



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 06 :
ELABORATION ET CONSTITUTION
DU DOSSIER DE FABRICATION (Partie 1)**

Secteur : FABRICATION MECANIQUE

Spécialité : TECHNICIENS SPECIALISES EN
METHODES DE FABRICATION
MECANIQUE

Niveau : TECHNICIENS SPECIALISES

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 image shows a screenshot of the website www.marocetude.com. The navigation bar at the top includes links for HOME, LIVRES, **MODULES ISTA**, ANNUAIRE ECOLES, DOCTORAT, LETTRE DE MOTIVATION, NOUS CONTACTER, and SE CONNECTER. The main header features the logo 'Maroc Etude.Com' and the tagline 'Connaissance - Métier - Technique'. Below the header, there are links for 'Annonces Google', 'Emploi Maroc', 'Messagerie', 'Telecharger Un Jeu', and 'Maroc Annonces'. A search bar is located on the right side of the header. The main content area is divided into three columns. The left column contains a login section with fields for 'Identifiant' (containing 'sniper') and 'Mot de passe', and a 'Connexion' button. The middle column features a promotional banner for 'MacKeeper' with a '-20%' discount and a 'Apply Discount Automatically' button. The right column contains a list of links under the heading 'Annonces Google', including 'Jeu De Jeux', 'Jeux Sur Internet', 'Ecole Ingénieur', 'Dépanner et configurer votre réseau à domicile', '(Outil de Diagnostic)', 'Wi-Fi / Ethernet', 'Console de jeu', 'Imprimante', and 'Messagerie'. A quote at the bottom reads: '"On ne jouit bien que de ce qu'on partage"' [Madame de Genlis].

Document élaboré par :

Nom et prénom
Octavian ALBU
Mohamed SERBOUT

CDC Génie Mécanique
CDC Génie Mécanique

Révision linguistique

-
-
-

Validation

-
-

MODULE 06 : ELABORATION ET CONSTITUTION DES DOSSIERS DE FABRICATION

Code :	Théorie :	40 %
Durée : 115 heures	Travaux pratiques :	57 %
Responsabilité : D'établissement	Evaluation :	3 %

1.1. OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU DE COMPORTEMENT

COMPETENCE

- Elaborer et constituer des dossiers de fabrication.

PRESENTATION

Ce module de compétence particulière est la principale tâche d'un Technicien des Méthodes et se dispense en deuxième année du programme de formation.

DESCRIPTION

L'objectif de ce module est de faire acquérir la compétence particulière relative à l'élaboration et rédaction des gammes de fabrication et la constitution des dossiers de fabrication 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 de fabrication des pièces mécaniques comportant des traitements thermiques, des dentures, des cannelures, des précisions,... La relation entre la conception des pièces et leur faisabilité devra être un souci quotidien.

CONTEXTE D'ENSEIGNEMENT

- Les stagiaires auront à faire en groupe des exposés sur des thèmes techniques d'usinage (taillage de dentures, réalisation des cannelures, traitements thermiques et leurs place dans la gamme, rectification et superfinition...) 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 client- 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 consignes et directives
 - D'un cahier des charges (dossier de définition et programme de production : qualité, délai et quantité)
 - D'un croquis à main levée
 - D'un parc- machines donné et connaissance des moyens disponibles
- A l'aide :
 - Des normes
 - Des documents relationnels des méthodes
 - Des dossiers machines
 - Des documentations techniques et catalogues (machines, outils et outillages)

1.2. OBJECTIFS ET ELEMENTS DE CONTENU

OBJECTIFS	ELEMENTS DE CONTENU
1. Analyser le cahier des charges	<ul style="list-style-type: none"> - Définition d'un cahier des charges (travaux demandés) <ul style="list-style-type: none"> • Quantité (importance de la commande) • Délais • Qualité
2. Recueillir tous les renseignements pertinents au projet à développer	<ul style="list-style-type: none"> - Buts et objectifs à atteindre - Ecoute active - Prise de notes - Classement des notes - Structures des informations - Dossier client - Compléter les documents et confirmer les renseignements
3. Comprendre les exigences du client et analyser les données fournées	<ul style="list-style-type: none"> - Besoins et demande du client - Pertinence des données
A. Prendre connaissance des consignes et directives	<ul style="list-style-type: none"> - Importance des consignes et directives - Utilisation bloc notes, agendas... - Rigueur au travail
4. Connaître les différents procédés de fabrication	<ul style="list-style-type: none"> - Types de production : unitaire, petite, moyenne et grande série - Influence de la série dans le choix des moyennes de production - Procédés d'usinage : par enlèvement de copeaux, électro-érosion,... - Procédés de réalisation des bruts : fonderie, estampage,...
5. Effectuer une étude comparative	<ul style="list-style-type: none"> - Notion de la série économique - Notions de coûts et des temps de production - Graphique de rentabilité
B. Etablir et comparer des modes opératoires mettant en œuvre des moyens différents	<ul style="list-style-type: none"> - Elaboration des modes opératoires pour des pièces de fonderie des grandes dimensions - Techniques d'usinage des pièces de fonderie - Techniques d'usinage des pièces des grandes dimensions - Comparaison des modes opératoires

6. Connaître les techniques d'usinage des pièces longues et flexibles	<ul style="list-style-type: none"> - Capacité machine - Cas des pièces longues en tournage : utilisation de lunette fixe ou à suivre - Cas en fraisage : isostatisme, vérin réversible et irréversible
C. Etablir des modes opératoires pour des pièces longues et flexibles en séries moyennes renouvelables	<ul style="list-style-type: none"> - Elaboration des gammes de fabrication pour des pièces unitaires, en petites séries ou moyennes séries renouvelable - Elaboration des gammes d'usinage pour des pièces longues et flexibles
7. Maîtriser la cotation de fabrication et les transferts de cotes et la notion d'isostatisme	<ul style="list-style-type: none"> - Cotation des fabrication : cotes outil, cote machine et cote appareil - Approfondissement de la notion d'isostatisme - Transfert de cotes - Transfert géométrique
8. Paramétrer le choix d'un brut pour une moyenne série renouvelable	<ul style="list-style-type: none"> - Choix d'un brut pour une pièce donnée - Simulation d'usinage - Détermination des cotes de brut
D. Analyser la fabrication des pièces comportant tout type de denture et des traitements thermiques	<ul style="list-style-type: none"> - Position des traitements thermiques dans une gamme de fabrication - Proposition des traitements (nature du traitement, température, bain, ...) en fonction du cahier des charges - Utilisation des digrammes et des courbes de traitements thermiques : TRC, ... - Taillage de dentures droites : notions théoriques sur les engrenages, modes opératoires d'usinage, - Procédés de fabrication des dentures droites : modules, outil-pignon... - Rectification et finition des dentures : shaving (rasage), types de rectifieuses de dentures. - Contrôle de dentures : pied au module, pièges, ...
E. Analyser la fabrication des arbres cannelés comportant des taillages de dentures diverses	<ul style="list-style-type: none"> - Procédés de fabrication des cannelures : usinage, roulage, ... - Finition des cannelures - Procédés de fabrication des dentures coniques et sphéro-conique : outil-couteau, ... - Rectification et finition des dentures

	coniques
9. Programmer manuellement une machine-outil à commande numérique	- Référence au module 20
10. Constituer le dossier de mise en fabrication d'une pièce à partir d'un cahier des charges	- Dossier complet de mise en fabrication - Classement des dossiers - Notions de technologie de groupe
F. Analyser la fabrication des pièces de très grande précision	- Précaution à prendre en cas d'usinage des pièces de précision - Rebut et qualité - Interchangeabilité - Appairage des pièces - Finition de qualité
11. Classer en familles de pièces	- Rationalisation de la production - Technologie du groupe - Gamme mère
12. Effectuer des études de phases, chiffrer les temps et devis	- Référence au module 9
G. Analyser la fabrication des pièces déformables en séries renouvelable	- Tensions et contraintes internes : notion de fibre - Libération des contraintes - Déformation lors de l'usinage et précaution à prendre
13. Conduire une recherche d'information sur des procédés non traditionnels	- Exposés sur des thèmes techniques : usinage de précision, usinage à grand vitesse, la qualité, ...
14. S'informer sur les techniques et les instruments de contrôle	- Montage de contrôle - MTM - ...
15. S'entraîner à la vision spatiale de paramètres variables	- Vision spatiale - Points hors matière
H. Elaborer la gamme de contrôle d'une pièce en production de série importante	- Gamme de contrôle
16. Analyser et critiquer le plan de la pièce	- Lecture de plans - Critiques des dessins dans le sens de réduction des coûts de fabrication - Demande de modification

I. Rechercher la méthode de production optimale

- Analyse de la valeur

- Elaboration des gammes d'usinage pour des petites productions en considérant le brut optimal

SOMMAIRE

CHAPITRE 1 : ELABORATION D'UN AVANT-PROJET D'ETUDE DE FABRICATION (APEF). GENERALITES	11
2.1. DEFINITIONS.....	11
2.1.1. Avant-projet d'étude de fabrication	11
2.1.2. Méthodes de recherche d'un avant –projet d'étude de fabrication.....	11
2.1.3. Cahier des charges de production : incidence sur le choix.....	12
2.2. PRINCIPAUX TERMES UTILISES DANS UN APEF. OPERATIONS ELEMENTAIRES D'USINAGE.....	13
2.2.1. Définitions et commentaires.....	13
2.2.2. Nature, rôle et caractéristiques générales des opérations élémentaires d'usinage.....	14
2.2.3. Critères à prendre en compte pour déterminer le nombre d'opérations élémentaires.....	15
2.3. DEMARCHE DE RECHERCHE D'UN AVANT-PROJET ET CONSEILS EN VUE DE L'ELABORATION D'UN APEF.....	17
2.3.1. Démarche de recherche d'un avant-projet.....	17
2.3.2. Conseil en vue de l'élaboration d'un APEF	18
2.4. METHODE GENERALE : EXEMPLE DE DEMARCHE.....	20
METHODE GENERALE :EXEMPLE DE DEMARCHE (SUITE).....	21
2.5. METHODE DE RECHERCHE D'UN APEF PAR « GROUPEMENT EN FAMILLES ».....	22
2.5.1. Présentation générale de la technologie de groupe (noté TG).....	22
2.5.2. Définition.....	24
2.5.3. Démarche de recherche d'une gamme spécifique en TG.....	24
2.5.4. Exemple de système de classification des pièces.....	24
2.6. EXEMPLE D'APPLICATION DE LA METHODE PAR « GROUPEMENT EN FAMILLES ».	
DEMARCHE.....	25
2.7. FICHER D'OPERATION STANDARD DE TOURNAGE.....	30
2.8. SYMBOLISATION DES PRISES DES PIECES.....	36
2.8.1. Notions d' isostatisme dans la liaison pièce/porte pièce.....	36
2.8.2. Démarche de recherche d'une mise en position isostatique théorique.....	37
2.8.3. Exemple.....	38
2.9. LE CONTRAT DE PHASE.....	40
2.9.1. Renseignement figurant sur le contrat de phase.....	40
2.9.2. Démarche d'élaboration d'un contrat de phase.....	40
2.10. L'ETUDE DES TEMPS EN FABRICATION.....	40
2.10.1. Types de temps à prendre en compte.....	40
2.10.2. Simogramme.....	42

CHAPITRE 2 : DISPERSIONS DIMENSIONNELLES.....	43
CHAPITRE 3 : COTATION DE FABRICATION.....	48
4.1. GENERALITES	48
4.2. LES DIFFERENTES COTES DE FABRICATION.....	48
4.2.1. Cotes dites « cotes-machines » : notées U _p	48
4.2.2. Cotes appareillages : notées U _A	46
CHAPITRE 4 : SIMULATION	49
CHAPITRE 5 : DETERMINATION DES COTES DE FABRICATION.....	56
CHAPITRE 6 : PSITIONNEMENT ET MONTAGE D'USINAGE.....	63
CHAPITRE 7 : EXEMPLES.....	61
EXEMPLE 1 Elaboration des modes opératoires pour des pièces de fonderie des grandes dimensions.....	61
EXEMPLE 2 Etablir des modes opératoires pour des pièces longues et flexibles en séries moyennes renouvelables.....	90
EXEMPLE 3	99
CHAPITRE 8 : APPLICATIONS.....	112

CHAPITRE 1. ELABORATION D'UN AVANT- PROJET D'ETUDE DE FABRICATION (APEF). GENERALITES

1.1. DEFINITION

1.1.1. Avant-projet d'étude de fabrication

Dossier prévisionnel évolutif élaboré au bureau des méthodes consignait tout ou parties des informations suivantes:

- - phases, sous- phases, opérations classées dans l'ordre d'usinage,
- - croquis de phase où figurent:
 - la mise en position de la pièce (symbolisation géométrique ou de préférence technologique),
 - la cotation de fabrication,
 - la visualisation des surfaces usinées
- -machines-outils utilisées,
- -outillages de coupe utilisés.

2.1.2. Méthodes de recherche d'un avant-projet d'étude de fabrication

Méthode générale : L'analyse est basée sur l'étude du cahier de charge, du dessin de définition du produit et sur une large expérience professionnelle acquise en analyse de fabrication.

Données :

- dessin de définition du produit,
- cahier des charges (programme et moyens),
- expérience industrielle...

Principe :

Cette méthode consiste à appliquer des règles de décision permettant l'élaboration d'un avant-projet puis d'un projet d'étude de fabrication bâti sur une parfaite connaissance des moyens de fabrication et sur le savoir-faire du gammiste.

Méthode groupement en familles et gamme-type : L'analyse est basée sur la connaissance des gammes de fabrication stabilisée (gamme type) répondant à des problèmes semblables (familles fondamentales de pièces).

Données :

- dessin de définition du produit,
- cahier des charges (programme et moyens),
- système de codification morpo dimensionnel (OPITZ, OIR, TNO, COPIC - BRISCH, CETIM-PMG...),
- banque de données de "gammes type".

Principe

Cette méthode consiste, dans un premier temps, à déterminer le code d'une nouvelle pièce à étudier puis à rechercher (manuellement ou informatiquement) la gamme type associée à ce code.

Dans un deuxième temps, le gammiste modifie cette gamme pour l'adapter aux spécificités de la pièce considérée.

2.1.3. Cahier des charges de production : incidence sur le choix

Programme de fabrication

Quantité de pièces (série) nombre de séries : Le cahier des charges fixe le nombre de pièces dans la série et le nombre de séries envisagées dans le temps (ex : 50 pièces/mois/3 ans). Ces données ont une influence directe sur le choix des moyens de fabrication (MO et outillages). Elles conditionnent l'investissement.

Délais : Les délais sont fixés de manière précise dans le cahier des charges. Ils ont également une incidence sur le choix des moyens de fabrication. L'augmentation de la cadence et/ou l'augmentation du nombre des postes et/ou l'augmentation des temps de production sont des moyens de réduire les délais.

Cadence : Elle résulte de la quantité de pièces à produire dans un temps donné (délais). Elle doit également prendre en compte les coûts de stockage et les taux horaires des moyens quelle induit.

Coût de production : C'est l'étude de marché du produit et l'état de la concurrence qui imposent les coûts de fabrication maximum. Les moyens de production des ateliers de sous-traitance spécialisés et leur taux de charge peuvent permettre une réduction importante des coûts de production.

Moyens de production

Parc machines : Le parc MO peut être imposé (atelier intégré) et/ou à définir (acquisition de nouveaux moyens ou appel à la sous-traitance). Les machines sont identifiées par:

- les possibilités cinématiques,
- les capacités limites,
- les capacités en termes de volumes usinables et de précisions possibles.

L'implantation des machines et leur taux global de charge dans l'atelier sont à prendre en compte dans la mise en oeuvre des moyens de production.

Equipements et appareillages : Les différents équipements et appareillages, en particulier les montages d'usinage, les modules de préhension, de manutention et de stockage sont choisis en fonction de la qualité des pièces à obtenir et en fonction du programme de fabrication imposé.

Outillages de coupe et de contrôle : Le choix des outillages de coupe est également lié à la qualité des pièces à obtenir. Il a une influence directe sur le temps d'usinage et sur les coûts d'usinage (optimisation des conditions de coupe).

Moyens humains : La qualification des opérateurs est étroitement liée à la complexité des machines et équipements. Le taux horaire des machines-outils prend en compte les moyens

humains. Le choix des moyens matériels est par conséquent lié à l'existence et à la disponibilité des moyens humains correspondants.

2.2. PRINCIPAUX TERMES UTILISEES DANS UN APEF. OPERATIONS ELEMENTAIRES D'USINAGE

2.2.1. Définitions et commentaires

Phase : Ensemble d'opérations (éventuellement groupées en sous-phases) réalisées sur un même poste de travail. On entend par poste de travail une machine équipée pour réaliser un ensemble d'opérations sur un lot de pièces.

Les phases sont généralement désignées à partir du type de machine- outil sur laquelle sont réalisées les différentes opérations.

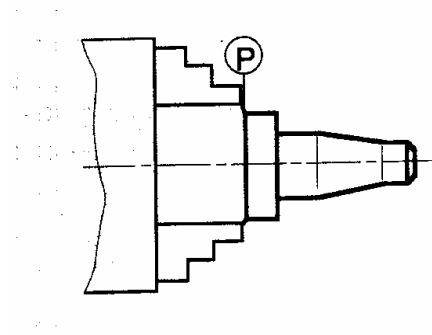
Exemple: phase 10 : TOURNAGE phase 20: PERÇAGE

Sous-phase : Ensemble d'opérations réalisées sans démontage de la: pièce.

Exemple:

Sous- phase A: réalisation des surfaces en trait fort

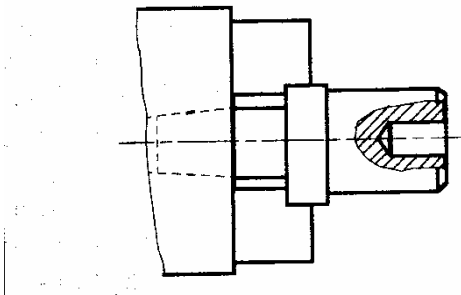
- **Sous-phase A :** mandrin 3 mors durs



Puis retournement de la pièce :

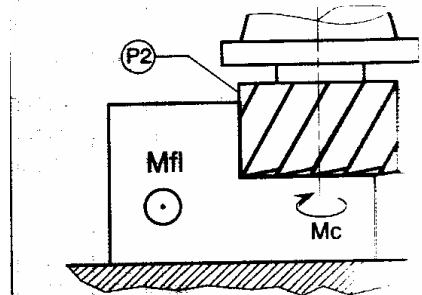
Sous-phase B: réalisation des surfaces restantes

- **Sous-phase B :** mandrin 3 mors doux



Opération : Réalisation d'une ou plusieurs surfaces élémentaires sans démontage de la pièce et en ne mettant en oeuvre qu'un seul mouvement relatif pièce/outil.

Opération a : surfacage et dressage simultanés



2.2.2. Nature, rôle et caractéristiques générales des opérations élémentaires d'usinage

Ebauche (E)

a) On élimine l'excédent de matière.

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

b) Prépare la finition.

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

Demi- finition F/2

a) On corrige les défauts, résultant d'une "grosse" ébauche. En assurant une surépaisseur constante et faible pour la finition.

b) On réalise une partie des spécifications liées à une surface en assurant la précision géométrique de position (cas d'un alésage).

Finition F

On termine toutes les spécifications imposées par le dessin de définition du produit et on permet d'obtenir, pour la surface usinée:

- la forme,
- la rugosité
- la dimension

et dans certains cas l'orientation et la position.

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

a) Spécifications du dessin de définition du produit.

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

Caractéristiques Opérations	Intervalle de tolérance			Qualité			Rugosité		
	IT ≥ 0,5	IT > 0,05 et IT < 0,5	IT ≤ 0,05	12 13	8 9 10 11	6 7	Ra ≥ 6,3 et Ra < 6,3	Ra > 0,8 et Ra < 0,8	Ra ≤ 0,8
E F/2 F	F	E F	E F/2 F	F	F	E F/2 F	F	F	E F/2 F

b) Brut

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

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

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

c) Caractéristiques intrinsèques

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

Note : La déformation de la pièce peut être due:

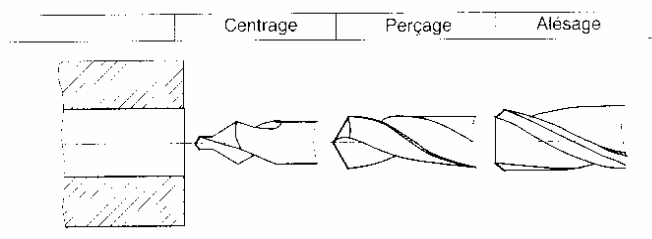
- aux variations de l'intensité des forces de coupe,
- à l'intensité de la force de bridage,
- à la rigidité de la pièce,
- aux libérations des tensions internes dans le matériau.

d) Nature de l'outil

-La nature et la forme de l'outil influencent le nombre d'opérations élémentaires.

-Les outils de finition doivent attaquer ou déboucher sur des surfaces saines (donc écrouîtées).

Exemple : alésage d'un cylindre de diamètre 12 H 9 en pleine matière

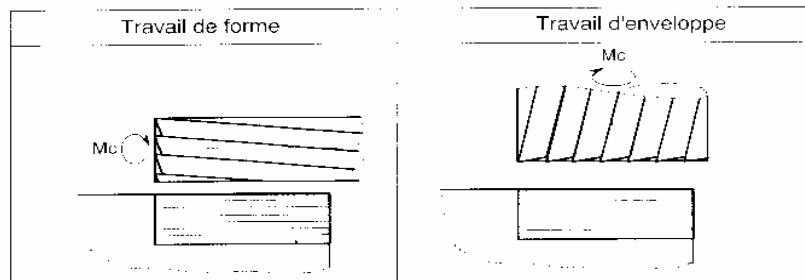


- La forme du foret alésé (pas de coupe dans la partie centrale) oblige à réaliser une opération d'ébauche en perçage.
- Un chanfrein d'entrée sur une surface brute facilite la tenue de l'outil de finition en alésage.

e) Mode de génération

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

Exemple : réalisation d'un épaulement (les deux plans ont des étendues très différentes)



En travail de forme, la longueur de contact arête de coupe/pièce étant importante, il sera nécessaire de multiplier le nombre d'opérations d'ébauche afin de minimiser les problèmes de flexion d'outil, d'usure, d'échauffement et de vibrations.

2.3. DEMARCHE DE RECHERCHE D'UN AVANT-PROJET ET CONSEILS EN VUE DE L'ELABORATION D'UN APEF

2.3.1. Démarche de recherche d'un avant-projet

Données :

- - Dessin de définition du produit fini.
- - Dessin de définition du produit brut.
- - Cahier des charges:
 - le programme de fabrication (série, cadence, délai...),
 - le parc machines,
 - l'outillage de coupe,
 - les appareillages,
 - les moyens humains.

Besoin : Document d'ordonnancement des phases, sous-phases, opérations (éventuellement).

Résulte : Analyse

1. Analyser le dessin de définition du produit à fabriquer
 - 1.1. Installer un repère orthonormé direct sur la pièce
 - 1.2. Repérer les surfaces brutes (qui resteront brutes): Bi
 - 1.3. Repérer les surfaces usinées; codage:

plan (Pi) cylindre (Ci) autres (Xi)

2. Réaliser le graphe sagittal et établir le tableau d'étude des surfaces brutes et usinées.
 - 2.1. Mettre en évidence les codes de liaisons aux bruts par axe (X, Y, Z).
 - 2.2. Mettre en évidence les spécifications délicates, à savoir:
IT < 0,05; qualité < 7; Ra < 0,8; \perp , //... < 0,05 %
 - 2.3. Définir les groupements de surfaces.
3. Ordonnancer les phases et sous- phases d'usinage à partir des conseils donnés.
 - 3.1. Déterminer les premières surfaces qui seront usinées (elles constitueront le premier référentiel de reprise).
 - 3.2. Déterminer la première mise en position permettant la réalisation des surfaces usinées déterminées en 3.1.
 - 3.3. Déterminer les phases et sous- phases suivantes à partir du: - choix d'une machine-outil,
- choix du référentiel de reprise à partir des surfaces usinées en phases antérieures.

4. Remplir le tableau d'analyse des différents APEF possibles.
 - 4.1. Indiquer la machine-outil utilisée et l'appareillage mis en oeuvre
 - 4.2. Donner le référentiel de mise en position
 - 4.3. Enumérer les surfaces usinées.

5. Choisir un APEF à partir d'une comparaison au niveau:
 - du nombre de phases et sous- phases,
 - de la complexité des moyens de reprise,
 - de la complexité des outillages de coupe,
 - des dispersions sur les cotes fabriquées.

2.3.2. Conseils en vue de l'élaboration d'un APEF

a) Comment choisir la ou les premières surfaces à usiner ?

- La première surface usinée (ou groupement de surfaces) doit servir comme appui principal pour la suite des usinages.
- La première surface usinée (ou groupement de surfaces) doit présenter une bonne stabilité de reprise.
- La première surface usinée (ou groupement de surfaces) doit pouvoir recevoir un ablocage efficace.
- Dans le cas où le choix est possible entre un plan et un cylindre long, choisir plutôt le plan.

b) Comment choisir les surfaces de mise en position de la première phase ?

- En première phase, la mise en position de la pièce doit si possible s'effectuer sur des surfaces brutes restant brutes après l'usinage complet de la pièce. Ces surfaces doivent être de bonne qualité. (Tenir compte des dépouilles, plan de joint, déport...)
- En première phase, la mise en position de la pièce doit permettre un balancement correct de la matière autour des usinages pour la phase suivante.
- En première phase, la mise en position de la pièce doit permettre de garantir une bonne stabilité sous les forces de coupe.

c) Comment effectuer des groupements des surfaces ?

- Deux surfaces liées par une ou plusieurs spécifications délicates doivent être réalisées dans la même sous- phase.
- La tendance actuelle est d'usiner dans la même sous- phase (ou éventuellement la même phase) toutes les surfaces accessibles par l'outil en fonction du type de machine-outil.
- Certaines surfaces ne peuvent être réalisées séparément, elles sont groupées par obligations technologiques (rainure, lamage...).

d) Comment ordonner les phases ?

- Dans le cas où deux surfaces (ou groupes de surfaces) appartenant à des phases différentes sont positionnées entre elles (spécifications de position, orientation...) et réalisables l'une par rapport à l'autre, il faut réaliser en premier la (ou le groupement) surface qui offre la meilleure stabilité de reprise et qui permet un ablocage correct.
- Eviter les reprises sur brut au delà de la phase 30.
- Il faut repousser le plus loin possible, dans la suite des phases, l'usinage des surfaces fragiles, précises et celles qui affaiblissent la pièce (filetage, rectification, rainurage...).

e) Comment ordonner le nombre de phases sur les machines-outils à commande numérique ?

- Rechercher une prise de pièce "judicieuse" (stable et fiable) permettant la réalisation de la pièce en un minimum de phases (utilisation du plateau tournant: axe B et de la broche indexable : axe C).
- Réaliser l'usinage de plusieurs pièces du même lot dans des positions différentes sur le même montage.

2.4. METHODE GENERALE : EXEMPLE DE DEMARCHE

Données

↓

Analyse

↓

- Dessin de définition du produit fini:

Nom de la pièce	Matière	Caractéristiques mécaniques	
-----------------	---------	-----------------------------	--
- Dessin de définition du produit brut:

Mode d'obtention: (trou noyauté)	Mode de livraison	Traitements thermiques	Dépouilles	Surépaisseurs d'usinage
----------------------------------	-------------------	------------------------	------------	-------------------------
- Programme de fabrication:

Série	Cadence	Délai	Coût prévisionnel
-------	---------	-------	-------------------
- Moyens disponibles:

Parc machines	Outillage de coupe	Appareillages	Moyens humains
---------------	--------------------	---------------	----------------

1 - Repérage des surfaces du dessin de définition

1.1

1.2 Surfaces brutes

Bi

1.3 Surfaces usinées

Pi

Ci

Xi

2 - Analyse du dessin de définition

Graphe sagittal :

Tableau d'étude des surfaces brutes et usinées : -

Repère de la surface	Nature de la surface	Accessibilité (bonne mauvaise)	Spécifications de liaisons aux bruts (par axe)	Groupements possibles de surfaces	Machines-outils utilisables	Remarques
B1	Cylindre long	Bonne	Néant	Néant	Néant	Plan de joint
P1	Plan	Bonne	Y : 20 +0.02 / B1	avec CY2	FR CN * CU H	Néant

* FR CN : Fraiseuse à Commande numérique
CU H : Centre d'Usinage Horizontal

METHODE GENERALE : EXEMPLE DE DEMARCHE (SUITE)

Analyse (suite)

Résultat

Inventaire des spécifications délicates

Type de spécification	propre à une surface		entre surfaces		
	forme	dimension rugosité	position	orientation	battement
Inventaire des spécifications	P1 0,03	C2 $\varnothing 20H7/0,8$	P1 $10^{+0,02}$ → C2		

Définitions des groupements de surfaces

G1	G2	G3...	G4...

3 - Ordonnancement des phases et sous-phases
 4 - Etablissement du tableau d'analyse des différents APEF
 5 - Choix d'un APEF

	Nomenclature des phases et sous-phases			Analyse critique	
	Phase 10	Phase 20	Phase 30	Avantages	Inconvénients
Projet n°1	Tour à CN mandrin 3 mors durs Appui plan sur B1 Linéaire rectiligne sur B2	etc.	etc.	simple direct	- Porte à faux important. - Problème de vibrations
Avant-projet retenu	Tour à CN Mandrin 3 mors durs Appui plan sur B1 linéaire annulaire sur B4	etc.			

Note : Vous trouverez à la page suivante la trame de ce tableau d'analyse

Avant-projet d'étude de fabrication	Ensemble Elément Matière Programme	Compresseur Paier A-S13 Y20 Pré-série de 30 pièces	Bureau des méthodes	2 3
-------------------------------------	---	---	---------------------	--------

Phases n°	Sous-phases d'opérations	Machines outillages	Schéma de phase
30	Fraisage	Centre d'usinage horizontal Montage d'usinage de fraisage	
	Sous-phase A Rotation palette 0° a) Centrer 4 trous Percer 4 trous	foret à centrer	

2.5. METHODE DE RECHERCHE D'UN APEF PAR « GROUPEMENT EN FAMILLES »

2.5.1. Présentation générale de la technologie de groupe (notée TG)

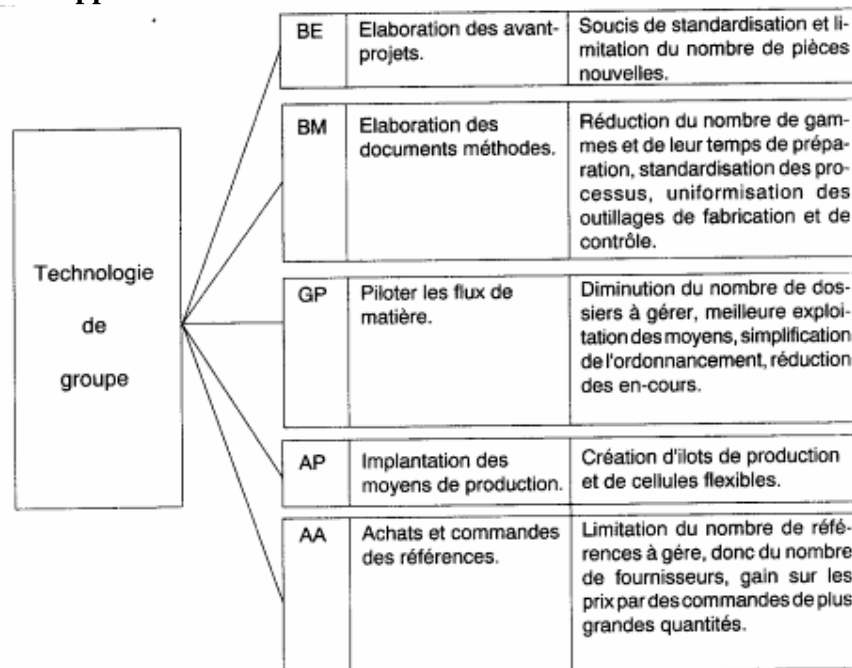
a) Définition :

Concept de regroupement qui permet d'identifier les similitudes entre des éléments et de les reclasser en familles, en vue d'optimiser les traitements ou les actions qui les concernent.

b) Principe :

La Technologie de Groupe consiste à grouper des pièces, des produits, des opérations, des procédés aux différents stades de leur élaboration, conception, production, industrialisation, montage, afin de profiter avantageusement de leurs similitudes pour les industrialiser économiquement.

c) Domaines d'application :



Notations :

BE	: Bureau d'étude
BM	: Bureau des méthodes
GP	: Gestion de production
AP	: Atelier de production
AA	: Achats - Approvisionnements

e) Objectif :

La TG permet d'atteindre les objectifs suivants: (la liste n'est pas exhaustive)

- réduire la diversité des pièces et le nombre des articles,
- réduire les coûts de création des nouvelles gammes,
- réduire les temps de chiffrage des devis,
- réduire les en-cours,
- archiver le savoir du personnel (acquis technique important).

f) Outils :

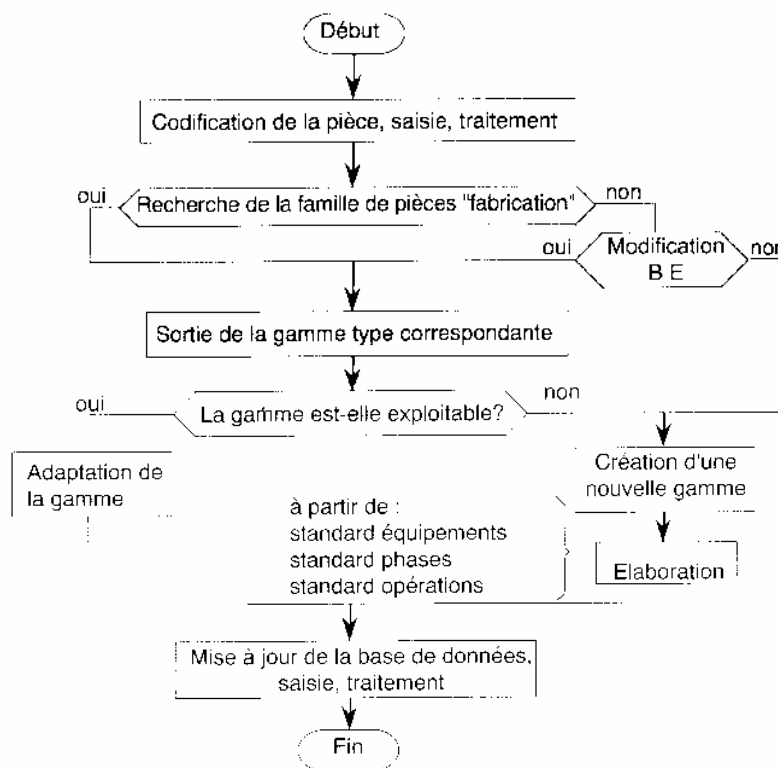
- Classification et codification

C'est la difficulté majeure en ce qui concerne l'implantation de la T G dans l'entreprise. Il faut avant tout définir les critères de regroupements qui serviront à définir les familles de pièces, ceci à partir d'un échantillon de pièces représentatives de l'entreprise.

Cette implantation doit impérativement commencer au B E puis passer au B M et ensuite à l'A P.

- Fiches techniques : Définition :

- des fichiers de pièces
- des familles de pièces
- des dessins types de pièces
- des familles de gammes
- des gammes types
- des familles d'opérations
- des opérations types.

g) Exemple d'organisation de la Technologie de Groupe au Bureau Méthode**2.5.2. Définitions**

a) Famille de pièces : Groupements de pièces présentant des analogies de fonction, de conception, de morphologie (forme, dimension, matière...), de mise en oeuvre.

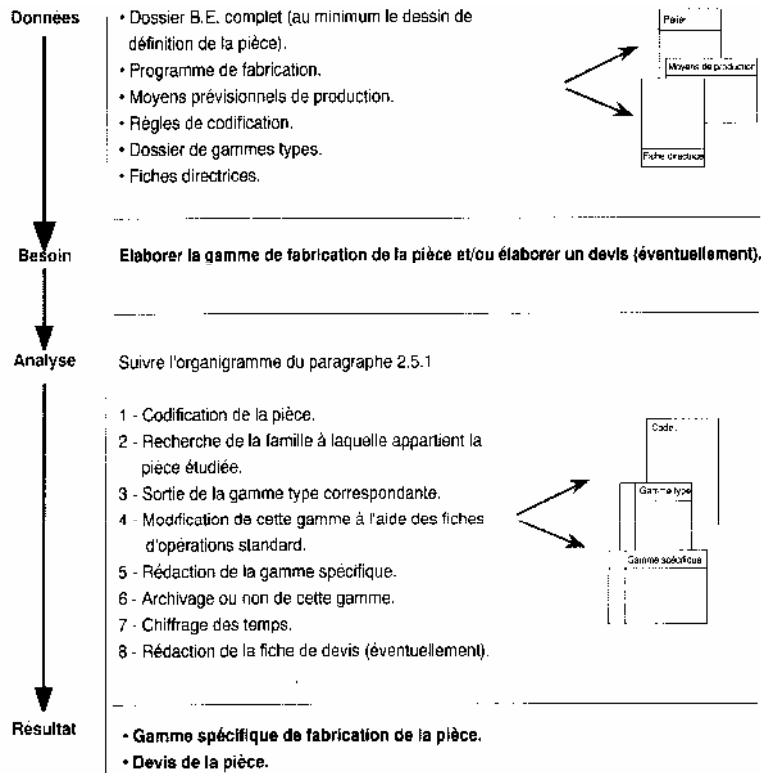
b) Gamme-type : Document regroupant l'ensemble ordonné de toutes les phases et l'ensemble de toutes les opérations permettant la réalisation de toutes les pièces de la famille considérée.

c) Gamme spécifique :

Document regroupant, pour une pièce de la famille considérée, les données suivantes:

- la suite ordonnée des phases,
- la suite ordonnée des différentes opérations de chaque phase.

2.5.3. Démarche de recherche d'une gamme spécifique en TG



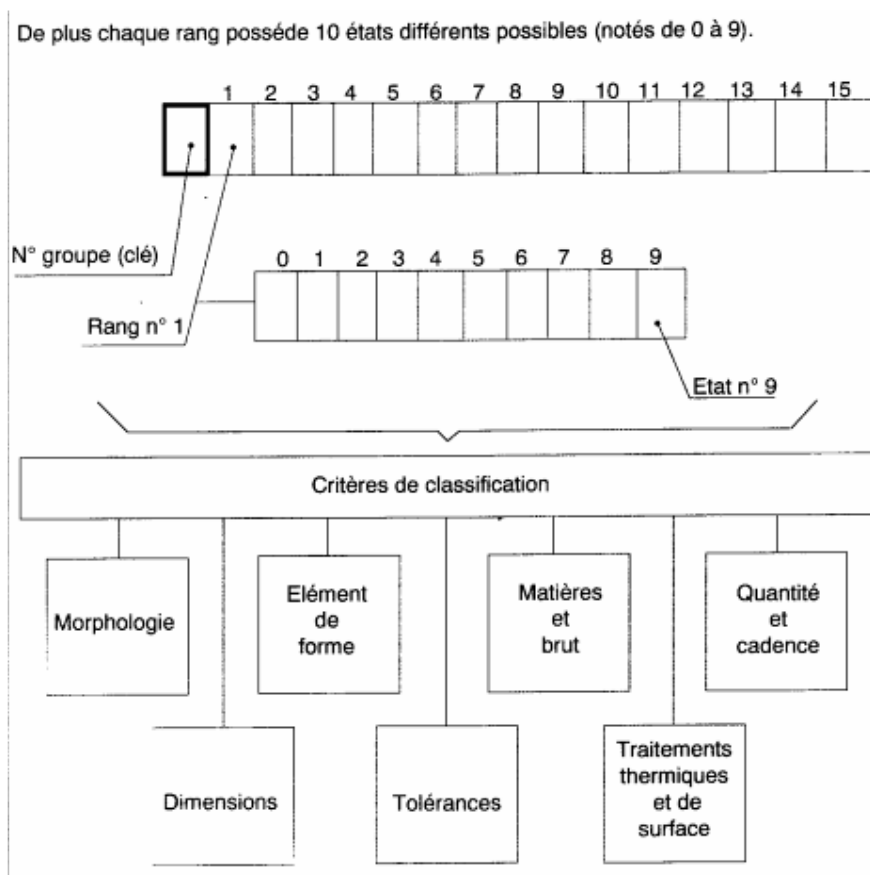
2.5.4. Exemple de système de classification des pièces :

a) Principe : Ce système utilise une codification de base morpho- dimensionnelle pour classer les pièces fabriquées et les matières.

b) Structure : Ce système est composé de 8 groupes de types de pièces (le groupe O est le groupe matière, les groupes 1 à 7 sont les groupes pièces).

N°	Groupes
0	Matières
1	Pièces élémentaires usinées de révolution
2	Pièces élémentaires usinées de non-révolution
3	Pièces élémentaires de construction soudée : produits plats
4	Pièces élémentaires de construction soudée : produits longs
5	Ensembles et sous-ensembles en construction soudée
6	Pièces standard de commerce
7	Moules, matières plastiques

Chaque groupe est composé d'au maximum 15 rangs représentant les différents critères de classification (cela veut dire que plusieurs rangs peuvent être affectés à un même critère).
De plus chaque rang possède 10 états différents possibles (notés de 0 à 9).



2.6. EXEMPLE D'APPLICATION DE LA METHODE PAR « GROUPEMENT EN FAMILLES ». DEMARCHE

• Données techniques et économiques de production:

Cet arbre est destiné à équiper des pompes à eau brute (eau de mer) pour le refroidissement de l'eau douce qui sert au refroidissement des moteurs diesels marins.

- Production annuelle : 35 pompes.

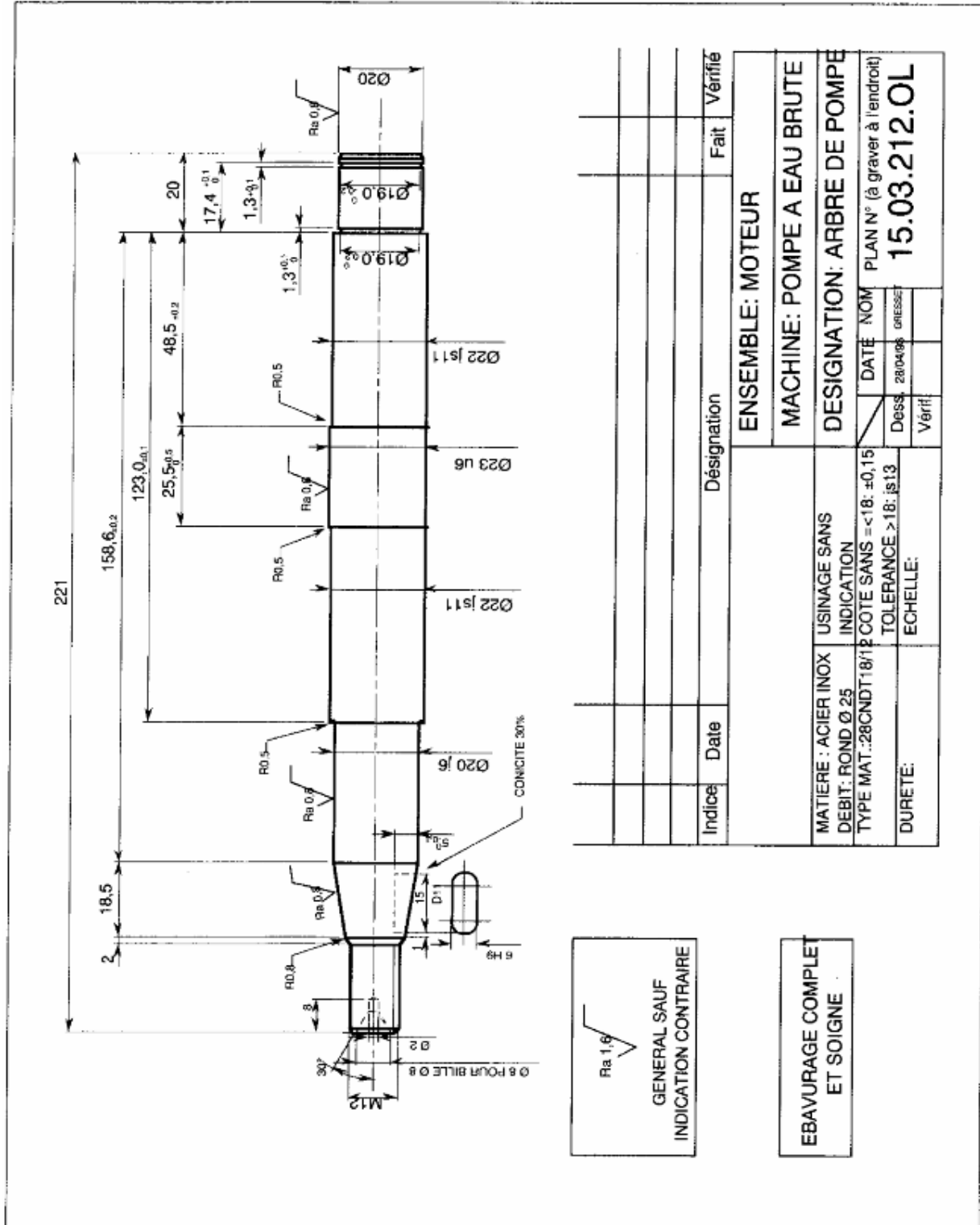
- Moyens de production:

* centres de fraisage horizontaux (2 à 8 palettes, 25 à 120 outils),

* centres de tournage (10 outils),

* montages modulaires en fraisage.

Dessin de définition (page suivante) :



Ra 1.6
GENERAL SAUF
INDICATION CONTRAIRE

EBAUVAGE COMPLET
ET SOIGNE

Indice	Date	Désignation	Fait	Vérfié
		ENSEMBLE: MOTEUR		
		MACHINE: POMPE A EAU BRUTE		
		DESIGNATION: ARBRE DE POMPE		
		MATIERE : ACIER INOX		
		DEBIT: ROND Ø 25		
		TYPE MAT.: 28CNDT18/1		
		USINAGE SANS INDICATION		
		COÛTE SANS = < 18: ±0.15		
		TOLERANCE > 18: js13		
		DATE NOM		
		DESS: 28/04/08 GRESSET		
		PLAN N° (à graver à l'endroit)		
		VERIF		
		ECHELLE:		
				15.03.212.0L

Analyse

1 - Codification de la pièce
(CETIM - PMG)

1	2	5	0	7	5	1	0	0	3	0	0	9	2		
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--	--

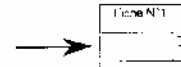
2 - Recherche de la famille : cette pièce appartient à la famille intitulé "arbre long plein".

3 - Edition de la gamme type correspondante à cette famille.

FAMILLE "ARBRE LONG PLEIN"		GAMME TYPE	
Phase	Désignation/ Opération	Machine-outil	Observations
10	SCIAGE Ø.....L.....	Scie circulaire	L = L pièce + 2mm
20	DRESSAGE Sous-phase A a. Dresser b. Charioter portée de mors c. Centrer d. Percer Sous-phase B a. Dresser b. Centrer c. Percer	Tour d'opérations	Une extrémité Un seul côté Mise à longueur Perçage avant taraudage
30	TOURNAGE 1er côté a. Finition des surfaces non traitées et non rectifiées b. Demi-finition des surfaces traitées rectifiées	Tour à CN	
40	TOURNAGE 2e côté a. Finition des surfaces non traitées et non rectifiées b. Demi-finition des surfaces traitées rectifiées	Tour à CN	
50	USINAGES DES FORMES ADDITIONNELLES a. Finition des formes additionnelles		Note : - La gamme type donne, dans le cas général, la suite logique des phases et des opérations qui leur sont liées.
60	EBAVURAGE		
70	T T H et SABLAGE		
80	LAVAGE		
90	REDRESSAGE		
100	RECTIFICATION DES CENTRES	Rectifieuse de centres	
110	RECTIFICATION a. Finition des surfaces rectifiées	Rectifieuse cylindrique	- Pour les cas particuliers, certaines phases et opérations peuvent être supprimées.
120	CONTRÔLE FINAL		

↓
Résultat

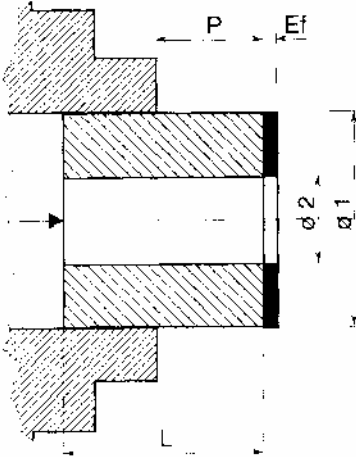
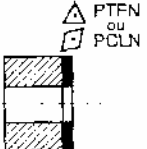
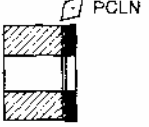
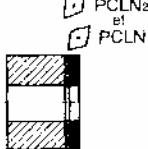
4 - Modification de la gamme type à l'aide des fiches d'opérations standard (voir paragraphe 2.7)



Gamme spécifique de l'arbre de pompe.

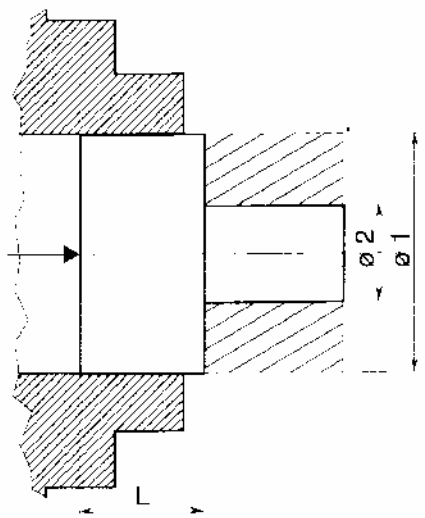
GAMME SPECIFIQUE		Ensemble : POMPE A EAU BRUTE	
		Élément : ARBRE DE POMPE	
		Matière : Z8CNDT 18/12	
Phase	Désignation/ Opération	Machine-outil	Observations
10	SCIAGE	Scie circulaire	L = L pièce - 2mm
20	DRESSAGE Sous-phase A a. Dressage d'une extrémité b. Centrage c. Perçage d. Usinage d'une portée de mors Sous-phase B a. Dressage de l'autre extrémité b. Centrage c. Perçage	Tour d'opérations	Un seul côté Mise à longuc.
30	TOURNAGE TOURNAGE du 1er côté a. Ebauche $\varnothing 23 \text{ u } 6$, finition $\varnothing 22$ b. Finition des gorges	Tour à CN	Mors doux + Contre-pointe PCLN Outil à gorge
40	TOURNAGE TOURNAGE du 2e côté a. Ebauche du cône, $\varnothing 20\text{j}6$ b. Finition \varnothing extérieur du M12, $\varnothing 22$ c. Finition du filetage M 12	Tour à CN	PCLN Outil à fileter
50	FRAISAGE a. Finition de la rainure 6H9	Fraiseuse verticale	Diviseur + Contre-pointe Fraise 2 lèvres $\varnothing 6$
60	RECTIFICATION a. Finition du cône, $\varnothing 20\text{j}6$	Rectifieuse cylindrique à plongée oblique	
70	RECTIFICATION a. Finition $\varnothing 20\text{j}6$, $\varnothing 23\text{u}6$	Rectifieuse cylindrique	
80	CONTROLE FINAL	Banc de contrôle inductif	

2.7. FICHER D' OPERATION STANDARD DE TOURNAGE

FICHE N° 1		DRESSAGE D'UNE FACE			
		<p>$Ef < 4$ Surépaisseur d'usinage sur face</p> <p>\varnothing_1 \varnothing Extérieur</p> <p>\varnothing_2 \varnothing Intérieur</p> <p>L Longueur pièce</p> <p>P Longueur de sortie des mors (porte à faux)</p> <p>IT L Intervalle de tolérance sur L</p> <p>Q Qualité</p> <p>Ra Etat de surface (rugosité)</p>			
	Cas n° 1	Cas n° 2	Cas n°3		
C O O D I C E S					
C O I T E S	IT L $\geq 0,15$ ou Q ≥ 9 Ra $> 6,3$	IT L $\geq 0,15$ ou Q ≥ 9 3,2 \leq Ra $< 6,3$	IT L $< 0,15$ ou Q < 9 Ra $< 3,2$		
E b.	Finition directe si	Ebauche et finition	Ebauche et finition		
F i n.	P: $\varnothing 1 < 1,5$	avec un seul outil	avec deux outils		
O U T I L S	PCLN ou PTFN	PCLN	PCLN si dressage seul ou voir fiche n°3 de copiage si associa- tion avec chariotage		
O P E R A T I O N S	Dressage	Dressage en deux passes	Ebauche en N passes Finition = voir fiche n°3 de copiage.		

4

FICHE N° 2 **CHARIOTAGE**

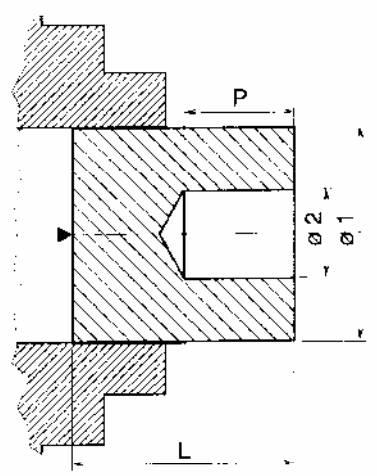


- Ø₁ Ø du brut
- Ø₂ Ø de chariotage
- L Longueur (cote fabriquée)
- IT L Intervalle de tolérance sur L
- Q Qualité
- Ra Etat de surface (rugosité)

	Cas n° 1	Cas n° 2	Cas n° 3
COCCIONS			
COIES	IT L ≥ 0,15 Q ≥ 9 Ra ≥ 6,3	IT L ≥ 0,15 7 ≤ Q < 9 1,6 ≤ Ra < 6,3	IT L < 0,15 7 ≤ Q < 9 1,6 ≤ Ra < 6,3
Ed. Fin.	Ebauche, finition avec un seul outil.	Ebauche, finition avec deux outils.	Ebauche, finition avec deux outils;
OUTILS	PCLN	PCLN ou PDJN	PCLN ou PDJN
OPERATIONS	Ebauche en N passes	Ebauche en N passes. Finition en une passe.	Ebauche en N passes. Finition voir fiche n°3 de copiage.

FICHE N°3		COPIAGE FINITION	
		ϕ_1	ϕ du brut
		ϕ_2	ϕ de chariotage (cote fabriquée)
		Er	Surépaisseur au rayon sur le cylindre $\phi 2 = 0,25$
		Ef	Surépaisseur sur la face = 0,10
		L1	Longueur (cote fabriquée)
		L2	Longueur de garde
		lc	Longueur de chariotage
		IT L1	Intervalle de tolérance sur L1
		Q	Qualité
		Ra	Etat de surface (rugosité)
		Cas n° 1	Cas n° 2
C O O R D O N E E S			
C O T E S		$IT L1 < 0,15$ $7 \leq Q < 9$ $1,6 \leq Ra < 3,2$	$IT L1 < 0,15$ $Q < 7$ $Ra < 1,6$
E b. F i n.		Finition avec un seul outil	Demi-finition avec un seul outil. Finition en rectification cylindrique et éventuellement plane.
O U T I L S		PCLN ou PDJN	PCLN ou PDJN
O P E R A T I O N S		Une ou deux passes de copiage	Une ou deux passes de copiage

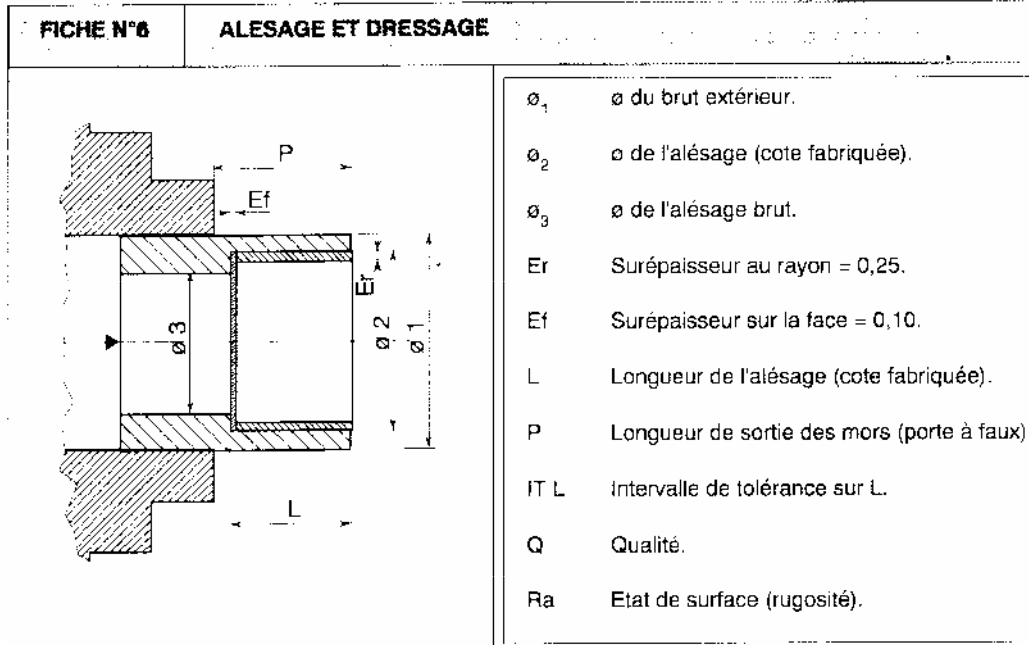
FICHE N° 4 PERÇAGE



- \varnothing_1 \varnothing extérieur.
- \varnothing_2 \varnothing de perçage.
- L Longueur de la pièce.
- P Longueur de perçage.
- IT P Intervalle de tolérance sur P.
- Q Qualité.
- Ra Etat de surface (rugosité).

	Cas n° 1 $L \geq P$	Cas n° 2 $L > P$	Cas n° 3
SCÉNARIOS			
CRITÈRES	Q \geq 8 Ra \geq 1,6	ITP \geq 0,15 Q \geq 8 Ra \geq 1,6	Si Q < 8 (et/ou) Ra < 1,6
OPÉRATIONS	Centrage. Finition directe par perçage.	Centrage. Finition directe par perçage.	Voir fiche n° 6 d'alésage.
OUTILS	Foret à centrer ou pointeur Foret hélicoïdal.	Foret à centrer ou pointeur Foret hélicoïdal.	
OPÉRATIONS	G81 (cycle de perçage). Si P > 3. \varnothing_2 , utiliser G83 (cycle de perçage avec débouillage).	G81 (cycle de perçage). Si P > 3. \varnothing_2 , utiliser G83 (cycle de perçage avec débouillage).	

FICHE N° 5		GORGE EXTERIEURE		
		<p>\varnothing_1 \varnothing Extérieur</p> <p>\varnothing_2 \varnothing à fond de gorge</p> <p>L Largeur de gorge</p> <p>IT L Intervalle de tolérance sur L</p> <p>IT L \varnothing_2 Intervalle de tolérance sur \varnothing_2</p> <p>Q Qualité</p> <p>Ra Etat de surface (rugosité)</p>		
		Cas n° 1	Cas n° 2	Cas n° 3
		L < 4	4 < L < 8	L > 8
OCCURSIONS				
	<p>IT L \geq 0,15; IT $\varnothing_2 \geq$ 0,15</p> <p>Ra \geq 1,6</p> <p>Q \geq 8</p>	<p>IT L \geq 0,05; IT $\varnothing_2 \geq$ 0,15</p> <p>Ra \geq 1,6</p> <p>Q \geq 8</p>	<p>IT L < 0,05; IT $\varnothing_2 \geq$ 0,15</p> <p>Ra \geq 1,6</p> <p>Q < 8</p>	
	<p>Fin. Finition directe.</p>	<p>Finir 1 puis 2.</p>	<p>Finir 1 puis 2 puis 3.</p>	
	<p>Outils Outil de forme pour la gorge (largeur de coupe de l'outil égale à L).</p>	<p>Outil de forme pour la gorge (largeur de coupe de l'outil inférieure à L).</p>	<p>Outil de forme pour la gorge (largeur de coupe de l'outil inférieure à L).</p>	
	<p>OPERATIONS Cycle de gorge.</p>	<p>Cycle de gorge.</p>	<p>Cycle de gorge.</p>	



	Cas n° 1	Cas n° 2
OPÉRATION		
SELEC	IT L \geq 0,15 Q \geq 9 Ra \geq 6,3	IT L < 0,15 7 \leq Q < 9 1,6 \leq Ra < 6,3
DE	Ebauche et finition avec un seul outil.	Ebauche et finition avec deux outils.
FR.	PCLN ou CSKN	CKUN ou PDUN
OPÉRATION	Ebauche en N passes.	Ebauche en N passes. Finition en une ou deux passes de copiage.

2.8. SYMBOLISATION DES PRISES DES PIÈCES

2.8.1. Notion d'isostatisme dans la liaison pièce/ porte- pièce

Dans le cadre de la recherche d'une liaison pièce/ porte- pièce, il est nécessaire de savoir choisir convenablement le type d'appui de la pièce.

Cette étude comporte deux étapes, l'une théorique concernant la disposition et le nombre d'appuis nécessaires à prévoir, l'autre pratique concernant le choix du matériel pour réaliser la porte- pièce.

Certaines cotes fabriquées dépendent de l'appui de la pièce. Dans ce cas, il est important de bien maîtriser cette liaison afin de minimiser les dispersions de reprise.

a) Isostatisme :

- Mise en position isostatique = Mise en position unique

Chacune des mobilités de la liaison pièce/ porte- pièce est associée à une seule surface de la pièce.

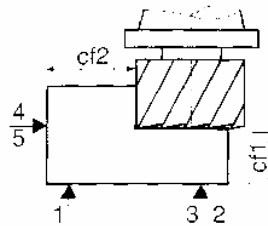
- Mise en position isostatique = Mise en position identique

La pièce occupe la même position si on la replace dans les mêmes conditions de la liaison pièce/porte- pièce.

Cette notion de "fidélité de mise en position" est importante en fabrication sérielle.

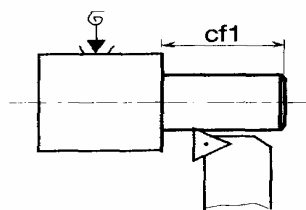
b) Appui direct :

La surface de la pièce qui est en appui avec le porte- pièce est la référence de la cote fabriquée à réaliser suivant la mobilité concernée.



c) Appui indirect :

La surface de la pièce qui est en appui avec le porte- pièce n'est pas la référence de la cote fabriquée à réaliser suivant la mobilité concernée.



d) Référentiel pièce :

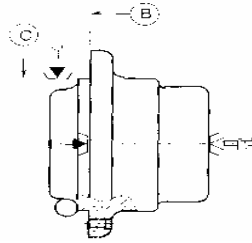
Ensemble des surfaces de la pièce qui sont en appui avec le porte pièce.

Dans notre exemple, il s'agit des surfaces :

 = appui plan

et

 = centrage court fixe



2.8.2. Démarche de recherche d'une mise en position isostatique théorique :

a) Données :

- Dessin de définition de produit fini (avec repère direct O, x, y, z).
- Projet d'étude de fabrication retenu.

b) Besoin : Mettre en place une solution d'appui de la pièce par phase ou sous-phase.

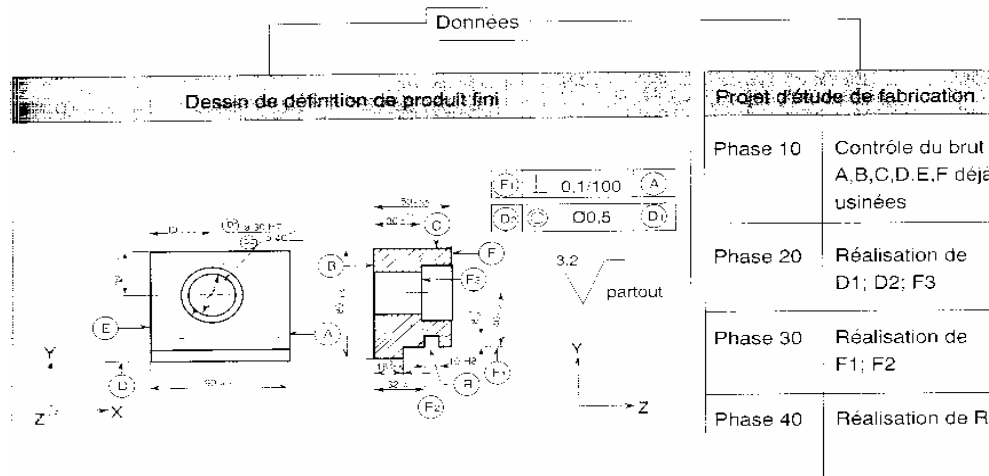
c) Analyse

Pour la phase ou sous-phase considérée:

- 1 - Tracer le graphe de cotation relatif à la réalisation des surfaces usinées et faire l'inventaire des mobilités correspondantes à chaque spécification.
- 2 - Remplir le tableau d'analyse des surfaces "référence de la cotation".
- 3 - Classer les spécifications en prenant comme critère de classement la précision des spécifications à travers la valeur limite des mobilités associées.
- 4 - Prendre en compte d'autres critères de classement, à savoir:
 - - référentiel direct,
 - - étendue des surfaces,
 - - accessibilité,
 - - possibilités de serrage,
 - - position des appuis par rapport à la direction des efforts de coupe.
- 5 - Choisir le référentiel de mise en position de la pièce (référentiel pièce: Rp).

d) Résultat : Mise en place du référentiel de mise en position sur le croquis de phase ou de sous-phase.

2.8.3. Exemple



Projet d'étude de fabrication

Phase 10	Contrôle du brut A, B, C, D, E, F déjà usinées
Phase 20	Réalisation de D1; D2; F3
Phase 30	Réalisation de F1; F2
Phase 40	Réalisation de R

Analyse et résultat

MISE EN POSITION ISOSTATIQUE

Phase : 20 **TOURNAGE** Surfaces réalisées : (D1) (D2) (F3)

1 - Graphe de cotation et inventaire des mobilités correspondantes

2 - Tableau d'analyse des surfaces "référence de la cotation"

Surfaces analysées	La surface est elle disponible ?	Type de surface	Nombre de normales maximum admissibles	Mobilités maîtrisées
(E)	oui	Plan	3	Tx (Ry) (Rz)
(C)	oui	Plan	3	Ty (Rx) (Rz)
(F1)	non			
(D1)	non			
(B)	oui	Plan	3	Tz (Rx) (Ry)

3 - Analyse des spécifications (critères précision/mobilités)

(E) $40^{\pm 0.2}$ $Ry = 0^{\circ \pm \alpha}$ avec $\tan \alpha = \frac{0.4}{30} = 1,33\%$

(C) $32^{\pm 0.2}$ $Rx = 0^{\circ \pm \beta}$ avec $\tan \beta = \frac{0.4}{30} = 1,33\%$

(B) $30^{\pm 0.5}$ $Rx = 0^{\circ \pm \lambda}$ avec $\tan \lambda = \frac{0.5}{40} = 1,25\%$

$Ry = 0^{\circ \pm \delta}$ avec $\tan \delta = \frac{0.5}{40} = 1,25\%$

Le classement est donc (B) puis (C) ou (E).

4 - Autres critères de décision

- Référentiel direct : appui sur (B) pour respecter $30^{\pm 0.5}$
 appui sur (C) pour respecter $32^{\pm 0.2}$
 appui sur (E) pour respecter $40^{\pm 0.2}$
- Stabilité d'appui : (B) a une étendue supérieure à celle de (C) et (E)
- Opposition aux efforts de coupe : (B) puis (C) et (E)

Le classement est donc (B) puis (C) ou (E).

5 - Choix définitif (référentiel pièce)

Appui plan sur (B)

Linéaire rectiligne sur (C)

Ponctuel sur (E)

Note : Les surfaces (C) et (E) jouent le même rôle, elles peuvent donc s'intervertir au niveau du choix adopté.

6 - Résultat

2.9. LE CONTRAT DE PHASE

2.9.1. Renseignements figurant sur le contrat de phase

Le numéro de la phase
Les références de la pièce

CONTRAT DE PHASE	Ensemble : COMPRESSEUR Elément : PALIER Matière : A-S13 Y20	BUREAU DES METHODES	
NOM :	Programme : PRE-SERIE		
* Désignation : TOURNAGE COMMANDE NUMERIQUE			
Machine-outil : HES 300			

La désignation de la phase

La machine outil utilisée

Le référentiel de mise en position

Le croquis de phase

Le différents temps

Les conditions de coupe

Le porte-pièce

MISE EN POSITION ET DESIGNATION DES OPERATIONS		PORTE-PIECE OUTIL DE COUPE		Vc	n	t/fz	Vf	tc*	ti*	
				m/min	tr/min	mm/dent	mm/min	min	min	
APPUI PLAN sur B4 LÉNAIRE ANNULAIRE sur B5 SERRAGE sur B5		Mandrin 3 Mors durs						2,45	1,64	0,81
a) Aléser C2 et C3 en Eb CF ø2 = 51,5 ±0,2		Pp : TMAX S 32 U - CKUN - R Pla : KNUX 16 04 05 - L1		400	2450	0,30		0,12	0,27	
b) Aléser C2 C3 en F (+ chanfreins) CF ø 2 = 52H7 CF4 = 17±0,35 CF5 = 54,45 ±0,35		Pp : TMAX CKUN - R Pla : KNUX - L11		500	2500	0,10		0,36	0,01	
c) Charioter dresser P1 et C1 Eb F/2		Pp : TMAX P PCLN - L Pla : CNMM - 71		300	Vcc	0,15		0,44	0,27	
d) Charioter dresser P1 et C1 en F CF 2 = 10,51 ± 0,4 CFø 1 = 80I7		Pp : TMAX CKJN - J Pla : KNUX 16 04 05 - R11		400	Vcc	0,05		0,72		

Le référentiel de mise en position

Les opérations d'usinage

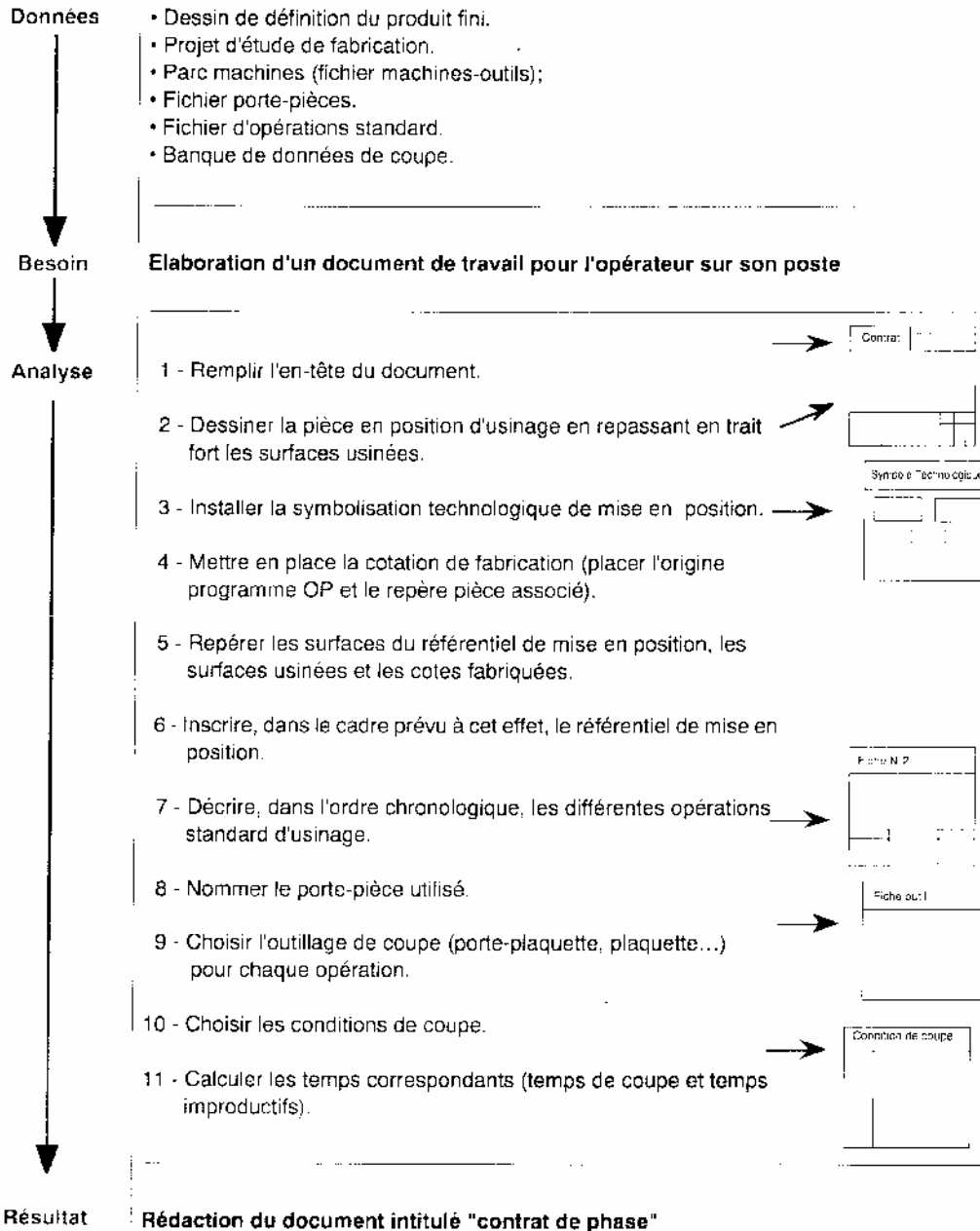
Eb = Ebauche
F/2 = Demi-finition
F = Finition
CF = cote fabriquée

L'outillage de coupe

Pp = Porte-plaquette
Pla = Plaquette...

* tc = temps de coupe
ti = temps improductif

2.9.2. DEMARCHE D' ELABORATION D' UN CONTRAT DE PHASE



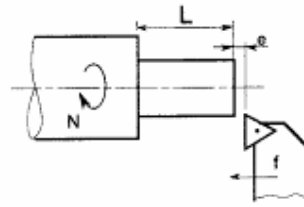
2.10. L' ETUDE DES TEMPS EN FABRICATION

2.10.1. Types de temps à prendre en compte

a) Temps technologique (ou temps de coupe) T_t :

Durée pendant laquelle l'outil coupe la matière.

Note : on comptabilise généralement dans ce temps la durée d'approche (distance e) de l'outil vers la pièce à usiner.



$$T_t = \frac{L + e}{N \cdot f}$$

N en tr/min
 f en mm/tr
 L et e en mm
 Tt en min

b) Temps de préparation : Ts

- Temps nécessaire à la préparation d'un poste de travail en vue de la production d'une série d'articles.

-Il concerne l'installation d'un outillage, son réglage, le nettoyage...

Note: le poste de travail ne produit pas, mais il est occupé.

c) Temps techno-manuel : Ttm

Temps correspondant à des actions combinées de l'opérateur et de la machine. (Exemple : Perçage sur une perceuse sensitive)

d) Temps manuel : Tm

Temps correspondant à un travail intellectuel ou physique que l'opérateur effectue systématiquement pour chaque pièce de la série. (Exemple : Monter une pièce. Démonteur une pièce...)

e) Temps masqué : Tz

Correspond à un temps manuel effectué pendant que la machine travaille seule.

Note: il n'intervient pas dans le temps total du cycle. (Exemple : Contrôler une pièce pendant l'usinage d'une autre pièce.)

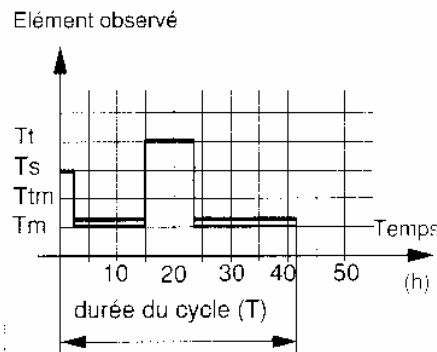
2.10.2. Simogramme

C'est une représentation graphique du cycle de travail. On porte le temps (unité adéquate) sur l'axe des abscisses et les différents types de temps sur l'axe des ordonnées.

Exemple : série de 500 pièces

	Unitaire	500 pièces
0 - Préparer le poste	Ts	2 h
1 - Monter la pièce	Tm	150 cmin
2 - Copiage finition	Tt	100 cmin
3 - Démonteur la pièce	Tm	50 cmin
4 - Nettoyer le montage	Tm	200 cmin
		43,67 h

h : heure
 cmin : centième de minute



CHAPITRE 3. DISPERSIONS DIMENSIONNELLES

Dispersion dimensionnelles

Lors de l'usinage en série de la longueur L d'une pièce, on constate, pour un réglage donné, une variation dimensionnelle des pièces successivement usinées.*

Si l'on représente graphiquement les différentes longueurs L_1, L_2, \dots, L_n des pièces dans l'ordre de leur usinage, on remarque que la variation des longueurs est sensiblement dans une zone ABCD. Cette zone est appelée « zone de dispersion des dimensions ».

Étude des dispersions

L'étude est relative à une durée de vie pratique d'un outil ou à une production entre deux réglages.

1 Dispersion globale D_t

La dispersion globale est la somme de deux dispersions :

- la dispersion systématique D_s ,
- la dispersion aléatoire D_a .

$$D_t = D_s + D_a.$$

REMARQUES :

- La dispersion globale D_t n'a de signification que pour un nombre de pièces donné.
- Shewhart et Deming ont prouvé qu'une condition de compétitivité est de choisir le procédé dont la dispersion est la plus faible possible.

Dispersion systématique D_s

Cette dispersion est essentiellement due à l'usure de l'outil entre la première et la dernière pièce produite.

Elle a pour effet d'engendrer une dérive de la valeur moyenne des dimensions qui peut être estimée par une régression linéaire.

$$D_s = a \cdot N.$$

$a = \tan \alpha$ = coefficient directeur de la droite de dérive de la valeur moyenne des dimensions.

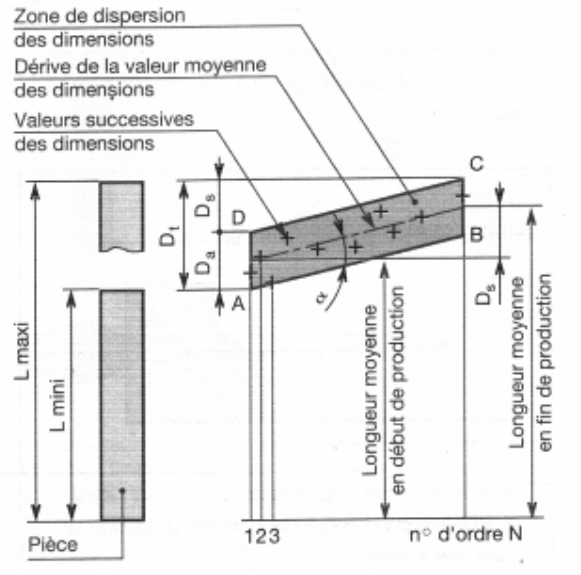
N = nombre de pièces.

* On suppose que les déformations thermiques de l'ensemble machine-pièce-outil sont stabilisées.

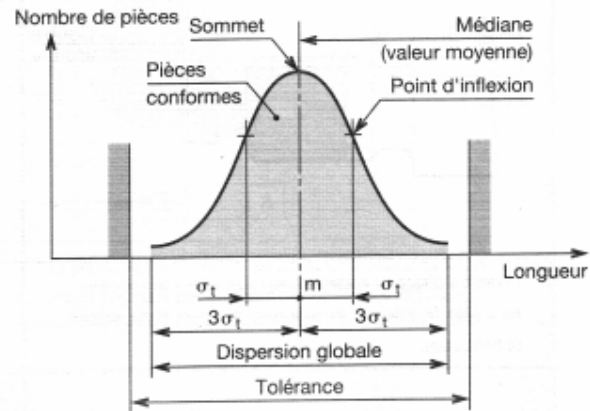
** Prononcer « sigma indice t ».

*** Sous réserve que m soit centré au milieu de ITT.

DISPERSIONS DIMENSIONNELLES



DISTRIBUTION DES DIMENSIONS



Intervalle	Pourcentage de dimensions conformes	Exemple d'application : Si l'intervalle choisi est égal à $\pm 3,09 \sigma_t$, le pourcentage de pièces conformes est égal à 99,8 %, soit un rebut de 2 pour mille***.
$\pm 1 \sigma_t$	68,27 %	
$\pm 1,96 \sigma_t$	95 %	
$\pm 2 \sigma_t$	95,44 %	
$\pm 3 \sigma_t$	99,73 %	
$\pm 3,09 \sigma_t$	99,8 %	
$\pm 4 \sigma_t$	99,99 %	

$\sigma_t = \sqrt{\frac{\sum (L_i - m)^2}{N}}$	σ_t = écart type des valeurs des dimensions. L_i = valeur individuelle des dimensions. m = valeur moyenne des dimensions. N = nombre de pièces.
--	---

Dispersion aléatoire D_a

Cette dispersion englobe des phénomènes relativement nombreux, notamment :

- les écarts de mises en position successives des pièces dans leur montage,
- les déformations de la pièce dues au dispositif de maintien,
- le manque de rigidité du montage,
- la fidélité des butées en fin de course,
- les déformations de la pièce lors de son usinage, en fonction de la variation des efforts de coupe (par exemple du fait des variations de la surépaisseur d'une pièce à l'autre).

L'expérience montre que la dispersion aléatoire a une loi de distribution qui suit une loi normale

Estimation de la dispersion aléatoire D_a

L'écart type de la dispersion aléatoire est :

$$S_a = \sqrt{\frac{\sum [y_i - (ax_i + b)]^2}{(n - 2)}}$$

$$a = \frac{n \cdot \sum xy - \sum x \cdot \sum y}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{\sum y - a \cdot \sum x}{n}$$

x_i, y_i = coordonnées d'un point i d'une pièce de rang i .

a = coefficient directeur de la droite de régression.

b = ordonnée à l'origine.

n = nombre de pièces de l'échantillon.

REMARQUE :

La formule ci-contre de S_a est facile à comprendre mais est peu aisée à appliquer sans l'utilisation d'un tableur. On peut lui substituer la formule ci-dessous qui peut être appliquée à l'aide d'une calculatrice capable d'effectuer des calculs de régression.

$$S_a = \sqrt{\frac{n-1}{n-2} \times S_y^2 (1 - r^2)}$$

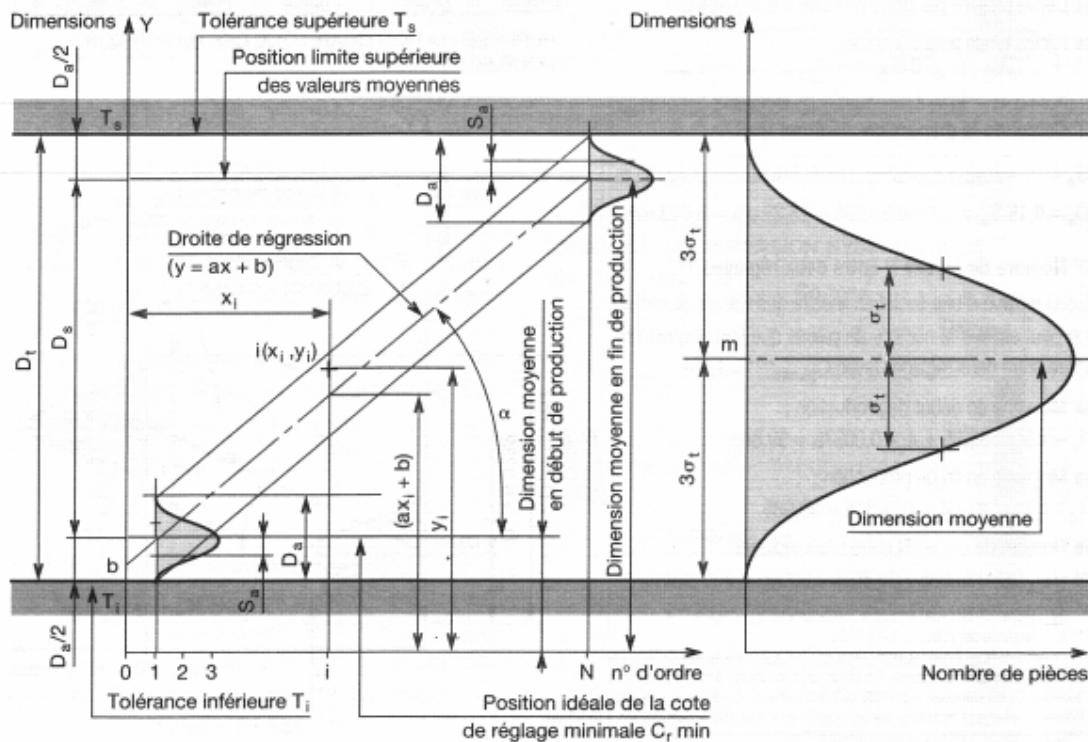
$$S^* = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n - 1)}}$$

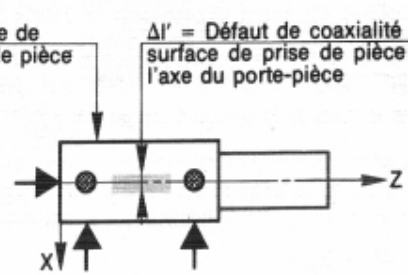
r = coefficient de corrélation linéaire.

Voir l'application numérique page suivante.

On choisit fréquemment $D_a = \pm 3,09 S_a$.

REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES DISPERSIONS



VALEURS DES DISPERSIONS									
<p>Les valeurs des dispersions globales au niveau du référentiel $\Delta I'$ et de la surface usinée ΔI sont généralement obtenues à partir des dispersions relevées lors de fabrications semblables sur les mêmes machines et consignées dans les dossiers-machines et les dossiers de fabrications.</p> <p>Toutefois, à titre de première estimation, on peut utiliser les valeurs données dans ce tableau.</p>			DISPERSIONS GLOBALES AU NIVEAU DE LA SURFACE USINÉE ΔI						
			Type de butées	Opération d'usinage	$\Delta I = \Delta P_{o/m} + \Delta f + \Delta s$				
DISPERSIONS GLOBALES AU NIVEAU DU RÉFÉRENTIEL $\Delta I'$			Fixe	Ébauche	0,04 à 0,08				
				Finition	0,02 à 0,04				
Mise en position de surfaces planes			Débrayable mécanique	Ébauche	0, 1 à 0, 2				
				Finition	0,05 à 0, 1				
Surface de la pièce en contact avec le référentiel machine			Débrayable électrique	Ébauche	0,05 à 0, 1				
				Finition	0,01 à 0,02				
Mode d'obtention de la surface en contact avec le référentiel machine	$\Delta I' = \Delta R_{p/m} + \Delta f$								
Brute	Moulée au sable	$\Delta R_{p/m}$	Δf	$\Delta I'$					
	Moulée en coquille							0,4	
	Sciée							0,1 à 0,4	
Usinée	Tournage-Fraisage							0,02 à 0,1	
<p>$\Delta R_{p/m}$ = Dispersion de repérage de la pièce par rapport à la machine (fonction de la qualité du montage).</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Serrage d'appui modéré : $\Delta R_{p/m} \approx 0$. ■ Sans serrage d'appui (mise en contact à la main) : $\Delta R_{p/m} \approx 0,05$. <p>$\Delta f$ = Dispersion due au défaut de forme.</p>					<p>$\Delta P_{o/m}$ = Dispersion due à la remise en position de l'outil.</p> <p>Δf = Dispersion due aux défauts de forme de la surface usinée.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Surface obtenue par travail de forme, Δf doit être mesurée ou évaluée. ■ Surface obtenue par travail d'enveloppe, $\Delta f \leq 0,01$ (fonction de la précision du guidage des chariots et de la raideur de l'outil), peut être négligé dans certains cas. <p>Δs = Dispersion systématique due à l'usure de l'outil ; elle varie en fonction de nombreux paramètres (voir chapitres 7 et 8) et doit être mesurée après essais. Si on ne peut effectuer les essais, une évaluation de la dispersion Δs est possible en fonction de l'IT de la cote Cf.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Si la série est petite et concerne un travail de finition, Δs est relativement faible et il peut souvent être négligé. 				
Mise en position de surfaces cylindriques									
Surface de la pièce	Porte-pièce	$\Delta I' = \Delta R_{p/m} + \Delta f$							
Étirée ou usinée	Mandrin 3 mors durs	$\Delta R_{p/m}$	Δf	$\Delta I'$				0,1 à 0,2	
	Mandrin 3 mors doux							0,02 à 0,04	
Usinée	Centreur cylindrique							suivant jeu	
	Centreur conique							0,02	
	Rondelles Ringspann							0,01 à 0,02	
	Expansible							0,001 à 0,03	
<p>$\Delta R_{p/m}$ = Dispersion de repérage de la pièce par rapport à la machine (fonction de la qualité de la prise de pièce ; par exemple, pièce rectifiée en pince $\Delta R_{p/m}$ négligeable).</p>					<p>Δf = Dispersion due aux défauts de forme (circularité, cylindricité) de la surface en contact avec le porte-pièce.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Si la surface est obtenue par étirage ou usinée en travail d'enveloppe, $\Delta f \leq 0,02$. 				
					<p>Surface de prise de pièce</p> <p>$\Delta I'$ = Défaut de coaxialité de la surface de prise de pièce avec l'axe du porte-pièce</p> 				

Application numérique

Soit une fabrication en série de pièces sur lesquelles on usine un diamètre (fig. 1). Le procédé de réalisation est stabilisé. Un échantillon de 50 pièces est prélevé en cours de fabrication. Le prélèvement est effectué au cours d'une période de production stabilisée, sans aléa ni arrêt. Le contrôle des pièces s'effectue sur un montage avec un comparateur étalonné à 39,850. Les valeurs y du diamètre sont égales à la valeur lue plus la valeur de référence :

$$0,008 + 39,850 = 39,858.$$

Voir le tableau ci-contre : x est le numéro d'ordre du prélèvement et y la valeur lue en μm .

1° Analyse de la régression des valeurs y en fonction du n° d'ordre x

$y = ax + b$; $y = Bx + A$ (avec une calculatrice type Casio) :

$$\begin{aligned} A = b = 10,465306 \mu\text{m} = 0,0105 \text{ mm} & \quad r = 0,876326 \\ B = a = 0,464105 \mu\text{m} = 0,00046 \text{ mm} & \quad S_y^* = 7,7202358 \mu\text{m} \\ & \quad \bar{y}^{**} = 22,3 \mu\text{m}. \end{aligned}$$

- Réglage estimé en début de production
 $C_r = T_i + b = 39,85 + 0,0105 = 39,8605 \text{ mm}$.
- Dérive unitaire par pièce produite = $a = 0,464 \mu\text{m}$.
- Dérive totale pour 50 pièces
 $a \times 50 = 0,464 \times 50 = 23,2 \mu\text{m} = 0,0232 \text{ mm}$.

2° Calcul de la dispersion aléatoire D_a

$$S_a = \sqrt{49/48(7,7202358)^2(1 - 0,876326^2)} = 3,7575 \mu\text{m}.$$

$$D_a = 6,18 S_a = 6,18 \times 3,7575 = 23,22 \mu\text{m} = 0,023 \text{ mm}.$$

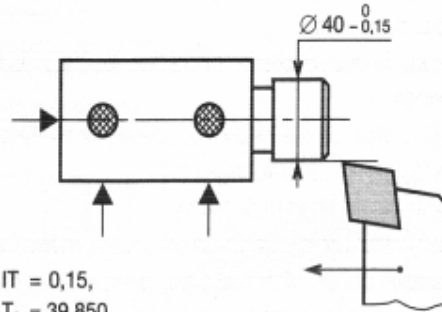
3° Nombre de pièces N entre deux réglages***

Sous réserve d'une évolution linéaire des valeurs (à vérifier), on peut estimer le nombre de pièces que l'on pourrait produire entre deux réglages (avec $C_{pk \text{ mini}}^{****} = 1,33$).

- Moyenne en début de production :
 $T_i + 4S_a = 39,85 + 4 \times 0,00376 = 39,865$.
- Moyenne en fin de production :
 $T_s - 4S_a = 40 - 4 \times 0,00376 = 39,985$.
- Nombre de pièces N entre deux réglages :
 $N = D_s/a = (39,985 - 39,865)/0,00046 = 260$ pièces.

* S_y : Estimation de l'écart type de la population avec σ_{n-1} .
 ** \bar{y} : Moyenne des valeurs y .
 *** Le calcul de N est théorique, pour l'exemple traité, la linéarité au-delà de 50 pièces doit être vérifiée expérimentalement. Par ailleurs dans le concept SPC la dispersion D_s est une cause assignable qu'il faut s'efforcer de réduire et si possible d'éliminer.
 **** C_{pk} : Indice de capabilité du procédé

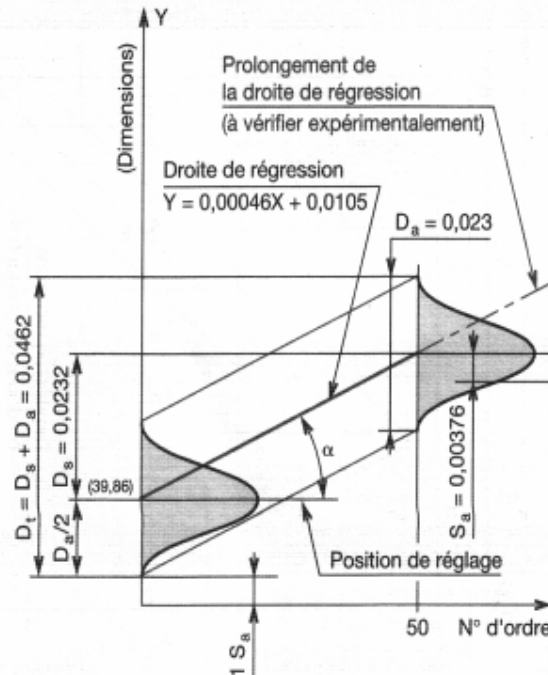
USINAGE D'UN DIAMÈTRE



$IT = 0,15,$
 $T_i = 39,850,$
 $T_s = 40.$

x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
1	8	11	20	21	18	31	23	41	26
2	13	12	13	22	16	32	25	42	32
3	20	13	15	23	20	33	19	43	31
4	6	14	18	24	23	34	30	44	24
5	12	15	19	25	21	35	22	45	36
6	18	16	19	26	25	36	25	46	32
7	15	17	20	27	22	37	29	47	28
8	8	18	22	28	19	38	25	48	33
9	11	19	25	29	23	39	37	49	39
10	15	20	22	30	29	40	28	50	36

REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES DISPERSIONS POUR 50 PIÈCES



CH/

4

L
calcul
dont
C
phas
Elle
brute
cote
finie
L
coup
conc
E
d'usi
A
surfa
situe
L

S
parc
fabri

4.2

Le
r
L
réf
L
L

4.2.2

L
appa
appa

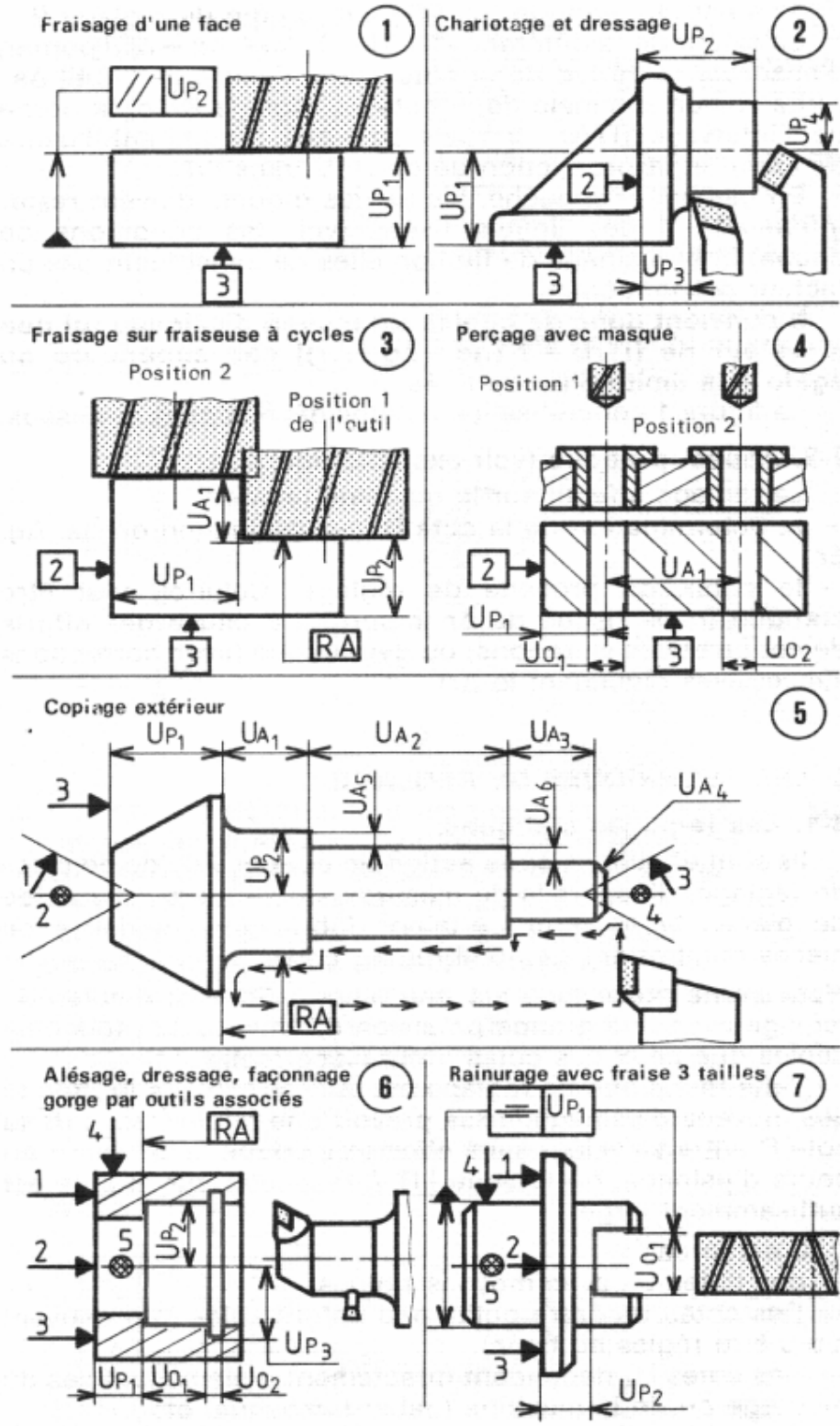
- fair
débr
num

- être
gaba

L

4.2.3

Les :



é ou
ce et
is de
pièce
ines
pièce
utils
, elle
yens
re la
n de
J.

t

rrêts

et

CHAPITRE 5 : SIMULATION

Simulation ΔI

Elle s'applique essentiellement à la vérification d'un avant-projet de fabrication et au calcul des cotes fabriquées en tenant compte des différentes dispersions ΔI_i (lire delta I indice i) qui vont intervenir au cours des mises en positions et de l'usinage des pièces.

Pour chaque phase les dispersions ΔI_i représentent, dans un repère fixe lié à la machine, l'ensemble des positions occupées par chaque surface i de toutes les pièces de la série.

Exemple

Soit une série de pièce à fabriquer suivant figure 1. Les cotes fabriquées « potentielles » suivant l'axe \vec{OZ} sont Cf_{1-2} , Cf_{2-3} et Cf_{1-3} . Le choix des cotes fabriquées sera fonction de la cotation bureau d'étude et de l'avant-projet.

Notion de dispersion

■ Dispersion globale au niveau du référentiel $\Delta I'$ *

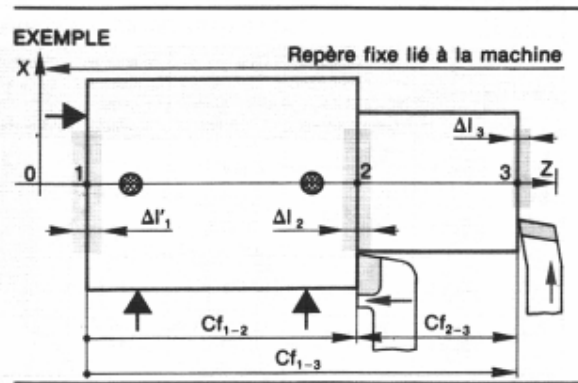
Elle inclut la dispersion due au défaut de forme de la surface liée au référentiel Δf et la dispersion de repérage de la pièce par rapport à la machine $\Delta R_{p/m}$:

$$\Delta I' = \Delta f + \Delta R_{p/m}$$

■ Dispersion globale au niveau de la surface usinée ΔI

Elle inclut la dispersion due au défaut de forme de la surface usinée Δf , la dispersion due à l'usure de l'outil Δs^{**} et la dispersion de remise en position de l'outil par rapport à la machine $\Delta P_{o/m}$:

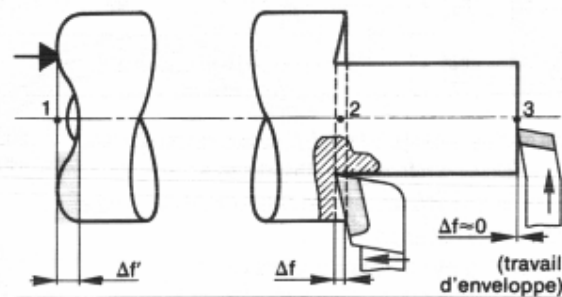
$$\Delta I = \Delta f + \Delta s + \Delta P_{o/m}$$



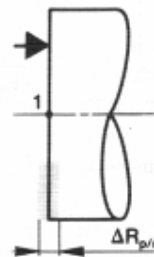
DISPERSIONS DUES AUX DÉFAUTS DE FORME

Référentiel $\Delta f'$

Surfaces produites Δf

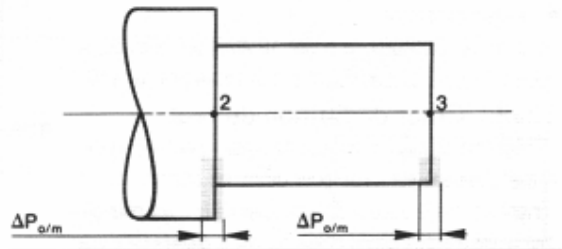


DISPERSION DE REPÉRAGE DE LA PIÈCE PAR RAPPORT À LA MACHINE $\Delta R_{p/m}$



$\Delta R_{p/m}$	Effet
>0	Contact non assuré
<0	Serrage trop important
≈ 0	Serrage modéré
0,02 à 0,05	Mise en contact sans serrage

DISPERSION DE REMISE EN POSITION DE L'OUTIL PAR RAPPORT À LA MACHINE $\Delta P_{o/m}$



Écart sur la cote fabriquée ΔCf

■ Soit $C_{f_{1,2}}$ la cote fabriquée entre les surfaces 1 et 2, on a : $C_{f_{1,2}} = \overline{O2} - \overline{O1}$.

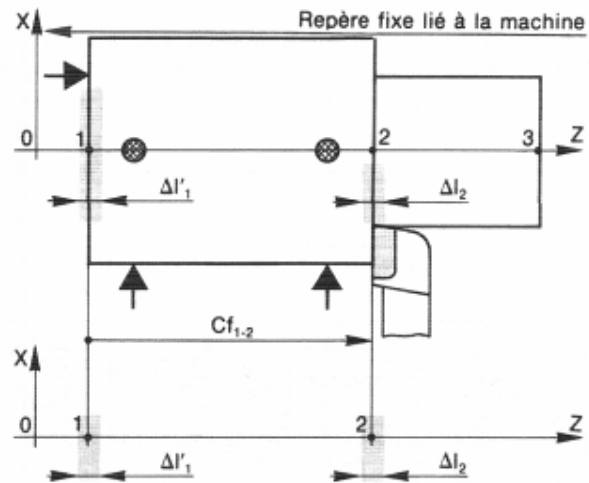
■ Soit $\Delta C_{f_{1,2}}$ l'écart sur la cote fabriquée $C_{f_{1,2}}$, le calcul d'erreur donne : $\Delta C_{f_{1,2}} = \Delta O2 + \Delta O1$.

Soit : $\Delta O2 = \Delta I_2$ et $\Delta O1 = \Delta I'_1$; en ordonnant :

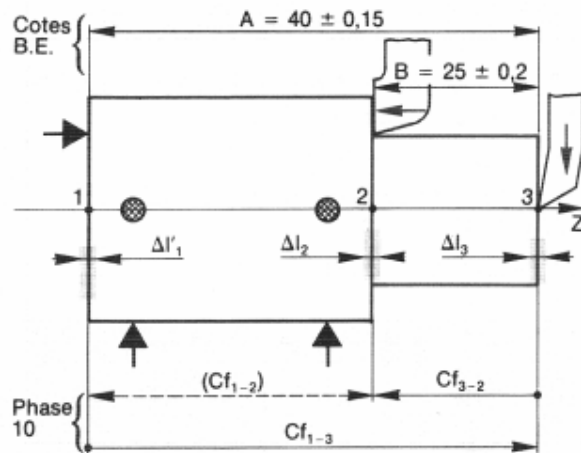
$$\Delta C_{f_{1,2}} = \Delta I'_1 + \Delta I_2$$

L'écart $\Delta C_{f_{1,2}}$ sur la cote fabriquée $C_{f_{1,2}}$ est égal à la somme de la dispersion globale liée au référentiel $\Delta I'_1$ et de la dispersion globale liée à la surface usinée ΔI_2 .

ÉCART SUR LA COTE FABRIQUÉE ΔCf



CALCUL DES DISPERSIONS GLOBALES



Calcul des dispersions globales ΔI' et ΔI

Soit les cotes fabriquées $C_{f_{1,3}}$ et $C_{f_{3,2}}$ obtenues dans une seule phase et en deux opérations distinctes. Le calcul des dispersions globales $\Delta I'_1$, ΔI_2 et ΔI_3 nécessite trois équations, ce qui implique de prendre en compte la cote fabriquée $C_{f_{1,2}}$ (résultante) non incluse dans l'avant-projet d'étude de fabrication.

Soit $\Delta C_{f_{1,2}}$, $\Delta C_{f_{3,2}}$ et $\Delta C_{f_{1,3}}$ les écarts des cotes fabriquées, mesurés après usinage d'une série de pièces :

$$\Delta C_{f_{1,2}} = \Delta I'_1 + \Delta I_2$$

$$\Delta C_{f_{3,2}} = \Delta I_3 + \Delta I_2$$

$$\Delta C_{f_{1,3}} = \Delta I'_1 + \Delta I_3$$

La résolution du système d'équations donne :

$$\Delta I'_1 = \frac{1}{2} (\Delta C_{f_{1,2}} - \Delta C_{f_{3,2}} + \Delta C_{f_{1,3}})$$

$$\Delta I_2 = \frac{1}{2} (\Delta C_{f_{1,2}} + \Delta C_{f_{3,2}} - \Delta C_{f_{1,3}})$$

$$\Delta I_3 = \frac{1}{2} (-\Delta C_{f_{1,2}} + \Delta C_{f_{3,2}} + \Delta C_{f_{1,3}})$$

APPLICATION NUMÉRIQUE

$$\Delta C_{f_{1,2}} = 0,12$$

$$\Delta C_{f_{3,2}} = 0,13$$

$$\Delta C_{f_{1,3}} = 0,09$$

Écarts relevés entre la première et la dernière pièce d'une série réalisée avec une machine donnée, un outillage spécifique et pour un réglage d'outil.

$$\Delta I'_1 = \frac{1}{2} (0,12 - 0,13 + 0,09) = 0,04$$

$$\Delta I_2 = \frac{1}{2} (0,12 + 0,13 - 0,09) = 0,08$$

$$\Delta I_3 = \frac{1}{2} (-0,12 + 0,13 + 0,09) = 0,05$$

Processus d'usinage et tolérance de la cote B. E.

Le respect de la tolérance de la cote bureau d'études (IT cote B.E.) dépend du processus d'usinage.

La tolérance de la cote B.E. doit être supérieure ou égale à la somme des dispersions Δ_i intervenant lors du processus d'usinage.

$$IT \text{ cote B.E.} \geq \sum \Delta_i$$

■ EXEMPLE 1 :

La cote **B** issue de la cote fabriquée Cf_{2-3} est obtenue en deux opérations distinctes au cours d'une même phase.

$$IT B \geq \Delta_{l_2} + \Delta_{l_3} \text{ soit } 0,3 \geq \Delta_{l_2} + \Delta_{l_3}. \quad (1)$$

À la suite d'essais et mesures, on obtient :

$$\Delta_{l_2} = 0,08 \text{ et } \Delta_{l_3} = 0,05.$$

La relation (1) est vérifiée : $0,3 \geq 0,13$.

■ EXEMPLE 2 :

La cote **B** issue des cotes fabriquées Cf_{1-2} et Cf_{1-3} est obtenue en deux opérations distinctes au cours de deux phases différentes 10 et 20.

$$IT B \geq \underbrace{\Delta'_{l_1} + \Delta_{l_2}}_{\text{Phase 10}} + \underbrace{\Delta''_{l_1} + \Delta_{l_3}}_{\text{Phase 20}}. \quad (2)$$

À la suite d'essais et mesures, on obtient :

$$\Delta'_{l_1} = 0,04; \Delta_{l_2} = 0,08; \Delta''_{l_1} = 0,04; \Delta_{l_3} = 0,05.$$

La relation (2) est vérifiée : $0,3 \geq 0,21$.

■ EXEMPLE 3 :

La cote **B** issue de la cote fabriquée Cf_{2-3} est obtenue en une seule opération au cours d'une même phase.

$$IT B \geq \Delta_{l_{2-3}}^* \quad (3)$$

À la suite d'essais et mesures, on obtient $\Delta_{l_{2-3}} = 0,04$.

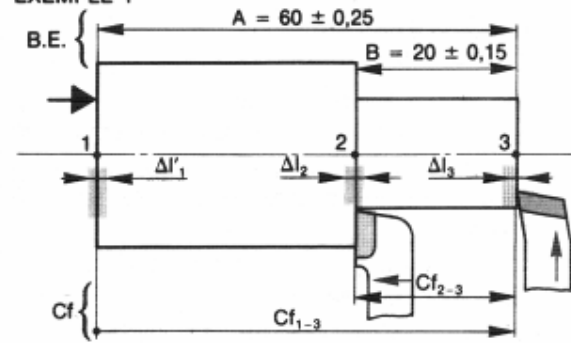
La relation (3) est vérifiée : $0,3 \geq 0,04$.

REMARQUE :

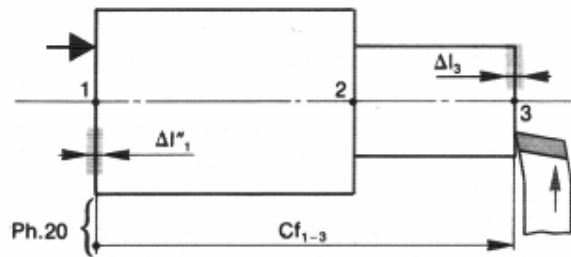
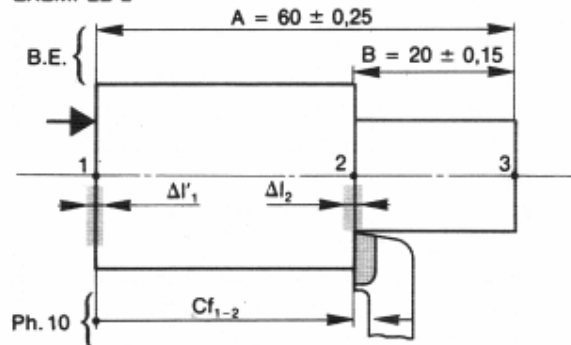
Pour les exemples ci-dessus, on a supposé une usure des outils négligeables ($\Delta_s = 0$).

* La dispersion $\Delta_{l_{2-3}}$ est égale à l'erreur de position relative des outils 2 et 3. La dispersion de position de l'outil 2 par rapport au référentiel n'intervient pas.

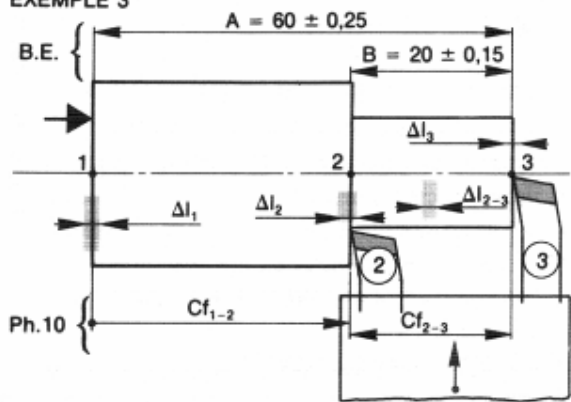
EXEMPLE 1



EXEMPLE 2



EXEMPLE 3



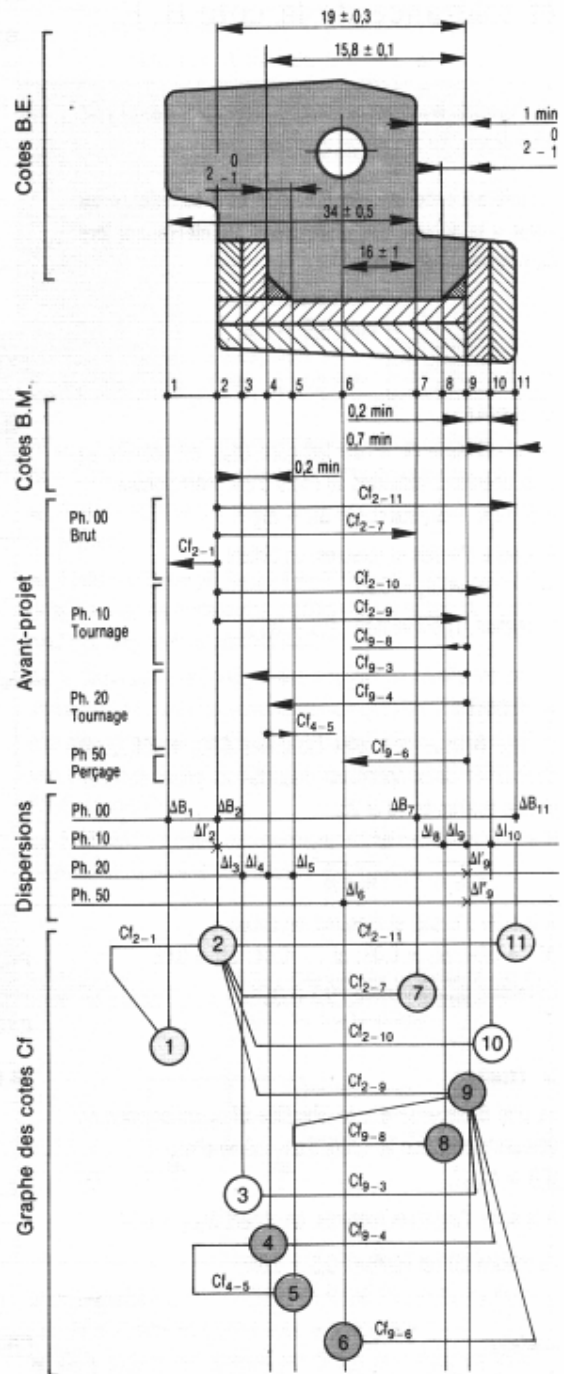
Méthodologie

Vérification d'un avant-projet

- 1° Tracer le croquis de la pièce en coupe.
- 2° Placer les cotes données par le bureau d'études (cotes B.E.).
- 3° Dessiner les surépaisseurs d'usinage en commençant par la dernière phase.
- 4° Placer les conditions du bureau des méthodes (conditions B.M., par exemple copeau minimum).
- 5° Placer les cotes de fabrication (avant-projet d'étude de fabrication). Le point indique le référentiel, la flèche indique la surface usinée*.
- 6° Repérer chaque surface à l'aide de chiffres (1, 2, 3...).
- 7° Tracer le graphe de localisation des dispersions. Ce graphe donne l'ensemble des Δ_i propre à chaque Cf. Tracer une ligne par phase. Vérifier que chaque ligne verticale comporte au moins un Δ_i .
- 8° Rechercher les valeurs des dispersions globalisées.
 $\Delta_i' = \Delta R_{p/m} + \Delta f$; $\Delta_i = \Delta P_{o/m} + \Delta f + \Delta s$
 dans les dossiers machines et les dossiers de fabrications contenant des opérations similaires effectuées sur les mêmes machines
 Les dispersions concernant le référentiel sont repérées par une croix.
 Les dispersions des surfaces brutes sont repérées ΔB_n , n étant le numéro de la ligne verticale.
- 9° Tracer le graphe des cotes Cf
- 10° Rechercher l'ensemble de Δ_i propre à chaque cote B.E. (Δ cote B.E. résultante $\geq \sum \Delta_i$ des Cf composantes) en utilisant le graphe des cotes Cf.
- 11° Remplir le tableau de répartition des dispersions et vérifier la faisabilité de l'avant-projet d'étude de fabrication ($IT_{B.E.} \geq \sum \Delta_i$).

Calcul des cotes Cf

- 1° Optimiser les dispersions Δ_i du tableau de répartition qui deviennent les Δ_i optimisées.
- 2° Tracer le graphe des cotes B.E.
- 3° Calculer les copeaux moyens.
- 4° Calculer les cotes B.E. moyennes.
- 5° Calculer les cotes Cf moyennes en utilisant le graphe des cotes B.E.
- 6° Calculer les tolérances des cotes Cf.



Vérification d'un avant-projet de fabrication

L'exemple traité concerne la fourchette d'embrayage dont le dessin de définition et la gamme sont donnés pages 41 et 56. La vérification est effectuée suivant l'axe Z (voir fig. page précédente) et suit la méthode donnée au § 60.71.

Valeurs des Δl_i

Ces valeurs sont prises dans les dossiers-machines ou les dossiers de fabrications contenant les relevés faits lors d'opérations similaires sur les mêmes machines*.

$$\Delta B_2 = \Delta B_1 = \Delta B_7 = \Delta B_{11} = 0,5 \text{ (IT/2 cote de brut).}$$

$$\Delta l'_2 = 0,5 \text{ (reprise sur surface brute de fonderie).}$$

$$\Delta l_{10} = 0,2 \text{ (usinage ébauche d'une surface plane).}$$

$$\Delta l_9 = 0,05 \text{ (usinage finition d'une surface plane).}$$

$$\Delta l_8 = 0,1 \text{ (usinage finition d'un chanfrein).}$$

$$\Delta l'_9 = 0,03 \text{ (reprise sur surface usinée).}$$

$$\Delta l_3 = 0,2 \text{ (usinage ébauche d'une surface plane).}$$

$$\Delta l_4 = 0,05 \text{ (usinage finition d'une surface plane).}$$

$$\Delta l_5 = 0,1 \text{ (usinage finition d'un chanfrein).}$$

$$\Delta l'_9 = 0,03 \text{ (reprise sur surface usinée).}$$

$$\Delta l_6 = 0,07 \text{ (usinage en montage de perçage).}$$

Faisabilité de l'avant-projet de fabrication

L'avant-projet de fabrication sera vérifié si : IT cote B.E. $\geq \Sigma \Delta l_i$ des Cf composantes.

■ Cote 19 $\pm 0,3$ comprise entre les lignes 2 et 9

$$0,6 \geq \underbrace{(\Delta l'_2 + \Delta l_9)}_{\text{Phase 10}} \text{ Directe avec } Cf_{2-9}.$$

$$0,6 \geq 0,5 + 0,05 = 0,55.$$

■ Cote 15,8 $\pm 0,1$ comprise entre les lignes 4 et 9

$$0,2 \geq \underbrace{(\Delta l'_9 + \Delta l_4)}_{\text{Phase 20}} \text{ Directe avec } Cf_{4-9}.$$

$$0,2 \geq 0,03 + 0,05 = 0,08.$$

■ Cote 2 $\pm 0,1$ comprise entre les lignes 8 et 9

$$1 \geq \underbrace{(\Delta l_9 + \Delta l_8)}_{\text{Phase 10}} \text{ Directe avec } Cf_{9-8}.$$

$$1 \geq 0,05 + 0,1 = 0,15.$$

* À défaut, voir tableau § 13.5.

■ Cote 2 $\pm 0,1$ comprise entre les lignes 4 et 5

$$1 \geq \underbrace{(\Delta l_4 + \Delta l_5)}_{\text{Phase 20}} \text{ Directe avec } Cf_{4-5}.$$

$$1 \geq 0,05 + 0,1 = 0,15.$$

■ Cote 1 min comprise entre les lignes 7 et 9

$$Cf_{2-7} + Cf_{2-9}.$$

$$IT \geq \underbrace{(\Delta B_2 + \Delta B_7)}_{\text{Phase 00}} + \underbrace{(\Delta l'_2 + \Delta l_9)}_{\text{Phase 10}}.$$

$$IT \geq 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,05 = 1,55.$$

■ Cote 34 $\pm 0,5$ comprise entre les lignes 1 et 7

$$Cf_{2-1} + Cf_{2-7}.$$

$$1 \geq \underbrace{(\Delta B_1 + \Delta B_7)}_{\text{Phase 00}}.$$

$$1 \geq 0,5 + 0,5 = 1.$$

■ Cote 16 ± 1 comprise entre les lignes 6 et 7

$$Cf_{2-7} + Cf_{2-9} + Cf_{9-6}.$$

$$2 \geq \underbrace{(\Delta B_2 + \Delta B_7)}_{\text{Phase 00}} + \underbrace{(\Delta l'_2 + \Delta l_9)}_{\text{Phase 10}} + \underbrace{(\Delta l'_9 + \Delta l_6)}_{\text{Phase 50}}.$$

$$2 \geq 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,05 + 0,03 + 0,07 = 1,65.$$

■ Copeau 0,2 min compris entre les lignes 9 et 10

$$Cf_{2-9} + Cf_{2-10}.$$

$$IT \text{ copeau} \geq (\Delta l_{10} + \Delta l_9).$$

$$IT \text{ copeau} \geq 0,2 + 0,05 = 0,25.$$

■ Copeau 0,7 min compris entre les lignes 10 et 11

$$Cf_{2-11} + Cf_{2-10}.$$

$$IT \text{ copeau} \geq \underbrace{(\Delta B_2 + \Delta B_{11})}_{\text{Phase 00}} + \underbrace{(\Delta l'_2 + \Delta l_{10})}_{\text{Phase 10}}.$$

$$IT \text{ copeau} \geq 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,2 = 1,7.$$

■ Copeau 0,2 min compris entre les lignes 3 et 4

$$Cf_{9-3} + Cf_{9-4}.$$

$$IT \text{ copeau} \geq \underbrace{(\Delta l_3 + \Delta l_4)}_{\text{Phase 20}}.$$

$$IT \text{ copeau} \geq 0,2 + 0,05 = 0,25.$$

■ Toutes les inéquations sont vérifiées, l'avant-projet est faisable.

Calcul des cotes Cf

L'avant-projet ayant été vérifié et retenu, il devient projet et il est nécessaire de calculer les cotes Cf pour les installer sur les contrats de phase. On utilise la méthode donnée au § 60.72.

Optimisation des dispersions

La condition de faisabilité de la gamme est :
 $IT \text{ cote B.E.} \geq \Sigma \Delta_i$

Si $IT \text{ cote B.E.} > \Sigma \Delta_i$, il est possible par une méthode d'approches successives d'optimiser les valeurs Δ_i , afin de distribuer au mieux, du point de vue économique, les tolérances des cotes fabriquées entre les différents Δ_i tout en respectant $IT \text{ cote B.E.} \geq \Sigma \Delta_i$.

EXEMPLE :

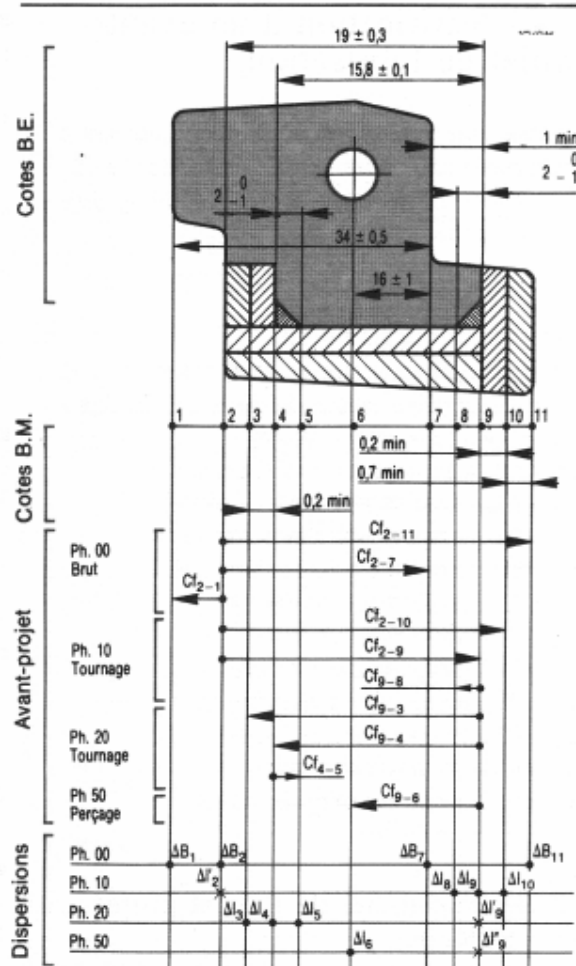
La cote B.E. $19 \pm 0,3$ comprise entre les lignes 2 et 9 a un IT de 0,6.

$\Sigma \Delta_i = 0,55$ (voir § 59.82).

Reliquat : $IT \text{ cote B.E.} - \Sigma \Delta_i = 0,05$.

Δ_i optimisé = $\Delta_i + \text{reliquat}$
 = $0,05 + 0,05 = 0,1$.

L'utilisation de ce reliquat est intéressante car elle permet, en particulier, d'augmenter la tolérance sur la cote de réglage.



Cotes B.E. et B.M.		Δ _i														ΣΔ _i	Reliquat IT B.E. - ΣΔ _i	Faisabilité	
Cotes	Lignes	IT	ΔB ₁	ΔB ₂	ΔB ₇	ΔB ₁₁	Δ ₂ '	Δ ₁₀	Δ ₉	Δ ₈	Δ ₆ '	Δ ₃	Δ ₄	Δ ₅	Δ ₉ '				Δ ₆
19 ± 0,3	2-9	0,6					0,5		0,05								0,55	0,05	oui
15,8 ± 0,1	4-9	0,2									0,03		0,05				0,08	0,12	oui
2 ₋₁ ⁰	8-9	1							0,05								0,15	0,85	oui
2 ₋₁ ⁰	4-5	1											0,05	0,1			0,15	0,85	oui
1 min	7-9	—		0,5	0,5		0,5		0,05								1,55	—	—
34 ± 0,5	1-7	1	0,5		0,5												1	0	oui
16 ± 1	6-7	2		0,5	0,5		0,5		0,05						0,03	0,07	1,65	0,35	oui
0,2 min	9-10	—						0,2	0,05								0,25	—	—
0,7 min	10-11	—		0,5		0,5	0,5	0,2									1,7	—	—
0,2 min	3-4	—									0,2	0,05					0,25	—	—
Δ _i + reliquat								0,2	0,05	0,1		0,2	0,05	0,1		0,07			
Δ _i optimisés			0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,1	0,7	0,03	0,3	0,15	0,7	0,03	0,37			

Calcul des copeaux moyens

Copeau moy = 1/2 (copeau min + copeau max)

Copeau max = copeau min + $\Sigma \Delta l_i$ opt.

Copeau moy (9-10) = 1/2 [0,2 + (0,2 + 0,4)] = 0,4.

Copeau moy (10-11) = 1/2 [0,7 + (0,7 + 1,8)] = 1,6.

Copeau moy (3-4) = 1/2 [0,2 + (0,2 + 0,45)] = 0,425.

Calcul des cotes moyennes

bureau d'études

■ **Cotes B.E. moyennes issues de cotes unilimites**

Cote B.E. moy (7-9) = 1/2 [cote min + (cote min + $\Sigma \Delta l_i$ opt)]
 = 1/2 [1 + (1 + 1,6)] = 1,8.

■ **Cotes B.E. moyennes issues de cotes bilimites**

Cote B.E. moy = 1/2 (cote min + cote max).

Cote B.E. moy (2-9) = 19; cote B.E. moy (4-9) = 15,8.

Cote B.E. moy (8-9) = 1,5; cote B.E. moy (4-5) = 1,5.

Cote B.E. moy (1-7) = 34; cote B.E. moy (6-7) = 16.

Calcul des cotes Cf moyennes

La valeur moyenne d'une cote fabriquée Cf située entre deux lignes données est égale à la somme des cotes moyennes B.E. et des conditions des méthodes situées entre ces deux lignes.

$\underbrace{Cf \text{ moy}}_{\text{Résultante}} = \underbrace{\Sigma \text{ cotes moy B.E.} + \text{conditions moy B.M.}}_{\text{Composantes}}$
--

La cote Cf₂₋₁₁ est comprise entre les lignes 2 et 11, le graphe des cotes B.E. et B.M. indique :

Cf₂₋₁₁ moy = C B.E.₂₋₉ moy + C B.E.₉₋₁₀ moy + C B.E.₁₀₋₁₁ moy
 = 19 + 0,4 + 1,6 = 21.

Cf₂₋₇ moy = C B.E.₂₋₉ moy - C B.E.₉₋₇ moy
 = 19 - 1,8 = 17,2.

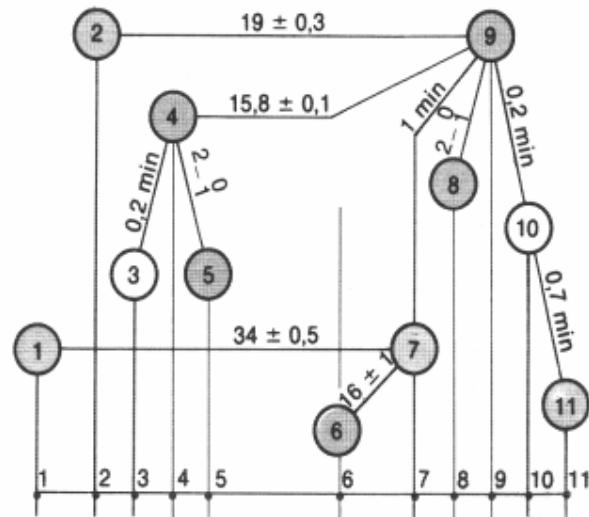
Cf₂₋₁ moy = C B.E.₁₋₇ moy + C B.E.₇₋₉ moy - C B.E.₉₋₂ moy
 = 34 + 1,8 - 19 = 16,8.

Cf₂₋₁₀ moy = C B.E.₂₋₉ moy + C B.E.₉₋₁₀ moy
 = 19 + 0,4 = 19,4.

Cf₂₋₉ moy = C B.E.₂₋₉ moy = 19.

Cf₉₋₈ moy = C B.E.₉₋₈ moy = 1,5.

GRAPHE DES COTES B.E.



Cf₉₋₃ moy = C B.E.₉₋₄ moy + C B.E.₄₋₃ moy
 = 15,8 + 0,425 = 16,225.

Cf₉₋₄ moy = C B.E.₉₋₄ moy = 15,8.

Cf₄₋₅ moy = C B.E.₄₋₅ moy = 1,5.

Cf₉₋₆ moy = C B.E.₉₋₇ moy + C B.E.₇₋₆ moy
 = 1,8 + 16 = 17,8.

13-95 Calcul des tolérances des Cf

IT Cf = $\Delta l'_i$ opt + Δl_i opt.

IT Cf₂₋₁₁ = ΔB_2 opt + ΔB_{11} opt = 0,5 + 0,5 = ± 0,5.

IT Cf₂₋₇ = ΔB_2 opt + ΔB_7 opt = 0,5 + 0,5 = ± 0,5.

IT Cf₂₋₁ = ΔB_2 opt + ΔB_1 opt = 0,5 + 0,5 = ± 0,5.

IT Cf₂₋₁₀ = $\Delta l'_2$ opt + Δl_{10} opt = 0,5 + 0,3 = ± 0,4.

IT Cf₂₋₉ = $\Delta l'_2$ opt + Δl_9 opt = 0,5 + 0,1 = ± 0,3.

IT Cf₉₋₈ = Δl_9 opt + Δl_8 opt = 0,1 + 0,7 = ± 0,4.

IT Cf₉₋₃ = $\Delta l'_9$ opt + Δl_3 opt = 0,03 + 0,3 = ± 0,165.

IT Cf₉₋₄ = $\Delta l'_9$ opt + Δl_4 opt = 0,03 + 0,15 = ± 0,09.

IT Cf₄₋₅ = Δl_4 opt + Δl_5 opt = 0,15 + 0,7 = ± 0,425.

IT Cf₉₋₆ = $\Delta l'_9$ opt + Δl_6 opt = 0,03 + 0,37 = ± 0,2.

13-96 Valeurs des cotes Cf

Cf₂₋₁₁ = 21 ± 0,5; Cf₉₋₈ = 1,5 ± 0,4;

Cf₂₋₇ = 17,2 ± 0,5; Cf₉₋₃ = 16,225 ± 0,165;

Cf₂₋₁ = 16,8 ± 0,5; Cf₉₋₄ = 15,8 ± 0,09;

Cf₂₋₁₀ = 19,4 ± 0,4; Cf₄₋₅ = 1,5 ± 0,425;

Cf₂₋₉ = 19 ± 0,3; Cf₉₋₆ = 17,8 ± 0,2.

CHAPITRE 6 : DETERMINATION DES COTES DE FABRICATION

Exemple 1

Fraisage des faces F1 et F2, sur fraiseuse verticale de production. Les cotes de fabrication à déterminer sont U1 et U2.

$$IT/U1=0,3-0,2=0,1$$

IT acceptable pour le moyen d'usinage choisi.

Le transfert est possible. $U1=60_{+0,1}^{+0,2}$

$$IT/U2=0,1-0,4=-0,3$$

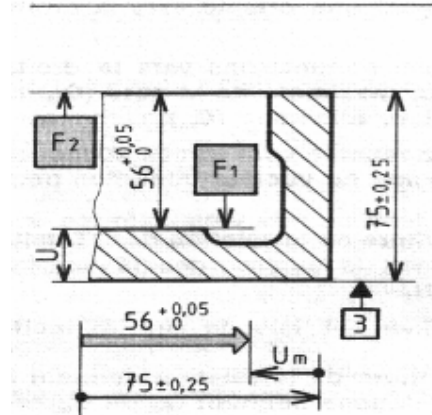
Le transfert est impossible. Il peut être rendu possible en réalisant la cote de 60 avec un $IT < 0,1$.

Décision méthode : réaliser la cote de 60 avec un $IT = 0,05$ d'où la cote méthode : $60_0^{+0,05}$

$$U_{2m}=60,05-20,1=39,95$$

et $IT/U2=0,1-0,05=0,05$

d'où $U2=40_{-0,05}^0$



Exemple 2

Fraisage de la face F1, sur fraiseuse verticale

La cote de fabrication à déterminer est U.

$$IT/U=0,05-0,5=-0,45$$

Le transfert est impossible. Il peut être rendu possible en réalisant la cote de 75 avec un $IT < 0,1$.

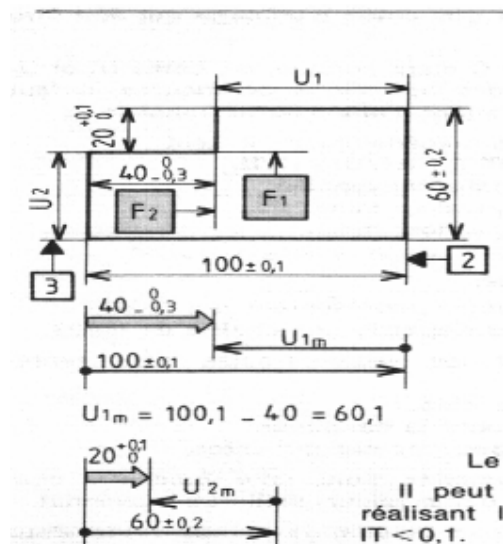
Décision méthode : réaliser la cote de 75 avec un $IT = 0,020$ d'où la cote méthode : $75_0^{+0,025}$

$$U_m=75,025-56,05=18,975$$

Et $IT/U=0,05-0,025=0,025$ d'où $19_{-0,025}^0$

Les surfaces F1 et F2 peuvent aussi être réalisées dans la même phase, avec une mise en position unique.

La cote $56_0^{+0,05}$ est alors réalisé **directement** par une **cote- outil** (deux fraises sur une même arbre) ou par **cote- appareillage** (avec butées réglées), la face F2 devenant référentiel auxiliaire de réglage)



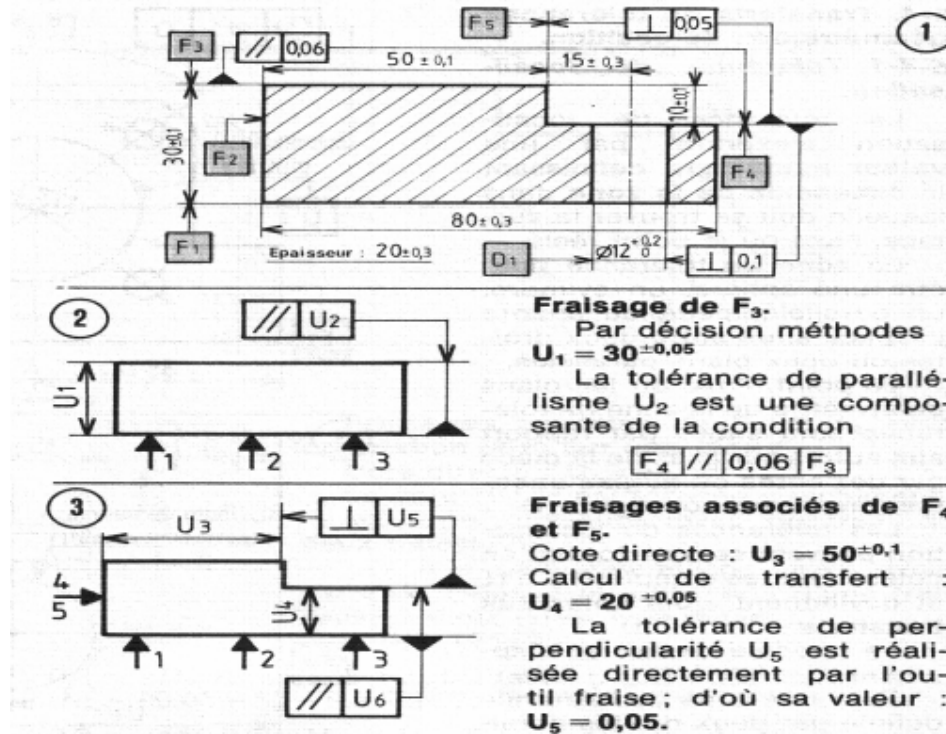
La cotation de fabrication (cas des tolérances géométriques)

Les tolérances d'orientation, de position et de battement interviennent toujours entre deux éléments géométriques et peuvent, comme les cotes, être obtenues directement ou par transfert.

Exemple 3

(Transfert des tolérances géométriques d'orientation)

La figure 3 montre la réalisation directe d'une tolérance de perpendicularité U_5 .



La tolérance de parallélisme U_6 est la seconde composante de la condition $F_4 // 0,06 F_3$. La relation en angles absolus s'écrit :

$$0^\circ (F_4 // F_3) = 0^\circ (F_3 // F_1) + 0^\circ (F_4 // F_1) \text{ (analogie avec la relation des cotes).}$$

La relation des tolérances (pour 100 mm) s'écrit :

$$C \text{ (pour 100 mm)} = U_2 \text{ (pour 100 mm)} + U_6 \text{ (pour 100 mm)}$$

(analogie avec la relation des IT).

En admettant U_2 (pour 100) = U_6 (pour 100) (difficultés de réalisations identiques) il vient :

$$U_2 \text{ (pour 100)} = U_6 \text{ (pour 100)} = \frac{1}{2} \times \frac{0,06}{30} \times 100 = 0,1$$

$$U_2 \text{ (pour 80)} = \frac{0,1 \times 80}{100} = 0,08 \text{ et } U_6 \text{ (pour 30)} = \frac{0,1 \times 30}{100} = 0,03$$

Exemple 4

Transferts des tolérances géométriques d'orientation.

Les tolérances de parallélismes perpendicularités et inclinaisons s'expriment par un angle absolu (encadré) complété d'une distance maximale entre deux plans (ou deux lignes) ou d'un diamètre de cylindre, délimitant les orientations extrêmes admissibles de la surface considérée.

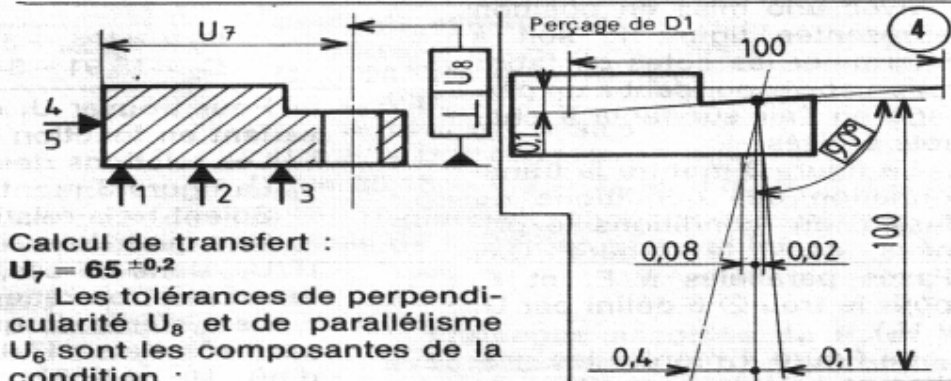
Une tolérance d'orientation entre deux éléments géométriques usinés est transférée lorsqu'elle est obtenue par la combinaison d'autres tolérances d'orientation rattachées à un ou plusieurs éléments différents.

Comme pour les cotes, la tolérance géométrique du dessin constitue la **condition** et les autres tolérances les **composantes**. Les mêmes règles de calcul s'appliquent mais le modèle vectoriel ne convient plus.

Il est préférable d'effectuer **les calculs angulaires** avec les **angles absolus** et d'écrire la **relation des tolérances** (analogue à celle des IT) avec des **valeurs ramenées à une longueur de 100 mm**.

Le dessin de la pièce apparaît en figure 1. Les figures 2,3 et 4 montrent les usinages des surfaces F3, F4, F5 et D1 avec les mises en position et les cotes et tolérances géométriques de fabrication à déterminer.

L'obtention des cotes linéaires n'est pas détaillée et seuls les calculs de U2, U5, U6, et U8 sont développés.



Calcul de transfert :

$$U_7 = 65 \pm 0,2$$

Les tolérances de perpendicularité U_8 et de parallélisme U_6 sont les composantes de la condition :

$$D_1 \perp 0,1 F_4$$

d'où les relations :

$$\boxed{90^\circ} (D_1 \perp F_4) = \boxed{0^\circ} (F_4 \parallel F_1) + \boxed{90^\circ} (D_1 \perp F_1)$$

et C (pour 100) = U_8 (pour 100) + U_6 (pour 100) = $\frac{(0,1 \times 100)}{20}$

$$\text{d'où } U_8 \text{ (pour 100)} = 0,5 - 0,1 = 0,4$$

$$\text{et } U_8 \text{ (pour 20)} = 0,08$$

NB : La figure de droite montre le transfert avec des défauts angulaires volontairement exagérés.

Exemple 5
Tolérance de localisation

NF E 04-552

1 **2**

3

La condition initiale impose que l'axe du trou $\varnothing 6$ soit dans un cylindre de diamètre $\varnothing = 1$, d'axe défini par l'angle absolu de 45° et la cote absolue de 45. Elle est transformée en deux conditions C_1 et C_2 dans les directions de U_1 et U_2 .

Dans les cas les plus défavorables l'axe du trou $\varnothing 6$ doit se trouver sur le cylindre de tolérance, ce qui peut se traduire par : $(C_1)^2 + (C_2)^2 = (0,5)^2$.

Dans le repère Oxy (défini par F_1 et F_2) l'axe du cylindre est défini par les cotes absolues A_1 et A_2 (par rapport à l'axe de D).

Leur calcul est simple :

$$A_1 = A_2 = \frac{45}{2} \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 15,91$$

4

Pour trouver U_1 et U_2 , il faut connaître les valeurs des conditions C_1 et C_2 qui varient en fonction de la position de l'axe du trou $\varnothing 6$ sur le cylindre $\varnothing 1$.

Les relations des IT donnent : $2C_2 = IT/U_2 + 0,4 + 0$ et $2C_1 = IT/U_1 + 0,1 + 0$.

La figure 3 montre que : $(C_1)^2 + (C_2)^2 = (0,5)^2$.

Soient trois relations et quatre inconnues : C_1 , C_2 , IT/U_1 et IT/U_2 .

Une quatrième relation peut être établie en imposant une liaison entre IT/U_1 et IT/U_2 . Dans ce cas, les difficultés de réalisation de U_1 et U_2 étant sensiblement identiques, on retient $IT/U_1 = IT/U_2$.

Le système de quatre équations à quatre inconnues se résoud facilement et a pour résultats : $IT/U_1 = IT/U_2 = 0,44$ $C_1 = 0,27$ $C_2 = 0,42$

d'où $U_{2m} = 18,87$ soit $U_2 = 19^{+0,3}_{-0,1}$ $U_{1m} = 10,87$
 $U_{2M} = 19,31$ $U_{1M} = 11,31$ soit $U_1 = 11^{+0,3}_{-0,1}$

Cette méthode de détermination des conditions C_1 et C_2 permet de choisir les IT sur les cotes U_1 et U_2 en fonction des difficultés de réalisation et indépendamment des IT sur les cotes intervenant dans les différentes chaînes.

Nota : Une autre technique couramment utilisée consiste à choisir C_1 et C_2 comme étant les demi-côtés du carré inscrit dans le cercle de tolérance. Les IT trouvés sur les cotes U_1 et U_2 peuvent être nettement différents et poser des problèmes de réalisation. Dans cet exemple on aurait : $C_1 = C_2 = 0,5 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 0,35$ d'où $IT/U_1 = 0,6$ et $IT/U_2 = 0,3$.

Exemple 6

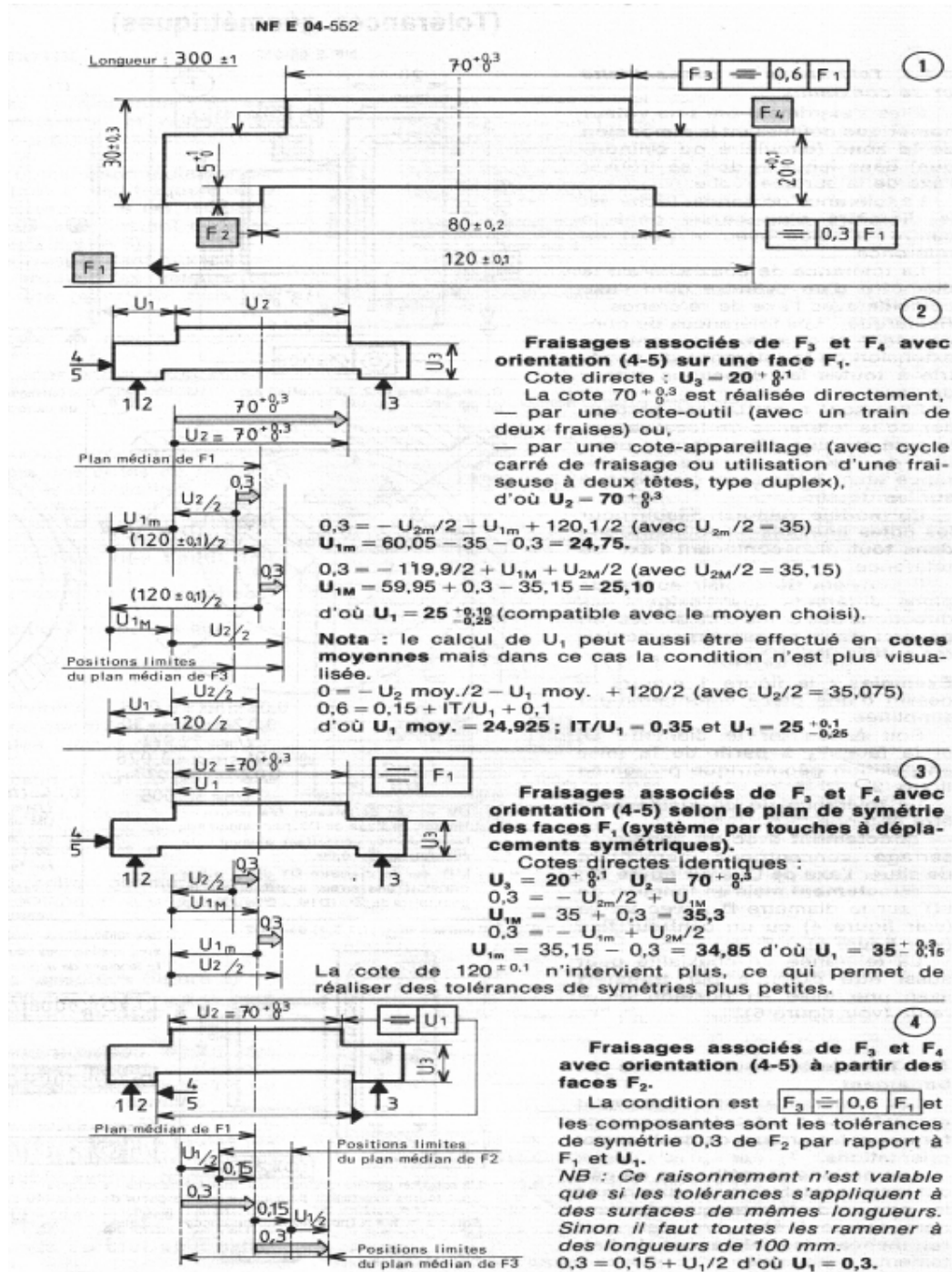
Tolérance de symétrie

Figure 1. Soit à réaliser les surfaces F3 et F4 (associées par fraisage) en respectant les cotes et tolérances géométriques du dessin.

Figure 2. montre la chaîne de cotes correspondant à une orientation (4-5) sur une des faces F1.

Figure 3. montre la chaîne de cotes correspondant à une orientation (4-5) selon le plan de symétrie une de F1 .

Figure 4. montre un transfert faisant intervenir deux autres tolérances de symétrie .

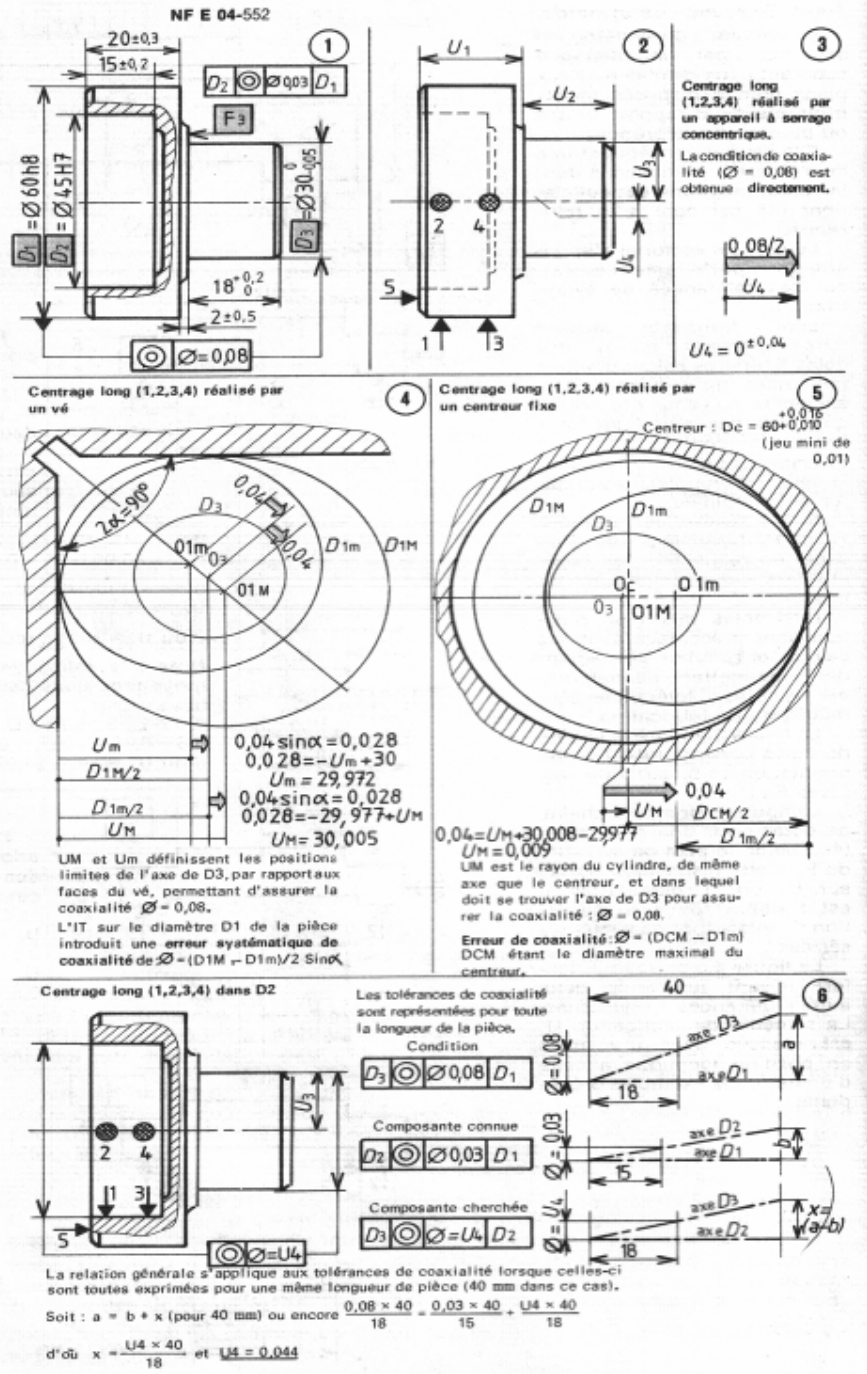


Exemple 7

Tolérance de concentricité et coaxialité.

Soit à réaliser le diamètre D3 et la face F3 de la pièce Fig.1 à partir de la mise en position géométrique présentée figure 2.

- la tolérance de coaxialité peut être obtenue -directement avec un appareil à serrage concentrique permettant de situer l'axe D1 (voir fig.3)
- directement mais au fonction de l'IT sur le diamètre D1, avec un vé (voir fig.4) ou un centreur fixe (voir fig.5).
- la tolérance de coaxialité peut être obtenue par transfert avec une mise en position différente (voir fig.5).



DETERMINATION DES COTES DE FABRICATION

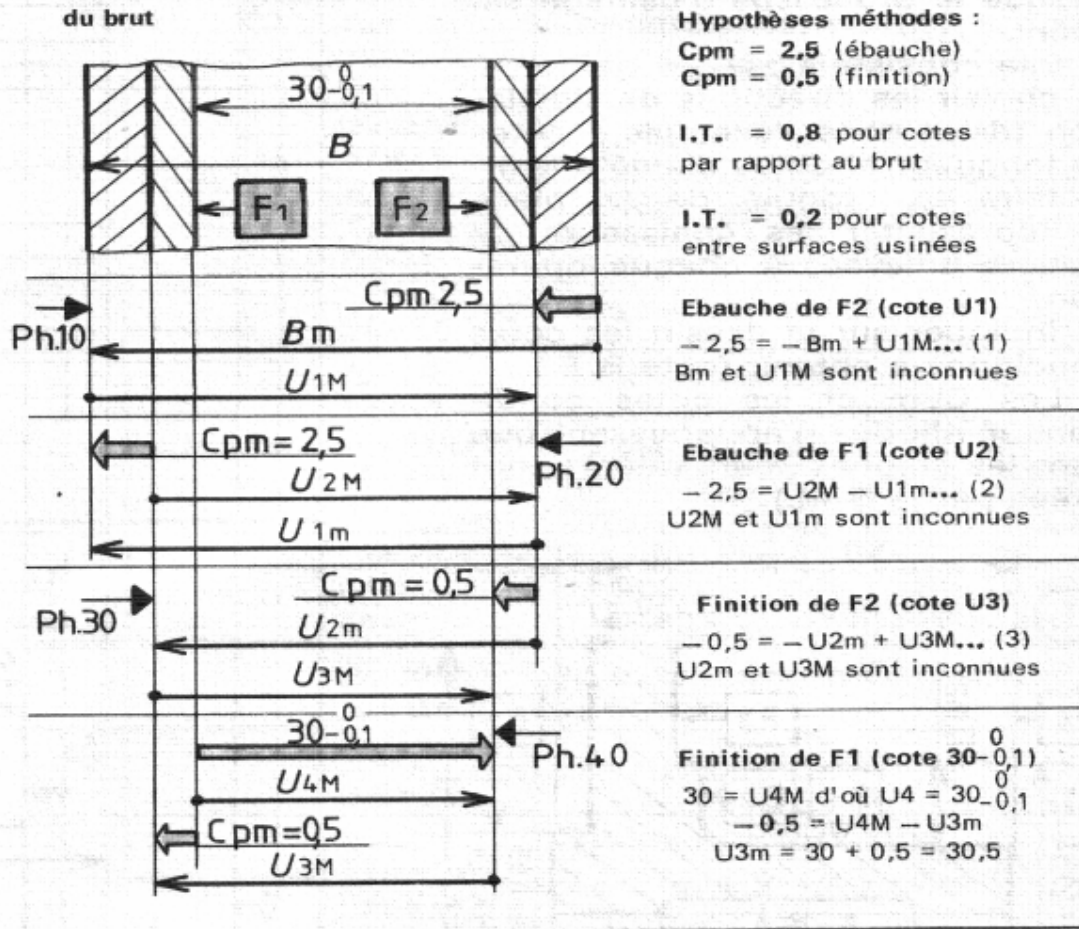
Le cumul des chaînes de cotes

Graphes cumulés

Le tracé d'une chaîne de cotes correspondant à une condition se traduit par deux relations (IT et valeur) qui permet 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 .

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

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

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

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

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

CHAPITRE 7 : 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 de surfaces de petites dimensions finies qui s'approchent du cas idéal des 6 points.

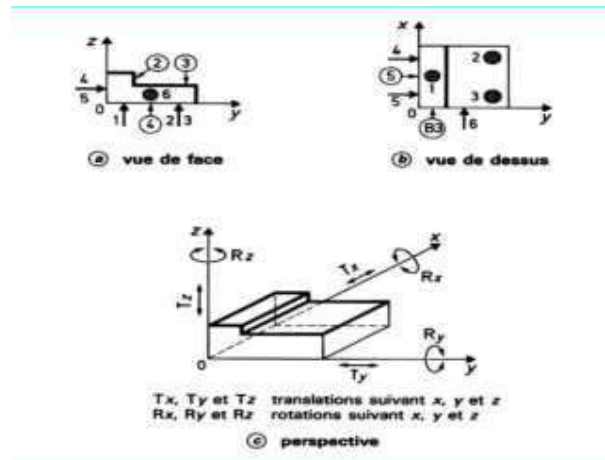


Figure 1 — Principe de la mise en position isostatique

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

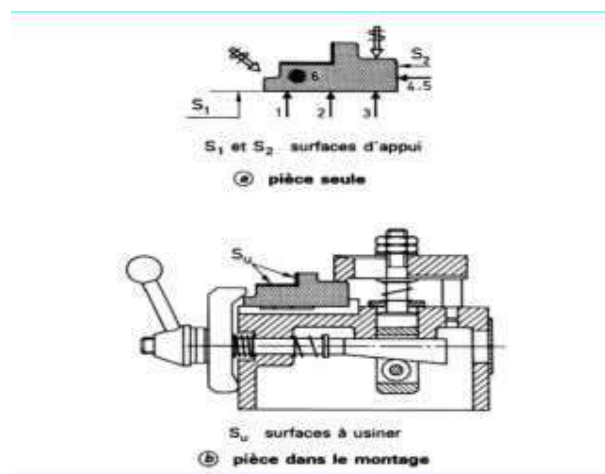


Figure 2 — Exemple de montage isostatique industriel

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

- les surfaces d'appui doivent être aussi étendues que possible et doivent être pleines, sans trous ni rainures;
 - les surfaces de référence pour des usinages précis doivent être les surfaces de départ de manière à ne pas cumuler les erreurs par transfert de cotes;
 - l'utilisation d'un alésage comme surface de référence est moins précise du fait de l'accumulation d'erreurs venant de la tolérance sur le diamètre de l'alésage, du jeu entre l'alésage et la butée de centrage et d'erreurs de position de la butée
 - la stabilité du montage sous l'effet des forces de coupe et d'inertie doit être vérifiée
 - une bonne accessibilité à la machine-outil pour positionner la pièce sur le montage est très importante
 - un dispositif de montage économique, si possible standard, est préférable à l'utilisation de montages particuliers.
- La représentation des **appuis et maintiens en position des pièces** a fait l'objet d'une normalisation (NE E 04-013) qui schématise la mise en position des pièces sur leurs montages et définit aussi les moyens courants de bridage.

CHAPITRE 7 EXEMPLE 1 Elaboration des modes opératoires pour des pièces de fonderie des grandes dimensions

La famille prismatique « corps »

- Réalisation d'un plan horizontal - PHASES 20 et 30.
- Réalisation d'un plan vertical - PHASE 40.
- Cylindre intérieur. Outil grain (plan, angle, réglage) - PHASE 50.
- Les plans parallèles (épaisseur du copeau, flexion) - PHASE 60.
- Calculs de temps et usinage - PHASE 70.
- Contrôle de parallélisme - PHASE 90.
- Les trous cylindriques - PHASES 100 et 101.

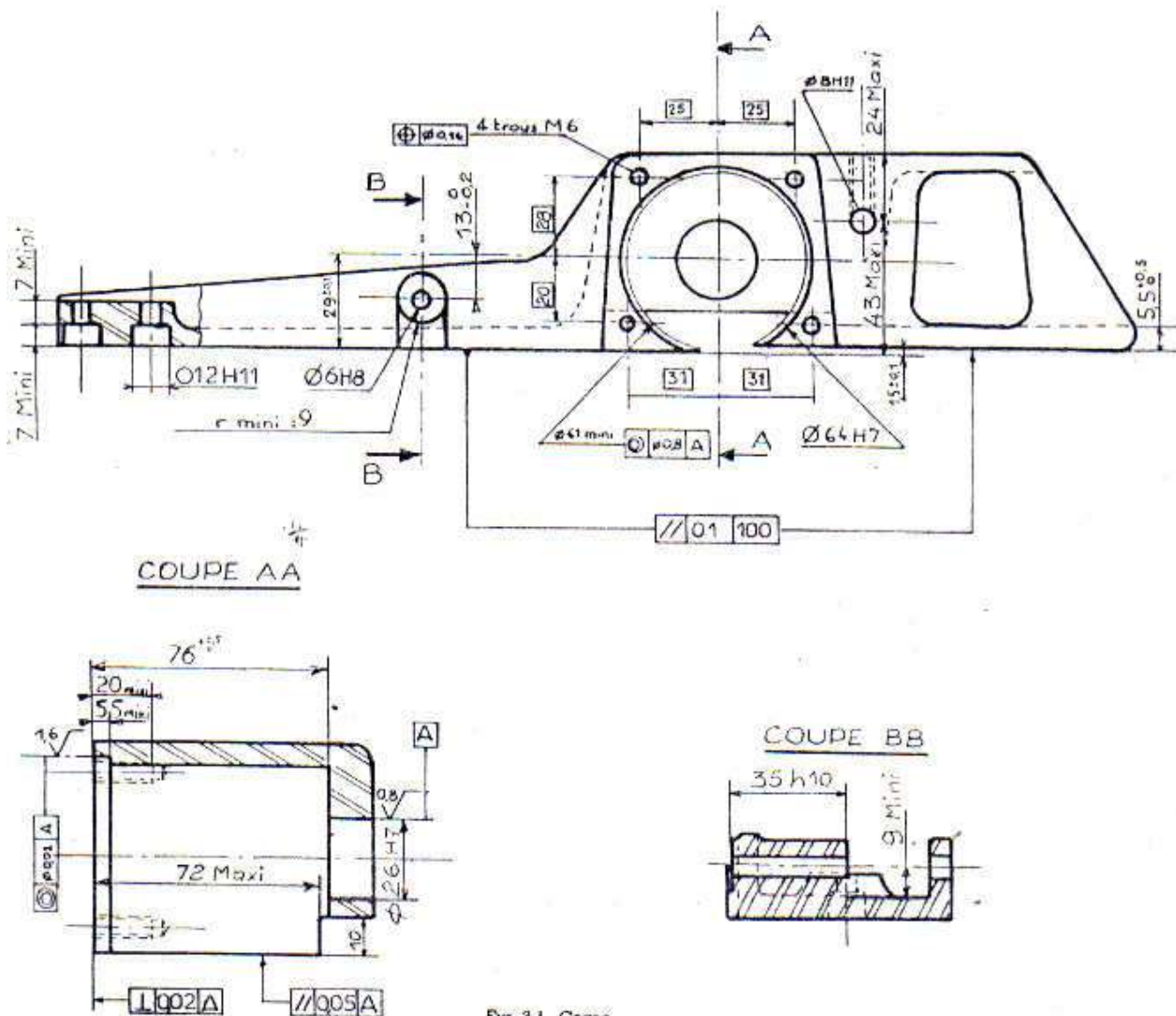

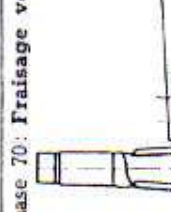






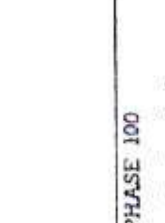


Fig. 3.1. Corps.

ANALYSE DE FABRICATION	Je technologique de cas	ANALYSE FABRICATION	Etude technologique
<p>Phase 20-30: Fraisage vertical</p>  <p>Fig 3.2</p>	<p>PHASE 20-30</p> <ul style="list-style-type: none"> — Etude de la cycloïde. — Inclinaison de la fraise. — Travail en opposition. — Contrôle du plan. <p>Fiche technique FRAISEUSE</p>	<p>Phase 70: Fraisage vertical</p>  <p>Fig 3.6</p>	<p>PHASE 70</p> <ul style="list-style-type: none"> — Calcul de temps.
<p>Phase 40: Fraisage horizontal</p>  <p>Fig 3.3</p>	<p>PHASE 40</p> <ul style="list-style-type: none"> — Contrôle de rugosité. 	<p>Phase 80: Fraisage horizontal</p>  <p>Fig 3.7</p>	<p>PHASE 80</p>
<p>Phase 50: Alésage</p>  <p>Fig 3.4</p>	<p>PHASE 50</p> <ul style="list-style-type: none"> — Position des grains. — Efforts de coupe. — Choix et réglages d'outils. — Tête à aléser. — Alésours. — Angles et plans des grains. <p>Fiche technique ALESEUSE</p>	<p>Phase 90: Fraisage</p>  <p>Fig 3.8</p>	<p>PHASE 90</p> <ul style="list-style-type: none"> — Contrôle du parallélisme.
<p>Phase 60: Fraisage horizontal (train de fraises)</p>  <p>Fig 3.5</p>	<p>PHASE 60</p> <ul style="list-style-type: none"> — Calculs d'épaisseur de copeau. — Flexion, calcul de dispersion. — Calcul de temps d'usinage. — Programme de calcul sur calculatrice programmable. 	<p>Phase 100: Perçage - taraudage</p>  <p>Fig 3.9</p>	<p>PHASE 100</p> <ul style="list-style-type: none"> — Etude du foret. — Arrondissement de l'âme. — Angles et plans de l'outil foret.
<p>Phase 110: Perçage - taraudage</p>  <p>Fig 3.10</p>	<p>PHASE 110</p> <ul style="list-style-type: none"> — Perceuse. — Mode d'action du foret. 		

FICHE TECHNIQUE

FRAISEUSE

Caractéristiques :

- Surface utile de la table 1 100 × 250
- Course de la table 680
- Course du chariot 235
- Course de la console 400
- Nombre de rainures de la table 3
- Largeur des rainures 16
- Ecartement entre les rainures 63

BROCHES — 18 vitesses

- 32 — 42 — 52 — 66 — 84 — 105 — 130 — 160 — 200
- 250 — 315 — 390 — 490 — 620 — 775 — 970 — 1 200
- 1 500 v/min.

AVANCES — 18 avances

- 9 — 11 — 14 — 18 — 23 — 29 — 36 — 45 — 58 — 69
- 86 — 110 — 137 — 173 — 220 — 275 — 346 — 440 mm/min.

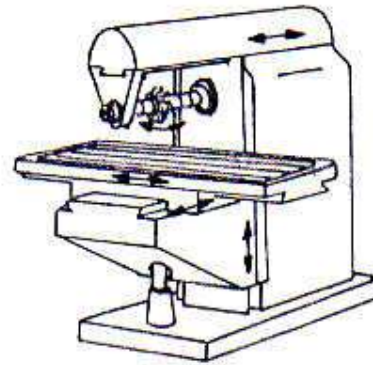


Fig. 3.11

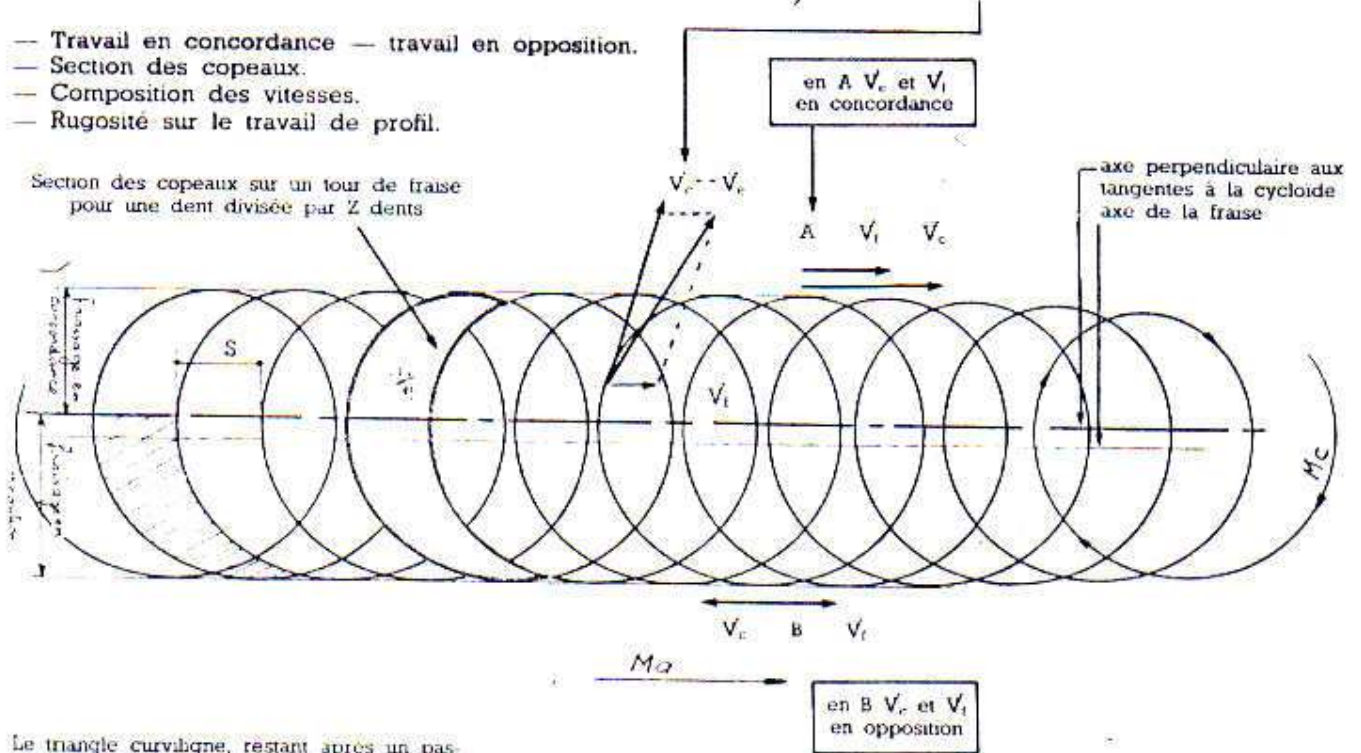
PHASE 20-30 ÉTUDE DE LA CYCLOÏDE

Vecteur Vitesse \vec{V}_c , tangent à la trajectoire en tout point
 Vecteur Avance \vec{V}_t , de direction connue (celle de la table)

La composition vectorielle donne la vitesse effective \vec{V}_e .

- Travail en concordance — travail en opposition.
- Section des copeaux.
- Composition des vitesses.
- Rugosité sur le travail de profil.

Section des copeaux sur un tour de fraise pour une dent divisée par Z dents



Le triangle curviligne, restant après un passage de fraise est plus petit dans la zone de travail en opposition. La rugosité Ra est meilleure en travail de profil.

Fraisage en opposition

Dans la matière le mouvement de rotation de la fraise (V_c) est en opposition avec le mouvement d'avance (V_f).

A l'attaque de la matière l'épaisseur du copeau est nulle, la dent glisse, écroute la surface et ne coupe que lorsque cette épaisseur est égale au copeau taillé minimum. L'usure de la fraise est importante et le rendement peu élevé.

Les efforts de coupe tendent, à soulever la pièce. Par contre si la surface à usiner est brute les dents n'attaquent pas sur la croûte (voir F_1 sur la figure 3.15).

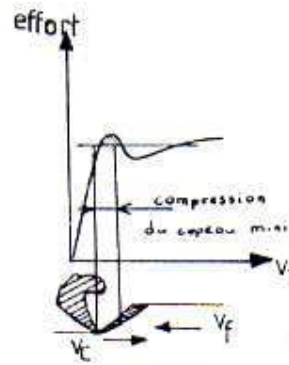


Fig. 3.13

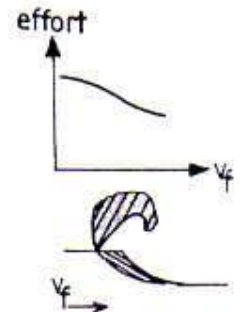


Fig. 3.14

Fraisage en avalant ou en concordance

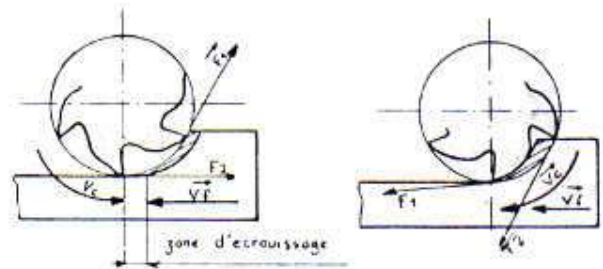
Dans la matière le mouvement de rotation de la fraise (V_c) est dans le même sens que le mouvement d'avance (V_f).

Chaque dent attaque la matière non écroutie par l'épaisseur maximale du copeau. Ce mode de travail a un très bon rendement et il est particulièrement recommandé pour l'usinage de certains aciers inoxydables très sensibles à l'écroutissage.

Les efforts de coupe tendent à appliquer la pièce sur les appuis (voir F_2 sur la figure 3.15).

Par contre le fraisage en avalant nécessite des machines disposant d'un système de commande du mouvement d'avance sans jeu:

- soit un système vis-écrou à rattrapage de jeu;
- soit une commande hydraulique ou roulement hélicoïdal.



FRAISAGE EN OPPOSITION

FRAISAGE EN CONCORDANCE

Fig. 3.15

Inclinaison de la fraise

Avantage: gain de temps et aspect de surface.

Inconvénients:

- défaut géométrique;
- usure prématurée à cause du copeau mini (dents frottant sur le retour de la cycloïde).

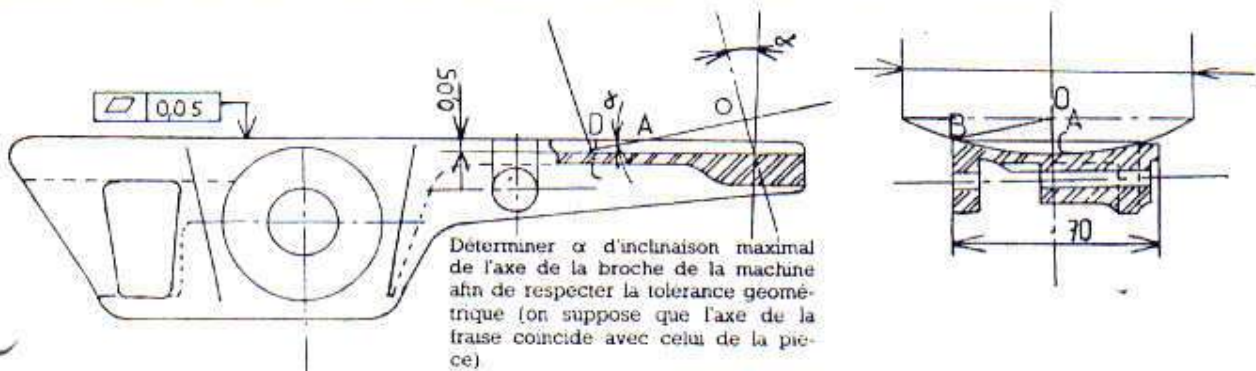
Connait OB = 50 et $AB = \frac{70}{2} = 35$

On calcule: OA → $OA = \sqrt{OB^2 - AB^2} = 35,70$

$AC = 50 - 35,70 = 14,3$

$\sin \alpha = \frac{DC}{AC} = \frac{0,05}{14,3} = 0,0034965 \rightarrow \alpha = 0^{\circ}0'12''$

Réglage: déplacement du comparateur monté sur la broche: (\varnothing circonférence du palpeur) → $\varnothing \cdot \text{tg } \alpha$




Déterminer α d'inclinaison maximal de l'axe de la broche de la machine afin de respecter la tolérance géométrique (on suppose que l'axe de la fraise coïncide avec celui de la pièce)

Procédé de réglage?

Fig. 3.16

■ Géométrie des outils — Taille hélicoïdale

La  est droite, hélicoïdale à gauche ou à droite; angle d'hélice 10 à 45°.

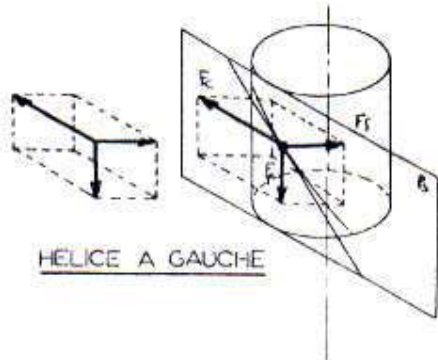


Fig. 3.17

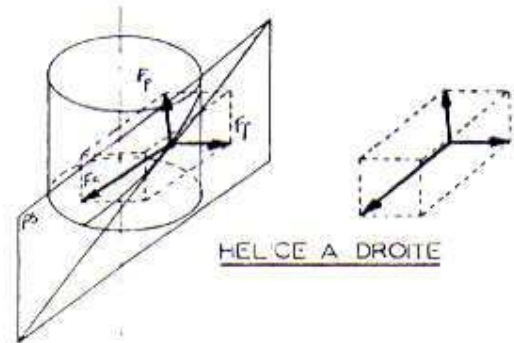
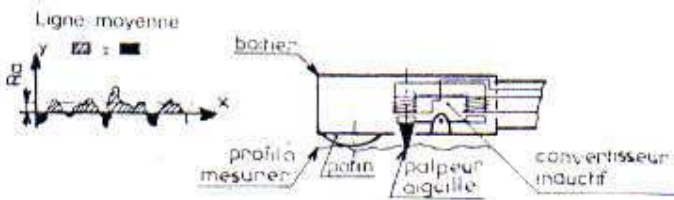


Fig. 3.18

■ Rugosité — Moyens de contrôle du critère statistique de profil Ra



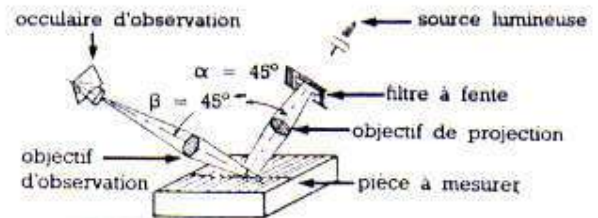
Convertisseur inductif.
Il transforme la composante y de déplacement du palpeur en tension proportionnelle.



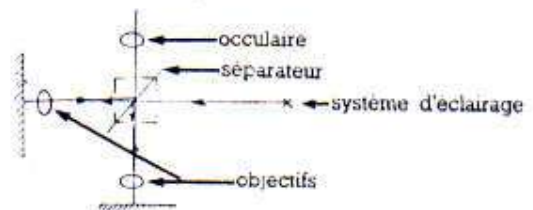
Convertisseur piézo-électrique.
Il transforme la composante y de vitesse de déplacement en tension proportionnelle.

Fig. 3.19

$$y \text{ réel} = y \text{ mesuré} \times \cos \alpha$$



Le microscope à coupe optique



Le microscope interférentiel

Fig. 3.20

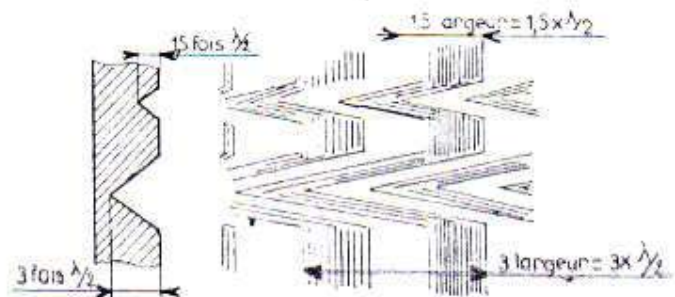
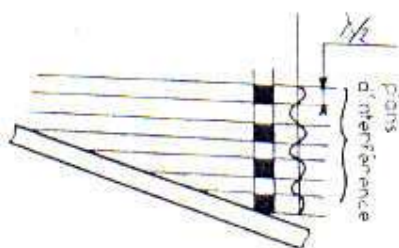


Fig. 3.21. Microscope interférentiel.