de coupe (trajectoires)

Partie 3 : On indique ici, les informations relatives aux opérations à effectuer

- Nature de l'opération
- Niveau de finition (ébauche, 1/2 finition, finition)
- Cotes fabriquées

Partie 4 : Informations relatives aux outillages de coupe et de contrôle :

- Type d'outil (fraise 2T, outil à aléser, foret,...)
- Nature de l'outil (carbure, ARS...)
- Caractéristiques dimensionnelles (diamètre, nombre de dents, rayon de bec,...)
- Noms et caractéristiques des instruments de contrôle
- l'indication des cotes contrôlées.

Partie 5 : Informations sur les conditions de coupe :

- $V$  : Vitesse de coupe [m/min]
- $n$  : Fréquence de rotation [tr/min]
- $a$  ou  $f$  : avance par tour [mm/tr] (tournage)
- $a$  ou  $f$  : avance par dent [mm/dent] (fraisage)
- $V_a$  (ou  $A$ ) : Vitesse d'avance [mm/min] (en fraisage et tournage)
- $p$  : profondeur de passe [mm]
- $N$  : nombre de passes
- $L$  : longueur de coupe (de la passe) [mm]

**Remarque** : la longueur  $L$  doit être augmentée de **2 à 4 mm** car l'avance automatique doit commencer avant l'attaque de l'outil.

$$V_c = \frac{\pi D n}{1000}$$

$D$  : diamètre de la pièce (cas du tournage) et diamètre de la fraise (cas du fraisage).

$$V_a = a \times n \text{ (cas du tournage)}$$

$$V_a = a \times n \times z \text{ (cas du fraisage)}$$

$Z$  : nombre de dents de la fraise.

$$V_a = a \times n \text{ (cas du rabotage)}$$

$$n = \frac{V_c}{2C} \quad \longrightarrow \quad V_a = \frac{a * V_c}{2C}$$

## V.6.3 Tableau des conditions de coupe

<b>TOURNAGE</b> (Attention : pour les gorges et le tronçonnage : prendre 50% des valeurs de tournage ci dessous)													
Matières	Rr MPa	Outil ARS					Outil Carbure						
		$\gamma$	V60 m/min	a max mm	f mm/tr	Finition V60 m/min	f mm/tr	$\gamma$	V60 m/min	a max mm	f mm/tr	Finition 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	8°	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	80	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

<b>FRAISAGE EN BOUT</b> (surfaçage)													
Matières	Rr MPa	Fraises ARS					Plaquettes Carbure						
		$\gamma$	V60 m/min	a max mm	fz mm/(tr.d)	Finition V60 m/min	fz mm/(tr.d)	$\gamma$	V60 m/min	a mm	fz mm/(tr.d)	Finition 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	80	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
Dural AU4G	280	20°	150	1	0.07	190	>0.06	20°	500	3	0.1	800	>0.08

<b>FRAISAGE EN ROULANT</b> (rainurage, combiné...)													
Matières	Rr MPa	Fraises A.R.S. ( $\phi > 20$ )					Fraises A.R.S. ( $\phi < 20$ )						
		$\gamma$	V60 m/min	a maxi mm	fz mm/(tr.d)	Finition V60 m/min	fz mm/(tr.d)	$\gamma$	V60 m/min	a maxi mm	fz mm/(tr.d)	Finition 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	48	>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

<b>PERÇAGE, ALÉSAGE</b>												
Matières	Rr MPa	Forets et alésors ARS						Alésage			Tarauds A.R.S.	
		$\gamma$	V60 m/min	angle pointe	angle hélice	$\phi < 10$ f mm/tr	$\phi > 10$ f mm/tr	V60 m/min	a mm	f mm/tr	V60 m/min	Lubrifiant
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	8	Huile soluble
Acier 35CD4	1100	25°	22	120°	30°	0.012 $\phi$	>0.03	9	>0.20	0.17	10	Huile de coupe
PVC	80		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

### V.6.4 Principaux types de temps

Le temps d'occupation d'une machine pour la réalisation d'une phase d'usinage, comprend :

- Un ou plusieurs temps technologiques  $T_t$  ;
- Des temps manuels  $T_m$  ;
- Des temps technico-manuels  $T_{tm}$  ;
- Des temps masqués  $T_z$  ;
- Des temps fréquentiels  $T_f$  ;
- Parfois, un ou plusieurs temps d'équilibrage  $T_e$  ;
- Un temps de préparation  $T_s$ .

### V.6.5 Définitions des temps classes en fonction de la nature des activités

#### V.6.5.1 Temps technologique : $T_t$

C'est la durée de travail effectuée par les outils au cours de l'usinage. Sa durée dépend uniquement des conditions techniques d'exécution.

**Exemple :** Recherche des conditions de coupe, réglage de la machine, mise en position de la pièce dans la porte pièce, etc. Les paramètres de coupe ( $V_c, f, \dots$ ) étant fixés, la longueur à usiner étant connue.

#### V.6.5.2 Temps manuels : $T_m$

C'est la durée des mouvements de l'opérateur à son poste de travail.

**Exemple :** Recherche des conditions de coupe, réglage de la machine, mise en position de la pièce dans le porte-pièce.

#### V.6.5.3 Temps technico-manuels : $T_{tm}$

C'est le temps des actions combinées qui sont répétées pour chacune des pièces à fabriquer.



**Exemple** : Perçage sans avance automatique, tronçonnage avec avance manuelle, etc.  
Cas particulier : temps homme-machine, qui est le temps pendant lequel l'opérateur et la machine travaillent simultanément.

#### V.6.5.4 Temps fréquentiel : $T_f$

C'est le temps correspondant à un travail répété toutes les  $n$  unités de production au cours de l'exécution d'une opération.

**Exemples** : vérifier une pièce sur cinq, après un lot de 50 pièces...

### V.7 Temps classé d'après sa position relative dans le cycle de travail

#### V.7.1 Temps masqué : $T_z$

C'est le temps d'un travail accompli pendant l'exécution d'un autre travail dont la durée est seule prise en considération.

**Exemple** : contrôler, ébavurer une pièce pendant l'usinage automatique de la pièce suivante ébavurer une pièce dans les mêmes conditions...

#### V.7.2 Temps d'équilibrage : $T_e$

C'est un temps complémentaire destiné à réaliser la synchronisation de plusieurs cycles.

Envisagé, en particulier pour l'organisation du travail à plusieurs machines taillage d'engrenages, tours automatiques travaillant dans la barre, machines à rectifier...

### V.8 Temps classés en fonction de leur fréquence

#### V.8.1 Temps de préparation : $T_s$

C'est le temps correspondant à des travaux exécutés une seule fois par série lancée d'unités de production (temps pour régler la machine ou le poste de travail en vue d'une fabrication de série).

**Exemple** : Réglage du porte-pièce, réglage des outils, réglage des butées de fin de course, etc.

**Unités** : Heure, centième d'heure (ch) ou centième de minute (cmin).

$$\begin{array}{l|l} 1 \text{ ch} & = 0,01 \text{ h} \\ 1 \text{ cmin} & = 0,01 \text{ min} \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} 1 \text{ ch} & = 0,6 \text{ min} \\ 1 \text{ cmin} & = 0,6 \text{ s} \end{array}$$

## V.9 Étude de quelques temps technologiques

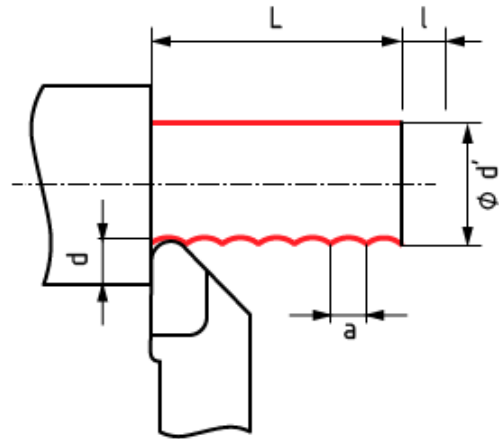
$$T_t = \frac{L[\text{mm}]}{A[\text{mm}/\text{min}]} \times 100 \text{ [cmn]}$$

(cmn = centièmes de min)

### V.9.1 Temps technologique de chariotage (tournage)

Le temps technologique de chariotage dépend des paramètres suivants :

- nombre de passes  $N$
- la longueur d'usinage  $L$
- la fréquence de rotation  $n$
- l'avance par tour  $a$
- la distance d'approche  $l_i$
- la vitesse de coupe  $V_c$



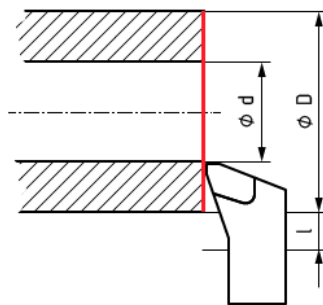
On exprime alors le temps technologique en chariotage sous la forme :

$$T_{tc} = \frac{N(L+l)}{an} \quad \text{où : } n = \frac{1000V_c}{\pi d}$$

$$\Rightarrow T_{tc} = \frac{N(L+l)\pi d}{aV_c}$$

### V.9.2 Temps technologique de dressage (tournage)

Le temps technologique d'une opération de dressage s'exprime sous la forme suivante :

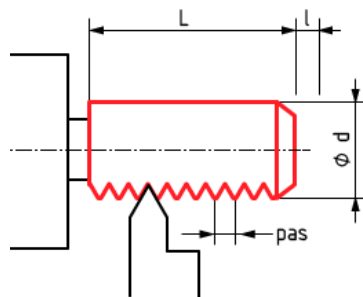


$$T_{tc} = \frac{N(D-d) + l}{an}$$

### 9.3 Temps technologique en filetage (tour)

En filetage il faut prendre en compte, pour le calcul du temps d'usinage, le **pas du filetage p**. On introduit un coefficient **k** qui dépend de la vitesse de retour du chariot. Cette vitesse peut être égale à la vitesse de travail, ou inférieure.

$$T_{tc} = \frac{kN(L+l)}{pn}$$



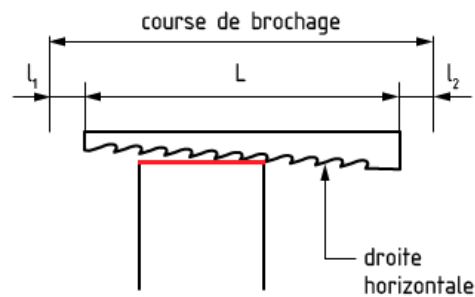
Pour une vitesse de retour égale au temps de travail on aura :

$$T_{tc} = \frac{2N(L+l)}{pn}$$

Si on réalise une vis à plusieurs filets (avec m le nombre de filets) alors :

$$T_{tc} = \frac{kmN(L+l)}{pn}$$

### V. 9.4 Temps technologique en brochage



$$T_{tc} = \frac{C}{V_c} + \frac{C}{V_r}$$

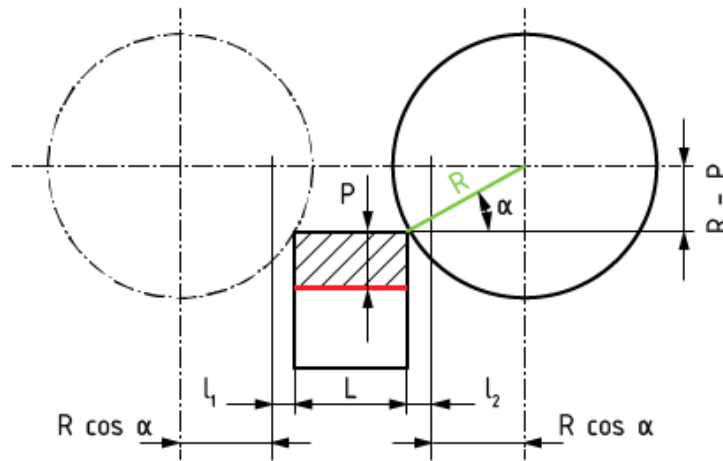
$V_r$ : vitesse de retour ;  $l_1, l_2$ : longueur d'approche/ de dégage

$C = L + l_1 + l_2$ : course de brochage

### V.9.5 Temps technologique pour le fraisage en roulant

Pour les opérations de fraisage on fait intervenir dans le calcul des temps technologiques le **nombre de dents Z** et le **diamètre D** de l'outil (fraise). On exprime alors ce temps sous la forme suivante :

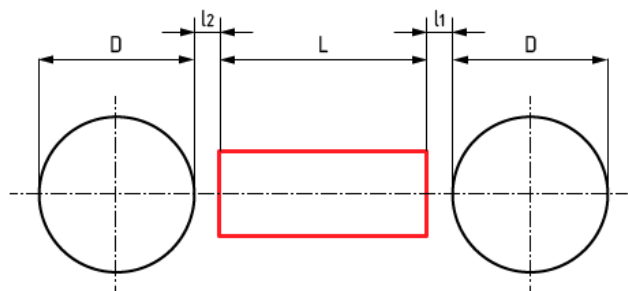
$$T_{tc} = k \frac{(D \sin \alpha + l_1 + l_2 + L)}{aZn}$$



### V.9.6 Temps technologique pour le fraisage en bout

Dans le cas d'un travail de fraisage en bout nous avons :

$$T_{tc} = k \frac{(D + l_1 + l_2 + L)}{aZn}$$



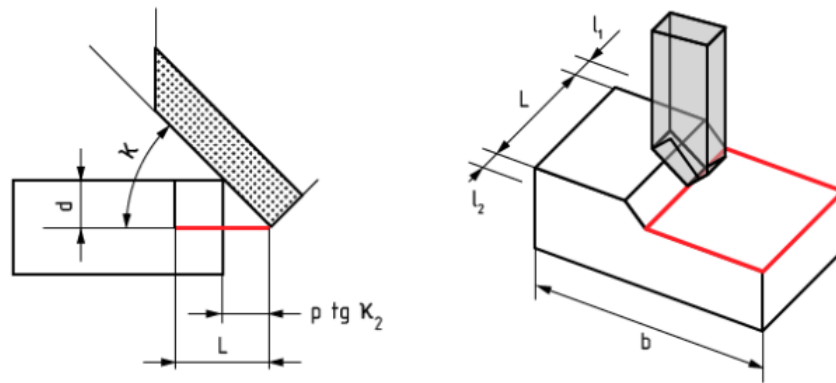
### V.9.7 Temps technologique pour le rabotage

Le rabotage est une opération d'usinage dont le calcul du temps technologique de coupe fait intervenir des paramètres géométriques liés à la pièce ou encore une vitesse moyenne  $V_m$ , exprimée à l'aide de la vitesse de coupe  $V_c$  et à la vitesse de retour  $V_r$ .

$$V_m = 2 \frac{V_c V_r}{V_c + V_r}$$

$$T_{tc} = N \frac{(L + l_1 + l_2)(b + l + p \tan k_r)}{1000 V_m a}$$

- $k$  est l'angle entre l'arête de coupe et le plan à réaliser (souvent identique avec  $k_r$ , l'angle d'arête),
- $a$  désigne ici l'avance par double course (mm).



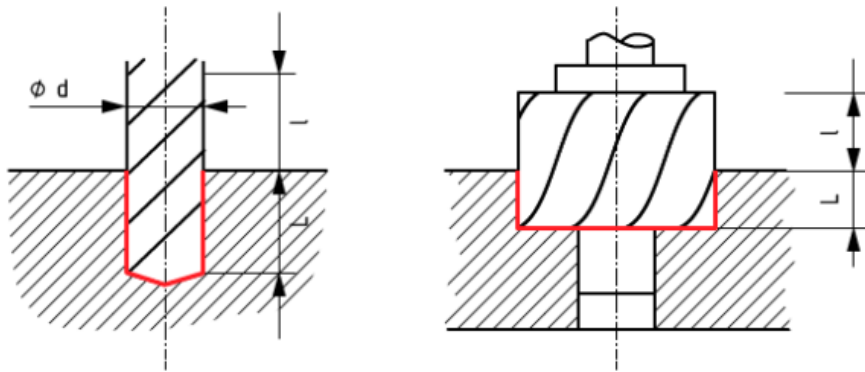
### V.9.8 Temps technologique pour les opérations de perçage, lamage, alésage

Le temps technologique relatif à une opération de perçage, alésage, lamage s'exprime sous la forme suivante :

$$T_{tc} = \frac{k(L + l + \frac{d}{2})}{an}$$

Où  $k$  est un coefficient tenant compte de la vitesse de retour, donné pour un trou ou un lamage.

**Remarque.** Pour le travail de lamage par en dessous, il est nécessaire de majorer le temps en fonction de la complexité du travail.

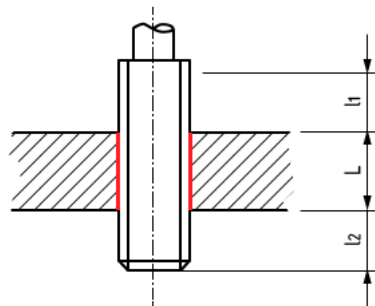


### V.9.9 Temps technologique pour l'opération de taraudage

En taraudage il est nécessaire de prendre en compte, outre la longueur d'approche  $l_1$  :

- $l_2$ , qui représente la longueur d'entrée du taraud + longueur de dégagement
- un coefficient  $k$ , fonction de la vitesse de retour  $l < k < 4$

$$T_{tc} = k \frac{(L + l_1 + l_2)}{pn}$$

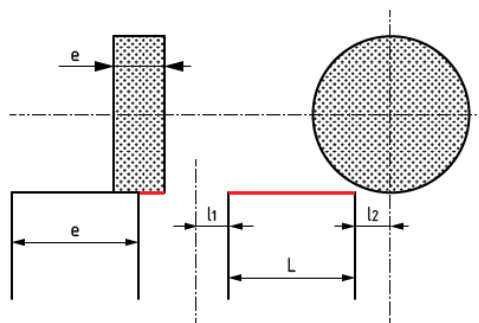


### V.9.10 Temps technologique pour la rectification plane

Pour les opérations de rectification plane, on calcule le temps technologique de coupe à l'aide des paramètres suivants :

- $k_1$  désigne le nombre passes,
- $a$  est l'avance par double course [mm]
- $V$  c'est la vitesse de déplacement de la table
- $e$  désigne l'épaisseur de la meule.
- $k_2=1$  si enlèvement matière 1 fois pour 1 aller-retour table
- $k_2=2$  si on enlève de la matière à chaque fin de course

$$T_{tc} = k_1 \frac{(L + l_1 + l_2) \left(\frac{a}{e} k_2\right)}{V}$$



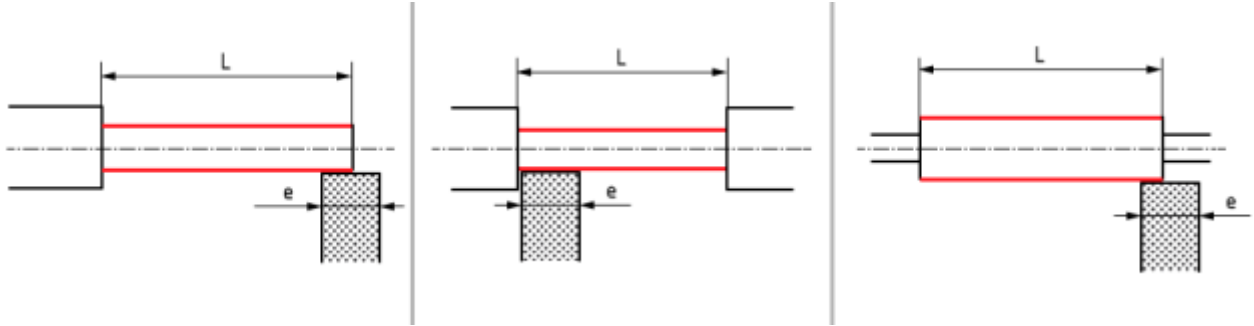
### V.9.11 Temps technologique pour la rectification cylindrique

La rectification cylindrique concerne des pièces sans épaulement, avec un ou deux épaulements. On utilise respectivement les formules suivantes :

- avec 1 épaulement : 
$$T_{tc} = k \frac{(1 - \frac{e}{2})}{V}$$

- avec 2 épaulements : 
$$T_{tc} = k \frac{(L - e)}{V}$$

- sans épaulement :  $Ttc = k \frac{L}{V}$



Exemple



Nom :		Prénom :		Groupe :		
ETUDE DU CONTRAT DE PHASE		Ensemble : Vérin de Fixation		BUREAU DES METHODES		
		Pièce : Piston supérieur				
		Matière : S235 (E24)				
Machine-Outil : Tour conventionnel						
DESIGNATION DES OPERATIONS	OUTILS	$V_c$ m/min	$f$ mm/(tr.dent.l)	$S_{métrique}$ tr/mm	$f_{régulé}$ mm/(tr.dent.l)	$S_{régulé}$ tr/mm
Dressage de A	Outil d'ébauche carbure	150	0.15	770	0.16	1040/520
Chariotage de B	Outil d'ébauche carbure	150	0.15	770	0.16	520
Trou de centre de G	Foret à centrer ARS	25				1040
Perçage de G	Foret de 9.5	25	0.25	840	0.32	1040
Alésage de G	Alésoir 10H7	12.5	0.3	400	0.32	520

## Références

- 1. **A. Toumine.** Cours de Fabrication – usinage par enlèvement de copeaux.
- 2. **Philippe DEPEYRE,** « fabrication mécanique », Année 2004/2005 Licence de Technologie et Mécanique Université de la Réunion
- 3. « Analyse du dessin de définition, Les tolérances dimensionnelles et géométriques », polyopié. Lycée Paul Cornu.
- 4. **Jean Mermoz** « de la cotation à la fabrication » Cours de construction
- 5. **M.Richard.** « les procédés d'usinage », génie mécanique et productique, Lycée P.Duez Cambrai.
- 6. Le transfert des cotes et la simulation d'usinage. IUT. « A » de l'UST de Lille 2014, département GMP. [www.ac-lille.fr](http://www.ac-lille.fr)
- 7. **Roland Maranzana,** «Eléments de fabrication mécanique », Ecole de technologie supérieure, Université du Québec, 1992.
- 8. **Salim Boukebbab,** « cours bureau d'études et méthodes » Université Mentouri Constantine Faculté des sciences de l'ingénieur département de génie mécanique
- 9. **A. Chevalier, J. Bohan,** « Guide du technicien en productique » Edition Hachette Technique, 1995-1996, France.
- 10. **B.Vieille.** « Méthodes et Fabrications ». polycopié Conservatoire national des arts et métiers.