



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 DES TRAVAUX PRATIQUES

MODULE 7 : REGLAGE ET LANCEMENT D'UNE

PRODUCTION DE SERIE

Secteur : FABRICATION MECANIQUE

**Spécialité : TECHNICIEN EN FABRICATION
MECANIQUE**

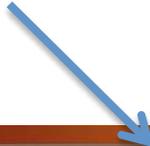
Niveau : TECHNICIEN

PORTAIL DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE AU MAROC

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

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

MODULES ISTA



HOME LIVRES **MODULES ISTA** ANNUAIRE ECOLES DOCTORAT LETTRE DE MOTIVATION NOUS CONTACTER SE CONNECTER

Maroc Etude.Com Connaissance - Métier - Technique

Annonces Google Emploi Maroc Messagerie Telecharger Un Jeu Maroc Annonces

recherche...

Nous avons 14 invités en ligne

Annonces Google

[Annonces Emploi Maroc](#)
[Jeux Telecharger Gratuit](#)
[Jeux PC En Ligne](#)

Connexion

Identifiant
sniper

Mot de passe
.....

Se souvenir de moi

Connexion

[Mot de passe oublié ?](#)
[Identifiant oublié ?](#)

Notre Bibliothèque que ...Livres à Télé charger Gratuitement

MacKeeper

-20%

Complete your Purchase Now and save 20% Guaranteed with this Coupon Code

Apply Discount Automatically

"On ne jouit bien que de ce qu'on partage" [Madame de Genlis]

Annonces Google

[Jeu De Jeux](#)
[Jeux Sur Internet](#)
[Ecole Ingénieur](#)

Dépanner et configurer votre réseau à domicile

(Outil de Diagnostic)
WI-FI / Ethernet
Console de jeu
Imprimante
Messagerie

Élaboré par :

Nom et prénom
ALBU Octavian

EFP
CDC Génie Mécanique

Direction
DRIF

Révision linguistique

-
-
-

Validation

- ETTAIB Chouaïb
-

MODULE 7 : RÉGLAGE ET LANCEMENT D'UNE PRODUCTION DE SÉRIE

Code :	Théorie :	27 %
Durée : 15 heures	Travaux pratiques :	67 %
Responsabilité : D'établissement	Évaluation :	6%

OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU DE COMPORTEMENT

COMPÉTENCE

- **Régler et lancer une production de série sur moyens conventionnels.**

PRÉSENTATION

Ce module de compétence particulière est enseigné durant le troisième semestre du programme de formation. Il requiert en pré- requis le module N°2 "Conduite de production de série" et le module N°6, "Usinage de pièces simples".

DESCRIPTION

L'objectif de module est de faire acquérir la compétence nécessaire au réglage et lancement de production de série des pièces mécanique sur machines-outils conventionnelles à partir d'un dossier de fabrication. Il vise donc à rendre le stagiaire apte à régler et lancer une production de série sur machines-outils conventionnelles.

CONTEXTE D'ENSEIGNEMENT

- Les situations pédagogiques doivent approcher au maximum celles de production réelle à partir d'un dossier de fabrication.
- Des butées horaires doivent être définis et respectées

CONDITIONS D'ÉVALUATION

- Travail individuel
- À partir de :
 - Ordre de fabrication
 - Dossier de fabrication
 - Consignes et instructions particulières
- À l'aide :
 - Machines outils conventionnels

(tour, fraiseuse, perceuse,...)

- Matière première / Pièce primaire
- Outillage de contrôle
- Outillage de coupe
- Outillage manuel de réglage
- Montage d'usinage ou éléments d'ablocage
- Éléments de sécurité liés au poste de travail

OBJECTIFS	ELEMENTS DE CONTENU
<p>1. Maîtriser la terminologie technique</p> <p>2. Maîtriser la symbolique</p> <p>3. Connaître la lecture de dessin technique</p> <p>4. Interpréter les tolérances</p> <p>A. Lire et comprendre</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'ordre de fabrication • Le dossier de fabrication • Les consignes <p>5. Maîtrise de la conduite des moyens conventionnels</p> <p>6. Savoir utiliser les moyens de mesure</p> <p>7. Connaître la technologie d'atelier</p> <p>B. Régler le poste de fabrication</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Glossaire : Terminologie utilisée en production de série - Symboles utilisés dans les dossiers de fabrication : isostatisme, serrage,... - Référence au module 22 - Référence au module 22 - Compréhension des objectifs (le travail à effectuer ou le cahier des charges) - Identification des données à partir du dossier de fabrication : <ul style="list-style-type: none"> • poste de travail, • temps alloué, • quantité - Compréhension du vocabulaire - Compréhension des dessins - Compréhension des symboles - Référence au module 3 - Référence au module 23 - Référence au module 13 - Préparation des opérations à partir du dossier de fabrication (fiches de réglage) - Mise en œuvre de poste d'usinage : <ul style="list-style-type: none"> • montage et réglage des outils • montage et réglage des butées • montage et réglage des

<p>8. Notions de base d'ergonomie</p> <p>9. Aptitudes aux tâches répétitives</p> <p>10. Notions de traçabilité et suivi de son travail</p> <p>11. Prise de décision</p> <p>C. Réaliser une présérie</p> <p>12. Pouvoir s'exprimer oralement dans une terminologie technique et appropriée</p> <p>13. Savoir transcrire des informations claires et rigoureuses</p> <p>D. Lancer la production</p>	<p>montages d'usinage</p> <ul style="list-style-type: none"> • sécurité au travail <ul style="list-style-type: none"> - Sélection et réglage des fréquences de rotation et vitesse d'avance - Réalisation d'une pièce d'essais - Mise en place des moyens de contrôle de fabrication - Définition des zones de stockage - Mise en place des moyens de manutention - Définition et utilité d'ergonomie - Principes de base d'ergonomie <ul style="list-style-type: none"> - Impact des tâches répétitives sur : <ul style="list-style-type: none"> • Le comportement • La fatigue • La vigilance <ul style="list-style-type: none"> - Traçabilité - Fiche suiveuse - Notion de lots <ul style="list-style-type: none"> - Impact d'une décision sur la suite des événements <ul style="list-style-type: none"> - Réalisation d'un lot de 10 pièces - Surveillance et intervention pendant la réalisation de la pré- série en : <ul style="list-style-type: none"> • analysant les écarts • corrigeant les anomalies, les défaillances - Stabilisation du processus d'usinage (apporter les modifications nécessaire) - Stabilisation du poste de travail <ul style="list-style-type: none"> - Termes et mots techniques utilisés en ordonnancement- lancement de production <ul style="list-style-type: none"> - Qualité des informations à transcrire <ul style="list-style-type: none"> - Information et formation de l'opérateur de production sur la sécurité, contrôle, production... au niveau du poste. - Suivi et assistance aux opérateurs - Rendre compte à sa hiérarchie : Oralement ou par écrit
---	---

SOMMAIRE

N°	DESIGNATION	PAGE
CHAPITRE 1	TYPES DE DISPERSIONS	9
1.1.	DISPERSIONS LORS D' UN USINAGE. DEFINITION.	9
1.2.	DISPERSIONS DE REMISE EN POSITION	9
1.3.	DISPERSIONS SYSTEMATIQUES	10
CHAPITRE 2	COTES DE REGLAGE	11
2.1.	CALCUL D' UNE COTE DE REGLAGE. EXEMPLE	11
2.2.	METHODE PRATIQUE	14
2.3.	MOYENS DE REGLAGE	14
CHAPITRE 3	LIMITES DE PRÉCISION DES TOURS	16
3.1.	GÉNÉRALITÉS	16
3.2.	LES TOURS	16
3.3.	LIMITES DE PRÉCISION SUIVANT LE TYPE DE LIAISON	16
3.4.	MISE EN POSITION DE LA PIÈCE DANS UN PORTE-PIÈCE	18
3.5.	MISE EN POSITION DES CHARIOTS PAR BUTÉE	18
CHAPITRE 4	LIMITE DE PRÉCISION DES FRAISEUSES	18
4.1.	GÉNÉRALITÉS	18
4.2.	LIMITES DE PRÉCISION SUIVANT LE TYPE DE LIAISON	19
CHAPITRE 5	LA PREPARATION DES FABRICATIONS	19
5.1.	PRINCIPES DE RECHERCHE DES GAMMES DE FABRICATION. DEFINITIONS	19
5.2.	ELABORATION DES GAMMES DE FABRICATION DES PIECES PRISMATIQUE	20

5.3.	ELABORATION DES GAMMES DE FABRICATION DES PIECES CYLINDRIQUES	31
5.4.	EXEMPLES « FICHES ENTITEES »	41
5.5.	LE CONTRAT DE PHASE	50
5.6.	REGLES CONCERNANT L'ORDONNANCEMENT DES OPERATIONS	56
5.7.	ANALYSE TEMPORALE DE PHASE	56
5.8.	LA COUPE DES MATERIAUX ET LES CONDITIONS D' USINAGE .PARAMETRES DE COUPE	59
5.9.	GEOMETRIE DES BRISE- COPEAU	63
5.10.	MATERIAUX A OUTILS	64
5.11.	FLUIDES DE COUPE	65
5.12.	USURE DES OUTILS	66
5.13.	OUTILLAGE POUR OPERATIONS DE TOURNAGE	67
5.14.	OUTILLAGE POUR OPERATIONS DE FRAISAGE	68
5.15.	LES PORTE- PIECES	69
CHAPITRE 6	ETUDE DES DISPERSIONS DIMENSIONNELLES	84
6.1.	GÉNÉRALITÉS	84
6.2.	LES CAUSES DES DISPERSIONS	84
6.3.	ÉVALUATION DES DISPERSIONS.	85
6.4.	CONNAISSANCE DES DISPERSION	85
6.5.	EXEMPLE D' ANALYSE DES DISPERSIONS	85
6.6.	DISPERSIONS DIMENSIONNELLES (ETUDE STATISTIQUE)	86
CHAPITRE 7	APPLICATIONS	92
7.1.	RAPPELLE : METHODE PRATIQUE POUR RESOUDRE LES CHAINES DE COTES	92
7.2.	EXEMPLE	92

CHAPITRE 8	ETUDE STATISTIQUE DU TRAVAIL DE SEIRE	106
CHAPITRE 9	EXEMPLES DES ELEMENTS DE REGLAGE DES MACHINES	112
9.1.	ELEMENTS DE REGLAGE POUR LE TOUR UNIVERSEL	112
9.2.	CONCLUSIONS SUR LES TRAVAUX DE SERIE EN TOURNAGE	113
9.3.	EXEMPLES POUR LE FILETAGE EN SERIE	117

CHAPITRE 1 : TYPES DE DISPERSIONS

1.1. DISPERSIONS LORS D'UN USINAGE. DEFINITION

Lors d'un usinage, on réalise presque toujours des séries de pièces. On constate, lors des contrôles des dimensions obtenues sur chaque pièce, des écarts variables par rapport à la cote visée. Ces différences proviennent de deux types des défauts:

- les écarts de remise en position des différents éléments intervenant dans l'usinage;
- les dérives dues au fonctionnement de la machine et à l'usure des outils.

1.2. DISPERSIONS DE REMISE EN POSITION

Au cours de l'usinage d'une série de pièces, il n'est pas possible de garantir une position parfaitement définie et reproductible de chaque pièce sur le porte- pièce. L'étendue des positions réelles se traduit par la notion de dispersion. Une dispersion est l'expression de la variation dans le temps des écarts entre une valeur cible recherchée et les valeurs réelles obtenues. Plus les écarts sont grands, plus la dispersion est importante.

Lors de l'usinage d'une pièce, on distingue deux principaux types de dispersion de remise en position (voir figure 1.)

- le **défait de positionnement de la pièce dans son porte- pièce**, qui introduit les écarts les plus importants (suivant les états de surface, la précision dimensionnelle et géométrique de la pièce, la qualité du porte- pièce, la variation des efforts de bridage, etc.). Pour certaines pièces prises sur une surface brute de fonderie, par exemple, cette dispersion peut atteindre plusieurs dixièmes de millimètres;

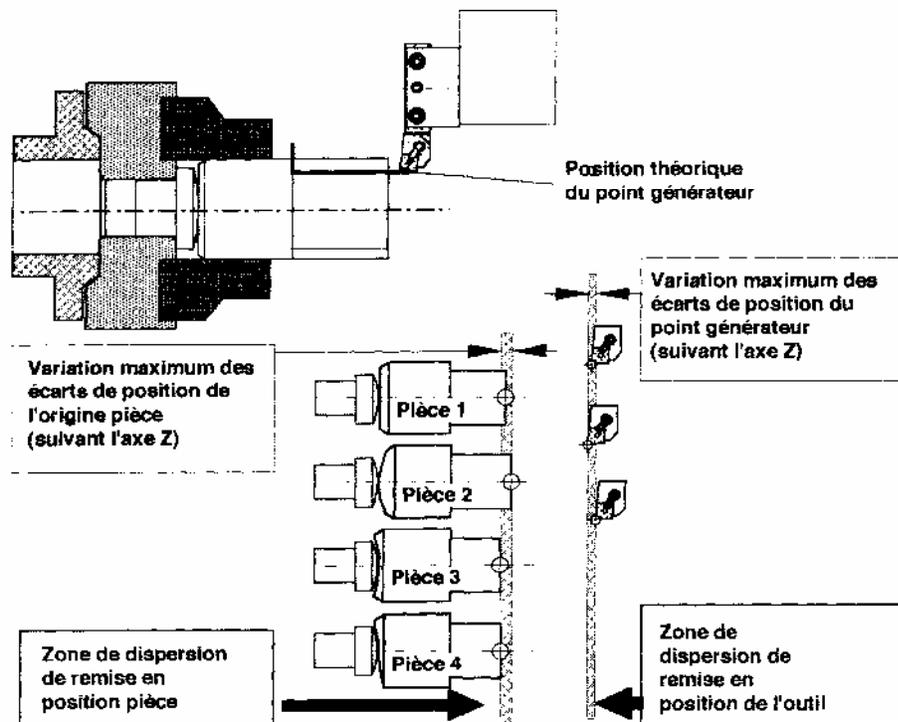


Fig. 1 : Dispersion de remise en position lors d'une opération de tournage

— le **défaut de remise en position du point générateur de l'outil** : cette dispersion de remise en position est beaucoup plus faible car elle dépend directement de la qualité de la machine (précision des guidages et de l'asservissement en position, etc.).

Les autres dispersions de remise en position intervenant dans l'usinage peuvent être considérées comme négligeables (montage d'un porte-outil dans le nez de broche en fraisage, par exemple).

Ces dispersions sont dites aléatoires, car il est impossible de prévoir la valeur exacte d'un écart (les causes sont nombreuses et difficiles à maîtriser). De fait, il suffit au technicien de connaître la valeur maximale de la dispersion correspondant à un cas d'usinage maîtrisé pour savoir s'il peut prévoir, dans une situation analogue, une réalisation sans risques. A noter que le changement d'une plaquette sur un corps d'outil n'engendre pas de dispersion particulière.

1.3. DISPERSIONS SYSTEMATIQUES

Ces dispersions sont souvent prévisibles et proviennent de causes physiques liées à la machine et à son fonctionnement.

• **Dispersion thermique de la machine, notées Dt**

Lors de sa mise en route, il faut attendre un certain temps avant que tous les organes de la machine atteignent leur température optimale de travail (glissières correctement lubrifiées, bonne température de l'huile du groupe hydraulique, dilatation des éléments de la structure et de la broche, etc.). Si l'on recherche une grande précision, il est nécessaire d'attendre l'équilibre thermique de la machine et il faut éviter de travailler dans des conditions extrêmes de température.

• **Dispersion systématique de l'outil, notées Ds**

Ce type de dispersion, illustré figure 2 est dû à l'usure de l'outil lorsqu'il travaille. On distingue trois phases dans l'usure d'un outil :

- la phase de rodage, en début d'utilisation d'un outil neuf (après réaffûtage ou changement de plaquette). Durant cette courte période, la partie active de l'outil « s'adapte » aux conditions de coupe et peut ne pas produire le résultat attendu;
- la phase de fonctionnement normal, pendant laquelle l'outil s'use de façon régulière et produit une surface dont la position est maîtrisable;
- la phase de fin de vie, durant laquelle l'usure est très rapide, ne permettant plus de produire un état de surface acceptable.

Dans la pratique, on cherche à maîtriser la variation de dimension produite par l'usure de l'outil en travaillant dans la zone de fonctionnement normal. On admet alors que cette usure est régulière, ce qui permet de prévoir sa valeur en fonction du temps d'utilisation. La figure 2 montre, en l'amplifiant, l'évolution d'une cote de longueur en tournage lors d'une opération de mise à longueur par usinage d'une extrémité (opération de dressage en négligeant les dispersions de remise en position).

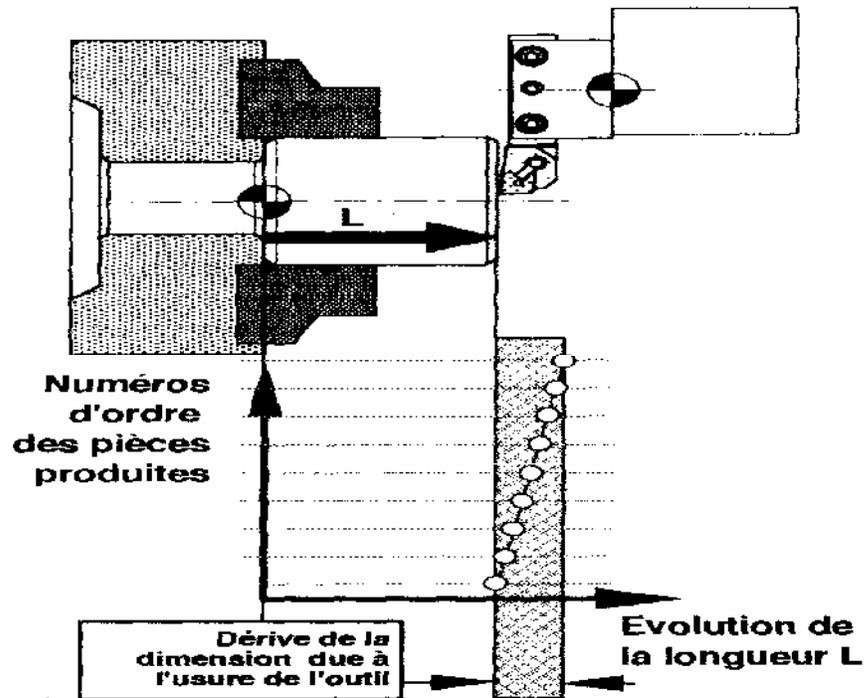
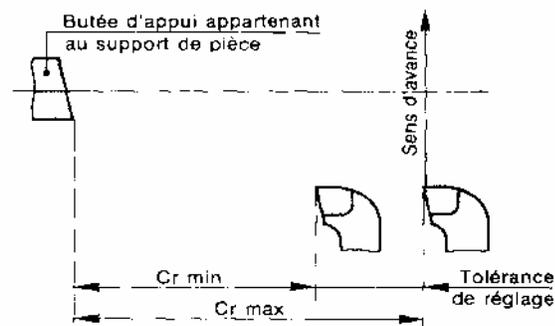


Fig2 : Dispersions systématiques dues à l'usure de l'outil

CHAPITRE 2 : COTES DE REGLAGE

En travail de série a position d'un outil, par rapport au support de pièce, est définie par une cote de réglage Cr calculée pour obtenir le plus grand nombre possible de pièces bonnes pendant la durée de vie pratique d'un outil. Afin de faciliter le réglage, la tolérance sur la cote de réglage doit être la plus grand possible.

RÉGLAGE D'UN OUTIL À DRESSER



2.1. CALCUL D'UNE COTE DE REGLAGE

Calcul de la cote de réglage pour un outil à dresser

Les dimensions obtenues sur les pièces successives d'une série dépendent essentiellement :

- d'une dispersion aléatoire Da , fonction du matériel utilisé,
- d'une dispersion systématique Ds , fonction de l'usure de l'outil,
- des défauts géométriques Dg de la machine.

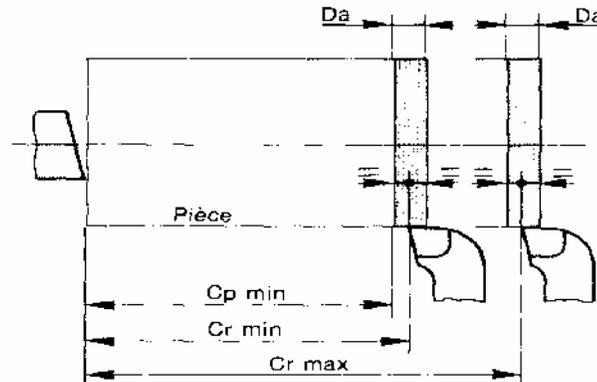
Effet de la dispersion aléatoire ($D_s = 0, D_g = 0$).

Même si l'usure de l'outil est négligeable (cas d'une faible longueur de coupe), la dispersion aléatoire fait que pour un réglage donné, les dimensions obtenues sur les pièces varient dans un intervalle **Da** centré par rapport à la cote théorique de réglage.

Il en résulte que la cote minimale de réglage doit être égale à la cote minimale de la pièce **Cp min** plus la moitié de la dispersion aléatoire

$$Cr_{min} = Cp_{min} + Da/2$$

EFFET DE LA DISPERSION ALÉATOIRE ($D_s = 0$
 $D_g = 0$)

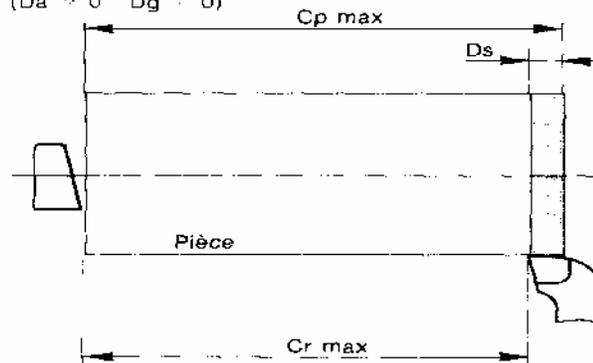


Effet de la dispersion systématique ($Da = 0, D_g = 0$).

Pour le cas étudié, l'usure de l'outil augmente les dimensions des pièces d'une valeur maximale **Ds**. Il en résulte que la cote maximale de réglage doit être égale à la cote maximale de la pièce **Cp max** moins la dispersion systématique :

$$Cr_{max} = Cp_{max} - D_s$$

EFFET DE LA DISPERSION SYSTÉMATIQUE
($Da = 0, D_g = 0$)

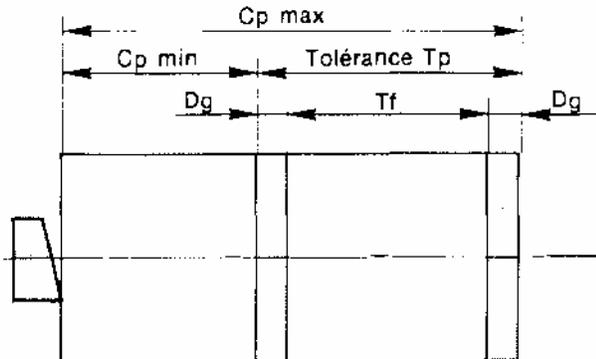


Effet des défauts géométriques de la machine

La machine-outil a un défaut géométrique qui s'exprime par une tolérance D_g , à l'intérieur de laquelle les erreurs géométriques que l'on obtient sur la pièce restent contenues. Il en résulte une réduction de la tolérance de fabrication T_f par rapport à celle de la pièce T_p

$$T_f = T_p - 2 D_g.$$

EFFET DES DÉFAUTS GÉOMÉTRIQUES
DE LA MACHINE



Effet cumulé :

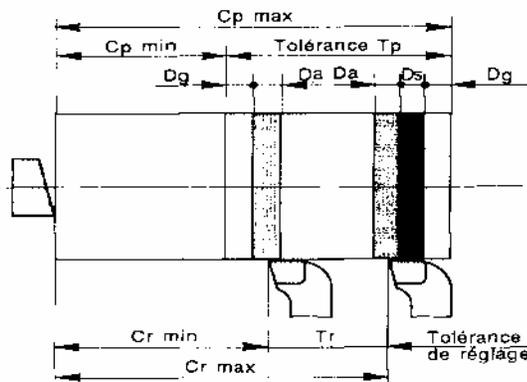
On obtiendra le plus grand nombre de pièces bonnes en ayant une cote de réglage aussi près que possible de la cote minimale de la pièce

$$C_r \text{ min} = C_p \text{ min} + D_g + D_a/2$$

L'usure de l'outil et la dispersion aléatoire font que la cote de réglage ne pourra être supérieure à :

$$C_r \text{ max} = C_p \text{ max} - (D_g + D_s + D_a/2)$$

L'USURE DE L'OUTIL AUGMENTE LES DIMENSIONS

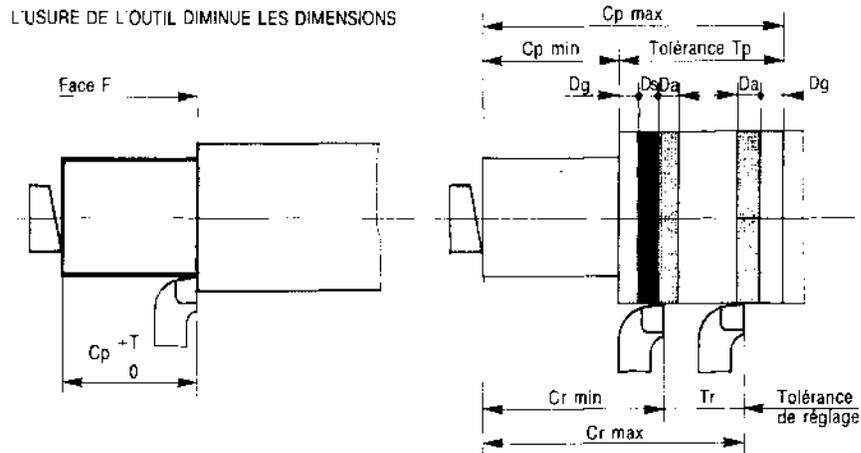


REMARQUE :

• Si l'usure de l'outil diminue les dimensions des pièces, par exemple dans le cas du dressage de la face F de la pièce ci-dessous, on a :

$$Cr \text{ max} = Cp \text{ max} - (Dg + Da/2)$$

$$Cr \text{ min} = Cp \text{ min} + Dg + Ds + Da/2$$



2.2. METHODE PRATIQUE

Pour des fabrications en petites séries, il arrive que l'on ne connaisse pas les valeurs des dispersions Da et Ds . Dans ces cas, on peut prendre, à titre de première estimation :

- si l'usure de l'outil augmente la cote Cp de la pièce :

$Cr \text{ min} = Cp \text{ min} + Dg + Tp/3$
Tolérance de réglage $Tr = Tp/5$

- si l'usure de l'outil diminue la cote Cp de la pièce :

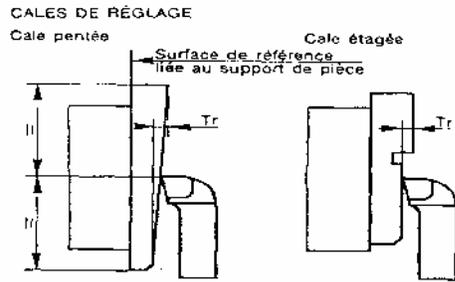
$Cr \text{ max} = Cp \text{ max} - (Dg + Tp/3)$
Tolérance de réglage $Tr = Tp/5$

2.3. MOYENS DE REGLAGE

2.3.1. Cales de réglage

Le réglage d'un outil est réalisé en interposant une cale entre une surface de référence du support et l'outil. On distingue essentiellement deux types de cales :

- les cales étagées,
- les cales pentées (précision possible pour le réglage: 0,01).



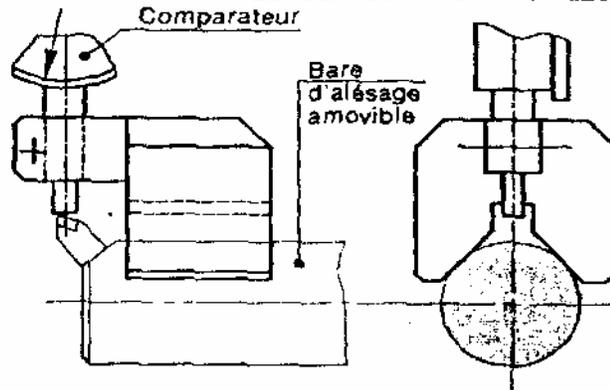
2.3.2. Montages de préréglage

Le préréglage d'un outil consiste à mettre en position l'arête tranchante de l'outil par rapport à une surface de référence du porte-outil. La position du porte-outil est liée, par ses surfaces de références, à la machine.

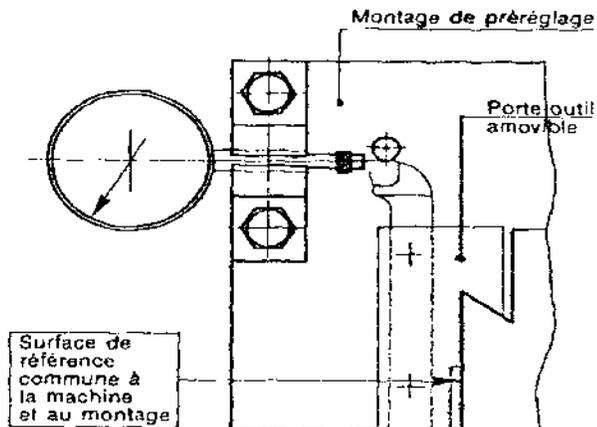
En principe, chaque poste de travail possède un double des porte-outils nécessaires avec des outils montés affûtés et préréglés on réduit ainsi le temps d'immobilisation des machines lors des changements d'outils.

Les montages de préréglage sont très divers en fonction des outils, des porte-outils et de la précision recherchée.

MONTAGE DE PRÉRÉGLAGE POUR OUTIL À ALÉSER



MONTAGE DE PRÉRÉGLAGE POUR OUTIL DE TOUR



CHAPITRE 3 : LIMITES DE PRÉCISION DES TOURS

3.1. GÉNÉRALITÉS

Les normes précisant les conditions d'essais des machines-outils travaillant par enlèvement de métal sont aussi appelées normes Salmon du nom de leur promoteur, en France.

La norme E 60-1 00 donne les dispositions générales pour le contrôle de la précision et définit le code d'essais des machines-outils.

3.2. LES TOURS

Les conditions d'essais des tours sont précisées par les normes suivantes :

- E 60-101; tours parallèles d'usage général,
- E 60-102; tours parallèles à commande numérique,
- E 60-103; tours monoblocs à tourelle revolver, à commande manuelle, semi-automatique ou automatique.

3.3. LIMITES DE PRÉCISION SUIVANT LE TYPE DE LIAISON

Les différents types de liaison sont précisés sur la figure 1 et les écarts tolérés sont donnés par le tableau, figure 2.

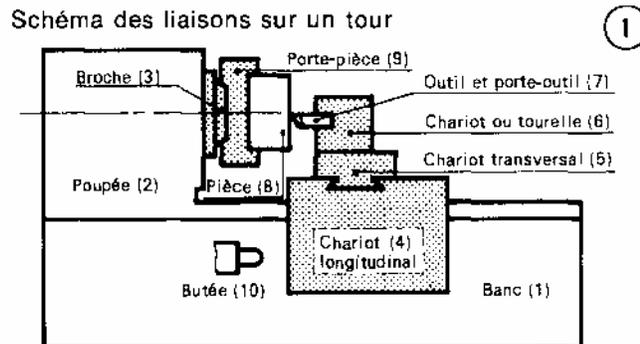


Fig.1

TABLEAU DES ÉCARTS SUIVANT TYPE DE LIAISON ②

Type de liaison	Objet de l'écart toléré (définition géométrique)	ÉCART TOLÉRÉ (mm)		
		Tours parallèles	Tours à C.N.	Tours semi-auto et automatiques
3 2	Faux-rond de la portée de centrage sur le nez de la broche	0,005	0,005	0,010 à 0,015
4 1	Parallélisme du déplacement longitudinal du chariot à l'axe de la broche	0,0075 à 0,01 100	0,005 100	0,010 à 0,015 100
5 4	Perpendicularité à l'axe de la broche du déplacement de la coulisse transversale	0,0033 à 0,0066 100	0,0033 100	0,01 100
6 5	Écart de mise en position répétitive, d'indexation de la tourelle revolver		en longueur ∅ - 0,05 angulaire 0,01/300	en longueur ∅ - 0,015 angulaire 0,02/100
7 8	Écarts de mise en position des porte-outils $\Delta z - \Delta y$	+ 0,005 à ± 0,01	+ 0,0015 à ± 0,0050	+ 0,005 à ± 0,01

Fig.2

3.3.1. Liaison broche- poupée (3 avec 2).

Le faux- rond entraîne un écart de mise en position de l'élément porte- pièce 9 dans le cas montage et démontage sans retouche.

3.3.2. Liaison chariot- banc (4 avec 1).

L'écart de parallélisme entraîne une variation de cote diamétrale sur la pièce. Sur les tours à copier cet écart n'a aucune influence; c'est la position du gabarit qui définit cette caractéristique géométrique.

3.3.3. Liaison coulisseau- chariot (5 avec 4).

L'écart de perpendicularité entraîne un écart de planéité sur le dressage des faces et une variation de cote sur l'épaisseur de la pièce.

3.3.4. Liaison tourelle - chariot (6 avec 5).

L'écart de position sur les longueurs entraîne sur les pièces des variations de cotes, entre elles. L'effet d'écart angulaire peut être neutralisé en plaçant l'arête de coupe perpendiculairement au plan du défaut.

3.3.5. Liaison outil- tourelle (7 avec 6).

Les écarts de mise en position, lors des montage et démontage des équipements porte-outils, sont fonction de la technologie utilisée pour la liaison. Ils entraînent des variations de cote entre pièces.

3.4. MISE EN POSITION DE LA PIÈCE DANS UN PORTE- PIÈCE

Les écarts de mise en position sont dus à la morphologie de la pièce à usiner et aux déformations engendrées par les organes de maintien en position. Le tableau donne les valeurs des écarts de concentricité relatifs aux appareillages de reprise.

Ces écarts peuvent se traduire par des défauts cumulés de cotes sur la pièce :

TABLEAU DES ÉCARTS DE CONCENTRICITÉ ③	
Type d'appareillage	◎ Ø (mm)
Mandrin 3 mors durs	0,3 à 0,5
Mandrin 3 mors doux	0,04 à 0,1
Mandrin expansible	0,02 à 0,08
Mandrin hydraulique	0,02 à 0,05
Mandrin à rondelles Ringspann	0,005 à 0,02

3.5. MISE EN POSITION DES CHARIOTS PAR BUTÉE

Les incertitudes de mise en position des chariots lors de l'utilisation de butées sont fonction de

nombreux paramètres. Le tableau figure 4 donne les valeurs admises par les constructeurs de machines-outils pour les principaux types de butées.

TABLEAU DES ÉCARTS DE MISE EN POSITION PAR BUTÉE ④	
Type de butée	Δ (mm)
Butée mécanique fixe	$\pm 0,005$ à $\pm 0,01$
Butée mécanique à came	$\pm 0,01$ à $\pm 0,03$
Butée mécanique à débrayage	$\pm 0,05$ à $\pm 0,1$
Butée électro-méca. sans ralentissement	$\pm 0,05$ à $\pm 0,15$
Butée électro-méca. avec ralentissement	$\pm 0,01$ à $\pm 0,03$
Butée électro-hydr. sans ralentissement	$\pm 0,01$ à $\pm 0,07$
Butée électro-hydr. avec ralentissement	$\pm 0,01$ à $\pm 0,02$
Arrêt numérique avec cycle de ralentissement constant	$\pm 0,0025$ à $\pm 0,01$
Commande hydraulique par rapport au profil du gabarit en copiage	$\pm 0,015$ à $\pm 0,05$

N. B. : Les écarts de position dus à la flexion de l'outil et à l'échauffement de la pièce sont liés à la rigidité de l'outil et à l'effort de coupe.

On admet : $\Delta l = \lambda (T1 - T0) \times L / 1000$

CHAPITRE 4 : LIMITE DE PRÉCISION DES FRAISEUSES

4.1. GÉNÉRALITÉS

Les conditions d'essais des fraiseuses sont précisées par les normes suivantes:
 E 60-111 : fraiseuses à table de hauteur variable, à broche horizontale ou verticale.
 E 60-112 : fraiseuses à table de hauteur fixe, à broche horizontale ou verticale.
 (Voir aussi : NF E 60-100, pour les dispositions générales concernant les machines-outils.)

4.2. LIMITES DE PRÉCISION SUIVANT LE TYPE DE LIAISON

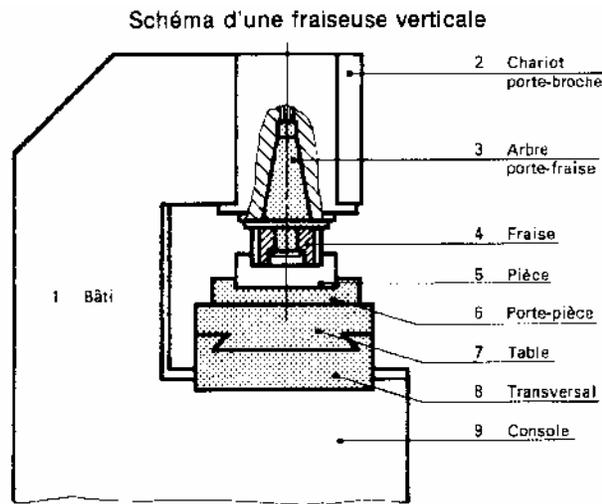


TABLEAU RÉSUMÉ DES VALEURS TOLÉRÉES POUR DIFFÉRENTS
TYPES DE LIAISON

Repère de la liaison	Tolérances géométriques	Symbole	Valeurs tolérées
1 avec 2	Perpendicularité	\perp	0,025/300
3 avec 2	Battement radial	\nearrow	0,01 (sortie de broche) 0,02 à 300 mm
7 avec 8	Parallélisme	\parallel	0,025/300
8 avec 9	Parallélisme	\parallel	0,025/300
9 avec 1	Perpendicularité	\perp	0,025/300 par rapport à la table

CHAPITRE 5 : LA PRÉPARATION DES FABRICATIONS

5.1. PRINCIPES DE RECHERCHE DES GAMMES DE FABRICATION DEFINITIONS

Toute pièce mécanique évolue d'un état initial, correspondant à la pièce brute, vers un état final, représentatif du contrat de départ qu'est le dessin de définition. La valeur ajoutée représente l'ensemble des opérations (usinages, traitement, etc.) à effectuer.

- **La gamme de fabrication** est un document d'archive dans lequel sont consignées, de manière chronologique et globale, les différentes phases de la transformation d'un produit.

- **Une phase** représente l'ensemble des opérations effectuées à un même poste de travail.

- **Une opération** met en oeuvre un seul des moyens dont est doté ce poste de travail.

La chronologie de la démarche de conception des gammes de fabrication permettant d'aboutir au document d'archive est présentée figure 5.1. La variété des modes d'obtention des bruts et la diversité des regroupements et enchaînements d'opérations sont tels que le processus de fabrication envisageable pour un même produit est loin d'être unique.

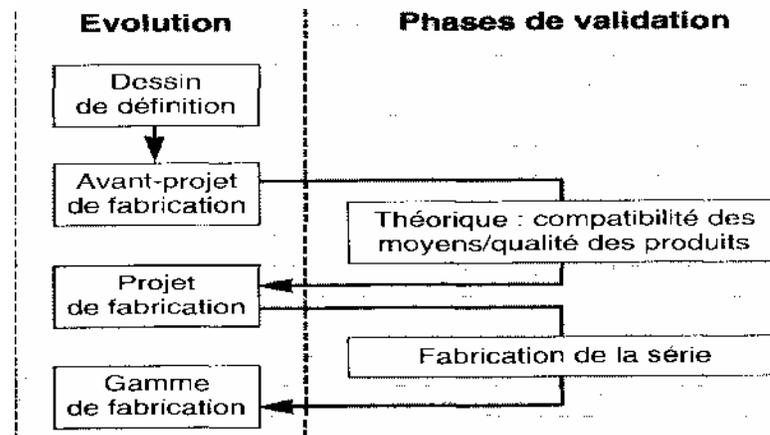


Fig.5.1. Chronologie de la démarche d'industrialisation

Il est donc nécessaire d'avoir un déroulement progressif avec des phases de validation intermédiaires qui porteront:

- entre un avant- projet et un projet, sur la compatibilité des moyens choisis avec la qualité désirée du produit;
- entre un projet et la gamme de fabrication finalisée, sur les résultats de la production réelle.

Les choix conduisant à l'élaboration d'un avant-projet sont basés sur des critères techniques et économiques.

5.2. ELABORATION DES GAMMES DE FABRICATION DES PIECES

PRISMATIQUE

Afin de faire apparaître l'ensemble des réflexions qui conduisent à l'écriture de la gamme, on se place dans le cas où aucune pièce du type proposé n'a été précédemment réalisée dans l'entreprise.

5.2.1. Construction du projet de gamme de fabrication

La figure 5.1. résume le cheminement de réflexion conduisant au projet de gamme. A partir du dessin de définition de la pièce, on dresse un inventaire des surfaces élémentaires auxquelles on attribue en général un numéro d'identification.

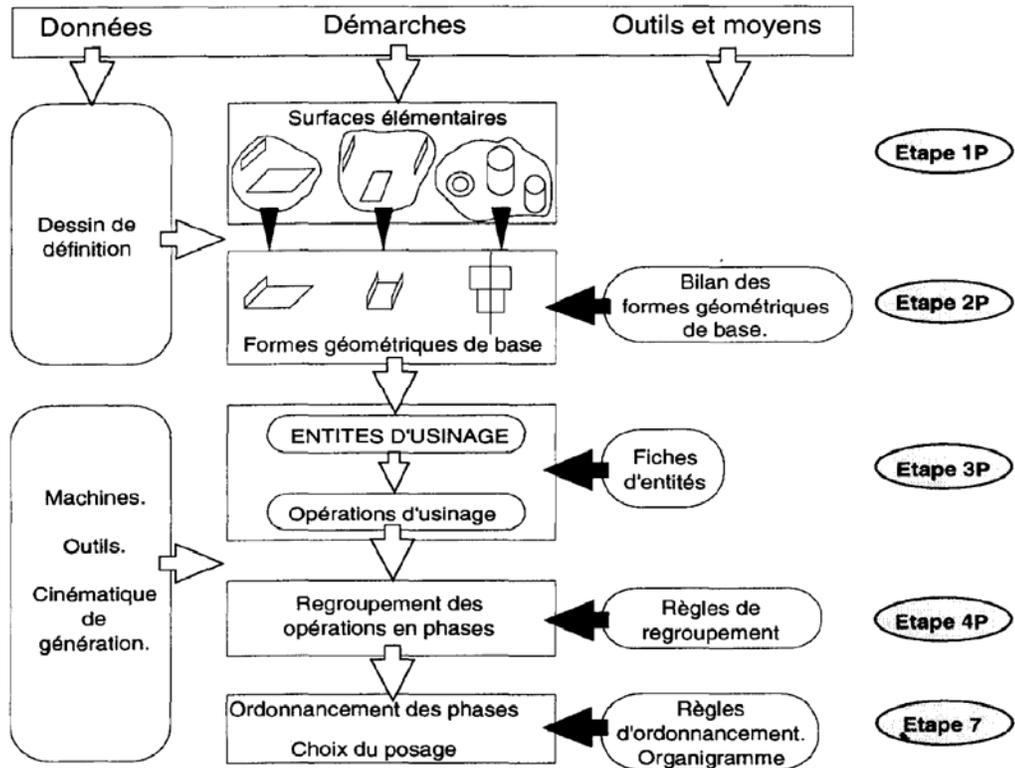


Fig. 1 : Recherche d'un projet de gamme pour une prismatique.

Etape 2P : Identification des formes géométriques de base

En fabrication, il est souvent possible d'associer plusieurs surfaces élémentaires afin de les usiner simultanément (avec le même outil). Cette étape consistera à identifier l'ensemble de ces compositions de surfaces en se référant à une base de données de formes géométriques usinables et répertoriées. Le tableau figure 5.2. présente de manière non exhaustive une telle base de données. L'association des différentes formes géométriques permet de composer la majorité des pièces mécaniques courantes. A l'intérieur de cette base, une forme particulière appelée « profil », permet de traiter le cas de géométries complexes comme on peut en trouver sur des pièces provenant de l'industrie aéronautique entièrement usinées après forgeage.

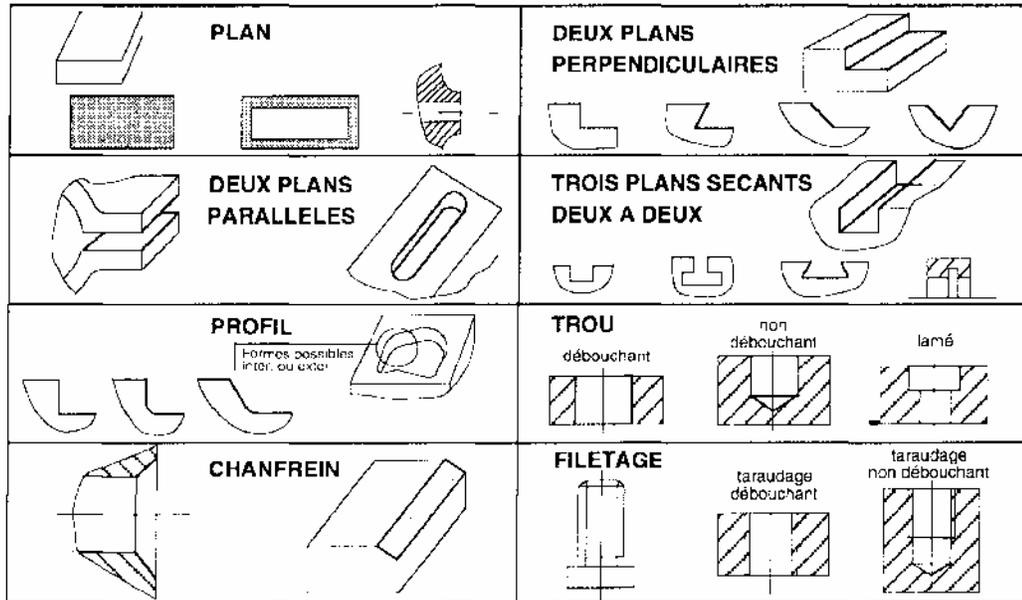


Figure 5.2. Base de données des formes géométriques de base.

• Etape 3P : choix des entités d'usinage

L'étape précédente fait appel uniquement à l'aspect géométrique des formes à usiner et permet de les identifier. Il s'agit maintenant de prévoir leur usinage, c'est-à-dire de faire un choix d'outils en fonction de la machine prévue.

Définition : une entité d'usinage est l'association d'une forme géométrique de base (exemple: le trou lamé) avec un ensemble composé d'une machine-outil, d'un outil et de sa **cinématique de génération**. L'ensemble « outil/cinématique de génération » va permettre de définir le type d'opération (fraisage, perçage, etc.). Chaque entité forme donc un tout indissociable. Il est intéressant de remarquer que certains logiciels de fabrication assistée par ordinateur adoptent cette démarche (association d'une forme géométrique, d'un outil et d'un cycle d'usinage). La banque de données technologiques consiste en un inventaire des solutions possibles d'usinage en termes de choix d'outil et de cinématique de génération pour chacune des formes géométriques de base répertoriées et pour chaque machine-outil. Dans le cadre de cet ouvrage nous étudierons plus particulièrement le tour et la fraiseuse. L'inventaire correspondant à ces deux machines est fourni sous forme de fiches. Cette banque de données ne doit pas être confondue avec la mémoire de l'entreprise; elle va permettre de rechercher l'adéquation entre la forme géométrique à générer et l'outil à employer pour la machine prévue.

La figure 5.3. donne un exemple de fiche d'entité et des indications concernant son contenu.

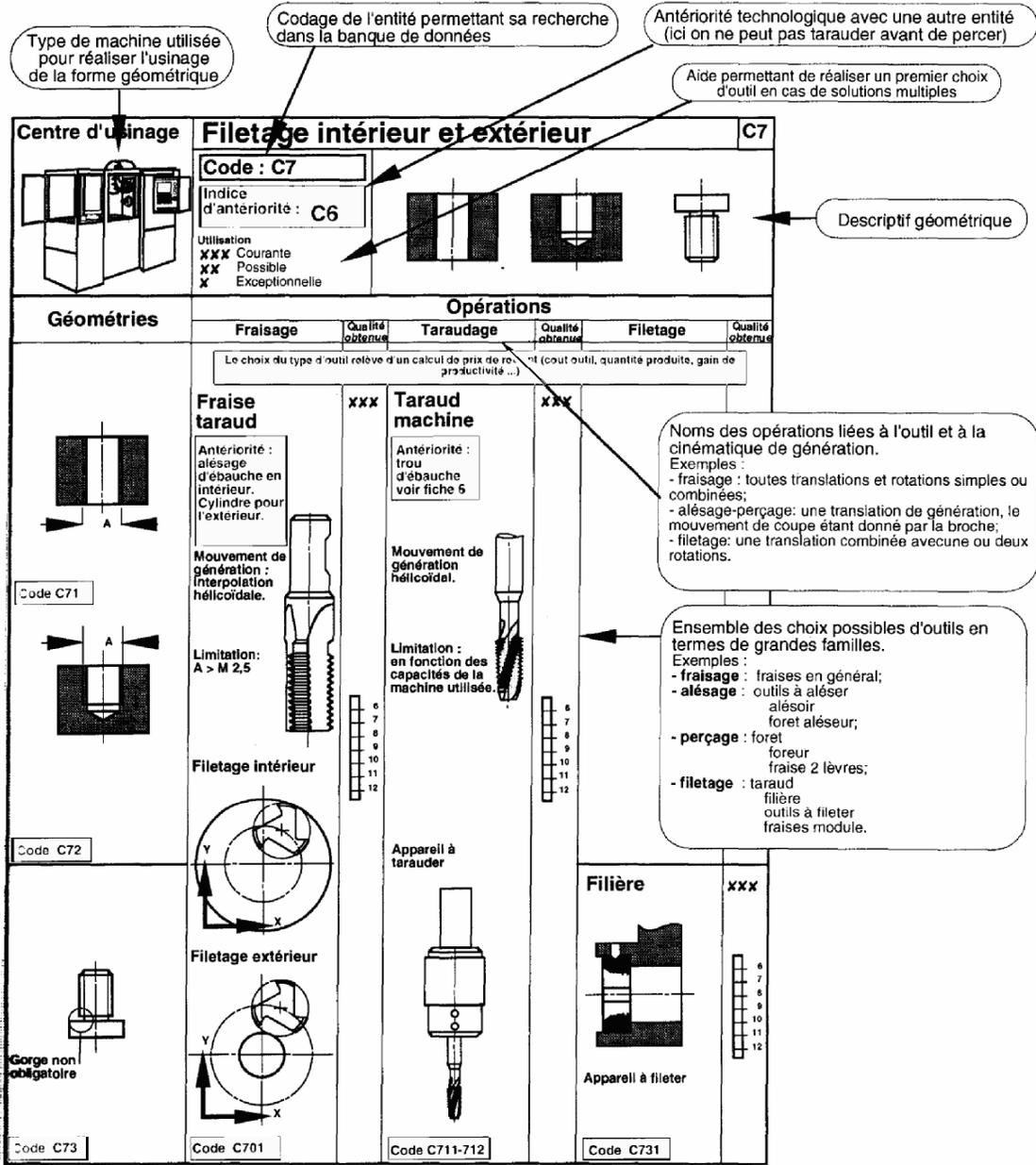


Figure 5.3. Les entités d'usinage.

• **Illustration sur un exemple des précédentes étapes**

Soit le dessin de définition d'une semelle de micro-perceuse (pièce prismatique; figure 5.4.) représentant le contrat de départ. La première partie de l'analyse conduit, comme nous l'avons vu, au repérage des surfaces (figure 5.5.). Les surfaces usinées sont repérées par un chiffre, les surfaces brutes principales par la lettre B suivie d'un chiffre.

Un tableau tel que celui de la figure 5.7 permet, après l'analyse des spécifications propres à chacune des surfaces élémentaires, la détermination du nombre d'opérations nécessaires à l'obtention de la qualité souhaitée.

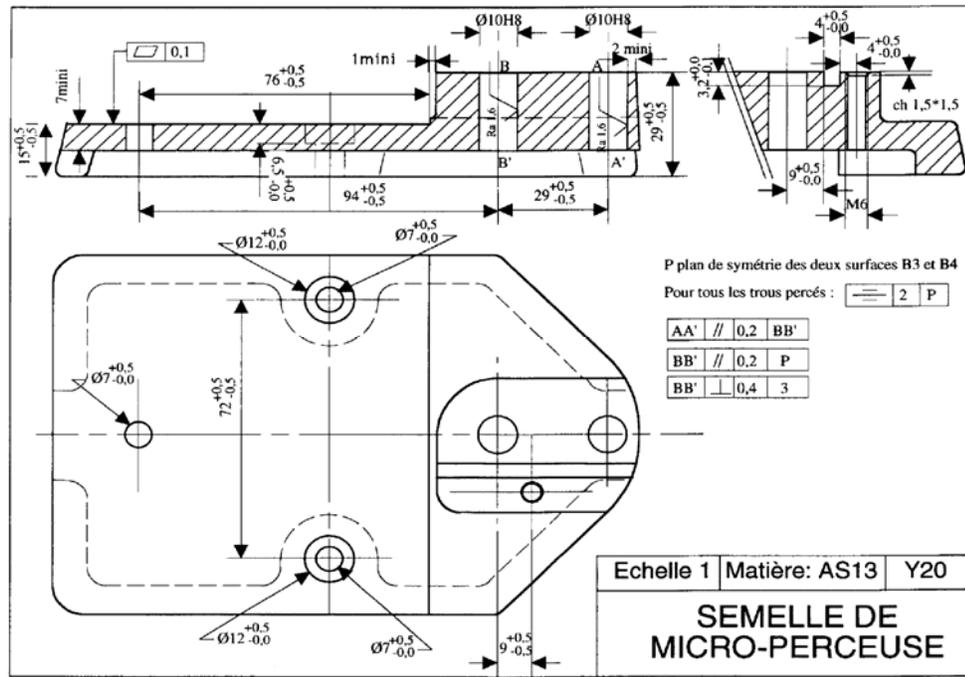


Fig. 5.4. Dessin de définition

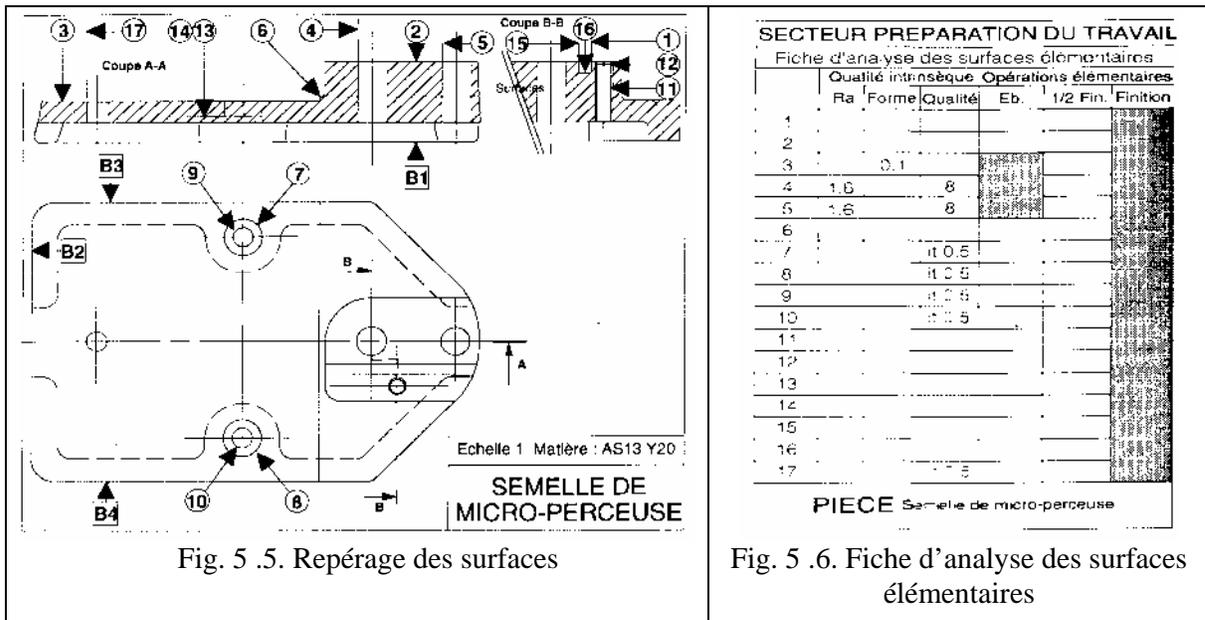


Fig. 5.5. Repérage des surfaces

SECTEUR PREPARATION DU TRAVAIL

Fiche d'analyse des surfaces élémentaires

Qualité intrinsèque Opérations élémentaires

	Ra	Forme	Qualité	Eb.	1/2 Fin.	Finition
1						
2						
3	0,1					
4	1,6		8			
5	1,6		8			
6						
7			it 0,5			
8			it 0,5			
9			it 0,5			
10			it 0,5			
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						

PIECE Semelle de micro-perceuse

Fig. 5.6. Fiche d'analyse des surfaces élémentaires

Par convention :

- une opération : finition;
- deux opérations : ébauche puis finition;
- trois opérations : ébauche, demi- finition puis finition.

La figure 5.6. présente une fiche d'analyse des surfaces élémentaires. L'analyse des surfaces étant faite, on recherche sur le dessin de définition les formes géométriques analogues à celles répertoriées dans la base de donnée (figure 5.2.). A chacune d'elles correspond une fiche d'entité, fonction de la

machine choisie, qui va permettre de déterminer les opérations d'usinage à effectuer en vue de la réalisation de cette forme géométrique. Après analyse complète, nous disposerons de l'ensemble des opérations d'usinage qu'il convient d'effectuer pour arriver au produit final.

La figure 5.7. présente à ce stade, l'avant-projet de fabrication:

- la première colonne indique les associations de surfaces élémentaires, par l'intermédiaire de leur numérotation;
- la deuxième colonne est la traduction en langage technologique de ces associations, c'est également le titre des entités répertoriées dans la base de données;
- la troisième colonne est le résultat de la consultation des fiches entités, elle représente un choix de type d'outil. Les antériorités technologiques indiquées dans ces fiches permettent de prendre en compte les opérations supplémentaires à effectuer. Ceci concerne, pour cet exemple, le perçage à réaliser avant le taraudage.

SECTEUR PREPARATION DU TRAVAIL		PIECE Semelle de micro-perceuse				
ELABORATION des GAMMES de FABRICATION						
FICHE D'ELABORATION DE LA GAMME OPERATIONNELLE						
Repère des surfaces	Désignation de l'entité	Outil employé	Antériorité	Regroupement des entités	M.O.	Ordonnancement Isostatisme
1-15-16	Trois plans associés sécants deux à deux	F2T				
2	Plan	F1T				
3-6	Deux plans associés sécants	éb : F1T fin : F1T				
4	Trou débouchant	éb:foret fin:f.aléseur				
5	Trou débouchant	éb:foret fin:f.aléseur				
7	Trou débouchant	Foret				
8	Trou débouchant	Foret				
9-13	Trou lamé	F.2T coupe au centre				
10-14	Trou lamé	F.2T coupe au centre				
11	Taraudage	Taraud Foret	Trou débouchant			
12	Chanfrein	Foret à pointer				
17	Trou débouchant	Foret				

CENTRE D'USINAGE VERTICAL


CENTRE USINAGE H avec palettisation


UNITE PIECES PRISMATIQUES
 Processus :
 CUV seul
 CUH seul
 CUV + CUH
 CUH + CUV

Figure 5.7. Avant-projet partiel de la semelle de micro-perceuse.

A ce stade, nous connaissons donc:

- l'ensemble des opérations nécessaires à la transformation du produit;
- le type d'outil à employer pour réaliser chacune d'elles.

A partir de ce répertoire d'opérations, il convient d'organiser la fabrication, c'est-à-dire :

- de regrouper ces opérations en phases;

— d'ordonner ces phases et de choisir les surfaces de posage permettant également le maintien en position de la pièce compte tenu des usinages à effectuer.

5.2.2. Paramètres technico-économiques

Il n'existe pas de solution unique conduisant à la réalisation d'une pièce. Il est donc nécessaire de disposer de critères de décision permettant, à chaque étape, le choix d'une solution technologiquement viable et se rapprochant le plus possible du coût minimum.

Le schéma de la figure 5.8. montre, pour chaque élément de la boucle liant la pièce à l'outillage et à la machine, les critères qui conditionnent le choix d'une solution.

Si le coût n'intervient pas directement dans la recherche de solutions technologiques potentielles, il est l'élément essentiel du choix de la solution finale à adopter.

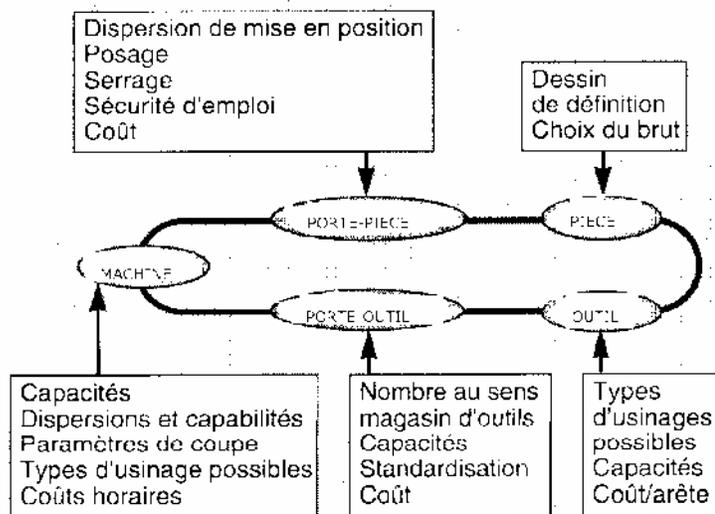


Figure 5.8. Eléments conduisant au choix d'une solution.

5.2.3. Règles de regroupement d'opérations

Ces règles comme nous le verrons s'appliquent également aux pièces cylindriques.

• Approche technologique

La précision du positionnement relatif des surfaces usinées tient :

- à la dispersion de mise en position dans le cas de surfaces liées géométriquement aux éléments physiques de posage (une seule surface par axe relève de ce cas);
- à la précision intrinsèque de la machine pour les surfaces dont les positions relatives résultent des déplacements obtenus par la machine et des écarts éventuels de la remise en position des outils.

Les dispersions de mise en position de la pièce sur son montage étant plus importantes que celles dues aux déplacements dans la machine, la gamme d'usinage devra limiter le nombre de fois où la pièce sera posée sur la machine (voir figure 5.9.).

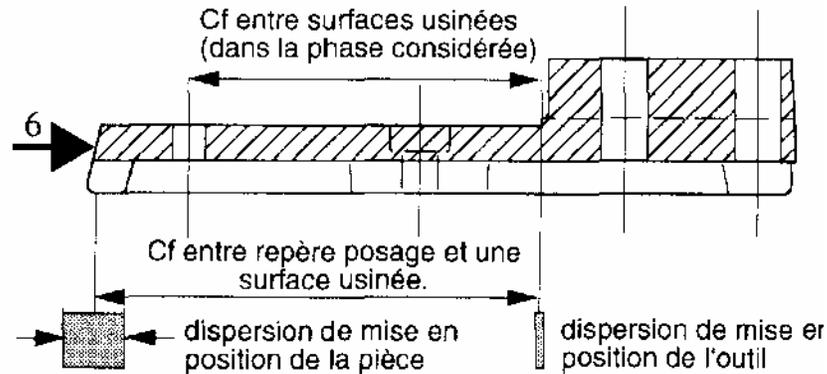


Figure 5.9. L'influence des dispersions sur l'IT des cotes fabriquées.

• Approche économique

Le but recherché est de réduire au maximum les coûts de production. En conséquence il faut réduire les temps improductifs et, parmi eux, les temps de montage- démontage, les temps de transfert, etc. Ceci conduit également à la limitation du nombre de montages -démontages.

Ces deux approches permettent d'énoncer les règles suivantes.

Règle 1 : Associer un maximum d'opérations dans une même phase

Ceci ne peut se réaliser sans la connaissance des possibilités en termes de cinématique de génération, de nombre d'outils, etc., des machines-outils et des outillages. Cela montre l'importance des dossiers machines. Cet aspect complémentaire amène à la deuxième règle.

Règle 2 : Exploiter au maximum les possibilités des machines et des outillages

Ces deux critères permettent de déterminer le nombre et le contenu des phases pour une pièce et une unité de production données. Il reste maintenant à ordonnancer ces phases et à faire un choix de posage pour chacune d'elles.

5.2.4. Règles permettant l'ordonnancement des phases et le choix des posages

Nous avons vu que la dispersion de mise en position était prépondérante pour la précision de la pièce à usiner. La qualité de la mise en position isostatique (stabilité, précision) est donc déterminante. Nous en déduisons des règles concernant le posage de la pièce.

Règle 3 : La qualité du posage doit être le critère prépondérant pour la mise en place de la pièce sur la machine-outil.

Règle 4 : Le posage doit permettre l'accessibilité maximale aux surfaces usinées.

Cette règle vise à diminuer le *nombre de reprises*, ce qui joue sur la qualité globale de la pièce, sur les temps et finalement sur le coût total, elle est en complet accord avec la règle d'association maximale des opérations.

Règle 5 : Le posage doit se traduire par une réalisation du porte- pièce la plus simple possible.

Cette règle vise à simplifier au maximum le montage pour réduire son coût, ce qui entraîne une réflexion plus profonde sur le choix des surfaces de départ qui ne doivent pas être forcément celles liées par une «cote» aux surfaces usinées. L'étape suivante, qui consiste à prévoir, par le calcul, la valeur des cotes fabriquées, permettra de qualifier le processus retenu, d'un point de vue dimensionnel et géométrique. Si le résultat est négatif, les changements à apporter seront induits par le calcul:

- modification de la surface de départ suivant un ou plusieurs axes;
- modification d'un des procédés retenus;
- modification d'un outil;
- modification des associations d'opérations.

Règle 6 : Le posage doit permettre l'ablocage.

Il est impératif de maintenir la pièce en position lorsqu'elle est soumise aux efforts de coupe, c'est le rôle du dispositif d'ablocage (serrage). La position des points de serrage est fortement induite par celle des points d'isostatisme; il est donc nécessaire de vérifier dès cet instant que le serrage est possible et que les surfaces à usiner restent accessibles.

• Démarche générale de recherche des surfaces d'appuis

Si l'on rapproche l'ensemble des quatre dernières règles, la réflexion que l'on peut conduire pour aboutir au choix d'un ordonnancement et simultanément de repères de posage peut se traduire par l'organigramme de la figure 5.10. Cette démarche privilégie un système bien particulier de mise en position:

- un appui plan, qui procure à la pièce la meilleure stabilité possible, une dispersion de reprise minimale et une grande simplicité de réalisation;
- et un **centreur - locating**, donne souvent des possibilités de maintien en position très simples.

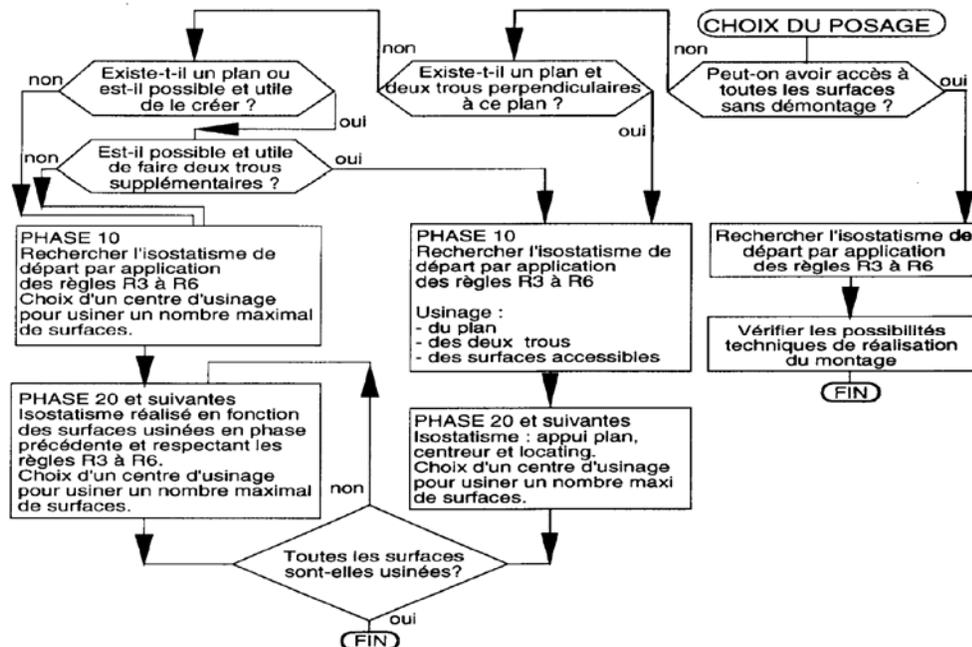


Figure 5.10 : Algorithme permettant le choix du référentiel de posage.

Toutefois, la démarche proposée n'exclut pas, en fonction de la morphologie de la pièce traitée, d'autres possibilités de mise en position. Chaque pièce est un cas particulier et la solution universelle n'existe pas. Le technicien chargé de la préparation doit avant tout faire preuve de bon sens et veiller à toujours appliquer les règles précédemment établies.

L'ensemble de ces règles (R1 à R 6) permet de trouver un processus parmi plusieurs possibles avec, comme souci principal, le prix de revient. Son application conduit à privilégier l'aspect économique (association maximale des opérations rendue possible par le choix du posage, déterminé lui-même par la volonté de rendre le montage d'usinage le plus simple possible), tout en visant une qualité maximale (choix de la mise en place de la pièce sur la machine). L'aspect technologique s'inscrit dans un démarche de vérification des solutions les plus économiques:

- vérification des possibilités des outillages et des machines;
- vérification de la possibilité de maintien en position de la pièce sous les efforts de coupe.

5.2.5. Avant-projet de la semelle de micro- perceuse

L'application de ces règles permet de proposer l'avant-projet figure 5.11. Les points suivants justifient les choix effectués.

• Association des opérations

Si l'on considère la pièce fixe, on peut s'apercevoir que tous les axes des outils prévus pour les usinages sont parallèles, il est donc possible à priori d'associer toutes opérations dans une même phase.

• Machine-outil

Puisque tous les axes des outils sont parallèles et atteignent les surfaces à usiner sans rotation de la pièce, une fraiseuse (un centre vertical) est suffisant d'un point de vue technique. Le point de vue économique confirme également ce choix.

• Posage

La stabilité de la pièce et la simplicité du montage imposent une liaison plane sur la surface la plus accessible et la plus grande : B1.

La pièce étant composée de plans, l'orientation est choisie pour être la plus efficace soit, sur le plus grand plan restant: B3.

La butée est mise sur le plan perpendiculaire aux deux premiers, minimisant les défauts de mise en position et rendant les surfaces à usiner accessibles, soit : B2.

SECTEUR PREPARATION DU TRAVAIL				PIECE Semelle de micro-perceuse		
ELABORATION des GAMMES de FABRICATION						
FICHE D'ELABORATION DE LA GAMME OPERATIONNELLE						
Repère des surfaces	Désignation de l'entité	Outil employé	Antériorité	Regroupement des entités	M.O.	Ordonnancement Isostatisme
1-15-16	Trois plans associés sécants deux à deux	F2T			C U V	PHASE 10 Appui plan sur B1 Orientation sur B3 Butée sur B2
2	Plan	F1T				
3-6	Deux plans associés sécants	éb : F1T fin : F1T				
4	Trou débouchant	éb:foret fin:f.aléseur				
5	Trou débouchant	éb:foret fin:f.aléseur				
7	Trou débouchant	Foret				
8	Trou débouchant	Foret				
9-13	Trou lamé	F.2T coupe au centre				
10-14	Trou lamé	F.2T coupe au centre				
11	Taraudage	Taraud Foret ←	Trou débouchant			
12	Chanfrein	Foret à pointer				
17	Trou débouchant	Foret				

Figure 5.11 : Avant-projet la semelle de micro - perceuse.

5.3. ELABORATION DES GAMMES DE FABRICATION DES PIÈCES

CYLINDRIQUES

5.3.1. Construction du projet de gamme de fabrication

La figure 5.12. montre le cheminement de réflexion menant au résultat final. Comme pour les pièces prismatiques, on se place dans le cas où aucune pièce du type proposé n'a déjà été réalisée dans l'entreprise.

Une pièce de forme globale cylindrique est composée d'un ensemble de surfaces de révolution (cône, cylindre, plan, tore; voir figure 5.13), auxquelles viennent s'ajouter des surfaces complémentaires qui peuvent être des plans, des rainures, des trous, des taraudages, etc. (voir figure 5.14).

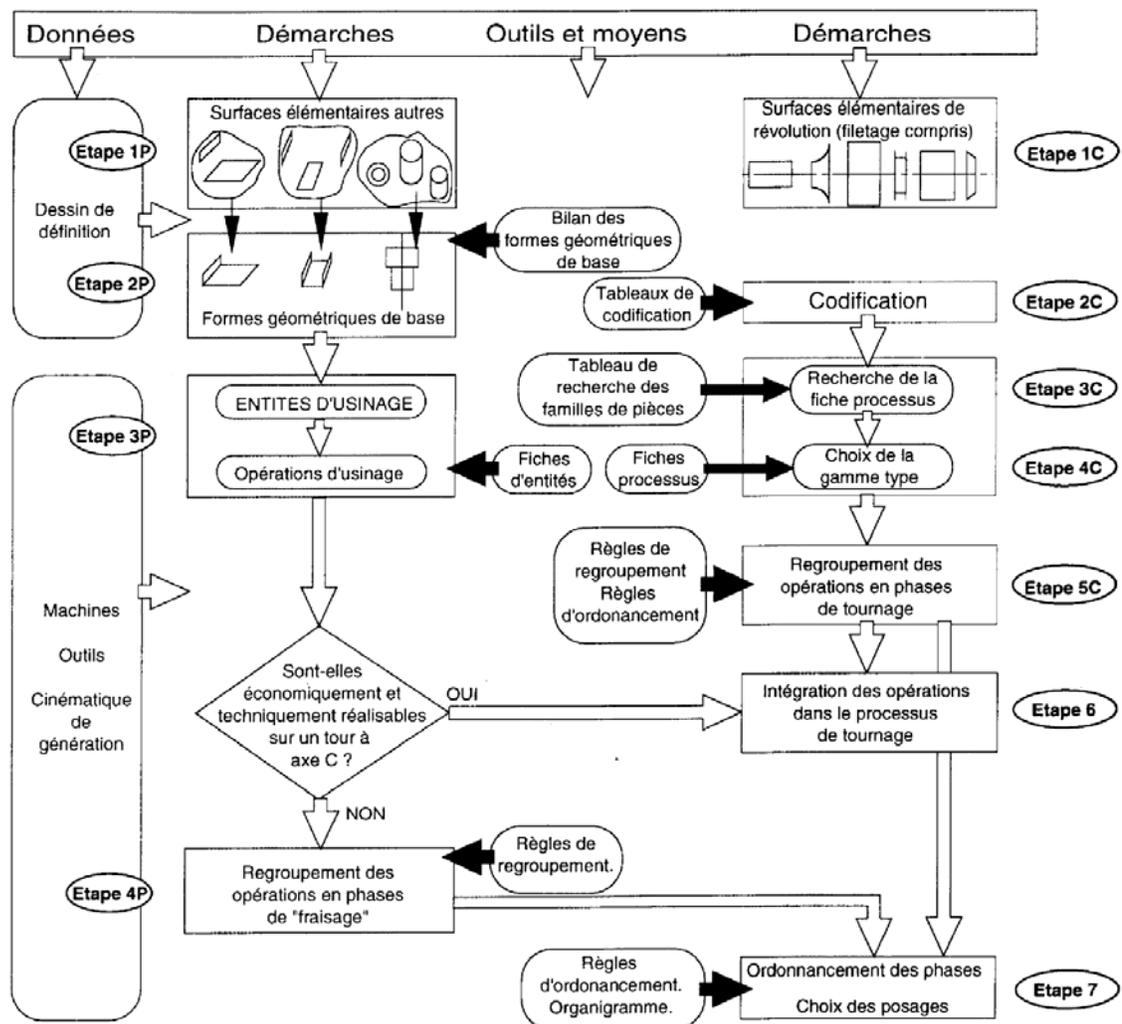


Figure 5.12. Recherche d'un projet de gamme pour une pièce cylindrique

Les surfaces élémentaires de non-révolution seront analysées avec la même démarche que pour les pièces prismatiques, on aboutira donc à un répertoire d'opérations à effectuer. Les fiches d'entités

utilisées seront fonction des moyens techniques disponibles, tour à axe C ou centre d'usinage, ou machines-outils traditionnelles, après analyse économique concernant la rentabilité de ces moyens.

Les surfaces élémentaires de révolution étant limitées en nombre, les morphologies générales des pièces de révolution le seront également et il devient possible de déterminer des grandes familles morphologiques. L'aspect dimensionnel ne pouvant pas être négligé comme facteur de différenciation, le classement des pièces cylindriques peut se concevoir selon un aspect morpho- dimensionnel. Compte tenu des moyens modernes utilisés pour l'usinage des pièces de révolution (tour à commande numérique), les similitudes morphologiques peuvent se combiner avec des similitudes de processus. Si l'on suppose que les pièces sont non déformables et que l'on ne fait subir ni traitements thermiques ni rectification, les processus d'usinage peuvent être aisément répertoriés.

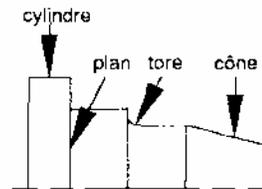


Figure 5.13. Surfaces élémentaires composant une pièce de révolution

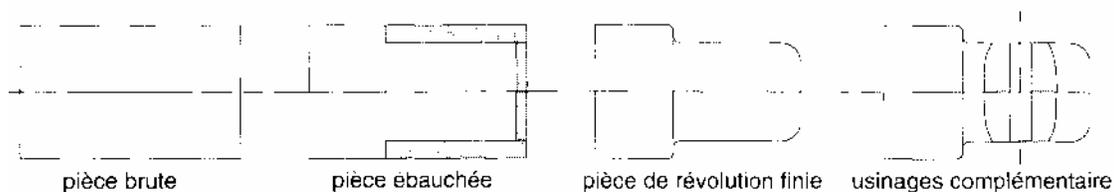


Figure 5.14. Exemple de pièce cylindrique

La relation existant entre la morphologie générale d'une pièce de révolution et un processus de production va permettre d'élaborer pour chaque famille morpho- dimensionnelle une « fiche processus » dans laquelle les modes de réalisation possibles seront répertoriés. Le choix de l'un d'entre eux donnera immédiatement la gamme de fabrication de la pièce de révolution type de la famille, d'où l'appellation « gamme type ». L'application des règles précédemment énoncées et une approche technico-économique sur les moyens de réalisation des surfaces de nonrévolution permettront soit l'intégration des opérations de fraisage, de perçage ou de taraudage dans les phases de tournage, soit l'ordonnancement des phases de tournage, de fraisage et de perçage- taraudage. Afin de pouvoir classer la pièce étudiée dans une famille et de disposer des éléments pour réaliser rapidement la gamme de fabrication, on commence par coder la pièce.

• Etape 2C : codification des pièces cylindriques

L'avantage du codage est la possibilité de consultation rapide de la mémoire de l'entreprise. Il existe plusieurs systèmes de codification dont celui du CETIM qui code la pièce selon treize critères. Le résultat obtenu est donc un code à treize chiffres. Il est à remarquer que, d'un point de vue morphologique, ce système a l'avantage de prendre en compte l'ensemble des pièces cylindriques qu'elles soient purement de révolution ou non (voir figure 5.15).

Afin de classer les pièces de révolution en familles morpho- dimensionnelles, seuls les quatre premiers rangs du code nous intéressent. Nous allons voir sur un exemple comment coder une pièce (quatre rangs) et retrouver la fiche processus correspondant à la famille identifiée par le code.

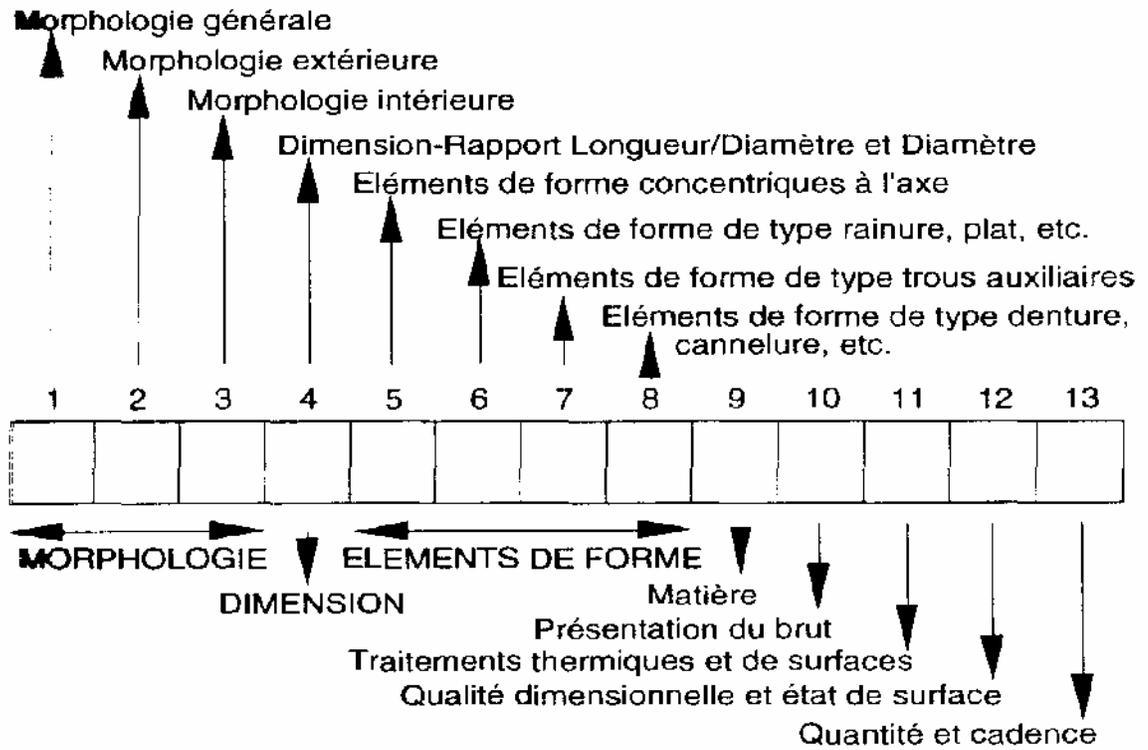


Fig.15.

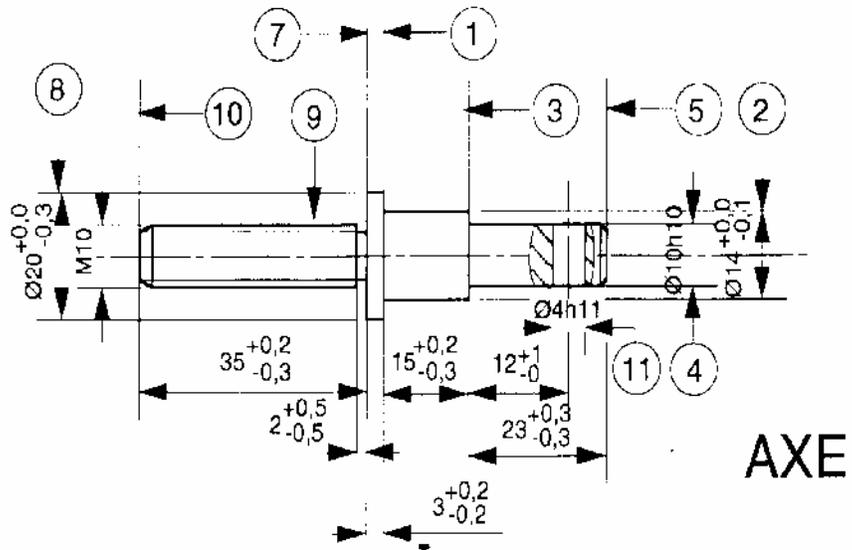


Figure 5.16. « Pièce axe ».

Soit le dessin de définition partiel de la pièce cylindrique « axe » figure 5.16.

Examinons le tableau figure 5.17. permettant de trouver le chiffre correspondant au premier rang de la codification. Celui-ci concerne la morphologie générale de la pièce. On peut rapprocher les différents codes des propriétés géométriques précédemment énoncées des pièces cylindriques.

PIECES DE REVOLUTION RANG 1 : MORPHOLOGIE GENERALE		
code	morphologie	exemples
	$L/D < 1$	
	$1 < L/D < 4$	
	$L/D > 4$	
	$L/D < 1,5$	
	$L/D > 1,5$	
	multi-axiale axes // uniquement	
	segment	
	secteur circulaire	
	autres	

Annotations du tableau :

- Toutes les surfaces ont le même axe de rotation
- L'ensemble des surfaces possédant un axe de rotation commun est largement prépondérant sur les autres
- Toutes les surfaces ne possèdent pas un axe de rotation
- Les surfaces peuvent avoir des axes de révolution différents mais parallèles. Exemple : un excentrique.
- Portion de pièce circulaire dont le secteur est $> 180^\circ$
- Portion de pièce circulaire dont le secteur est $< 180^\circ$

Classification des sections transversales :

- à section transversale maximale : ronde
- de non révolution

Figure 5.17. Codage rang n° 1.

Codes 0, 1 et 2 : la géométrie générale de la pièce comporte un axe de révolution, la distinction entre les trois possibilités se fait d'après le rapport entre la longueur totale et le diamètre maximal.

Codes 3 et 4 : la majorité des surfaces comporte un axe de révolution, la séparation est la même que pour les codes 0, 1 et 2.

Code 5 : l'ensemble des surfaces peut avoir plusieurs axes de révolution parallèles.

Codes 6 et 7 : la forme de révolution est incomplète; suivant la portion circulaire on parle de segment (code 6), ou de secteur (code 7).

En face de chaque code, des exemples de formes de pièces donnent un aperçu général des géométries correspondantes.

Recherche du code de rang 1 de la pièce « axe »



— la géométrie générale de la pièce comporte un axe de révolution, d'où les trois codes possibles : 0, 1 ou 2;

— le rapport L/D est égal à $76/20 = 3,8 < 4$, d'où le code final: 1.

La figure 5.18. permet de trouver le chiffre correspondant au deuxième rang de la codification. Celui-ci concerne la morphologie extérieure de la pièce.

PIECES DE REVOLUTION RANG 2 : MORPHOLOGIE EXTERIEURE		
code	morphologie	exemples
0	1 cylindre brut	
1	1 cylindre usiné	
2	2 cylindres	
3	> 2 cylindres et variant dans un sens	
4	variant de façon symétrique	
5	variant de façon quelconque	
6		
7	filet de mouvement cône fonctionnel sphère fonctionnelle	
8	génératrice curviligne	
9	autres	

Annotations:

- étagement progressif des diamètres avec une variation continue du plus petit au plus grand (pointing to code 3)
- ensemble de géométries assurant une liaison fonctionnelle avec une autre pièce (pointing to code 7)

Fig.18. Codage rang n°2.

Codes 0, 1, 2, 3, 4 et 5 : la différenciation entre les codes provient:

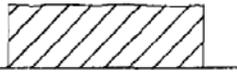
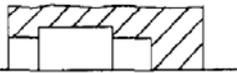
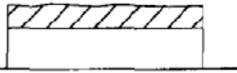
- de l'usinage ou non d'un cylindre;
- du nombre d'étagements existant (variations de diamètres);
- de la position de ces étagements donnant une forme symétrique ou quelconque. Code 7 : les surfaces coniques, sphériques ou le filet de mouvement participent à une liaison fonctionnelle avec une autre pièce.

Code 8 : la forme de la pièce est donnée par la rotation autour d'un axe d'une ligne courbe.

Recherche du code de rang 2 de la pièce « axe » : quatre diamètres variant de façon quelconque donc code 5.

1	5		
---	---	--	--

La figure 5.19. permet de trouver le chiffre correspondant au troisième rang de la codification. Celui-ci concerne la morphologie intérieure de la pièce.

PIECES DE REVOLUTION RANG 3 : MORPHOLOGIE INTERIEURE		
code	morphologie	exemples
0	sans	
1	avec un trou borgne	
2	variant dans un sens non débouchant	
3	variant de façon quelconque non débouchant	
4	avec deux trous non débouchants	
5	avec un trou débouchant	
6	variant dans un sens débouchant	
7	variant de façon quelconque débouchant	
8	filet de mouvement cône fonctionnel sphère fonctionnelle	
9	autres	

ensemble de géométries assurant une liaison fonctionnelle avec une autre pièce

Figure 5.19. Codage rang n 3.

Codes 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7 : la différenciation entre les codes provient:

- de l'existence ou non des formes intérieures;
- de l'aspect débouchant ou borgne de ces formes;
- du nombre d'étagements;
- de la position de ces étagements donnant une forme symétrique ou quelconque.

Code 8 : les surfaces coniques, sphériques ou le filet de mouvement participent à une liaison fonctionnelle avec une autre pièce.

Recherche du code de rang 3 de la pièce « axe » : pas de forme intérieure donc code 0.

1	5	0	
---	---	---	--

La figure 5.20. permet de trouver le code correspondant au quatrième rang de la codification. Celui-ci concerne plus particulièrement l'aspect dimensionnel de la pièce. Deux éléments sont pris en compte:

- la valeur du rapport L/D , L étant la longueur totale de la pièce et D le diamètre le plus grand;
- la valeur du plus grand diamètre. Dans le cas de sections non circulaires la valeur sera celle du cercle circonscrit. Si la pièce possède des axes parallèles multiples, la valeur sera celle du plus grand des diamètres : $D2$ sur l'exemple du tableau.

Recherche du code de rang 4 de la pièce « axe » :

- longueur totale : $L = 76$;
- diamètre maxi : $D = 20$;
- rapport $L/D = 76/20 = 3,8 < 4$, d'où les codes possibles 4, 5 et 6;
- $D = 20$ d'où le code final 4.

1	5	0	4
---	---	---	---

PIECES DE REVOLUTION RANG 4 : DIMENSION - RAPPORT L/D ET D			
code	dimension		exemples particuliers
0	$L/D < 1$	$0 < D < 40$	
1		$40 < D < 80$	
2		$80 < D < 200$	
3		$D > 200$	
4	$1 < L/D < 4$	$0 < D < 40$	
5		$40 < D < 80$	
6		$D > 80$	
7	$L/D > 4$	$0 < D < 40$	
8		$40 < D < 80$	
9		$D > 80$	

rapport entre le plus grand diamètre et la longueur totale de la pièce

dans le cas de sections non circulaires on prendra comme diamètre celui du cercle circonscrit à la forme générale de la pièce

Figure 5.20. Codage rang n°4.

La figure 5.21. résume les réflexions ayant conduit à l'élaboration du code de la pièce exemple « axe ». Celui-ci étant trouvé, il faut maintenant en déduire l'appartenance à une famille connue.

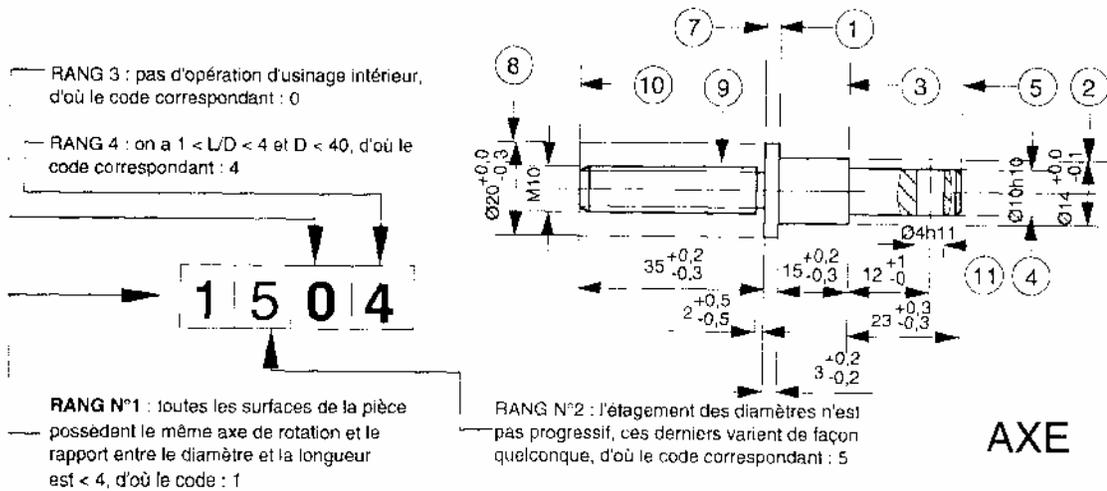


Figure 5.21. Code complet l'axe.

5.3.2. Détermination de la gamme type

• Etape 3C : recherche de la fiche processus

Les trois premiers rangs du système de codification permettent de retrouver dans les grandes familles morphologiques, différenciées selon leurs formes générales, extérieures et intérieures (exemple: arbres pleins étagés extérieur, arbres creux non étagés intérieur ou arbres creux étagés intérieur et extérieur, etc.). Le quatrième rang les différencie en fonction de l'aspect dimensionnel (exemples : arbres pleins courts étagés extérieur, arbres pleins longs étagés extérieur, etc.). Le tableau figure 5.22. présente le démarche à suivre pour globaliser les quatre premiers rangs et trouver ainsi la famille correspondant au code; seules les familles les plus courantes sont représentées.

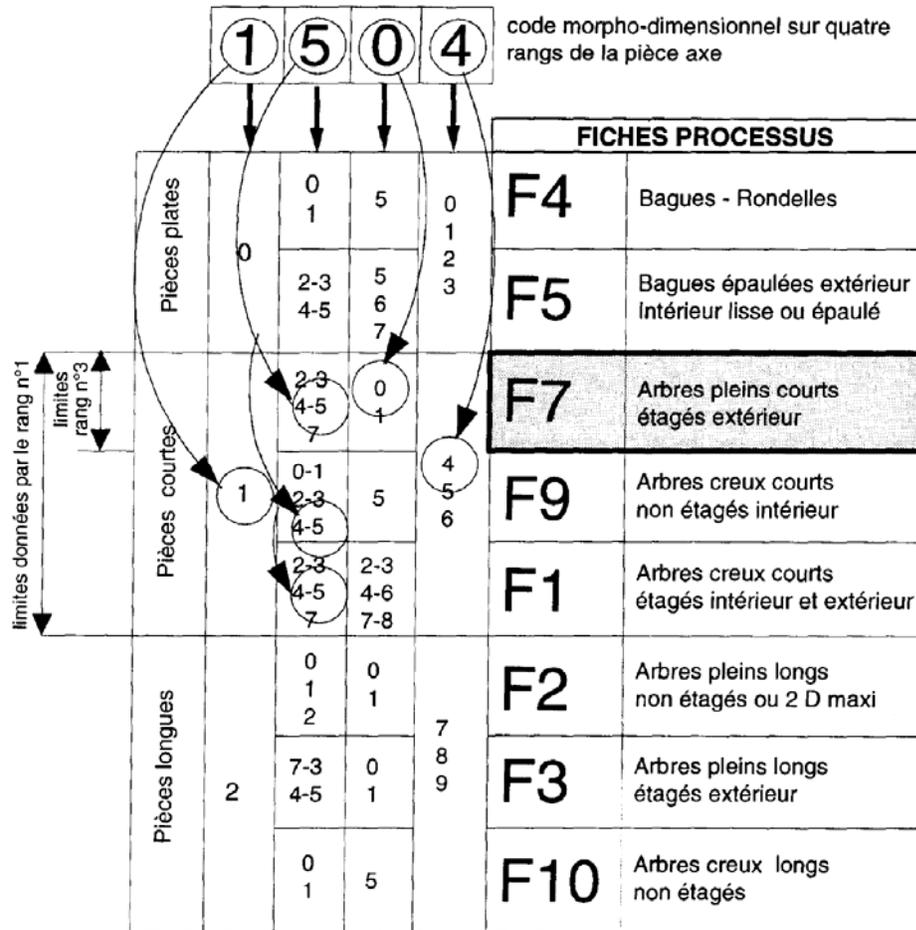


Figure 5.22. Tableau de correspondance entre le code et la famille de pièces.

Si l'on reprend l'exemple de la pièce « axe », on s'aperçoit que :

- le rang n° 1 donne une première limite, qui est en fait celle des pièces courtes, correspondant aux familles F_i, F7 et F9;
- le rang n° 2 n'est pas restrictif pour cette pièce puisque le code 5 est une possibilité pour les trois familles potentielles;
- le rang n° 3 donne une deuxième limite et une seule possibilité, la famille F7;
- le rang n° 4 n'est pas plus restrictif que le rang N° 2.

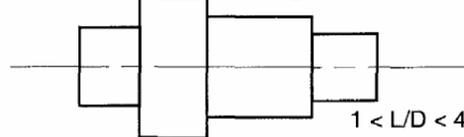
L'axe considéré est donc une pièce de la famille des arbres pleins courts étagés à l'extérieur. La fiche processus F7 que l'on peut extraire de la banque de données de l'entreprise va nous renseigner sur les processus possibles employables pour sa fabrication (figure 5.23.).

ARBRE PLEIN COURT ETAGES EXTERIEUR

Fiche processus **F7**

Partie A

Partie B

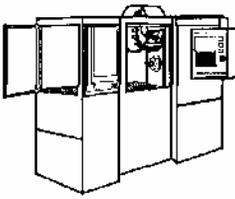
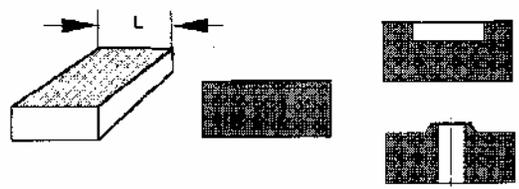
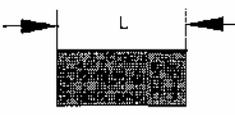
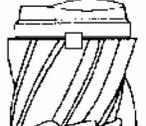
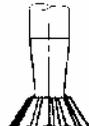
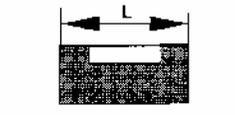
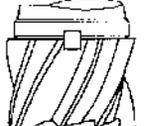
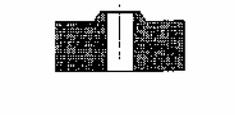


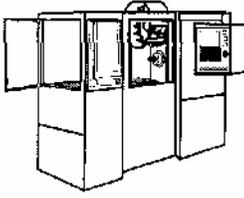
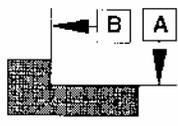
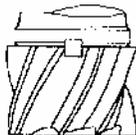
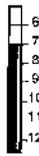
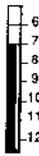
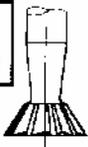
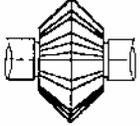
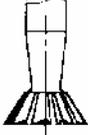
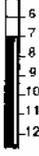
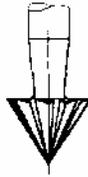
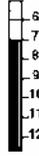
TOUR A COMMANDE NUMERIQUE : CODE 3

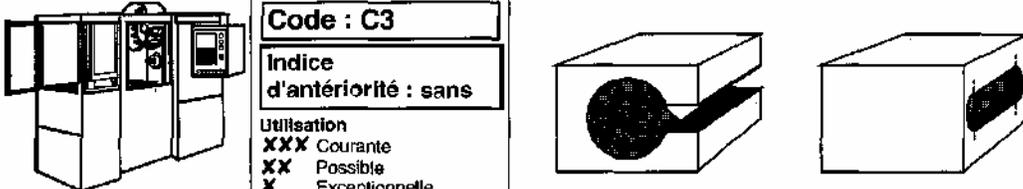
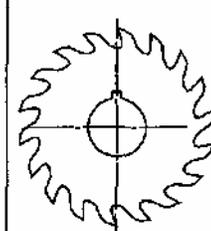
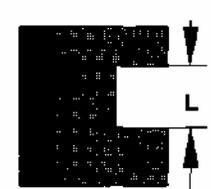
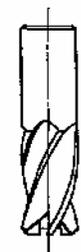
Processus N° 1 code 1	Processus N° 2 code 2	Processus N° 3 code 3
<p>PHASE 10 TCN1</p> <p>Usinage partie A ou B : - ébauche puis finition; - tronçonnage si travail en barre</p>	<p>PHASE 10 TCN1</p> <p>Usinage des deux parties : - ébauche de A et B; - finition de A et B; - tronçonnage.</p> <p>Remarques : - ce processus est à réserver au travail en barre; - la partie "côté barre" ne doit pas avoir un écart diamétral très important avec le diamètre commun.</p>	<p>PHASE 10 TCN1</p> <p>Usinage première partie : ébauche</p>
<p>PHASE 20 TCN2</p> <p>Usinage partie restante ébauche puis finition.</p> <p>Remarques : - le choix du premier côté usiné relève de la règle R3 (paragraphe 5.3.3); - la finition du diamètre commun aux deux parties sera faite dans la phase ou l'exigence de coaxialité avec un autre diamètre est la plus forte. Toutefois, si la dispersion probable de reprise est très inférieure à la spécification de coaxialité, le critère retenu est alors celui de l'équilibrage des temps de chaque phase; - travail en sous-phase possible (retournement de la pièce) si on possède un diamètre identique ou si on peut aménager les mors.</p>	<p>Processus N° 4 code 4</p> <p>PHASE 10 machine à centrer-dresser</p> <p>Mise à longueur et réalisation de deux centrages.</p> <p>PHASE 20 TCN1</p> <p>- Ebauche des deux côtés. - Finition des deux côtés. (entraîneur frontal employé)</p> <p>Remarque : ce processus peut être employé lorsque la spécification de coaxialité entre deux diamètres de deux parties est très faible et les ébauches peu importantes.</p>	<p>PHASE 20 TCN2</p> <p>Usinage partie restante : ébauche</p> <p>PHASE 30 TCN3</p> <p>Finition des deux côtés. (entraîneur frontal employé)</p> <p>Remarque : ce processus peut être employé lorsque la spécification de coaxialité entre deux diamètres de deux parties est très faible et les ébauches importantes.</p>

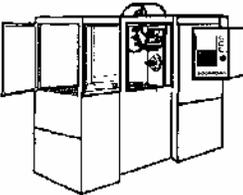
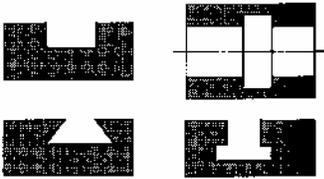
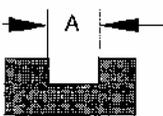
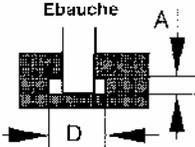
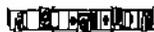
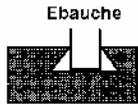
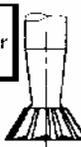
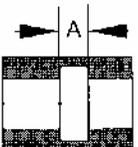
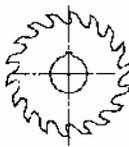
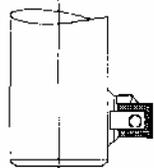
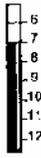
Figure 5.23. Fiche processus de la famille F7.

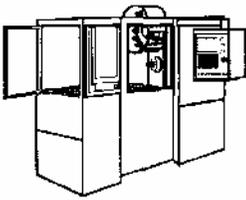
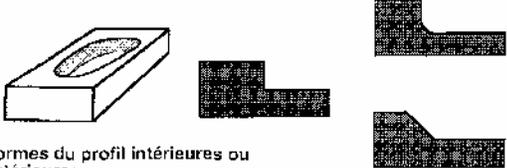
5.4. EXEMPLES « FICHES ENTITEES »

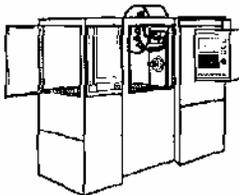
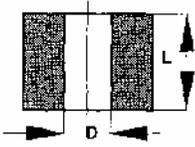
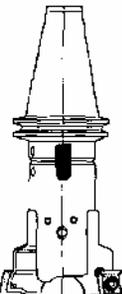
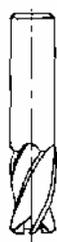
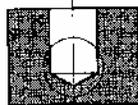
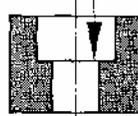
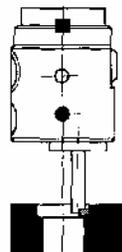
Centre d'usinage	Plan		C1
	<p>Code : C1</p> <p>Indice d'antériorité : sans</p> <p>Utilisation XXX Courante XX Possible X Exceptionnel e</p>		
Géométries	Opérations		
	<p>Fraisage</p> <p>Fraise 1 taille</p> <p>Qualité obtenue: X</p>  <p>Code C111</p>	<p>Fraisage</p> <p>Fraise 2 tailles $D < L$</p> <p>Qualité obtenue: XXX</p>  <p>Code C112</p>	<p>Fraisage</p> <p>Fraise 2 tailles conique</p> <p>Qualité obtenue: X</p>  <p>Code C113</p>
	<p>Fraise 1 taille</p> <p>Qualité obtenue: X</p>  <p>Code C121</p>	<p>Fraise 2 tailles $D < L$</p> <p>Qualité obtenue: XXX</p>  <p>Code C122</p>	
		<p>Fraise 2 tailles</p> <p>Qualité obtenue: XXX</p>  <p>Code C131</p>	

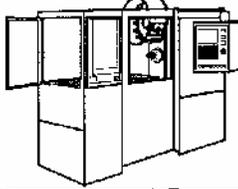
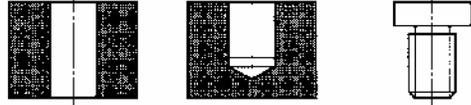
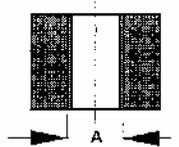
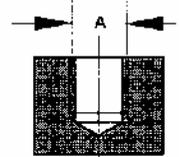
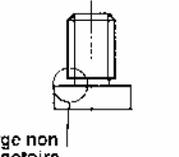
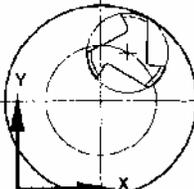
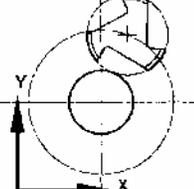
Centre d'usinage		2 plans sécants associés				C2
		Code : C2 Indice d'antériorité : sans Utilisation XXX Courante XX Possible X Exceptionnel				
Géométries		Opérations				
	Fraisage	Qualité obtenue	Fraisage	Qualité obtenue	Fraisage	Qualité obtenue
 Usinage de forme limite Ra = 1,6 Usinage d'enveloppe Ra = 0,8 Code C21	Fraise 2 tailles  Code C211	XXX 	Fraise 3 tailles  Code C212	XXX 	Remarque : Pour les cas 211 et 212, si pour les surfaces A et B, Ra = 0,8, il faut dissocier les surfaces. Se reporter alors à la fiche C1	
 Code C22	Fraise 2 tailles conique Antériorité : Ebauche voir cas 211 Travail de finition  Code C121	XXX 				
 Code C23	A traiter comme deux plans indépendants Antériorité : Voir fiche C1 Ebauche possible en appliquant le code C211					
 Si l'angle entre les deux surfaces est de 90°, se reporter à la fiche C1 Code C24	Fraise biconique 2 surfaces de forme  Code C241	XXX 	Fraise 2 tailles conique 1 surface de forme 1 surface d'enveloppe  Code C242	XXX 	Fraise conique 2 surfaces de forme  Code C243	XX 

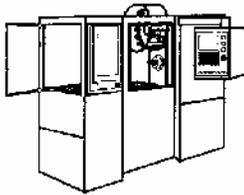
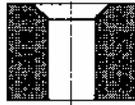
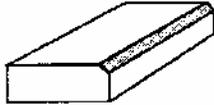
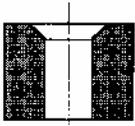
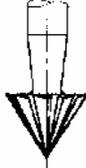
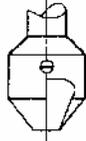
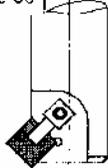
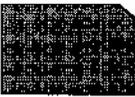
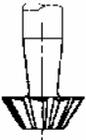
Géométries		Opérations			
		Fraisage	Qualité obtenue	Fraisage	Qualité obtenue
<p>2 plans parallèles C3</p> <p>Code : C3</p> <p>Indice d'antériorité : sans</p> <p>Utilisation XXX Courante XX Possible X Exceptionnelle</p> 		<p>Fraise scie</p> <p>XXX</p>  	<p>Fraise 3 tailles</p> <p>XXX</p>  		
<p>La choix entre les deux types d'outil se fait en fonction de la distance entre les deux plans parallèles.</p>  <p>Code C31</p>	<p>Code C311</p>	<p>Code C312</p>			
 <p>Remarque : ce cas revient à étudier un profil particulier avec un cycle de contourage si la largeur L est supérieure au diamètre de la fraise.</p> <p>Code C32</p>	<p>Fraise 2 tailles</p> <p>XXX</p>  <p>Fraise avec coupe au centre si travail en plongée</p> 				
	<p>Code C321</p>				

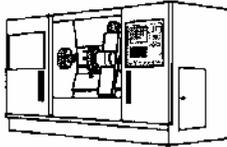
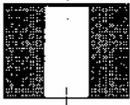
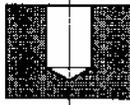
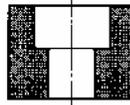
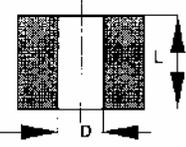
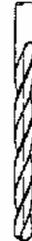
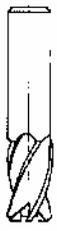
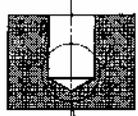
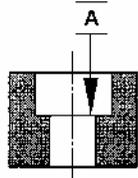
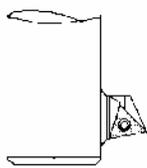
Centre d'usinage		3 plans associés sécants 2 à 2				C	
		Code : C4					
Indice d'antériorité : sans		Utilisation XXX Courante XX Possible X Exceptionnelle					
Géométries		Opérations					
		Fraisage	Qualité obtenue	Fraisage	Qualité obtenue	Alésage	Qualité obtenue
	Fraise 2 tailles Si $D < A$, cycle de contournage Si $A > A$, passage direct		XXX 	Fraise 3 tailles A : épaisseur de la fraise.			
Code C41	Code C211			Code C212			
	Fraise 3 tailles Antériorité : ébauche voir fiche C1 A : épaisseur de la fraise D : diamètre de la fraise		XXX 				
Code C42	Code C121						
	Fraise 2 tailles conique Antériorité : ébauche voir fiche C1		XXX 				
Code C43	Code C131						
	Fraise 3 tailles Si $A = E$, cycle simple Si $A > E$, déplacement axial en plus du cycle				XXX 	Barre d'alésage 	XX 
Code C44	Code C441			Code C442			

Centre d'usinage		Profil intérieur ou extérieur			C5	
		Code : C5 Indice d'antériorité : sans Utilisation xxx Courante xx Possible x Exceptionnelle		 Formes du profil intérieure ou extérieures		
Géométries		Opérations				
	Fraisage	Qualité obtenue	Qualité obtenue		Qualité obtenue	
 Code C55	Fraise 2 tailles  Travail en cycle de poche (intérieur) ou de contournage (extérieur) Code C551	xxx 				
 Code C12	Fraise 2 tailles à bout sphérique Antériorité : ébauche voir fiche C1  Travail de finition Travail en cycle de poche (intérieur) ou de contournage (extérieur) Code C121	xxx 				
 Code C57	Fraise 2 tailles conique à bout sphérique Antériorité : ébauche voir fiche C1  Travail de finition Travail en cycle de poche (intérieur) ou de contournage (extérieur) Code C571	xxx 				

Centre d'usinage		Trous borgnes et débouchants			C6	
		Code : C6		Trou débouchant	Trou borgne	Trou lamé
		Indice d'antériorité : Sans				
Utilisation xxx Courante xx Possible x Exceptionnelle						
Géométries		Opérations				
		Perçage	Alésage		Fraisage	
		Foret  Code C61-621	Alésage Alésage ou tête à aléser  Code C613-623 Antériorité : trou d'ébauche	Barre d'alésage et grain  Code C 603	Fraise 2 tailles  Code C 604	
 <p>Toute forme admise</p>		Foreur  D : 16 mini Code C612-622	Foret alésage Foret alésage ou tête à aléser  Code C614-624	La fraise est à coupe au centre ou non selon l'état brut du trou		
		Foret étagé  Code C631	Alésage, tête à aléser  Code C601-602 La forme du grain est à adapter en fonction de la forme de la surface A			

Centre d'usinage	Filetage intérieur et extérieur				C7
	Code : C7 Indice d'antériorité : C6				
	Utilisation XXX Courante XX Possible X Exceptionnelle				
Géométries		Opérations			
		Fraisage	Taraudage	Filetage	
Le choix du type d'outil relève d'un calcul de prix de revient (coût outil, quantité produite, gain de productivité...)					
Fraise taraud xxx		Taraud machine xxx			
Antériorité : Alésage d'ébauche en intérieur Cylindre pour l'extérieur		Antériorité : trou d'ébauche voir fiche C6			
Mouvement de génération : interpolation hélicoïdale		Mouvement de génération hélicoïdal			
Limitation : $A > M 2,5$		Limitation : en fonction des capacités de la machine utilisée			
 Code C71		 Code C72		 Code C73	
Filetage intérieur		Filetage extérieur			
					
Gorge non obligatoire		Appareil à tarauder			
Code C701		Code C711- 712			

Centre d'usinage		Chanfrein				C8
		Code : C8 Indice de C1 d'antériorité : à C6		 		
		Utilisation xxx Courante xx Possible x Exceptionnelle				
Géométries		Opérations				
	Fraisage	Qualité obtenue	Perçage	Qualité obtenue	Alésage	Qualité obtenue
 Code C81	Fraise de forme Antériorité : trou d'ébauche voir fiche C6  Détourage : limitation par la valeur du diamètre Code C814	xxx Fraise à chanfreiner Antériorité : trou d'ébauche voir fiche C6  Code C811 Foret à pointer Antériorité : trou d'ébauche voir fiche C6 Remarque : le pointage peut servir de chanfreinage Code C812	xxx Barre d'alésage Antériorité : trou d'ébauche voir fiche C6  Code C813 xx	6 7 8 9 10 11 12	6 7 8 9 10 11 12	
	 Code C82	Fraise de forme Antériorité : Plans sécants : voir fiches C1 à C5  Code C821	xxx 6 7 8 9 10 11 12			

Tour à commande numérique		Trou			T1	
		Code : T1	Trou débouchant 	Trou borgne 	Trou lamé 	
Indice d'antériorité : sans		Utilisation xxx Courante xx Possible x Exceptionnelle				
Géométries		Opérations				
		Perçage	Alésage	Fraisage		
Tour à axe C si l'axe du trou n'est pas confondu avec l'axe de la pièce 		Foret 	Alésoir A n'utiliser que pour les opérations de finition 	Fraise 2 tailles 	Qualité obtenue xxx	
Code T11	Code T111-121	Code T112	Code T112			
 Toute forme admise		Foreur 	Foret alésoir 	La fraise est à coupe au centre ou non selon l'état brut du trou	Qualité obtenue xxx	
Code T12	Code T111-121	Code T112-122				
		Foret étagé 	Barre d'alésage et grain  La forme du grain est à adapter en fonction de la forme de la surface A (voir catalogues fabricants)	Qualité obtenue xxx		
Code T13	Code T131	Code T112-122-132	Code T113-123-133			

5.5. LE CONTRAT DE PHASE

Un contrat de phase est un document élaboré à partir de l'avant-projet de fabrication, décrivant de manière précise et chronologique les éléments permettant:

- de déterminer la cotation de fabrication
- d'étudier les montages d'usinage à réaliser
- d'élaborer le programme en commande numérique
- de mettre en place la phase d'usinage sur la machine
- de prévoir les contrôles.

5.5.1. Différents éléments entrant dans la constitution d'un contrat de phase

Un contrat de phase est dit prévisionnel tant que le processus de fabrication n'a pas été validé par la production (voir figure 5.24.). Après cette étape et d'éventuelles modifications, il devient définitif et vient enrichir le savoir-faire de l'entreprise.

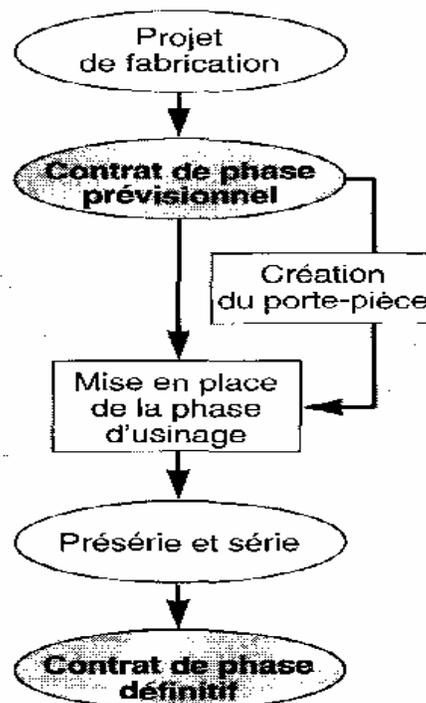


Fig.5.24. Position du Contrat de phase dans le processus d'industrialisation d'un produit

Le document qui le matérialise contient de nombreuses informations (voir figure 5.25.).

- La partie supérieure du contrat de phase donne les éléments descriptifs de la pièce et de son programme de fabrication, à savoir :
 - son nom et celui de l'ensemble auquel elle appartient;
 - la matière et le mode d'élaboration du brut ;
 - la désignation de la phase, la chronologie des opérations et la machine-outil employée;
 - le nombre de pièces à fabriquer, la taille des lots, la cadence de production.
- La zone centrale est réservée aux descriptions graphiques et comporte:
 - la pièce représentée telle qu'elle sera usinée en fin de phase; il est également possible de faire ressortir les surfaces à usiner en les dessinant d'une couleur différente;

— l'indication de l'origine programme et des axes de la machine permettant, d'une part, la mesure des décalages au niveau du directeur de commande numérique et, d'autre part, l'orientation dans les bonnes directions du montage d'usinage sur la machine-outil, (pour les machines à CN)

— la cotation de fabrication, qui permettra la réalisation du programme et servira de base pour élaborer le contrôle dimensionnel,

— le positionnement isostatique avec indication normalisée des éléments technologiques pour permettre la conception du porte- pièce. Les indications de serrage pourront ou non être indiquées selon que l'on considère ou non qu'elles soient plutôt du ressort du concepteur du porte- pièce.

• La zone du bas est réservée :

— au descriptif des opérations d'usinage et à leur ordonnancement précis;

— à l'indication des outils utilisés, avec le cas échéant leur désignation normalisée

(plaquette et porte- plaquette);

— à l'indication des conditions de coupe (V, s, ...) et des temps utiles permettant la réalisation du devis.

CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N° : 10		Ensemble : MICRO PERCEUSE Élément : SEMELLE Matière : AS13 Programme : 100 pièces/lots de 20		PREPARATION DU TRAVAIL		1		
NOM :								
Désignation : fraisage, perçage, taraudage								
Machine -outil : CENTRE D'USINAGE VERTICAL								
Désignation des opérations		Outils		V	N	F	Tt	Tc
1- surfacer ébauche 3, 6 fini. 2		fraise 1 taille D>50						
2- surfacer finition 3, 6		fraise 1 taille D>50						
3- lamage de 7, 8		fraise 2T coupe au centre D=12 mm						
4- pointage de 4, 5, 9,10,11,17		foret à pointer D=10						
5- perçage de 4, 5		foret D=9,5						
6- perçage de 9,10,17		foret D=7						
7- rainurage de 1,15,16		fraise 2T D=4						
8- perçage de 11		foret D=5						
9- taraudage de 11		taraud machine M6						
10- alésage de 4, 5		alésoir D=10						

Zone haute permettant l'identification :

- de la pièce;
- du programme de fabrication;
- des types d'opérations;
- du type de machine utilisée.

Zone médiane de description graphique contenant :

- des silhouettes de la pièce afin de repérer les surfaces à usiner et les surfaces brutes de départ d'usinage;
- la mise en position isostatique (norme deuxième partie);
- la situation de l'origine programme;
- la direction des axes machines;
- la cotation de fabrication (non indiquée ici pour un souci de clarté).

Zone basse comportant :

- la liste ordonnée des opérations à effectuer;
- les outils correspondants avec leurs désignations normalisées;
- les conditions de coupe employées;
- une indication éventuelle des temps technologiques et de coupe.

Fig.25.Exemple de contrat de phase : semelle de micro- perceuse

5.5.2. Méthodologie de vérification d'un avant-projet de fabrication

Les figures 5.26 à 6.29 présentent sur l'exemple de la semelle de micro-perceuse la démarche à employer (suivant un axe) pour contrôler un avant-projet.

- Mise en place des conditions du bureau d'études (BE) sur le dessin de définition

La cotation fonctionnelle du bureau d'études représente l'ensemble des « cotes conditions » qu'il faut respecter. Mais elles ne sont pas toutes à simuler; celles obtenues directement par un outil (exemple trou percé avec un foret) résultent, en termes de qualité, des possibilités des outillages. Les fabricants de ces outils donnent toujours leurs limites et la vérification de faisabilité est immédiate. Il est également indispensable que le technicien indique la surface servant d'appui pour la première phase d'usinage.

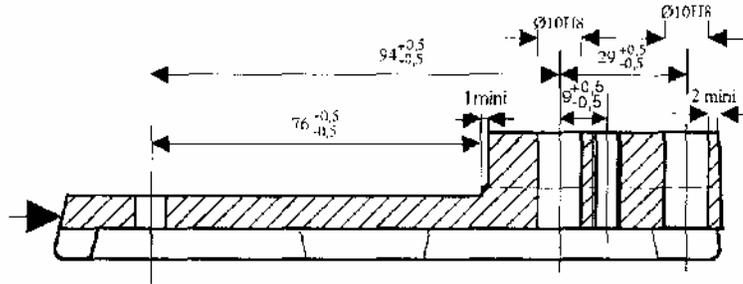


Figure 5.26. Mise en place des conditions BE et de l'indication de la surface d'appui.

• Choix des cotes fabriquées définissant le brut

La surface servant d'appui pour la première phase d'usinage est celle qui positionne toutes les autres surfaces brutes dans la direction considérée. En conséquence, toutes les cotes fabriquées définissant le brut partent de la surface d'appui et leur nombre est identique à celui des surfaces à positionner. L'intervalle de tolérance de ces cotes est toujours donné par les normes relatives au procédé d'obtention des bruts.

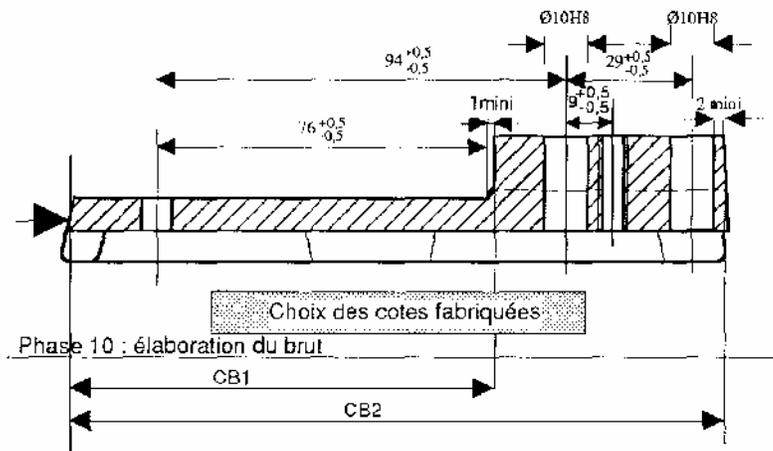


Figure 6.27. Choix des cotes fabriquées définissant le brut

• Choix des cotes fabriquées pour chaque phase d'usinage

Pour chacune des phases d'usinage il faut :

- au moins une cote fabriquée (par axe) liant la surface d'appui avec une surface usinée;
- un ensemble de cotes fabriquées positionnant les surfaces usinées entre elles, choisies de telle façon qu'elles coïncident le plus souvent possible avec les cotes du bureau d'études (cotes directes).

Le choix de la surface usinée liée à la surface d'appui doit être tel qu'il permette ensuite de localiser un maximum de surfaces par des cotes fabriquées directes.

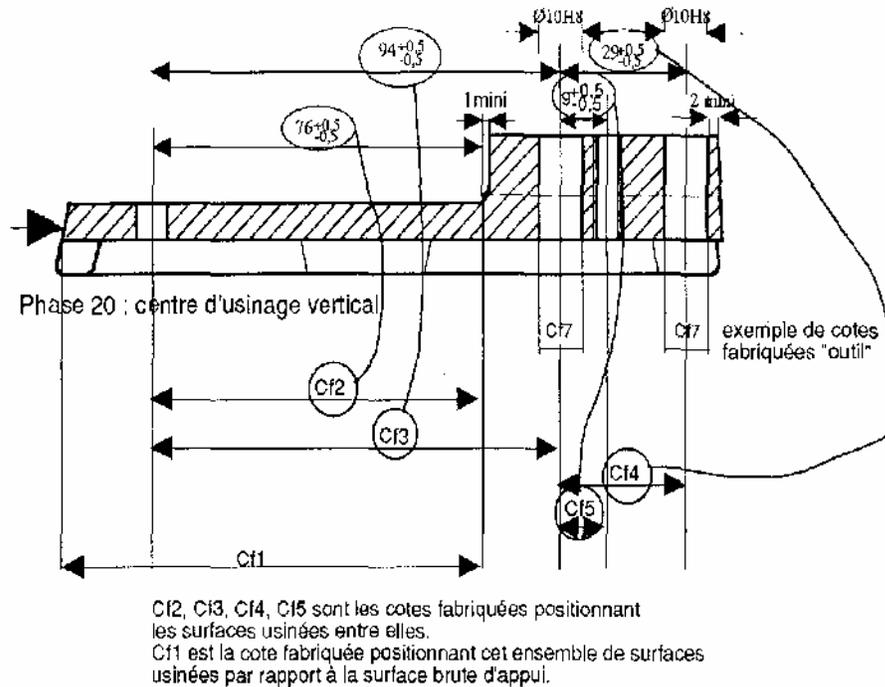


Figure 5.28 : Choix des cotes fabriquées définissant les usinages.

• Etablissement des chaînes de cotes

Il s'agit de dresser des chaînes de cotes en effectuant une somme vectorielle, la cote BE étant la cote-condition et les cotes fabriquées les composantes.

Deux grands cas de chaînes de cotes existent :

- les surfaces définissant la cote BE sont toutes les deux concernées (réalisées, ou une servant d'appui) dans la même phase; alors la chaîne de cotes est réduite à une seule composante ;
- les surfaces définissant la cote BE sont réalisées dans deux phases différentes, quelques règles sont alors à préciser pour minimiser les dimensions du brut et optimiser la vérification ;
 - le nombre de composantes doit être le plus réduit possible ;
 - une seule cote fabriquée de positionnement de surface par phase doit intervenir.

Cette dernière règle conduit quelquefois à créer de nouvelles cotes fabriquées venant en surabondance par rapport à celles précédemment choisies.

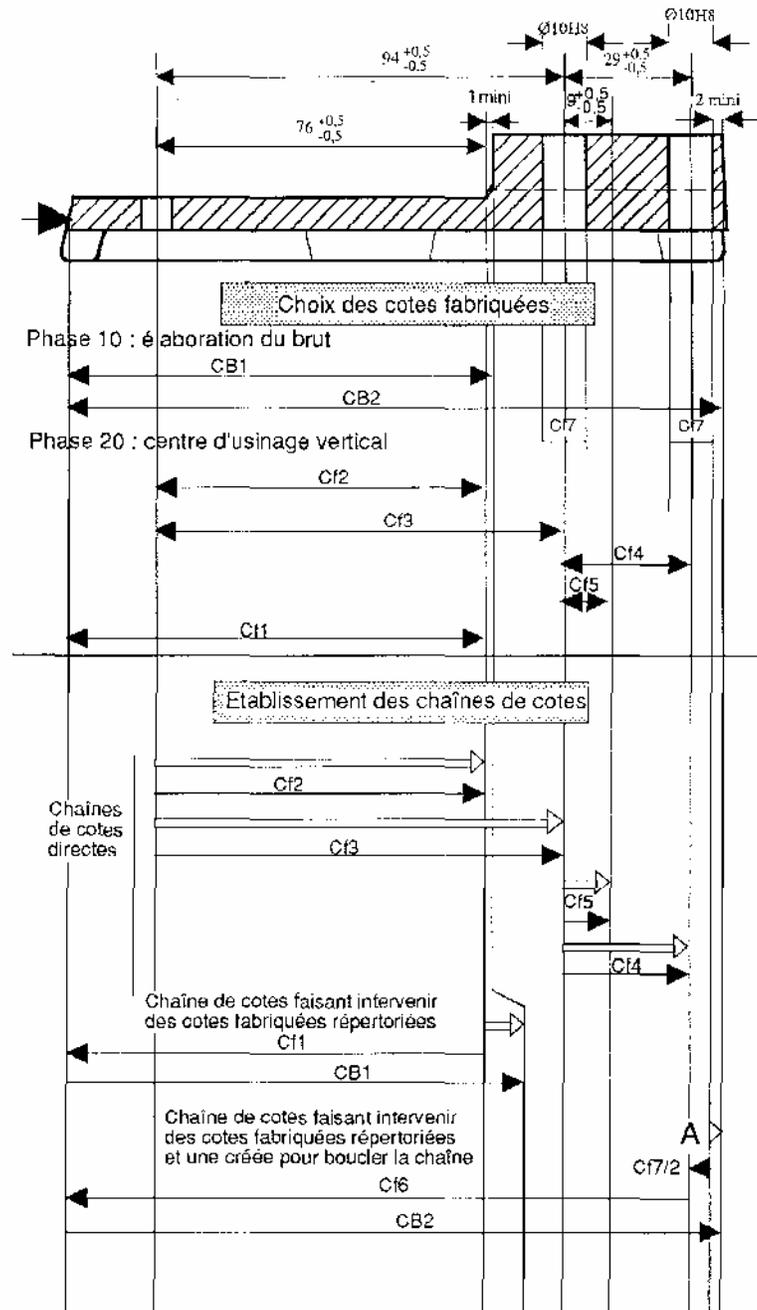


Figure 5.29. Etablir des chaînes de cotes

• **Vérification de la faisabilité de l'avant-projet**

La condition de faisabilité résulte de la théorie des chaînes de cotes et peut s'énoncer de la manière suivante $\sum IT \text{ cotes composante} \leq IT \text{ cote condition}$. A chaque cote condition correspondra donc une inéquation; l'avant-projet sera validé si toutes les inéquations sont vraies.

• Cotes fabriquées et contrat de phase

Sur le contrat de phase l'ensemble des cotes fabriquées doivent être indiquées, ce sont elles qui seront contrôlées en fin de phase et non pas les cotes BE. Ces dernières ne seront utilisées qu'au niveau d'un éventuel contrôle final, après réalisation complète de toutes les phases. Les cotes de brut peuvent être vérifiées soit après la phase d'élaboration, soit en contrôle de réception si la réalisation est sous-traitée.

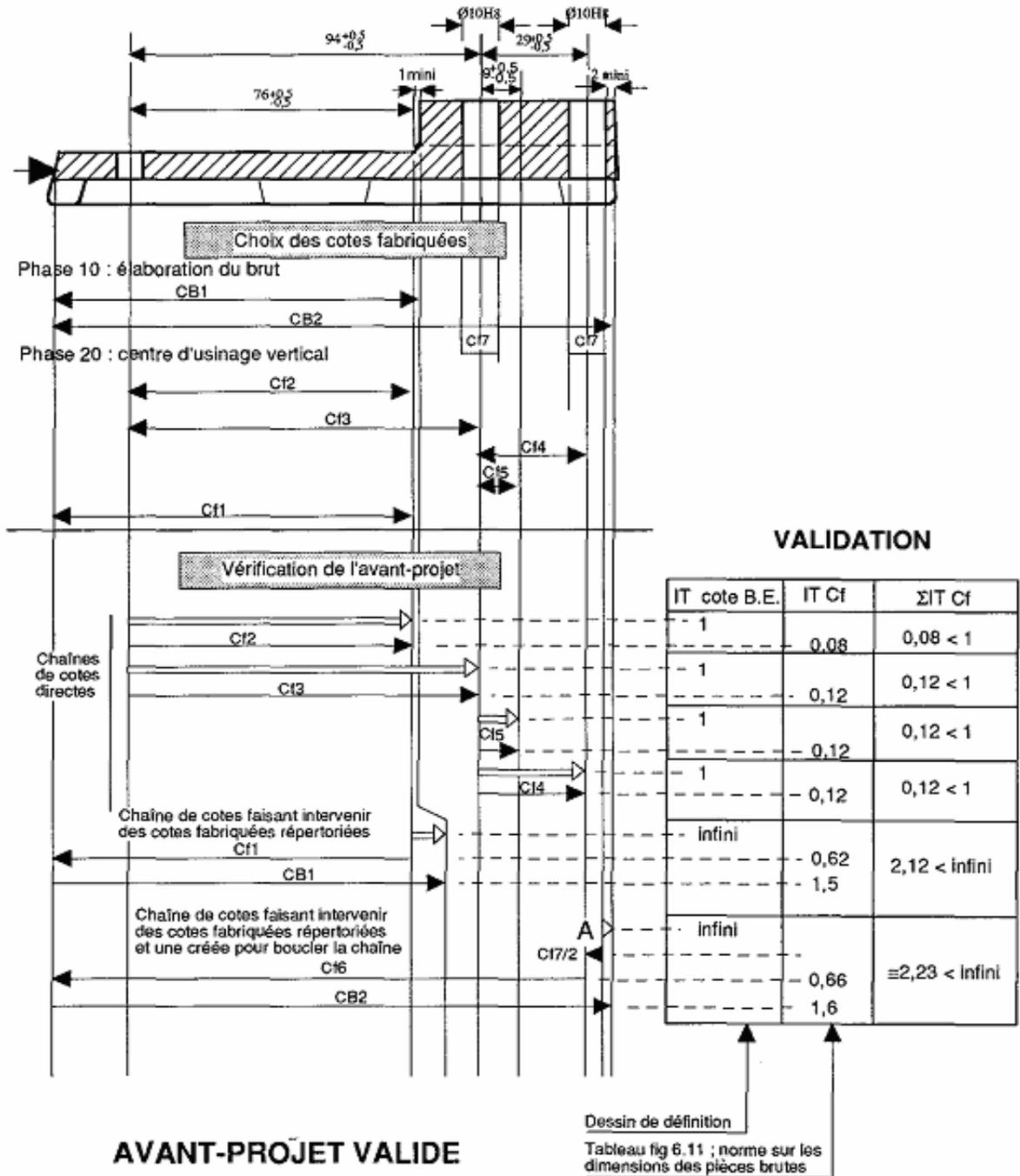


Fig.5.30.

5.6. REGLES CONCERNANT L' ORDONNANCEMENT DES OPERATIONS

Le contrat de phase précise l'enchaînement des opérations concernées. On peut optimiser cet enchaînement du point de vue technique (qualité) et économique, en mettant en pratique les quelques règles suivantes (figure 6.17) :

REGLES	EXEMPLES
<p>Aspect économique</p> <p>Le coût horaire des moyens de production actuels étant élevé, il faut réduire au maximum les temps d'opération et optimiser les cycles de déplacement en rapide des outils.</p> <p>Sur un centre d'usinage horizontal, si le temps de rotation du plateau est inférieur au temps de changement d'outil, il faut effectuer tous les usinages concernés par un même outil, à la suite.</p>	<p>a- lamer (traise 2 lèvres axcentrées) b- percer</p> <p>a- percer b- lamer</p> <p>$L1 < L2$. gain de temps</p>
<p>Aspect technique</p> <p>Dans le cas de trous concourants il faut percer le diamètre le plus petit en premier pour éviter les déviations de l'axe du second trou.</p>	
<p>Pour éviter les déformations résiduelles il est préférable d'effectuer toutes les ébauches dans un premier temps.</p>	<p>a- cycle d'ébauche extérieure b- cycle d'ébauche intérieure c- finition profil extérieur (y compris la face) d- finition profil intérieur</p>
<p>L'usinage des surfaces qui affaiblissent la pièce doit être réalisé le plus tard possible.</p>	<p>Il faut percer le trou avant de réaliser la rainure pour éviter les déformations.</p>
<p>Pour limiter l'influence néfaste des bavures il faut chercher :</p> <ol style="list-style-type: none"> soit à les éliminer par un enchaînement adapté des opérations. soit à les laisser au niveau des surfaces non fonctionnelles. soit à les localiser au niveau des surfaces accessibles pour une opération supplémentaire d'ébavurage. 	<p>Bavures restantes :</p> <ol style="list-style-type: none"> éboucher l'intérieur faire la rainure finir l'intérieur dresser la face avant. <p>Pas de bavures restantes :</p> <ol style="list-style-type: none"> éboucher l'intérieur dresser la face avant finir l'intérieur faire la rainure <p>bavure sur surface brute bavure accessible</p>
<p>Les outils de finition doivent "attaquer" sur des surfaces écroutées.</p>	
<p>Les opérations de taraudage et d'alésage doivent être précédés d'une opération de chanfreinage.</p>	

Figure 5.31: Règles d'ordonnement des opérations.

5.7. ANALYSE TEMPORELLE DES PHASES

Cette analyse a pour principal but de prévoir le déroulement temporel d'une phase afin:

- d'élaborer un devis par la connaissance des divers temps entrant dans la mise en oeuvre et dans l'exécution de la phase,
- d'organiser la production,
- de comparer différentes solutions d'organisation de poste, pour retenir une solution optimale en décomposant tous les gestes, mouvements ou manipulations en éléments simples et chronologiques (méthode MTM).

Une étude de phase complète est relativement longue à établir et ne se justifie que pour des fabrications sérielles importantes. Nous nous contenterons dans cet ouvrage d'une approche globale des différents temps d'exécution et de leur représentation graphique.

5.7.1. Analyse des temps d'exécution et de préparation

La détermination de ces temps peut provenir d'une estimation, d'une comparaison avec une phase similaire, d'une mesure (chronométrage) ou d'un calcul.

• Temps technologique : T_t

C'est le temps pendant lequel la machine travaille, celui-ci dépend des conditions de coupe employées, voir figure 5.32. pour le détail des calculs. (Exemple: temps de fraisage d'un plan.)

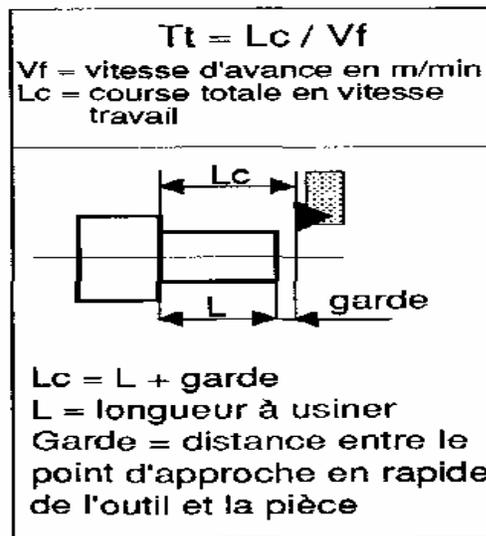


Figure 5.32. Exemples de calcul de temps technologique

• Temps manuel : T_m

C'est le temps correspondant à un travail humain (voir figure 5.33.).

• Temps technico-manuel T_{tm}

C'est le temps pendant lequel l'opérateur et la machine travaillent conjointement à la même tâche. Exemple : perçage d'un trou avec une perceuse sensitive.

• Temps masqué : T_z

C'est un temps qui correspond à un travail réalisé simultanément avec une autre activité. Exemple : contrôle d'une pièce pendant l'usinage de la suivante.

• Temps de série: T_s

C'est le temps nécessaire à la préparation et à la clôture de la phase (nettoyage- démontage) pour la série de pièces à réaliser.

Exemples de temps élémentaires (en centièmes de minute)			
Mise en position et maintien de la pièce	Temps	Contrôle	Temps
Monter la pièce en étau (< 3 kg)	28	Vérifier une cote au réglet	25
Démonter la pièce de l'étau (< 3 kg)	16	Vérifier une cote au pied à coulisse	25 à 50
Monter la pièce en mandrin 3 mors	14	Vérifier un diamètre au calibre à mâchoire	25 à 40
Démonter la pièce d'un mandrin 3 mors	14	Vérifier un alésage à l'aide d'un tampon cylindrique	20 à 30
Monter la pièce en montage d'usinage : - fraisage - perçage - tournage	60 50 80	Contrôler une pièce en montage	70 à 200
Démonter la pièce d'un montage d'usinage : - fraisage - perçage - tournage	30 20 70	X	

Figure 5.34.: Exemples de temps manuels

5.7.2. Représentation temporelle: les simogrammes

Ce sont des représentations graphiques, chronologiques, des différents temps d'exécutions, simultanés ou successifs, intervenant dans une phase. Elles sont faites à partir d'une échelle de temps.

Par convention la représentation est la suivante:

- les temps manuels sont représentés par un double trait continu;
- les temps technologiques par un trait fort continu;
- les temps technico - manuels par deux segments parallèles reliés par un trait continu en diagonale.

L'identification des différents temps est assuré par un numéro correspondant à leur rang d'intervention dans la phase.

La figure 5.35 donne un exemple de simogramme.

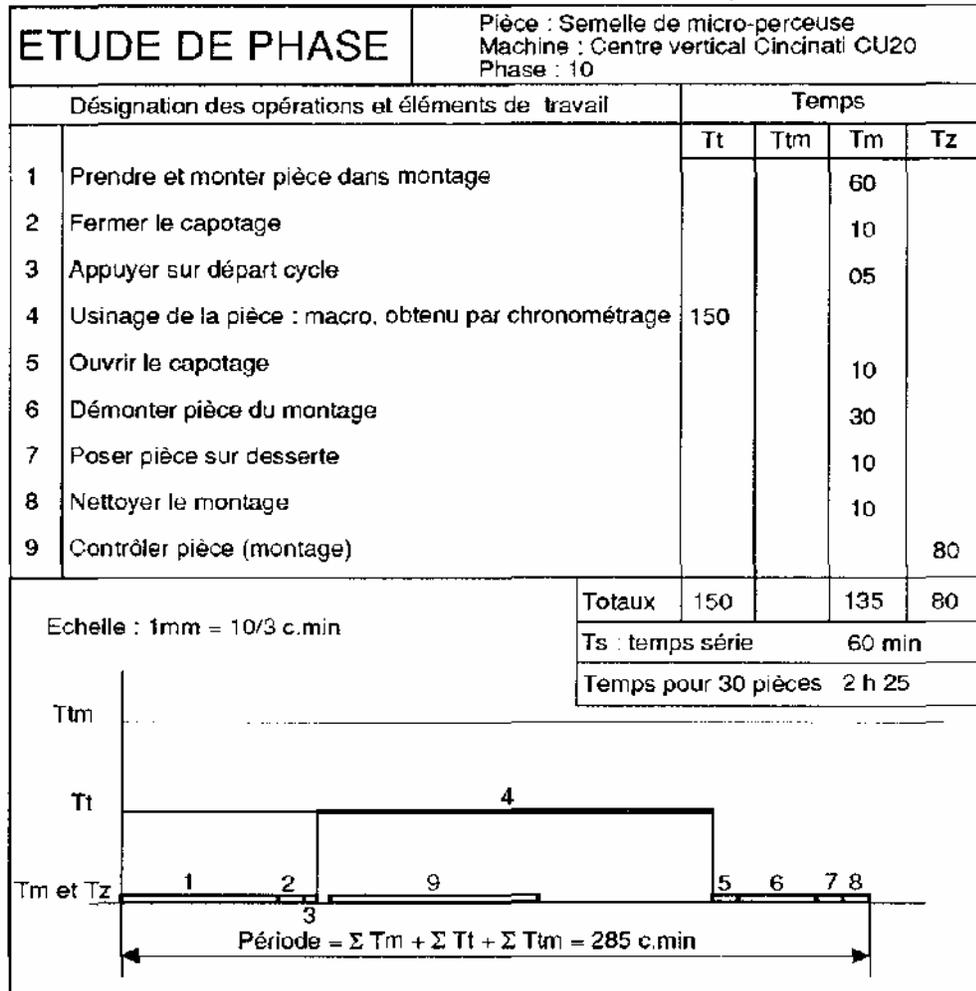


Figure 5.35. Etude de phase partielle de la semelle de micro-perceuse et simogramme associé.

5.8. LA COUPE DES MATERIAUX ET LES CONDITIONS

D' USINAGE . PARAMETRES DE COUPE

Formation du copeau

La formation du copeau résulte d'actions mécaniques complexes (voir figure 7.1). Par souci de simplification on peut dire que l'arête de coupe (intersection de la face de coupe avec la face de dépouille) pénètre dans la matière et provoque la formation du copeau. Le frottement du copeau sur la face de coupe et celui de la pièce sur la face de dépouille provoquent une élévation importante de la température, qui peut entraîner une fusion locale du copeau. Ce phénomène peut conduire à l'adhérence du copeau sur la face de coupe (copeau adhérent).

Les principaux facteurs influençant la formation du copeau sont:

- la vitesse de coupe (V_c), exprimée en m/min;
- la profondeur de passe (a), exprimée en mm

- la vitesse d'avance (V_f), exprimée en mm/tour ou en mm/dent/tour;
- la géométrie de l'outil;
- les matériaux de l'outil et de la pièce
- la lubrification.

• Notion de copeau minimum

Lorsque la profondeur de passe ou l'avance sont trop faibles, l'outil ne coupe plus la matière, il se produit un **écrouissage** de la surface de la pièce. On parle alors de copeau minimum. Les dimensions obtenues ne sont donc pas celles prévues et l'outil s'use rapidement. Il existe des valeurs minimales pour la profondeur de passe et l'avance en dessous desquelles il est important de ne pas se trouver. Celles-ci sont données par les fabricants d'outils et dépendent de l'ensemble des conditions de coupe.

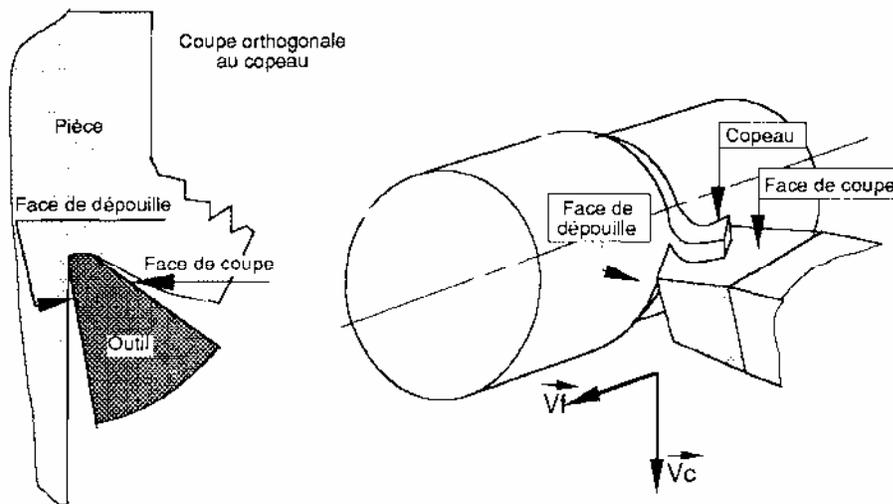


Fig.5.36.

Géométrie de la partie active de l'outil

L'arête tranchante a une forme donnée par l'intersection de deux plans, une dimension et une situation dans l'espace. Pour caractériser cette situation on définit des angles et des plans caractéristiques dans deux référentiels :

- le référentiel de « l'outil en main », indépendant de l'utilisation future;
- le référentiel de « l'outil en travail », déterminé à partir de la résultante des vitesses de coupe et d'avance.

On s'intéressera uniquement dans cet ouvrage à la description de l'outil dans le référentiel « en main ».

La figure 5.37. montre les principaux plans et angles d'un outil définis selon la norme NFE 66-502, 503.

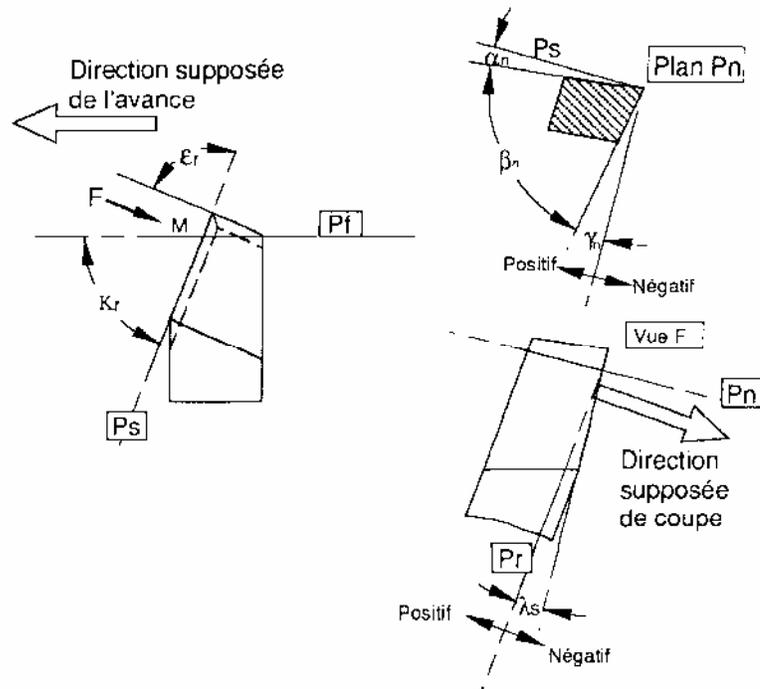


Figure 5.37. : Angles et plans principaux d'un outil à tranchant unique

• **Définitions des principaux plans**

Plan de référence Pr : plan passant par le point considéré de l'arête et perpendiculaire à la direction supposée de coupe.

Plan de travail conventionnel Pf: plan perpendiculaire à Pr au point considéré de l'arête et parallèle à la direction supposée de l'avance.

Plan d'arête de l'outil Ps : plan tangent à l'arête au point considéré et perpendiculaire à Pr.

• **Définitions des principaux angles et influence de leurs valeurs sur la coupe** **Angle de direction d'arête Kr**: angle mesuré dans Pr entre Pf et Ps.

Un angle $K_r < 90^\circ$ assure à l'arête de coupe une entrée en contact progressive avec la matière à usiner et en arrière de la pointe de l'outil, partie la plus fragile. Si K_r est trop petit, la longueur de l'arête de coupe en prise avec la matière augmente donc les efforts s'accroissent également. K_r influe sur la direction d'évacuation des copeaux (voir figure 7.3).

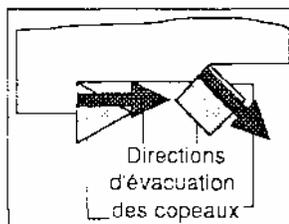


Figure 5.38. L'influence de K_r sur la direction d'évacuation des copeaux.

Angle d'inclinaison d'arête λ_s : angle mesuré dans Ps entre l'arête et Pr (figure 5.39.).

En ébauche, un angle négatif augmente la robustesse de l'arête de coupe et provoque la fragmentation des copeaux. En finition un angle positif donne une meilleure acuité d'arête donc un copeau minimum plus faible.

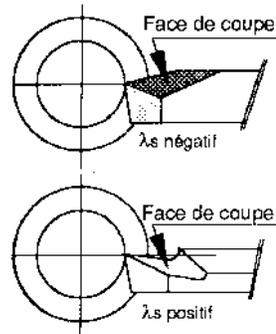


Fig.5.39: L'influence de l'angle d'inclinaison d'arête

Angle de pointe ϵ_r : angle mesuré dans Pr entre Ps et le plan perpendiculaire à Pr et contenant l'arête de dépouille principale. Cet angle doit être choisi en fonction du profil à effectuer sur la pièce.

Angle de dépouille α : angle entre la face de dépouille et Ps.

Si α est trop grand, l'arête de coupe est fragile, à contrario s'il est trop petit, on augmente la surface en contact entre la pièce et la face de dépouille ce qui a pour effet d'augmenter le risque de talonnage.

Angle de taillant β : angle entre la face de coupe et la face de dépouille.

Angle de coupe γ : angle entre la face de coupe et Pr. (Voir figure 5.40.)

Positif		Négatif
Grand	Petit	
Arête fragile, écoulement du copeau continu	Frottement important du copeau sur la face de coupe	(coupe négative) Réservé aux outils en carbure métallique et céramique. Bonne tenue aux efforts, les copeaux se brise facilement

5.40 : L'influence de l'angle de coupe.

Ces trois derniers angles sont liés par la relation $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$. Les valeurs que l'on peut trouver dans les catalogues des carbures sont toujours données dans le plan Pn, plan normal à l'arête au point considéré.

5.9. GEOMETRIE DES BRISE- COPEAU

Lorsque le copeau se déroule de manière continue, il peut s'enrouler autour de la pièce ou de l'outil. Son évacuation devient délicate et dangereuse, l'état de surface de la pièce peut se détériorer. Il est donc important de fractionner le copeau. Ce rôle est dévolu à brise- copeau, terme désignant l'aménagement des formes de la face de coupe des plaquettes carbure. La figure 5.41 montre un éventail de solutions possibles pour des brise- copeau d'une plaquette de tournage.

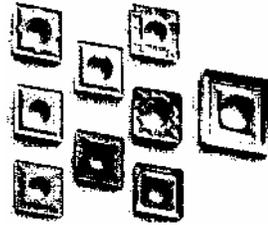


Figure5.41. Brise- copeau un type de plaquette de tournage.

Les démarches de choix présentées ici sont celles du fabricant SECO. La désignation des formes se fait par une ou deux lettres (de RR pour les grosses ébauches à FF pour les finitions fines) complétées par un chiffre caractérisant la robustesse d'arête. Plus le chiffre est élevé, plus l'arête est robuste et plus les avances pourront être importantes. Le tableau figure 5.42. permet de sélectionner une géométrie. Il faut dans un premier temps caractériser le type de brise- copeau sur l'échelle verticale (de FF à RR) en calculant le pourcentage de la longueur d'arête en prise avec la matière. Ceci revient à graduer le type d'opération, de la petite finition à la grosse ébauche. Ensuite, dans certains types, plusieurs modèles sont proposés en fonction de la robustesse d'arête. Les indications contenues dans le tableau permettent d'effectuer le choix définitif.

	TYPE	MODELE	
Longueur maxi d'engagement de l'arête en %	60%	RR	RR9 : Plaquette non réversible pour les opérations de grosses ébauches Renfort d'arête important prévu pour de fortes avances Particulièrement adaptée pour l'usinage des pièces moulées ou forgées difficiles
		R	Plaquette non réversible pour les opérations d'ébauche R4 : coupe douce pour ébauche légère R6 : choix de base pour ébauche normale des aciers R8 : peut supporter des opérations difficiles dans les inox forgés ou moulés
	40%	MR	Plaquette réversible pour moyenne ébauche combinée à une forte avance MR5 : usinage des inox difficiles et des aciers de construction à forte avance. Arête robuste permettant le travail au choc MR7 : pour les plus fortes avances et profondeurs de coupe importantes qui nécessiteraient normalement l'utilisation d'une plaquette non réversible
		M	Plaquette réversible pour ébauche légère M3 : usinage des inox courants, des aciers collants et des étirés à avance modérée. Coupe franche diminuant les efforts de coupe M5 : choix de base pour l'ébauche légère des aciers et inox à avance moyenne
	20%	MF	Plaquette réversible pour les finitions nécessitant un état de surface correct et pour les ébauches légères demandant une fragmentation fine des copeaux
			MF2 : choix de base pour la finition des aciers courants et des inox faciles à usiner
			MF3 : usinage à profondeur de coupe limitée des aciers forgés, des aciers collants et des inox plus difficiles à usiner
	F	Plaquette positive pour des finitions ou des ébauches légères, utilisée sur des porte plaquette de petites dimensions	
		F1 : coupe franche, pour les usinages courants à avance faible	
		F2 : finition à ébauche légère des aciers et des inox	
	FF	FF1 : plaquette positive ou négative pour les petites finitions nécessitant un état de surface de qualité dans les aciers courants et inox faciles à usiner. Excellente acuité d'arête et bonne fragmentation des copeaux pour une faible profondeur de passe et une faible avance	

Figure 5.42 : Choix de la géométrie de plaquette.

5.10. MATERIAUX A OUTILS

Les plus utilisés sont les carbures métalliques. Les plaquettes sont obtenues par frittage selon les principes de la métallurgie des poudres.

La figure 5.43 présente les plages d'utilisation des différents matériaux à outils courants en fonction des vitesses de coupe et d'avance employées.

Afin d'améliorer les principales propriétés (dureté des faces coupantes, résistance aux sollicitations mécaniques, état de surface de la face de coupe, stabilité des caractéristiques mécaniques à chaud), les carbures sont revêtus d'une fine couche de matériau (nitrure de titane par exemple); on parle alors de carbures revêtus.

Puis plusieurs couches de natures différentes sont venues recouvrir le substrat de base, on parle alors de carbures multicouches.

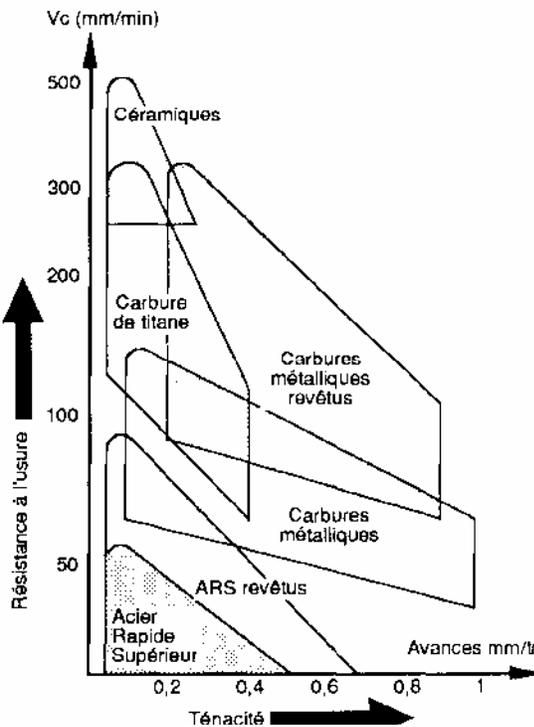


Figure 5.43. Classification des carbures

• Classification des carbures

La désignation comporte une lettre suivie de deux chiffres.

La lettre P, M ou K correspond à des plages de dureté pour les matières à usiner. Le nombre donne une image de la ténacité (solidité). On peut lui associer les opérations et conditions de travail (chocs, ébauche légère, etc.).

Le tableau figure 5.44 présente la classification en fonction de la matière usinée et de l'utilisation d'après la norme NFE 66-304.

Symbole général	Grandes catégories de matières à usiner	Symbole	Matières à usiner	Utilisation et conditions de travail
P	Métaux ferreux à copeaux longs	P01	Acier, acier moulé	Tournage, alésage de finition : Vc élevée, petite section de copeaux. Précision dimensionnelle et qualité de surface. Travail sans vibrations.
		P10	Acier, acier moulé	Copiage, filetage en tournage, fraisage : Vc élevée, petite ou moyenne section de copeaux.
		P20	Acier, acier moulé Fonte malléable à copeaux longs	Copiage en tournage, fraisage : Vc et section de copeaux moyennes.
		P30	Acier, acier moulé Fonte malléable à copeaux longs	Tournage, fraisage : Vc petite ou moyenne, grande ou moyenne section de copeaux, conditions d'usinage défavorables.
		P40	Acier, acier moulé avec inclusion de sable ou retassures	Tournage : Vc petite, grande section de copeaux, possibilité de grand angle de coupe, conditions d'usinage défavorables sur machines automatiques.
		P50	Acier moulé : faible ou moyenne résistance avec inclusion de sable ou retassures	Opérations exigeant une bonne ténacité des carbures métalliques : tournage avec Vc petite et grande section de copeaux, possibilité de grand angle de coupe, conditions d'usinage défavorables.
M	Métaux ferreux à copeaux longs ou courts et métaux non ferreux	M10	Acier, acier moulé, acier au manganèse, fonte grise, fonte allée	Tournage : Vc moyenne ou grande et section de copeaux moyenne.
		M20	Acier, acier moulé, acier austénitique, acier au manganèse, fonte grise	Tournage, fraisage : Vc et section de copeaux moyennes.
		M30	Acier, acier moulé, acier austénitique, fonte grise, alliage réfractaire	Tournage, fraisage : Vc moyenne et section de copeaux moyenne ou grande.
		M40	Acier de décolletage, acier de faible résistance. Métaux non ferreux et alliages légers	Tournage, tronçonnage, particulièrement sur machines automatiques.
K	Métaux ferreux à copeaux courts. Métaux non ferreux	K01	Fonte grise de dureté élevée, alliages légers à haute teneur en silicium, acier trempé, céramiques, matières plastiques abrasives	Tournage, tournage de finition, alésage, fraisage.
		K10	Fonte grise (>220 HB), fonte malléable à copeaux courts, acier trempé, alliages légers au silicium, alliages de cuivre, plastiques, verre, caoutchouc dur, porcelaine, pierre	Tournage, fraisage, perçage, alésage, brochage.
	Matières non métalliques	K20	Fonte grise (220 HB), métaux non ferreux	Tournage, fraisage, alésage, brochage exigeant une grande ténacité des carbures métalliques.
		K30	Fonte grise de faible dureté, acier de faible résistance, bois comprimé	Tournage, fraisage avec conditions d'usinage défavorables et possibilités de grand angle de coupe.
		K40	Bois naturel tendre ou dur et métaux non ferreux	Tournage, fraisage avec conditions d'usinage défavorables et possibilité de grand angle de coupe.

Figure 5.44. Classification des carbures NFE 66-304.

5.11. FLUIDES DE COUPE

Le fluide de coupe joue un rôle essentiel en usinage.

Il permet:

- la lubrification qui limite le frottement entre le copeau et l'outil d'une part, et entre l'outil et la pièce d'autre part. Il existe différentes formulations de lubrifiant s'adaptant aux conditions d'usinages afin de faciliter le glissement du copeau sur la face de coupe;
- le refroidissement de l'outil, et évite ainsi l'élévation de la température qui conduit à la diminution de la dureté donc à une usure plus rapide de l'outil. Un arrosage important provoque une dissipation de la chaleur et évite les chocs thermiques néfastes pour les carbures métalliques (risque d'écaillage de l'arête). La diminution de la température limite également la fusion de la matière à proximité de la pointe de l'outil, le phénomène de copeau adhérent se maîtrise plus facilement;

— l'évacuation des copeaux.

La lubrification apporte une amélioration de la durée de vie de l'outil et de l'état de surface de la pièce. Les conditions de coupe (V_c , f) données par les fabricants tiennent compte d'une bonne utilisation des lubrifiants.

5.12. USURE DES OUTILS

La qualité des surfaces obtenues est directement liée au degré d'usure de l'outil. Il est donc important de bien caractériser ce phénomène afin de le rendre observable.

L'usure provient des sollicitations mécaniques et thermiques engendrées par les mouvements relatifs entre la pièce, l'outil et le copeau, qui provoque un transfert de métal entre les surfaces en contact (érosion ou abrasion mécanique et diffusion physico-chimique).

Manifestation de l'usure, critères associés

La norme NFE 66-505 présente les différentes manifestations de l'usure schématisées figure 5.45. Sur un outil carbure elles prennent plus particulièrement la forme:

— d'une usure en dépouille VB : elle se manifeste par l'apparition d'une bande striée et brillante, parallèle à l'arête de coupe, révélatrice de l'abrasion de la face en dépouille due au frottement de la pièce. La largeur moyenne de cette bande est notée VB. Elle détermine l'état de surface et la précision dimensionnelle de la pièce. La norme fixe comme critère de durée de vie $VB = 0,3$ mm. La figure 5.46 présente les résultats d'un essai normalisé pour un acier XC38 avec $f = 0,1$ mm/tr, $a = 1$ mm et pour un outil donné;

— d'une usure en cratère K_t : elle est due au frottement du copeau sur la face de coupe et se présente sous la forme d'une cuvette dont la profondeur est notée K_t .

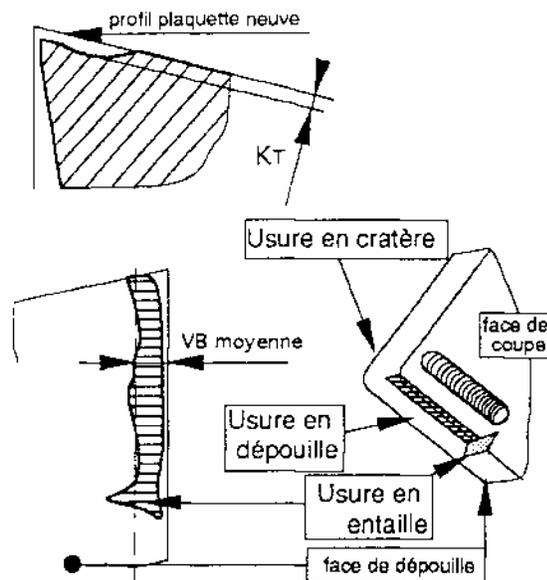


Figure 5.45. Manifestation de l'usure

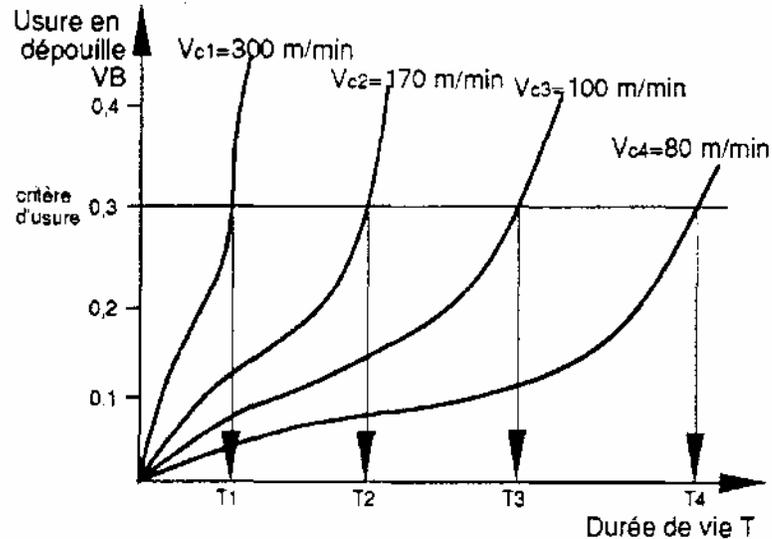


Figure 5.46 Essai normalisé

Outre ces deux usures principales d'autres manifestations peuvent être considérées :

- l'effondrement de l'arête, phénomène surtout lié aux outils en ARS, qui est en fait la rupture de la partie active de l'outil;
- l'usure par entaille de l'arête de coupe qui se produit lorsque la couche superficielle de la pièce est beaucoup plus dure que l'intérieur.

5.13. OUTILLAGE POUR OPERATIONS DE TOURNAGE

Sous le nom d'opérations de tournage on considère, par souci de simplification du classement, des opérations permettant la génération de formes extérieures et intérieures de révolution.

-Le choix s'effectue à partir de la forme à obtenir. Il doit y avoir compatibilité entre les paramètres définissant la géométrie de la pièce (angles, distances) et ceux de l'outil (position de l'arête de coupe et forme de la plaquette).

Qu'il s'agisse d'outils monoblocs, d'outils à plaquettes brasées ou d'outils à plaquettes amovibles, la réflexion lors de cette première étape est la même. Si les outils à plaquettes brasées relèvent de la même logique que les outils à plaquettes amovibles, on peut observer que leur emploi est de moins en moins fréquent. Les outils monoblocs sont encore utilisés en tournage sur des machines à outils multiples (tours à décolleter par exemple). Leur taillage et leur affûtage restent une spécificité de ces métiers de la mécanique. Ils sont le plus souvent élaborés à partir de barreaux ébauchés et prétraités. Pour ce qui concerne la mécanique générale, les choix s'orientent de plus en plus vers des outils de tournage à plaquettes amovibles, qui offrent de nombreux avantages :

- multiplicité des arêtes de coupe sur la même plaquette;
- suppression des opérations d'affûtage;
- mise en position répétitive de la partie active de l'outil sur le corps d'outil;
- réduction en volume des stocks pour une plus grande variété de caractéristiques de la partie active des outils.

La figure 5.47 illustre diverses situations d'usinage de formes extérieures et intérieures de révolution, avec les paramètres angulaires associés. Les flèches sombres indiquent les mouvements de travail de l'outil qu'il faut privilégier.

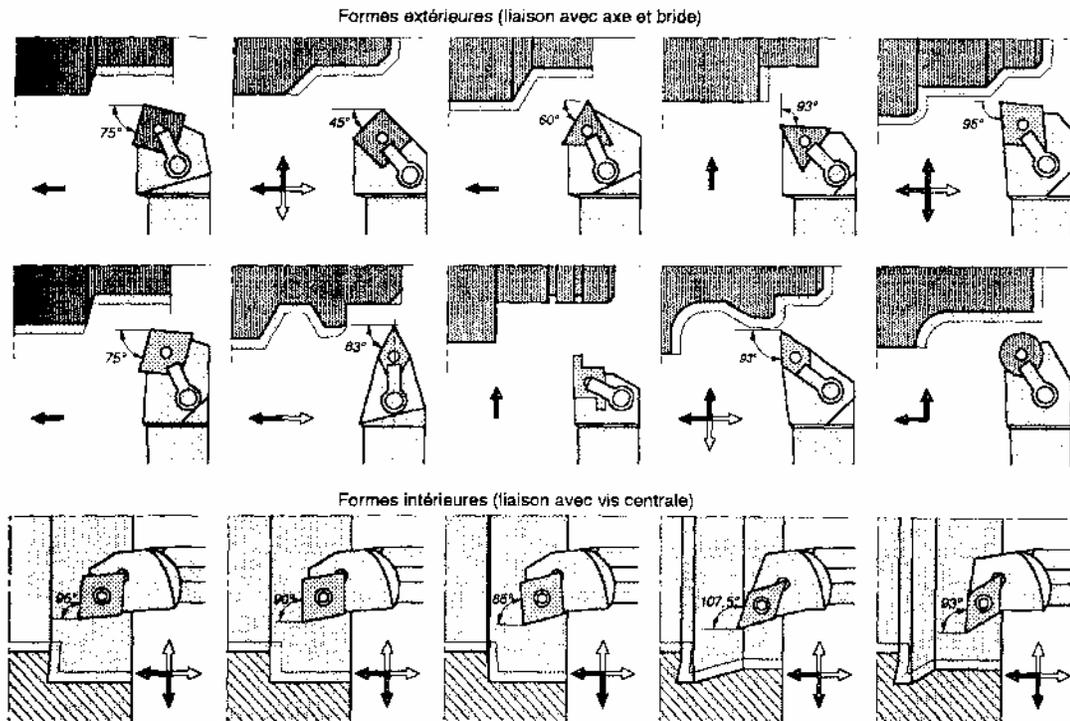


Figure 5.47. Exemples de formes générées

5.14. OUTILLAGE POUR OPERATIONS DE FRAISAGE

- Comme le tournage, le fraisage permet l'obtention de formes très variées. Les parties actives des outils (monoblocs ou à plaquettes amovibles) sont principalement choisies en fonction :
 - des géométries à générer (formes et dimensions);
 - du mode de génération (profil ou enveloppe), donc des caractéristiques intrinsèques des surfaces (planéité, rugosité, etc.);
 - du type d'usinage (ébauche ou finition);
 - de la stratégie de l'entreprise et de ses stocks; par exemple en surfacage de grande dimension on limite le nombre de références en diamètre compte tenu du coût des outils.

La figure 5.48 page ci-contre présente dans un grand nombre de cas la relation entre la partie active de l'outil et la forme générée.

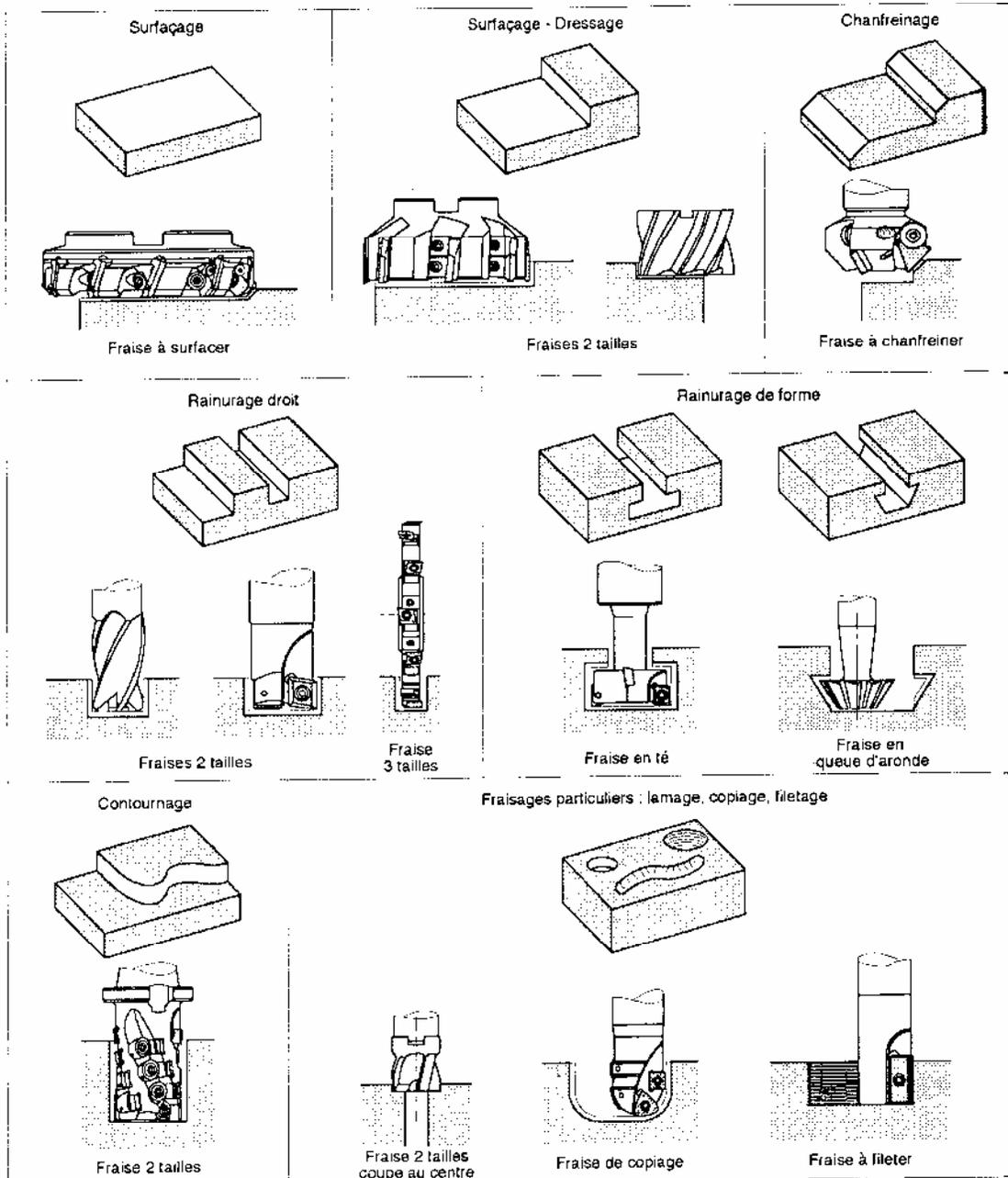


Figure 5.48 Relations entre la partie active de l'outil et la forme générée.

5.15. LES PORTE-PIECES

Fonctions des porte-pièces

La fonction principale d'un porte-pièce est d'assurer le positionnement et le maintien correct d'une pièce au cours d'une phase de fabrication.

5.15.1. Rôle et utilisation des porte- pièces

Il faut, pour positionner et immobiliser une pièce, un système particulier d'interface entre la pièce et la machine (voir figure 5.49).

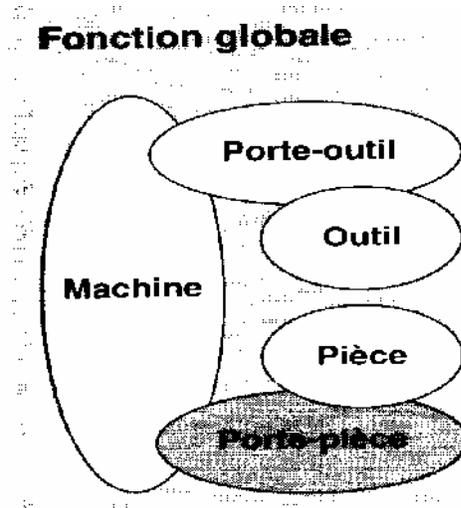


Figure 5.49. Position de la porte -pièce par rapport aux autres éléments d'un usinage.

5.15.2. Fonctions générales des porte- pièces

Un porte- pièce doit répondre aux fonctions techniques suivantes :

- **Recevoir la pièce**, en respectant la mise en position définie dans le contrat de phase prévisionnel.
- **Maintenir la pièce**, en garantissant la permanence du positionnement isostatique quels que soient les efforts de coupe et les déformations éventuelles de la pièce.
- **S'adapter à la machine-outil choisie et aux outils utilisés**. Cette adaptation doit se traduire, d'une part, par une mise en oeuvre aisée du porte- pièce sur la machine et, d' autre part, par des dispositions constructives évitant toute collision (dite « interférence ») entre le porte- pièce et les outils lors de leurs déplacements.
- **Garantir la précision du positionnement dans le temps**, par un dimensionnement suffisant des éléments, un choix judicieux des matériaux, une fabrication de qualité, des facilités de réglage et d'interchangeabilité des éléments exposés.
- **Maîtriser les risques pour les opérateurs et respecter les règles de base de l'ergonomie**.

5.15.3. Typologie des porte- pièces

La figure 5.50 présente une classification des porte- pièces. On distingue deux familles principales : les porte- pièces polyvalents et les porte- pièces spécifiques.

- **Porte- pièces polyvalents**

Pour les fraiseuses et les perceuses, ce sont les étaux et les éléments de bridage standard utilisés

lorsqu'une pièce est positionnée directement sur la table de la machine, ce qui est souvent le cas pour des travaux unitaires ou lorsque les pièces sont de grande taille.

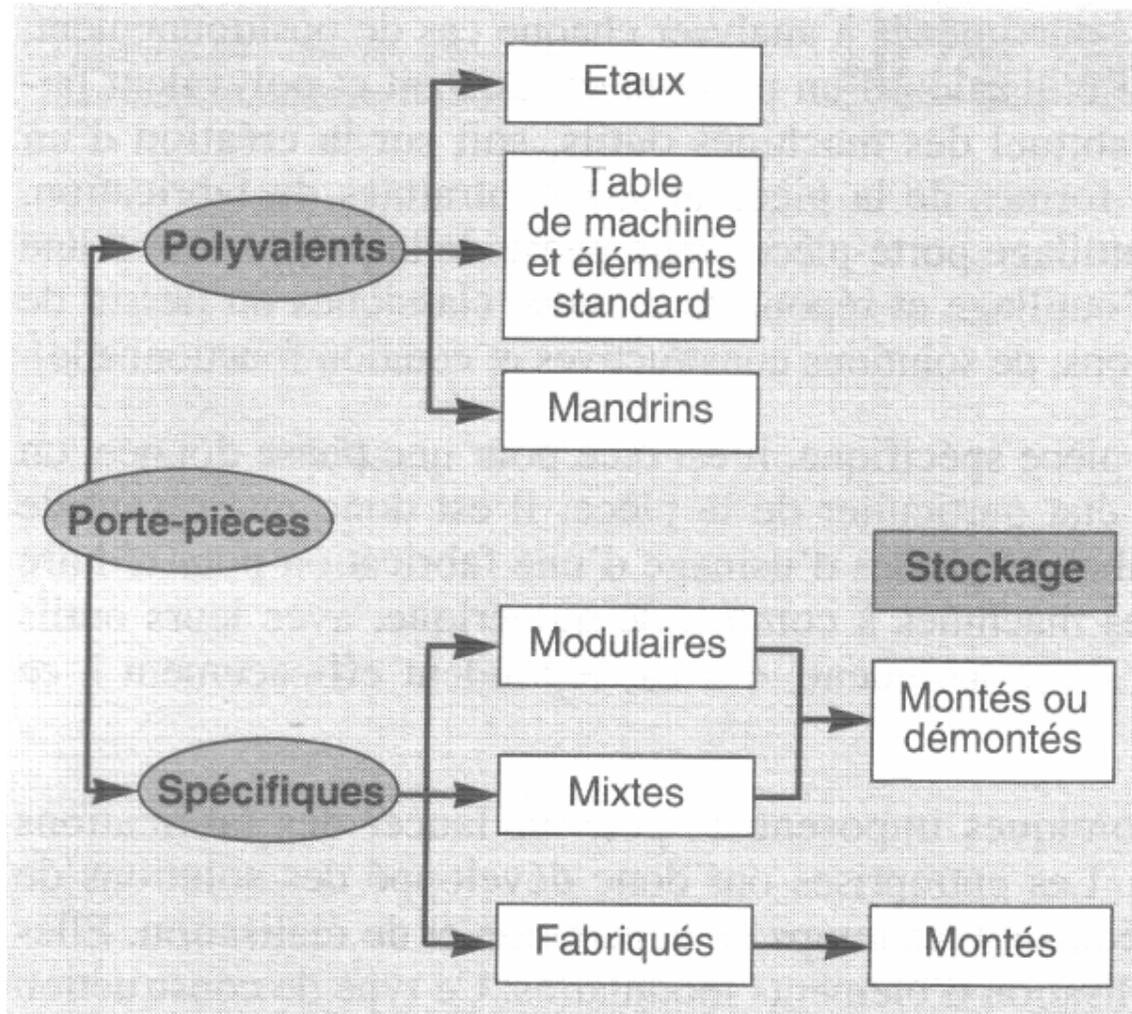


Figure 5.50. Typologie des porte-pièces d'usinage.

Les techniciens de préparation sont amenés à analyser chaque cas de positionnement. Cette étude débouche soit sur l'utilisation d'un porte-pièce existant et polyvalent faisant partie de l'équipement habituel des machines-outils, soit sur la création d'un porte-pièce spécifique lié aux formes du pièce et aux contraintes de fabrication. Dans le cas de création d'un outillage porte-pièce, cette phase de la préparation d'une production s'appelle l'étude d'outillage et répond aux règles classiques du dessin de conception (définition de fonctions, de solutions constructives et cotation fonctionnelle). Lorsque l'on conçoit un porte-pièce spécifique, il est créé pour une phase donnée, un type de machine précis et un état particulier de la pièce. Il est donc intéressant de diminuer au maximum le nombre de phases d'usinage d'une fabrication pour réduire le nombre de porte-pièces. Les entreprises ont donc développé des solutions de construction de porte-pièces réduisant les temps de conception et de réalisation. Elles généralisent actuellement l'utilisation d'éléments modulaires. Ce type de construction consiste à assembler entre eux des éléments standard, de formes et de dimensions suffisamment variées pour pouvoir résoudre rapidement de nombreux cas de positionnements. Les montages ainsi construits, dits **montages d'usinage**, peuvent être stockés tels quels entre deux lancements. Si la série

est unique, on peut démonter le porte- pièce et utiliser ses éléments pour d'autres montages. A noter qu'il peut aussi exister des montages pour le contrôle, l'assemblage et le conditionnement de pièces et de produits.

De nombreux fabricants produisent à la fois des étaux et des mandrins dans une grande variété de dimensions et de formes. Ils répondent ainsi à un grand nombre de situations de prises de pièces. Quand elle est possible, leur utilisation est toujours la solution la plus simple et la plus économique.

Les paragraphes suivants présentent, pour plusieurs types de porte- pièces polyvalents:

- les cas de mise en position courants;
- une schématisation du porte- pièce correspondant;
- quelques caractéristiques intéressantes des porte- pièces ou des éléments standard associés.

Etaux

Ils sont très utilisés en fraisage et perçage.

La figure 5.51 illustre les positionnements habituels en étau ainsi que le principal inconvénient de ce type de porte- pièce : le non-respect du positionnement isostatique sous l'effort de serrage.

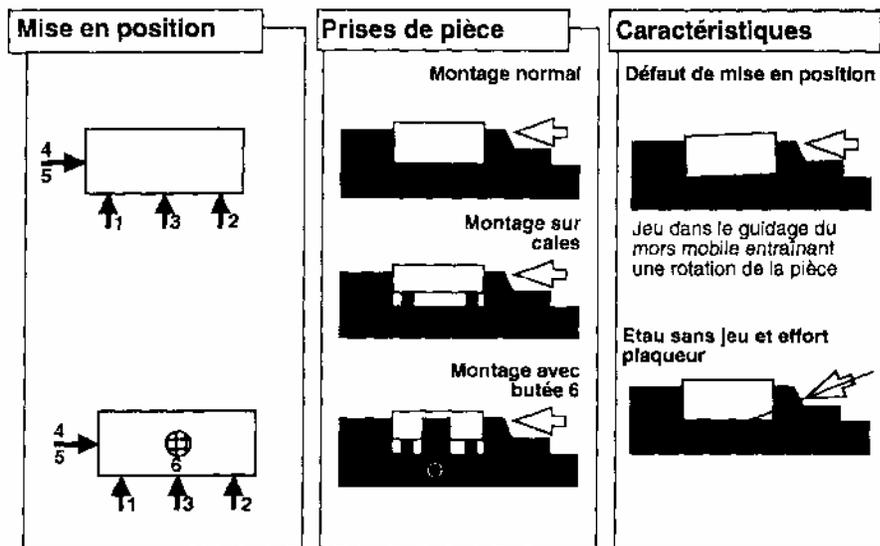


Figure 5.51. Principe d'utilisation des étaux.

Pour réduire ce risque, les constructeurs augmentent la qualité de fabrication (diminution des jeux, précision dans les positions des surfaces) et proposent des mors interchangeables spéciaux adaptés aux différentes formes de pièces à bloquer.

Mandrins

Ils font partie de l'équipement de base de tous les tours (voir figure 5.52.).

• Mandrins courants

Ils comportent trois mors permettant un serrage concentrique de la pièce, qui sont interchangeables pour s'adapter aux formes et aux dimensions à serrer (voir figure 10.6).

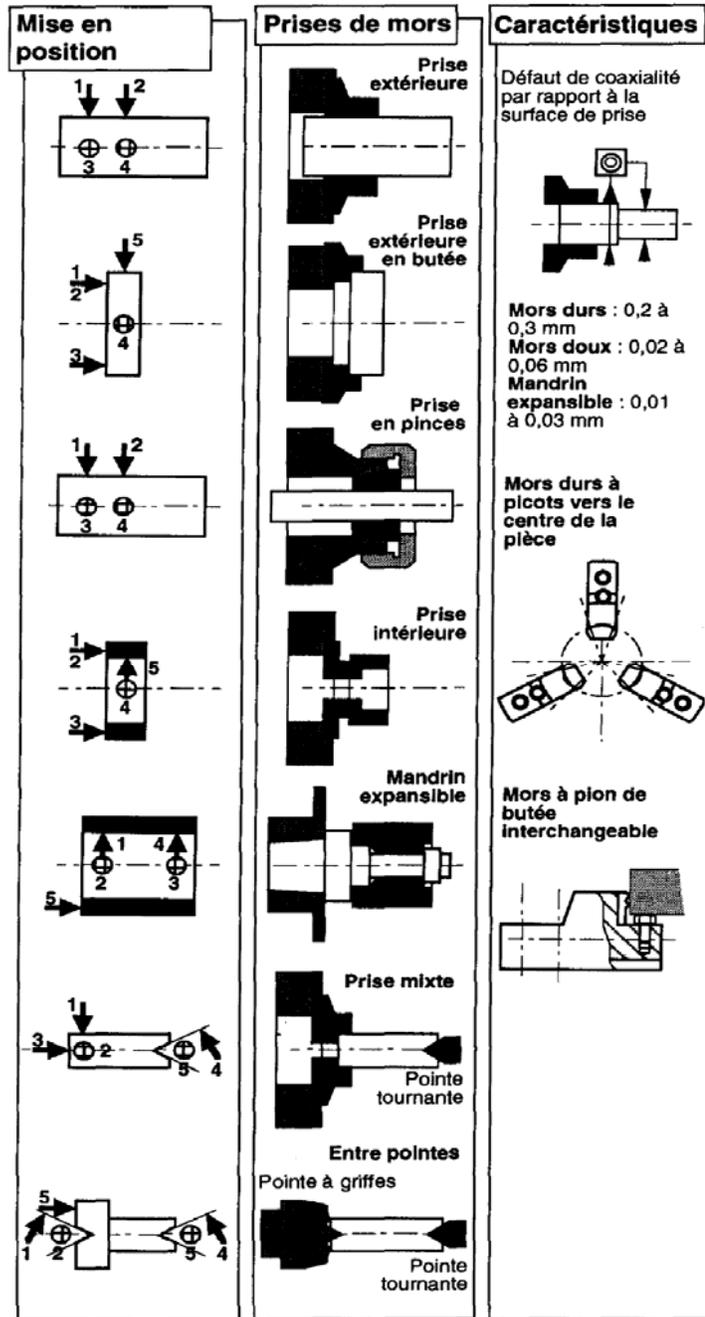


Figure 5.52. Principes d'utilisation des mandrins de tournage.

On distingue deux catégories de mors:

— les mors durs, destinés à serrer des pièces brutes lors d'une première opération. La coaxialité obtenue entre la pièce et l'axe de la broche du tour est moyenne compte tenu des jeux internes entre le

mandrin et les mors;

— les mors usinables, dits « doux ». On les utilise lors des opérations de reprise exigeant une bonne coaxialité entre la surface usinée et la surface cylindrique de prise de pièce dans le mandrin. Les mors sont montés sur le mandrin et usinés, maintenus en position par un appareil spécifique, de manière à annuler l'effet des jeux internes. De plus, ils offrent une grande surface de contact avec la pièce, ce qui réduit les pressions de contact, n'endommage pas la surface en prise et diminue les déformations.

• **Mandrins expansibles**

Ils permettent de prendre une pièce dans un alésage en dégageant complètement sa surface extérieure.

Différentes solutions sont utilisées:

- expansion d'une douille fendue ou de rondelles élastiques coniques sous l'action mécanique d'un système vis-écrou (voir figure 5.53.);
- expansion de la surface extérieure d'un cylindre à paroi mince sous l'action d'une pression hydraulique.

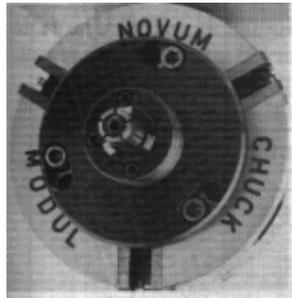


Figure 5.53. Exemple de mandrin expansible.

• **Mandrins à pince** (voir figure 5.54)

Ces mandrins utilisent une pince (cylindre fendu axialement) qui se referme sur la pièce à serrer par l'intermédiaire d'une portée conique. Les mandrins porte-pince sont livrés avec une série de pinces permettant de bloquer une série de pièces de diamètres différents.

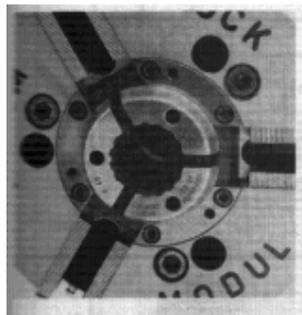


Figure 5.54. Mandrin: porte-pince.

Les pièces doivent posséder un bon état de surface et de bonnes qualités géométriques.

• **Pointes d'entraînement** (voir figure 5.55.)

Ces pointes particulières sont munies de griffes qui pénètrent dans la pièce et l'entraînent en rotation. On les appelle aussi entraîneurs frontaux.



Figure 5.55. (ci- dessus) : Entraîneur frontal.

Ce type de travail entre pointes impose la maîtrise de l'effort de maintien exercé par la contre-pointe. Leur mise en oeuvre est simple et rapide et on les utilise beaucoup lors des productions de grandes séries.

Il faut tenir compte des marques des griffes sur la face d'entraînement de la pièce et prévoir un usinage ultérieur ou le contact sur une face qui reste brute.

Eléments standard

Ce sont des dispositifs de bridage (ou d'ablocage) mis en oeuvre lorsque la table de machine est utilisée directement comme élément porte- pièce. Ils se fixent sur la par l'intermédiaire des rainures en té et permettent de bloquer la pièce.

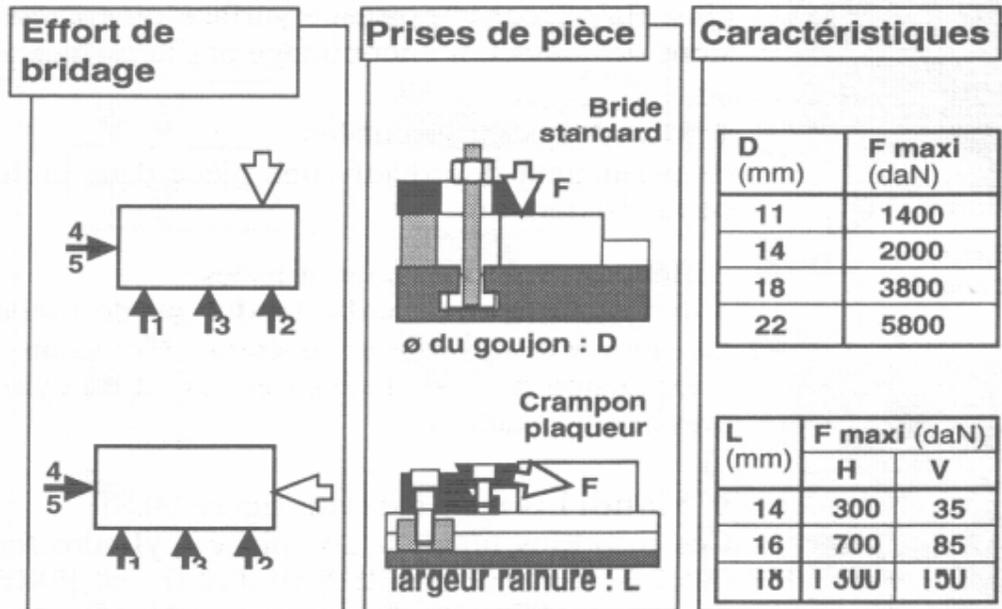


Figure 5.56. Eléments standard de bridage sur table.

Porte- pièces spécifiques

Il ne s'agit pas, dans cette partie, de décrire l'ensemble des règles de conception de porte- pièce

spécifique. Cette démarche exige une bonne maîtrise de la conception mécanique. On se contentera ici de présenter les hypothèses de départ et d'analyse des porte-pièces existants.

Principes de conception

Un porte-pièce spécifique s'étudie et se conçoit à partir de trois données:

- le dessin de définition de la pièce, précisant au technicien les formes et dimension de la pièce à usiner;
- le contrat de phase prévisionnel de la pièce, indiquant le positionnement isostatique à respecter ainsi que les cotes de fabrication, les modalités de maintien, les choisis, les conditions de production (série, nombre de pièces usinées par montage),
- la machine-outil choisie, ce qui permet de connaître les caractéristiques de la table de machine, des palettes, les caractéristiques des déplacements (courses), etc.

• Fonction principale de positionnement de la pièce

La solution doit permettre de respecter les indications du contrat de phase et d'orienter correctement la pièce par rapport à la machine. Elle doit garantir une bonne stabilité de la position dans le temps, doit être compatible avec l'état des surfaces d'appui (brutes ou usinées) et peut être réalisée à partir d'éléments réglables ou fixes.

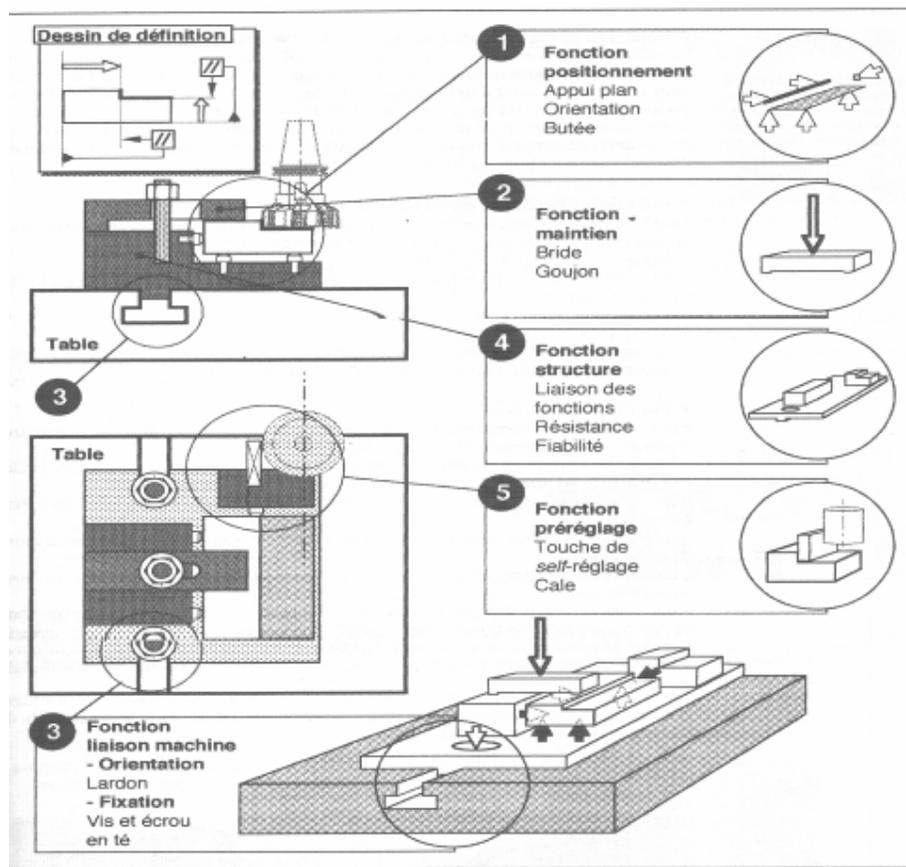


Figure 5.57. Fonctions de base d'un porte-pièce spécifique

Un dispositif peut aider au maintien en position de la pièce contre les butées, en évitant à la pièce d'être mal positionnée lors de son posage.

- **Fonction principale de maintien en position**

Elle permet le blocage en position de la pièce sur ses appuis, en interdisant tout déplacement sous l'action des efforts de coupe. Le technicien devra donc apprécier les directions et les sens des efforts de coupe s'exerçant sur la pièce pour choisir un dispositif de maintien adéquat.

- **Fonctions annexes**

Elles viennent en complément des fonctions principales et doivent permettre répondre aux contraintes suivantes:

- limiter les risques et garantir le respect des règles d'ergonomie en vigueur (fiabilité des systèmes de serrage, conception de dispositifs de manutention, etc.);
- faciliter l'évacuation des copeaux et le nettoyage des surfaces d'appui avant chargement;
- améliorer le comportement mécanique du porte- pièce par l'utilisation de dispositifs antivibratoires;
- diminuer les temps de réglage par la mise en place de dispositifs de pré-réglage dans le cas des porte- pièces de fraisage traditionnel.

- **Fonction principale de liaison avec la machine**

Le contrat de phase imposant d'orienter la pièce par rapport à la machine, la pièce étant fixée sur le porte- pièce, il convient d'orienter ce dernier par rapport à la machine. Pour éviter de se livrer à une opération d'orientation longue à chaque installation de porte- pièce, on prévoit de le positionner de manière stable et répétitive par rapport la machine (utilisation de lardons fixés sur le porte- pièce s'ajustant dans une rainure de la table, centrage conique, etc.). Il reste à fixer le montage sur la machine par l'intermédiaire d'éléments filetés.

- **Fonction principale de structure (ou bâti)**

Le bâti d'un porte- pièce permet de positionner les uns par rapport aux autres les différents éléments réalisant les fonctions précédentes. Il doit:

- permettre le posage facile de la pièce;
- être rigide : les déformations doivent rester faibles sous l'action des efforts de coupe et de serrage;
- permettre le passage sans interférence de tous les outils mis en oeuvre dans la phase d'usinage;
- lors des très grandes séries, posséder des surfaces d'appui résistantes à l'usure;
- résister aux manipulations dues au transport, au stockage.

- **Principes de qualification d'un porte- pièce**

Un porte- pièce étant conçu et réalisé (de façon modulaire ou non), toute la qualité de la production dépendra de la qualité de cet outillage. On ne peut donc pas prendre le risque de l'utiliser sans vérifier au préalable son aptitude à l'emploi.

Cette qualification repose sur trois vérifications de base:

- le contrôle géométrique du porte- pièce en dehors du site de production;
- le comportement observable du montage en utilisation réelle, permettant de corriger des défauts de comportement (déformations, vibrations, efficacité du serrage, etc.);
- la vérification de la qualité de la pièce usinée (dimensions, états de surface, etc.).

La vérification des spécifications dimensionnelles et géométriques se fait en contrôlant la conformité de la cotation fonctionnelle du porte- pièce, appelée dans ce cas cotation d'aptitude à l'emploi.

La figure 5.58 montre, dans le simple cas d'un fraisage, les deux spécifications de position de parallélisme composant la cotation d'aptitude à l'emploi de ce porte- pièce. On comprend que, si ces deux conditions ne sont pas respectées, les spécifications du dessin de définition ne seront jamais atteintes.

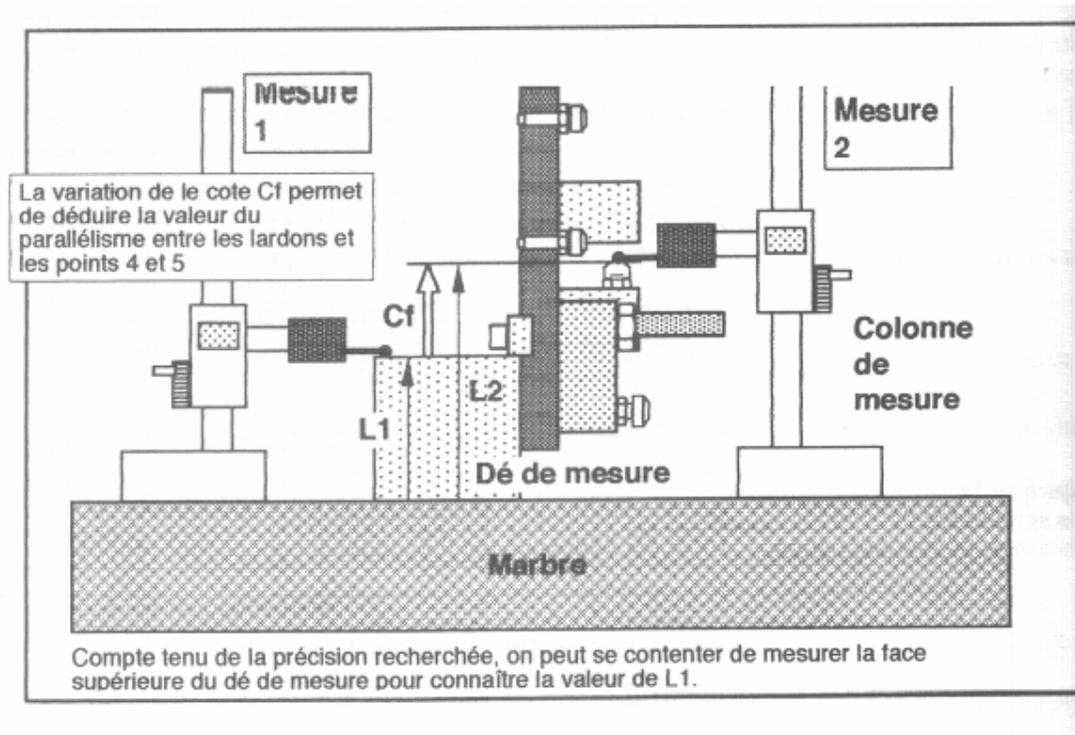


Figure 5.59. Procédure de vérification des spécifications fonctionnelles d'un porte- pièce.

Éléments standardisés pour la construction des porte- pièces

Cette partie présente une sélection d'éléments standardisés de construction des porte- pièces. On en distingue deux types:

- les éléments standard, utilisables dans des porte- pièces spécifiques fabriqués, mixtes ou modulaires (plaques, brides, pions, sauterelles, etc.);
- les éléments modulaires, étudiés pour être associés entre eux selon un « pas » précis.

Aujourd'hui, il existe deux principes d'assemblage modulaire:

- les plaques à trous, percées selon un pas donné, permettant le positionnement et la fixation d'éléments divers;
- et les plaques à rainures en T croisées.

Dans ce dernier cas le positionnement d'un élément se fait dans une rainure, ce qui donne une possibilité de translation dans le positionnement, mais rend plus délicat le repérage précis d'une position.

Les figures 5.60 à 5.63 des pages suivantes présentent un échantillonnage d'éléments modulaires destinés à répondre aux fonctions de positionnement, serrage et structure.

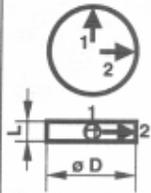
Fonctions de positionnement de base

Modèles de mise en position

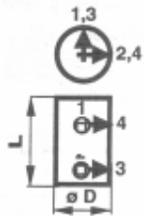
Appui plan



Centrage court



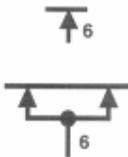
Centrage long



Orientation



Butée



Solutions constructives courantes

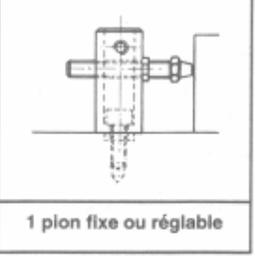
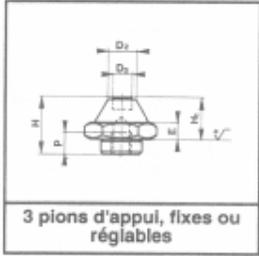
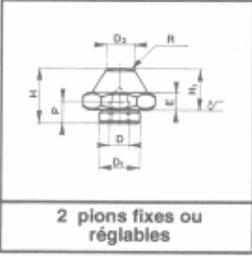
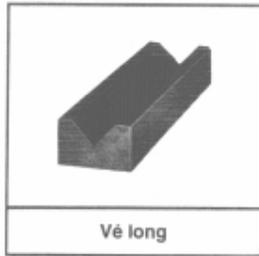
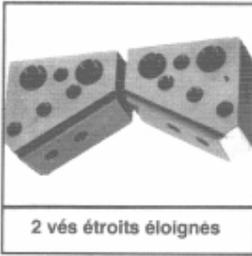
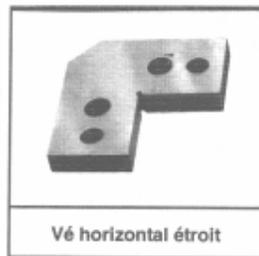
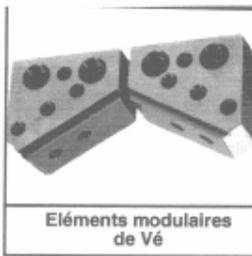
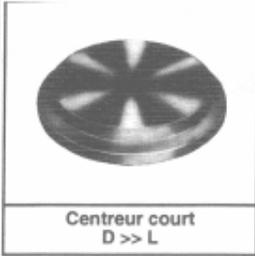
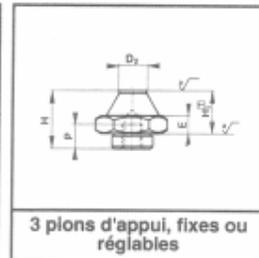
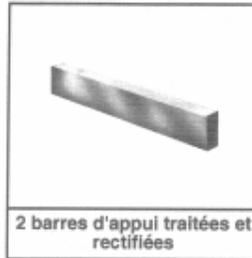


Fig.5.60. Exemples d'éléments de mise en position

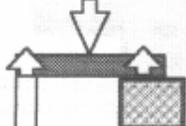
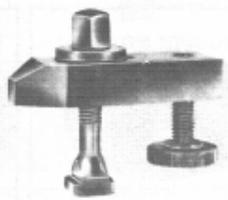
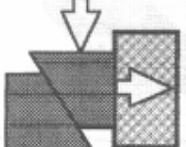
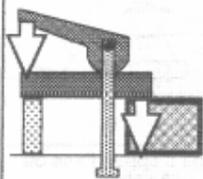
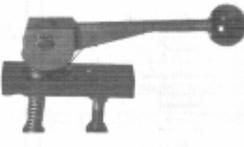
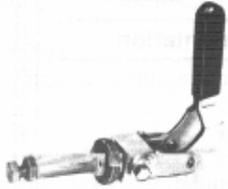
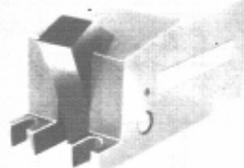
Fonctions de maintien de base			
Modèles de systèmes de bridage	Solutions constructives courantes		
Contact direct			
	 Vis de pression à patin	 Crochet de bridage	 Ensemble de bridage pivotant
Amplificateur d'effort			
	 Orive coulissante	 Orive équipée	 Ensemble de bridage modulaire
Plaqueurs			
	 Plot de blocage	 Crampon plaqueur	 Crampon plaqueur large modulaire
Excentrique et genouillères			
	 Ensemble de bridage à double came	 Sauterelle à levier vertical	 Sauterelle à pousser ou à tirer
Autres dispositifs			
Manuels ou automatisés	 Vérin hydraulique plat, à simple effet	 Bride hydraulique escamotable	

Figure 5.61. Exemples d'éléments modulaires de bridage

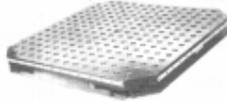
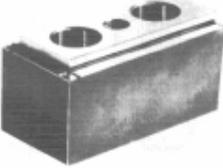
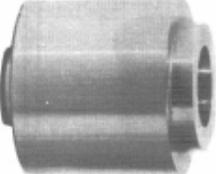
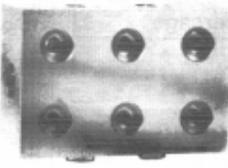
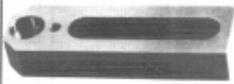
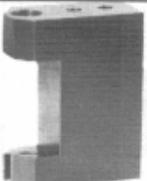
Fonctions de structure et de liaison	
Modèles de base de supports	Solutions constructives courantes
Plaques	
	 <p>Semelle acier, épaisseur 12 à 20 mm</p>  <p>Large plat à feuillure fonte Ft 26 stabilisée</p>  <p>Plaque à trous pour montages modulaires</p>
Equerres	
	 <p>Equerre de montage fonte Ft 25</p>  <p>Profil en L fonte Ft 25</p>  <p>Equerre étroite à trous fonte Ft 25</p>
Cubes, U	
 	 <p>PROFIL EN U fonte Ft 25</p>  <p>PROFIL RECTANGULAIRE fonte Ft 25</p>  <p>Cube à trous modulaire fonte Ft 25</p>
Pièces de fixation	
Éléments standard pour porte-pièces modulaires	 <p>Système modulaire Réglette d'appui fixe</p>  <p>Système modulaire Appui cylindrique fixe</p>  <p>Système modulaire Console support 4 faces</p>
	 <p>Système modulaire Support universel</p>  <p>Système modulaire Support de palonnier</p>

Fig. 5.62 : Exemples d'éléments de structure

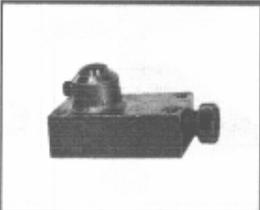
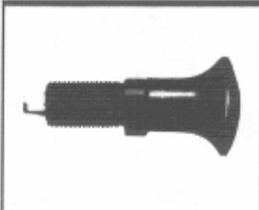
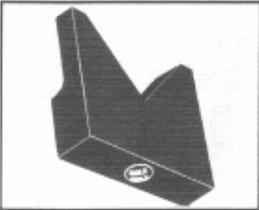
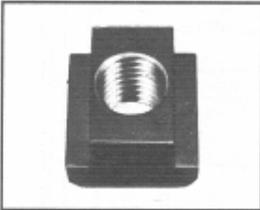
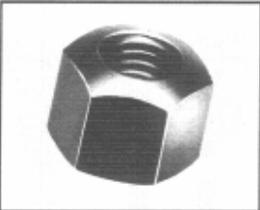
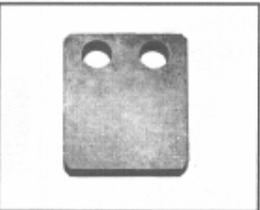
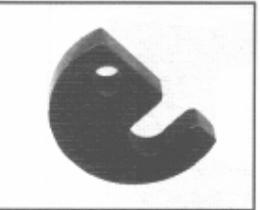
Fonctions diverses	
Eléments complémentaires	Solutions constructives courantes
Appuis complémentaires	  
	<p>Vérin antivibratoire Doigt d'indexage Poussoir à ressort</p>
Eléments de centrage	  
	<p>Cimblot dégagé Vé de centrage coulissant Lardon</p>
Eléments de serrage	  
	<p>Erou croissillon Poignée indexable Erou à portée sphérique</p>
Eléments de perçage	  
	<p>Canon de perçage fixe Canon de perçage amovible Plaque de perçage</p>
Autres éléments	  
	<p>Rondelle pivotante Axe épaulé Chape</p>

Figure 5.63. Exemples d'éléments divers

CHAPITRE 6 : ETUDE DES DISPERSIONS DIMENSIONNELLES

6.1. GÉNÉRALITÉS

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

6.2. LES CAUSES DES DISPERSIONS

Les mesurages d'une cote réalisée sur chaque pièce d'une fabrication sérielle, avec une machine pré-réglée et entre deux changements d'outils, mettent en évidence une dispersion dimensionnelle Δt : différence entre la plus grande et la plus petite des cotes mesurées. (Δt varie avec le nombre de cotes réalisées.)

Les causes de la dispersion sont :

— de caractère systématique (notées Δs) :

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

— de caractère aléatoire (notées Δa) :

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

La dispersion totale est $\Delta t = \Delta a + \Delta s$ (voir figure 6.1).

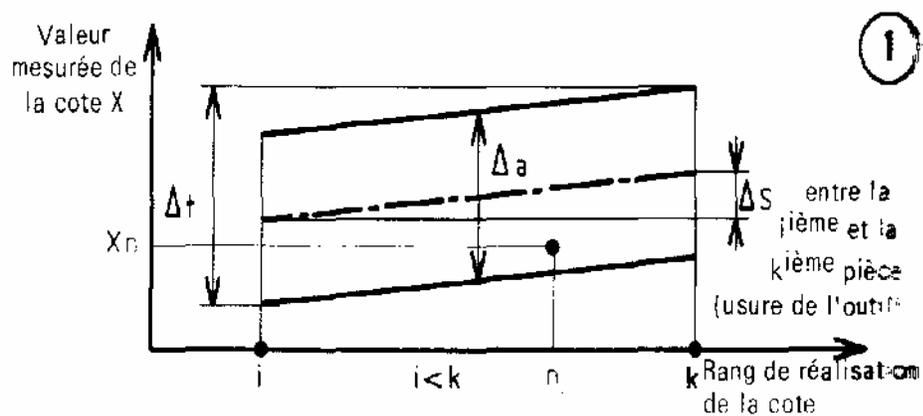


Fig. 6.1.

Les erreurs géométriques (notées Δg) intervenant lors des déplacements relatifs des éléments de la machine s'ajoutent à la dispersion globale Δt . Elles sont de même sens et ont sensiblement la même valeur pour les réalisations successives d'une même cote. Leurs valeurs sont définies par les normes de réception de la machine (voir la partie de l'ouvrage traitant des machines-outils).

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

6.3. ÉVALUATION DES DISPERSIONS

La dispersion systématique Δs peut être connue par la loi d'usure de l'outil pour un couple outil- matériau donné. Elle est généralement faible devant Δa .
La dispersion aléatoire Δa peut être évaluée de deux manières différentes par une approche analytique, en cumulant arithmétiquement ou statistiquement les divers Δ intervenant dans le cas considéré, par une approche globale issue de l'expérience (références à des cas antérieurs connus).

6.4. CONNAISSANCE DES DISPERSIONS

La connaissance des dispersions et l'évaluation de leurs ordres de grandeur permettent de choisir un moyen de production (au sens large du terme, ensemble machine- outils- pièce) assurant l'obtention de la cote et de son IT,

- de déterminer la cote de réglage correspondante,
- de prévoir la méthode de surveillance (ou de contrôle) de la production.

6.5. EXEMPLE D'ANALYSE DES DISPERSIONS

La figure 6. 2. schématise un dressage de face en tournage et met en évidence les dispersions qui interviennent.

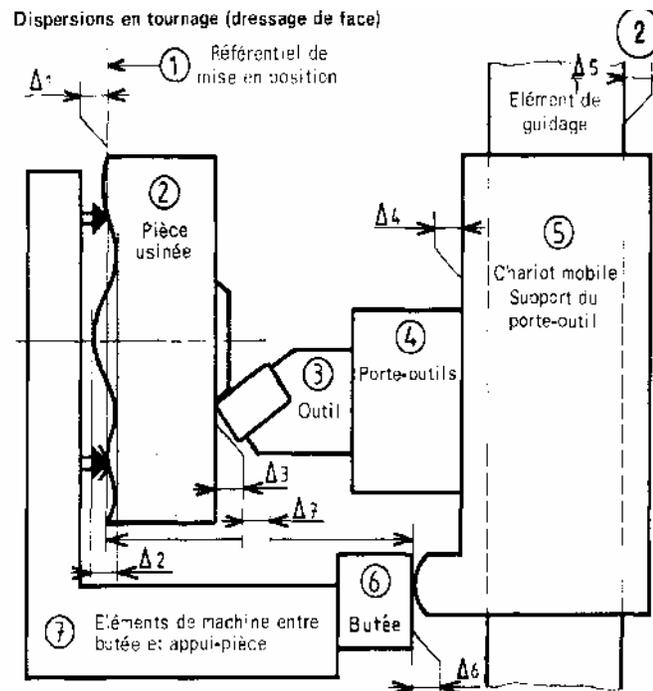


Fig. 6.2

Le tableau Fig.6.3 donne quelques valeurs usuelles de dispersions à titre indicatif.

Tableau de valeurs courantes de dispersions

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

NB : Δ_1 et Δ_2 interviennent à chaque prise de pièce
 Δ_4 intervient à chaque changement d'outil
 Δ_6 intervient à chaque pièce pour un travail en butée
 $\Delta_3, \Delta_5, \Delta_7$ interviennent à chaque pièce pour tout type de travail non unitaire.

Fig.6.3.

6.6. DISPERSIONS DIMENSIONNELLES (ETUDE STATISTIQUE)

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

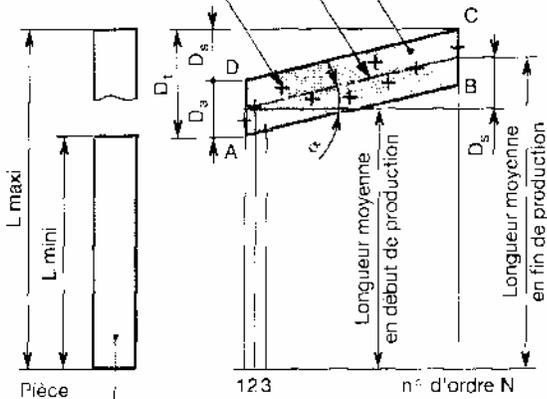
Si l'on représente graphiquement les différentes longueurs L1, L2,... Ln des pièces dans l'ordre de leur usinage, on remarque que la variation des longueurs est sensiblement dans une zone ABCD. Cette zone est appelée « zone de dispersion des dimensions »

Étude des dispersions

L'étude est relative à une durée de vie

DISPERSIONS DIMENSIONNELLES

Zone de dispersion des dimensions
 Dérive de la valeur moyenne des dimensions
 Valeurs successives des dimensions



pratique d'un outil ou à une production entre deux réglages.

Dispersion globale Dt

La dispersion globale est la somme de deux dispersions:

- la dispersion systématique Ds,
- la dispersion aléatoire Da.

Dt = Ds + Da.

REMARQUES:

- La dispersion globale **Dt** 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 Ds

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.

Ds = a. N.

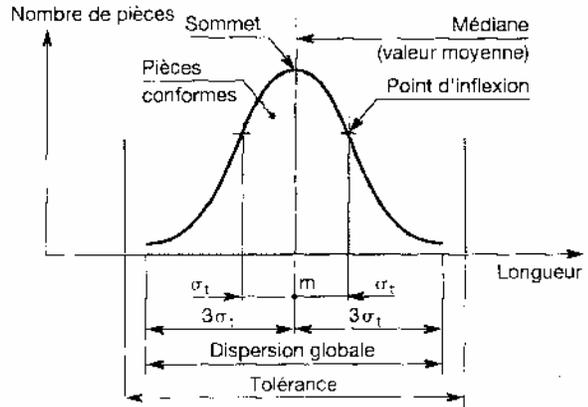
a=tan α = coefficient directeur de la droite de dérive de la valeur moyenne des dimensions.

N= nombre de pièces

Prononcer sigma indice t

***Sous réserve que m sont centrés au milieu de IT.

DISTRIBUTION DES DIMENSIONS



Intervalle	Pourcentage de dimensions conformes	
$\pm 1\sigma_t$	68,23%	Exemple d'applications : 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.
$\pm 1,96\sigma_t$	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 Li = valeur individuelle des dimensions m = valeur moyenne des dimensions N = nombre de pièces

Dispersion aléatoire Da

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:

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

Où :

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

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

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.

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

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

r = coefficient de corrélation linéaire

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

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

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

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

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

$$y = ax + b ; y = Bx + A \text{ (avec une calculatrice type Casio)}$$

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

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

$$A = b = 10,465306 \mu\text{m} \cong 0,0105 \text{ mm}$$

$$B = a = 0,464105 \mu\text{m} \cong 0,000464 \text{ mm}$$

Réglage estimé en début de production (Cr =cote de réglage ; Ti = dimension de la pièce assurant le cote minimale)

$$Cr = Ti + b = 39,85 + 0,0105 = 39,8605 \text{ mm}$$

$$\text{Dérivé unitaire par pièce produite} = a = 0,464 \mu\text{m}$$

Dérivé total 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

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

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

$$D_a = \pm 3,09 S_a = 6,18 S_a$$

$$S_a = \sqrt{49/48 (7,202358)^2 (1 - 0,876326^2)} = 3,7575 \mu\text{m}.$$

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

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 $C_{pk \text{ min}} = 1,33$).

C_{pk} - indice de capabilité du procédé.

• Moyenne en début de production:

$$T_i + 4S_a = 39,85 + 4 \times 0,00376 = 39,865 \mu\text{m}$$

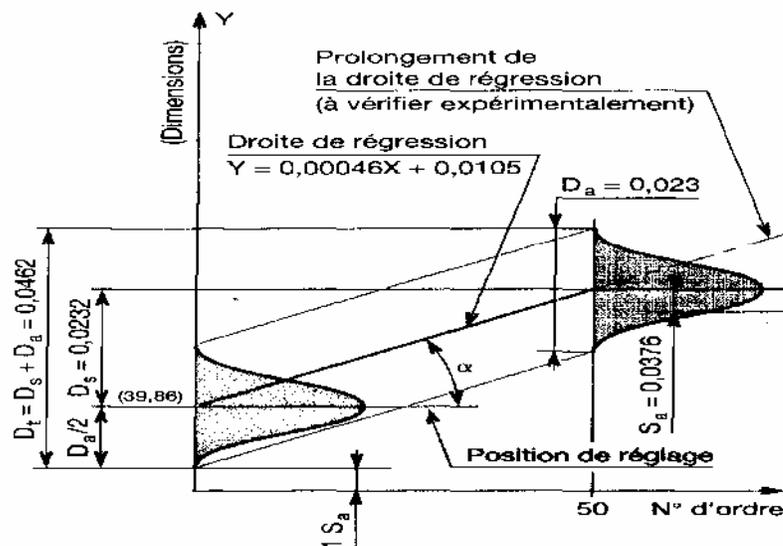
• Moyenne en fin de production :

$$T_s - 4S_a = 40 - 4 \times 0,00376 = 39,985 \mu\text{m}.$$

• Nombre de pièces N entre deux réglages

$$N = D/a = (39,985 - 39,865)/0,00046 = 260 \text{ pièces}.$$

REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES DISPERSIONS POUR 50 PIÈCES



CHAPITRE 7 : APPLICATIONS

7.1. RAPPELLE : METHODE PRATIQUE POUR RESOUDRE LES CHAINES DE COTES :

L'ensemble des vecteurs représentant une cote- condition et ses composantes s'appelle une chaîne de cotes.

Conventionnellement les vecteurs- cotes sont représentés:

- sur des droites parallèles,
- par un trait double pour la condition,
- par un trait simple pour les composantes.

La détermination complète d'une cote impose la connaissance de son IT et d'une valeur (limite ou moyenne).

Pour trouver ces deux inconnues il faut écrire deux relations.

Les résultats obtenus à l'aide du modèle vectoriel permettent d'établir une méthode pratique de tracé, puis de calcul des vecteurs- cotes.

- Elle commence par le tracé du vecteur- condition.

Celui-ci peut indifféremment être orienté vers la droite ou vers la gauche.

Conventionnellement, nous l'orienterons vers la droite lorsqu'il représente la valeur maximale de la cote (C_M) et vers la gauche pour la valeur minimale (C_m).

7.2. EXEMPLE

Soit à réaliser la pièce fig. 1 dans les conditions suivantes :

- Production sérielle de 80 pièces sur machines conventionnelles
- Surreppaisseur d'usinage 3 mm

Hypoteses méthodes :

- Copeaux minimale pour ebauche : $C_{pm}=2,5$; $C_{pm}=0,5$ pour finition.
- Tolerances : IT = 0,8 pour cotes par rapport au brut ; IT = 0,2 pour cotes entre surfaces usinées.

Hypoteses matière : acier S 235.

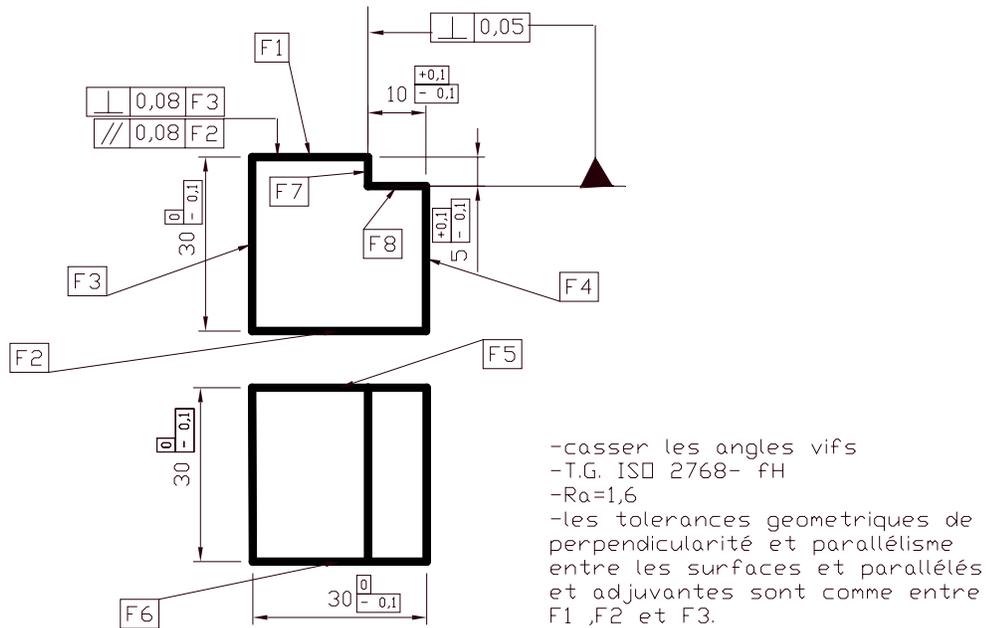
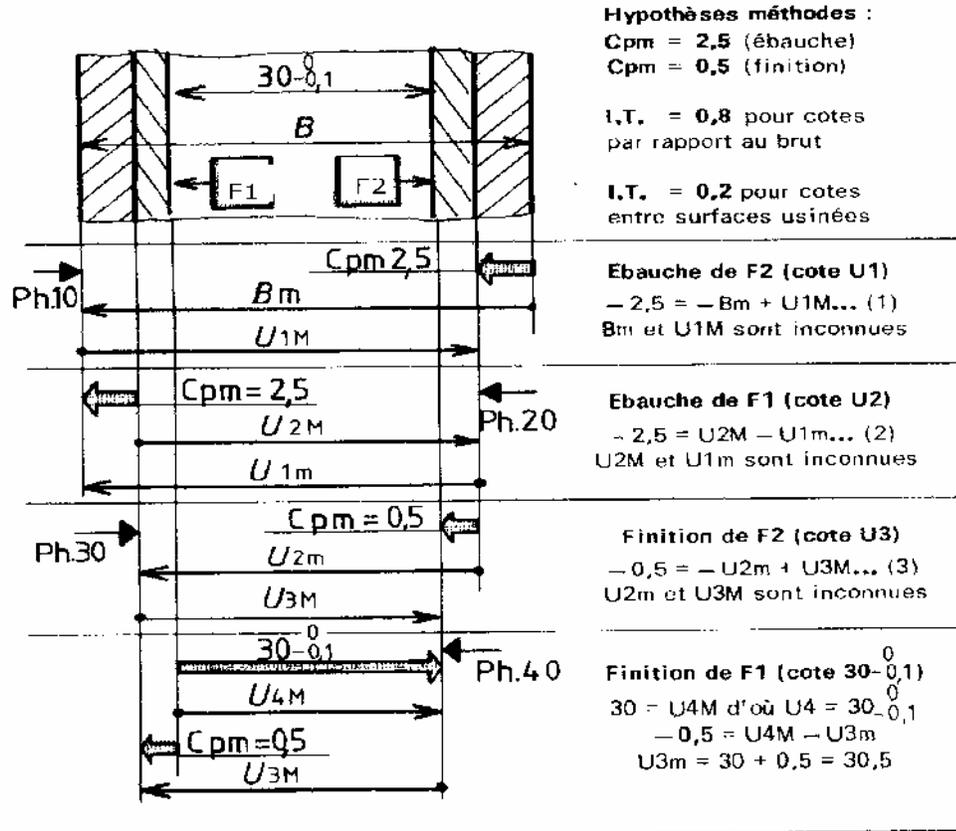


Fig.1

SOLUTION :**1) PROPOSER UN MODE OPERATOIRE :**

- * A partir de la pièce brute on commence l'ébauche des surfaces brutes F1,F2, F3, F4, F5, F6 dans les hypothèses $C_{pm}=2,5$ et $IT = 0,8$ pour cotes par rapport au brut.
- * On continue par la finition des surfaces F1, F2, F3, F4, F5, F6 en respectant les hypothèses de l'application ($C_{pm}=0,5$ pour finition ; $IT = 0,2$ pour cotes entre surfaces usinées).
- * Usinage des deux plans associés F7 et F8 par ébauche, demi- finition et finition.

2) DETERMINATION DES COTES DE FABRICATION PERMETTANT DE REALISER F1 ET F2 ET CALCUL DE LA DIMENSION MINIMALE DU BRUT



Calcul de U_1 , U_2 , U_3 et B_m .

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

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

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

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

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

CONCLUSIONS :

Les dimensions des pièces brutes :

- Longueurs : $37,2^{+0,8}_0$ ou $38^{-0,8}_0$;

- Largeurs : $37,2^{+0,8}_0$ ou $38^{-0,8}_0$;

- Hauteurs : $37,2^{+0,8}_0$ ou $38^{-0,8}_0$;

A) USINAGE EBAUCHE :

A partir de la pièce brute on commence l'ébauche des surfaces brutes F1, F2, F3, F4, F5, F6 dans les hypothèses $C_{pm}=2,5$ et $IT = 0,8$ pour cotes par rapport au brut.

1) PHASE N°1 : Ebauche des deux plans perpendiculaires non associés. (F1 et F3).

Pour obtenir la cote $U_1=33,9^{+0,8}_0$ en série on procède comme suite :

a) régler l'outil à la cote de réglage $Cr1=h$:

- introduire une cale de réglage appuyée entre les mors de l'étau sur la surface de référence ; l'hauteur de la cale est égale à la cote de réglage $Cr1=h$ (Fig. 2)

$Cr \min = C_{p \min} + D_g + T_p/3$
Tolérance de réglage $Tr = T_p/5$

La tolérance de $Cr1 \min=33,9+D_g+0.8/3=33,9+0,03+0,27=34,2$

$D_g=0,03$ (défaut globale de la fraiseuse pour l'ébauche, voir tableau ci-dessous))

$C_{p \min} =$ cote pièce minimale = (33,9)

$Tr = T_p/5=0,16$;

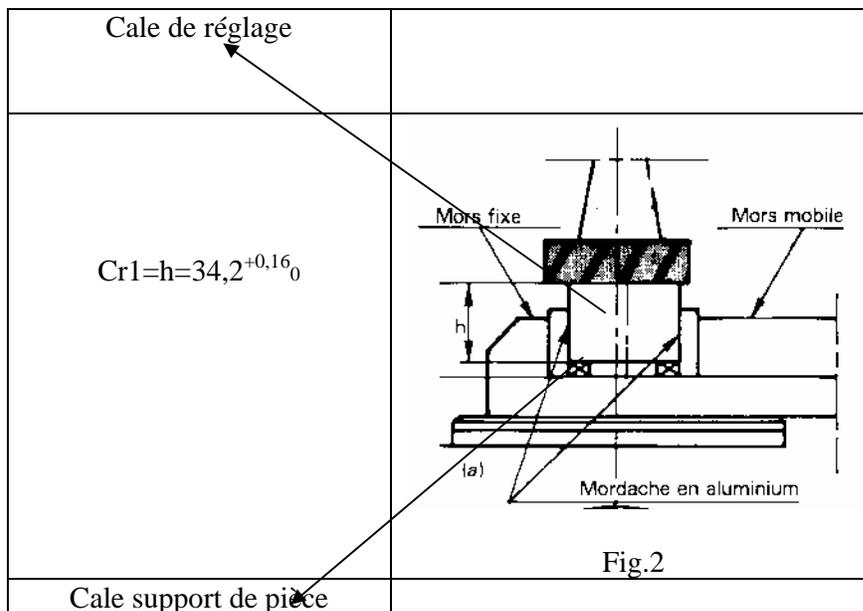
$Cr1 = h = 34,2^{+0,16}_0$; ($Cr1 \text{ moy}=34,28$) cote moyenne

Nota :

- Le réglage de la cote $Cr1 = h$ doit être fait par essais avec l'outil dehors de la cale de réglage.
- Après le réglage de la cote $Cr1$, bloquer le déplacement de la table en mouvement verticale avec la manette de blocage.
- En ce moment la fraiseuse est prête à usiner les surfaces F3 et F1 de la série de pièce.

TABLEAU RÉSUMÉ DES VALEURS TOLÉRÉES POUR DIFFÉRENTS TYPES DE LIAISON

Repère de la liaison	Tolérances géométriques	Symbole	Valeurs tolérées
1 avec 2	Perpendicularité	\perp	0,025/300
3 avec 2	Battement radial	\nearrow	0,01 (sortie de broche) 0,02 à 300 mm
7 avec 8	Parallélisme	\parallel	0,025/300
8 avec 9	Parallélisme	\parallel	0,025/300
9 avec 1	Perpendicularité	\perp	0,025/300 par rapport à la table



b) Surfaçage des plans F3 ébauche pour le lot de pièces à la cote $U_1=33,9^{+0,8}_0$ (Fig.3)

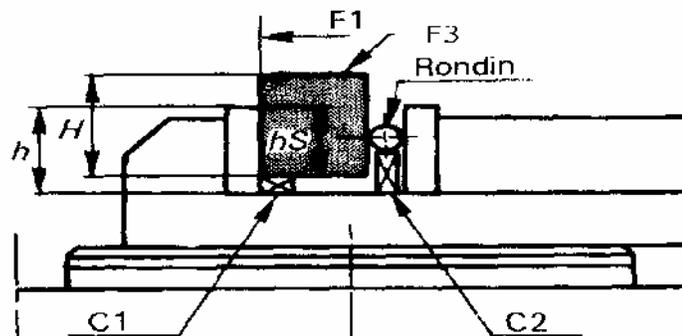


Fig.3

c) Usiner le plan F1 à la cote $U_1=33,9^{+0,8}_0$ (Fig.4)

$U_1=33,9^{+0,8}_0$ (cote à réaliser) à partir de cote du brut $B=38_{-0,8}^0$

- surface de référence = la surface de la cale C1 en contact avec la pièce.

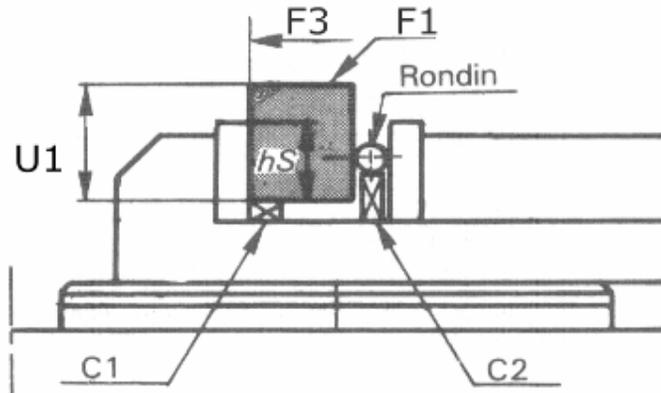


Fig.4.

Contrôle :

— Contrôler la perpendicularité avec une équerre (fig. 5)

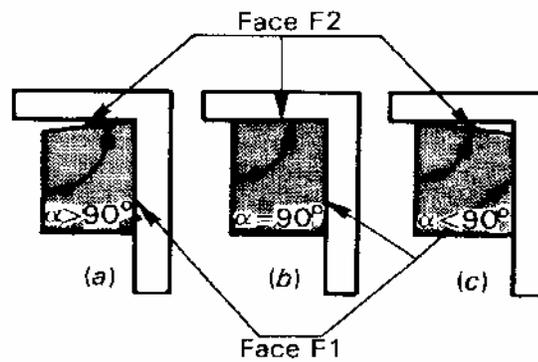


Fig.5

- Ou en utilisant un comparateur Fig.6.

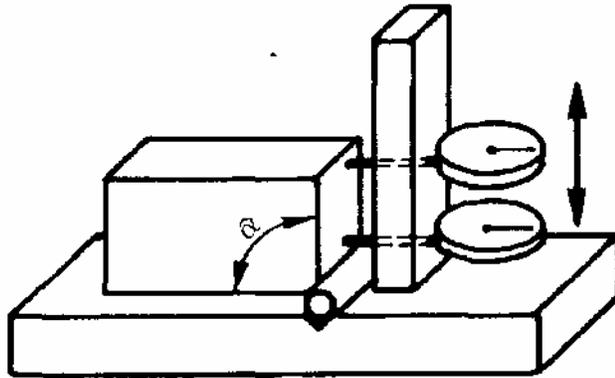


Fig.6.

2) PHASE 2. L'ébauche de la face F2 \perp F3 et parallèle avec F1

- l'obtention de la cote $U_2=31,2^{+0,2}_0$ (ou $U_2=31^{+0,4}_{+0,2}$)

Pour obtenir la cote $U_2=31,2^{+0,2}_0$ en série on commence par :

a) régler l'outil à la cote de réglage Cr2 ;

- introduire une cale entre les mors de l'étau ; l'hauteur de la cale est égale à la cote de réglage Cr2 (Fig.7)

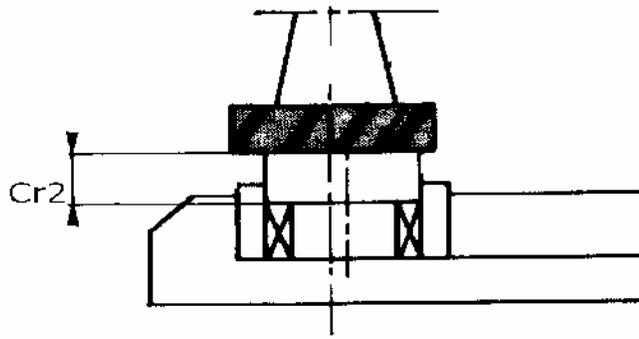


Fig.7.

$Cr \min = Cp \min + Dg + Tp/3$
Tolérance de réglage $Tr = Tp/5$

La tolérance de Cr2 $\min=31,2 + Dg+0,2/3=31,2 +0,03+0,07=31,3$

$Dg=0,03$ (défaut globale de la fraiseuse)

$$Tr=0,2/5= 0,04 ;$$

$$Cr2=31,3^{+0,04}_0 ; Cr2moy=31,32.$$

Nota : le réglage de la cote Cr2 doit être fait par essais avec l'outil dehors de la cale.

b) Surfaçage du plan F2 (ébauche) pour le lot des pièces à la cote $U_2=31,2^{+0,2}_0$ (Fig.7)

- l'obtention de la cote $U_2=31,2^{+0,2}_0$ ou $U_2=31^{+0,4}_{+0,2}$

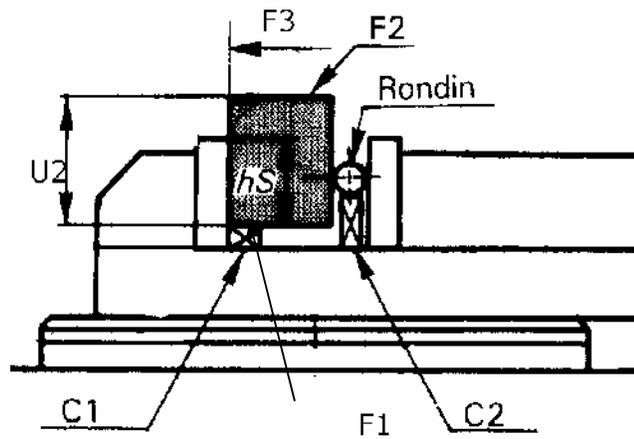


Fig.7 .

3) PHASE 3. L'ébauche de la face F4 \perp F2 et parallèle avec F3 pour le lot des pièces à la cote $U_2=31,2^{+0,2}_0$ (Fig.8)

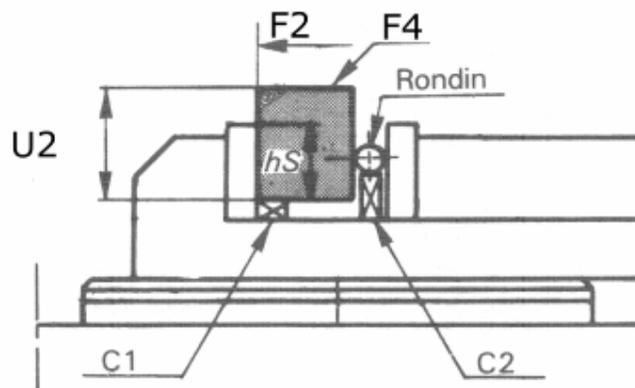


Fig.8.

Nota : l'outil reste réglé comme pour la phase 2 ($Cr2=31,3^{+0,04}_0$; $Cr2 moy = 31,32.$)

4) PHASE 4. L'ébauche de la face F5 parallèle avec F6 pour le lot des pièces à la cote $U_1=33,9^{+0,8}_0$ (Fig.8)

a) régler l'outil à la cote de réglage $Cr_1 = h = 34,2^{+0,16}_0$; $Cr_1 \text{ moy} = 34,28$ la cote moyenne, comme à la phase 1.

b) **Surfaçage des plans F5 ébauche pour le lot des pièces à la cote $U_1 = 33,9^{+0,8}_0$**
comme à la phase 1.

Nota : La phase 4 peut être effectuée pendant l'usinage de la phase 1, après l'ébauche de la surface F3, parce que le réglage de l'outil est le même.

5) PHASE 5. Surfaçage du plan F6 (ébauche) pour le lot des pièces à la cote $U_2 = 31,2^{+0,2}_0$

- l'obtention de la cote $U_2 = 31,2^{+0,2}_0$ ou $U_2 = 31^{+0,4}_{+0,2}$

a) régler l'outil à la cote de réglage **Cr2 ;**

$Cr_2 = 31,3^{+0,04}_0$; $Cr_2 \text{ moy} = 31,32$, comme à la phase 2.

b) **Surfaçage du plan F6 (ébauche) pour le lot des pièces à la cote $U_2 = 31,2^{+0,2}_0$**

Observation : En ce moment l'étape d'ébauche est terminée.

- Contrôler l'équerrage et les dimensions des pièces du lot.

B) USINAGE FINITION

On continue par la finition des surfaces **F1, F2, F3, F4, F5, F6** en respectant les hypothèses de l'application ($C_{pm} = 0,5$ pour finition ; $IT = 0,2$ pour cotes entre surfaces usinées).

1) PHASE 1. Surfaçage finition du plan F1 pour le lot des pièces à la cote $U_3 = 30,5^{+0,2}_0$

a) régler l'outil à la cote de réglage **Cr3 ;**

$Cr \text{ min} = C_p \text{ min} + D_g + T_p/3$
Tolérance de réglage $Tr = T_p/5$

$$Cr_{3\text{min}} = 30,5 + 0,01 + 0,1/3 = 30,51 + 0,033 = 30,54$$

$$Tr = 0,1/5 = 0,02 ;$$

$$Cr_3 = 30,54^{+0,02}_0 ; Cr_3 \text{ moy} = 30,55 ;$$

b) **Surfaçage du plan F1 (finition) pour le lot des pièces à la cote $U_2 = 30,5^{+0,2}_0$**

2) PHASE 2. Surfaçage finition du plan F2 pour le lot des pièces à la cote $U_p = 30^0_{-0,1}$

a) régler l'outil à la cote de réglage Cr4 ;

$$Cr4_{min} = 29,9 + 0,01 + 0,1/3 = 30,51 + 0,033 = 29,94$$

b) Surfaçage du plan F1 (finition) pour le lot des pièces à la cote $U_p = 30^{0}_{-0,1}$

Nota : Pour surfaçage finition de F3 , F4 et F5 , F6 on procède comme à la Phase 6 et la Phase 7.

Observation : En ce moment l'étape de finition des surfaces F1, F2, F3, F4, F5, F6 est terminée.

- Contrôler l'équerrage, le parallélisme et les dimensions des pièces du lot.

C) USINAGE DES DEUX PLANS ASSOCIEES F7 ET F8 PAR EBAUCHE, DEMI-FINITION ET FINITION

1) Détermination des Cotes de transfert Cf1 et Cf2 en permettant de calculer les cotes de réglage pour l'ébauche, la demi- finition et la finition.

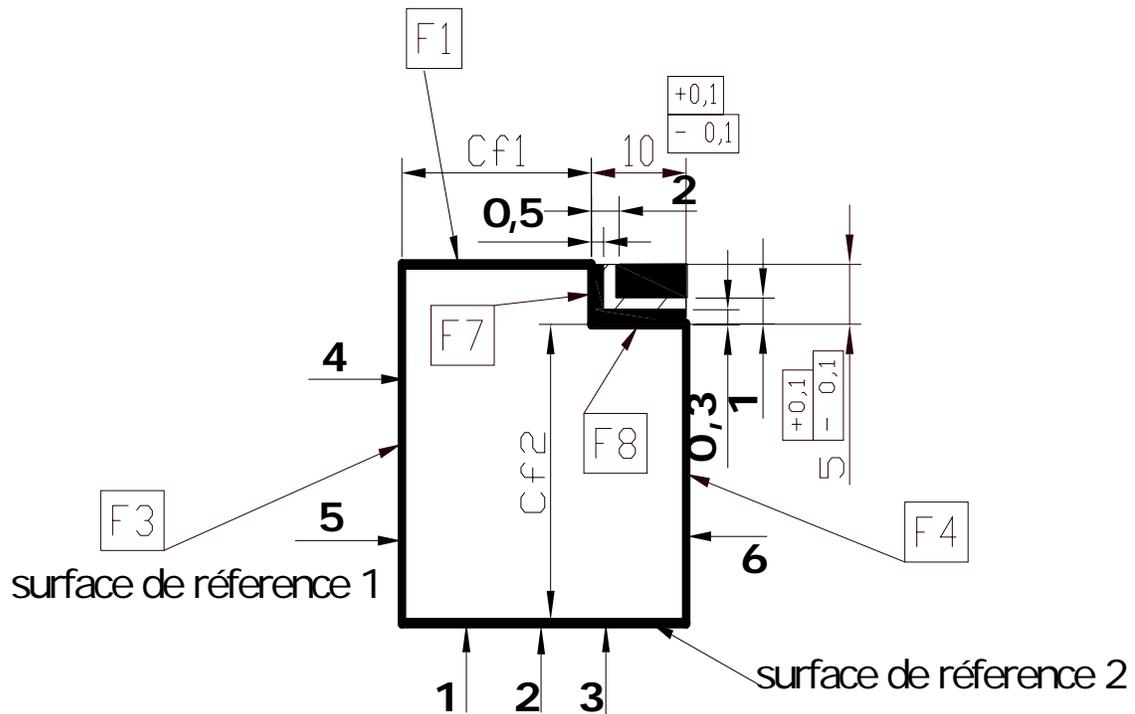


Fig. 9

-calcul des cotes de transfert Cf1 et Cf2 :

$$10^{+0,1}_{-0,1} = Cf1 + 30^{0}_{-0,1}$$

Condition de max (pour la cote condition) :

$$10,1 = Cf1_{min} + 30;$$

$$Cf1_{min} = 30 - 10,1 = 19,9$$

$$IT_{cond} = \sum IT_{composantes}$$

$$0,2 = 0,1 + IT_{Cf1};$$

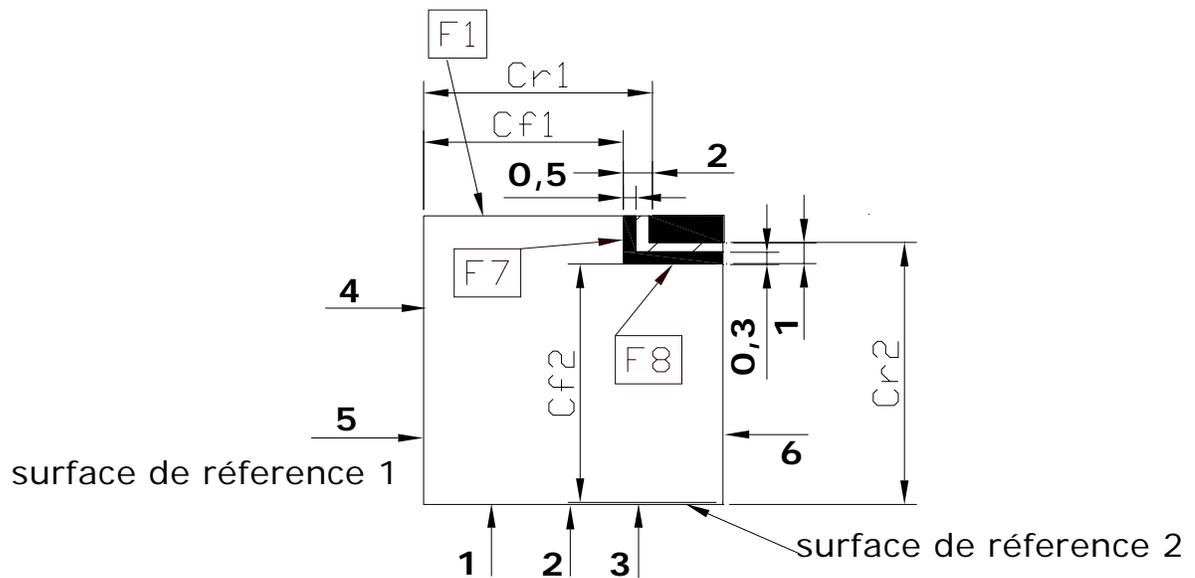
$$IT_{Cf1} = 0,1;$$

$$Cf1 = 20^{0,-0,1}$$

Pour Cf2 on obtient:

$$Cf2 = 25^{0,-0,1}$$

-cotes de réglage pour l'ébauche :



$$Cr_{min} = Cp_{min} + Dg + Tp/3$$

$$\text{Tolérance de réglage } Tr = Tp/5$$

$$Cr1_{min} = Cf1_{min} + 2 + Dg + Tp/3$$

$$Cr1_{min} = 19,9 + 2 + 0,03 + 0,2/3 = 21,93 + 0,067 = 22$$

$$Tr = 0,2/5 = 0,04$$

$$Cr1 = 22^{+0,04}_0$$

$$\text{et } Cr2 = 25^{+0,04}_0$$

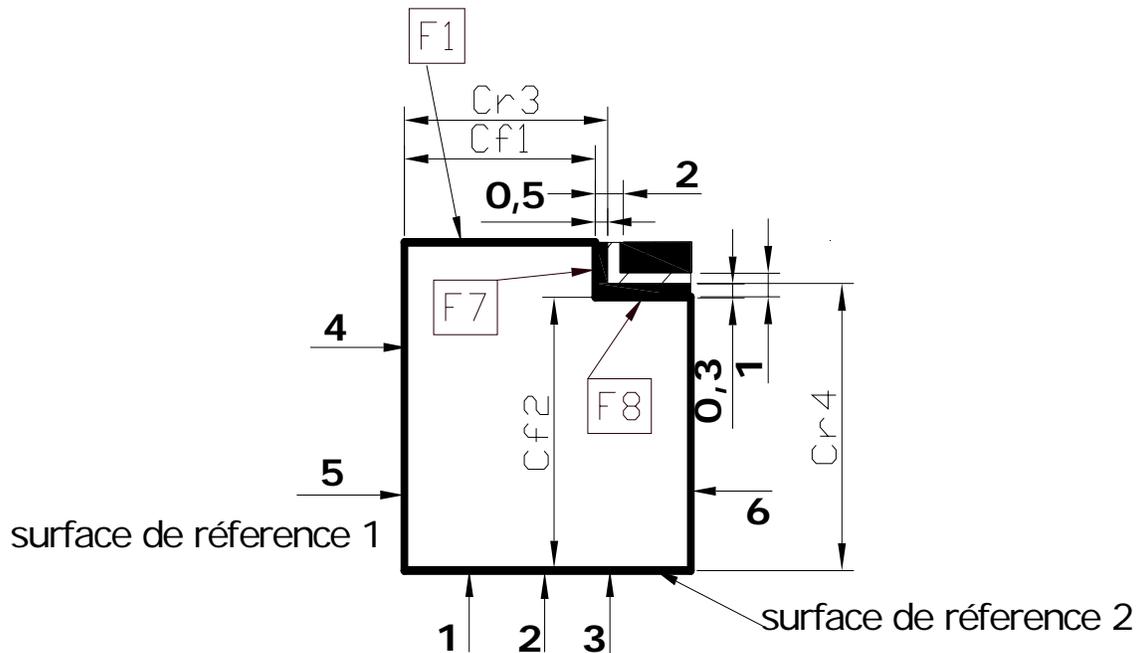
2) Réglage de l'outil aux cotes de réglage Cr1 et Cr2 par l'intermédiaire d'une cale.

-Blocage des déplacements longitudinales et verticales de la table.

3) Usinage (ébauche) des deux plans \perp associés F7 et F8 pour le lot des pièces.

4) Déterminer les cotes de réglage pour la demi-finition.

$Cr \text{ min} = Cp \text{ min} + Dg + Tp/3$
Tolérance de réglage $Tr = Tp/5$



$$Cr3 \text{ min} = Cp \text{ min} + Dg + Tp/3$$

$$Cr3 \text{ min} = 19,9 + 0,5 + 0,01 + 0,2/3 = 20,57$$

$$Tr = Tp/5 = 0,2/5 = 0,04 ;$$

$$Cr3 = 20,57^{+0,04}_0 ; Cr3 \text{ moy} = 20,59$$

Avec une même raisonnement :

$$Cr4 = 25,57^{+0,04}_0 ; Cr4 \text{ moy} = 25,59$$

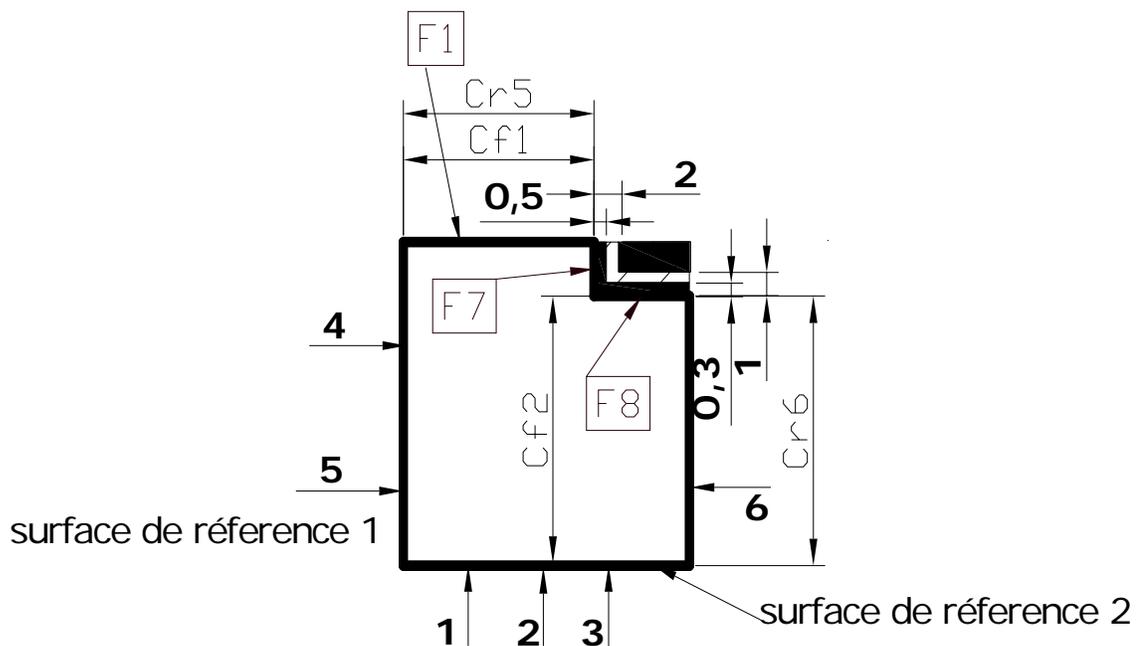
5) Réglage de l'outil aux cotes de réglage Cr3 et Cr4 par l'intermédiaire d'une cale.

-Blocage des déplacements longitudinaux et verticales de la table.

6) Usinage (demi- finition) des deux plans \perp associés F7 et F8 pour le lot des pièces.

7) Déterminer les cotes de réglage pour finition.

$Cr_{min} = C_{p_{min}} + D_g + T_p/3$
Tolérance de réglage $Tr = T_p/5$



$$Cr_{5min} = 19,9 + 0 ; 01 + 0,067 = 19,98$$

$$Tr = T_p/5 = 0,2/5 = 0,04$$

$$Cr_5 = 19,98^{+0,04}_0 ; Cr_{5moy} = 20$$

Et :

$$Cr_5 = 24,98^{+0,04}_0 ; Cr_{5moy} = 25 ;$$

8) Usinage (finition) des deux plans \perp associés F7 et F8 pour le lot des pièces.

-AUX FONCTIONS DES CONDITIONS DE L'ATELIER, COMPLETER LA FICHE CI-JOINTE POUR CHAQUE PHASE.

FEUILLE D'ANALYSE DE FABRICATION			
---	--	--	--

Réalisé par :		Phase:	
Ensemble :	Matière		Ensemble :

--	--	--	--

N°	Désignation des sous phases, sous phases et opérations Cotes de fabrication et cotes de réglage	M.O./outillages	Outils de mesurage et moyens de réglage

CHAPITRE 8 : ETUDE STATISTIQUE DU TRAVAIL DE SERIE

On désire tester la capabilité d'un poste de travail. Afin d'évaluer sa capabilité, nous mettons sous surveillance sa production par le biais des cartes de contrôle. Il s'agit d'un usinage de la cote $10 \pm 0.1\text{mm}$

Le caractère contrôlé est la cote d'épaulement L. La mesure de la cote « L » est assurée au moyen d'un micromètre au 1/100 de mm.

On procède au prélèvement de 16 échantillons sur le poste.

Ci-après les relevés :

Ech	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Xi	10.01	10.03	10.01	10.03	9.93	9.95	10.01	10.03	10.03	10.01	9.99	9.97	10.03	10.05	9.93	9.99
	10.01	9.95	9.97	9.99	10.07	10.01	9.99	9.99	9.99	9.99	9.97	9.95	10.01	9.97	9.97	9.97
	10.05	10.01	9.97	9.93	9.99	10.01	9.99	9.99	9.97	10.03	10.01	10.01	10.05	9.99	10.01	9.99
	9.99	9.99	10.03	10.03	9.99	9.95	9.99	10.01	10.01	10.01	10.05	10.01	9.97	10.01	9.99	10.01
	9.98	10.05	9.99	10.03	9.95	9.99	9.99	10.01	9.98	10.01	10.05	10.03	9.99	9.99	10.01	10.05

1. Calculer les limites de contrôle. (LCS et LCI)
2. Faire le tracé des cartes de contrôle de la moyenne et de l'étendue.
3. Interpréter les cartes de contrôle.
4. Calculer les indices de capabilité machine (C_m , C_{mks} , C_{mki} , C_{mk}), en complétant les documents page suivante.

SOLUTIONS :

JUSTIFICATIONS DES CALCULS

1. Calculs des limites des contrôles

- a) Calculs des moyens par échantillons : \bar{X} (Voir tableau Carte de Contrôle)
 b) Calculs des étendues par échantillons : R (Voir tableau Carte de Contrôle)

c) Calculs des moyens des moyens $\bar{\bar{X}} = 9,99$

d) Calculs des moyens des étendues $\bar{\bar{R}} = 0,073125$

- e) Calculs des limites de contrôle

$$LCS(\bar{X}) = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{\bar{R}} = 10 + 0,52 \times 0,07 = 10,0364$$

$$LIC(\bar{X}) = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{\bar{R}} = 10 - 0,52 \times 0,07 = 9,9636$$

2. Faire le tracé des cartes de contrôle de la moyenne et de l'étendue
 (Voir Carte de Contrôle)

3. Interpréter les cartes de contrôle

Le procédé : non sous contrôle, parce qu'il y a une série consécutives des points d'une même cote de la moyenne.

4. Calculer les indices de la capacité machine (C_m , C_{mks} , C_{mki} , C_{mk}),

$$S = \bar{R} / dn = 0,073125 / 2,326 = 0,03138$$

$$C_p = (T_s - T_i) / 6S = 0,2 / 6 \times 0,03138 = 1,06224$$

$$C_{pks} = (T_s - \bar{X}) / 3S = (10,1 - 9,99) / 3 \times 0,03138 = 1,1663$$

$$C_{pki} = (\bar{X} - T_i) / 3S = (9,99 - 9,9) / 3 \times 0,03138 = 0,95425$$

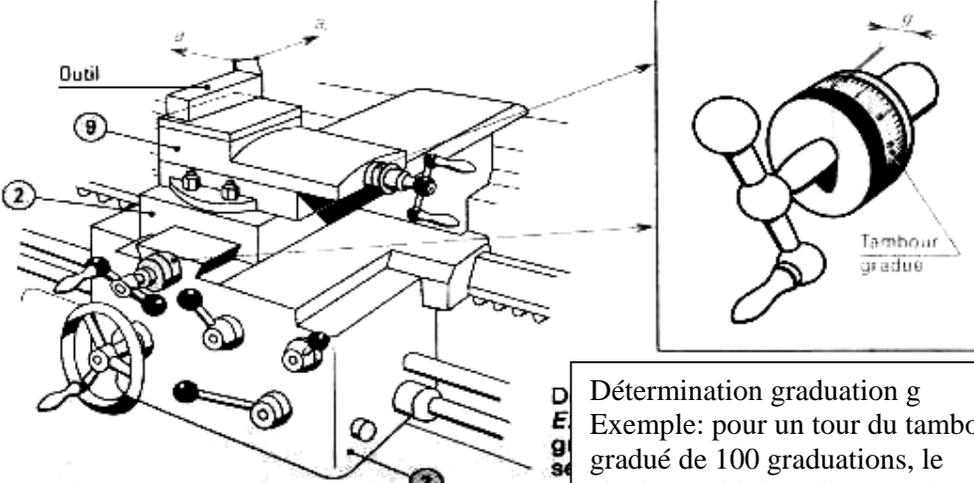
$$C_{pk} = 0,95425 < 1,33 \Rightarrow \text{Procédée non capable}$$

CHAPITRE 9: EXEMPLES DES ELEMENTS DE REGLAGE DES MACHINES

9.1. ELEMENTS DE REGLAGE POUR LE TOUR UNIVERSEL

Les éléments de réglage permettent le respect des cotes de fabrication (Cf).

TAMBOURS GRADUÉS

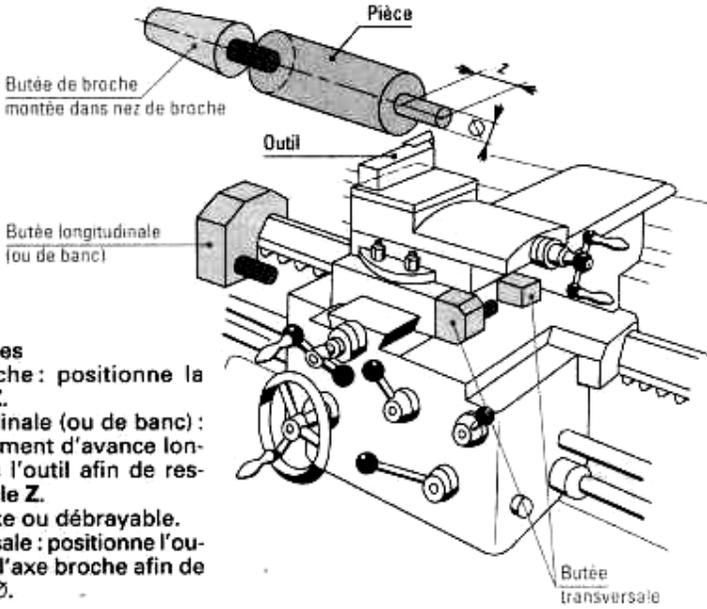


Détermination graduation g
Exemple: pour un tour du tambour gradué de 100 graduations, le chariot se déplace de 5 mm (pas de la vis).

$$g = \frac{5}{100} = 0,05$$

a_l: pénétration longitudinale (axe Z), obtention des Cf axiales (9 ou 3).
a_t: pénétration transversale (axe X), obtention des Cf radiales (Ø) (2).

BUTÉES



Différentes butées

- **Butée de broche**: positionne la pièce sur l'axe Z.
- **Butée longitudinale (ou de banc)**: arrête le mouvement d'avance longitudinal M_f de l'outil afin de respecter la Cf axiale Z. Elle peut être fixe ou débrayable.
- **Butée transversale**: positionne l'outil par rapport à l'axe broche afin de respecter la Cf Ø.

9.2. CONCLUSIONS SUR LES TRAVAUX DE SERIE EN TOURNAGE

Définition

Le travail de série est l'usinage de plusieurs pièces identiques. Le nombre de pièces à fabriquer intervient dans le choix des méthodes, des outillages, et des machines à utiliser.

But

Réduire le temps de fabrication, ce qui entraîne une réduction du prix de revient.

Principes

Assurer l'identité de mise en position des pièces et des outils.

Associer plusieurs opérations.

Simplifier les opérations de réglage.

Simplifier et faciliter les manipulations.

Machines

Le choix dépend de l'importance de la série:

- tour parallèle amélioré (porte- pièce, porte-outil, butées, copieur hydraulique),
- tours spéciaux de série
 - à décolleter,
 - semi-automatique,
 - automatique,
 - programmé, à commande numérique

Mise en position des pièces

Montage en l'air

Mettre la face de référence ou de départ en butée - soit contre les mors du mandrin, soit sur une butée de broche réglée en début de série.

Montage entre- pointes

Utiliser une pointe à ressort qui permet une mise en butée sur la face.

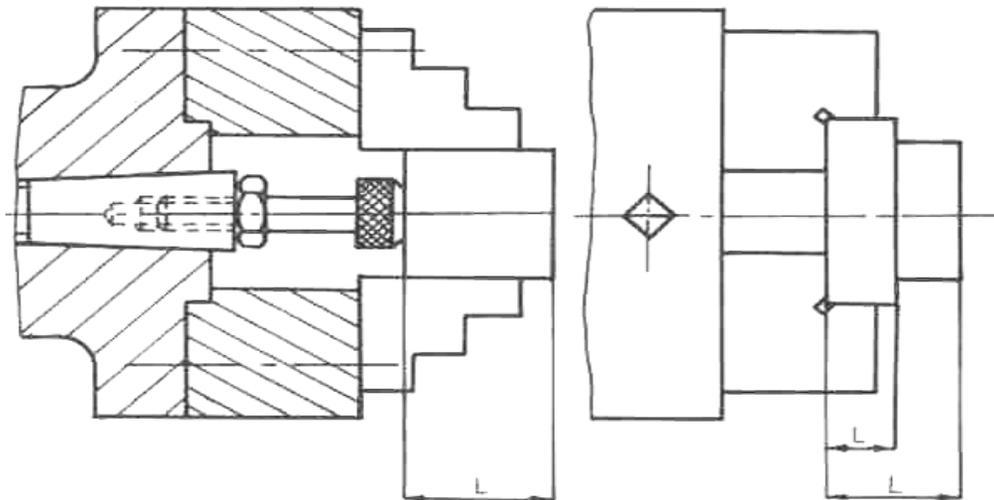
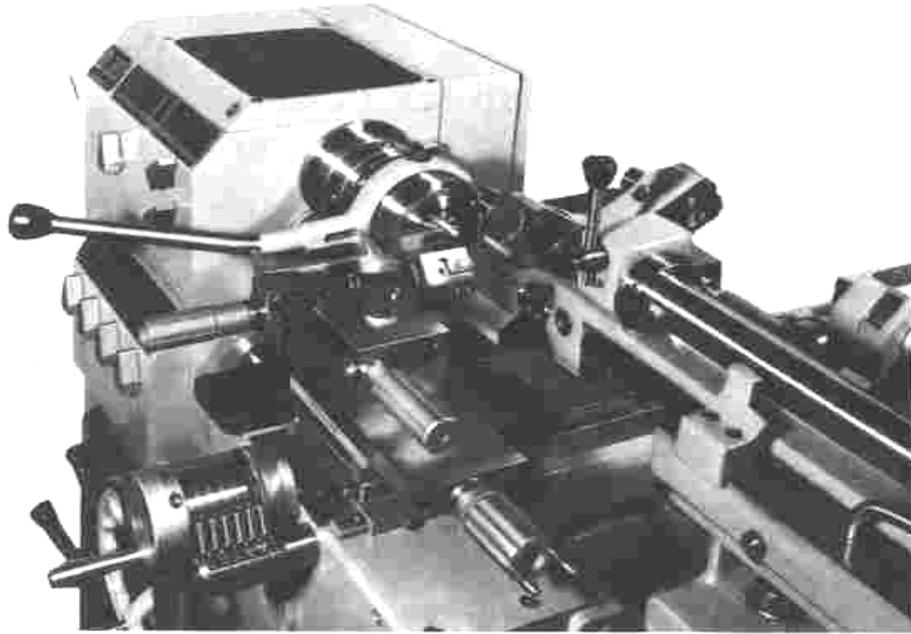


Fig.1. Exemple de butée

Mise en position des outils

- ✓ Utiliser les quatre postes de montage d'une tourelle carrée, ou hexagonale pour outils à poste fixe.
- ✓ Utiliser une tourelle à porte-outils amovibles.

Association de plusieurs opérations

- ✓ Utiliser plusieurs outils qui agissent simultanément
- ✓ Faire agir plusieurs outils successivement

Ces deux méthodes permettent d'obtenir une très bonne position géométrique relative des surfaces, et surtout un gain de temps.

Toutefois, les temps de réglage en début de série et après le réaffûtage des outils sont quelque fois très longs.

Simplification des opérations de réglage

- ✓ Utiliser des butées qui peuvent être fixes, pivotantes (à ballet), réglables (micrométriques).
- ✓ Utiliser les dispositifs prévus par certains constructeurs spécialisés.

Simplification des manipulations de montage de la pièce

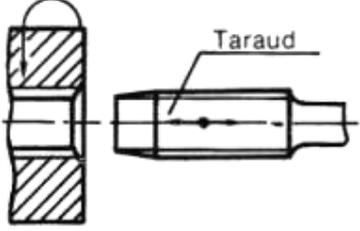
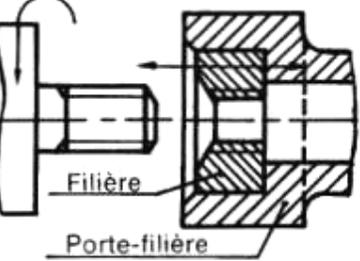
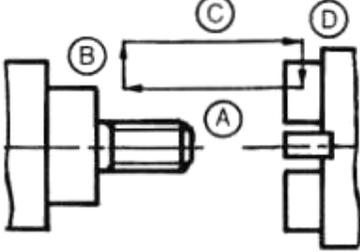
Utiliser :

- ✓ Des mandrins à serrage pneumatique ou hydraulique,
- ✓ Des pointes entraîneuses (pyramides ou à ergots),
- ✓ Un plateau entraîneur (mors autoserreur à cames).

REMARQUE :

En raison de la répétitivité des gestes, le poste de travail doit être constamment bien aménagé et surtout bien ordonné.

9.3. EXEMPLES POUR LE FILETAGE EN SERIE

Outil machine	Principe	Schéma
<p>Taraud sur tour parallèle</p>	<p>Filetage formé en une seule passe</p> <p>Amorçage</p> <p>Ébauche</p>	
<p>Filière de décolletage</p> <p>Tour parallèle</p> <p>Tour à décolleter</p>	<p>Finition</p> <p>Arrêt</p> <p>Inversion rotation</p>	
<p>Filière à peignes à déclenchement</p> <p>Tour parallèle</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Réglage au diamètre nominal ■ Réglage butée ouverture <p>Cycle :</p> <ul style="list-style-type: none"> Ⓐ Peignes fermés filetage Ⓑ Ouverture peignes Ⓒ Dégagement Ⓓ Fermeture peignes 	
<p>Outil carbure</p> <p>Tour à fileter automatisé</p> <p>Cridan</p>	<p>Cames assurant pénétration fin course trajectoire outil</p> <p>Cycle automatique</p> <ul style="list-style-type: none"> Ⓐ Pénétration outil Ⓑ Filetage Ⓒ Fin de trajectoire curviligne et recul outil Ⓓ Retour et, en fin de cycle, retombée de l'outil dans le sillon 	