



ROYAUME DU MAROC

---

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail  
*Direction Recherche et Ingénierie de la Formation*

## RESUME THEORIQUE & GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES

**MODULE : DÉFINITION D'UN MODE OPÉRATOIRE**

**Secteur : FABRICATION MECANIQUE**

**Spécialité : Mécanicien Général Polyvalent**

**Niveau : Qualification**

## PORTAIL DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE AU MAROC

Télécharger tous les modules de toutes les filières de l'OFPPT sur le site dédié à la formation professionnelle au Maroc : [www.marocetude.com](http://www.marocetude.com)

Pour cela visiter notre site [www.marocetude.com](http://www.marocetude.com) et choisissez la rubrique :

[MODULES ISTA](#)



The screenshot shows the website's interface. At the top, a navigation bar contains the following links: HOME, LIVRES, **MODULES ISTA**, ANNUAIRE ECOLES, DOCTORAT, LETTRE DE MOTIVATION, NOUS CONTACTER, and SE CONNECTER. Below this is the site's logo, "Maroc Etude.Com", and the tagline "Connaissance - Métier - Technique". A secondary navigation bar includes links for "Annonces Google", "Emploi Maroc", "Messagerie", "Telecharger Un Jeu", and "Maroc Annonces". A search bar is located in the top right corner.

The main content area features a central advertisement for MacKeeper. The ad includes the text "Notre Bibliothèque que ...Livres à Télé charger Gratuitement", the MacKeeper logo, a "-20%" discount badge, and the text "Complete your Purchase Now and save 20% Guaranteed with this Coupon Code". Below the ad is a blue button that says "Apply Discount Automatically". At the bottom of the ad, there is a quote: "On ne jouit bien que de ce qu'on partage" [Madame de Genlis].

On the left side of the page, there is a sidebar with a login section titled "Connexion" and a search bar. The login section includes fields for "Identifiant" (containing "sniper") and "Mot de passe", a "Se souvenir de moi" checkbox, and a "Connexion" button. Below the login section are links for "Mot de passe oublié ?" and "Identifiant oublié ?".

On the right side of the page, there is another sidebar with a search bar and a list of links under the heading "Annonces Google": "Jeu De Jeux", "Jeux Sur Internet", "Ecole Ingénieur", "Dépanner et configurer votre réseau à domicile", "(Outil de Diagnostic)", "Wi-Fi / Ethernet", "Console de jeu", "Imprimante", and "Messagerie".

**Document élaboré par :**

*Nom et prénom*  
**Octavian ALBU**

**CDC Génie Mécanique**

**DRIF**

**Révision linguistique**

- 
- 
- 

**Validation**

- 
- 
-

## MODULE 10 : DÉFINITION D'UN MODE OPÉRATOIRE

<b>Code :</b>	<b>Théorie :</b>	<b>41 %</b>
<b>Durée : 50 heures</b>	<b>Travaux pratiques :</b>	<b>48 %</b>
<b>Responsabilité : D'établissement</b>	<b>Évaluation :</b>	<b>11 %</b>

### CHAPITRE 1 : OBJECTIFS ET ELEMENTS DE CONTENU POUR ETABLIR UN MODE OPERATOIRE

#### 1.1. OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU DE COMPORTEMENT

##### COMPETENCE

- Définir un mode opératoire simple d'usinage

##### PRESENTATION

Ce module de compétence générale se dispense en premier semestre du programme de formation, en même temps que le module usinage pièces simples.

##### DESCRIPTION

L'objectif de ce module est de faire acquérir la compétence générale relative à l'élaboration d'un mode opératoire d'assemblage simple ou d'usinage à partir d'un cahier des charges et d'un plan d'ensemble ou de définition de la pièce. Il vise donc à rendre le stagiaire apte à préparer ses opérations et son travail.

##### CONTEXTE D'ENSEIGNEMENT

- L'atelier de fabrication mécanique se prête bien à la réalisation des travaux pratiques.
- Mettre les stagiaires dans des situations réelles de production en provoquant des relations client- fournisseurs.
- Des butées horaires seront appliquées pour le respect des délais et la notion des temps alloués.

**CONDITIONS D' EVALUATION**

- Travail individuel.
- À partir de :
  - Cahier des charges
  - (qualité, délai et quantité)
  - Plan de définition,
  - Croquis à main levée
  - Connaissance des moyens disponibles
  - De directive
- À l'aide :
  - De documents Standardisés D'entreprise

## 1.2. OBJECTIFS ET ELEMENTS DE CONTENU

OBJECTIFS	ÉLÉMENTS DE CONTENU
<p>1. Comprendre les exigences d'un client</p> <p>A <b><u>Analyser le cahier des charges</u></b></p> <p>2. Comprendre la terminologie technique</p> <p>3. Noter et classer des informations</p> <p>4. Structurer ces informations</p> <p>5. Avoir une rigueur de travail</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Buts et objectifs</li> <li>- Définition d'un cahier des charges : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualité</li> <li>• Délai</li> <li>• Quantité</li> </ul> </li> <li>- Besoin et demande du client</li> <li>- Termes et mots techniques</li> <li>- Ecoute active</li> <li>- Prise des notes</li> <li>- Classement des notes</li> <li>- Structure des informations</li> <li>- Rigueur au travail</li> </ul>
<p>B. <b><u>Analyser le plan de définition ou le plan d'ensemble</u></b>  <b><u>Faire une pré- étude des documents :</u></b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faisabilité technique</li> <li>- Potentialités disponibles en atelier</li> <li>- Utilisation de : <ul style="list-style-type: none"> <li>• La symbolique</li> <li>• Le repérage</li> <li>• La cotation</li> <li>• Les annotations</li> </ul> </li> <li>- Détermination des paramètres importants de départ de l'analyse : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse de la cotation</li> <li>• Les types et nature d'usinage</li> <li>• La matière</li> <li>• La morphologie (volume, poids,...)</li> <li>• Les difficultés</li> <li>• Les critères particuliers</li> </ul> </li> </ul>

**C. Etude et préparation de la mise en fabrication**

- Ordonnancement chronologique des phases et des opérations
- Choix des moyens
- Réalisation des gammes d'usinage avec détermination des éléments suivants :
  - Les isotatismes et les serrages
  - Les surépaisseurs
  - La cotation de fabrication
  - Transfert de cotes
  - Les opérations et leurs outils
    - D'usinage
    - De contrôle
  - Conditions de coupe
  - Les consignes
  - La manutention
  - La Protection (pièces et individus)
  - Le stockage
  - L'implantation des postes de travail

**D. Recherche d'optimisation**

- Estimation des temps opérationnels
- Critique et autocritique
- Proposition d'amélioration avec argumentation
- Etude comparative
- Investissement d'outillage

6. Transcrire des consignes de façon claires et rigoureuses

- Consignes claires et rigoureuses

7. Effectuer un travail soigné

- Travail bien soigné

8. Savoir s'identifier à la personne qui va exécuter le travail

- Les documents sont élaborés pour être utilisés par les « compagnons » du travail

**E. Produire la documentation complète :**

- **plan de fabrication**
- **montage d'usinage**
- **dossier de fabrication**
- **contrat de phase**

- Rédaction du processus de fabrication : gamme d'usinage et de montage
- Contrat de phase
- Dossier de fabrication
- Ordre de fabrication
- Fiche suiveuse
- Traçabilité des documents

## CHAPITRE 2 : LA FONCTION METHODES D'USINAGE

### 2.1. ROLE ET SITUATION DANS L'ENTREPRISE

#### 2.1.1. GÉNÉRALITÉS

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

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

Le temps et les moyens consacrés à la réalisation de chaque fonction dépendent du type de produit fabriqué et de son nombre d'exemplaires (il existe en effet un point d'optimisation entre les coûts des fonctions et le prix de revient unitaire du produit).

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

Les principaux services mis en jeu sont :

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

*N. B. Dans la suite de l'ouvrage le terme bureau des méthodes (noté B. M.) ne concernera que l'usinage.*

#### 2.1.2. RÔLE DU SERVICE MÉTHODES USINAGE

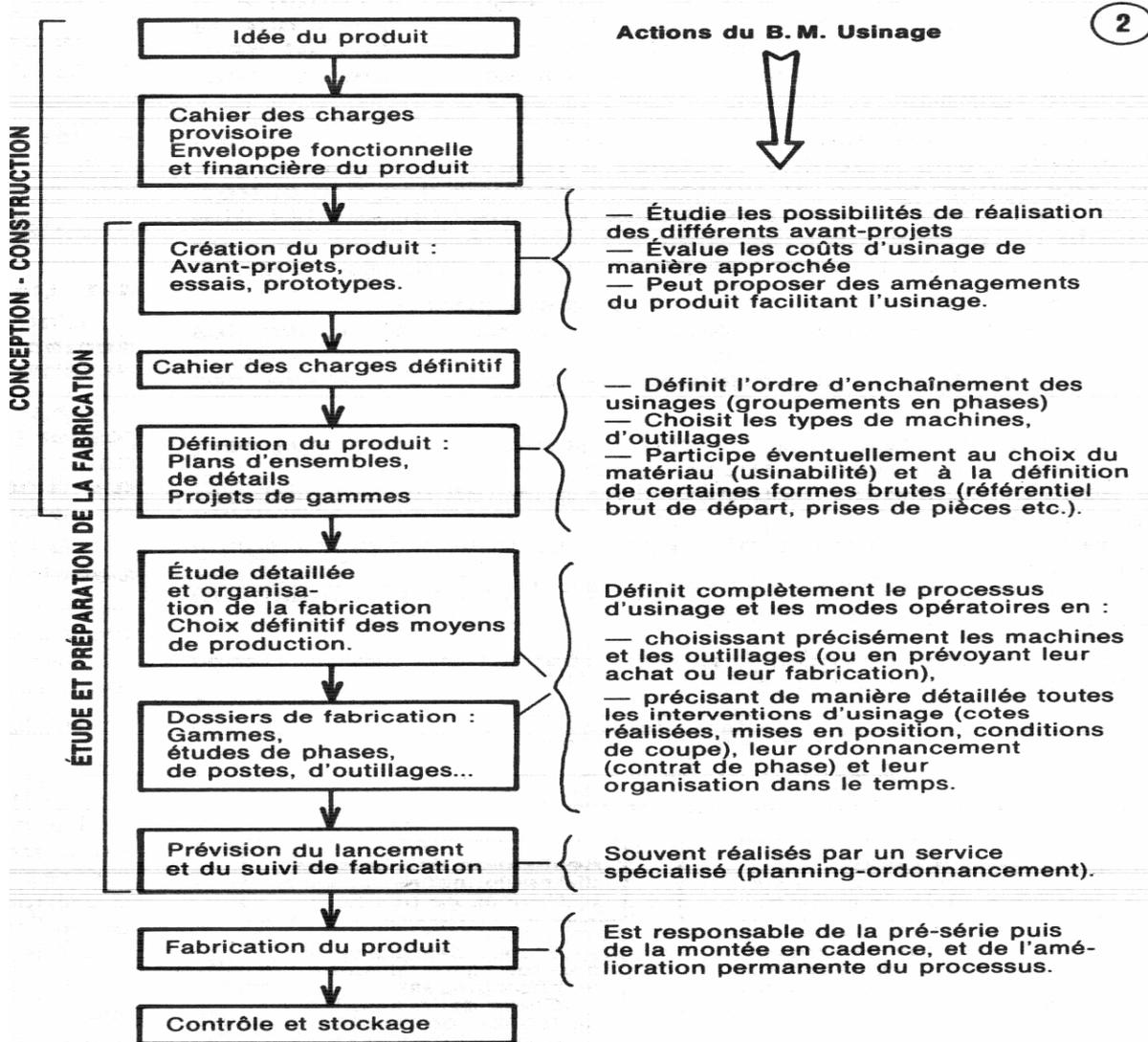
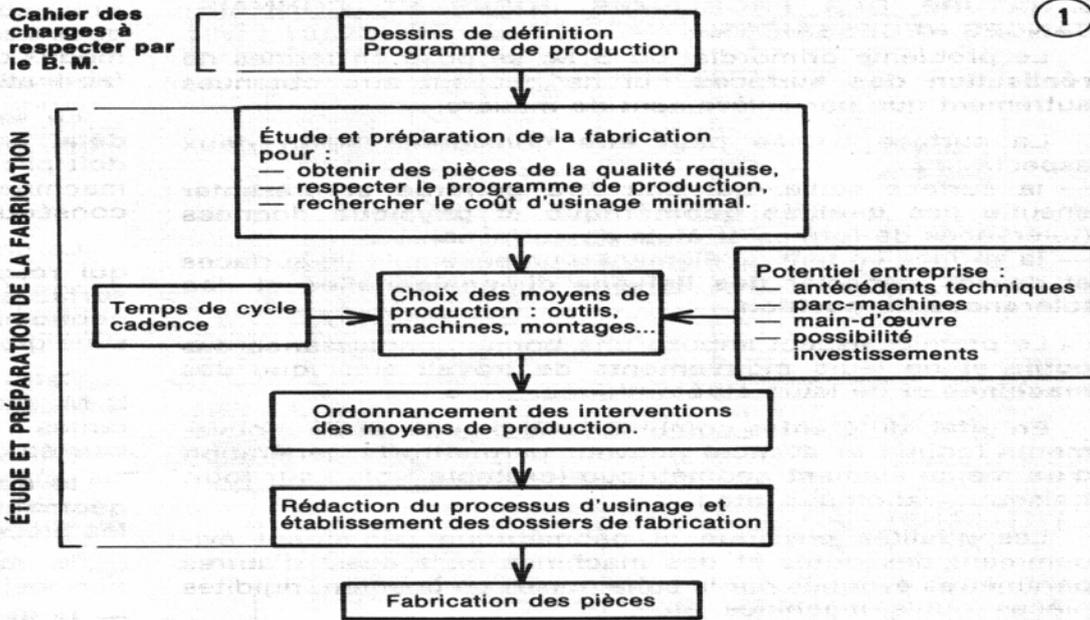
Il est responsable de l'étude et de la préparation de la fabrication.

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

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

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

La figure 2 fait apparaître les diverses actions du B. M. et leurs niveaux d'intervention dans l'organigramme de création d'un produit.



## 2. 2. MOYENS D'ACTION NATURE DES PROBLÈMES POSÉS ET CONNAISSANCES NÉCESSAIRES

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

La surface usinée peut être considérée selon deux aspects :

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

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

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

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

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

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

Dans la mise en position il faut distinguer :

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

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

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

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

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

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

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

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

## CHAPITRE 3 : LA COTATION DE FABRICATION

### 3.1.ÉTUDE DES DISPERSIONS DIMENSIONNELLES

#### 3.1.1. GÉNÉRALITÉS

Les cotes et tolérances géométriques liant les surfaces usinées de la pièce sont obtenues par enlèvement de matière à l'aide des moyens d'usinage (machine, outils, appareillages, porte - pièces). Les limites de précision de ces derniers ne permettent pas de réaliser des cotes rigoureusement identiques d'une pièce à l'autre.

La cote réalisée fait l'objet d'une dispersion.

#### 3.1.2. LES CAUSES DES DISPERSIONS

Les mesurages d'une cote réalisée sur chaque pièce d'une fabrication sérielle, avec une machine préréglée et entre deux changements d'outils, mettent en évidence une dispersion dimensionnelle  $\Delta t$  : différence entre la plus grande et la plus petite des cotes mesurées. ( $\Delta t$  varie avec le nombre de cotes réalisées).

Les causes de la dispersion sont :

- **de caractère systématique (notées  $\Delta s$ )**

cas de l'usure de l'outil évoluant à peu près linéairement en fonction du nombre de cotes réalisées;

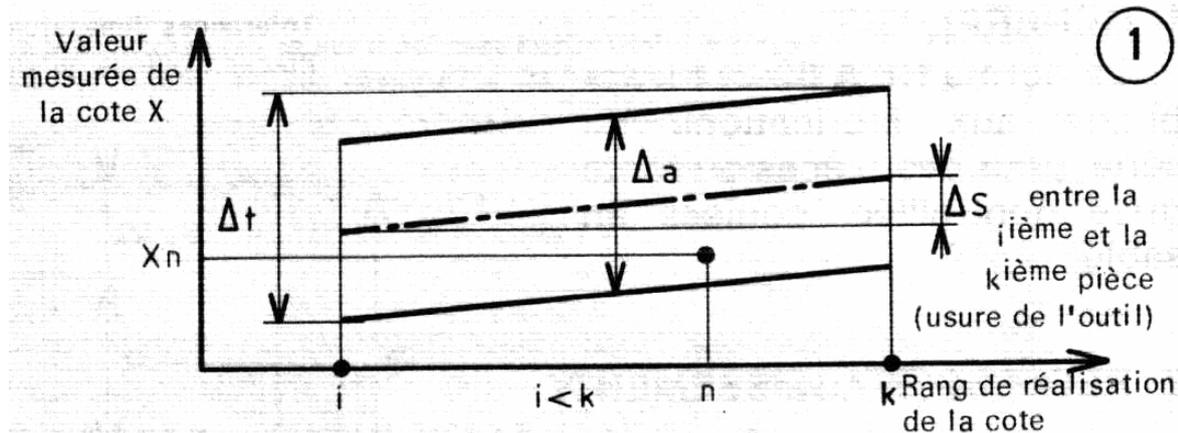
- **de caractère aléatoire (notées  $\Delta a$ )**

cas des incertitudes de mises en position de la pièce sur la machine ou sur le porte- pièce, des déformations de l'ensemble machine- outils- pièce (en fonction des efforts de coupe, de serrage variables d'une pièce à l'autre, des dilatations thermiques, etc.), de la précision et de la fidélité de réponse des butées.

La dispersion totale est  $\Delta t = \Delta a + \Delta s$  (voir figure 1).

Les erreurs géométriques (notées  $\Delta g$ ) intervenant lors des déplacements relatifs des éléments de la machine s'ajoutent à la dispersion globale  $\Delta t$ . Elles sont de même sens et ont sensiblement la même valeur pour les réalisations successives d'une même cote. Leurs valeurs sont définies par les normes de réception de la machine.

*NB : La dispersion causée par les dilatations thermiques des divers éléments de la machine est supprimée si l'usinage est effectué lorsque celle-ci a atteint un régime d'équilibre thermique stable.*



#### 3.1.3. ÉVALUATION DES DISPERSIONS

La dispersion systématique  $\Delta s$  peut être connue par la loi d'usure de l'outil pour un couple outil- matériaux donnés. Elle est généralement faible devant  $\Delta a$ .

La dispersion aléatoire  $\Delta a$  peut être évaluée de deux manières différentes :

- par une approche analytique, en cumulant arithmétiquement ou statistiquement les divers  $\Delta$  intervenant dans le cas considéré,
- par une approche globale issue de l'expérience (références à des cas antérieurs connus).

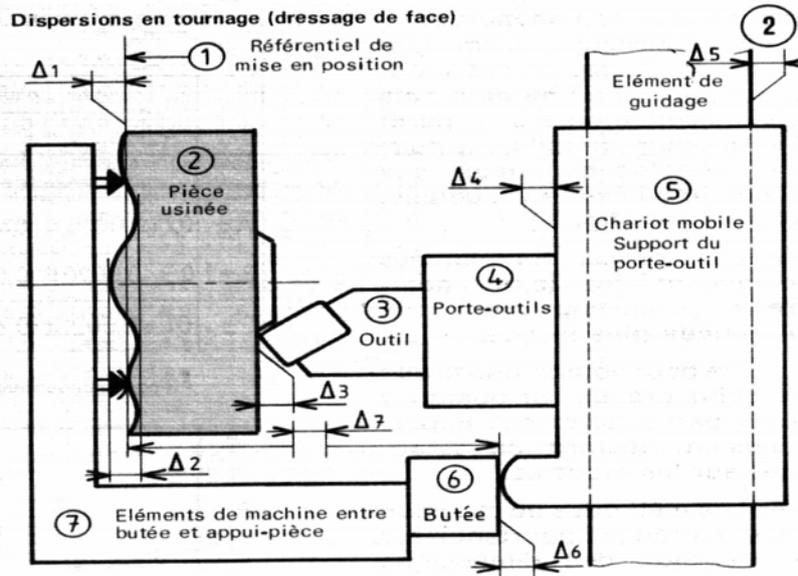
**3.1.4. CONNAISSANCE DES DISPERSIONS**

- La connaissance des dispersions et l'évaluation de leurs ordres de grandeur permettent :
- de choisir un moyen de production (au sens large du terme, ensemble machine- outils - pièce) assurant l'obtention de la cote et de son IT,
  - de déterminer la cote de réglage correspondante,
  - de prévoir la méthode de surveillance (ou de contrôle) de la production.

**3.1.5. EXEMPLE D'ANALYSE DES DISPERSIONS**

La figure 2 schématise un dressage de face en tournage et met en évidence les dispersions qui interviennent.

Le tableau 3 donne quelques valeurs usuelles de dispersions à titre indicatif.



3

**Tableau de valeurs courantes de dispersions**

Élé-ments	Causes des dispersions	Valeurs des dispersions Δ
1	Forme de l'appui (plan, sphérique, strié), usure, rigidité, précision. Effort de maintien...	$\Delta_1 \leq \pm 0,05$ maxi.
2	État macro et microgéométrique de la surface (planéité, dépouille, bavures). Effort de maintien...	Moulage sable $\Delta_2 \approx \pm 0,3$ Moulage coquille $\Delta_2 \approx \pm 0,2$ Moulage sous-pression $\Delta_2 \approx \pm 0,05$ Estampage sans redressage $\Delta_2 \approx \pm 0,2$ Estampage avec redressage $\Delta_2 \approx \pm 0,1$ Surface usinée $\pm 0,005 \leq \Delta_2 \leq \pm 0,1$
3	Usure de l'outil	$0,005 \leq \Delta_3 \leq 0,1$ selon nature, forme et durée de vie de l'outil
4	Rigidité, mise en position et liaison avec 5. Type de mobilité	$\pm 0,005 \leq \Delta_4 \leq \pm 0,05$
5	Précision des guidages efforts	Voir chapitre : machines-outils efforts
6	Type de butée : verniers mécanique électromécanique, électrohydraulique numérique. Vitesse d'accostage.	Voir chapitre : machines-outils
7	Efforts de coupe, dilatations thermiques, vibrations...	Voir chapitre : machines-outils

NB :  $\Delta_1$  et  $\Delta_2$  interviennent à chaque prise de pièce  
 $\Delta_1$  intervient à chaque changement d'outil  
 $\Delta_2$  intervient à chaque pièce pour un travail en butée  
 $\Delta_3, \Delta_5, \Delta_7$  interviennent à chaque pièce pour tout type de travail non unitaire.

## 3.2. CLASIFICACION DES COTES DE FABRICATION

### 3.2.1. GÉNÉRALITÉS

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

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

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

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

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

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

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

### 3.2.2. LES DIFFÉRENTES COTES DE FABRICATION

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

#### 3.2.2.1. COTES DITES «COTES- MACHINES» : NOTEES $U_P$

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

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

Les dispersions intervenant sont :  $\Delta_1$  ;  $\Delta_2$  ;  $\Delta_3$  ;  $\Delta_4$  ;  $\Delta_5$  ;  $\Delta_6$  ;  $\Delta_7$  ;

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

#### 3.2.2.2. COTES APPAREILLAGES : NOTEES $U_A$ .

Les trajectoires des outils réalisant les cotes de fabrication sont imposées par des appareillages dont les positions sont définies par rapport à des référentiels fixés. Les appareillages peuvent:

- **faire partie de la machine** : verniers, butées mécaniques (fixes, à barillet, à came, débrayables). Butées électromécaniques à taquets réglables. Butées électrohydrauliques, arrêts numériques;

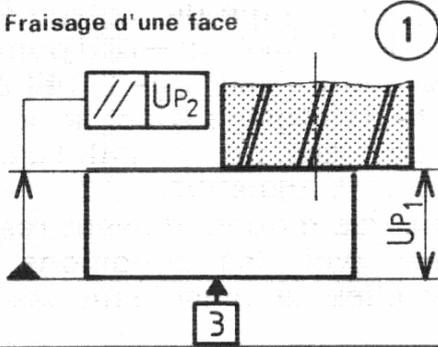
- **être des éléments indépendants de la machine** : plateaux diviseurs, dispositif de copiage et gabarit, masques de perçage, canons guides d'alésages, etc.

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

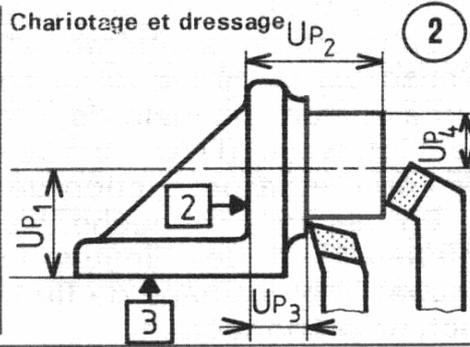
#### 3.2.2.3. COTES- OUTILS : NOTEES $U_O$ ;

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

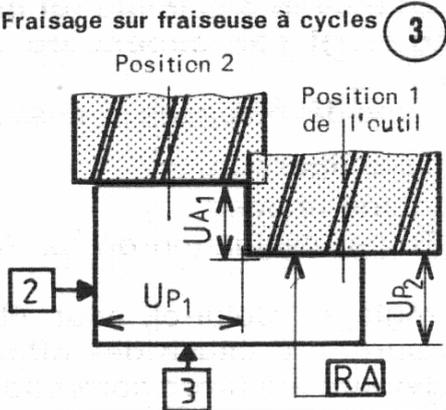
Fraisage d'une face ①



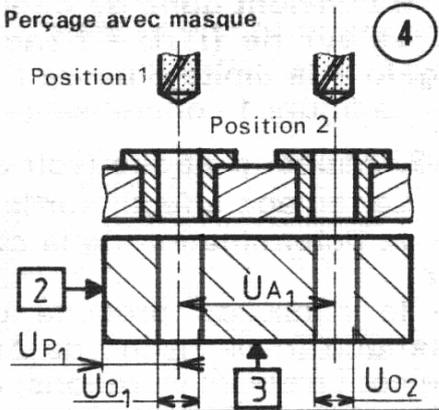
Chariotage et dressage ②



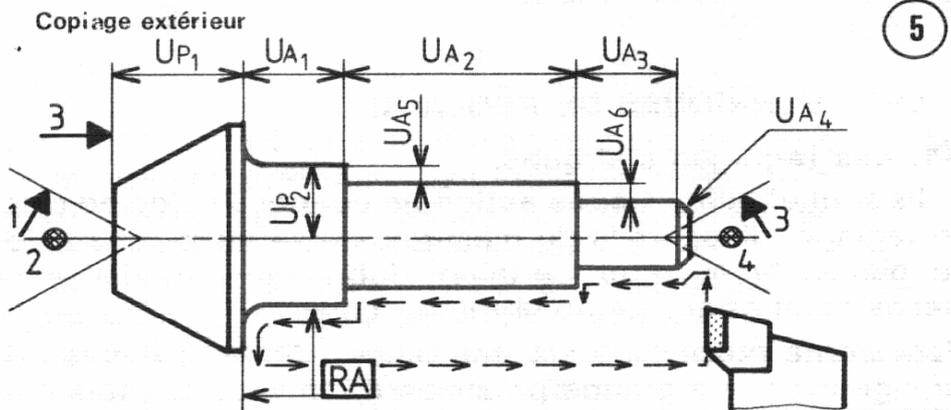
Fraisage sur fraiseuse à cycles ③



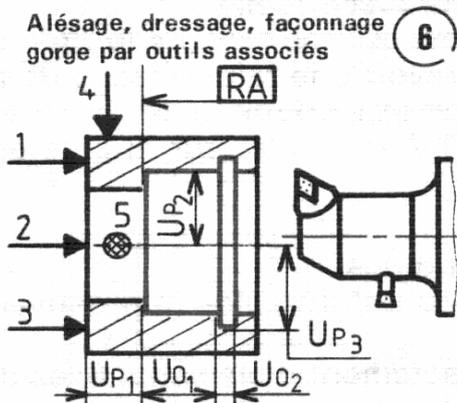
Perçage avec masque ④



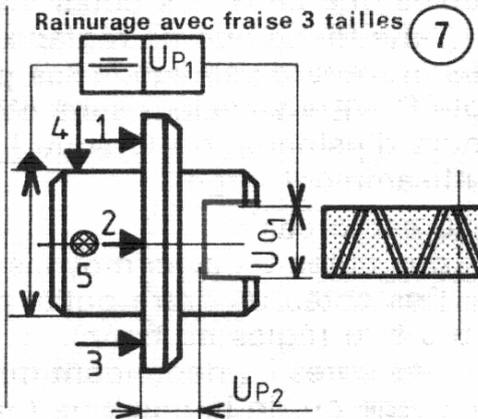
Copiage extérieur ⑤



Alésage, dressage, façonnage gorge par outils associés ⑥



Rainurage avec fraise 3 tailles ⑦



## CHAPITRE 4 : MISE EN POSITION DES PIÈCES

### 4.1. GENERALITES

L'usinage sur machine-outil, d'une surface élémentaire, en respectant la cotation de fabrication, impose :

- de mettre en position la surface à usiner par rapport à l'outil et par rapport aux éléments porte- pièces.
- de maintenir cette position lorsque s'exercent les diverses sollicitations. (Efforts de coupe et de bridage).

### 4.2. ANALYSE DU PROBLEME

Les machines comportent des éléments destinés à recevoir les pièces ou les porte- pièces et des éléments destinés à recevoir les outils de coupe.

Leurs cinématiques permettent divers mouvements relatifs entre ces deux ensembles, de manière à enlever la matière sur les pièces selon des formes et des dimensions fixées.

L'enveloppe de la trajectoire de l'outil peut être définie géométriquement dans un repère O1XYZ attaché aux éléments supports de pièces.

La surface usinée est liée par la cotation de définition à d'autres surfaces de la pièce qui peuvent constituer un autre repère O2XYZ.

La réalisation de la surface, par enlèvement de matière sous l'action de l'outil, impose une mise en coïncidence temporaire des deux repères et un réglage de la trajectoire de l'outil dans le repère O1XYZ afin d'obtenir les liaisons dimensionnelles et géométriques dans le repère O2XYZ.

La résolution de ces problèmes s'effectue lors de l'étude de la mise en position de la pièce.

La norme (NF E 04-013) distingue :

-l'aspect géométrique recouvrant le choix des surfaces qui définissent O2XYZ et la détermination du nombre de degrés de liberté éliminés par chacune d'entre elles.

La mise en position de la pièce peut être incomplète à condition qu'elle définisse, sans ambiguïté, la situation dans l'espace de la surface à usiner (voir figure 4).

A ce niveau de l'étude, la norme (première partie) prévoit l'utilisation d'une symbolisation représentant les degrés de liberté éliminés par les surfaces choisies sur la pièce.

-l'aspect technologique concernant les éléments matériels d'élimination des degrés de liberté et leur situation sur la pièce afin d'assurer une mise et un maintien en position efficaces.

La norme (deuxième partie) prévoit l'utilisation d'une symbolisation plus complète (mise en position et serrage), mettant en évidence les fonctions des éléments technologiques, la nature de la surface de contact, la nature du contact et le type de technologie des éléments.

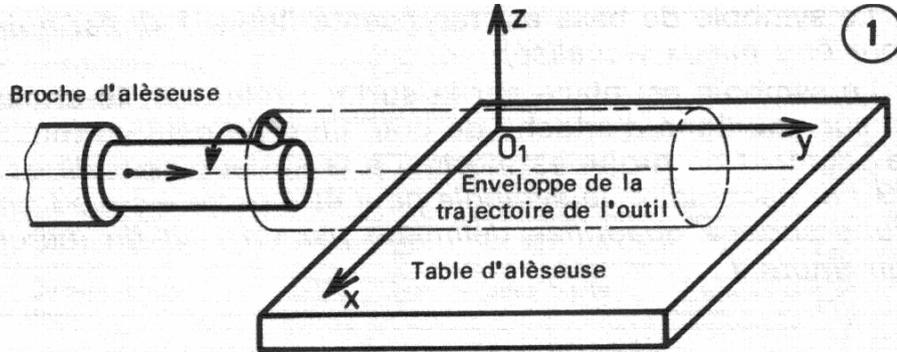
### Exemple

Soit à étudier la mise en position d'une pièce P pour réaliser l'opération d'alésage du diamètre D1 (figure 2).

La figure 1 montre le schéma de la machine (outil et porte- pièce) ainsi que le choix du repère O1XYZ. La figure 2 montre la définition du repère O2XVZ à partir des surfaces F1 et F2 liées à D1 par la cotation. La figure 3 fait apparaître à mettre en coïncidence des repères O1XYZ et O2XYZ ainsi que le réglage de la trajectoire de l'outil.

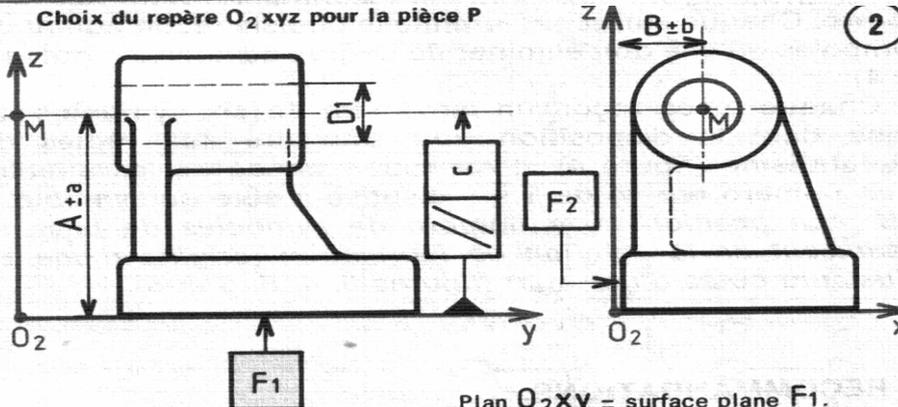
L'étape suivante est le choix du nombre de degrés de liberté éliminés par les différentes surfaces qui définissent le repère O2XYZ et situent D1.

- L'étendue de la surface plane F1 permet d'éliminer trois degrés de liberté (figure 4).
  - La longueur de la surface plane F2 permet d'éliminer deux degrés de liberté (figure 4).
- Du point de vue géométrique, l'élimination du sixième degré de liberté n'est pas nécessaire puisqu'elle ne contribue pas à la définition de la position de la surface usinée dans le repère O2XYZ.



Le repère  $O_1XYZ$  est choisi tel que l'enveloppe de la trajectoire de l'outil soit un cylindre d'axe parallèle à  $O_1y$ .

Choix du repère  $O_2xyz$  pour la pièce P

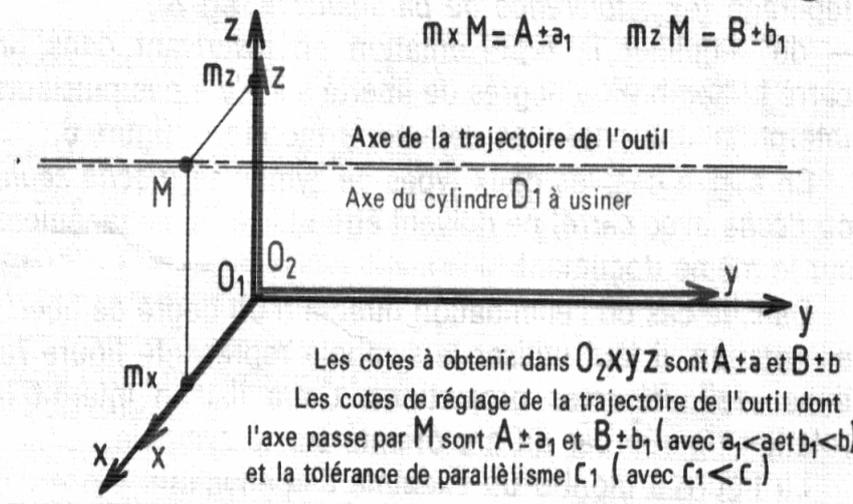


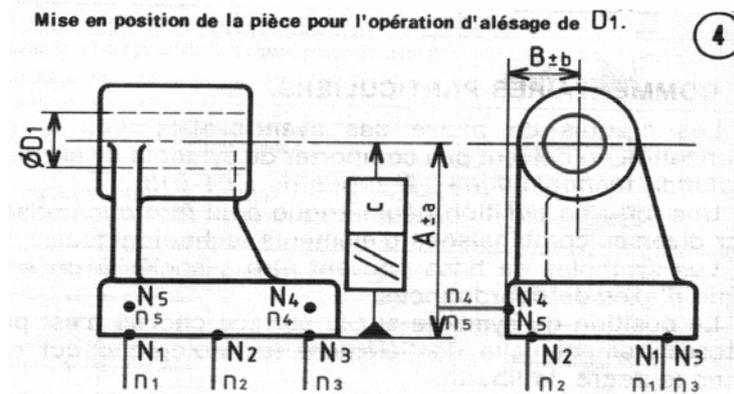
Plan  $O_2xy$  = surface plane F1.

Le repère  $O_2xyz$  est défini par : Plan  $O_2yz$  = surface plane F2.

Le point M est l'intersection de l'axe de  $D_1$  et du plan  $O_2xz$ .

Mise en coincidence des repères  $O_1XYZ$  et  $O_2XYZ$  et réglage de la trajectoire de l'outil





### 4. 3. SYMBOLISATION DE L'ELIMINATION DES DEGRES DE LIBERTE

#### 4. 3. 1. OBJET

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

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

#### 4. 3. 2. SYMBOLE DE BASE

Le symbole de base est représenté figure 1 (Il est noirci pour être mieux visualisé).

Le symbole est placé sur la surface référentielle choisie ou sur une ligne d'attache du côté libre de matière (fig. 2). Le segment de droite est normal à la surface considérée.

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

#### 4. 3. 3. PRINCIPES D'UTILISATION

Le symbole de base indique l'élimination d'un degré de liberté. Chaque surface référentielle choisie reçoit autant des symboles qu'elle doit éliminer de degrés de liberté (figures 3 et 4).

Chaque pièce reçoit un maximum de six symboles de base dont la disposition doit satisfaire aux règles de l'isostatisme (figure 4). Il est recommandé de les affecter d'un numéro repère de 1 à 6 disposé à côté du symbole.

*NB: La position et le nombre de symboles de base se déduisent de la cotation de fabrication (origine d'une ou plusieurs cotes d'usinage) (figures 3, 4, 5, 6 et 8).*

#### 4. 3. 4. RECOMMANDATIONS

Il est recommandé :

- de limiter le nombre de symboles en fonction des cotes de fabrication à réaliser dans la phase (fig. 5);
- d'indiquer la précision avec laquelle doit être assuré le repérage (*ex. : tolérance de parallélisme, fig. 8*);
- de simplifier la représentation en inscrivant dans un carré le nombre de degrés de liberté s'il n'y a pas plusieurs interprétations possibles comme le montre la figure 6.

En aucun cas, les deux types de symboles (*flèche seule ou flèche avec carré*) ne doivent être utilisés simultanément sur le même document.

Dans le cas de l'élimination directe d'un degré de liberté en rotation, il faut utiliser le symbole représenté figure 7a, dans ses différentes projections. Cette liaison interdit la rotation figurée par un arc orienté sur le symbole.

La figure 8 montre un exemple d'application.

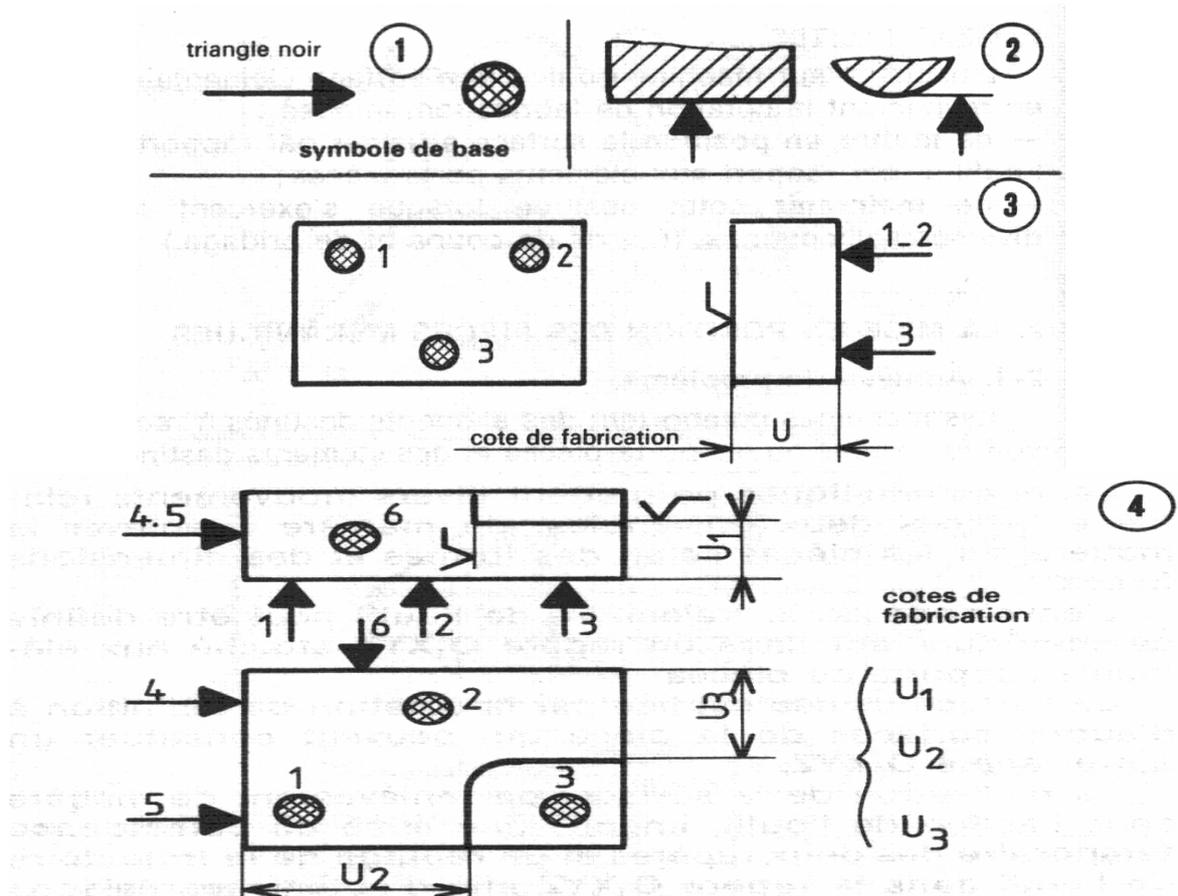
#### 4.3.5. COMMENTAIRES PARTICULIERS

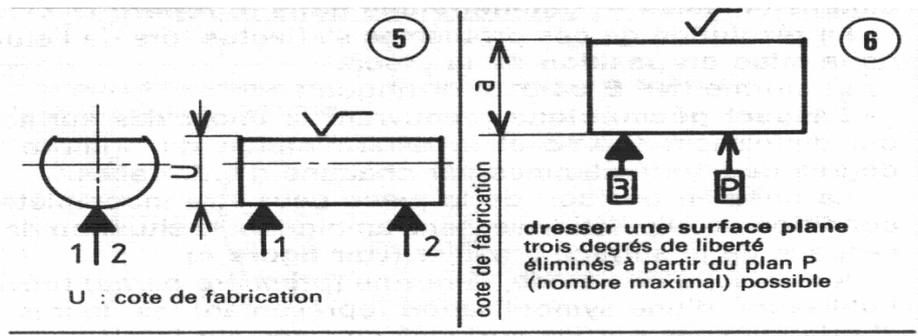
Les croquis de phase des avant-projets d'étude de fabrication ne doivent pas comporter de symbole de serrage (*solution technologique* : ~ partie de E04- 013).

Une mise en position géométrique peut être concrétisée par diverses combinaisons d'éléments technologiques.

Les symboles de base peuvent être associés à un système d'axes de coordonnées.

La position du symbole sur la surface choisie n'est pas nécessairement celle de l'élément technologique qui élimine le degré de liberté.





### 4.3.6. SYMBOLISATION DES ÉLÉMENTS TECHNOLOGIQUES

NF E 04-013

#### 4.3.6.1. OBJET

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

#### 4.3.6.2. DOMAINE D'APPLICATION

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

#### 4.3.6.3. PRINCIPE D'ÉTABLISSEMENT DES SYMBOLES

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

- ✓ la fonction de l'élément technologique (fig. 2),
- ✓ la nature du contact avec la surface (fig. 4),
- ✓ la nature de la surface de contact de la pièce (*brute ou usinée*) (fig. 3),
- ✓ le type de technologie de l'élément (fig. 5).

L'exemple donné figure 1 montre la représentation symbolique d'un élément technologique précisant :

- ✓ la nature du contact (*cuvette*);
- ✓ la fonction de l'élément (*départ de cotation : triangle noirci*);
- ✓ la nature de la surface (*usinée un seul trait*);
- ✓ le type de technologie (*soutien réversible : filetage*).

#### 4.3.6.4. POSITION DU SYMBOLE

Le symbole est placé du côté libre de matière et sa direction est normale à la surface. Il peut être placé sur la surface spécifiée ou sur une ligne d'attache. En représentation projetée, le symbole est placé à l'intérieur du contour apparent de la surface.

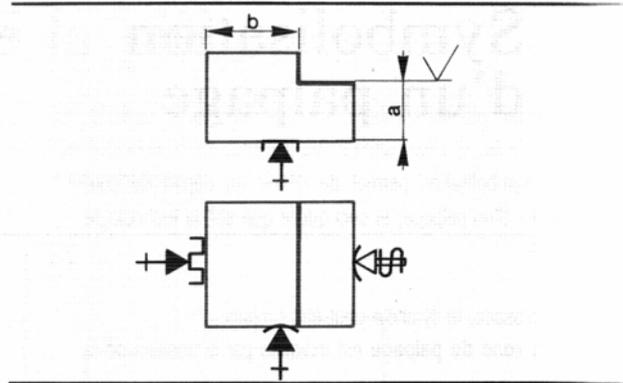
Symboles de base essentiels				
Mise en position rigoureuse		Immobilisation, ou prélocalisation, ou opposition aux déformations ou aux vibrations	Centreurs	
Départ de cotation	ou autre forme		complet	dégagé (locating)
Flèche double sur surface brute Flèche simple sur surface usinée				
Symboles composés les plus courants				
sur surfaces brutes		sur surface usinées		
	contact fixe bombé		appui fixe avec touche plate	
	mors strié à serrage concentrique ou coaxial		centrage fixe	
	vé fixe		cuvette axile et serrage, réalisant un centrage court	
	vé mobile guidé et serrage		vé fixe	
	2 ou 3 points guidés, touches bombées, avec serrage		contact éclipseable dégagé	
	cuvette axile avec serrage, réalisant un centrage court		système concentrique ou coaxial	
	serrage simple		système symétrique	
	serrage sur palonnier (articulé)		contact éclipseable dégagé	
			action réversible (élastique)	
			serrage simple	
			palonnier de serrage à 2 ou 3 touches plates	

Figure 15 — Symboles de mise en position et de bridage (norme NF E O4O13)

## Exemples d'applications

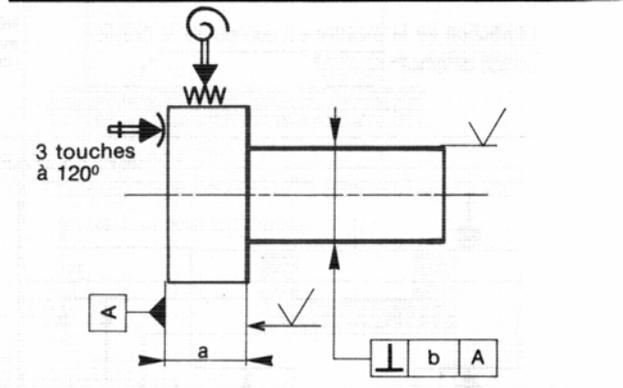
### EXEMPLE 1 :

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



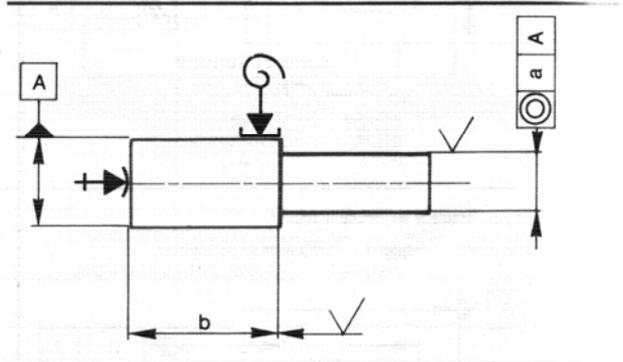
### EXEMPLE 2 :

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



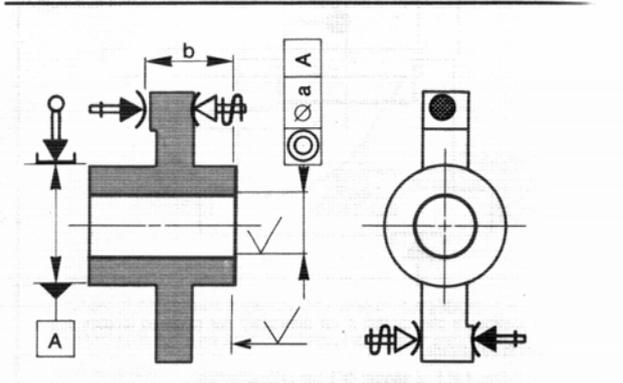
### EXEMPLE 3 :

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

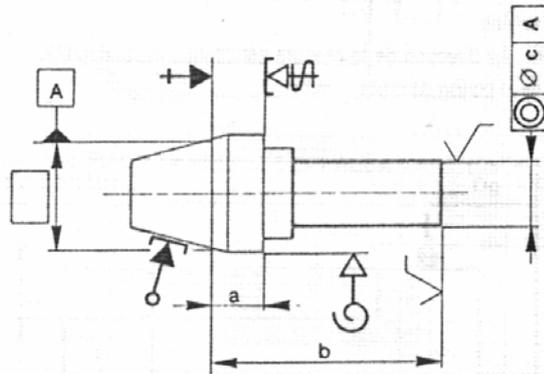


### EXEMPLE 4 :

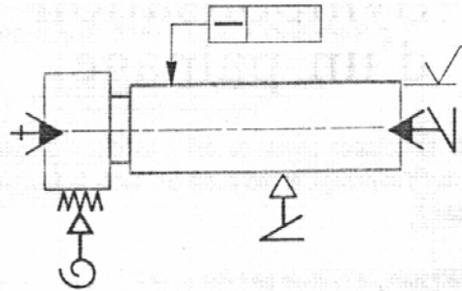
- Centrage long sur une surface brute (tolérance de coaxialité **a**).
- Butée sur une surface brute par une touche fixe à contact ponctuel (cote **b**).
- Orientation sur une surface brute par une touche fixe à contact ponctuel.
- Serrage s'exerçant sur deux surfaces brutes par deux dispositifs à contacts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



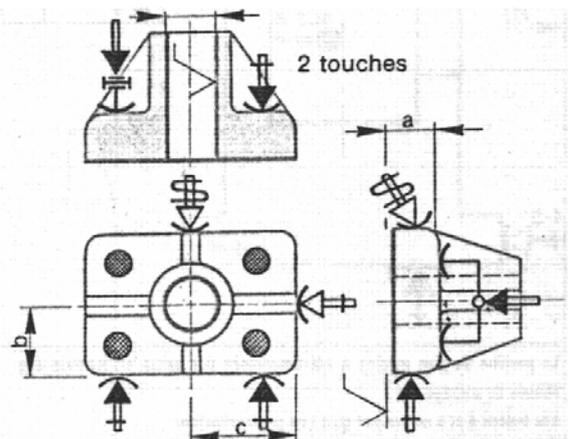
- Centrage long sur la surface conique usinée et butée fixe au niveau du plan de jauge (cotes **a**, **b** et tolérance de coaxialité **c**).
- Serrage s'exerçant sur une surface usinée par un dispositif à contact plan.
- Entraînement par un dispositif flottant, à serrage concentrique et à contacts lisses.



- Mise en position axiale et radiale par une pointe fixe et une contrepointe à réglage irréversible.
- Butée sur la pointe fixe.
- Entraînement par un dispositif flottant, à serrage concentrique et à contacts striés.
- Lunette à suivre pour éviter une flexion excessive de la pièce sous les efforts de coupe (tolérance de rectitude).

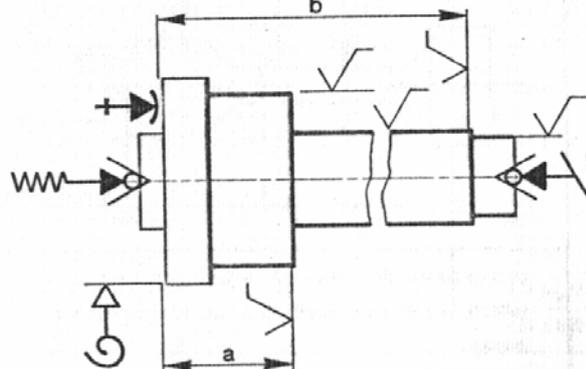


- Appui sur une surface brute par deux touches fixes et deux touches palonnées à contacts ponctuels (cote **a**).
- Orientation sur une surface brute par deux touches fixes à contacts ponctuels (cote **b**).
- Butée sur une surface brute par une touche fixe à contact ponctuel (cote **c**).
- Serrage sur une face brute par un dispositif à contact ponctuel.



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

- Butée sur une surface usinée par une touche fixe à contact ponctuel (cotes **a** et **b**).
- Entraînement par un dispositif flottant, à serrage concentrique et à contacts lisses.



## CHAPITRE 5 : POSITIONNEMENT ET MONTAGE D'USINAGE

Les dimensions des éléments d'usinage et leurs tolérances géométriques sont définies par rapport à des surfaces de référence qu'il faut matérialiser dans le montage de la pièce à usiner sur la machine-outil. On s'appuie autant que possible sur le principe de l'isostatisme pour positionner la pièce de façon univoque dans un référentiel absolu lié à la machine-outil ou, éventuellement, au montage d'usinage. Ce principe consiste à éliminer les 6 degrés de liberté d'une pièce solide dans l'espace généralement en appuyant la pièce sur 6 points répartis judicieusement dans l'espace. La figure 1. montre l'application du principe de l'isostatisme dans le cas de pièces prismatiques. Naturellement, dans la réalité, les supports de pièces ne sont généralement pas ponctuels et l'on se contente des surfaces de petites dimensions finies qui s'approchent du cas idéal des 6 points.

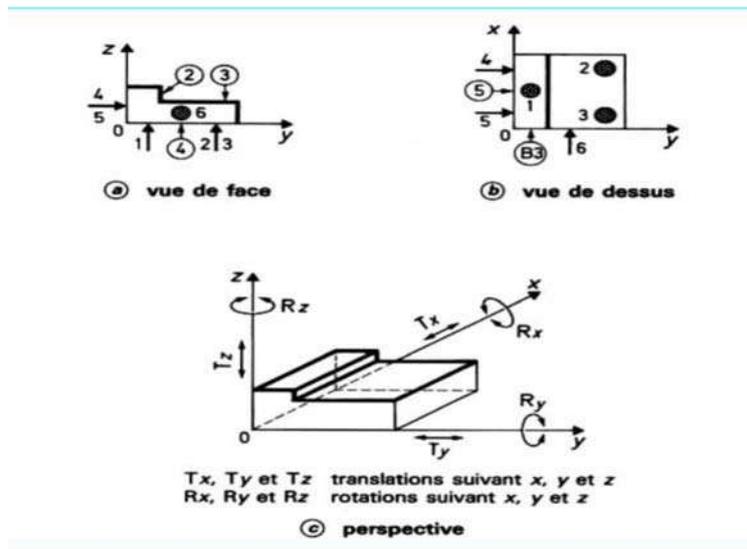


Figure 1 — Principe de la mise en position isostatique [3]

On réduit ainsi notablement les erreurs de fabrication des pièces qui résultent des erreurs de positionnement dont l'influence peut être déterminante. Un exemple de montage d'usinage industriel qui obéit au principe de l'isostatisme est donné par la figure 2.

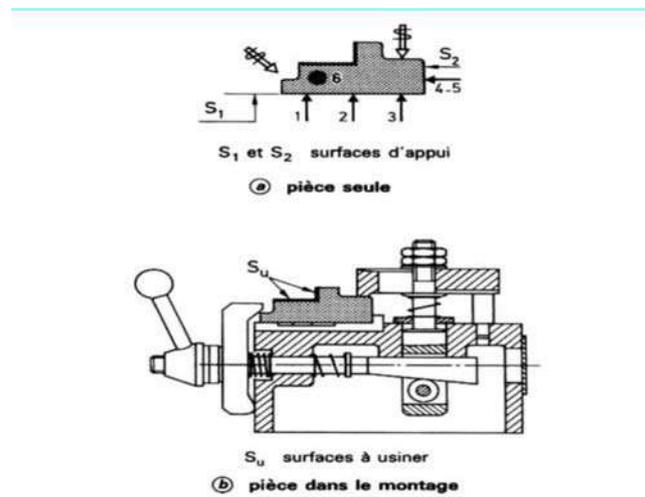


Figure 2 — Exemple de montage isostatique industriel

Le choix des surfaces d'appui (surfaces de départ pour le premier positionnement et surfaces de référence en cours d'usinage) se fait suivant des critères de précision et de faisabilité, en particulier:

- les surfaces d'appui doivent être aussi étendues que possible et doivent être pleines, sans trous ni rainures;
- les surfaces de référence pour des usinages précis doivent être les surfaces de départ de manière à ne pas cumuler les erreurs par transfert de cotes;
- l'utilisation d'un alésage comme surface de référence est moins précise du fait de l'accumulation d'erreurs venant de la tolérance sur le diamètre de l'alésage, du jeu entre l'alésage et la butée de centrage et d'erreurs de position de la butée ;
- la stabilité du montage sous l'effet des forces de coupe et d'inertie doit être vérifiée ;
- une bonne accessibilité à la machine-outil pour positionner la pièce sur le montage est très importante ;
- un dispositif de montage économique, si possible standard, est préférable à l'utilisation de montages particuliers.

La représentation des **appuis et maintiens en position des pièces** a fait l'objet d'une normalisation (NE E 04-013) qui schématise la mise en position des pièces sur leurs montages et définit aussi les moyens courants de bridage.

## CHAPITRE 6 : ETUDES DE TRANSFERT DES COTES

# Transfert de cotes

■ Le bureau des méthodes établit l'avant-projet d'étude de fabrication, sa vérification et le calcul des cotes fabriquées à partir des spécifications (cotes fonctionnelles, tolérances géométriques, états de surface, etc.) du dessin de définition effectué au bureau d'études.

■ Les moyens de fabrication prévus dans l'avant-projet d'étude de fabrication permettent parfois de réaliser directement certaines cotes fonctionnelles. Ces cotes sont appelées : « cotes directes ». Les autres cotes réalisées indirectement nécessitent un calcul appelé : « transfert de cotes ».

### DÉFINITION :

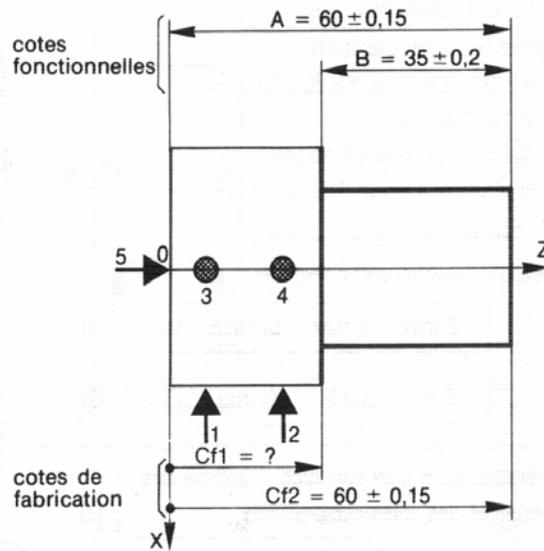
**Le transfert de cotes est un moyen de calcul permettant la détermination des cotes utiles à la fabrication.**

### EXEMPLE :

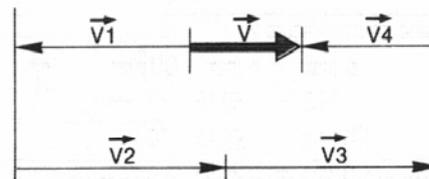
Soit à réaliser un axe épaulé, les cotes fonctionnelles du dessin de définition à respecter suivant l'axe  $\vec{OZ}$  sont  $A = 60 \pm 0,15$  et  $B = 35 \pm 0,2$ .

La cote A est réalisée directement à l'aide de la cote fabriquée Cf2.

La cote B est réalisée indirectement à l'aide de la cote fabriquée Cf1 ; un transfert de cote est donc nécessaire.



### CHAÎNE DE COTES



## Chaîne de cotes

Dans un transfert de cotes, on remplace, pour la commodité du raisonnement, des cotes par des vecteurs. On applique ensuite les règles relatives à une somme vectorielle :

$$\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \vec{V}_3 + \vec{V}_4$$

$\vec{V}$  = vecteur résultant.

$\vec{V}_1, \vec{V}_2, \vec{V}_3, \vec{V}_4$  = vecteurs composants.

**Le vecteur condition est la cote qui est transférée. Elle n'apparaît pas dans les cotes de fabrication.**

### REMARQUES :

- Il n'y a qu'une seule condition par chaîne.
- Il ne doit y avoir qu'une seule inconnue par chaîne.

$$\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \vec{V}_3 + \vec{V}_4$$

$$V \max = (V_2 \max + V_3 \max) - (V_1 \min + V_4 \min)$$

$$V \min = (V_2 \min + V_3 \min) - (V_1 \max + V_4 \max)$$

**La tolérance sur la cote condition est égale à la somme des tolérances des cotes composantes.**

## Étude du transfert de cotes

### Exemples

Reprenons le cas de l'axe épaulé :  
 La cote à transférer est la cote  $B = 35 \pm 0,2$ .  
 B est la cote condition.  
 Cf1 et Cf2 sont les cotes composantes.  
 On connaît  $Cf2 = A$  et l'on doit calculer Cf1.

#### CALCUL DE Cf1 :

Les relations suivantes sont à respecter :

$$\boxed{B \text{ max} = A \text{ max} - Cf1 \text{ min.}} \quad (1)$$

$$\boxed{B \text{ min} = A \text{ min} - Cf1 \text{ max.}} \quad (2)$$

$$\boxed{\text{Tolérance de la cote condition} = \text{somme des tolérances des cotes composantes.}} \quad (3)$$

- La cote condition B peut être prise indifféremment au maximum (application de la relation (1)) ou au minimum (application de la relation (2)).
- La tolérance de Cf1 est déterminée à l'aide de la relation (3).

#### CALCUL DE Cf1 À L'AIDE DES RELATIONS (1) ET (3) :

Voir la chaîne de cotes figure 2.

$$\begin{aligned} (1) \quad B \text{ max} &= A \text{ max} - Cf1 \text{ min} \\ 35,2 &= 60,15 - Cf1 \text{ min} \\ Cf1 \text{ min} &= 60,15 - 35,2 \\ Cf1 \text{ min} &= 24,95 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (3) \quad \text{Tolérance condition} &= \text{Somme des tolérances} \\ \text{Tolérance B} &= \text{Tolérance A} + \text{Tolérance Cf1} \\ 0,4 &= 0,3 + \text{Tolérance Cf1} \\ \text{Tolérance Cf1} &= 0,1 \end{aligned}$$

$$\boxed{Cf1 = 24,95 \begin{matrix} + 0,1 \\ 0 \end{matrix}}$$

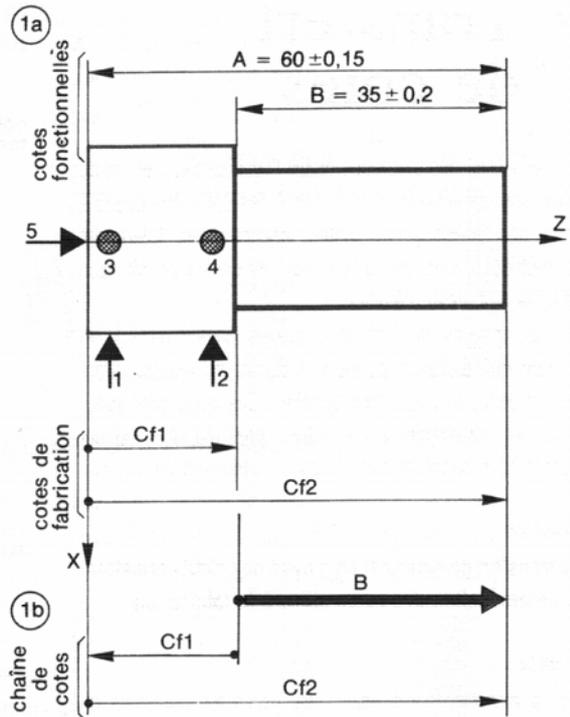
#### CALCUL DE Cf1 À L'AIDE DES RELATIONS (2) ET (3) :

Voir la chaîne de cotes figure 3.

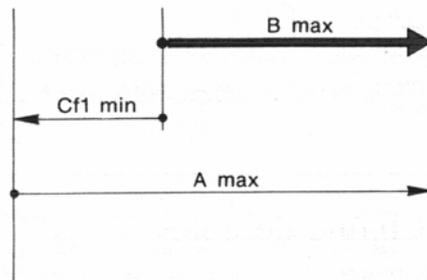
$$\begin{aligned} (2) \quad B \text{ min} &= A \text{ min} - Cf1 \text{ max} \\ 34,8 &= 59,85 - Cf1 \text{ max} \\ Cf1 \text{ max} &= 59,85 - 34,8 \\ Cf1 \text{ max} &= 25,05 \end{aligned}$$

$$(3) \quad \text{Tolérance Cf1} = 0,1$$

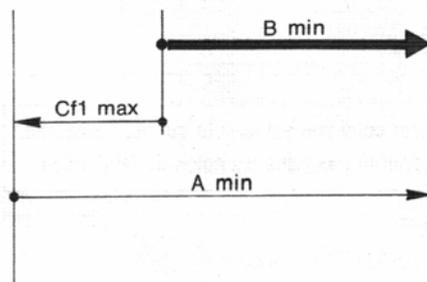
$$\boxed{Cf1 = 25,05 \begin{matrix} 0 \\ - 0,1 \end{matrix}}$$



#### 2) CHAÎNE DE COTES N° 2



#### 3) CHAÎNE DE COTES N° 3



## Conditions pour qu'un transfert de cotes soit possible

- La relation concernant les tolérances doit être satisfaite.

$$\text{Tolérance de la cote condition} = \text{somme des tolérances des cotes composantes.} \quad (3)$$

- La tolérance de la cote calculée doit être compatible avec le procédé d'usinage envisagé. C'est le cas de l'exemple précédemment étudié. On peut rencontrer également deux autres cas que l'on va étudier.

### PREMIER CAS :

**La tolérance de la cote condition est inférieure à la somme des tolérances des cotes composantes.** Le transfert est théoriquement impossible. On peut :

- soit consulter le bureau d'étude afin d'augmenter la tolérance de la condition,
- soit diminuer la tolérance d'une ou de plusieurs composantes.

### EXEMPLE 1 :

Si  $A = 60 \pm 0,25$  et  $B = 35 \pm 0,15$ , la tolérance de  $Cf1$  est négative et le transfert est théoriquement impossible.

### DEUXIÈME CAS :

**La relation 3 est satisfaite mais la tolérance de la cote de fabrication est trop faible** pour la réaliser à l'aide des moyens prévus.

La solution est identique à celle du premier cas.

### EXEMPLE 2 :

Si  $A = 60 \pm 0,15$  et  $B = 35 \pm 0,17$ , la tolérance de  $Cf1 = 0,04$  ; cette valeur est trop faible, car la cote est réalisée en tournage ébauche et la dispersion sur la butée est plus grande que la tolérance.

### REMARQUES :

- Dans le cas où la modification des tolérances n'est pas possible ou n'est pas acceptée par le bureau d'étude, il faut changer le référentiel et réaliser la cote directement.

### EXEMPLE 3 :

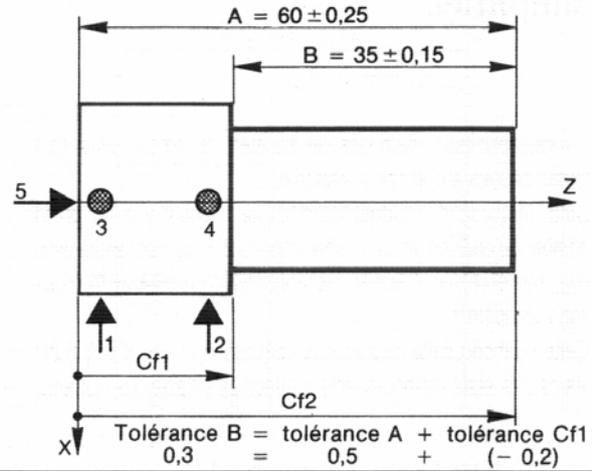
Les cotes A et B sont réalisées directement sur un tour semi-automatique.

- Le transfert de cotes réduit la tolérance de la cote usinée, et entraîne une augmentation du coût de la fabrication. Chaque fois que cela est possible, il doit être évité.

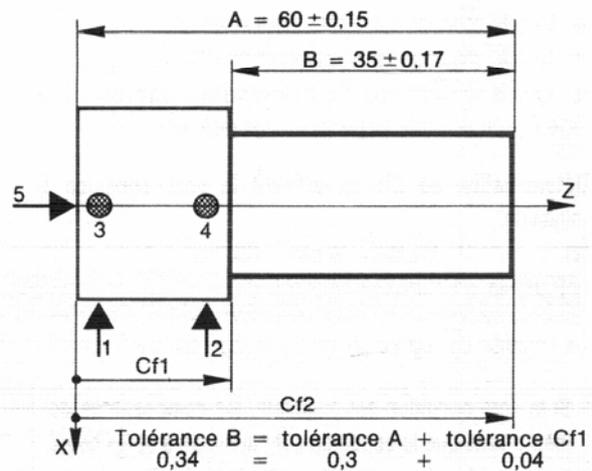
### REMARQUE :

Quelle que soit la cotation de fabrication, le contrôle définitif devra se faire sur les cotes fonctionnelles données par le dessin de définition.

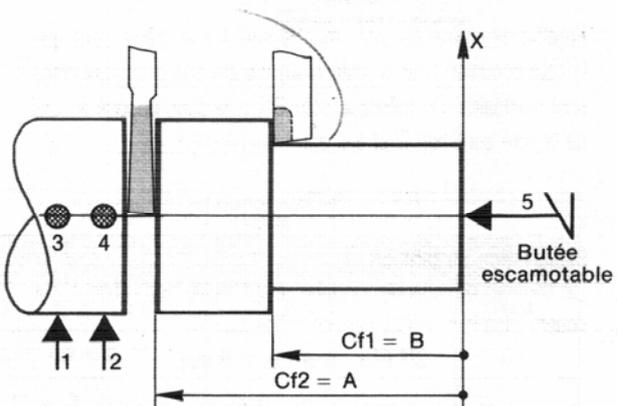
### EXEMPLE 1



### EXEMPLE 2



### EXEMPLE 3



## CHAPITRE 7 : ANALISE DE FABRICATION. CHOIX DES SURFACES DE REFERENCE ET REGLAGE DES APPUIS

### 7.1. SURFACES DE REFERENCE D'UNE PIECE

Les surfaces des pièces sont situées fonctionnellement les unes par rapport aux autres par des indications.

Ces indications sont notées sur le dessin de définition de produit (fig. 1) :

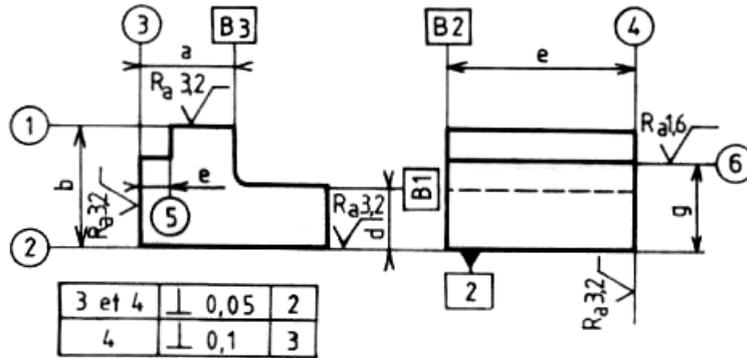


Figure 1

- La surface usinée (1) est repérée en dimension par rapport à la surface usinée (2).
- Les surfaces usinées 3 et 4 sont repérées en position ( $\perp$ ) par rapport à (2).
- La surface (2) est repérée en dimension par rapport à la surface brute B<sub>1</sub>.

Graphe sagittal des relations entre l'ensemble des surfaces qui restent brutes et l'ensemble des surfaces qui sont usinées (fig. 2).

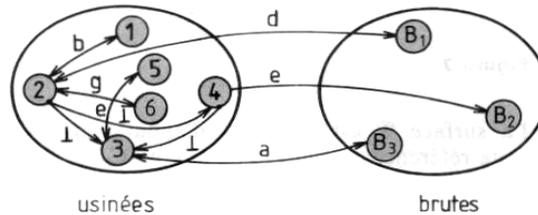


Figure 2

Tableau récapitulatif (relation entre les surfaces) (fig. 3)

Les surfaces de référence	Relations	
	1	2
2	B <sub>1</sub>	
3	B <sub>3</sub> ; 2	
4	B <sub>2</sub> ; 2 ; 3	
5	3	
6	2	

## 7.2. USINAGE

Lors de la mise en position d'une pièce en vue d'une sous phase d'usinage, on peut être amené à distinguer :

- les surfaces de référence de définition ;
- les surfaces de référence d'appui ; elles assurent la mise en position de la pièce dans le porte- pièce ;
- les surfaces de référence de réglage ;
- la ou les surfaces usinées dans la sous- phase considérée.

### 7.2.1. RELATIONS ENTRE CES DIFFERENTES SURFACES

#### 7.2.1.1. SURFACES DE REFERENCE DE DEFINITION

Les surfaces de référence de définition sont utilisées comme surface d'appui de la pièce dans la porte- pièce.

##### EXEMPLE :

Usinage de (5) et (6) montage de la pièce sur une fausse table (fig. 4) :

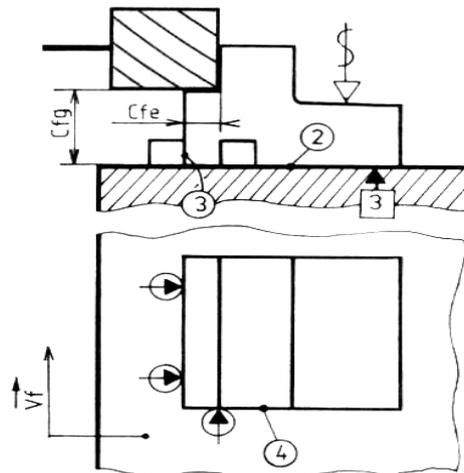


Figure 4.

La liaison avec (2) assure la dimension  $g$ .

La liaison avec (3) assure la dimension  $e$ .

Il y a identité entre les cotes de fabrication  $C_{fg}$  et  $C_{fe}$ , et les dimensions  $g$  et  $e$  indiquées sur le dessin.

#### 7.2.1.2. SURFACES D'APPUI DE LA PORTE-PIECE

Les surfaces d'appui de la porte-pièce sont différentes des surfaces de référence de définition.

On distingue les cas suivants :

- travail unitaire
- travail en série.

##### EXEMPLE 1

Réalisation d'un épaulement (fig. 5) :

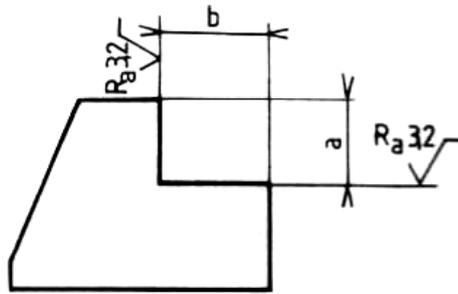


Figure 5

Travail en série (fig. 6)	Travail unitaire (fig. 7)
<p data-bbox="204 667 783 734">La machine est réglée pour toute la série de pièces.</p> <div data-bbox="316 757 730 1131" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="480 1153 587 1187">Figure 6</p> <p data-bbox="204 1205 783 1305">La surface (2) est référence de définition et d'appui et sert de référence de réglage du plan vertical de travail de la fraise : <math>C_{fb} = b</math>.</p> <p data-bbox="204 1323 783 1424">La surface (1) est référence d'appui et de réglage du plan horizontal de travail de la fraise.</p> <p data-bbox="204 1442 836 1570">Il faut calculer la cote de fabrication <math>C_{fa}</math> Pour garantir la dimension <math>a</math> sur toutes les pièces de la série. L'opération s'appelle : transfert de cote.</p> <p data-bbox="204 1592 368 1626"><b>Conclusion</b></p> <ul data-bbox="204 1644 858 1771" style="list-style-type: none"> <li>• En travail série si les surfaces de référence d'appui sont différentes des surfaces de référence de définition, les cotes de fabrication sont différentes des cotes fonctionnelles.</li> </ul>	<p data-bbox="880 667 1422 745">L'opérateur tangente sur (3) pour régler la cote <math>C_{fa}</math> et sur (2) pour régler <math>C_{fb}</math>.</p> <div data-bbox="991 779 1417 1093" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="1145 1111 1252 1144">Figure 7</p> <p data-bbox="880 1160 1422 1301">La surface (1) est référence d'appui mais reste référence de réglage de la cote <math>C_{fa}</math>. Il n'y a pas de calcul : cote de fabrication <math>C_{fa} = a</math>.</p> <p data-bbox="880 1335 1054 1368"><b>Conclusion</b></p> <p data-bbox="880 1391 1501 1514">En travail unitaire si la surface de référence de définition sert de surface de référence de réglage, les cotes de fabrication sont identiques aux cotes fonctionnelles.</p>

**EXEMPLE 2**

Dressage des surfaces 1 et 2 (fig. 8).

La surface 1 étant beaucoup plus étendue que 2, on choisit d'usiner 1 avant 2 afin de garantir le parallélisme 0,05 et une bonne stabilité de la pièce en cours d'usinage (fig. 9 et fig. 10).

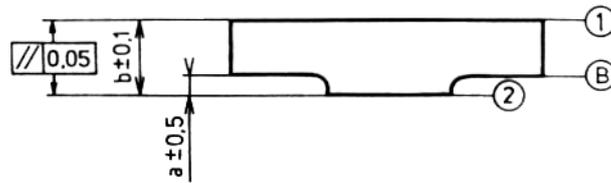
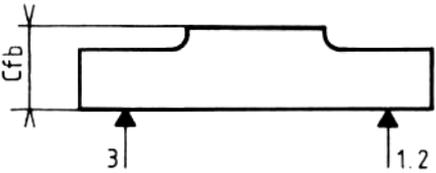
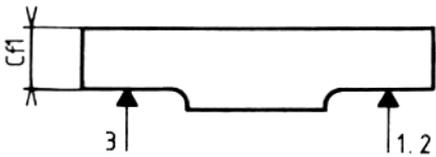
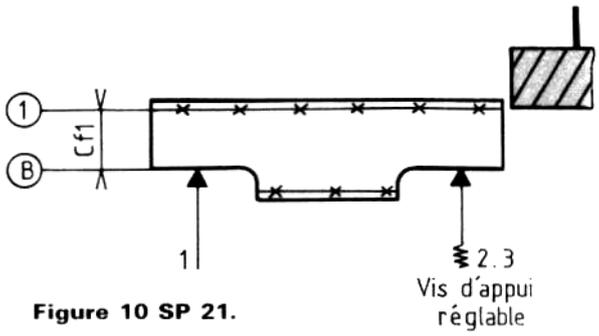


Figure 8.

Travail en série (fig. 9)	Travail unitaire (fig. 10)
<p>• P 10 usinage de ①</p>  <p>• P 20 usinage de ②</p>  <p><b>Figure 9.</b></p> <p>Le référentiel d'appui étant différent du référentiel de définition, la dimension <math>a</math> est obtenue indirectement par différence entre <math>C_{fb}</math> et <math>C_{f1}</math>. Il faut calculer <math>C_{f1}</math>.</p>	<p><u>Processus retenu :</u></p> <p>P 10 traçage des traits de ceinture des faces 1 et 2 ;  P 20 dressages par fraisage ou par rabotage ;  SP 21 usinages de 1 pièce en appui sur B ;  SP 22 usinage de 2 pièces en appui sur 1.</p>  <p><b>Figure 10 SP 21.</b></p> <p>➤ La surface B sert de référence d'appui, elle assure la mise en position.  ➤ Le trait de ceinture de 1 sert de référence de réglage :  - du référentiel d'appui par rapport à la surface 1 (le trait de ceinture doit être compris dans un plan parallèle à la surface de génération de l'outil) ;  - de la distance du plan B à la surface de génération de l'outil (<math>C_{f1}</math>).</p>

## 7.2.2. REGLES SUR LE CHOIX DES SURFACES DE REFERENCE D'APPUI

### Travail en série

- Toujours rechercher l'identité entre les cotes fonctionnelles et les cotes fabriquées.
- Les surfaces de mise en position seront celles qui définissent la position des surfaces à usiner.

• **NOTA** : Des impératifs d'ordre technique ou économique peuvent conduire à ne pas respecter ces règles, on procède alors à un transfert de cote.

### Travail unitaire

- Les surfaces de mise en position doivent permettre de réaliser le maximum d'opérations d'usinage sans démontage de la pièce.
- Il n'y a pas toujours identité entre le référentiel de mise en position et le référentiel de définition.
- Le réglage de la mise en position de la pièce par rapport à la porte- pièce peut être réalisé :
  - en partant du tracé de la surface à usiner (trait de ceinture) ;
  - en partant des surfaces de référence de définition de la surface à usiner.

## 7.3. ORDRE DE PRIORITE DES SURFACES DE REFERENCE

### CALCUL DE COTE DE FABRICATION EN TRAVAIL UNITAIRE

#### EXEMPLE :

Réaliser dans la pièce (fig. 11) le trou  $\varnothing b$  et son lamage.

#### 7.3.1. DESSIN DE DEFINITION PARTIELLE

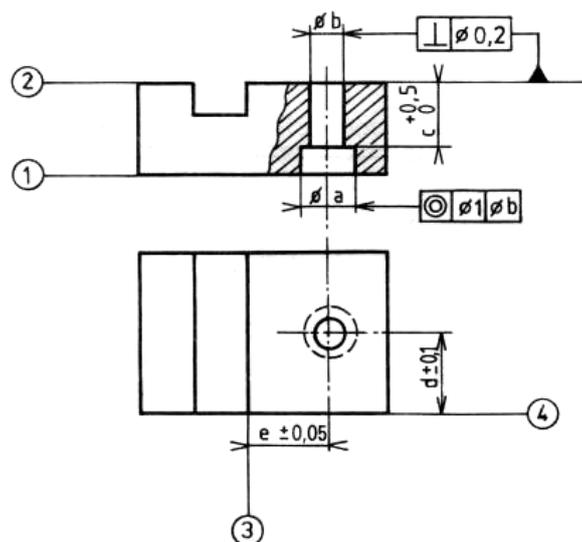


Figure 1.

### 7.3.2. DESSIN DE LA PHASE PERÇAGE LAMAGE (FIG.2)

Rien ne s'oppose à l'application de la **règle : surfaces de référence de définition = surfaces de référence d'appui.**

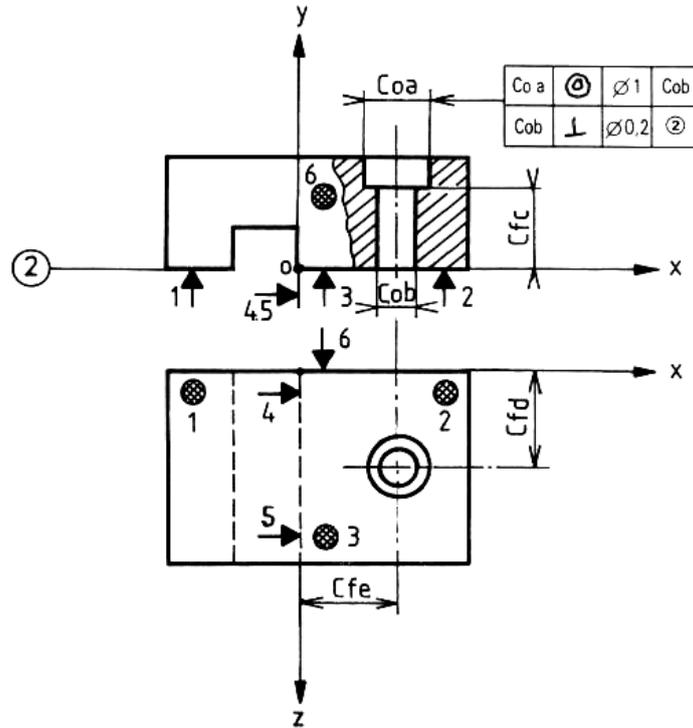


Figure 2

Ordre de priorité dans le choix des surfaces de référence (fig. 3) :

#### Surfaces de référence

Cotes suivant axes	Surface d'appui	Précision	Type de liaison	Observations	Hiérarchisation
oy	2	0,2	appui plan	l'appui assure la liaison entre le trou et la face 2	référence principale de repérage
ox	3	0,1	linéaire rectiligne	cette liaison est possible si la surface est suffisamment longue	référence secondaire de repérage
oz	4	0,2	ponctuelle		référence tertiaire de repérage

Figure 3

**Règles :** La surface principale d'appui doit être :

- la plus grande possible pour garantir une bonne stabilité de la pièce en cours d'usinage ;
- la surface de référence de définition d'où partent les spécifications fonctionnelles les plus serrées.

#### 7.4. METHODES DE TRAVAIL

On distingue deux cas de travail :

##### 7.4.1. TRAVAIL EN SERIE

Perceuse à 2 broches en ligne, l'une équipée d'un foret de  $\Phi b$ , l'autre d'une fraise à lamer  $\Phi a$  avec pilote  $\Phi b$ .

La pièce est fixée dans un montage de perçage munie d'un canon amovible (fig. 4) :

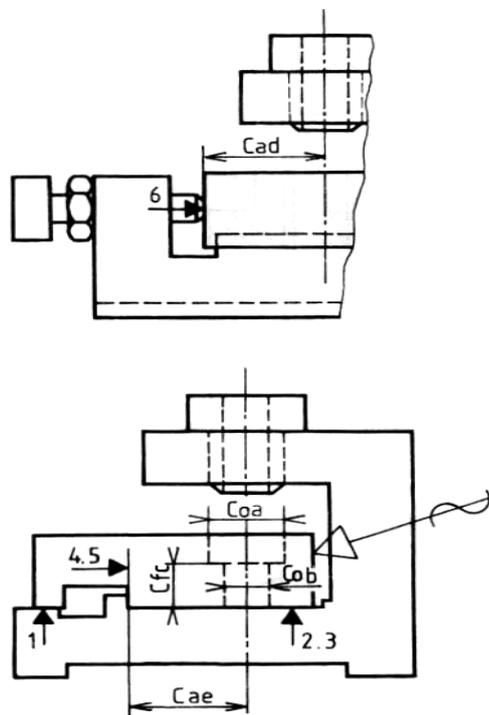


Figure 4.

Toutes les dimensions sont obtenues directement par :

- la construction d'un montage ou appareil spécial ;  
appellation : cotes appareils, symbole  $C_a$ .
- le réglage d'une butée de la machine (ex. butée de broche) ;  
appellation : cote machine, symboles  $C_m$  ou  $C_f$ .
- les dimensions des outils (ex. :  $\varnothing$  du foret et de la fraise à lamer) ;  
appellation : cotes outils, symbole  $C_o$ .

##### 7.4.2. TRAVAIL UNITAIRE

Perçage sur semi-pointeuse ou perceuse à chariots croisés (fig. 5) :

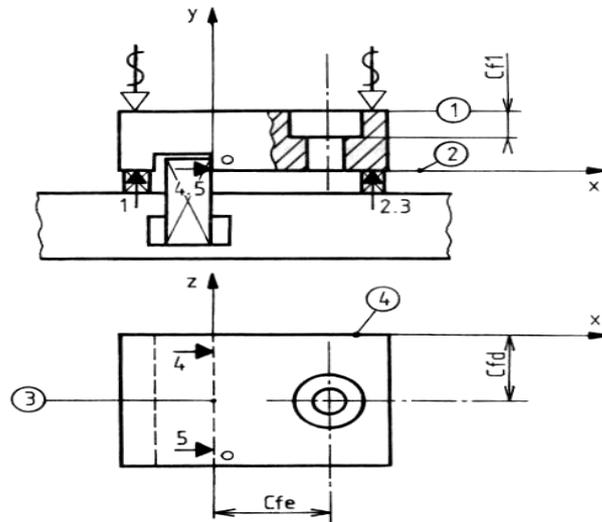


Figure 5

Surfaces de  
référence de  
mise en position

Appui plan sur 2 cales.  
Liaison linéaire rectiligne sur 1 cale.

Surfaces de référence  
de réglage

Repérage des axes  $ox$ ,  $oy$  en tangentant sur les surfaces 3 et 4  
avec un mandrin de centrage.  
Repérage sur la surface 1 pour déterminer la profondeur de  
lamage.

Surfaces usinées

Trou  $\varnothing b$ , la position est donnée par les réglages des coordonnées  $C_{fe}$   
 $C_{fb}$ , le diamètre est donné par le foret.  
Lamage : coaxialité donnée par le pilote du foret à centrer. La profondeur  
 $C_f$  est à calculer.

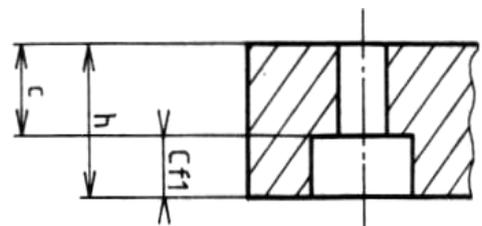
**Règle : Quand la surface de référence de réglage est différente de la surface de référence de définition, il faut calculer la cote de fabrication.**

#### Déroulement des calculs :

1. Mesurer la dimension  $h$ .
  2. Calculer la valeur moyenne de la cote réalisée indirectement  $C_{moy}$ .
  3. Calculer la cote de fabrication :  $C_{f, moy} = h - C_{moy}$
- Application numérique :

$$C = 12^{+0,5}, \quad h_{\text{mesurée}} = 20,2$$

$$C_{f, moy} = 20,2 - 12,25 = 7,95$$



**Exercices :**

1. Compléter le croquis de la phase fraisage d'un barreau de longueur 200 destiné à réaliser des écrous en Té, préciser la fonction de chaque surface (fig. 6).  
Décrire la méthode utilisée pour régler le plan de symétrie du train de fraises dans le plan de symétrie de l'écrou. La largeur  $b$  mesurée est 24, 96.

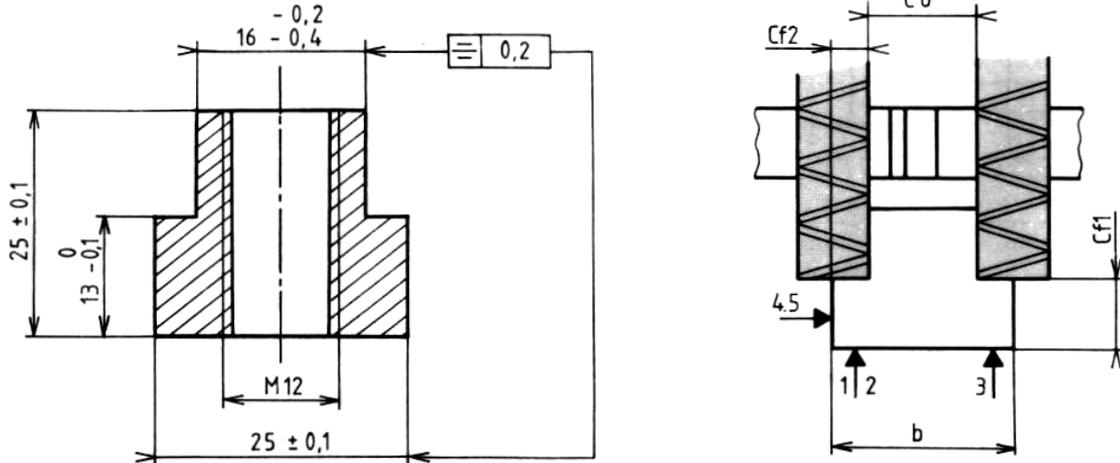
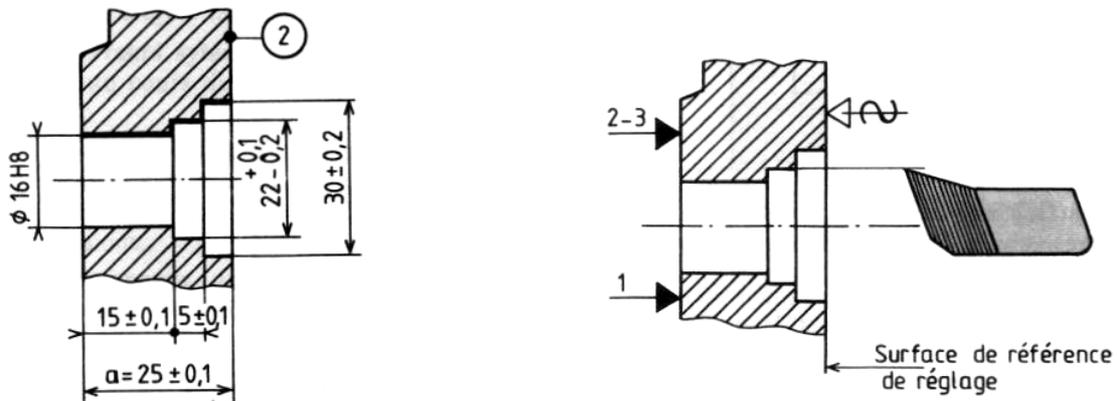


Figure 6

2. Définir l'ordre des opérations d'usinage et calculer les cotes de fabrication permettant de réaliser sur une pièce les alésages précisés par le croquis de phase (fig. 7). La largeur à mesurer est 25,02.



Dessin de définition partiel

Croquis de phase

Figure 7

3. Traçage des traits de ceinture sur la pièce (fig. 8), indiquer :

- la surface de référence d'appui ;
- la surface de référence de réglage du trusquin ;
- l'ordre des opérations de traçage et les dimensions affichées sur le trusquin.

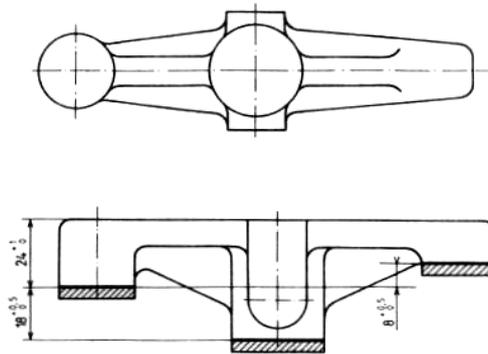


Figure 8

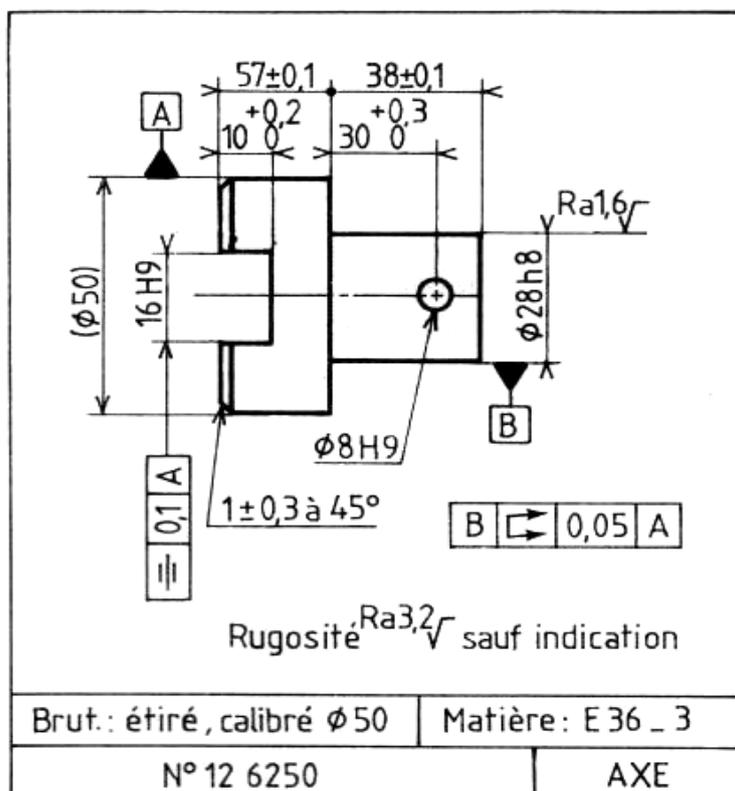
## CHAPITRE 8 : ORDONNANCEMENT DES OPERATIONS D'USINAGE

### 8.1. COMMENT SE POSE LA PROBLEME

Au départ d'une nouvelle activité d'atelier, le technicien reçoit :

#### 8.1.1. UN DOSSIER COMPRENANT :

- Une gamme générale ou fiche suiveuse ;
- Le dessin de définition de produit (d. d. p.) (fig. 1) ;
- Un bon de travail qui précise, pour la phase à réaliser, l'étendue de la tâche et le temps alloué ;
- Eventuellement, pour une fabrication répétitive un contrat de phase.



**8.1.2. LES PIÈCES** à transformer et conformes aux exigences de la phase précédente.

**8.1.3. LE POSTE DE TRAVAIL** équipé.

#### **8.1.4. OBJET DES PRINCIPAUX DOCUMENTS**

##### **DEFINITION DE QUELQUES TERMES :**

➤ **La phase**

C'est l'ensemble des opérations élémentaires effectuées à un même poste de travail par les mêmes personnes et les mêmes outillages.

➤ **La sous-phase**

C'est une fraction de phase délimitée par des prises de pièces différentes.

➤ **L'opération**

C'est une transformation de la pièce qui met en œuvre un seul des moyens dont est doté le poste de travail.

On repère les phases par des nombres (10, 20, 30, etc.) ; les sous-phases par des nombres : 21, 22... pour celles de la phase 20, etc.; les opérations par des nombres : 210, 211, 212... pour celles de la sous-phase 21, etc.

\* **La gamme générale**, document qui précise la suite ordonnée des différentes étapes qui interviendront, dans le processus d'exécution d'une ou plusieurs pièces.

\* **La gamme générale reste au B.M. La fiche suiveuse** : copie conforme de la gamme générale suit la pièce à chaque poste de travail. Elle collecte toutes les informations nécessaires au suivi de la fabrication (nombre de pièces bonnes, nom et n° du poste où s'est effectué le travail).

\* **Le bon de travail** : document comptable qui précise pour la phase concernée, le travail à réaliser, le nombre de pièces à réaliser, les temps prévus pour la réalisation. Il accompagne les pièces à l'issue de la tâche et est exploité par :

- **les services méthodes**, pour contrôler l'avancement des travaux ;
- **les services comptables**, pour élaborer les prix de revient.

\* **Le contrat de phase** :

très élaboré pour les travaux de grande série, il devient très succinct lorsqu'il s'agit de travail unitaire. La démarche et l'organisation des activités sont identiques, mais pour le travail unitaire, c'est l'ouvrier qualifié qui doit réfléchir et établir l'ordre chronologique des sous-phases et des opérations à réaliser dans chaque sous-phase.

##### **Contenu d'un contrat de phase :**

Un contrat de phase complètement élaboré doit contenir des renseignements relatifs:

➤ **à la phase**

Poste de travail. Porte-pièce utilisé. Numéro de phase.

➤ **à la pièce**

Nom de la pièce et de l'ensemble auxquels elle appartient. Nombres de pièces à fabriquer. Matière et origine du brut. Croquis de la pièce dans l'état où elle se trouvera en quittant le poste de travail à la fin de la phase.

Il faut un croquis par sous-phase, il précise :

- les surfaces à usiner dessinées en traits forts et repérées par un nombre ;
- le repérage de la pièce à l'aide des normales de repérage ou de la symbolisation technologique ;
- éventuellement le symbole du maintien en position ;
- les cotes de fabrication, les tolérances de forme, de position et de rugosité ;
- les outils en situation de début ou fin de passe d'usinage.

## Exemple :

PHASE N 20		CONTRAT DE PHASE		Machine ou poste : Tour parallèle													
Désignation : Tournage			Pièce : Support avant droit		Qté : 5												
Sous-phase : 21			Matière : Ft 20														
			Produit :														
<p><i>Croquis de phase</i></p> <table border="1" data-bbox="1023 1173 1331 1317"> <tr> <td>C</td> <td><math>\nabla</math></td> <td>0,02</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>//</td> <td>0,05</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td><math>\perp</math></td> <td>0,02</td> <td>A</td> </tr> </table> <p>Pièce montée en plateau. Matériel standard de mise et maintien en position.</p>						C	$\nabla$	0,02	B	D	//	0,05	A	B	$\perp$	0,02	A
C	$\nabla$	0,02	B														
D	//	0,05	A														
B	$\perp$	0,02	A														
Désignation des sous-phases et opérations		Outils et outillages	Verificateurs	Conditions de coupe													
<b>210</b>	Contrôle des dimensions du brut		Calibre à coulisse														
<b>211</b>	$E_3$ Ébauche de ③	Outil à dresser d'angle Acier rapide R 20 q 20° $r_\epsilon = 0,8$	Calibre à coulisse	$V = 35 \text{ m/min}$ $N = 100 \text{ tr/min}$ $a \approx 2, f = 0,3$													
<b>212</b>	$1/2 F_3$ demi-finition de ③																
<b>213</b>	$F_3$ finition de ③	Outil à dresser d'angle R 20 q 20° $r_\epsilon = 0,8$	Calibre à coulisse et micromètre 25-50 et calibre à machoire 50f8	$V = 45 \text{ m/min}$ $N = 125 \text{ tr/min}$ $a \approx 0,25, f = 0,2$													
<b>214</b>	$F_2$ finition directe de ②	Outil coudé à chariotier Acier rapide R 20 q 20° $r_\epsilon = 0,8$	Jauge de profon- deur	$V = 35 \text{ m/min}$ $N = 230 \text{ tr/min}$ $a \approx 2,5, f = 0,3$													
<b>215</b>	$E'_1$ centrage de ①	Foret à centrer $\varnothing 3,15$		$N = 500 \text{ tr/min}$													
<b>216</b>	$E''_1$ perçage à $\varnothing 23$	Foret $\varnothing 23$															
<b>217</b>	$F_4$ finition directe de ④	Outil à chambrer Acier rapide 12 q 5°	Micromètre 25-50	$V = 35 \text{ m/min}$ $N = 300 \text{ tr/min}$ $a \approx 2, f = 0,1$													
<b>218</b>	$1/2 F_1$ demi-finition de ①																
<b>219</b>	$F_1$ finition de ①	Outil à aléser Acier rapide 12 q 20° $R_\epsilon = 0,4$	Micromètre 3 tou- ches Tampon de 25 H 7	$V = 45 \text{ m/min}$ $N = 600 \text{ tr/min}$ $a \approx 0,25, f = 0,1$													

➤ aux opérations

Nature de l'opération (E, 1/2 F, F). Les cotes intermédiaires (E et 1/2 F).

➤ **aux outils**

Type, désignation normalisée ou du fabricant. Nuance du matériau de la partie active.

Rayon de bec.

➤ **aux conditions de coupe**

V: Vitesse de coupe en m/min.

N: fréquence de rotation en tr/min.

f : avance par tour en mm/tr (tournage, perçage).

fz :avance par tour en mm/c (rabotage). fz avance par dent en mm/dt (fraisage).

a : profondeur de passe en mm.

➤ **aux outillages de contrôle utilisés à chaque opération.**

Application à la phase 20 Tournage.

L'usinage se décompose en deux sous- phases.

Opération	Désignations	Croquis
<p><b>Sous- phase 21</b></p> <p>210</p> <p>211</p> <p>212</p> <p>213</p>	<p>dressage de (1) finition directe</p> <p>ébauche de (2)</p> <p>demi- finition de (2)</p> <p>finition de (2)</p>	
<p><b>Sous- phase 22</b></p> <p>220</p> <p>221</p>	<p>dressage de (3) finition directe</p> <p>chanfrein (4)</p>	

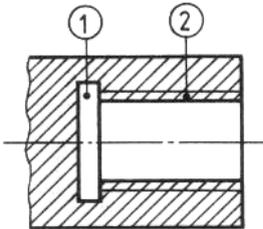
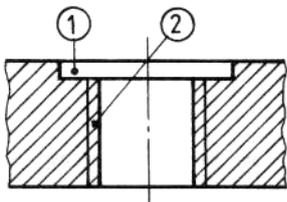
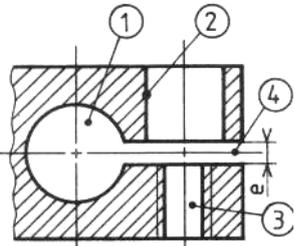
## 8.2. LES CONTRAINTES D'USINAGE

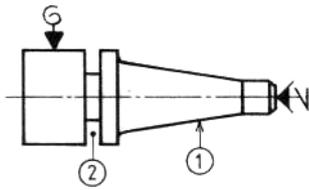
L'ordre des opérations d'usinage doit répondre à des impératifs que l'on désigne sous le nom de **contraintes** et qui sont d'ordre :

- Technologique ;
- Géométrique et dimensionnel ;
- Economique.

### 8.2.1. CONTRAINTES TECHNOLOGIQUES

Elles sont imposées par les moyens de fabrication.

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

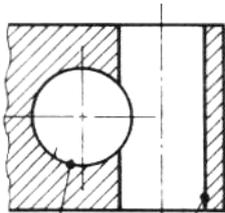


Gorge profonde

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

Finition de 1

Gorge 2



Alésages sécants

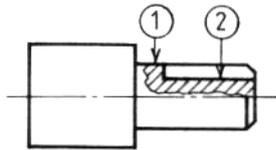
Deux cas :

- $\varnothing_1 \approx \varnothing_2$ , on réalise d'abord l'alésage le plus précis.

Ex.:  $\varnothing_1 = 12H8$  ,  $\varnothing_2 = 11H10$

Usinage de  $\varnothing_1$ Usinage de  $\varnothing_1$ 

- $\varnothing_1$  beaucoup plus grand que  $\varnothing_2$ , on réalise d'abord le plus petit diamètre.

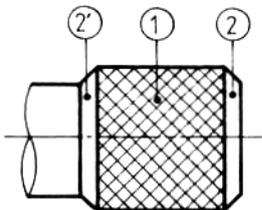
Usinage de  $\varnothing_2$ Usinage de  $\varnothing_1$ 

Rainure de clavetage

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

Finition du  $\varnothing$ 

Rainure 2

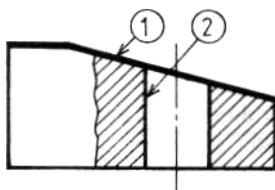


Moletage

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

Moletage 2

Chanfreins 2, 3



Perçage sur une face pentée

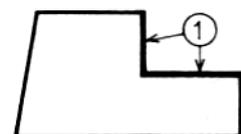
Pour éviter la déviation du foret, il est souhaitable de percer avant de faire la pente.

Perçage 2

Pente 1

### REMARQUES:

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



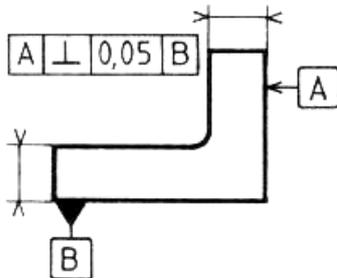
### 8.2.2. CONTRAINTES GEOMETRIQUES ET DIMENSIONNELLES

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

Croquis

Explications

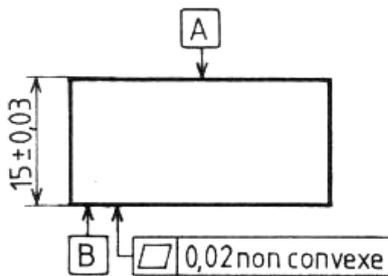
Ordre des opérations



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

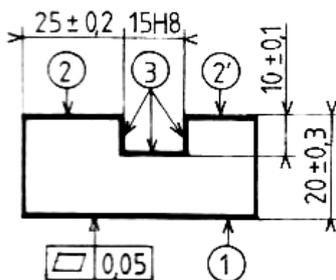
Usinage de B  
Usinage de A

Les tolérances de position imposent un ordre préférentiel.



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

Usinage de A  
Usinage de B



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

prévoir :

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

Ébauche de 1  
Ébauche de 2- 2'  
Ébauche de 3

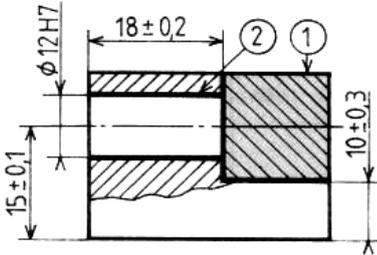
Stabilisation  
Finition de 1  
Finition de 2 – 2'  
Finition de 3

Modification des tensions internes

### 8.2.3. CONTRAINTES ECONOMIQUES

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

#### Croquis



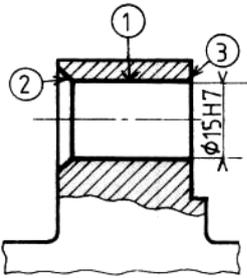
Réduction de la durée de l'usinage précis.

#### Explications

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

#### Ordre

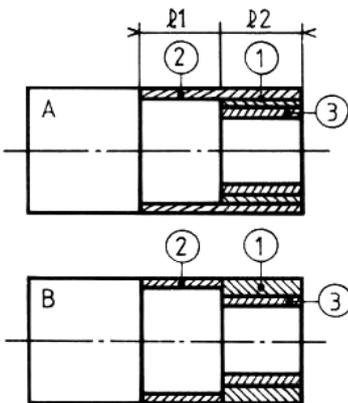
- Fraisage 1
- Perçage alésage 2



Usinage précis, débouchant sur une surface brute.

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

- Dressage 3
- Perçage 1
- Chanfrein 2
- Alésage 1



L'ordre des passes d'usinage influence la durée de l'usinage.

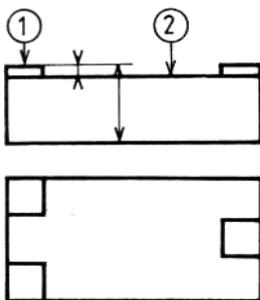
La solution A est plus rapide que la solution B.

Comparaison :

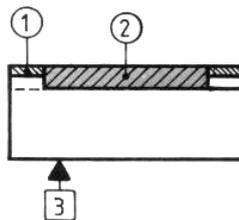
Sol. A usinage de 1,  $f = 0,2$  sur /2,  
usinage de 3,  $f = 0,1$  sur /2  
usinage de 2,  $f = 0,1$  sur /1

Sol. B usinage de 2,  $f = 0,1$  sur /1+ /2  
usinage de 1,  $f = 0,2$  sur /2  
usinage de 3,  $f = 0,1$  sur /2

- Solution A
- Ébauche 1
- Finition 3
- Finition 2



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



- Usinage de 2
- Usinage de 1

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

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

## **CHAPITRE 9 : RECHERCHE DE L'ORDRE CHRONOLOGIQUE DES OPERATIONS D'USINAGE**

La recherche de l'ordre chronologique impose :

- Faire l'étude du dessin, rechercher les formes cachées, voir la correspondance des vues. Ce travail est important et permet de bien comprendre le dessin.
- Rechercher toutes les surfaces usinées.
- Faire l'étude de la cotation dimensionnelle et géométrique.
- Rechercher les cotes de liaison au brut :
  - 3 cotes sont nécessaires pour les pièces prismatiques
  - 2 cotes sont nécessaires pour les pièces de révolution
  - Ces cotes déterminent les départs d'usinage.
- Rechercher les transferts évitant la multiplicité des reprises et des manipulations (usinage par association de surfaces).
- Faire l'étude de la matière d'oeuvre et son état.

### **9. 1. METHODE D' ELABORATION**

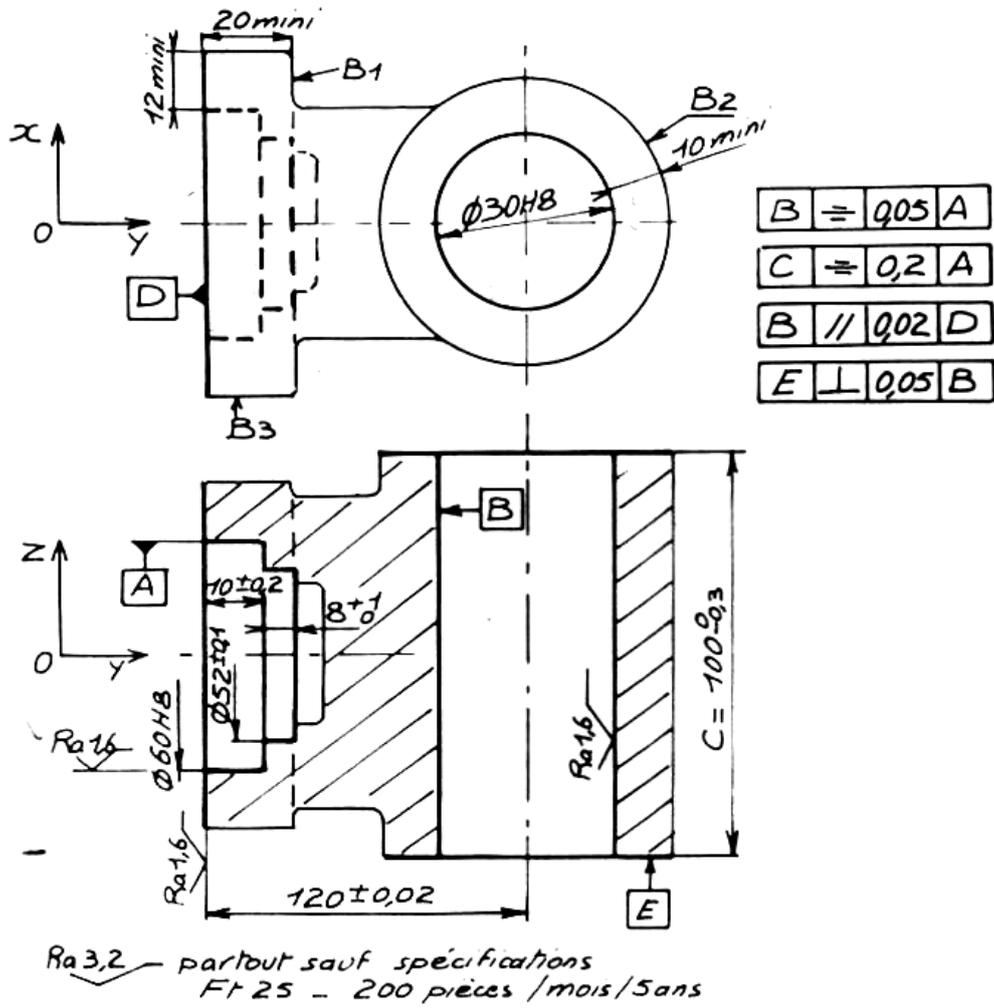
- Tracer le polygone de liaison des surfaces (les surfaces étant liées entre elles par la cotation).
- Sur une circonférence de grand diamètre, on inscrira toutes les cotes dans un ordre quelconque, ne pas oublier les tolérances de position géométrique.
- On établira à l'aide d'une ligne fléchée, la liaison existant entre chaque cote, telle que le brut B1 est lié à la surface D par la cote 20 mini (voir exemple).
- Incrire au regard de chaque sommet le nombre de départs et le nombre d'arrivées. Signification des départs et arrivées.
- L'indication du nombre des départs nous donne des précisions sur l'importance de la surface considérée, sachant qu'à un départ correspond un référentiel de cotation d'une surface donnée.
 

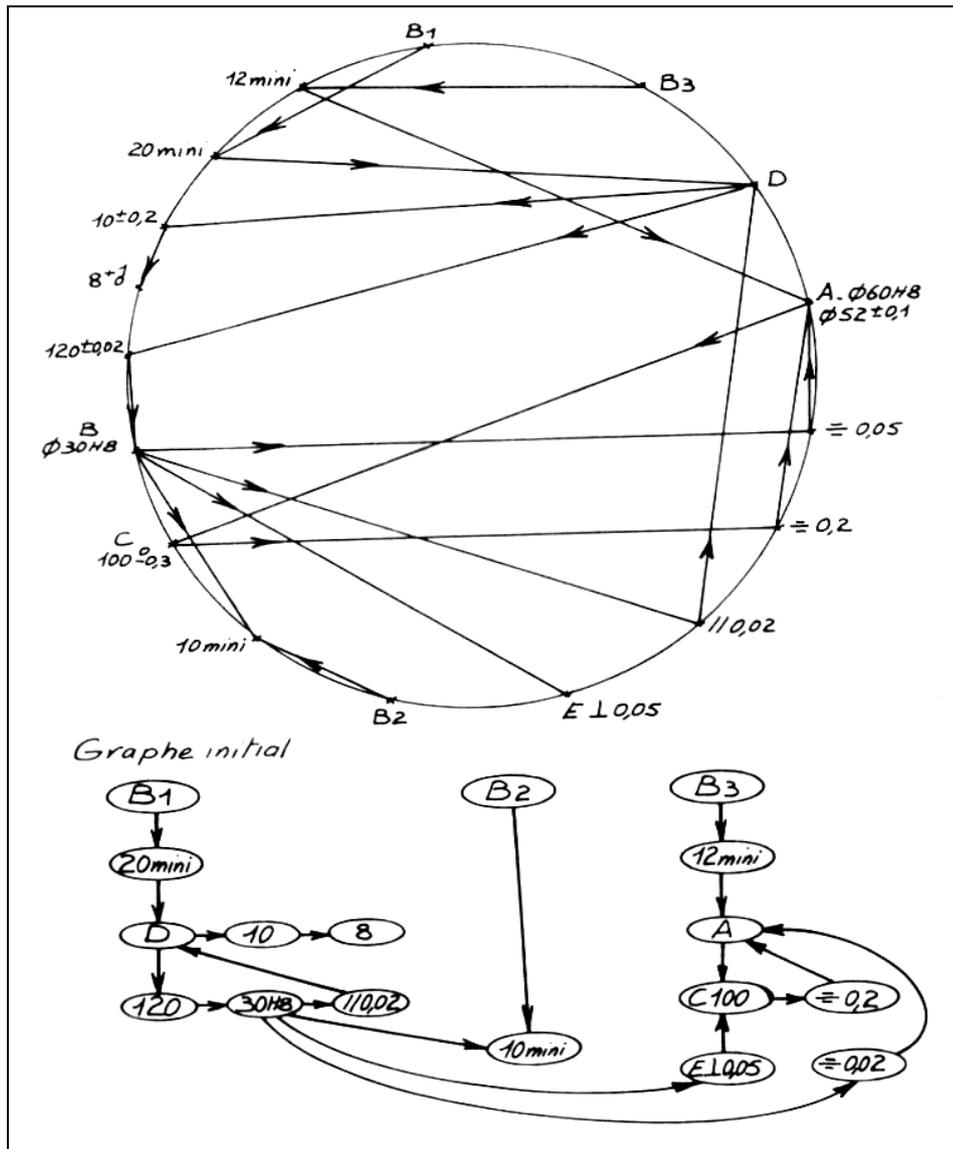
Donc, à un départ correspondent un ou plusieurs appuis de repérage isostatique.  
A un certain nombre de départs correspond un même nombre de reprises.
- Les arrivées nous indiquent les références de mise en position pour obtenir la surface considérée. Il faut noter qu'un maximum de trois arrivées est nécessaire pour mettre la pièce en position isostatique. Si ce nombre est supérieur à trois : nous avons soit une erreur dans le réseau, soit une impossibilité.
  - Un graphique d'enchaînement sera tracé et qui permettra de lire la suite logique des

opérations d'usinage.

### 9.2. Exemple :

#### Gamme d'usinage du Palier



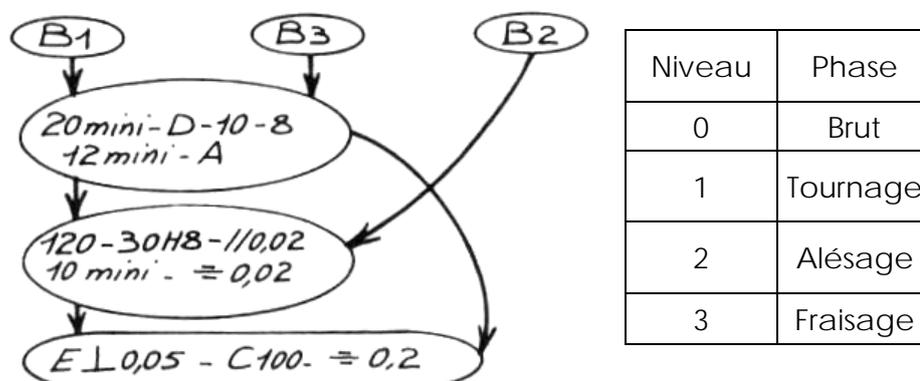


### Polygone de liaison des surfaces

Ce graphe est conforme à la liaison des cotes B.E.

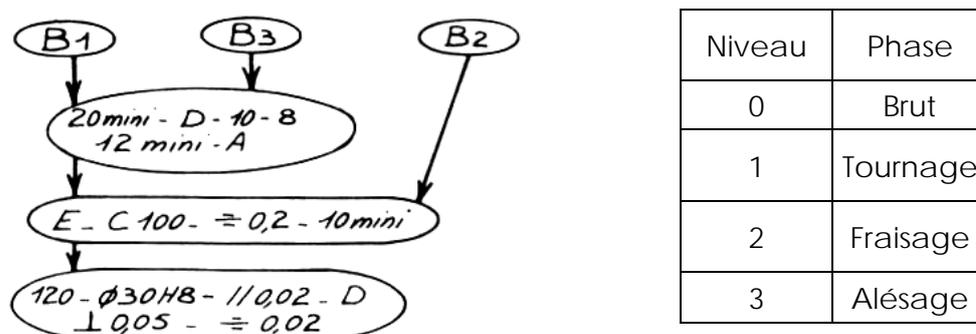
- Recherche des associations de surface D et A ; 120, 30H8 et // 0,02  
12 mini et A ; E ⊥ 0,05, C100 et ÷ 0,2
- Si des boucles apparaissent, c'est qu'il y a soit :
  - a) Des cotes surabondantes (la cote sera éliminée par le B.E.)
  - b) Des liaisons avec des tolérances géométriques

## Graphe après regroupement des surfaces



### Analyse des contraintes :

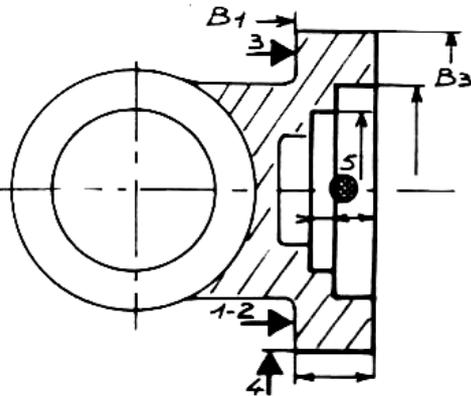
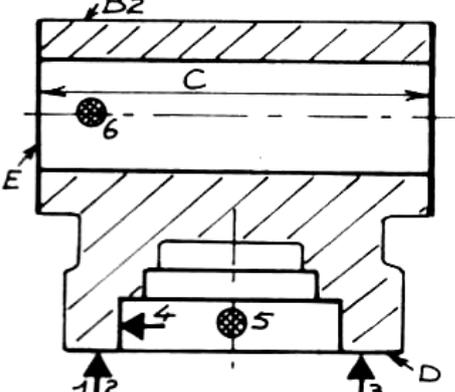
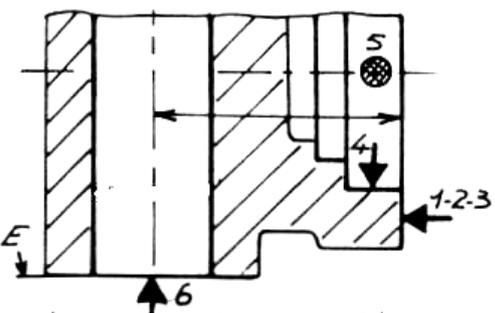
- Le diamètre  $\varnothing 30 H8$  est réalisé avant dressage de E et C 100  
Les contraintes d'usinage (protection de l'outil de finition de l'alésage) imposent le dressage de E et C avant l'alésage
- L'obtention de l'entraxe  $120^{\pm 0,02}$  est plus aisément réalisable à partir plan D que de l'alésage  $\varnothing 30H8$   
Ce qui n'aurait pas été le cas si nous avions pris le circuit inverse, c'est-à-dire :  
 $B2 \rightarrow \varnothing 30H8 \rightarrow 120$  avec A - D - B1 et B3
- Nous conserverons le graphe tel qu'il se présente pour les surfaces de départ.  
Graphe après analyse des contraintes



### Remarques :

L'usinage de E et C 100 nous oblige à mettre en position B et 10 mini; c'est-à-dire la génératrice de B2 perpendiculaire à E.  
En phase Alésage, un appui sur E est nécessaire pour obtenir la perpendiculaire 0,05 avec  $\varnothing 30H8$

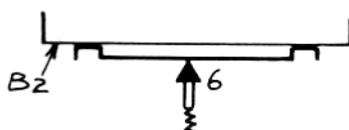
## Etude de fabrication :

N°	PHASE	SCHEMAS
10	<p align="center"><b>TOURNAGE</b></p> <p>3 degrés de liberté éliminés sur B1 pour 20 mini 2 degrés de liberté éliminés sur B3 pour 12 mini</p>	
20	<p align="center"><b>FRAISAGE</b></p> <p>3 degrés de liberté éliminés sur D pour <math>\perp</math> implicite 2 degrés de liberté éliminés dans A pour <math>\div 0,2</math> 1 degré de liberté éliminé sur B2 pour <math>\perp</math> avec E</p>	
30	<p align="center"><b>ALESAGE</b></p> <p>3 degrés de liberté éliminés à partir de D pour 120 et // 0,02 2 degrés de liberté éliminés à partir de A pour <math>\div 0,02</math> 1 degré de liberté éliminé à partir de E pour <math>\perp 0,05</math></p>	

## Commentaire :

La cote condition 10 mini est obtenue par calcul de cotation de la pièce brute en tenant compte des écarts de position de la surface brute B2 ( point 6 en phase 20 )  
Ce point 6 à touche dégagée et réversible pour un minimum de dispersion de position sur toute la génératrice du brut B2.

Forme de la touche dégagée :



### 9.3. COTES DE REGLAGE EN TRAVAIL UNITAIRE

#### 9.3.1. RAPPEL

En travail unitaire, l'opérateur obtient les dimensions imposées par le contrat de phase après réglage, mesure et éventuellement retouches, surtout dans le cas de l'ajusteur.

On distingue :

La cote de fabrication à obtenir  $C_f$  ; elle correspond à la cote fonctionnelle.

La dimension obtenue par un réglage ou une dimension d'outil ; elle est mesurée sur la pièce après usinage.

La cote de réglage  $C_r$  ; elle est calculée et affichée par l'opérateur.

La cote fonctionnelle imposée par le dessin de définition de produit ; elle sera la seule valeur contrôlée en fin d'usinage.

#### 9.3.2. EXEMPLE

Réaliser en une seule passe avec un outil couteau l'épaulement de la pièce (fig. 1).

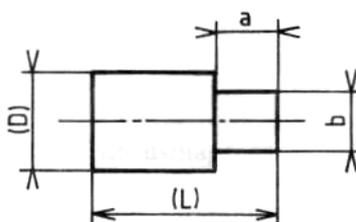


Figure 1

Processus (fig. 2).

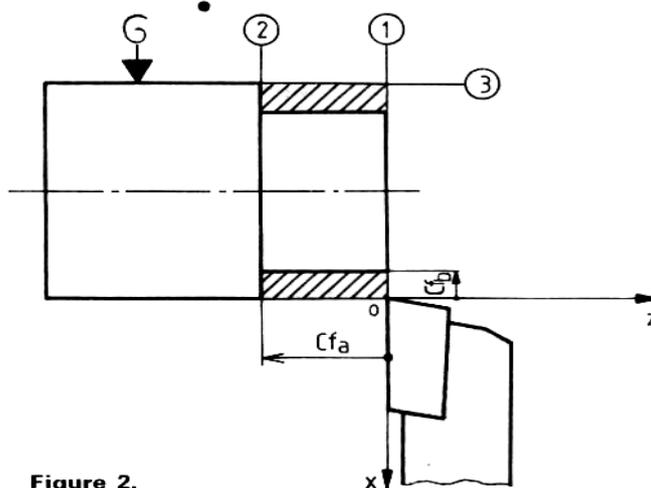


Figure 2.

- Tangenter sur 1 et 2 pour définir l'origine des repères suivant  $ox$  et  $oz$  (réglage des verniers au zéro).
- Mesurer  $D$ , calculer  $C_{fb}$ .
- Régler pour obtenir  $C_{fb}$  et  $C_{fa}$  après usinage. Appelons  $C_{rb}$  et  $C_{ra}$  les cotes de réglage correspondantes.
- Usiner et mesurer.

### 9.3.3. ANALYSES DES CAUSES D' ECART ENTRE LES COTES DE REGLAGE ET LES COTES FABRIQUEES

Erreurs	Causes probables
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Repérage des axes ox et oz</li> <li>➤ Cotes de réglage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Inattention ou manque de qualification de l'opérateur.</li> <li>➤ Manque de sensibilité et de précision de déplacement des éléments de réglage.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Déplacement de la pièce par rapport au porte- pièce ou de l'outil par rapport au porte-outil en cours d'usinage.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Manque de rigidité du porte- pièce et du porte -outil.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Usure de l'outil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Si le volume de copeau à enlever est important, l'usure de l'outil provoque une augmentation progressive des dimensions.</li> </ul>

On appelle erreur totale  $e_t$ , l'écart entre ce que l'on devrait obtenir sur la pièce après usinage et ce que l'on obtient réellement compte tenu des erreurs précédentes où l'on distingue :

- les erreurs aléatoires  $e_a$  : dues à l'opérateur et à des phénomènes extrêmement nombreux qui ont pour origine la machine ou les outillages.
- les erreurs systématiques  $e_s$  : dues à l'usure de l'outil au cours du travail d'usinage, elles provoquent :
  - pour un usinage extérieur, une augmentation des dimensions ;
  - pour un usinage intérieur, une diminution des dimensions.
- les erreurs dues à la mesure  $e_m$  ; elles comprennent celles inhérentes à l'opérateur et au matériel utilisé.

Dans tous les cas on doit avoir :

Erreur cumulée  $e_a + e_s + e_m < IT$   
cote de fabrication à obtenir

## CHAPITRE 10 : COTES DE REGLAGE ET APPLICATIONS PRATIQUES

### 10.1.COTES DE REGLAGE

Pour tenir compte des erreurs précédentes on ne doit jamais régler la machine pour obtenir la cote de fabrication au minimum ou au maximum de sa valeur.

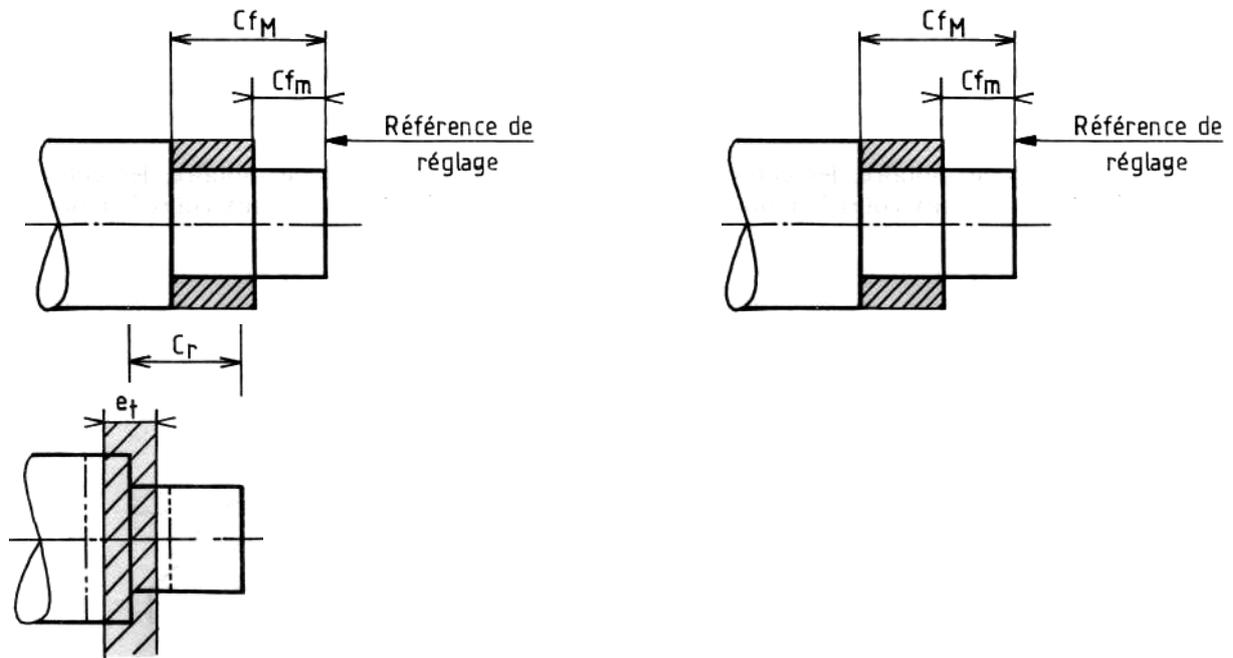
**EXEMPLE (fig. 3) :**

Figure 3

Usinage de l'épaule de la pièce (fig. 1) :

- La cote de fabrication à obtenir doit être comprise entre un mini  $C_{fm}$  et un maxi  $C_{fM}$ .

**Solution 1 :**

- La cote de réglage correspond à la cote maxi à obtenir  $C_r = C_{fM}$ .
- Compte tenu de la zone d'incertitude, la cote de fabrication obtenue se situe entre  $C'_{fm}$  et  $C'_{fM}$ .

**Conclusion :**

La longueur de l'épaule risque d'être hors tolérance.

**Solution 2 :**

- La cote de réglage correspond à la valeur moyenne de la cote à obtenir  $C_r = C_{f\text{ moy}}$ .

**Conclusion :**

La longueur de l'épaule est comprise dans la tolérance.

Usinage de l'épaule de la pièce.

**Règle : En travail unitaire la cote de réglage doit être égale à la valeur moyenne de la cote de fabrication correspondante.**

### Précision de la cote de réglage :

On admet comme règle pratique :

$$\text{IT cote de réglage} = \frac{\text{IT Cote de fabrication}}{5}$$

## 10.2. APPLICATIONS PRATIQUES

### Pièce (fig. 4)

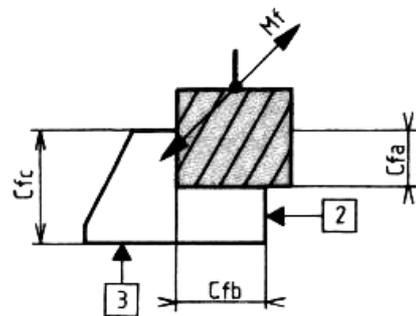
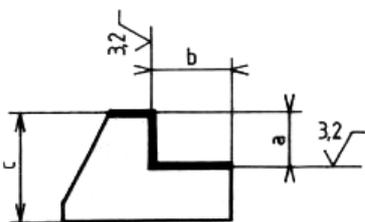


Fig.4

$$a = 20^{+0.1}_{-0.3} \quad b = 30^0_{-0.5}$$

usinage en méthode unitaire, les cotes de fabrication correspondent aux cotes fonctionnelles :

$$C_{fb} = b = 30^0_{-0.5}$$

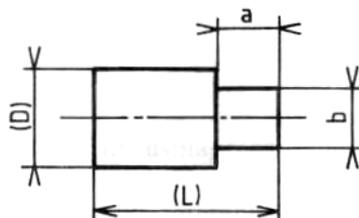
$$C_{fa} = a = 20^{+0.1}_{-0.3}$$

### Cotes de réglage

$$C_{ra} = a_{\text{moy}} = 19,9 ; \quad \text{IT } C_{ra} = \frac{0,4}{5} = 0,08$$

$$C_{rb} = b_{\text{moy}} = 29,75 ; \quad \text{IT } C_{rb} = \frac{0,5}{5} = 0,1$$

### Pièce (fig. 1) :



D mesurée 40,01, on demande :

$$a = 20^{+0.5}_{-0.1}, \quad b = 35^{+0.9}_{-0.2}$$

les cotes de fabrication correspondent aux cotes fonctionnelles :

$$C_{fb} = b = 35 \begin{smallmatrix} +0.9 \\ -0.2 \end{smallmatrix}, \quad C_{fa} = a = 20 \begin{smallmatrix} +0.5 \\ -0.1 \end{smallmatrix}$$

$$C_{ra} = a_{\text{moy}} = 20,20 ; \quad IT C_{ra} = \frac{0,6}{5} = 0,12$$

### REMARQUE :

Dans le cas d'une petite série de pièces (ex. 20 pièces), la même règle ( $C_r = C_{f, \text{moy}}$ ) peut être utilisée. Si le nombre de pièces devient plus important, il faut utiliser une autre règle pour calculer  $C_r$  en fonction de  $C_f$ .

### Exercices

1. Calculer  $C_r$  et  $IT C_r$ ,

pour obtenir  $C = 32 \begin{smallmatrix} +0.8 \\ +0.3 \end{smallmatrix}$  (fig. 4).

2. Calculer  $C_{rb}$  et  $IT C_{rb}$

pour obtenir  $b = 35 \begin{smallmatrix} +0.9 \\ -0.2 \end{smallmatrix}$  (fig. 1).

### Etude de fabrication

Une étude de fabrication a pour objet d'établir une suite logique des différentes étapes de réalisation d'une pièce.

*Définition*

**Phase** : est l'ensemble des opérations élémentaires effectuées sur une même poste de travail

**Opération** : est tout ensemble de travail, mettant en œuvre un seul des moyens dont est doté le poste de travail.

- ❖ *Les principaux éléments de base à posséder pour établir une étude de fabrication sont:*
  - le dessin de définition de produit,
  - le nombre de pièces à fabriquer,
  - la cadence demandée,
  - la main-d'oeuvre disponible,
  - la disposition des ateliers,
  - les dossiers des machines,
  - le standard des outillages,
  - la charge des machines.

## CHAPITRE 11 : EXEMPLE DE DOCUMENTS POUR UN DOSSIER DE FABRICATION

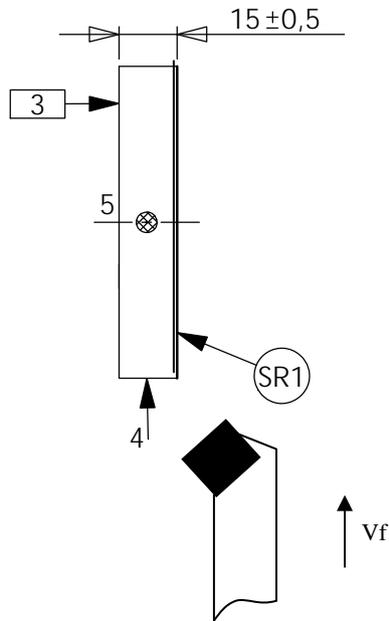
	ORDRE DE FABRICATION	N° OF:	
Client :	N° de Commande		
Pièce : Glissière	Ensemble :		
Matière : E330	N°de Plan :		
Date de commande :	Quantité de pièce :		
Délai demandé :	Tps alloué (préparation) :	Temps alloué machine:	
<p><u>Descriptif du travail à réaliser :</u></p> <p>D'après le dessin de définition de la glissière :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Contrôler le brut</li> <li>➤ Organiser le poste de travail et appliquer les consignes de sécurités suivant les fiches postes</li> <li>➤ Réaliser les phases : P20, P30, P40 suivant le dossier de fabrication</li> <li>➤ Contrôler les cotes suivant la fiche de contrôle</li> <li>➤ Nettoyer le poste de travail et ranger le matériel</li> </ul>			

Date début :	Temps passé préparation :	Nom de l'opérateur :
Date fin :	Temps passé machine :	
Machine : Tour //, Fraiseuse universel		Visa contrôle :

**REPERAGE ET INVENTAIRE DES SURFACES**

OPÉRATIONS OU FORMES	REPÈRES	TOLÉRANCES		
		DIMENSIONNELLES	GÉOMÉTRIQUES	RUGOSITÉ
DRESSAGE	SR1			Ra 3,2
CYLINDRE	SR2	$76^{+0,1}_0$		Ra 3,2
DRESSAGE	F2	$14^{\pm 0,1}$	// 0,1 à SR1	Ra 3,2
RAINURE	F3	$2^{0}_{-0,1}$	≡ 0,08 à SR2	Ra3,2
	F4	$16^{\pm 0,1}$		
	F5			
ALESAGE	d1	Ø20H7		Ra1,6

		BUREAUX DES METHODES
OPÉRATEUR :	ENSEMBLE :	DESIGNATION : FRAISAGE
	PIÈCE : GLISSIERE	N° DE PHASE : 20
FILIÈRE :	MATIERE : E330	MACHINE- OUTIL : TOUR //
VÉRIFIÉ PAR :	DEBIT :	QUANTITÉ :



DÉSIGNATION DES SOUS PHASES ET OPÉRATIONS	CONDITIONS DE COUPE				OUTILLAGE	
	Vc m/min	N T/min	F mm/t ou mm/min	Tc min	OUTILS	COTRÔLE
1) Serrage en mandrin à 3 mors durs réversible 2) Dressage SR1 en ébauche et finition : $Cf1 = 15^{\pm 0,5}$	200	0,1	800	1	PCLNR P20	Visuel

	<b>VERIFIE PAR :</b>		
Nom de l'opérateur :	Ensemble :	Folio : 1/	
Spécialité :	Pièce :	Poids initial :	
Date :	Matière :	Quantité :	
Lieu :	Débit :	Observation :	

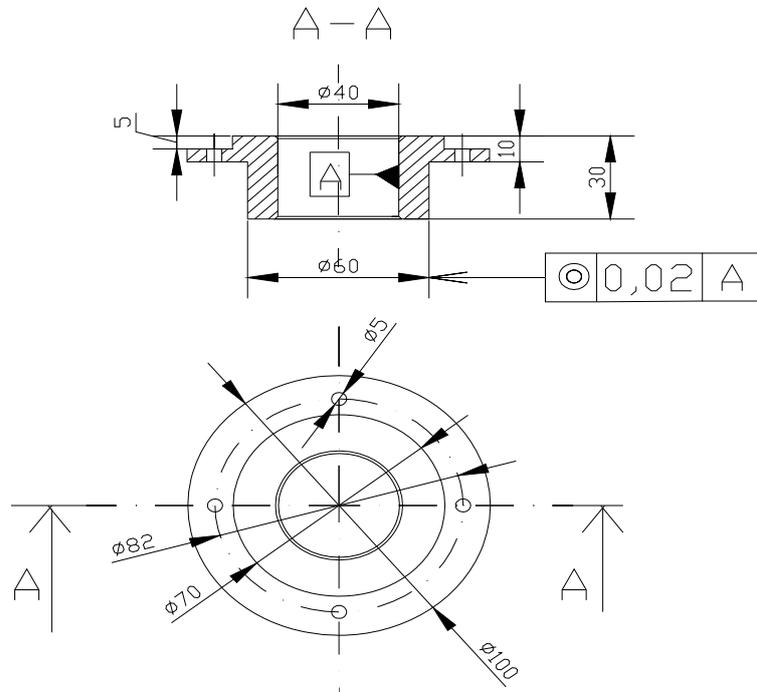
N°	DESIGNATION DES PH. ET OP.		SCHEMAS, ABLOCAGE, ISOSTATISME.	Appareillage et outils	Instruments de contrôle
	Ph	S/Ph			
10		Contrôle de débit			
20		<b>TOURNAGE</b>		PCLNR P20	P à C
21		Serrage en 3 mors réversibles			
22		Dressage SR1 en ébauche et finition (blanchir)			
30		<b>TOURNAGE</b>		PCLNR P20	P à C
31		Dressage F2 en ébauche et finition :			
25		Cf = $14^{\pm 0,1}$			
26		Perçage d1 en ébauche : Ø8 et ½ finition : Ø19, 8			
27		Alésage d1 en finition : Ø20H7 Cassage d'angle 1 à 45°			
40		<b>FRAISAGE</b>		Fraise 2T Ø16 en ARS	Jauge de profond. P à C
41		Serrage en étai à mors // plus vé			
42		Rainurage F3, F4, F5 en finition : l = $16^{\pm 0,1}$ , prof = $2^0_{-0,1}$			
50		<b>EBAVURAGE</b>		Lime Genève	

ETABLISSEMENT :				FICHE SUIVEUSE				
N° DE PIÈCE	DÉSIGNATION : AXE			QUANTITÉ	N° COMMANDE	DÉLAI	DATE SORTIE MATIÈRE	DATE LANCEMENT
N° ENSEMBLE	DÉSIGNATION :			PRIOR 2	SEC.			
N° PH.	PHASE DE TRAVAIL- OUTILLAGE A SORTIR	OUT.	MACH.	SECTION OU ATELIER	TEMPS ALLOUÉ			REMARQUES
					PRÉP.	UNIT.	TOTAL	
10	Débit Ig 97± 0,5, étiré Q 50, E 36-3		N° 6	Scie.				
20	Tournage complet		N° 22	To	0,30	0,40	2 h 30	
30	Fraisage- rainure 16 H 9		N° 7	Fr	1 h	0,20	2 h	
40	Perçer 0 8 H 9		N° 14	Pe	0,20	0,10	0 h 70	
50	Contrôle général			Co				

## CHAPITRE 12 : EXEMPLES ET APPLICATIONS

### Exemple 1

Présenter la réalisation de la pièce (fig.1), en complétant les feuilles d'analyse de fabrication.



Etat de surface :  $R_a=1,6$   
 Ebavurer et casser les angles.  
 Tolérances générale : 2768 mk  
 Brut : CuZn12 ( $\Phi 105, L=33$ )

Fig.1

		FEUILLE D'ANALYSE DE FABRICATION				Phase 10		
Pièce		Brut			Machine			
ANALYSE DE PHASE, SOUS PHASE, OPERATIONS				CONDITION DE COUPE			CONTROLE	
Désignation de phase, sous phase	Machine outils	Outillage de coupe	Vc m/min	N Tr/min	fz mm/tr	Vf m/min	Outils de contrôle	
<b>CONTROLE MATIERE DEBIT</b> Scier cote $33 \pm 0,5$	SCIE AUTOMATIQUE						P à C	
<b>TOURNAGE</b> Usiner face 1, cote $10 \pm 0,1$ Usiner 2, cote $\Phi 100$ Usiner 5, cote $\Phi 70$ Percer avant trou $\Phi 10$ Percer 4, $\Phi 38$ Usiner chanfrein 3	TOUR //	-PORTE-OUTIL PCNL -PLAQUETTES R 0,8-R0,2 -OUTILS A ALESER -FORET $\Phi 10$ -FORET $\Phi 38$	20 20	1000 1000 500	0,3 0,3 0,1		P à C	

		FEUILLE D'ANALYSE DE FABRICATION			Phase 20			
Pièce		Brut			Machine			
ANALISE DE PHASE, SOUS PHASE, OPERATIONS				CONDITION DE COUPE			CONTROLE	
	Désignation de phase, sous phase	Machine outils	Outillage de coupe	Vc m/min	N Tr/min	fz mm/tr	Vf mm/min	Outils de contrôle
307	Usiner face 8, cote 30	TOUR //	JEU MORS DOUX	50	800			P à C
308	EBAUCHE		PORTE-OUTIL PCNL		800			
309	Usiner ébauche 8, 7, 9		-					
310	Cotes : 30 ; $\Phi 60$ ; 10 Usiner ébauche 4 Cotes : $\Phi 40$ Casser les angles $0,2 \times 45^\circ$		PLAQUETTES R 0,8-R0,2 -OUTILS A ALESER					

		FEUILLE D'ANALYSE DE FABRICATION				Phase 30		
Pièce		Brut			Machine			
ANALISE DE PHASE, SOUS PHASE, OPERATIONS				CONDITION DE COUPE			CONTROLE	
	Désignation de phase, sous phase	Machine outils	Outils de coupe	Vc m/ min	N Tr/ min	fz mm/ tr	Vf mm/ min	Outils de contrôle
400	<b>PERCAGE 10</b> -Centrer : $\Phi 5$ en respectant $\Phi 82$ -Percer : $\Phi 5$	PERCEUSE A COLONNE	FORET A	20	0,02			P à C
410			CENTRER	20	0,02			
420			FORET $\Phi 5$					
500	<b>AJUSTER</b>							
510	Ebavurer							
	<b>CONTROLE FINAL</b>							

## Exemple 2

Présenter la réalisation de la pièce (fig.1),

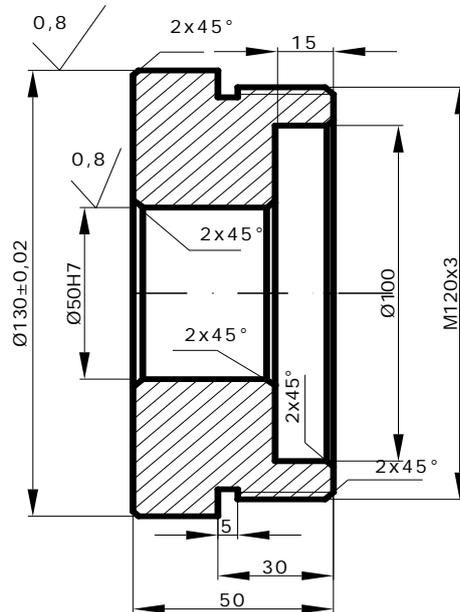


Fig.1

en complétant le tableau d'analyse de fabrication et en sachant que le volume de fabrication est : série de 200 pièces, la matière est en acier E 335 et le brut est présenté dans la fig. 2.

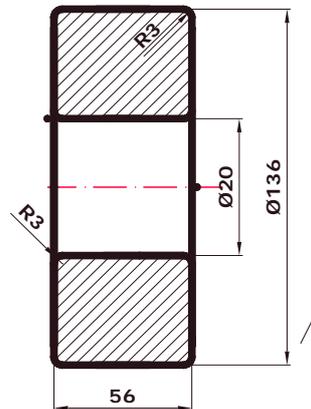


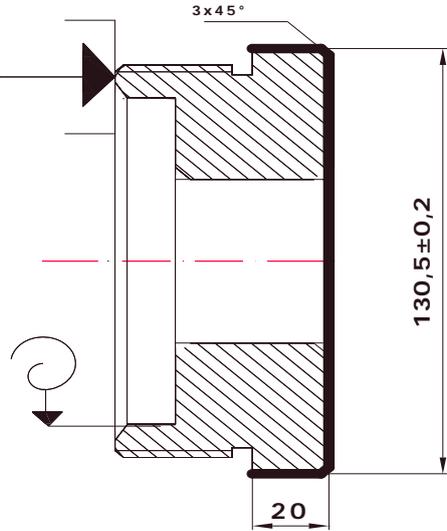
Fig.2

FEUILLE D'ANALYSE DE FABRICATION			Phase 30					
Pièce		Brut			Machine			
ANALISE DE PHASE, SOUS PHASE, OPERATIONS				CONDITION DE COUPE			CONTROLE	
	Désignation de phase, sous phase	Machine outils	Outillage de coupe	Vc m/min	N Tr/min	fz m/m/tr	Vf mm/min	Outils de contrôle
1.	<b>Tournage</b> a) Orientation et montage de la pièce b) Dressage (ébauche) à <b>56 mm</b> c) Chariotage à <b>Ø131,7 x 30 mm</b> d) Perçage <b>Ø 30 x 56 mm</b> e) Alésage au tour <b>Ø 44x 56 mm</b>		Outil à dresser  Outil à charioter  Foret D=30mm  Outil à aléser	145  182  25  182	400  500  300  1500	0,5  0,2  0,2  0,2		P à C

		FEUILLE D'ANALYSE DE FABRICATION			Phase 30			
Pièce		Brut			Machine			
ANALISE DE PHASE, SOUS PHASE, OPERATIONS				CONDITION DE COUPE			CONTROLE	
	Désignation de phase, sous phase	Machine outils	Outillage de coupe	Vc m/ min	N Tr/ min	fz mm/ tr	Vf mm/ min	Outils de contrôle
2.	<b>Tournage</b> a) Orientation et montage de la pièce b) Dressage (ébauche) à <b>50,8 mm</b> c) Chariotage (ébauche) à <b>Ø121, 7x 30 mm</b> d) Chariotage ( finition) à <b>Ø120-0,3 x3 0 mm</b> e) Chanfrein <b>3x45°</b> f) Exécuter la gorge <b>Ø114 x 5 mm</b>		Outil à dresser  Outil à charioter  Outil à charioter  Outil à saigner		400  500  500	0,5  0,2  0,2		P à C

		FEUILLE D'ANALYSE DE FABRICATION				Phase 30		
Pièce		Brut				Machine		
ANALISE DE PHASE, SOUS PHASE, OPERATIONS				CONDITION DE COUPE				CONTROLE
	Désignation de phase, sous phase	Machine outils	Outillage de coupe	Vc m/min	N Tr/min	fz mm/tr	Vf mm/min	Outils de contrôle
3.	<b>Tournage</b>  a) Orientation et montage de la pièce  b) Alésage au tour <b>Ø47, 5+0,3 x50 mm</b>  c) Alésage au tour <b>Ø100x15 mm</b>  d) Chanfrein <b>2x45°</b>		Outil à aléser  Outil à aléser  Outil à charioter	182  182  182	1500  1500  1500	0,1  0,1  0,1		P à C



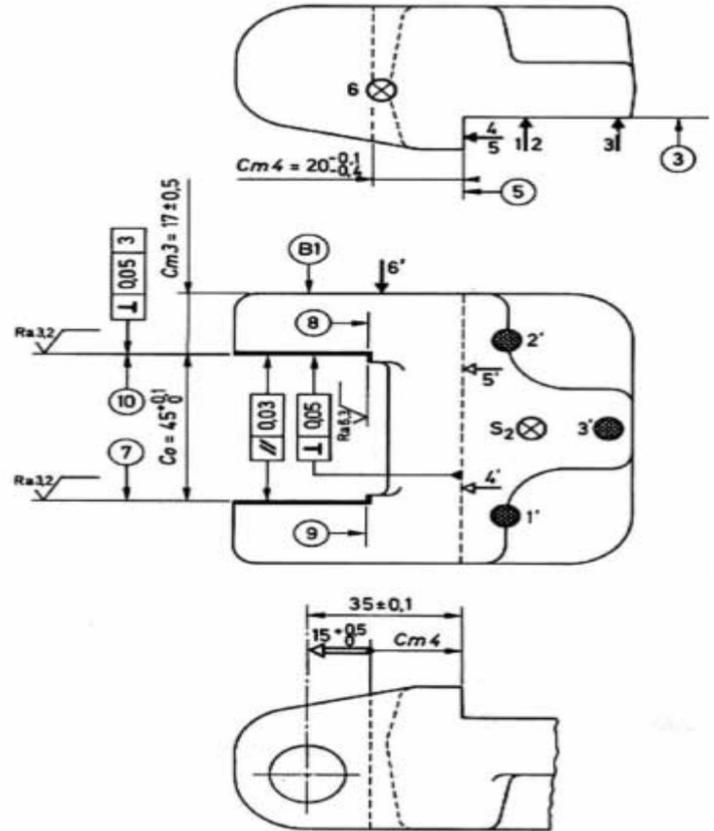
		FEUILLE D'ANALYSE DE FABRICATION				Phase 50		
Pièce		Brut				Machine		
								
ANALISE DE PHASE, SOUS PHASE, OPERATIONS				CONDITION DE COUPE				CONTROLE
	Désignation de phase, sous phase	Machine outils	Outillage de coupe	Vc m/min	N Tr/min	fz mm/tr	Vf mm/min	Outils de contrôle
5.	<b>Tournage</b>  a) Orientation et montage de la pièce  b) Dressage ( finition ) à <b>50 mm</b>  c) Chariotage ( finition ) à <b>Ø130, 5-0,20 x 20 mm</b>  e) Chanfrein extérieur <b>3x45°</b>  f) Démontage de la pièce du mandrin		Outil à dresser  Outil à charioter  Outil à charioter	  182  182	  500  500	  0,5  0,2  0,2	      	P à C

		FEUILLE D'ANALYSE DE FABRICATION				Phase 60		
Pièce		Brut				Machine		
ANALISE DE PHASE, SOUS PHASE, OPERATIONS				CONDITION DE COUPE				CONTROLE
	Désignation de phase, sous phase	Machin e outils	Outillage de coupe	Vc m/min	N Tr/min	fz mm/tr	Vf mm/min	Outils de contrôle
6.	<b>Alésage au tour</b> a) Orientation et montage de la pièce b) Alésage au tour à $\text{Ø } 49,6-0,20 \text{ x } 35 \text{ mm}$ c) Chanfrein intérieur $2 \times 45^\circ$ d) Chanfrein extérieur $2 \times 45^\circ$ e) Démontage de la pièce du mandrin <b>Contrôle final</b>		Outil à aléser  Outil à aléser  Outil à aléser	182  182  182	1500  1500  1500	0,1  0,1  0,1		P à C



FEUILLE D'ANALYSE DE FABRICATION		Phase 10									
		Désignation									
Réalisé par :		Réalisé par :									
Ensemble :	MATIERE	Réf. programme: %	Ensemble :								
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> <p><b>Calcul de la cote Cm1 :</b></p> <p><math>16 = Cm1 - 35</math> et <math>IT 16 = IT Cm1 + IT 35</math>  d'où <math>Cm1 = 51</math> et <math>IT Cm1 = 1</math>  <math>16,6 = Cm1 \text{ max} - 34,9</math> donc <math>Cm1 \text{ max} = 51,5</math>  donc <math>Cm1 = 51 \pm 0,5</math></p> </div>											
<b>Désignation des sous phases, sous phases et opérations .Pour chaque phase, sous phase préciser : départ, appuis, serrage</b>		<b>M.O./outillages</b>	<b>Outils de mesurage</b>								
<p><b>Contrôle du brut</b>  Cotes et spécifications suivant plan du brut</p> <p><b>Fraisage</b>  Référentiel de départ défini par :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- appui plan sur (B2) par 3N (1,2,3)  cote <math>33 \pm 0,5</math></li> <li>- appui linéaire sur (B3) par 2N (4,5)  cote <math>51 \pm 0,5</math></li> <li>- appui ponctuel sur (B4) par 1N (6)</li> <li>- immobilisation en 1</li> </ul> <p>Fraiser directement en finition et si simultanément (3) et (5)</p> <p>cotes : <math>Cm1 = 51 \pm 0,5</math>  <math>Cm2 = 33 \pm 0,5</math></p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>3</td> <td>//</td> <td>1</td> <td>B2</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>⊥</td> <td>0,05</td> <td>3</td> </tr> </table> <p><math>Ra 6,3</math> <math>\sqrt{\quad}</math> sur (5)  <math>Ra 3,2</math> <math>\sqrt{\quad}</math> sur (3)</p>		3	//	1	B2	5	⊥	0,05	3		
3	//	1	B2								
5	⊥	0,05	3								

<b>FEUILLE D'ANALYSE DE FABRICATION</b>		<b>Phase 20</b>
		Désignation
Réalisé par :		Réalisé par :
Ensemble :	MATIERE	Réf. programme: %
		Ensemble :



**Calcul de la cote Cm4 :**  
 $15 = 35 - Cm4$  et  $IT\ 15 = IT\ 35 + IT\ Cm4$   
 d'où  $Cm4 = 20$  et  $IT\ Cm4 = 0,3$   
 $Cm4\ max = 19,9$  donc  $Cm4 = 20_{-0,1}^{0,4}$

Désignation des sous phases, sous phases et opérations .Pour chaque phase, sous phase préciser : départ, appuis, serrage	M.O./outillages	Outils de mesurage												
<p><b>Fraisage</b>                      Référentiel de reprise défini par:                      – appui plan sur (3) en 3N (1,2,3)                      – appui linéaire sur (5) en 2N (4,5)                      – appui ponctuel sur (B1) en 1N (6)                      – immobilisation en S<sub>2</sub></p> <p>Fraiser simultanément en finition (7), (8), (9), (10)                      cotes : <math>Cm4 = 20_{-0,1}^{0,4}</math>  <math>Cm3 = 17 \pm 0,5</math>  <math>Ca = 45_{-0,1}^{0,1}</math></p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>10</td> <td>//</td> <td>0,03</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>⊥</td> <td>0,05</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>⊥</td> <td>0,05</td> <td>3</td> </tr> </table> <p><math>Ra\ 3,2</math>                      √ sur (7) et (10)  <math>Ra\ 6,3</math>                      √ sur (8) et (9)</p>	10	//	0,03	7	10	⊥	0,05	5	10	⊥	0,05	3		
10	//	0,03	7											
10	⊥	0,05	5											
10	⊥	0,05	3											



## SOMMAIRE MODE OPERATOIRE

<b>CHAPITRE 1 : OBJECTIFS ET ELEMENTS DE CONTENU POUR ETABLIR UN MODE OPERATOIRE .....</b>	<b>3</b>
1.1.OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU DE COMPORTEMENT.....	3
1.2.OBJECTIFS ET ELEMENTS DE CONTENU.....	5
<b>CHAPITRE 2 : LA FONCTION METHODES D'USINAGE.....</b>	<b>7</b>
2.1. ROLE ET SITUATION DANS L'ENTREPRISE.....	7
2.1.1. Généralités.....	7
2.1.2. Rôle du service Méthodes usinage.....	7
2.2. MOYENS D'ACTION. NATURE DES PROBLEMES ET CONNAISSANCES NECESSAIRES.....	9
<b>CHAPITRE 3 : LA COTATION DE FABRICATION.....</b>	<b>10</b>
3.1. ETUDE DES DISPERSION DIMENSIONNELLES.....	10
3.1.1. Généralités.....	10
3.1.2. Les causes des dispersions.....	10
3.1.3.Evaluation des dispersions.....	10
3.1.4. Connaissance des dispersions.....	11
3.1.5. Exemple d'analyse des dispersions.....	11
3.2. CLASIFICATION DES COTES DE FABRICATION.....	12
3.2.1. Généralités.....	12
3.2.2. Les différentes cotes de fabrication.....	12
3.2.2.1. Cotes dites « cotes-machines » notées $U_p$ .....	12
3.2.2.2. Cotes appareillages : notées $U_A$ .....	12
3.2.2.3. Cotes-outils : notées $U_O$ .....	12
<b>CHAPITRE 4 : MISE EN POSITION DES PIECES.....</b>	<b>14</b>
4.1. GENERALITES.....	14
4.2. ANALYSE DU PROBLEME.....	14
4.3. SYMBOLISATION DE L'ELIMINATION DES DEGREES DE LIBERTE.....	16
4.3.1. Objet.....	16
4.3.2. Symbole de base.....	16
4.3.3. Principe d'utilisation.....	16
4.3.4. Recommandations.....	16
4.3.5. Commentaires particuliers.....	17
4.3.6. Symbolisation des éléments technologiques... ..	18
4.3.6.1. Objet.....	18
4.3.6.2. Domaine d'application.....	18
4.3.6.3. Principe d'établissement dessymboles.....	18
4.3.6.4.Position du symbole.....	18

<b>CHAPITRE 5 : POSITIONNEMENT ET MONTAGE D'USINAGE.....</b>	<b>22</b>
<b>CHAPITRE 6 : ETUDE DE TRANSFERT DES COTES.....</b>	<b>24</b>
<b>CHAPITRE 7 : ANALYSE DE FABRICATION .CHOIX DES SURFACES DE REFERENCE ET REGLAGE DES APPUIS.....</b>	<b>27</b>
7.1. SURFACE DE REFERENCE D'UNE PIECE.....	27
7.2. USINAGE.....	27
7.2.1. Relations entre différentes surfaces.....	28
7.2.1.1. Surfaces de référence de définition.....	28
7.2.1.2. Surfaces d'appui de la porte-pièce.....	28
7.2.2. Règles sur le choix des surfaces de référence d'appui.....	28
7.3. ORDRE DE PRIORITE DES SURFACES DE REFERENCE.....	31
7.3.1. Dessin de définition partielle .....	31
7.3.2. Dessin de la phase perçage lamage.....	31
7.4. METHODES DE TRAVAIL.....	33
7.4.1. Travail en série.....	33
7.4.2. Travail unitaire.....	33
<b>CHAPITRE 8 : ORDONANCEMENT DES OPERATIONS D'USINAGE...36</b>	<b>36</b>
8.1. COMMENT SE POSE LA PROBLEME.....	36
8.1.1. Un dossier comprenant.....	36
8.1.2. Les pièces.....	36
8.1.3. Le poste de travail.....	37
8.1.4. Objet des principaux documents.....	37
8.2. LES CONTRAINTES D'USINAGE.....	40
8.2.1. Contraintes technologiques.....	40
8.2.2. Contraintes géométriques et dimensionnelles.....	40
8.2.3. Contraintes économiques.....	43
<b>CHAPITRE 9 : RECHERCHE DE L'ORDRE CHRONOLOGIQUES DES OPERATIONS D'USINAGE.....</b>	<b>44</b>
9.1. METHODE D'ELABORATION.....	44
9.2. EXEMPLE : GAMME D'USINAGE DU PALIER.....	45
9.3. COTES DE REGLAGE EN TRAVAIL UNITAIRE.....	49
9.3.1. Rappel.....	49
9.3.2. Exemple.....	49
9.3.3. Analyse de causes d'écart entre les cotes de réglage et les cotes fabriquées.....	50
<b>CHAPITRE 10 : COTES DE REGLAGE ET APPLICATIONS PRATIQUES.....</b>	<b>51</b>
10.1. COTES DE REGLAGE.....	52
10.2. APPLICATIONS PRATIQUES.....	52
<b>CHAPITRE 11 : EXEMPLE DES DOCUMENTS POUR UN DOSSIER DE FABRICATION.....</b>	<b>54</b>
<b>CHAPITRE 12 : EXEMPLES ET APPLICATIONS .....</b>	<b>60</b>

**BIBLIOGRAPHIE :***Manuels de référence*

Guide du dessinateur industriel, A. Chevalier

Guide du technicien en productique, A. Chevalier, J. Bohan

Précis/ Méthodes d'usinage/Méthodologie, Production et normalisation, R Dietrich &

Précis/Construction mécanique Tome 2, Projet méthodes,production,normalisation,

J-P. Trotignon &

