

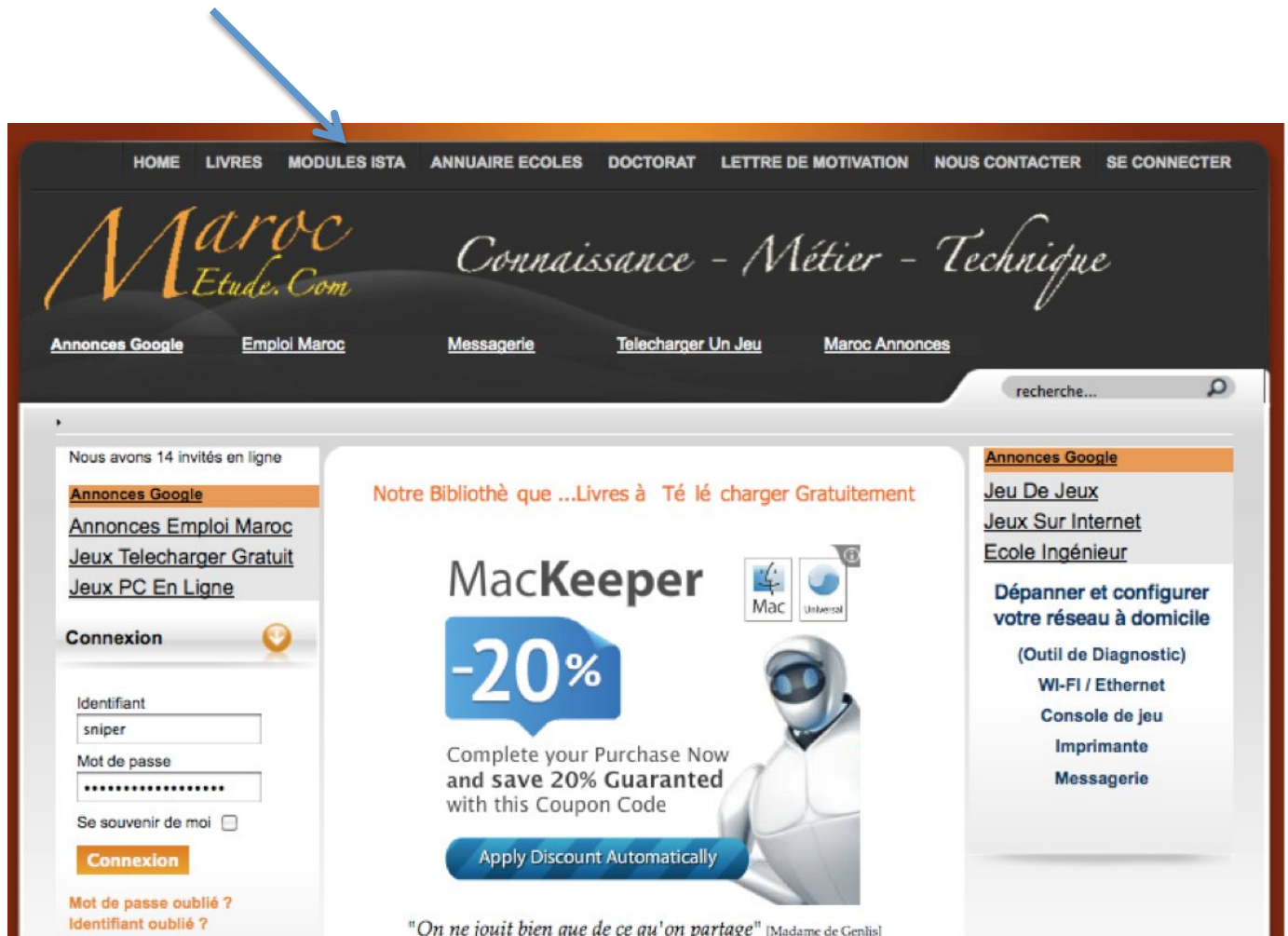
**OFPPT****ROYAUME DU MAROC****مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل****Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail**
*Direction Recherche et Ingénierie de la Formation***RESUME THEORIQUE
&
GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES****MODULE 16 : DOSSIER DE FABRICATION
(PARTIE 1)****Secteur : FABRICATION MECANIQUE****Spécialité : TECHNICIEN EN
FABRICATION MECANIQUE****Niveau : TECHNICIEN**

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

Pour cela visiter notre site www.marocetude.com et choisissez la rubrique :

MODULES ISTA



The screenshot shows the homepage of MarocEtude.Com. At the top, a navigation bar contains links: HOME, LIVRES, **MODULES ISTA** (highlighted with a blue arrow), ANNUAIRE ECOLES, DOCTORAT, LETTRE DE MOTIVATION, NOUS CONTACTER, and SE CONNECTER. Below this is a header with the site 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 on the right. The main content area features a large advertisement for MacKeeper with a '-20%' discount. On the left sidebar, there is a 'Connexion' section with fields for 'Identifiant' (containing 'sniper') and 'Mot de passe', a 'Se souvenir de moi' checkbox, and a 'Connexion' button. Below this are links for 'Mot de passe oublié ?' and 'Identifiant oublié ?'. The right sidebar contains a list of links under 'Annonces Google': 'Jeu De Jeux', 'Jeux Sur Internet', 'Ecole Ingénieur', and a section for 'Dépanner et configurer votre réseau à domicile' with sub-links for '(Outil de Diagnostic)', 'Wi-Fi / Ethernet', 'Console de jeu', 'Imprimante', and 'Messagerie'. At the bottom of the page, a quote reads: '"On ne jouit bien que de ce qu'on partage" [Madame de Genlis]'.

Document élaboré par :

Nom et prénom
Octavian ALBU
MOHAMED SERBOUT

EFP
CDC Génie Mécanique

DR

Révision linguistique

-
-
-

Validation

-
-

MODULE 16 : DOSSIER DE FABRICATION

Code :	Théorie :	23 %
Durée : 70 heures	Travaux pratiques :	69 %
Responsabilité : D'établissement	Évaluation :	8 %

OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU DE COMPORTEMENT

COMPETENCE

- **Établir un dossier de fabrication comportant tous les documents nécessaires à l'exécutant d'atelier dans le cas de pièces unitaires et de petites séries.**

PRESENTATION

Ce module de compétence particulière pour les techniciens en fabrication mécanique est programmé en deuxième année de formation pour conférer au stagiaire les bases nécessaires pour l'analyse de fabrication des pièces en tenant compte des procédés de fabrication.

DESCRIPTION

L'objectif de ce module est de faire acquérir la compétence particulière relative à l'élaboration et rédaction d'un mode opératoire ou de gamme 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 analyser la fabrication des pièces mécaniques et d'établir les documents nécessaires à leur fabrication. La stagiaire apprendra à utiliser les documents relationnels des méthodes et apprendra à élaborer des processus d'usinage en tournage et fraisage sur des pièces mécaniques comportant plusieurs phases d'usinage.

CONTEXTE D'ENSEIGNEMENT

- Les stagiaires auront à faire en groupe des exposés sur des thèmes techniques d'usinage (perçage, tournage, fraisage, rectification) englobant les équipements, les outils, les outillages, les capacités et les différents types de machines.
- Le travail en groupe et en sous-groupe sera favorisé par le formateur
- Mettre les stagiaires dans des situations réelles de production en provoquant des relations clients- fournisseurs
- Des butées horaires seront appliquées pour le respect des délais et la notion des temps alloués

CONDITIONS D'EVALUATION

- Travail individuel
- A partir de :
 - Cahier des charges
 - (qualité, délai et quantité)
 - Plan de définition,
 - Croquis à main levée
 - Connaissance des moyens disponibles
 - De directives
- A l'aide :
 - Documentations techniques standards ou d'entreprise
 - Catalogues fournisseurs
 - Imprimés des méthodes standardisés d'entreprise ;
 - des dossiers machines;

OBJECTIFS	ELEMENTS DE CONTENU
Comprendre les exigences d'un client Comprendre la terminologie technique Avoir une rigueur de travail A. Analyser le cahier des charges, le plan de définition ou le plan d'ensemble Avoir le souci de la faisabilité, de la qualité demandée et du coût de fabrication B. Déterminer les processus opératoires de fabrication d'une pièce ou d'assemblage	- Besoins et demande du client - Pertinence des données - Termes et mots techniques (jargon entreprise) - Lecture de dessin - Désignation normalisée - Eléments de construction mécanique : symboles... - Cotations dimensionnelles, géométriques et de position - Importance des consignes et directives - Utilisation bloc notes, agendas... - Rigueur au travail - Analyse de la cotation - Types et nature d'usinage, - Matière - Morphologie (volume, poids...) - Critères particuliers - Analyse du dessin de définition des pièces en vue de sa réalisation - Dégagement des spécifications gênant au niveau réalisation - Critique du dessin de définition (difficultés de réalisation, coûts de production élevés...) - Relation entre importance de la série et le choix des moyens de production - Analyse des contraintes : fonctionnelles, dimensionnelles et technologiques. - Analyse des contraintes de fabrication qui imposent ou modifient l'ordre chronologique des phases et des opérations d'usinage d'une pièce - Coûts de fabrication - Rapports qualité / prix - Ordonnancement chronologique des phases et des opérations - Choix des moyens - Réalisation des gammes d'usinage avec détermination des éléments suivants : • Les isostatismes 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 - Estimation des temps opérationnels

C. Choisir les machines et équipements appropriés : machines-outils, outillages et montages nécessaires à chaque opération (fabrication, montage, contrôle, manutention,...) D. Rédiger les consignes relatives à chaque opération du processus de fabrication et établir les fiches de contrôle E. Organiser des postes de travail suivant les principes de l'OST F. Déterminer les temps de fabrication. Avoir des notions de base de comptabilité Appliquer les principes d'analyse de la valeur Suivre l'évolution technologique G. Rechercher l'optimisation d'un processus	- Potentialités et disponibles des machines-outils (limites : outils et machines) - Machines outils et procédés de fabrication - Modes de génération des formes - La gamme garantie la qualité des pièces - 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 - Constitution du dossier de fabrication pour la réalisation d'une pièce en production de série. - La gamme vise des compagnons de travail - La qualité - Les procédures - La traçabilité - L'archivage - Codification des documents - Ergonomie : posture, gestes, - Aménagement du poste de travail : zones de travail et de stockage, - Conditions du travail : outillages, bruit, lumière, pauses - Economie de mouvement : main droite et main gauche - Hygiène et sécurité - Manutention - Simplification du travail - Eléments de travail - Calcul des taux horaires - Temps de préparation - Temps unitaire - Temps standard de fabrication - MTM,... - Calcul des temps de préparation et unitaire pour une gamme de fabrication des pièces d'usinage - Exposés sur les nouvelles technologies - Optimisation des gammes et des processus - Technologie de groupe - TGAO - Analyse de déroulement
---	---

SOMMAIRE

ANALYSE DE FABRICATION ET GAMME D'USINAGE

CHAPITRE 1 : LA FONCTION METHODES D'USINAGE.....	10.....
CHAPITRE 2 : LA COTATION DE FABRICATION.....	18.....
CHAPITRE 3 : MISE EN POSITION DES PIECES.....	27.....
CHAPITRE 4 : ANALYSE DE FABRICATION ; CHOIX DES SURFACES DE REFERENCE ET REGLAGE DES APPUIS.....	35....
CHAPITRE 5 : POSITIONNEMENT ET MONTAGE D'USINAGE	43....
CHAPITRE 6 : ORDONNANCEMENT DES OPERATIONS D'USINAGE.....	45.....
CHAPITRE 7 : RECHERCHE DE L'ORDRE CHRONOLOGIQUE DES OPERATIONS D'USINAGE	54.....
CHAPITRE 8 : COTES DE REGLAGE ET APPLICATIONS PRATIQUES	61.....
CHAPITRE 9 : METHODOLOGIE D'ETABLISSEMENT DES PROCESSUS D'USINAGE.....	64...
CHAPITRE 10 : METHODOLOGIE D'ETABLISSEMENT DES PROCESSUS D'USINAGE (ETUDE DES GRAPHES ORDONNES	66.....
CHAPITRE 11 : METHODOLOGIE D'ETABLISSEMENT DES PROCESSUS	68.....
CHAPITRE 12 : METHODOLOGIE D'ETABLISSEMENT DES PROCESSUS D'USINAGE.....	71
CHAPITRE 13 : APPROCHE DE LA TECHNOLOGIE DE GROUPE (CAS PARTICULIER DES MACHINES COMMANDE NUMERIQUE).....	73
CHAPITRE 14 : EXEMPLE ET APPLICATIONS	126....
ANNEXE : La coupe des matériaux et les conditions d'usinage	189
BIBLIOGRAPHIE.....	223

CHAPITRE 1 : LA FONCTION METHODES D'USINAGE

1.1. ROLE ET SITUATION DANS L'ENTREPRISE

1.1.1. 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 (fabrifications 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.

1.1.2. RÔLE DU SERVICE MÉTHODES USINAGE

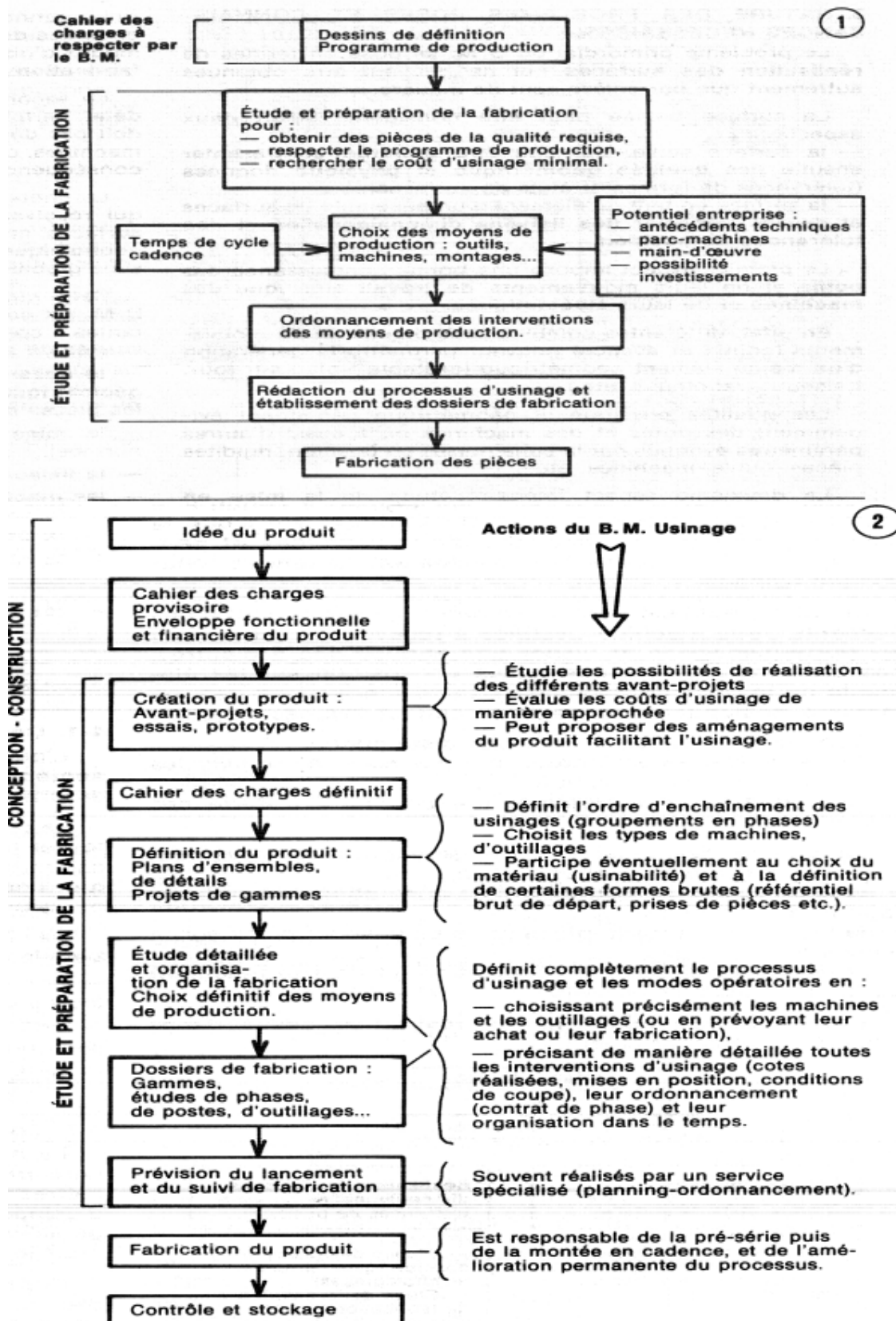
Il est responsable de l'étude et de la préparation de la fabrication.

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 on 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.



1. 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.

1. 3. COTATION FONCTIONNELLE

Coter fonctionnellement un dessin, c'est faire un choix raisonné entre ses diverses dimensions géométriquement équivalentes, et de coter et tolérer que celles d'entre elles (dites **dimensions fonctionnelles**) qui expriment directement les conditions d'aptitude du produit à l'emploi prévu (dites **cotes condition**).

1.3.1. Dessin de définition

Les plans de détails réalisés à partir d'un ensemble se nomment **dessin de définition**. Ils doivent être conformes à la définition ci-jointe.

MÉTHODE GÉNÉRALE POUR COTER FONCTIONNELLEMENT

1° Faire une analyse complète du produit afin de mettre en évidence les cotes condition pour assurer un fonctionnement normal.

2° Choisir les cotes qui expriment directement, pour chaque pièce, ces cotes condition.

DESSIN DE DÉFINITION

Le dessin de définition détermine complètement et sans ambiguïté les exigences fonctionnelles auxquelles doit satisfaire le produit dans l'état de finition prescrit. Il est destiné à faire foi lors du contrôle de réception du produit.

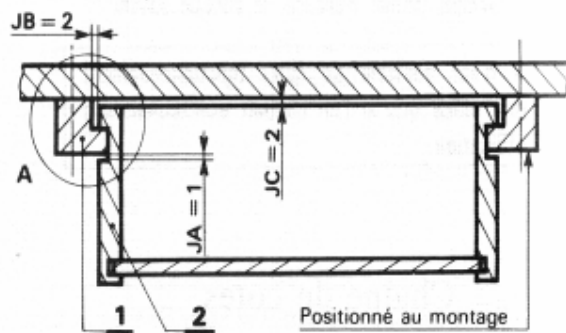
Un dessin de définition doit être coté fonctionnellement. La cote indiquée correspond à la dimension de la pièce finie, y compris éventuellement le revêtement de protection, le traitement de surface, etc.

Exemple

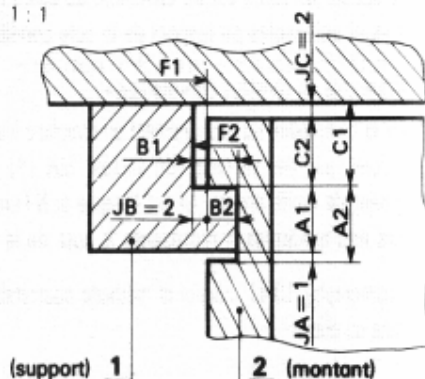
Soit à concevoir une cotation une cotation fonctionnelle pour le tiroir de table ci-joint :

COTATION D'UN ASSEMBLAGE

Tiroir de table



A - Échelle 1 : 1



Analyse fonctionnelle

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

Recherche des cotes condition pour obtenir le fonctionnement recherché.

- Le tenon du support 1 doit pouvoir pénétrer dans la rainure du montant 2. Cela suppose un **jeu JA**.
- La face F1 ne doit pas porter contre la face F2. Cela suppose un **jeu JB**.
- Le dessus du tiroir ne doit pas être en contact avec le dessous du plateau de table. Cela suppose un **jeu JC**. Afin de conserver à cet exemple la simplicité nécessaire, on se limitera à déterminer seulement les cotes qui expriment **directement ces trois jeux fonctionnels**.

Choix des dimensions à coter

Cote condition JA

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

$$JA = A2 - A1$$

Cote condition JB

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

$$JB = B1 - B2$$

Cote condition JC

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

$$JC = C1 - C2$$

Dessins partiels de produits finis des pièces 1 et 2

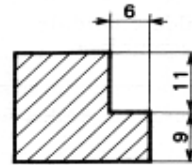
La valeur des cotes a été relevée à l'échelle sur le détail A de l'ensemble.
Les tolérances de fabrication n'ont pas été indiquées.
Cette cotation (cotes non tolérancées) pourrait cependant être acceptable pour une fabrication unitaire.

REMARQUE :

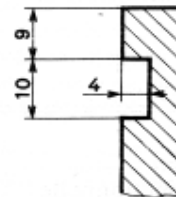
Cet exemple permet d'énoncer le principe suivant :

Il n'est possible de coter fonctionnellement une pièce que si l'on connaît exactement son utilisation.

SUPPORT 1



MONTANT 2



1.3.2. Chaîne des cotes

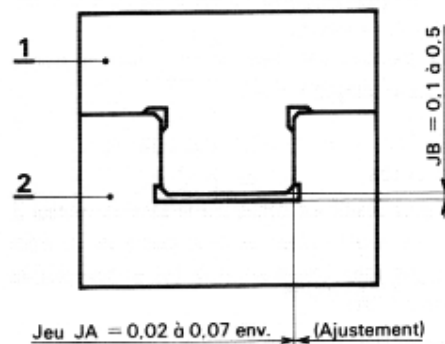
Soit à établir les chaînes de cotes relatives au guidage du coulisseau 1 sur la glissière 2.

.. Analyse fonctionnelle

Pour que le mouvement du coulisseau 1 dans la glissière 2 puisse être obtenu, il faut :

- que le tenon du coulisseau puisse pénétrer dans la rainure avec un jeu $JA = 0,02$ à $0,07$ environ, soit une tolérance $ja = 0,05$ environ.
- qu'entre l'extrémité du tenon et le fond de la rainure soit ménagé un jeu $JB = 0,1$ à $0,5$, soit une tolérance $jb = 0,4$.

Les jeux JA et JB sont considérés comme donnés. Ils auront pu être déterminés soit par le calcul, soit par l'expérience de cas similaires antérieurs, soit par des essais préalables.



Échelle 1 : 1

Chaîne minimale de cotes

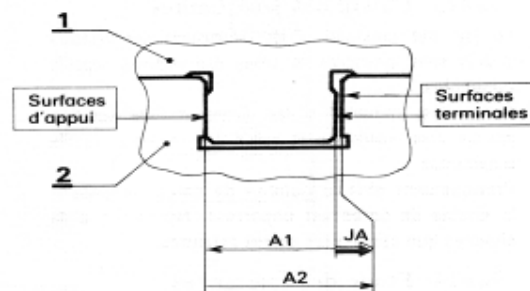
DÉFINITIONS PRÉALABLES :

Surfaces d'appui : surfaces en contact d'un ensemble de plusieurs pièces.

Surfaces terminales : surfaces d'un ensemble de plusieurs pièces entre lesquelles le jeu est compris.

Condition fonctionnelle JA :

Il est clair que la chaîne minimale de cotes pour définir directement cette condition est composée des cotes $A1$ et $A2$, **soit une cote par pièce**. Ce sont ces deux cotes ; $A1$ pour la pièce 1 et $A2$ pour la pièce 2, qui constituent les cotes fonctionnelles.



Cote condition JB :

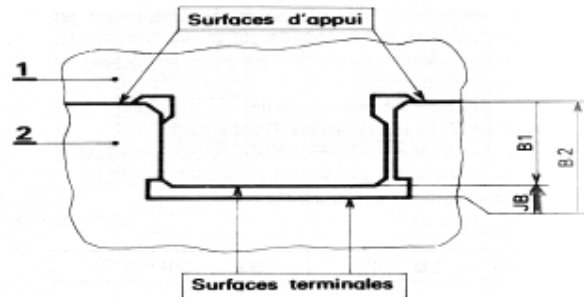
La chaîne minimale de cotes est composée des cotes fonctionnelles B1 et B2. Ces cotes permettent de passer d'une surface terminale à l'autre par l'intermédiaire des surfaces d'appui.

**PRINCIPE FONDAMENTAL
DE LA COTATION FONCTIONNELLE**

À partir d'une cote condition donnée, la chaîne de cotes est minimale, s'il n'y a qu'une cote par pièce.

Pour déterminer cette chaîne de cotes, on part d'une surface terminale pour rejoindre l'autre surface terminale en passant par l'intermédiaire des surfaces d'appui. Les surfaces d'appui à choisir sont celles qui concourent à la mise en place des surfaces terminales.

Pour chacune des pièces, la cote fonctionnelle à inscrire est celle qui appartient à la chaîne de cotes ainsi déterminée.

**Répartition des tolérances****CHAÎNE DE COTES JA**

La tolérance sur le jeu JA ($ja \approx 0,05$) est à répartir sur chacune des cotes A1 et A2. Cette répartition doit être effectuée en fonction des coûts de la fabrication.

On peut admettre, d'une façon générale, qu'à tolérances égales la fabrication d'un contenant est plus onéreuse que celle du contenu.

On est donc conduit à prévoir sur la cote A2 une tolérance plus large que sur la cote A1 soit :

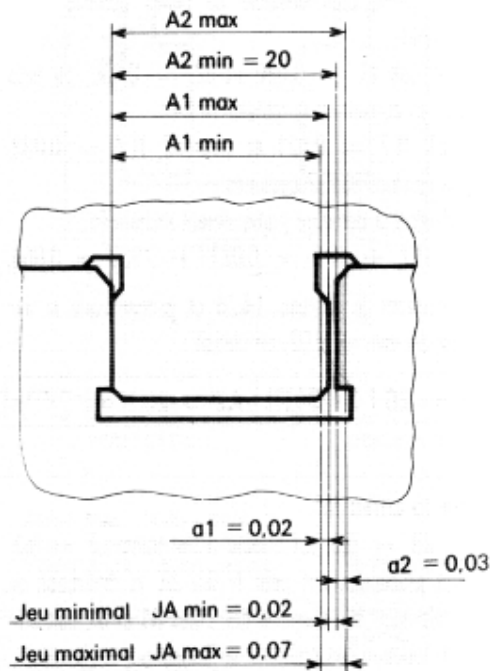
tolérance sur A1 : $a1 = 0,02$

tolérance sur A2 : $a2 = 0,03$.

VÉRIFICATION

$$ja = a1 + a2$$

soit $0,05 = 0,02 + 0,03$.



DÉTERMINATION DES COTES LIMITES

Les valeurs limites des cotes A1 et A2 doivent respecter l'une des deux relations ci-après :

$$JA_{\max} = A2_{\max} - A1_{\min} = 0,07 \quad (1)$$

$$JA_{\min} = A2_{\min} - A1_{\max} = 0,02 \quad (2).$$

Si, par exemple, la valeur nominale de l'ajustement est 20 mm (cote relevée à l'échelle sur le plan d'ensemble) et si le jeu minimal $JA_{\min} = 0,02$ pris aux dépens de la largeur du tenon, on a :

$$A2_{\min} = 20 \text{ et } A1_{\max} = 19,98.$$

La relation (2) se trouve vérifiée. D'autre part :

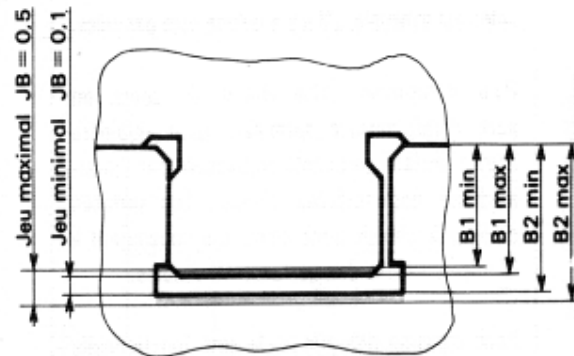
$$A1_{\min} = A1_{\max} - a1 = 19,98 - 0,02 = 19,96$$

$$A2_{\max} = A2_{\min} + a2 = 20 + 0,03 = 20,03.$$

Ces valeurs vérifient la relation (1).

En résumé :

$A1 = 20 \begin{smallmatrix} -0,02 \\ -0,04 \end{smallmatrix}$	$A2 = 20 \begin{smallmatrix} +0,03 \\ 0 \end{smallmatrix}$
--	--

**CHAÎNE DE COTES JB**

Le jeu $JB = 0,3$ est affecté d'une tolérance $\pm 0,2$. Comme précédemment pour le jeu JA, la répartition de cette tolérance sur chacune des cotes B1 et B2 doit être faite en fonction des coûts de la fabrication.

On peut prendre une tolérance identique pour B1 et B2, soit :

$$\text{tolérance sur } B1 : b1 \pm 0,1$$

$$\text{tolérance sur } B2 : b2 \pm 0,1.$$

On relève, sur le plan d'ensemble la hauteur du tenon, soit

12 mm, et l'on peut prendre le jeu nominal de 0,3 sur la profondeur de la rainure.

À partir de ces éléments, les valeurs de B1 et B2 sont faciles à obtenir, soit :

$B1 = 12 \pm 0,1$	$B2 = 12,3 \pm 0,1.$
-------------------	----------------------

VÉRIFICATION

$$JB_{\max} = B2_{\max} - B1_{\min} = 12,4 - 11,9 = 0,5$$

$$JB_{\min} = B2_{\min} - B1_{\max} = 12,2 - 12,1 = 0,1.$$

CHAPITRE 2 : LA COTATION DE FABRICATION

2.1.ÉTUDE DES DISPERSIONS DIMENSIONNELLES

2.1.1. 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.

2.1.2. 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 Δt : différence entre la plus grande et la plus petite des cotes mesurées. (Δt varie avec le nombre de cotes réalisées).

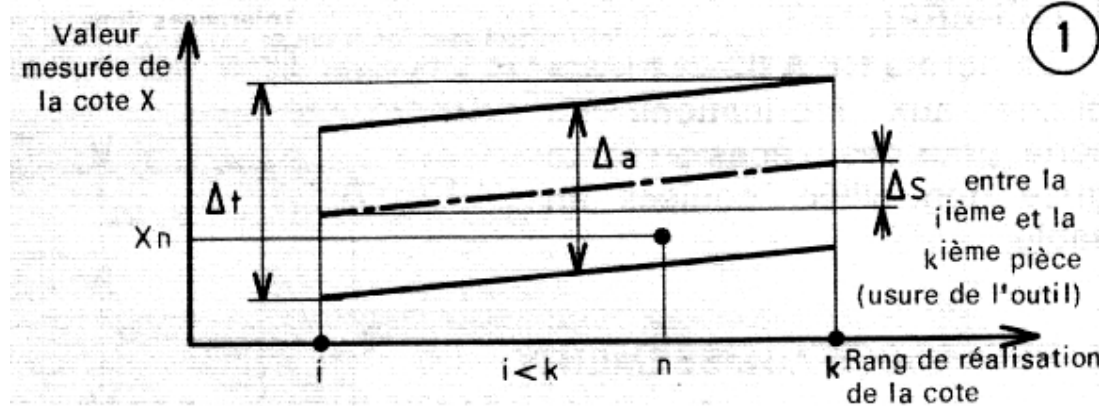
Les causes de la dispersion sont :

- **de caractère systématique (notées Δs)**
cas de l'usure de l'outil évoluant à peu près linéairement en fonction du nombre de cotes réalisées;
- **de caractère aléatoire (notées Δa)**
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 Δg) intervenant lors des déplacements relatifs des éléments de la machine s'ajoutent à la dispersion globale Δt . 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.



2.1.3. ÉVALUATION DES DISPERSIONS

La dispersion systématique Δs peut être connue par la loi d'usure de l'outil pour un couple outil- matériaux donnés. Elle est généralement faible devant Δa .

La dispersion aléatoire Δa peut être évaluée de deux manières différentes :

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

2.1.4. CONNAISSANCE DES DISPERSIONS

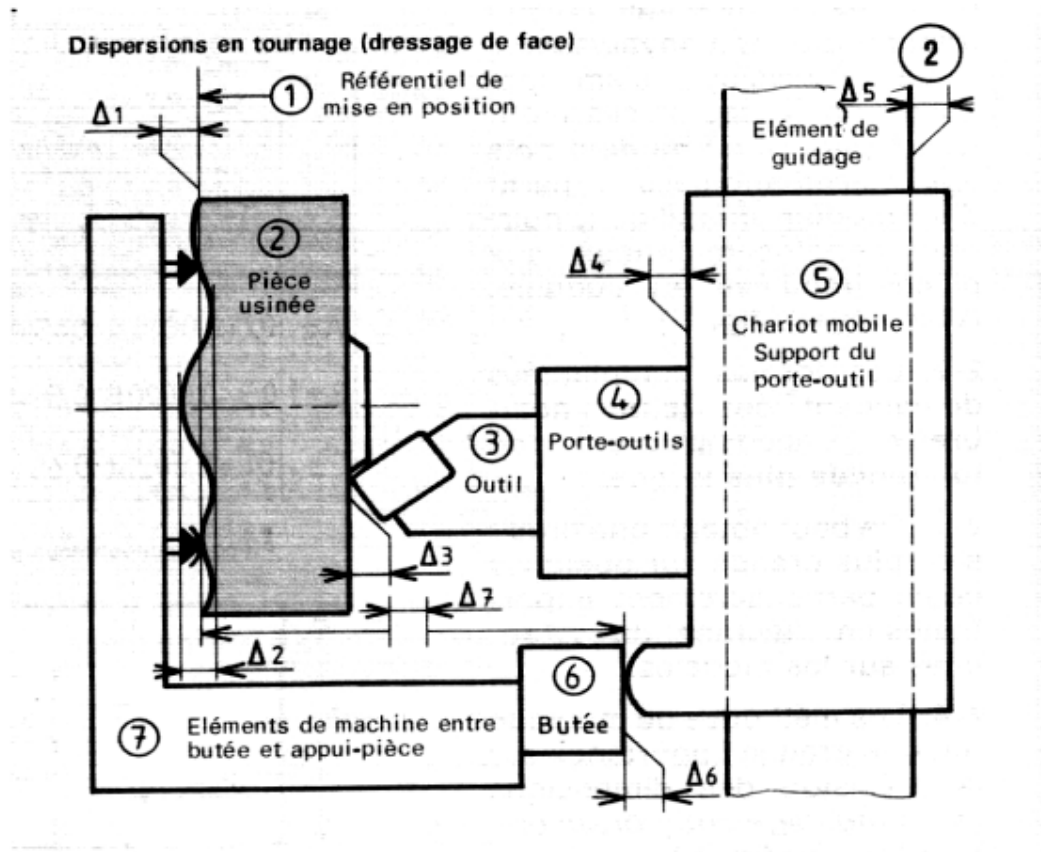
La connaissance des dispersions et l'évaluation de leurs ordres de grandeur permettent :

- 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.

2.1.5. 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 $\Delta_2 \approx \pm 0,05$ Estrimage sans redressage $\Delta_2 \approx \pm 0,2$ Estrimage 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
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 : Δ_1 et Δ_2 interviennent à chaque prise de pièce
 Δ_4 intervient à chaque changement d'outil
 Δ_6 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.

2.2. CLASIFICATION DES COTES DE FABRICATION

2.2.1. 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 œuvre.

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

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

2. 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 dispersions qui interviennent sont différentes, les cotes de fabrication sont classées en trois catégories.

2.2.2.1. 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.

2.2.2.2. COTES APPAREILLAGES : NOTEES U_A .

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

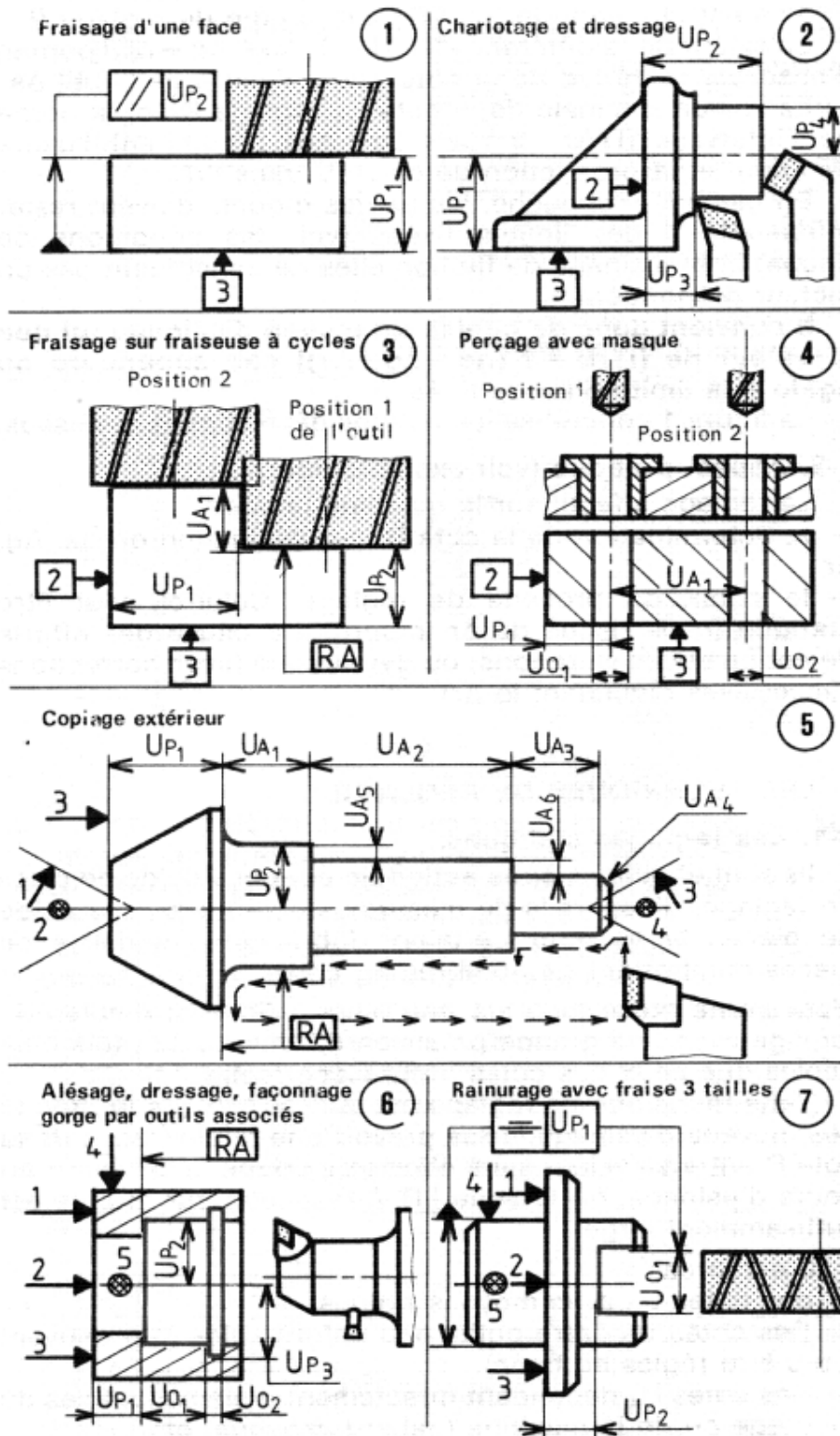
- **faire partie de la machine** : verniers, butées mécaniques (fixes, à barillet, à came, débrayables). Butées électromécaniques à taquets réglables. Butées électrohydrauliques, arrêts numériques;

- **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.

2.2.2.3. COTES- OUTILS : NOTEES U_O ;

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



2.3. 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 nécessitent généralement un calcul appelé : « transfert de cotes ».

Principe :

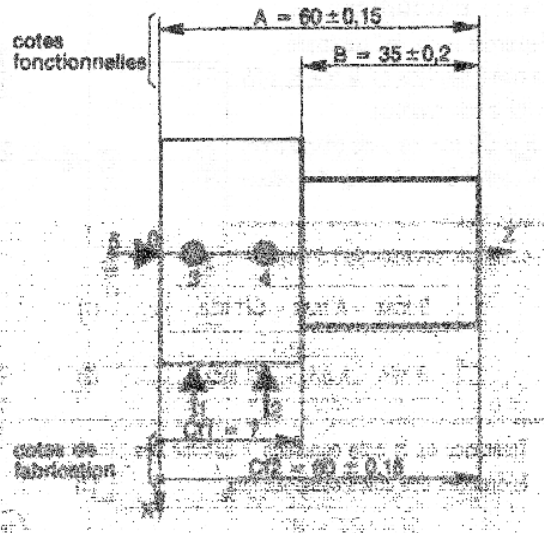
Le transfert de cotes est un moyen de calcul permettant la détermination des cotes utiles à la fabrication.

EXEMPLE :

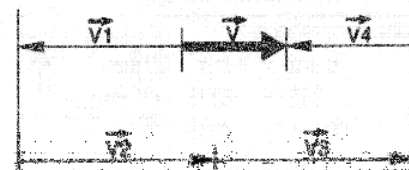
Soit à réaliser un axe épaulé, les cotes fonctionnelles du dessin de définition à respecter suivant l'axe OZ sont $A = 60 \pm 0,15$ et $B = 35 \pm 0,2$.

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 raisonne, 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.

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

$$V_{\max} = (V_1_{\max} + V_2_{\max}) - (V_3_{\min} + V_4_{\min})$$

$$V_{\min} = (V_1_{\min} + V_2_{\min}) - (V_3_{\max} + V_4_{\max})$$

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 :

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

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

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

■ 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.

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

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

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

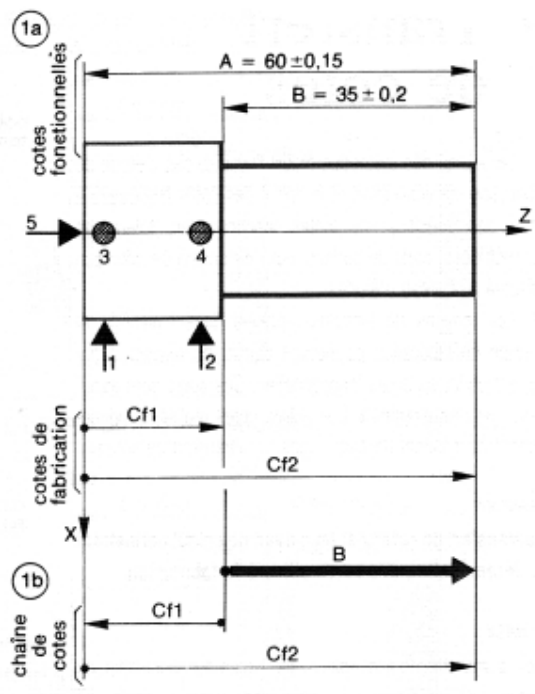
CALCUL DE Cf1 À L'AIDE DES RELATIONS (2) ET (3) :

Voir la chaîne de cotes figure 3.

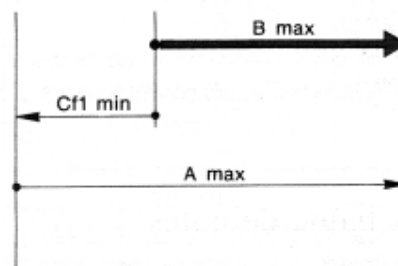
$$\begin{aligned} (2) \quad B \text{ min} &= A \text{ min} - Cf1 \text{ max} \\ 34,8 &= 59,85 - Cf1 \text{ max} \\ Cf1 \text{ max} &= 59,85 - 34,8 \\ Cf1 \text{ max} &= 25,05 \end{aligned}$$

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

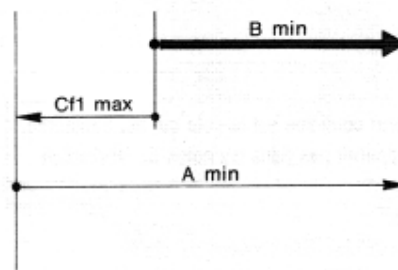
$$Cf1 = 25,05 \begin{matrix} 0 \\ - 0,1 \end{matrix}$$



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 :

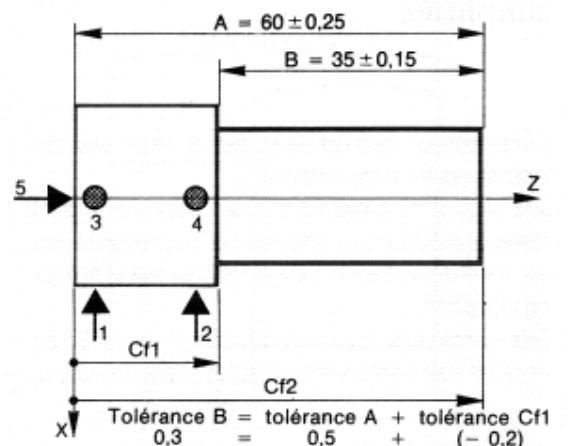
Les cotes A et B sont réalisées directement sur un tour semi-automatique.

- 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.

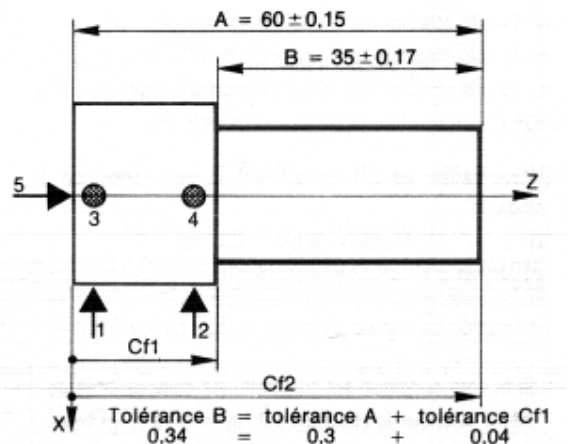
REMARQUE :

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

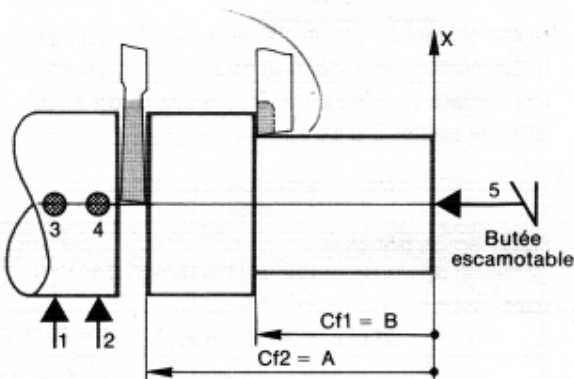
EXEMPLE 1



EXEMPLE 2



EXEMPLE 3



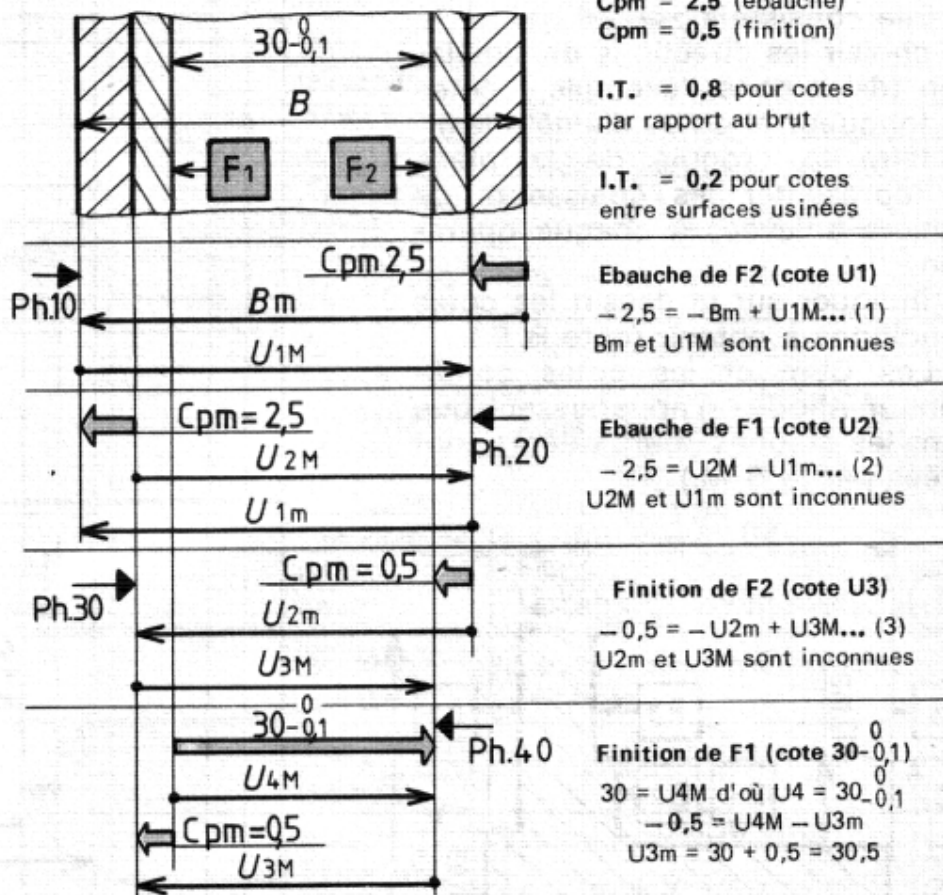
2.4. LE CUMUL DES CHAÎNES DES COTES GRAPHES CUMULÉS

Le tracé d'une chaîne de cotes correspondant à une condition se traduit par deux relations (IT et valeur) qui permettent de déterminer deux inconnues (valeur de U et son IT). Lors de la détermination des cotes intermédiaires de fabrication (ébauche et semi-finition) il est fréquent que plus d'une cote inconnue apparaissent dans les relations qui ne peuvent donc pas être résolues à l'instant où elles se pressentent dans le processus (voir fig. 3).

Il faut alors tracer les graphes correspondant aux opérations d'usinage ultérieures pour trouver les valeurs de certaines inconnues qui sont ensuite reportées dans les chaînes précédentes.

Détermination des cotes de fabrication permettant de réaliser F1 et F2 et calcul de la dimension minimale du brut

(3)



Calcul de U_1 , U_2 , U_3 et B_m .

$$U_{3M} = U_{3m} + 0,2 = 30,5 + 0,2 = 30,7 \text{ d'où } U_3 = 30,5 + 0,2$$

$$(3) \rightarrow U_{2m} = U_{3M} + 0,5 = 30,7 + 0,5 = 31,2 \text{ d'où } U_2 = 31,2 + 0,2$$

$$(2) \rightarrow U_{1m} = U_{2M} + 2,5 = 31,4 + 2,5 = 33,9 \text{ d'où } U_1 = 33,9 + 0,8$$

$$(1) \rightarrow B_m = U_{1M} + 2,5 = 34,7 + 2,5 = 37,2 \text{ d'où } B = 37,2 + 0,8$$

L'IT(x) de la cote du brut dépend de son procédé d'élaboration.

CHAPITRE 3 : MISE EN POSITION DES PIÈCES

3.1. 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).

3.2. 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.

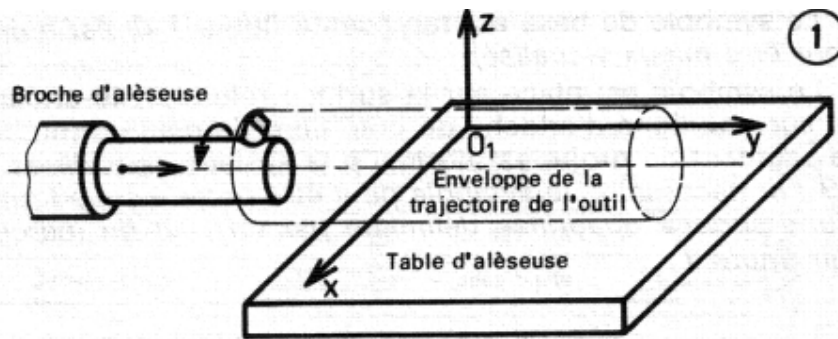
La norme (deuxième partie) prévoit l'utilisation d'une symbolisation plus complète (mise en position et serrage), mettant en évidence les fonctions des éléments technologiques, la nature de la surface de contact, la nature du contact et le type de technologie des éléments.

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 la mise 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.

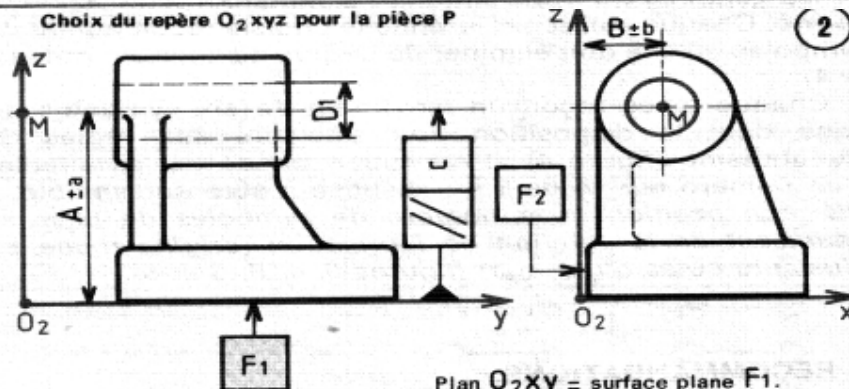
- L'étendue de la surface plane F1 permet d'éliminer trois degrés de liberté (figure 4).
- La longueur de la surface plane F2 permet d'éliminer deux degrés de liberté (figure 4).

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

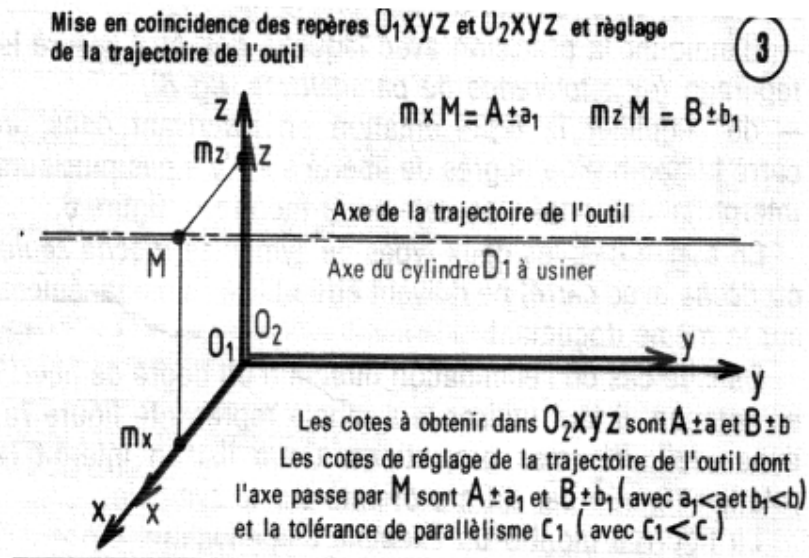


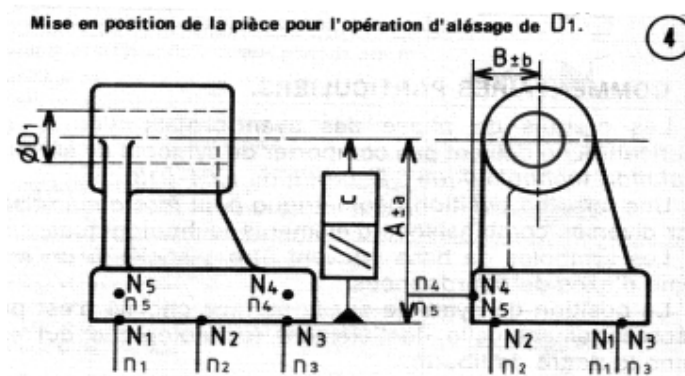
Plan O_2xy = surface plane F_1 .

Le repère O_2xyz est défini par : Plan O_2yz = surface plane F_2 .

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

Mise en coïncidence des repères O_1xyz et O_2xyz et réglage de la trajectoire de l'outil





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

3 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 manutention, en liaison avec la cotation de fabrication.

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

3. 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.

3. 3. 3. PRINCIPES D'UTILISATION

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

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

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

3. 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.

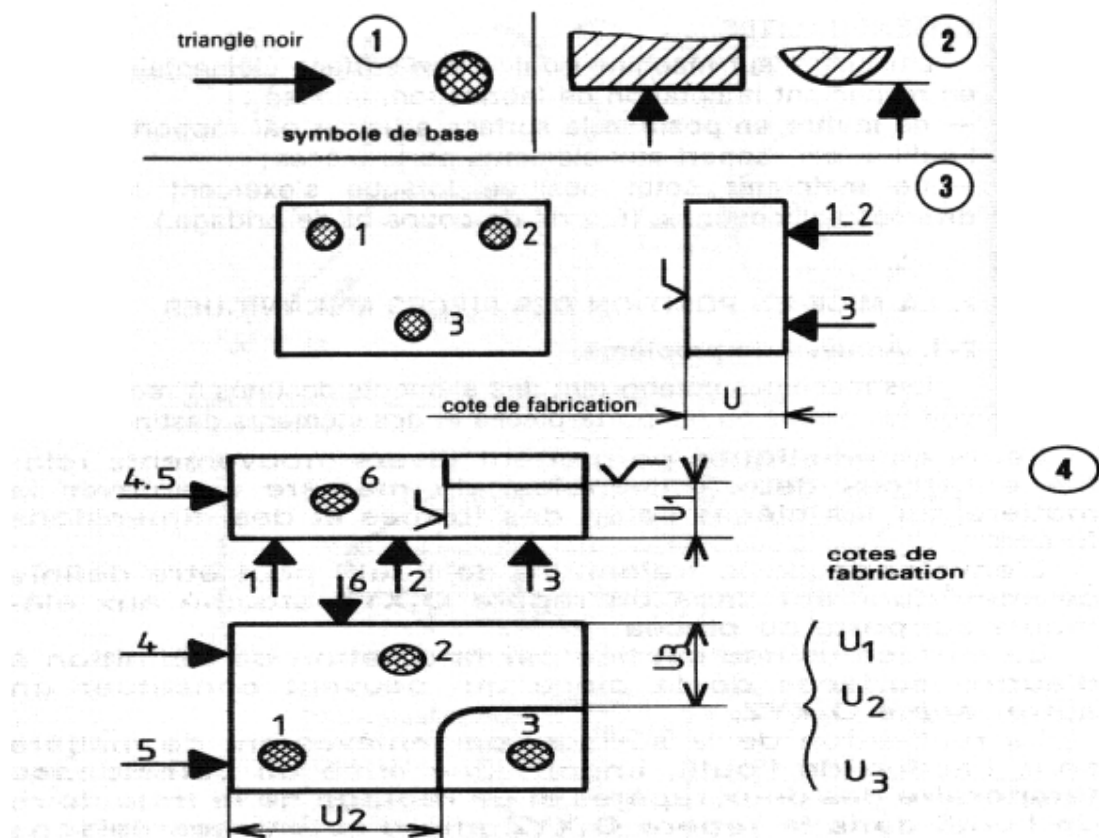
3. 3. 5. COMMENTAIRES PARTICULIERS

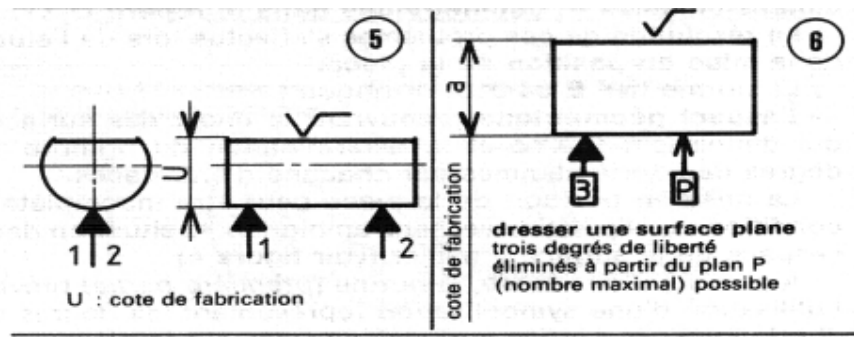
Les croquis de phase des avant-projets d'étude de fabrication ne doivent pas comporter de symbole de serrage (solution technologique : partie de E04- 013).

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.





3.3. 6. SYMBOLISATION DES ÉLÉMENTS TECHNOLOGIQUES

NF E 04-013

3.3.6.1. OBJET

La 2^{ème} 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.

3.3.6.2. DOMAINE D'APPLICATION

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

3.3.6.3. 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 :

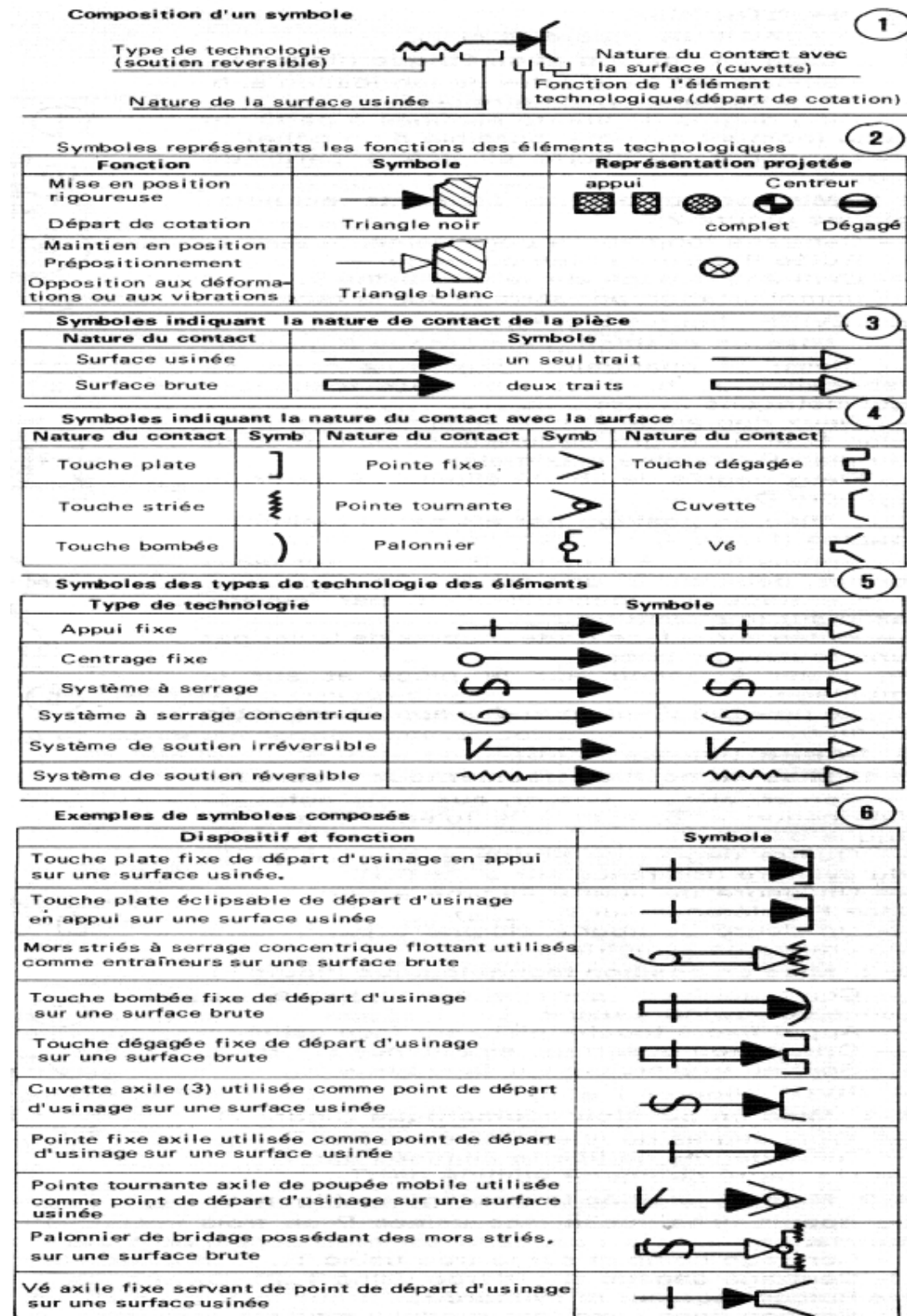
- ✓ la fonction de l'élément technologique (fig. 2),
- ✓ la nature du contact avec la surface (fig. 4),
- ✓ la nature de la surface de contact de la pièce (*brute ou usinée*) (fig. 3),
- ✓ le type de technologie de l'élément (fig. 5).

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*).

3.3.6.4. POSITION DU SYMBOLE

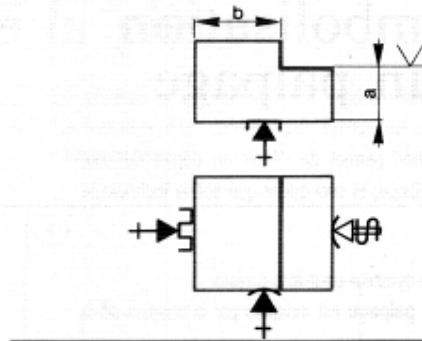
Le symbole est placé du côté libre de matière et sa direction est normale à la surface. Il peut être placé sur la surface spécifiée ou sur une ligne d'attache. En représentation projetée, le symbole est placé à l'intérieur du contour apparent de la surface.



Exemples d'applications

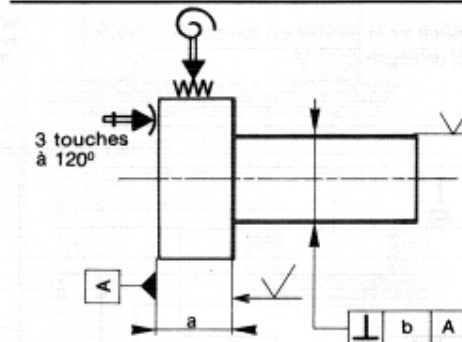
EXEMPLE 1 :

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



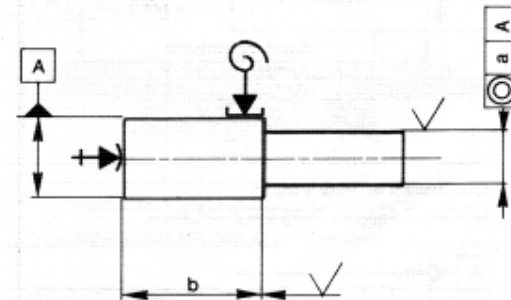
EXEMPLE 2 :

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



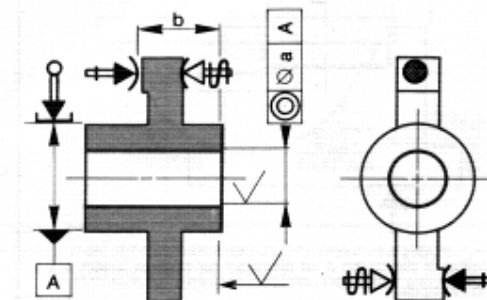
EXEMPLE 3 :

- 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**).

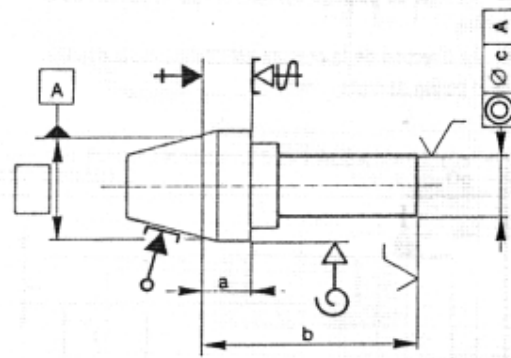


EXEMPLE 4 :

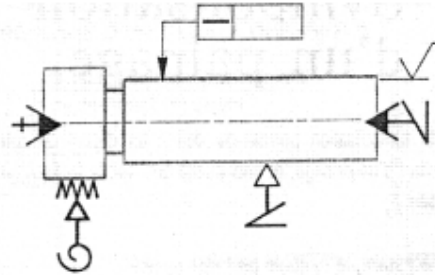
- Centrage long sur une surface brute (tolérance de coaxialité **a**).
- Butée sur une surface brute par une touche fixe à contact ponctuel (cote **b**).
- Orientation sur une surface brute par une touche fixe à contact ponctuel.
- Serrage s'exerçant sur deux surfaces brutes par deux dispositifs à contacts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



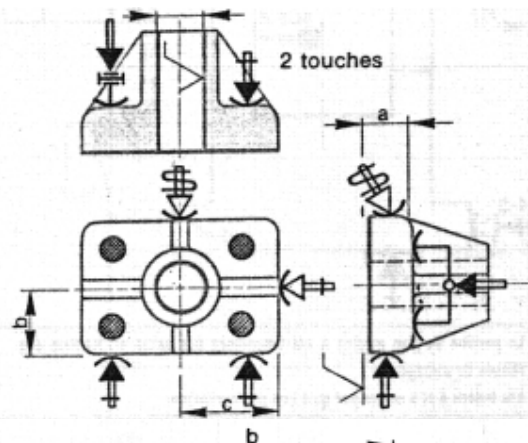
- Centrage long sur la surface conique usinée et butée fixe au niveau du plan de jauge (cotes **a**, **b** et tolérance de coaxialité **c**).
- Serrage s'exerçant sur une surface usinée par un dispositif à contact plan.
- Entraînement par un dispositif flottant, à serrage concentrique et à contacts lisses.



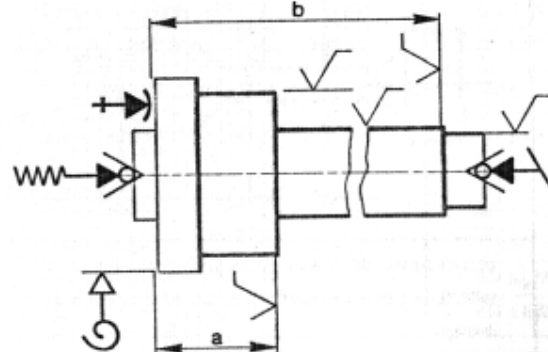
- Mise en position axiale et radiale par une pointe fixe et une contrepointe à réglage irréversible.
- Butée sur la pointe fixe.
- Entraînement par un dispositif flottant, à serrage concentrique et à contacts striés.
- Lunette à suivre pour éviter une flexion excessive de la pièce sous les efforts de 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 4 :**ANALISE DE FABRICATION****CHOIX DES SURFACES DE REFERENCE ET REGLAGE DES APPUIS****4.1. 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) :

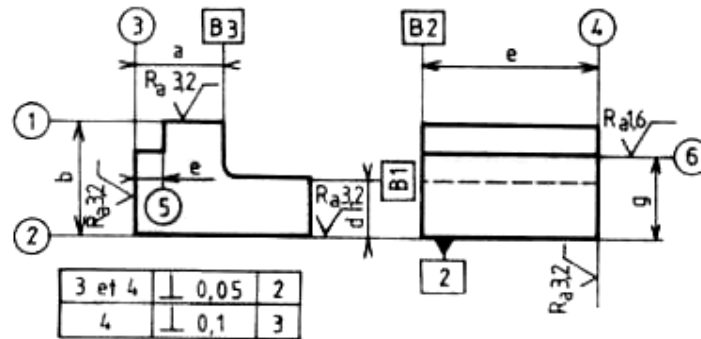


Figure 1

- 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 B₁.

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

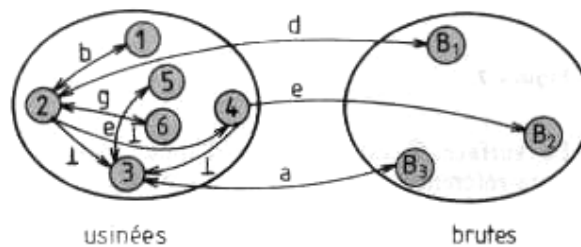


Figure 2

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

Les surfaces de référence	Relations	
	1	2
	2	B ₁
	3	B ₃ ; 2
	4	B ₂ ; 2 ; 3
	5	3
	6	2

4. 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.

4.2.1. RELATIONS ENTRE LES DIFFERENTES SURFACES

4.2.1.1. 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) :

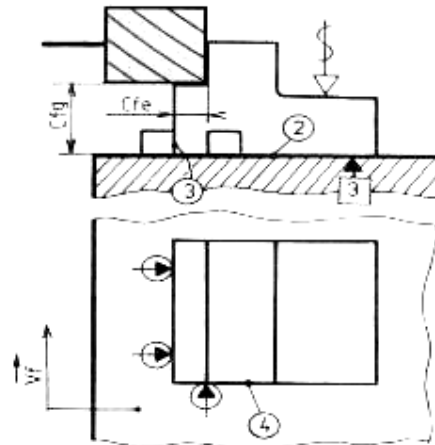


Figure 4.

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.

4.2.1.2. 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) :

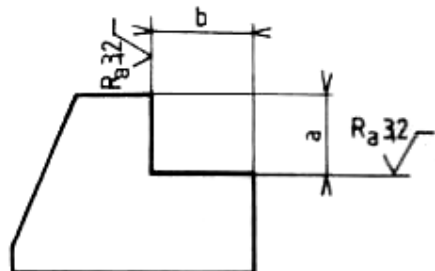
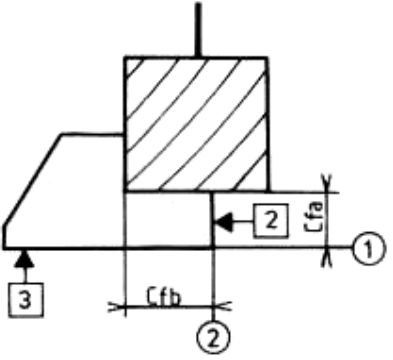
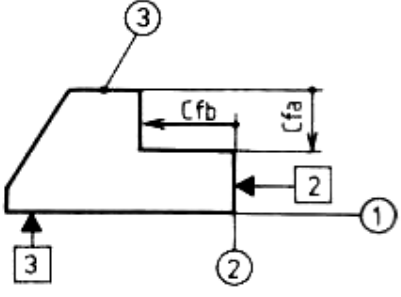


Figure 5

Travail en série (fig. 6)	Travail unitaire (fig. 7)
La machine est réglée pour toute la série de pièces.  Figure 6 La surface (2) est référence de définition et d'appui et sert de référence de réglage du plan vertical de travail de la fraise : $C_{fb} = b$. La surface (1) est référence d'appui et de réglage du plan horizontal de travail de la fraise. Il faut calculer la cote de fabrication C_{fa} Pour garantir la dimension a sur toutes les pièces de la série. L'opération s'appelle : transfert de cote. Conclusion 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.	L'opérateur tangente sur (3) pour régler la cote C_{fa} et sur (2) pour régler C_{fb}.  Figure 7 La surface (1) est référence d'appui mais reste référence de réglage de la cote C_{fa}. Il n'y a pas de calcul : cote de fabrication $C_{fa} = a$. Conclusion 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.

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).

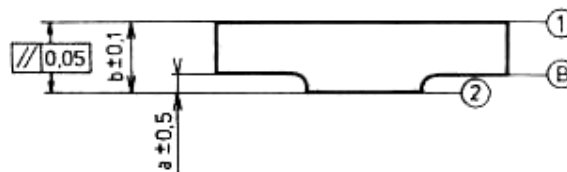
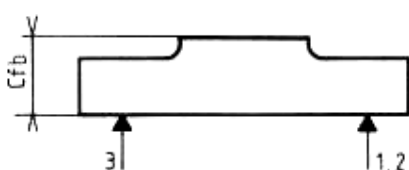
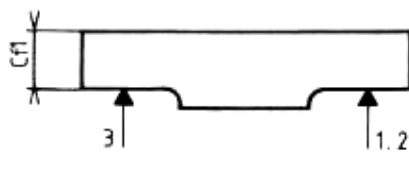
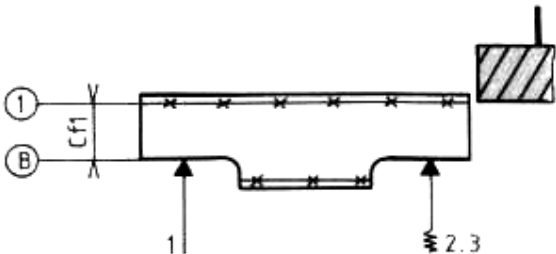


Figure 8.

Travail en série (fig. 9)	Travail unitaire (fig. 10)
• P 10 usinage de ①  • P 20 usinage de ②  Figure 9. Le référentiel d'appui étant différent du référentiel de définition, la dimension a est obtenue indirectement par différence entre C_{fb} et C_{f1}. Il faut calculer C_{f1}.	<u>Processus retenu :</u> 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.  Figure 10 SP 21. ➤ 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 (C_{f1}).

4.2.2. 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.

4.3. ORDRE DE PRIORITE DES SURFACES DE REFERENCE

CALCUL DE COTE DE FABRICATION EN TRAVAIL UNITAIRE

EXEMPLE :

Réaliser dans la pièce (fig. 1) le trou $\varnothing b$ et son lamage.

4.3.1. DESSIN DE DEFINITION PARTIELLE

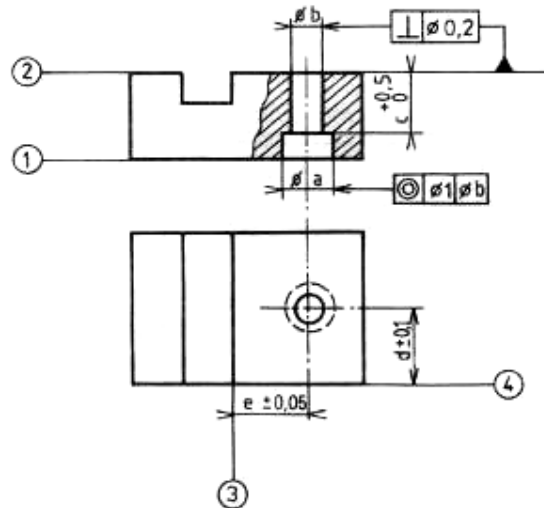


Figure 1.

4.3.2. 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.**

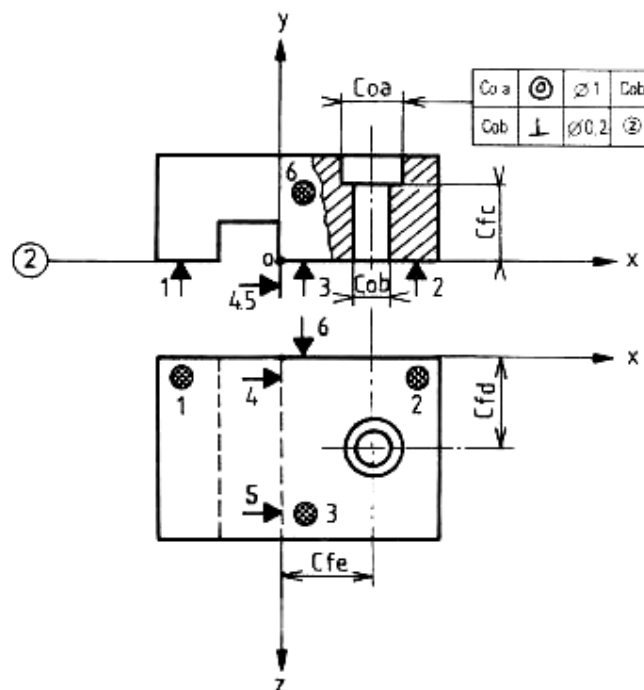


Figure 2

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.

4.4. METHODES DE TRAVAIL

On distingue deux cas de travail :

4.4.1 TRAVAIL EN SERIE

Perceuse à 2 broches en ligne, l'une équipée d'un foret de Φb , l'autre d'une fraise à lamer Φa avec pilote Φb . La pièce est fixée dans un montage de perçage munie d'un canon amovible (fig. 4) :

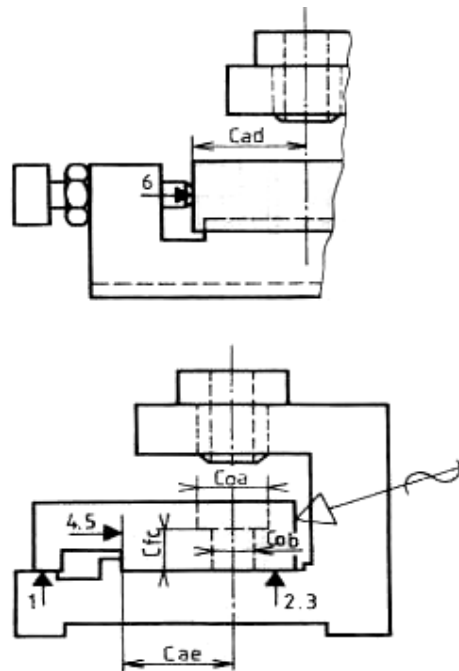


Figure 4.

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 .

4.4.2. TRAVAIL UNITAIRE

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

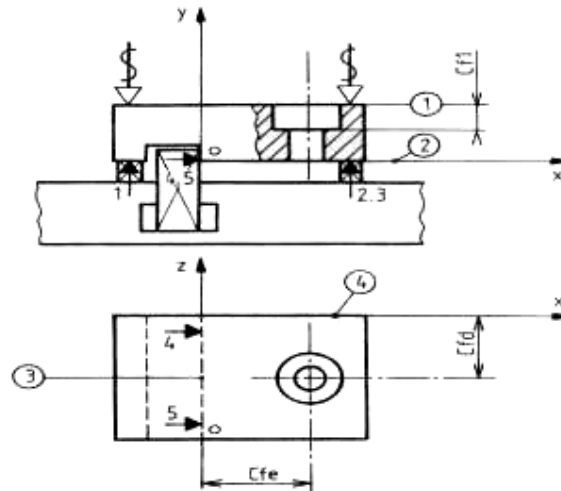


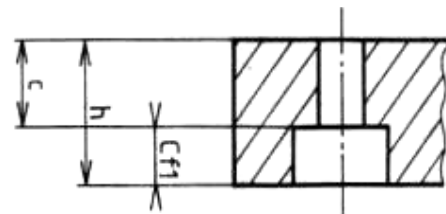
Figure 5

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_{fs} 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 :

- Mesurer la dimension h .
 - Calculer la valeur moyenne de la cote réalisée indirectement C_{moy} .
 - Calculer la cote de fabrication : $C_f \text{ moy} = h - C_{moy}$
- Application numérique :
- $C = 12^{+0.5}$, $h_{\text{mesurée}} = 20,2$
- $C_f \text{ moy} = 20,2 - 12,25 = 7,95$



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.

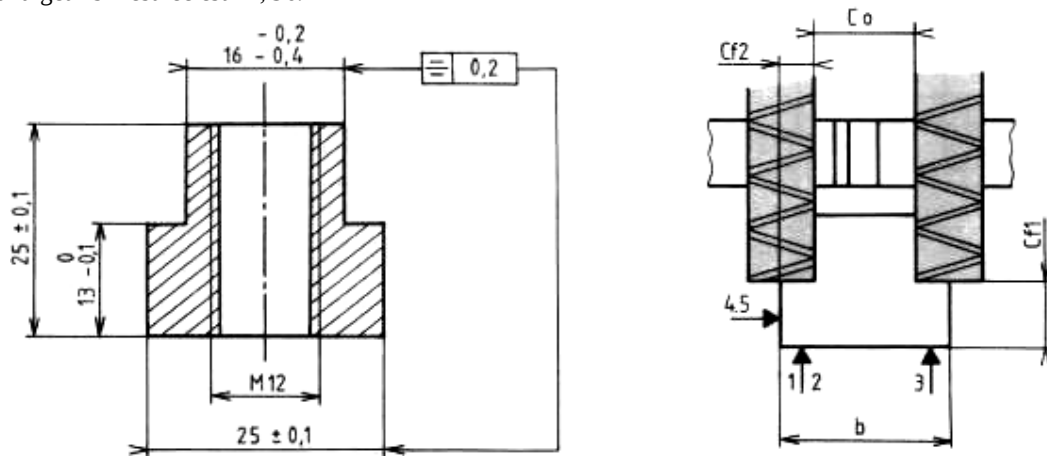
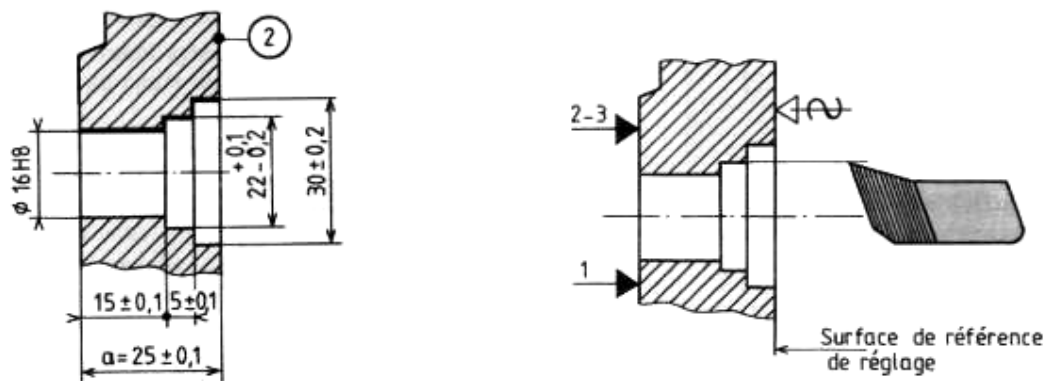


Figure 6

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.

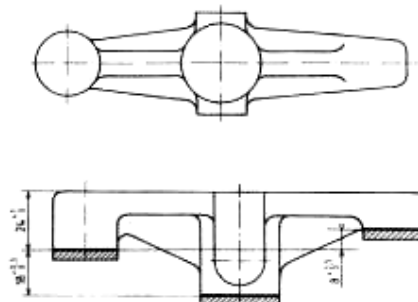


Figure 8

CHAPITRE 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.

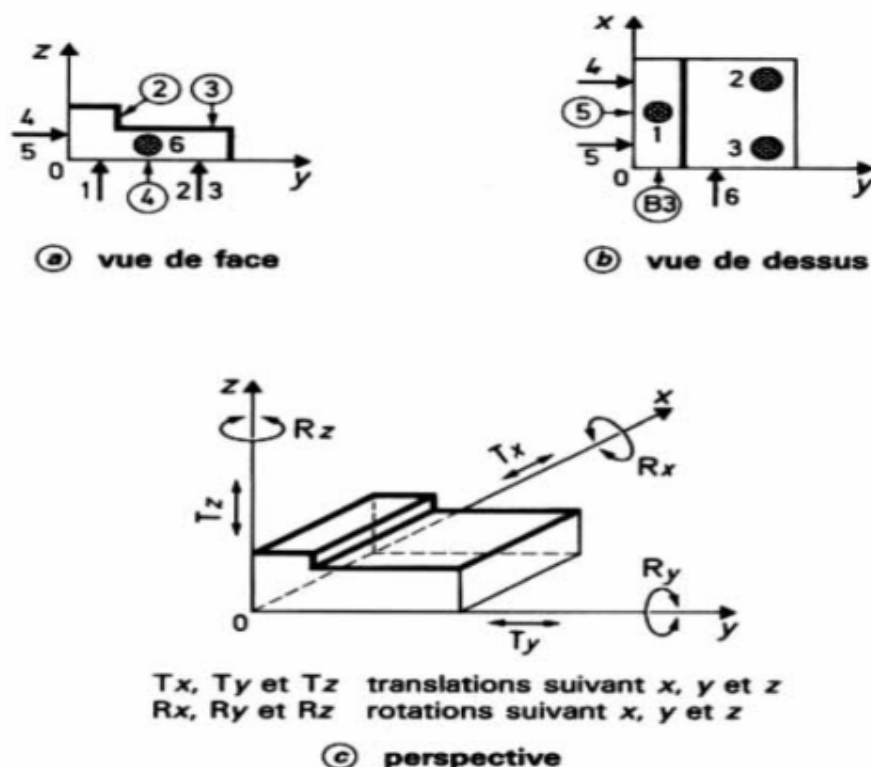


Figure 1 — Principe de la mise en position isostatique [3]

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.

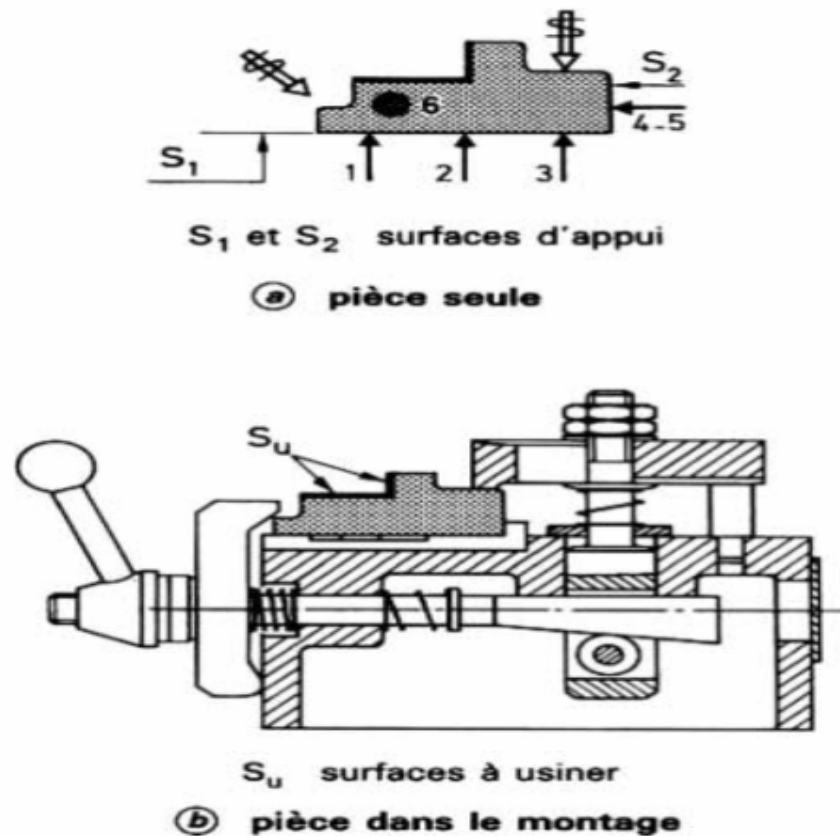


Figure 2 — Exemple de montage isostatique industriel]24

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.

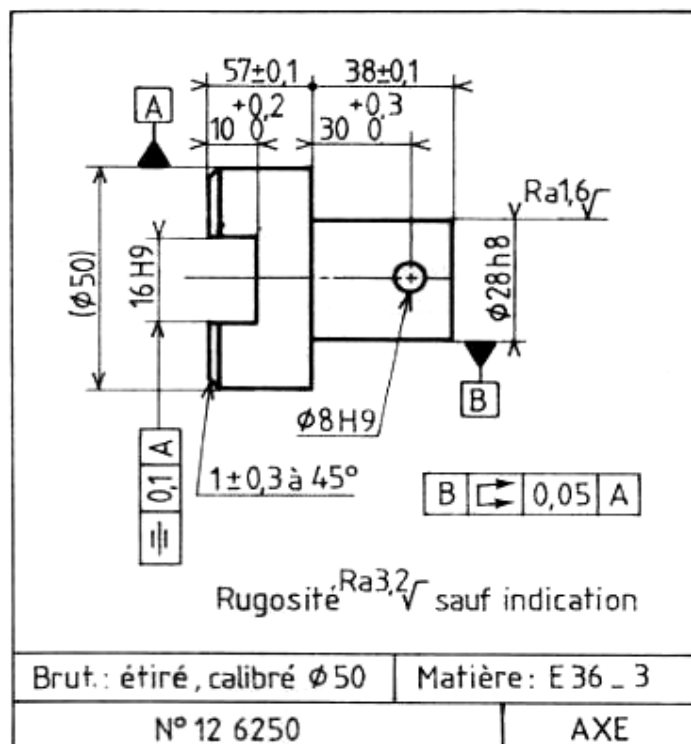
CHAPITRE 6 : ORDONNANCEMENT DES OPERATIONS D'USINAGE

6.1. COMMENT SE POSE LA PROBLEME

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

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.



. LES PIECES à transformer et conformes aux exigences de la phase précédente.

. LE POSTE DE TRAVAIL équipé.

. OBJET DES PRINCIPAUX DOCUMENTS.

6.2. DEFINITIONS DES 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 oeuvre 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 ou 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 est identique, 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:

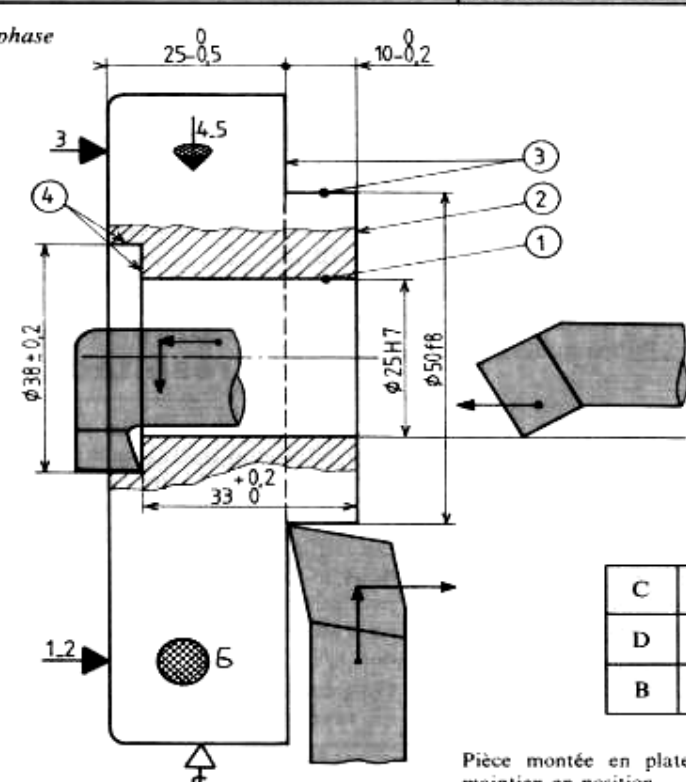
- **à la phase**
Poste de travail. Porte-pièce utilisé. Numéro de phase.

- **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 :														
Croquis de phase  <table data-bbox="1005 921 1297 1068"><tr><td>C</td><td></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></td><td>0,02</td><td>A</td></tr></table> Pièce montée en plateau. Matériel standard de mise et maintien en position.						C		0,02	B	D		0,05	A	B		0,02	A
C		0,02	B														
D		0,05	A														
B		0,02	A														
Désignation des sous-phases et opérations		Outils et outillages		Verificateurs		Conditions de coupe											
210	Contrôle des dimensions du brut			Calibre à coulisse													
211	E, Ébauche de ③	Outil à dresser d'angle Acier rapide R 20 q 20° $r_e = 0,8$		Calibre à coulisse		$V = 35 \text{ m/min}$ $N = 100 \text{ tr/min}$ $a \approx 2, f = 0,3$											
212	1/2 F, demi-finition de ③	Outil à dresser d'angle R 20 q 20° $r_e = 0,8$		Calibre à coulisse et micromètre		$V = 45 \text{ m/min}$ $N = 125 \text{ tr/min}$											
213	F, finition de ③			25-50 et calibre à machoire 50 f8		$a \approx 0,25, f = 0,2$											
214	F, finition directe de ③	Outil coudé à chariotier Acier rapide R 20 q 20° $r_e = 0,8$		Jauge de profon- deur		$V = 35 \text{ m/min}$ $N = 230 \text{ tr/min}$ $a \approx 2,5, f = 0,3$											
215	E', centrage de ①	Foret à centrer $\varnothing 3,15$				$N = 500 \text{ tr/min}$											
216	E'', perçage à $\varnothing 23$	Foret $\varnothing 23$															
217	F, finition directe de ④	Outil à chambrer Acier rapide 12 q 5°		Micromètre 25-50		$V = 35 \text{ m/min}$ $N = 300 \text{ tr/min}$ $a \approx 2, f = 0,1$											
218	1/2 F, demi-finition de ①	Outil à aléser Acier rapide 12 q 20° $R_e = 0,4$		Micromètre 3 tou- ches		$V = 45 \text{ m/min}$ $N = 600 \text{ tr/min}$											
219	F, finition de ①			Tampon de 25 H 7		$a \approx 0,25, f = 0,1$											

➤ **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
Sous- phase 21		
210	dressage de (1) finition directe	
211	ébauche de (2)	
212	demi- finition de (2)	
213	finition de (2)	
Sous- phase 22		
220	dressage de (3) finition directe	
221	chanfrein (4)	

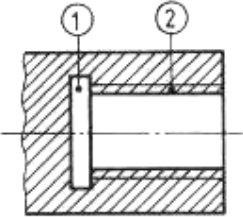
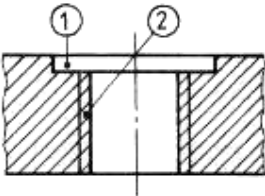
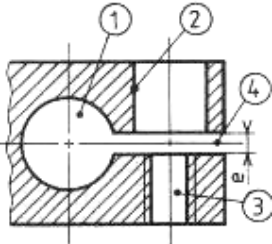
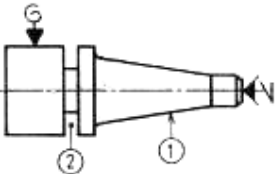
6.3. LES CONTRAINTES D'USINAGE

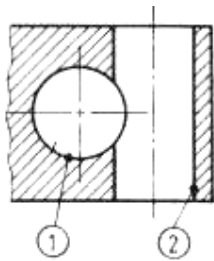
L'ordre des opérations d'usinage doit répondre à des impératifs que l'on désigne sous le nom de **contraintes** et qui sont d'ordre :

- Technologique ;
- Géométrique et dimensionnel ;
- Economique.

6.3.1 CONTRAINTES TECHNOLOGIQUES

Elles sont imposées par les moyens de fabrication.

Croquis	Explications	Ordre des opérations
	Un filetage ne peut être entrepris qu'après finition du diamètre enveloppe correspondant et des gorges de tombée d'outil surtout s'il s'agit d'un filetage intérieur non débouchant.	Perçage 2 Gorge 1 Filetage 2
Gorge de dégagement 	Si l'on prévoit d'utiliser une fraise à lamer, il est nécessaire de guider le pilote dans le trou percé.	Perçage 2 Lamage 1 Filetage 2
Lamage 	La fente rend la pièce flexible, deux solutions : Sol. 1 : Exécuter la fente avant les perçages 2 et 1 dans ce cas il faut placer une cale d'épaisseur e pour éviter la flexion au moment du perçage. Sol. 2 : Exécuter la fente après le perçage.	Sol. 2 Perçage 1 Perçage 2, 3 Taraudage 3 Fente 4 Ébavurage dans 1
 Gorge profonde	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.: $\varnothing_1 = 12H8$, $\varnothing_2 = 11H10$

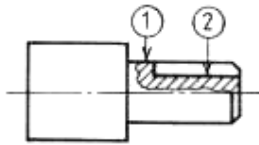
Usinage de $\varnothing 1$

Usinage de $\varnothing 2$

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

Usinage de $\varnothing 1$

Usinage de $\varnothing 2$

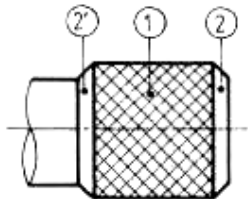


Rainure de clavetage

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

Finition du $\varnothing 1$

Rainure 2

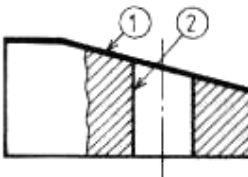


Moletage

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

Moletage 2

Chanfreins 2, 3



Perçage sur une face en pente

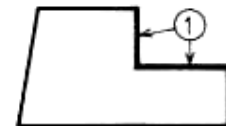
Pour éviter la déviation du foret, il est souhaitable de percer avant de faire la pente.

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.



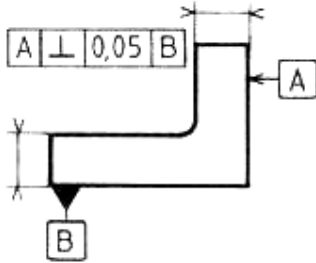
6.3.2 CONTRAINTES GEOMETRIQUES ET DIMENSIONNELLES

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

Croquis

Explications

Ordre des opérations

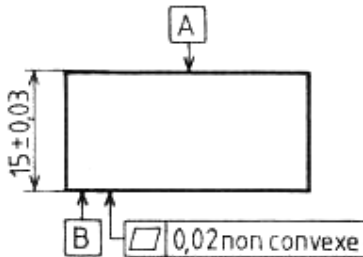


Afin de laisser à la fabrication une tolérance de perpendicularité la plus grande possible, on réalise la plus grande surface en priorité.

Usinage de B

Usinage de A

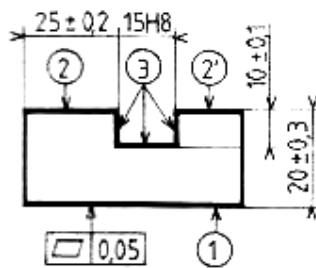
Les tolérances de position imposent un ordre préférentiel.



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 laminé, elle a tendance à s'ouvrir, il faut donc prévoir :

Ébauche de 1

Ébauche de 2- 2'

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

Ébauche de 3

Modification des tensions internes

Stabilisation

Finition de 1

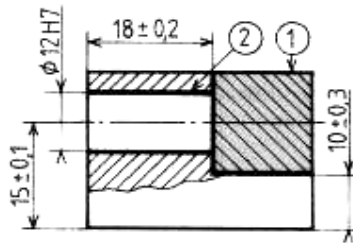
Finition de 2 – 2'

Finition de 3

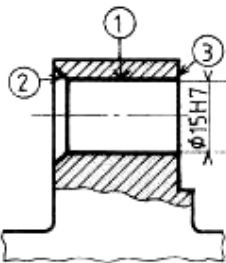
6.3.3 CONTRAINTES ECONOMIQUES

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

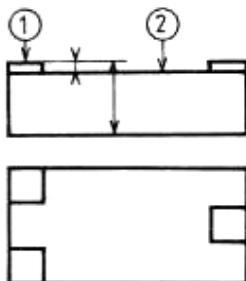
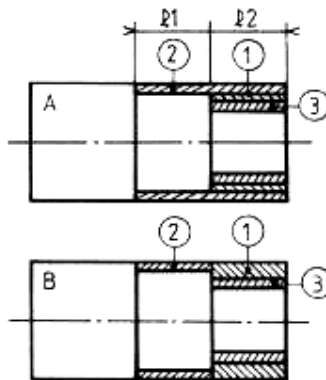
Croquis



Réduction de la durée de l'usinage précis.



Usinage précis, débouchant sur une surface brute.



Explications

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

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.

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

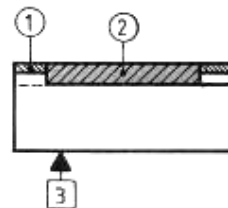
La solution A est plus rapide que la solution B.

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 $/2$

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



Ordre

Fraisage 1

Perçage alésage 2

Dressage 3

Perçage 1

Chanfrein 2

Alésage 1

Solution A

Ébauche 1

Finition 3

Finition 2

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 7 :**RECHERCHE DE L'ORDRE CHRONOLOGIQUE DES OPERATIONS
D'USINAGE**

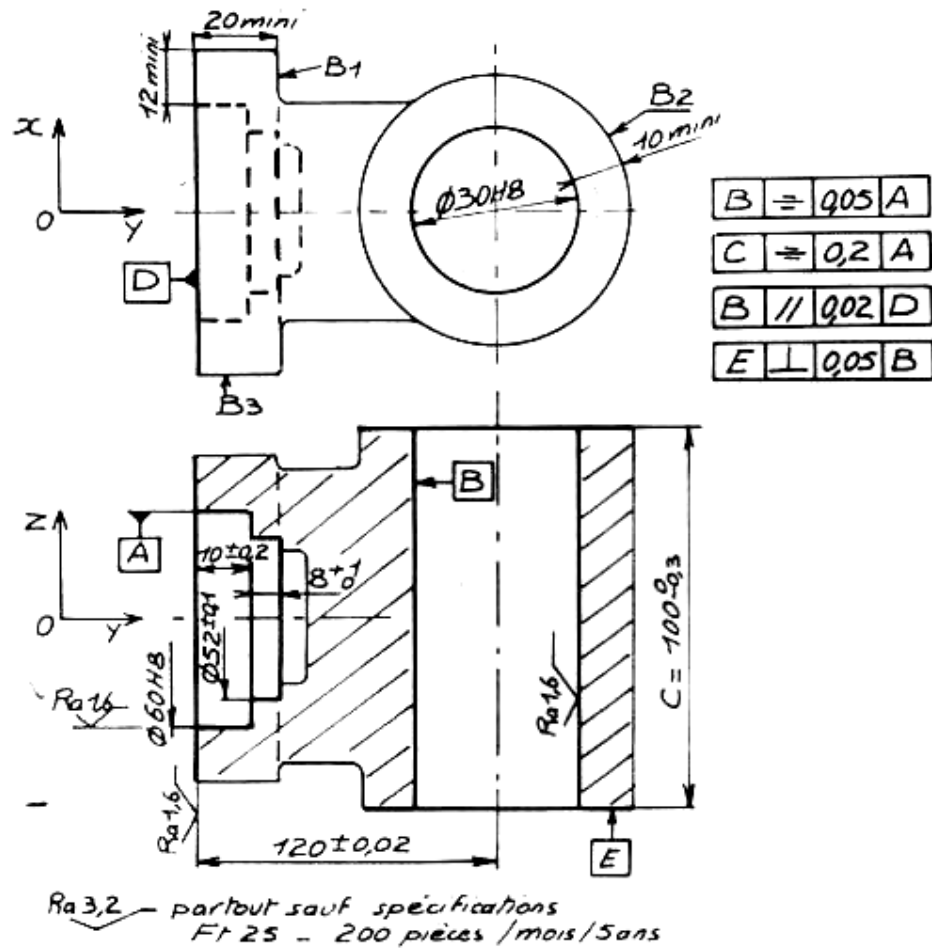
La recherche de l'ordre chronologique impose :

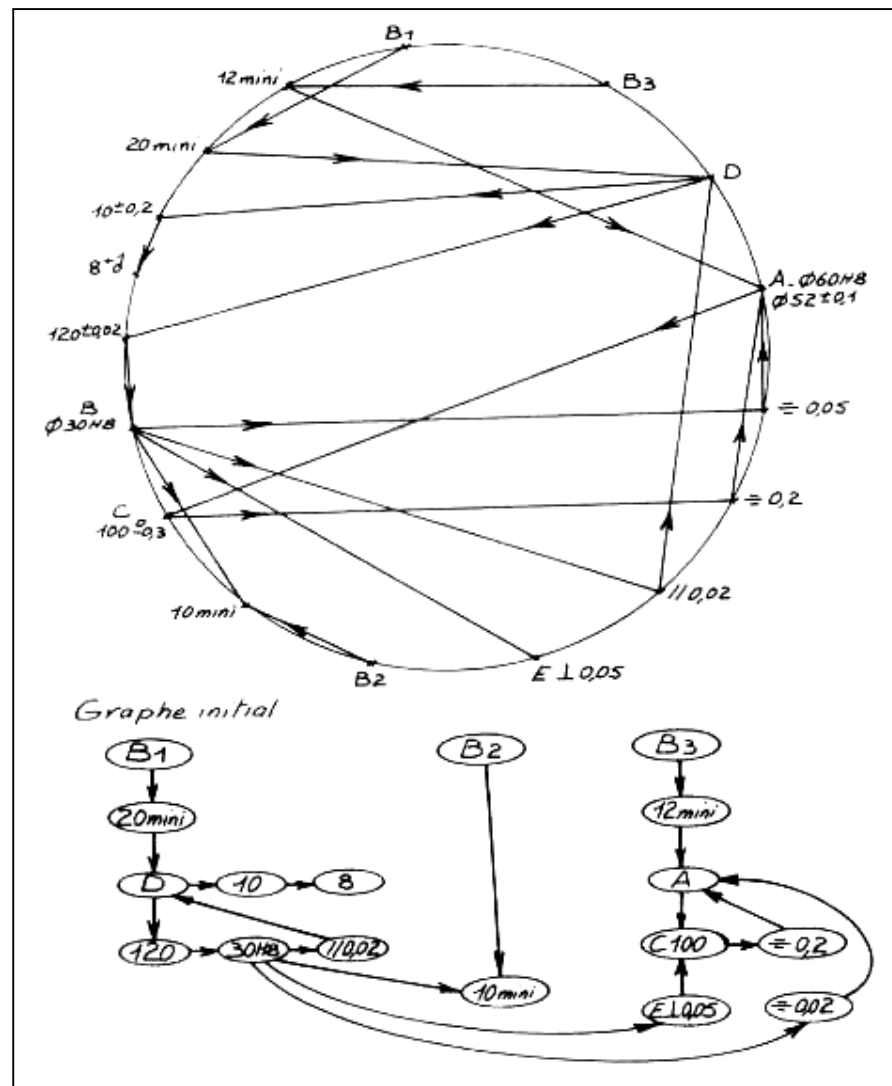
- Faire l'étude du dessin, rechercher les formes cachées, voir la correspondance des vues. Ce travail est important et permet de bien comprendre le dessin.
- Rechercher toutes les surfaces usinées.
- Faire l'étude de la cotation dimensionnelle et géométrique.
- Rechercher les cotes de liaison au brut :
 - 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.

7. 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).
- Inscrire 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, qui permettra de lire la suite logique des opérations d'usinage.

7.2. Exemple : Gamme d'usinage du Palier

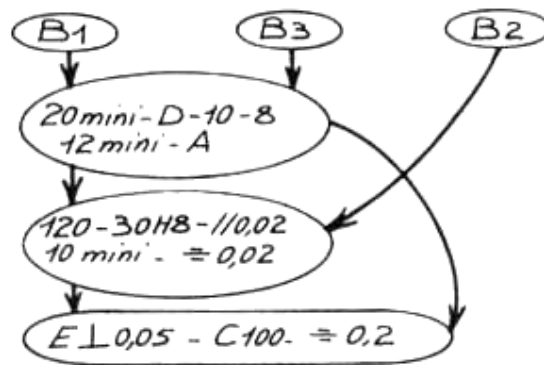




Polygone de liaison des surfaces

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

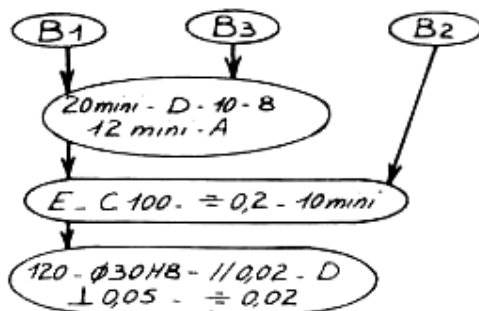
- Recherche des associations de surface D et A ; 120, 30HB et // 0,02
12 mini et A ; $E \perp 0,05$, C100 et $\div 0,2$
- Si des boucles apparaissent, c'est qu'il y a soit :
 - a) Des cotes surabondantes (la cote sera éliminée par le B.E.)
 - b) Des liaisons avec des tolérances géométriques.

Graphes après regroupement des surfaces :

Niveau	Phase
0	Brut
1	Tournage
2	Alésage
3	Fraisage

Analyse des contraintes :

- Le diamètre $\varnothing 30 \text{ H8}$ 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 du plan D que de l'alésage $\varnothing 30 \text{ H8}$
Ce qui n'aurait pas été le cas si nous avions pris le circuit inverse, c'est-à-dire :
B 2 $\rightarrow \varnothing 30 \text{ H8} \rightarrow 120$ avec A – D – B1 et B3
 - Nous conserverons le graphe tel qu'il se présente pour les surfaces de départ.
- Graphes après analyse des contraintes :



Niveau	Phase
0	Brut
1	Tournage
2	Fraisage
3	Alésage

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 $\varnothing 30 \text{ H8}$.

Etude de fabrication :

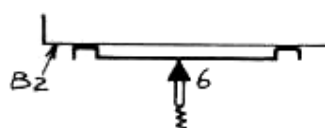
N°	PHASE	SCHEMAS
10	TOURNAGE 3 degrés de liberté éliminés sur B1 pour 20 mini 2 degrés de liberté éliminés sur B3 pour 12 mini	
20	FRAISAGE 3 degrés de liberté éliminés sur D pour $\perp$ implicite 2 degrés de liberté éliminés dans A pour $\div 0,2$ 1 degré de liberté éliminé sur B2 pour $\perp$ avec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

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 est réversible pour un minimum de dispersion de position sur toute la génératrice du brut B2.

Forme de la touche dégagée :



7.3. COTES DE REGLAGE EN TRAVAIL UNITAIRE

7.3.1. 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.

7.3.2. EXEMPLE

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

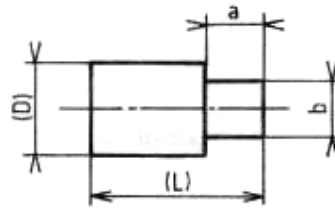


Figure 1

Processus (fig. 2).

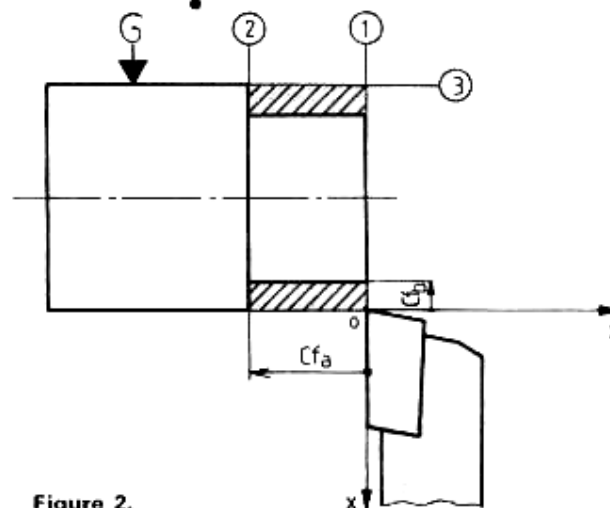


Figure 2.

- 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 réglages correspondants.
- Usiner et mesurer.

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

Erreurs	Causes probables
➤ Repérage des axes ox et oz ➤ Cotes de réglage	➤ Inattention ou manque de qualification de l'opérateur. ➤ Manque de sensibilité et de précision de déplacement des éléments de réglage.
➤ Déplacement de la pièce par rapport au porte- pièce ou de l'outil par rapport au porte-outil en cours d'usinage.	➤ Manque de rigidité du porte- pièce et de la porte outil.
➤ Usure de l'outil	➤ Si le volume de copeau à enlever est important, l'usure de l'outil provoque une augmentation progressive des dimensions.

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 8 : COTES DE REGLAGE ET APLICATIONS PRATIQUES

8.1. 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) :

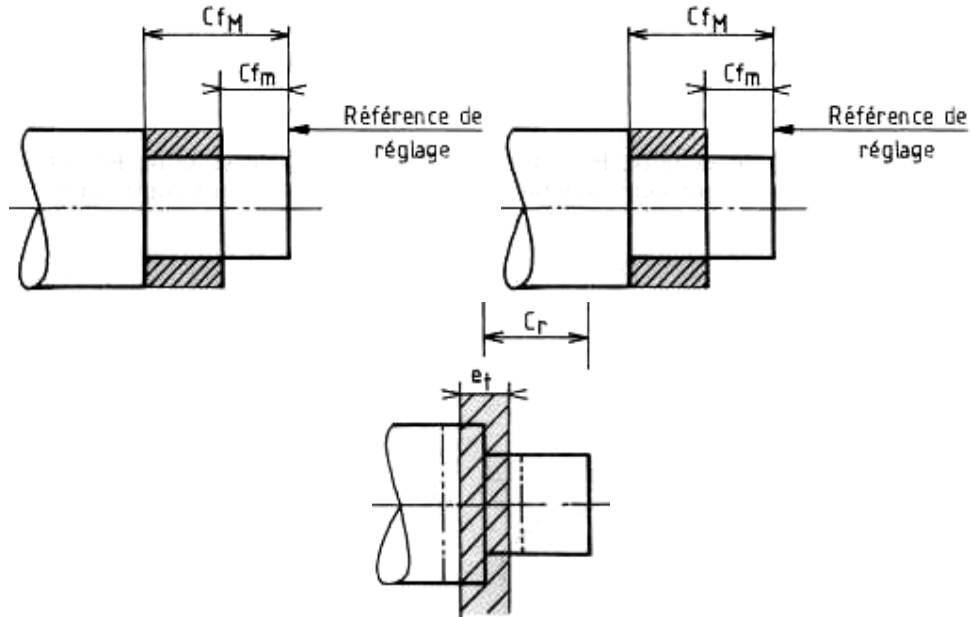


Figure 3

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 :

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

8.2. APPLICATIONS PRATIQUES

Pièce (fig. 4)

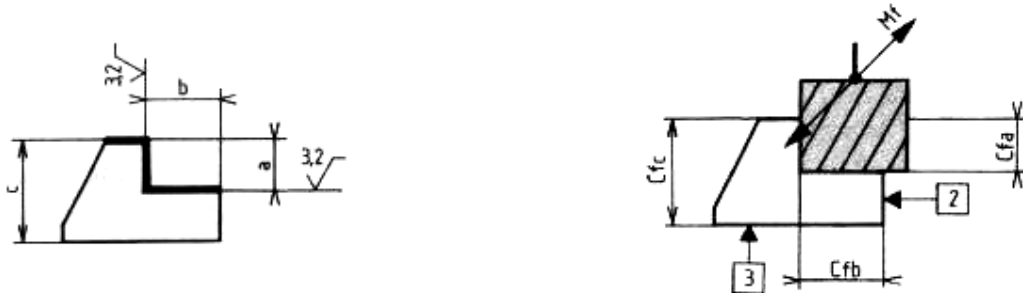


Fig.4

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

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

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

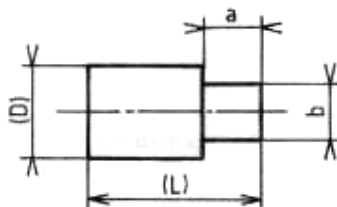
$$C_{fa} = a = 20^{+0.1}_{-0.3}$$

Cotes de réglage

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

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

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 :

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

$$C_{ra} = \alpha_{moy} = 20,20 ; \quad IT C_{ra} = \frac{0.6}{5} = 0,12$$

REMARQUE :

Dans le cas d'une petite série de pièces (ex. 20 pièces), la même règle ($C_r = C_{f, moy}$) 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).

CHAPITRE 9 :

**MÉTHODOLOGIE D'ÉTABLISSEMENT DES PROCESSUS
D'USINAGE
(REPÉRAGE DES SURFACES ÉLÉMENTAIRES)
E 04-5501552**

9.1. GÉNÉRALITÉS.

La rédaction d'un projet de gamme est, dans un premier temps, l'objectif à atteindre.

L'élaboration complète de la gamme (*étude détaillée des phases, description des outillages, détermination des temps, etc.*) est réalisée dans un deuxième temps.

Les applications traitées dans ce chapitre de l'ouvrage n'iront que jusqu'à la rédaction du projet de gamme. Dans le chapitre suivant les applications permettront de mettre en évidence tous les travaux du Bureau des Méthodes ainsi que les documents qui les matérialisent.

Dans cette première partie, deux cas peuvent se présenter :

- le dessin de définition ne peut être modifié (*formes brutes et usinées et cotes de liaison sont imposées*);
- le dessin de définition, peut être discuté et modifié, éventuellement, pour faciliter la fabrication (*formes, cotes, tolérances, etc.*).

L'élaboration d'un projet de gamme nécessite l'analyse et la compréhension de toutes les exigences du dessin de définition, leur traduction en langage technique de réalisation (*par comparaison avec les possibilités des moyens existants*), puis la mise au point d'un ordre d'intervention des moyens retenus.

*N. B. : L'ordonnancement des interventions est imposé par un certain nombre de **contraintes d'antériorité** qui définissent l'ordre de réalisation des surfaces.*

La méthodologie développée dans ce chapitre, permet de conduire ce travail d'analyse puis de synthèse avec ordre et logique.

9.2. CONTRAINTES D'ANTÉRIORITÉ

Les principales contraintes sont d'ordre :

- **dimensionnel** (*cotes, E 04-550; tolérances de forme, de position, d'orientation, E 04-552*).
- **technologique** (*reprises, traitements thermiques, non existence de bavures, utilisation rationnelle des moyens, etc.*)

9.3. MÉTHODOLOGIE

L'élaboration d'un processus d'usinage, pour une pièce donnée, consiste à organiser une Suite logique et chronologique de toutes les opérations et groupements d'opérations nécessaires et suffisants à sa réalisation. Cette organisation est établie en tenant compte :

- d'un contrat dimensionnel (*dessin de définition*),
- des limites techniques et technologiques des moyens pouvant être mis en oeuvre,
- des contraintes d'antériorité mécaniques, physiques ou technologiques,
- du programme de production,
- du budget prévisionnel,
- des moyens humains disponibles.

La méthodologie utilisée conduit à :

- recenser et repérer les surfaces usinées de la pièce,
- établir un graphe ordonné défini par les liaisons dimensionnelles, entre les surfaces,
- analyser et coder les opérations successives à réaliser sur les surfaces élémentaires,
- associer ou grouper les opérations élémentaires,
- définir un processus d'usinage et rédiger un projet de gamme.

9.4. RECENSEMENT ET REPÉRAGE DES SURFACES

Les surfaces géométriques simples (plans, cylindres, cônes, etc.) constituant la pièce sont repérées par des lettres majuscules affectées d'un indice numérique.

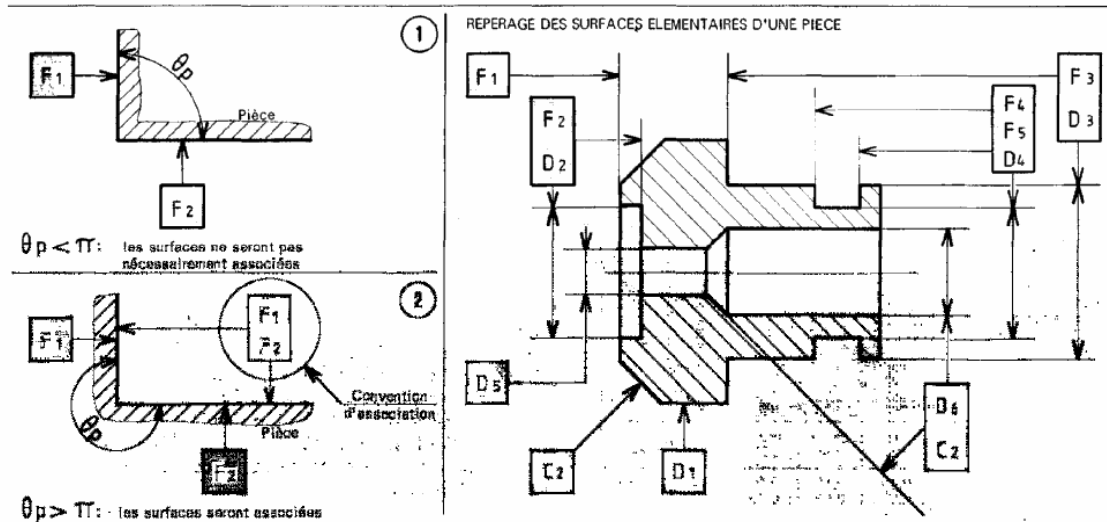
Les lettres majuscules choisies pour le repérage sont :

- D : surfaces cylindriques (exemple : D1),
- F : surfaces planes,
- C : surfaces coniques,
- B : surfaces brutes.

N. B. : La lettre A est réservée pour désigner toutes les autres surfaces particulières (filetage, denture...).

Les surfaces élémentaires sécantes, formant entre elles un angle, pleine matière, supérieur à π (radians), seront directement associées lors du repérage.

Voir exemples figures 1 et 2 et exemple de repérage des surfaces (fig. 3).



CHAPITRE 10 :**MÉTHODOLOGIE D'ÉTABLISSEMENT DES PROCESSUS D'USINAGE****(ÉTUDE DES GRAPHS ORDONNÉS)**

NF E 04-552

10.1. PRINCIPE

Le dessin de définition précise, pour chaque surface élémentaire, les dimensions et tolérances des liaisons entre surfaces. Le graphe ordonné s'établit en prenant comme contraintes, les liaisons explicites, ou implicite avec première antériorité les surfaces brutes de référence. (*Liaisons entre surfaces brutes et usinées.*)

10.2. CONVENTIONS DE REPRÉSENTATION

(Voir tableau fig. 1)

10.3. RÈGLES D'ÉTABLISSEMENT

L'établissement du **graphe ordonné**, consiste à classer, par **niveaux**, toutes les surfaces usinées de la pièce en partant des surfaces brutes de référence qui forment le premier niveau.

Un niveau N est constitué d'un ensemble de surfaces (*ou groupe de surfaces associées*), telles que chacune réponde à la définition suivante :

Une surface appartient à un niveau N lorsqu'elle est liée directement par la cotation à d'autres surfaces de niveaux inférieurs à N et, dont une au moins, est de niveau (N-i).

. DÉFINITIONS :

La notion de classement par niveaux implique pour chacune des surfaces les notions de prédécesseurs et de successeurs (*à l'exception des premier et dernier niveaux*).

Les prédécesseurs d'une surface sont les surfaces de niveaux inférieurs qui la définissent directement. Les successeurs d'une surface sont les surfaces de niveaux supérieurs qu'elle contribue à définir directement.

10.4. LES ANTÉRIORITÉS

La figure 2 montre, pour une pièce donnée les contraintes d'antériorité dimensionnelles et le graphe ordonné correspondant.

Les surfaces brutes sont repérées : **B1 et B2**.

Les surfaces usinées sont repérées : **F1, F2 et D1**.

La règle d'antériorité donne:

- **B1** a pour successeur F1 (*liaison $X1 \pm a1$*),
- **B2** a pour successeur D1 (*liaison de concentricité $a3$*),
- **F1 D1** a pour successeur F2 (*liaison $X2 \pm a2$*).

10.5. CLASSEMENT PAR NIVEAUX

La chronologie établie par les cotes de liaison entre surfaces donne trois niveaux :

- **niveau 1** : comprenant les surfaces brutes B1 et B2,
- **niveau 2** : comprenant les surfaces usinées D1 et F1.
- **niveau 3** : comprenant la surface usinée F2.

10.6. LES LIAISONS IMPLICITES

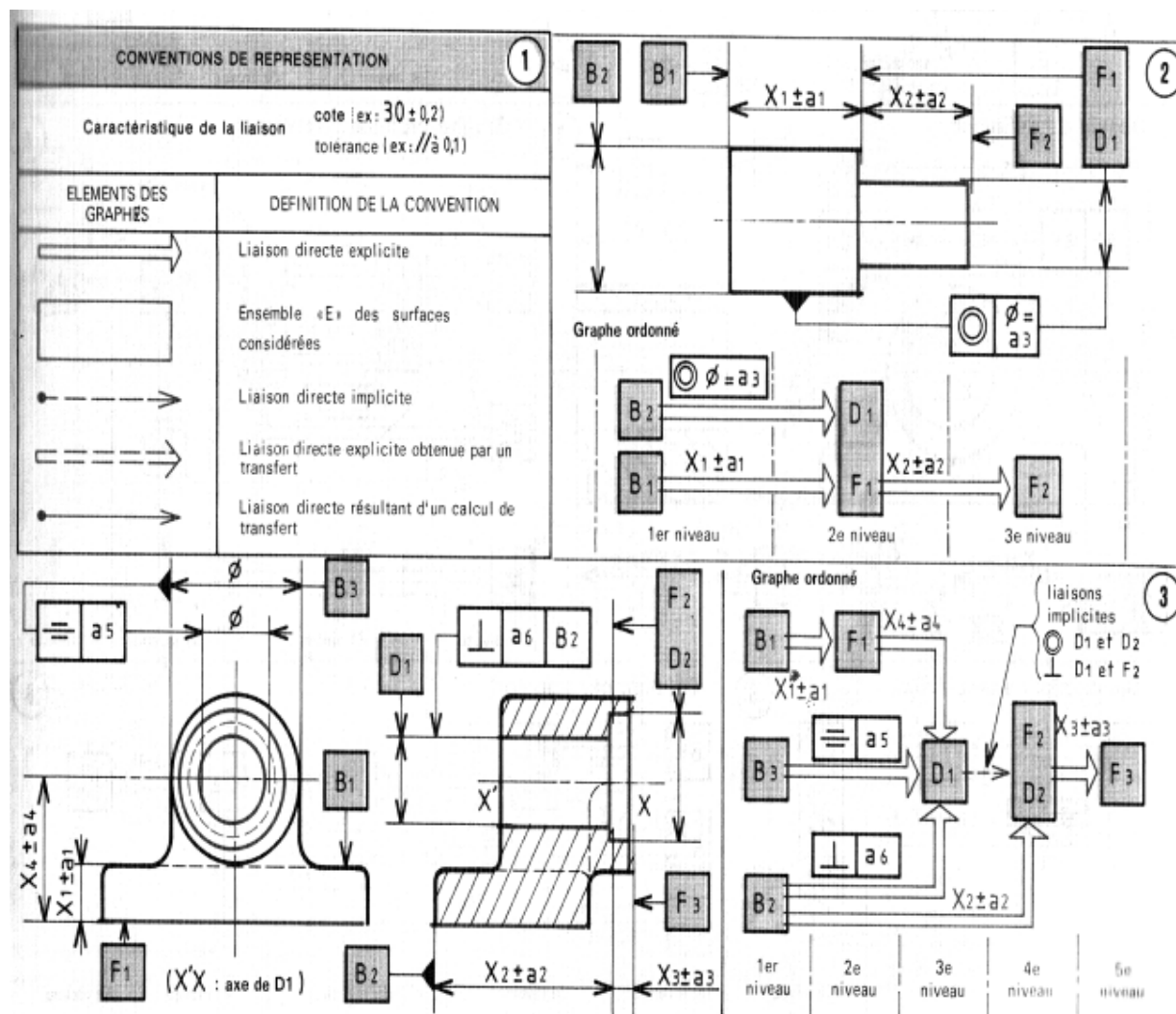
On dit qu'une liaison est implicite lorsqu'elle est contenue, avec évidence, dans les données sans être précisée (voir fig. 3).

Les tolérances géométriques ne figurent sur les dessins que si elles répondent réellement à une nécessité fonctionnelle (voir NF E 04-552).

Cependant, l'étude des dessins fait apparaître l'existence de liaisons implicites entre surfaces complétant les définitions géométriques des pièces (*position, orientation, battement, etc.*)

10.7. LES LIAISONS DANS UN NIVEAU

Toute liaison directe entre surfaces à l'intérieur d'un même niveau doit disparaître, par création d'une association ou par transfert de cote.



CHAPITRE 11 :**MÉTHODOLOGIE D'ÉTABLISSEMENT DES PROCESSUS D'USINAGE****ANALYSE DES CONTRAINTES PARTICULIÈRES****(Exemple d'application)**

La pièce étudiée est un galet moteur (voir dessin de définition ci-contre).

Le but de cette étude est de montrer un exemple d'analyse des contraintes particulières. Les étapes de repérage des surfaces, d'établissement du graphe ordonné et d'étude de la réalisation des surfaces élémentaires ne sont pas détaillées mais apparaissent par leurs résultats (voir graphe 1 et tableau 2).

11.1. ANALYSE DES CONTRAINTES PARTICULIÈRES D'USINAGE**• Utilisation rationnelle des outils de coupe**

Les outils de finition ou de dernière ébauche doivent attaquer et déboucher sur des surfaces usinées, ce qui impose:

F4-e1 avant D1F1 et avant D4, D2 avant D1F1, D4-e1 avant F4D8F8 avant D4.

L'exécution de la gorge F2F3D3, avec un outil fragile doit être faite avant la rainure F5F6F7; ce qui impose F2F3D3 avant F5F6F7-e.

Le dégagement de l'outil de mortaisage doit être assuré, ce qui impose D5 avant F5F6F7-e.

11.2. PROBLEME DES BAVURES

Le diamètre D1, de qualité 7, doit être préservé de toute bavure; ce qui impose : D5F5F6F7, F4 et F2F3D3 avant D1F1.

Ces antériorités ont pour conséquence une coupe discontinue au cours de la finition de D1F1, ce qui risque d'altérer la qualité 7.

Il est préférable de prévoir une finition de D1, en rectification; ce qui implique de finir Fi avant D1 (*donc avec D1-eS, pour conserver l'association due à l'angle*).

Si les bavures ne sont pas gênantes dans D5 (*trou de dégagement d'outil*), elles peuvent l'être, bien qu'étant petites, dans F5F6F7, F2F3D3 et sur F4 (*faible profondeur de passe pour la finition de D1*).

Une opération supplémentaire d'ébavurage est donc à prévoir dans ce cas.

Dessin de définition avec les surfaces repérées Galet moteur (pièce matricée en XC 38).

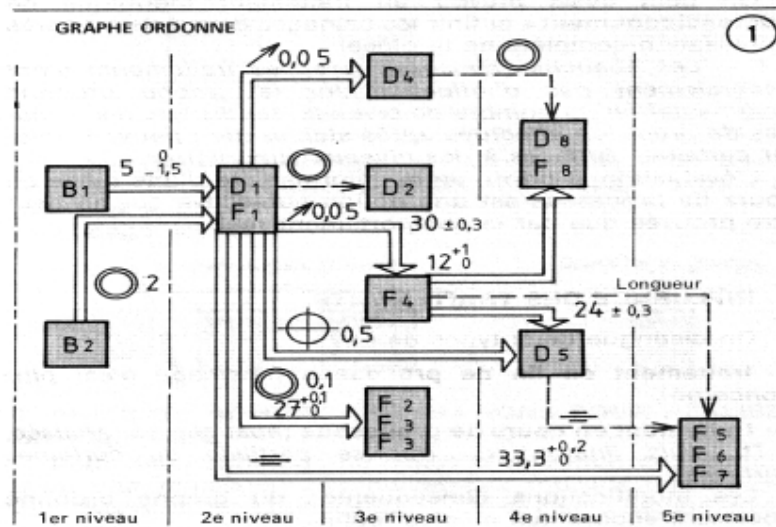
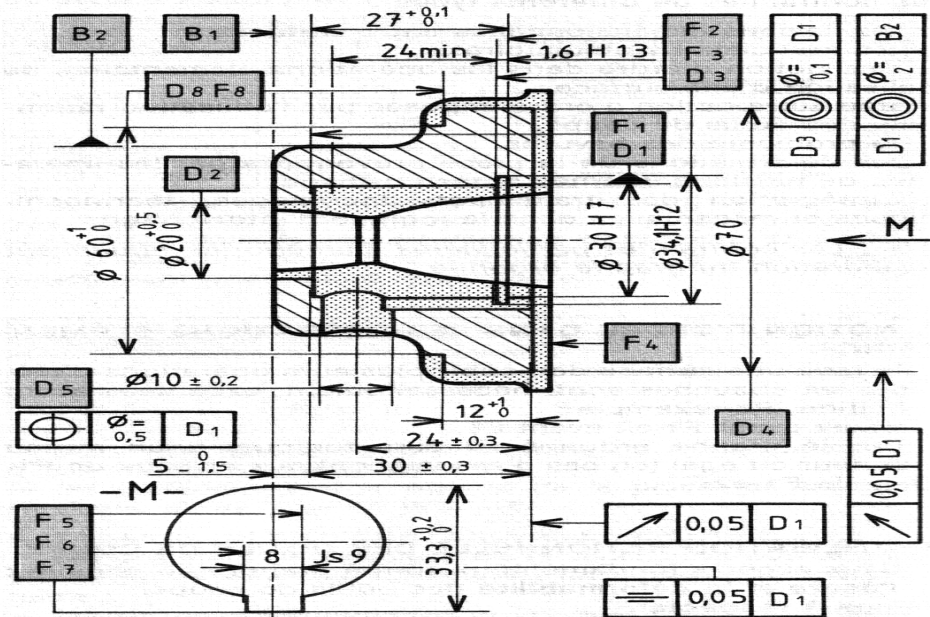


TABLEAU DE REALISATION DES SURFACES ÉLÉMENTAIRES				
Surfaces	Désignation de l'opération	Codage		Critères justificatifs
		détaillé	simplifié	
D1 F1	Alésage ébauche Alésage ébauche Alésage ébauche Alésage finition Dressage ébauche Dressage finition	D1-e1 D1-e2 D1-e3 D1 F1-e1 F1	D1 } F1 } e	Qualité 7 sur alésage discontinu IT < 0,4 (avec F3)
F2 F3 D3	Façonnage gorge	F2 F3 D3	F2 F3 D3	exécutées sur surfaces usinées
F4	Dressage ébauche Dressage finition	F4-e1 F4	F4-e F4	↗ 0,05 (avec D1)
D2	Perçage	D2	D2	
D4	Chariotage ébauche Chariotage finition	D4-e1 D4	D4-e D4	IT = 0,05 ↗ 0,05 (avec D1)
D8 F8	Chariotage	D8 F8	D8 F8	IT = 1
D5	Perçage	D5	D5	IT = 0,4
F5 F6 F7	Rainurage ébauche Rainurage finition	F5-e1 F6-e1 F7-e1 F5 F6 F7	F5 } F6 } F7 } e	Qualité 9 ÷ 0,05