

REBUBLIQUE ALGERINNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU



FACULTE GENIE DE LA CONSTRUCTION
DEPARTEMENT DE CONSTRUCTION MECANIQUE

Mémoire de fin d'étude

En Vue De L'obtention Du Diplôme Master Professionnel
Spécialité : Fabrication Mécanique Et Productique

Thème

Programmation sur tour à commande numérique CNC

Proposé par : Mr H.SEDJAL

Etudier et présenté par :

Mr Djamal AHCENE

Membres du Jury:

Président: Mr M'NOIR

Examineurs: Mr DJELIL

Mr AMEZIANI

Promoteur: Mr H.SEDJAL

Promotion 2016

Remerciements

Avant toute chose, je remercie ALLAH, le tout puissant, de m'avoir donné la santé, la patience, la puissance et la volonté pour réaliser ce travail, et je dis (Alhamdo.li.allah).

*A cette occasion, qu'il me soit permis d'exprimer particulièrement ma profonde gratitude, mes sentiments de reconnaissance et de satisfaction à mon enseignant et encadrant **M^r H.SEDJAL** qui ma fait l'honneur de veiller et de diriger ce travail. En assurant la gestion de mon mémoire.*

*J'exprime mon estime et mes remerciements aux membres de jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail en dépit de leurs nombreuses autres obligations, mes sincères remerciements à **M^r M'noir** qui a bien voulu accepter de présider ce jury. Je tiens à exprimer ma très grande considération aux examinateurs **M^r AMEZIANI** et **M^r DJELIL** qui m'ont fait l'honneur d'examiner ce mémoire et de me faire ainsi bénéficier de leurs compétences et de leurs connaissances.*

Tous mes sincères remerciements à tous mes enseignants de l'année théorique de master.

Je tiens aussi à remercier sincèrement toute mes collègues et mes amies de promos avec qui j'ai vécu ces deux dernières années. Enfin, je remercie ceux et celles qui m'ont aidé d'une façon ou d'une autre, de près ou de loin dans mon travail, je les remercie du fond du cœur.



*A l'aide de dieu tout puissant, qui m'a tracé le chemin de ma vie,
j'ai pu réaliser ce travail que je dédie :*

A mes chère parents

A mes frères

A mes amis

A mes professeurs

A vous...



Sommaire

Chapitre I

Introduction

I. Introduction	1
I. 1. Généralité sur l'usinage par enlèvement de matière	1
I. 2. Les machines	2

Chapitre II

Généralité sur tournage

II. 1. Définition	3
II. 2. Outils de tournage	3
II. 3. Choix des outils de tournage	4
II. 3.1. Les outils en acier rapide (ars)	4
II. 3.2. Les outils de carbure à plaquette amovible.....	7
II. 4. Identifier des surfaces tournées	9
II. 4.1. Classification par surfaces obtenues.....	9
II. 4.2. Classification par élément usiné	9
II. 4.2.1 Surfaces extérieures.....	9
II. 4.2.2 Surfaces intérieures.....	10
II. 5. Générer des surfaces tournées – Outils	12
II. 5.1. Surfaces obtenues en tournage	12
II. 5.1.1. Surface de révolution.....	12
II. 5.1.2. Surface hélicoïdale.....	13
II. 5.2.2. Travail d'enveloppe.....	13
II. 5.4. Montage des mors et de la pièce	17
II. 5.4.1 Montage des mors	17
II. 5.4.2. Montage de la pièce	17
II. 6. Chariotage – Dressage (Surfaçage plan)	18
II. 6.1. Chariotage	18
II. 6.1.1. Réglage outil-pièce	19

II. 6.1.2. Usinage	19
II. 6.1.3. Autre outil pouvant être utilisé	20
II. 6.2. Dressage (Surfaçage plan)	20
II. 6.2.1. Affleurement	21
II. 6.2.2. Prise de profondeur de coupe	21
II. 6.2.3. Usinage et contrôle	22
II. 6.2.4 Outils utilisables	22
II. 6.2.5 Mise à longueur	23
II. 6.2.6 Analyse de l'opération dressage	23
II. 6.2.7 Analyse de l'opération de chariotage.....	25
II. 7. Paramètres de coupe en tournage	26
II. 7.1. Vitesse de coupe	26
II. 7.2. Vitesse d'avance V_f . Avance par tour f	28
II. 7.3 Profondeur de coupe a_p	29
II. 8. Perçage – Centrage	29
II. 8.1. Perçage	29
II. 8.1.1. Montage du foret	30
II. 8.1.2. Réglage outil-pièce	31
II. 8.1.3 Exécution du perçage	31
II. 8.1.4 Démontage du foret	32
II. 8.2. Centrage	32
II. 8.2.1. Exécution	32

Chapitre III

Programmation sur tour CNC

III. 1. Généralités	34
III. 1.1. Historique	34
III. 1.2. Définition de la commande numérique	34
III. 2. Constitution des MOCN	34
III. 2.1. Influence de la CN sur la morphologie des machines	34
III. 2.1.1. Mouvements d'avance	35
III. 2.1.2. Approvisionnement en outils	35

III. 2.1.3. Approvisionnement en pièces	36
III. 2.1.4. Évacuation des copeaux	37
III. 2.1.5 Arrosage et soufflage	37
III. 2.1.6 Guidages	38
III. 2.1.7 Précision et contrôle	38
III. 2.2 Configuration des MOCN	40
III. 2.3 Principe d'asservissement d'un organe mobile	41
III. 2.4 Entraînement d'un organe mobile suivant un axe	41
III. 2.4.1. Moteurs	42
III. 2.4.2 Variateurs électroniques de vitesse	44
III. 2.4.3 Mécanismes d'entraînement	44
III. 2.5 Mesure des déplacements	45
III. 2.5.1 Méthodes de mesure	45
III. 2.6 La CN dans les unités de production automatisées	46
III. 2.6.1. Classification	46
III. 3. Programmation des MOCN	47
III. 3.1 Instructions programmées et leurs supports	47
III. 3.1.1 Nature des instructions programmées	48
III. 3.1.2 Codification des instructions	49
III. 3.1.3 Supports d'information	50
III. 3.1.4 Nature des déplacements	52
III. 3.2. Systèmes de référence	53
III. 3.3. Programmation manuelle	54
III. 3.3.1 Aides à la programmation manuelle	55
III. 3.3.2 Cycles d'usinage	57
III. 3.4 Programmation automatique (ou assistée)	58
III. 4. programmation sur tour CNC	59
III. 4.1. principes généraux	59
III. 4.1.1. Fonctionnement	59
III. 4.1.2 Programmation	60
III. 4.1.3. Elaboration d'un programme	60
III. 4.2. Référentiels de programmation- systèmes d'axes	61
III. 4.2.1 Référentiel de programmation en tournage	61
III. 4.3. Origines	61

III. 4.3.1	Définition	61
III. 4.4.	Décalage	63
III. 4.4.1.	Définitions.....	64
III. 5.	Ecriture des programmes	66
III. 5.1.	Généralité	66
III. 5.2.	Structure générale du langage	66
III. 5.2.1	Normes	66
III. 5.2.2	formats	67
III. 5.3.	Structure générale des programmes	70
III. 5.3.1.	Caractéristique générales	70
III. 5.3.2.	Numérotation des programmes	71
III. 5.4.	Composition maximum d'un bloc	72
III. 5.4.1	Adresses et mots utilisés	72
III. 5.4.1.	Lettres-adresses	72
III. 5.4.2.	Les Fonctions	73
III. 5.5.	Classification des fonctions	73
III. 5.5.1	Fonction préparatoires G	73
III. 5.5.2.	Fonctions auxiliaires M	75
III. 5.5.3.	Fonctions vitesse de broche S	76
III. 5.5.4.	Fonctions vitesse d'avance F	77
III. 5.5.5.	Fonction d'avance en tournage	77
III. 6.	Fonction iso tournage	79
III. 6.1.	Codage et désignation	79
III. 6.1.1	Fonction G	79
III. 6.1.2	Fonction M	81
III. 6.2.	Programmation de l'outil	82
III. 6.2.1	Orientation de l'outil	82
III. 6.2.2.	Appel d'outil M06	85
III. 6.2.3.	Jauge et correcteur d'outil	85
III. 6.2.4.	Positionnement outil/pièce G41 / G42	89
III. 6.3.	Programmation des mouvements	92
III. 6.3.1	Choix des origines de déplacements	92
III. 6.3.2	Choix de programmation	95
III. 6.3.3	Commande de broches	97

III. 6.3.4. Interpolations	103
III. 6.3.5 Vitesse de déplacements	110
III. 7. Cycles d'usinage	112
III. 7.1 Cycle d'ébauche	112
III. 7.2 Cycle de perçage et d'alésage	118
III. 7.3 Cycle de filetage et de taraudage	122

Chapitre IV

Partie pratique

IV. 1. le dossier de fabrication	124
V. 1.1. Définition	124
IV. 1.2. Les composants d'un dossier de fabrication	124
IV. 1.2.1. Dessin d'ensemble et nomenclature	124
IV. 1.2.2. Dessin de définition de produit fini	124
IV. 1.2.3. Avant-projet d'étude du brut	124
IV. 1.2.4. Avant-projet d'étude de fabrication	124
IV. 1.3. Ordonnancement des opérations d'usinage	125
IV. 1.3.1. Définition de quelques termes	125
IV. 1.3.2. Contenu d'un contrat de phase	126
IV. 2. Elaboration d'un programme de commande numérique	130
IV. 2.1. Les différentes étapes conduisant à la programmation	130
IV. 3. Pièce préparée	139
Conclusion	155
Bibliographie.....	156

Liste des figures

Figure1 : Le chariotage longitudinal et transversal	page 1
Figure 2a : Principaux outils de tour pour usinages extérieurs	page 4
Figure 2b : Principaux outils de tour pour usinages intérieures	page 4
Figure (3a et 3b) : Les outils en acier rapide (ars)	page (5 et 6)
Figure 3c. Les outils de carbure à plaquettes amovibles.....	page 7
Figure 4 : Mode d'action des outils.....	page 8
Figure 5 : Classification par surfaces obtenues.....	page 9
Figure 6 a : Surfaces extérieures	page 9
Figure 6 b : Surfaces intérieures.....	page 10
Figure 7 : Profondeur de passe.....	page 11
Figure 8 : Surface de révolution.....	page 12
Figure 9 : Surface hélicoïdale.....	page 12
Figure 10 : Travail de forme	page 13
Figure11 : Travail d'enveloppe	page 13
Figure a11,12,13 : Différentes surfaces engendrées	page 14 à 16
Figure 14 : 1Montage des mors.....	page 17
Figure 15: Montage de la pièce	page 17
Figure 16 : montage de mors durs à l'envers	page 18
Figure 17 : Chariotage – Dressage (Surfaçage plan).....	page 18
Figure 18 a : Réglage outil-pièce	page 19
Figure 19 a : Usinage	page 20
Figure 20 : Autre outil pouvant être utilisé	page 20
Figure 21 :	page 21
Figure 22 : Affleurement.....	page 21
Figure 23 Prise de profondeur de coupe.....	page 22
Figure24 : Usinage et contrôle	page 22
Figure 25	page 22
Figure 26 Outils utilisables	page 22
Figure 27: Mise à longueur	page 23
Figure 28 : Analyse de l'opération dressage et chariotage.....	page 23

Figure 29 : Réglage sur tour	page 24
Figure 31 : Vitesse de coupe	page 27
Figure 32 : définition des trois variables: vitesse de coupe.....	page 27
Figure 33: Amélioration des vitesses de coupe industrielles	page 28
Figure 34 : Vitesse d'avance V_f	page 29
Figure 35 : pied à coulisse.....	page 29
Figure 36 : Montage du foret.....	page 30
Figure 37 : Douille de réduction (d).....	page 31
Figure 38 : trou borgne.....	page 31
Figure 39 : Cycle de dégagement pour le perçage de l'acier	page 32
Figure 40 : Foret à centrer	page 32
Figure 41 : Montage un mandrin de perçage dans le fourreau.....	page 32
Figure 42 : les étapes de perçage	page 33
Figure 43 a : Changement automatique d'outil sur centre d'usinage	page 36
Figure 43 b. Changeur d'outil en tour CNC	page 36
Figure 44 : Approvisionnement de pièces par palettisation	page 37
Figure 45 : Moyens de contrôle de mise en position.....	page 39
Figure 45 a : Interféromètre laser	page 39
Figure 45 b : ball-bar	page 39
Figure 46 : Principe d'asservissement d'un organe mobile	page 41
Figure 47 : Broche motorisée Motorspindle	page 44
Figure 48 : Vis et écrou à recirculation de billes	page 45
Figure 49 : Méthodes comparées de programmation	page 48
Figure 50 : Structure d'un programme d'usinage avec l'organisation d'un bloc	page 50
Figure 51 : Elaboration des programmes d'usinage.....	page 51
Figure 52 : Exemples d'interpolations linéaire, circulaire, hélicoïdale et parabolique	page 53
Figure 53 : Axes de déplacement d'un centre d'usinage à broche horizontale.....	page 54
Figure 54 : Définition d'éléments sécants en PGP : intersection d'un cercle par une droite.....	page 55
Figure 55 : Module de définition géométrique des contours PROFIL	page 55

Figure 56 : Programmation conversationnelle PROCAM page d'appel des sous-programmes
page 57

Figure 57 : Exemple de programmation paramétrée : perçage en cycle de 12 trous décalés
angulairement dans le plan XY (G17)..... page 58

Figure 58 : Centre de tournage page 61

Figure 59 : Origine machine..... page 62

Figure 60 : Axe en tournage page 63

Figure 61 : Décalage sur l'axe Z page 64

Figure 62 : Décalage sur l'axe X avec DEC 1 page 64

Figure 63 : Décalage sur l'axe X sans DEC 1..... page 65

Figure 64 : Cotes programme et cotes mesure page 65

Figure 65 : Ecriture des programmes page 67

Figure 66 : Format des mots..... page 68

Figure 67 : Mot définissant une dimension page 68

Figure 68 : Mot définissant une fonction page 68

Figure 69 : Format des blocs page 69

Figure 70 : Bloc définissant un changement d'outil page 69

Figure 71: Bloc définissant la mise en rotation de la broche page 69

Figure 72 : Bloc définissant une trajectoire selon l'axe Z page 70

Figure 73. Structure générale des programmes page 70

Figure 74. Numérotation des programmes page 71

Figure 75 : Fonctions vitesse de broche S page 76

Figure 76 : Avance par minute (G98) page 77

Figure 77 : Avance par tour (G99) page 77

Figure 78 : Sélection de l'outil pour différents usinage T..... page 78

Figure 79 : Tour avec tourelle arrière page 82

Figure 80 : Tour avec tourelle avant page 82

Figure 81 : Orientation de l'axe de l'outil G16..... page 83

Figure 82 : Orientation du nez d'outil (C) suivant la position de la tourelle page 84

Figure 83 : Position du nez d'outil (C) suivant la trajectoire page 84

Figure 84 : Appel d'outil M06 page 85

Figure 85 : Jauge et correcteur d'outil	page 86
Figure 86 : Dimensions d'outil	page 86
Figure 87 : Correction dynamique d'outil	page 88
Figure 88 : Correcteur de rayon d'outil	page 89
Figure 89 : Correction de rayon par rapport au profil à usiner G41 / G42.....	page 89
Figure 90 : Annulation de la correction de rayon G40.....	page 90
Figure 91 : Mise en position de l'outil	page 91
Figure 100 : Correction du rayon suivant position tourelle	page 91
Figure 101 : Programmation absolue par rapport à l'origine mesure G52	page 92
Figure 102 : Présélection de l'origine programme G92	page 93
Figure 102a. Décalage d'origine programmé G59	page 94
Figure 103 : Programmation absolue ou relative	page 95
Figure 104 : Programmation au diamètre ou au rayon.....	page 97
Figure 105 : Fréquence de rotation de la broche N	page 99
Figure 106 : vitesse de coupe constante Vcc.....	page 99
Figure 107 : La relation de la fréquence de rotation en fonction de la vitesse de coupe et la cote X	page 100
Figure 108 : Limitation de la fréquence de rotation de broche G 92	page 101
Figure 109 : Positionnement rapide G00.....	page 103
Figure 109 a : Interpolation linéaire G01	page 104
Figure 110 : Interpolations circulaires	page 105
Figure 111 : Sens de déplacement suivant la position de la tourelle	page 106
Figure 112 : Interpolation circulaire définie par 03 points G23.....	page 106
Figure 113 : Blocs de définition des tangentes et des points de la courbe.....	page 108
Figure 114 : Vitesse d'avance tangentielle G92 R	page 111
Figure 115 : Cycle d'ébauche de profil avec gorge	page 115
Figure 116 : Particularités liées aux arguments EA, EU et EW	page 116
Figure 117 : Particularités liées aux arguments EB et EC	page 117
Figure 118 : Cycle de défonçage G66	page 117
Figure 119 : Cycle de filetage à pas constant G33	page 122
Figure 120 : Ordonnancement des opérations d'usinage	page 125
Figure 121 : Contenu d'un contrat de phase	page 127
Figure 122 : Application à la phase 20 Tournage	page 130

Figure 123 : Fiches d'aide à la programmation.....	page 131
Figure 124 : Degrés de liberté	page 134
Figure 125 : Immobilisation isostatique.....	page 135
Figure 126 : Choix de l'origine programme OP	page 136
Figure 127 : Choix de l'origine pièce Op	page 137
Figure 128 : Dessin de définition de pignon de commande.....	page 141
Figure 129 : Tournage 1 ^{er} coté (pignon de commande)	page 142
Figure130 : Trajectoire d'un cycle de chariotage, axe longitudinal	page 143
Figure 131 : Trajectoire d'un cycle de chariotage, axe transversal	page 144
Figure 132 : Trajectoire de répétition de contour.....	page 144

Liste des tableaux

Tableau1 : Caractères reconnus	page 71
Tableau 2 : Format général des langages en CN et CNC	page 72
Tableau 3 : Classification des Fonctions préparatoires G	page 74
Tableau 4 : Classification des fonctions auxiliaires M	page 75
Tableau 5 : Codage et désignation des fonctions G	page 79 et 80
Tableau 6. Codage et désignations des fonctions M	page 81
Tableau 7. Autres fonctions tournage	page 81
Tableau 8. La fiche suiveuse	page 128
Tableau 9. Le bon de travail	page 128

Chapitre I :

Introduction

I. Introduction :**I. 1. Généralité sur l'usinage par enlèvement de matière :**

L'usinage par enlèvement de matière est le moyen le plus fiable pour obtenir des pièces de précision, à partir de pièces moulées, extrudées ou forgées.

Le procédé est, par contre, coûteux (machine, outils, hommes qualifiés) et relativement lent.

C'est pourquoi on essaye d'obtenir maintenant des pièces de moulage ne nécessitant pas d'usinage.

Cela est possible avec le plastique ou le (Zn, Al, Mg), mais les qualités techniques : résistance à la chaleur ou limite élastique sont encore loin d'égaler celles de l'acier ou des alliages d'aluminium.

Actuellement parmi tous les axes de recherche en fabrication, on peut en citer deux :

- ✓ l'UGV (ou usinage à grande vitesse)
- ✓ les machines à axes parallèles elles offrent une grande mobilité de la tête d'usinage.

La pièce usinée par UGV est d'une précision supérieure. Tout d'abord, les efforts de coupe sont réduits. Donc, la pièce subit moins de déformation. Ensuite, les calories sont dissipées dans les copeaux avant d'avoir le temps de pénétrer dans la pièce. Moins sollicitée en température, la pièce conserve sa stabilité dimensionnelle originelle.

L'état de surface de la pièce à usiner est amélioré par l'écoulement plastique du matériau dans la zone de cisaillement. L'augmentation du débit des copeaux autorise une meilleure productivité, qui peut être multipliée par un facteur de 3 à 10.

Enfin, l'UGV autorise l'usinage de pièces qu'il était impossible d'usiner auparavant avec les moyens conventionnels (comme les voiles minces en aéronautique, par exemple).

Avec l'apparition de l'UGV, le secteur de la machine-outil a tourné une page de son histoire et entamé une irréversible évolution. Les pièces sont désormais usinées très rapidement, avec une précision toujours croissante. Seulement, l'usinage ne représente que 15 % du temps du cycle total de production.

Changement d'outils, acheminement de la pièce, positionnement broche/outil, évacuation de la pièce, etc. Pour une performance maximale, le centre d'usinage doit prendre en compte, non seulement le temps d'usinage proprement dit (temps copeau), mais également - et surtout - le temps hors usinage, qui représente à lui seul les 85 % restants du temps du cycle total de production. Aujourd'hui, l'UGV a laissé la place au travail dans la liste des priorités des constructeurs de machines outils.

I. 2. Les machines :

Les machines sont classées en deux catégories :

- ✓ **Fraisage** : L'outil tourne, la pièce se déplace par rapport à l'outil. Cela permet de réaliser des formes prismatiques, des moules...
- ✓ **Tournage** : La pièce tourne, l'outil se déplace par rapport à la pièce pour réaliser des pièces de révolution.

Bien entendu, des industriels fabriquent aussi des tours, où les outils peuvent tourner, ou des centres de fraisage où les pièces peuvent être entraînés en rotation ce sont des machines combinées, mixtes, ou machine multiaxe.

Chapitre II :

Généralité sur

le tournage

(tour à commande manuelle)

II. 1. Définition:

Le tournage est un procédé d'usinage permettant l'obtention de surfaces de révolution intérieures et extérieures, de surfaces planes ainsi que d'autres surfaces telles que surfaces hélicoïdales et surfaces coniques, etc.

Le tournage est la technique de façonnage génératrice de copeaux la plus employée. Les tours constituent presque à eux seuls le quart de l'ensemble des machines-outils.

Le chariotage longitudinal (Figure1a) est la technique de tournage la plus pratiquée. L'outil se déplace parallèlement à l'axe longitudinal de la pièce à usiner et réduit à cette occasion son diamètre.

Lors du **chariotage transversal** (Figure1b) la surface à usiner se trouve la plupart du temps à la perpendiculaire de l'axe longitudinal de la pièce à usiner. À cette occasion, le travail de l'outil s'opère de l'extérieur vers le centre ou inversement.

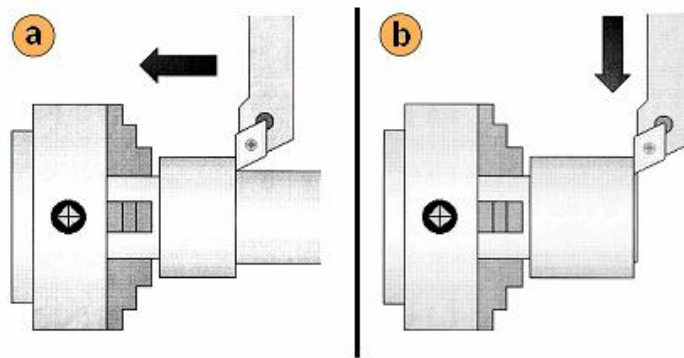


Figure1. Le chariotage longitudinal et transversal

II. 2. Outils de tournage :

Ce sont des outils normalisés, à corps prismatique (section carrée ou rectangulaire) et partie active en acier rapide ou en carbure.

II. 3. Choix des outils de tournage :

II. 3.1. Les outils en acier rapide (ars) :

Outils pour usinages extérieurs

Désignation	Normes
1. Outil à dresser d'angle	NFE 66 364
2. Outil à couteau	NFE 66 363
3. Outil à fileter déporté	NFE 66 369
4. Outil à saigner déporté	NFE 66 367
5. Outil à charioter	NFE 66 362
6. Outil à pelle	NFE 66 366
7. Outil à retoucher	NFE 66 365

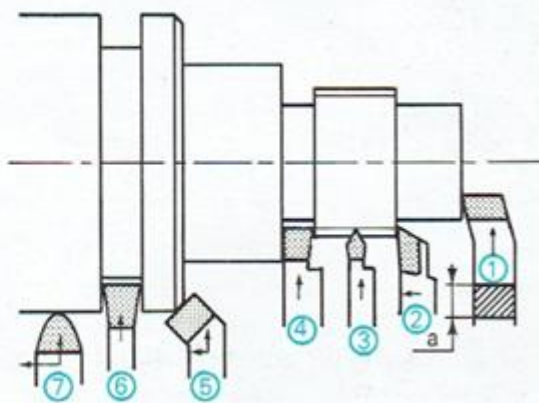
PRINCIPAUX OUTILS DE TOUR
POUR USINAGES EXTÉRIEURS

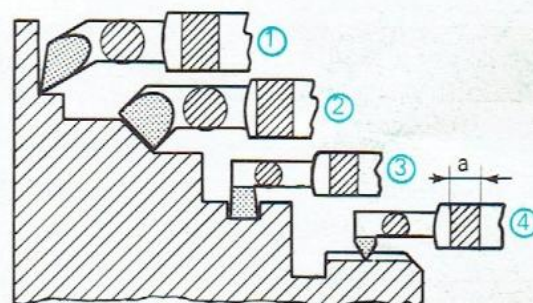
Figure 2a. Principaux outils de tour pour usinages extérieurs

Outils pour usinages intérieurs

Désignation	Normes
1. Outil à aléser et à dresser	NFE 66 371
2. Outil à aléser charioter	NFE 66 370
3. Outil à chambrer	NFE 66 372
4. Outil à fileter	NFE 66 373

Ces différents outils ont un corps de section carrée. Principales dimensions (mm) :

a(h 15)	6	8	10	12	16	20	25	32	40
---------	---	---	----	----	----	----	----	----	----

PRINCIPAUX OUTILS DE TOUR
POUR USINAGES INTÉRIEURS

Tolérance sur a : h 15

Figure 2b. Principaux outils de tour pour usinages intérieurs

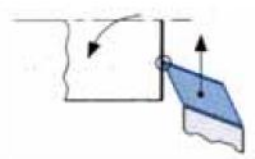
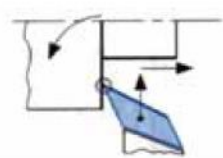
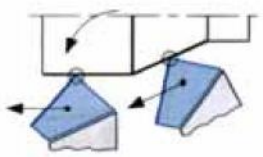
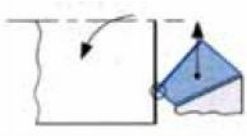
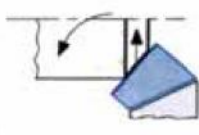
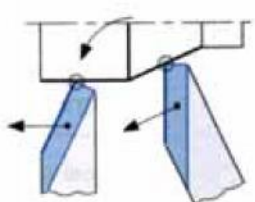
Visualisation	Identification de l'outil	Type d'opérations réalisées	Schéma d'usinage
	Outil à dresser les angles	Dressage	
		Dressage et chariotage combinés	
	Outil à charioter coudé	Chariotage cylindrique et conique	
		Dressage	
		Chanfreinage	
	Outil droit à charioter	Chariotage cylindrique et conique	

Figure 3a. Les outils en acier rapide (ars)

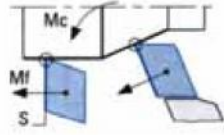
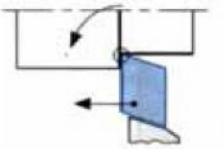
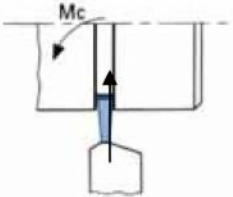
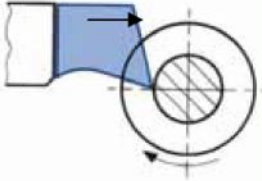
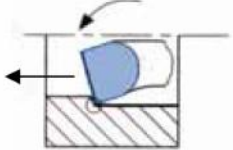
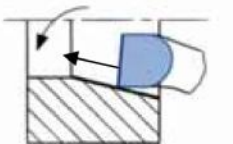
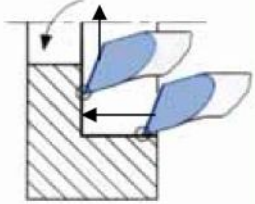
	Outil couteau	Chariotage cylindrique et conique	
		Chariotage et dressage combinés	
	Outil à saigner	Rainurage de petite dimension	
	Outil à tronçonner	Tronçonnage de pièces <i>Exemple : Débit dans une barre en laminé ou étiré</i>	
	Outil à aléser	Alésage d'un cylindre droit de révolution à partir d'un trou brut ou ébauché	
		Alésage d'un cône droit de révolution à partir d'un trou brut ou ébauché	
	Outil à aléser et à dresser	Alésage et dressage combinés à partir d'un trou brut ou ébauché	

Figure 3b. Les outils en acier rapide (ars)

II. 3.2. Les outils de carbure à plaquettes amovibles:

Ces outils sont constitués principalement :

- ✓ D'un corps en acier avec des surfaces de mise en position adaptées à la plaquette,
- ✓ D'une plaquette en carbure,
- ✓ D'un dispositif de maintien de la plaquette sur le corps de l'outil.

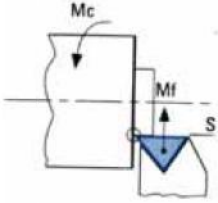
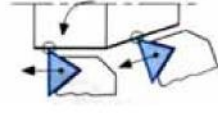
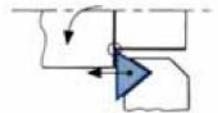
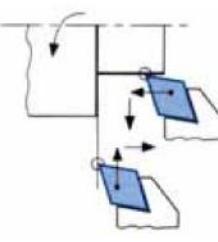
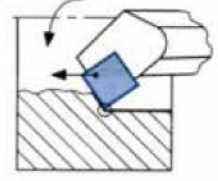
Visualisation	Identification de l'outil	Types d'opérations réalisées	Schéma d'usinage
	Outil à dresser	Dressage	
	Outil couteau	Chariotage cylindrique ou conique	
		Chariotage et dressage combinés	
	Outil à charioter et à dresser	Chariotage et dressage combinés	
	Outil à aléser	Alésage d'un cylindre (ou cône) droit de révolution à partir d'un trou brut noyauté (écroûtage)	

Figure 3c. Les outils de carbure à plaquettes amovibles

. Mouvements relatifs outil-pièce

Deux mouvements relatifs simultanés sont nécessaires pour produire une surface (figure 4).

- ✓ M_c : mouvement de coupe circulaire uniforme de la pièce.
- ✓ M_a : mouvement d'avance rectiligne uniforme de l'outil.

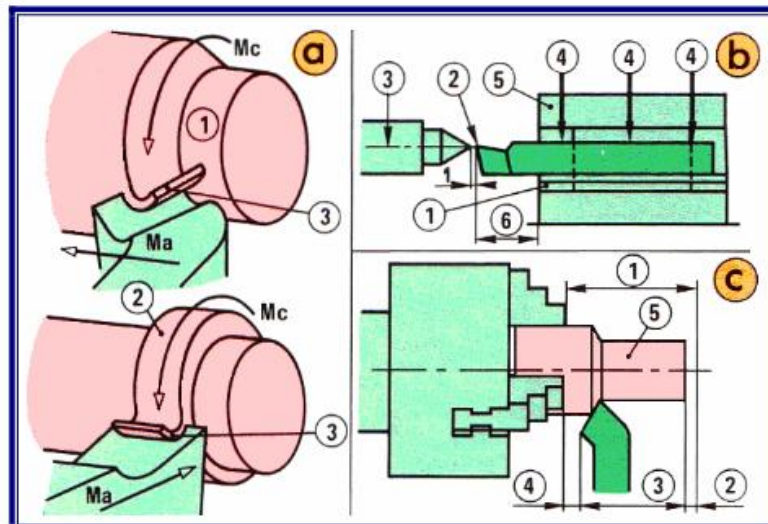


Figure 4. Mode d'action des outils

- a** ① Chariotage; ② Plongée; ③ Copeau.
- b** Les cales ① situent l'arête de l'outil ② à hauteur de l'axe ③ du tour, après serrage des vis ④ de la tourelle ⑤; ⑥ Dépassement réduit.
- c** Le dépassement ① de la pièce ⑤ tient compte de la surépaisseur ②, de la distance ③ et de la sécurité ④.

II. 4. Identifier des surfaces tournées :

II. 4.1. Classification par surfaces obtenues (figure 5)

- Surface plane ①
- Surface cylindrique ②
- Surface conique ③
- Surface tronconique ④
- Surface courbe ⑤
- Surface hélicoïdale ⑥

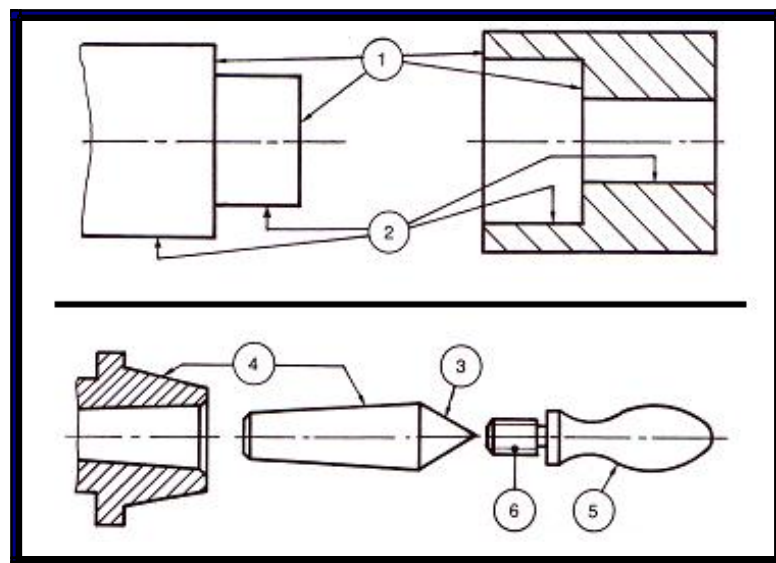


Figure 5. Classification par surfaces obtenues

II. 4.2. Classification par élément usiné :

II. 4.2.1. Surfaces extérieures (figure 6 a).

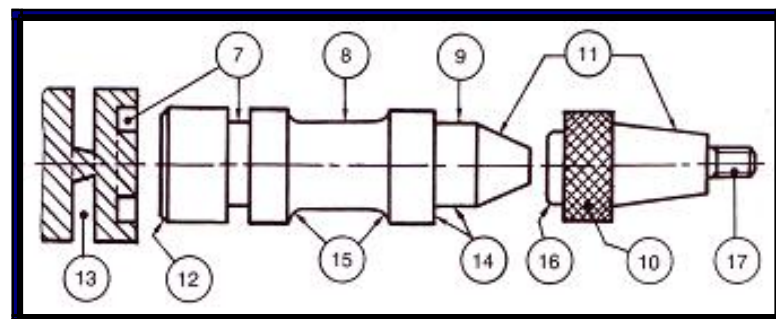


Figure 6 a. Surfaces extérieures

- Gorge frontale et radiale ⑦
- Évidement ⑧

- Portée ⑨
- Moletage ⑩
- Cône ⑪
- Chanfrein ⑫
- Saignée ⑬
- Épaulement ⑭
- Rayon ⑮
- Congé ⑯
- Filetage ⑰.

II. 4.2.2. Surfaces intérieures (figure 6 b)

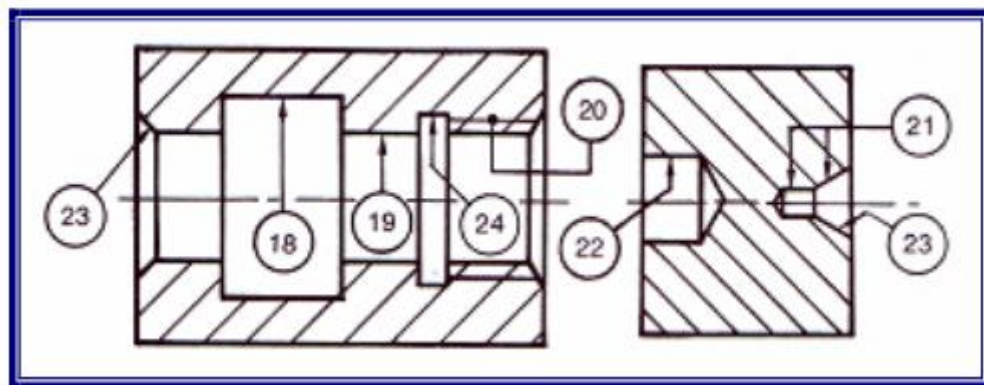


Figure 6 b. Surfaces intérieures

- Chambrage ⑱
- Alésage ⑲
- Filetage ⑳
- Centre ㉑
- Perçage ㉒
- Cône ㉓
- Gorge ㉔.

Une surface peut être produite par plongée (le profil de l'outil est identique à celui de la surface à produire) ou par chariotage avec :

- Ma perpendiculaire à l'axe pour le dressage (figure 4)
- Ma parallèle à l'axe pour le cylindrage, l'alésage ou le chambrage
- Ma oblique à l'axe pour le chariotage conique.

Suivant la puissance de la machine, la surépaisseur s à couper et les tolérances à respecter (IT sur la cote ; état superficiel ∇ ou $\nabla\nabla$), la production d'une surface par chariotage peut nécessiter :

- une seule passe (figure 7)
- une ou plusieurs passes d'ébauche (profondeur de passe p aussi grande que possible ; $a = 0,15$ à $0,6$ mm/tr) et une passe de finition ($p = 0,15$ à $0,25$ mm ; $a = 0,1$ à $0,3$ mm/tr).

Un travail très précis (figure 7) exige une passe de demi-finition identique à la passe de finition. La surépaisseur s peut donc être enlevée en une seule passe ou bien répartie entre plusieurs passes.

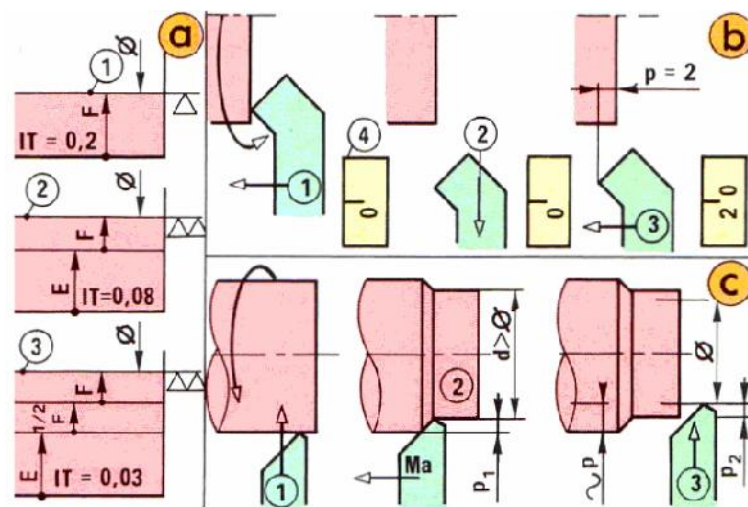


Figure 7. Profondeur de passe

a Passes : Suivant IT sur $\varnothing$ et état superficiel. E. Ebauche; 1/2 F. Demi-finition ; F. Finition, avec $1/2 F = F = 0,1$ à $0,3$ mm/tr.

b Réglage au tambour gradué ④. ① Contact; ② Dégagement; ③ Réglage.

c Réglage sur brut :

- ① Contact :
- ② Amorçage à $d > \varnothing$;
- ③ Réglage p_2 , pour $\varnothing$ désiré.

Exemple :

Pour $s = 1$ mm, en réservant 0,2 mm pour la finition et autant pour la demi-finition, il reste 0,6 mm pour l'ébauche, réalisable en une seule passe.

II. 5. Générer des surfaces tournées – Outils

Les pièces usinées en tournage présentent des surfaces simples extérieures et intérieures, planes, cylindriques, coniques, hélicoïdales, courbes, ainsi que quelques surfaces particulières obtenues par gravure, détalonnage, etc.

II. 5.1. Surfaces obtenues en tournage

II. 5.1.1. Surface de révolution (figure 8)

Elle est engendrée par une ligne G (génératrice) tournant autour d'un axe ZZ' auquel elle est impérativement liée.

Cas particulier

La droite G se trouve perpendiculaire à l'axe ZZ' et tourne autour de celui-ci auquel elle est impérativement liée.

On obtient une surface plane.

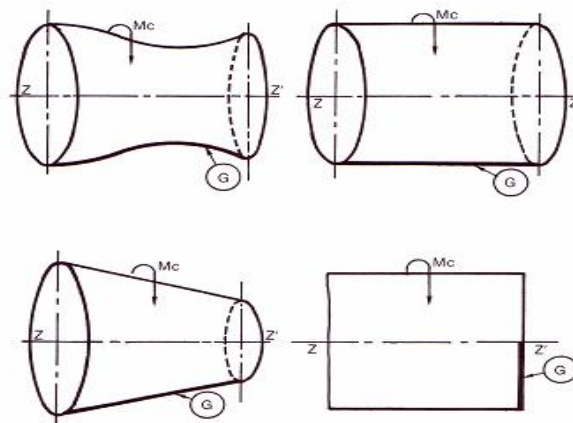


Figure 8. Surface de révolution

II. 5.1.2. Surface hélicoïdale (figure 9)

Engendrée par la combinaison d'un mouvement d'avance (caractérisé par le pas), généralement suivant l'axe ZZ' , et d'un mouvement de rotation communiqué à la pièce. Dans la majorité des cas, ces surfaces sont des filetages.

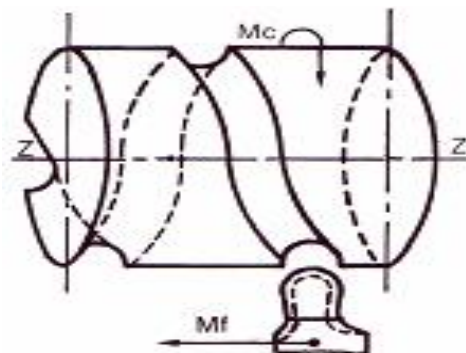


Figure 9. Surface hélicoïdale

II. 5.2. Mode d'obtention de ces surfaces

II. 5.2.1. Travail de forme (figure 10)

Il est caractérisé par deux mouvements :

- **Mc**: Mouvement de coupe communiqué à la pièce.
- **Mp**: Mouvement de pénétration communiqué à l'outil.

La surface à obtenir détermine la forme et la position de l'arête tranchante de l'outil (G).

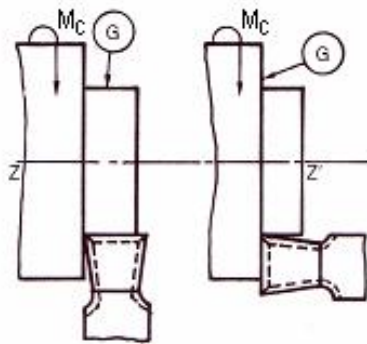


Figure 10. Travail de forme

L'état de surface est fonction, bien entendu, de l'affûtage et en particulier de la finesse de l'arête tranchante.

L'importance de la longueur de l'arête tranchante en contact avec la pièce risque de provoquer le phénomène de broutement.

II. 5.2.2. Travail d'enveloppe (figure 11)

Il est caractérisé par trois mouvements :

- **Mc** : Mouvement de coupe communiqué à la pièce.
- **Mf** : Mouvement d'avance communiqué à l'outil suivant G.
- **Mp** : Mouvement de pénétration qui permet la mise en position de l'outil, pour la prise de passe.

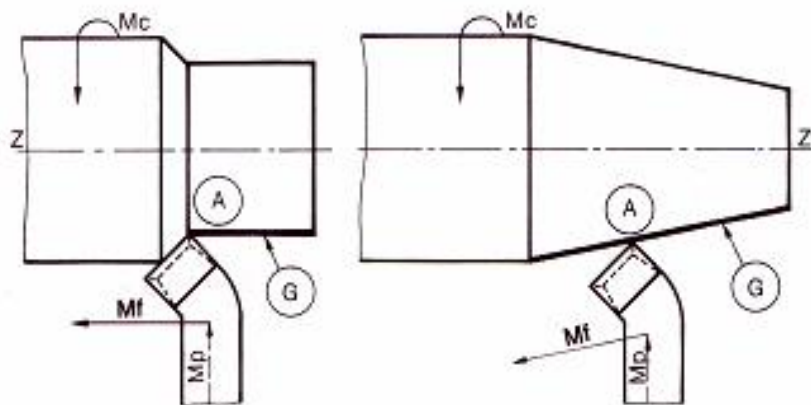


Figure 11. Travail d'enveloppe

La surface usinée est le lieu des positions successives de l'extrémité de l'arête tranchante (A) suivant la génératrice (G). L'extrémité de l'arête tranchante de l'outil explore tout point de la surface obtenue (c'est une génération ponctuelle).

L'état de surface est fonction de l'affûtage et est influencé par l'avance et le rayon du bec de l'outil.

La géométrie de la pièce est fonction de la rectitude des glissières ou de la génératrice en contact avec le palpeur (copiage). Elle est également influencée par l'alignement de la broche. Un réglage peut être exécuté pour corriger les défauts constatés (réglage délicat effectué à l'aide d'un système butée et vis prévues sur la poupée fixe).

II. 5.3. Différentes surfaces engendrées (figure a11, 12, 13)

① Par travail de forme ; ② Par travail d'enveloppe.

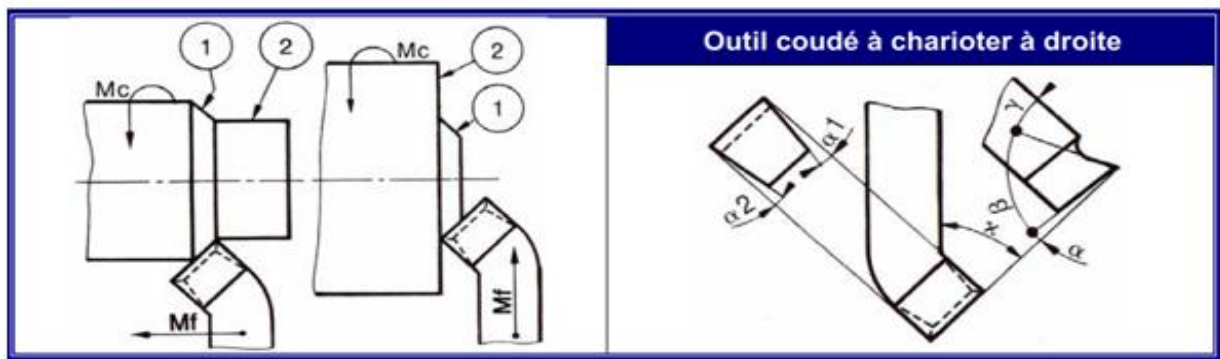


figure a11

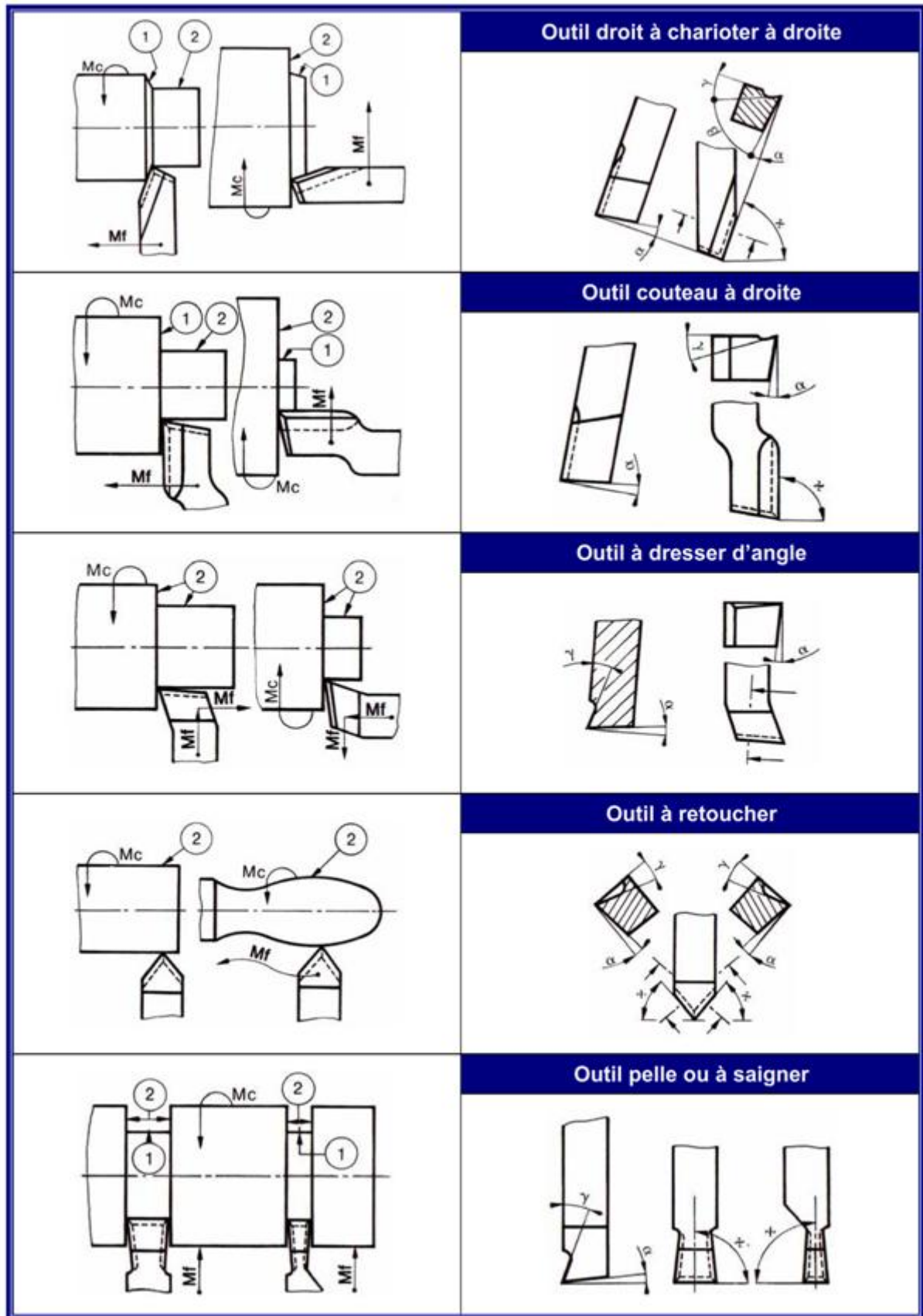


Figure 12

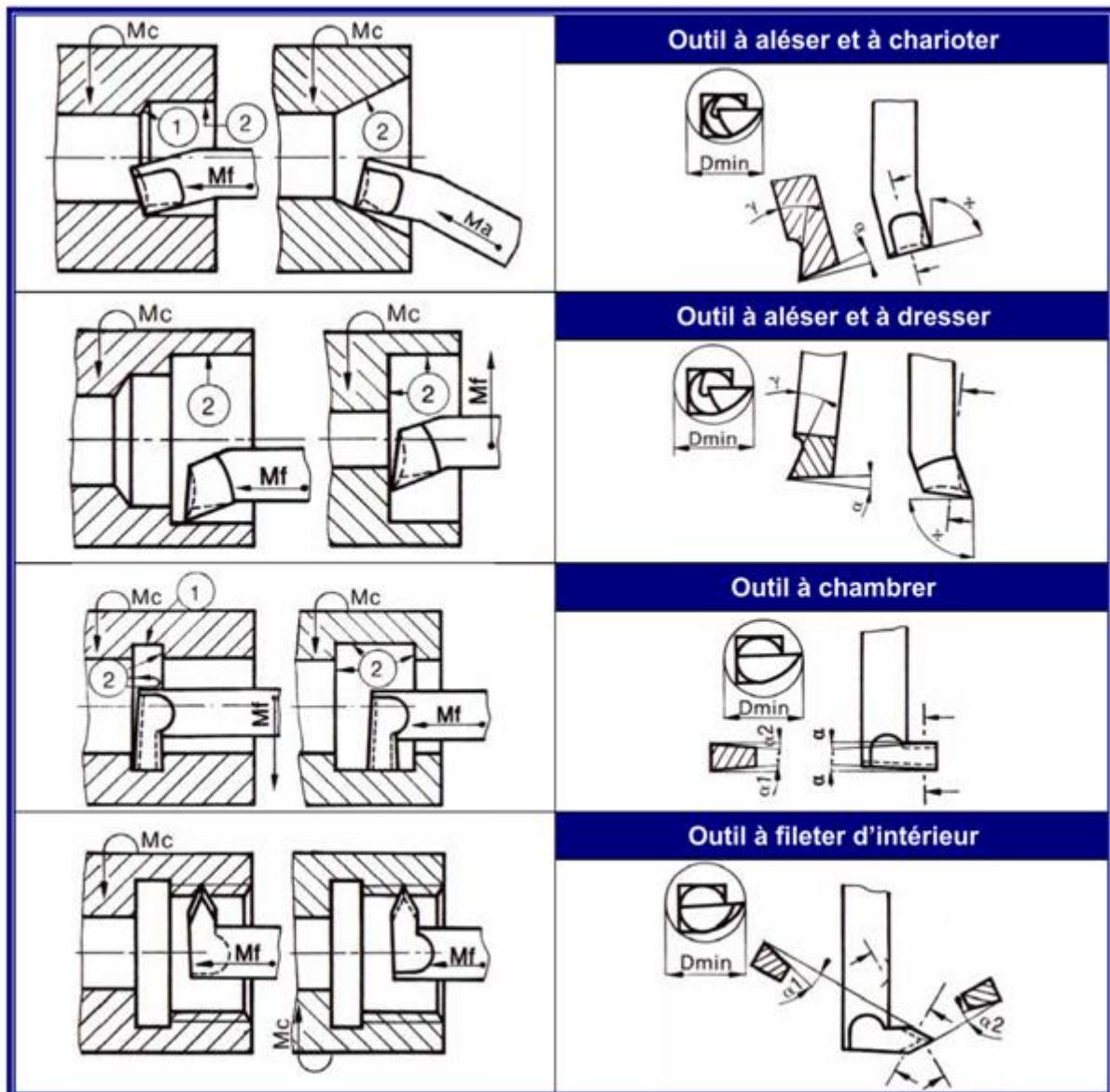


Figure 13

II. 5.4. Montage des mors et de la pièce

II. 5.4.1 Montage des mors (Figure 14)

- Nettoyer les mors au pinceau, éventuellement évacuer les copeaux restant dans le mandrin avec un jet d'air comprimé (mettre des lunettes de protection).
- Monter les trois mors dans l'ordre 1 – 2 – 3 dans les entailles aux numéros correspondants (Figure 14).
- Dans l'entaille (1) du mandrin, placer le départ du filet de la vis plate (ou spirale) juste à l'entrée, engager les mors n° 1.
- Tourner la vis plate avec la clé de mandrin par l'orifice prévu à cet effet (Figure 15).
- Continuer l'opération pour les mors (2) et (3) comme pour le mors 1.

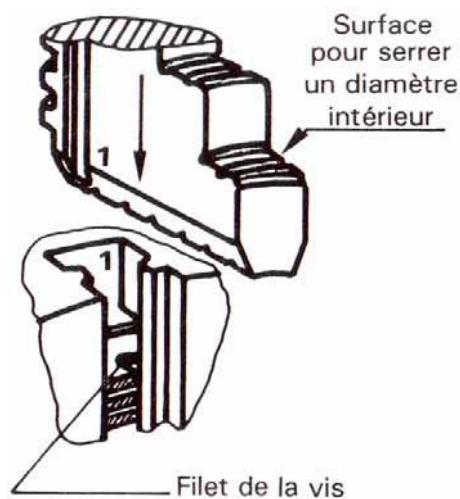


Figure 14. Montage des mors

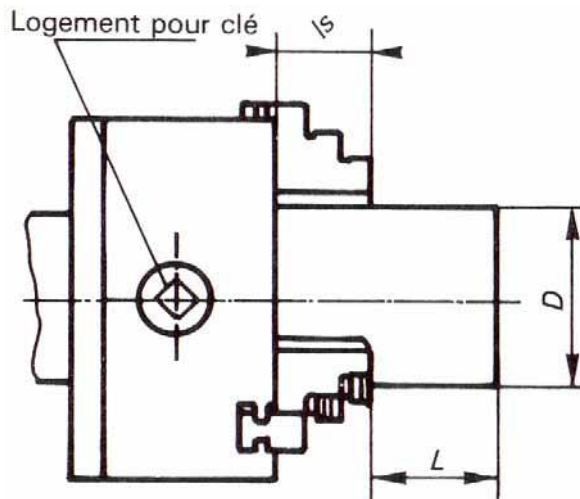


Figure 15. Montage de la pièce

II. 5.4.2. Montage de la pièce (Figure 15)

- Ouvrir le mors suffisamment pour laisser passer la pièce.
- Régler la longueur L de sortie de pièce pour usinage.

Pour obtenir un serrage convenable de la pièce, vérifier que :

$$\frac{ls}{D} \geq 0,6$$

ls = longueur de serrage

- La longueur de dépassement L ne doit pas excéder 4 D (cas de tournage en l'air).
- Le montage de mors durs à l'envers (Figure 16) permet le serrage des pièces d'un diamètre D équivalent à celui du mandrin.

- La longueur réduite de la prise de mors permet l'usinage de pièce d'une longueur L jusqu'à $10 l_s$, les 3 points d'appuis étant prioritaires.

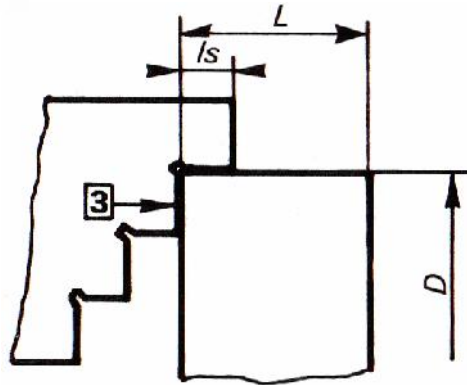


Figure 16. Montage de mors durs à l'envers

II. 6. Chariotage – Dressage (Surfaçage plan)

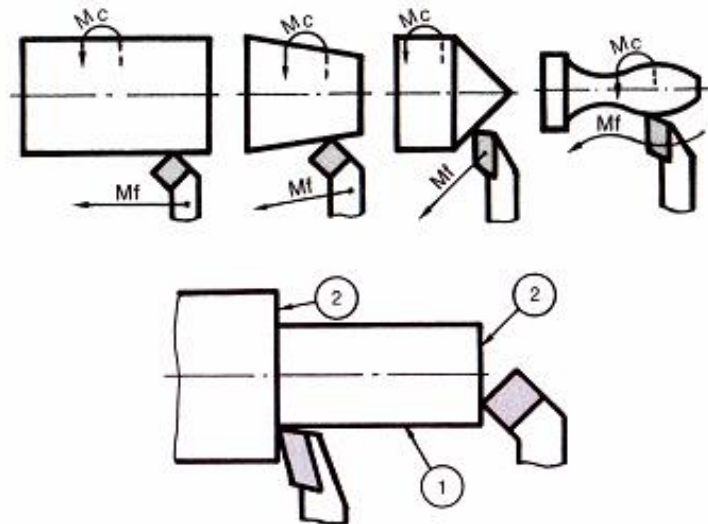


Figure 17

II. 6.1. Chariotage ① (figure 17)

Opération d'usinage qui consiste à réaliser toutes les surfaces de révolution par travail d'enveloppe. C'est la trajectoire de l'outil qui donne la forme de la surface.

- Monter la pièce
- Choisir l'outil.
- Monter et régler l'outil
- Approcher l'outil de la pièce en actionnant les chariots transversal et longitudinal (Figure 18a).
- Sélectionner la fréquence de rotation de la broche et la vitesse d'avance.

- S'assurer du sens convenable de l'avance.
- Débloquer le tambour gradué du chariot transversal.

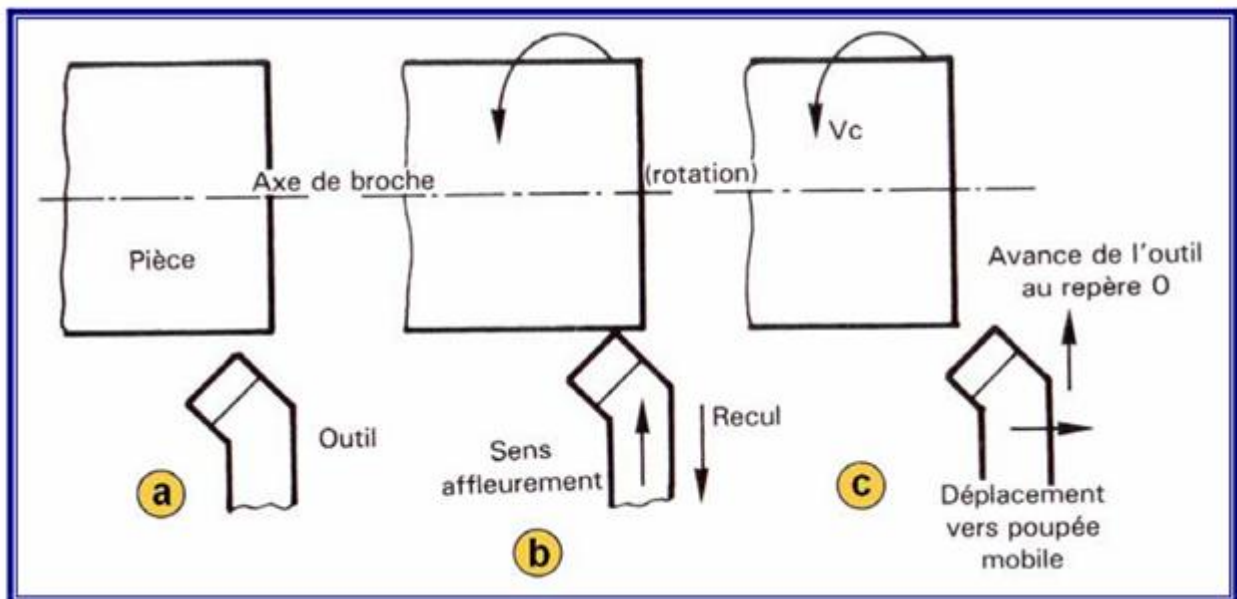


Figure18

II. 6.1.1. Réglage outil-pièce (Figure 18b)

- Mettre la pièce en rotation dans le sens correct.
- Affleurer la pièce avec le bec de l'outil par le chariot transversal.
- Mettre le tambour gradué du C.T. au 0 et le bloquer.
- Reculer l'outil pour éviter le frottement sur la pièce.
- Déplacer l'outil vers la poupée mobile (Figure 18c).
- Avancer l'outil au repère 0 du tambour gradué.

Trajectoire outil	Surface obtenue
Parallèle à l'axe de révolution de la pièce	Cylindrique
Oblique par rapport à l'axe de révolution de la pièce	Conique ou tronconique
Quelconque	Quelconque

II. 6.1.2. Usinage (Figure 19 a).

- Avancer l'outil vers l'axe de la broche de la valeur **a** (profondeur de coupe).
- Approcher l'outil de la pièce manuellement.
- Enclencher l'avance automatique (Figure 19b).

- En fin de passe, veiller à ce que l'outil ne se trouve pas accroché par les mors (Figure 20a), prévoir une sécurité de deux millimètres par réglage de la butée de banc.
- Reculer l'outil.
- Reprendre en (figure 18c) jusqu'à obtenir la dimension.

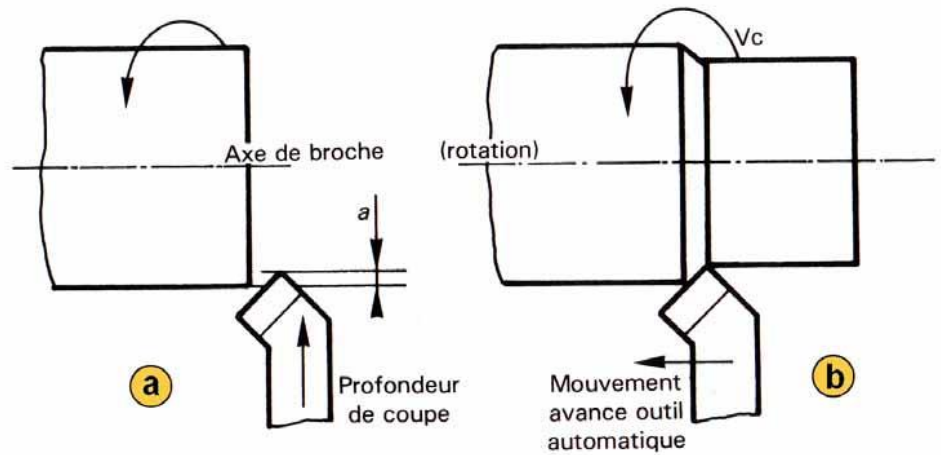


Figure 19

II. 6.1.3. Autre outil pouvant être utilisé (Figure 20b)

- Outil à chariotier droit à droite.

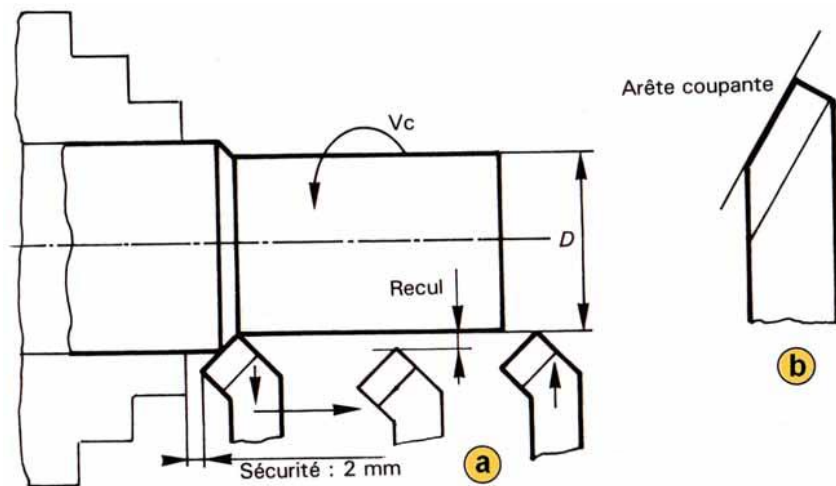


Figure 20

II. 6.2. Dressage (Surfaçage plan) ② (figure 17)

Opération d'usinage qui consiste à réaliser une surface plane par déplacement rectiligne perpendiculaire à l'axe de révolution de la pièce.

- Monter la pièce.
- Choisir l'outil et le régler.

- Régler la fréquence de rotation et la vitesse d'avance.
- S'assurer du sens de déplacement convenable de l'avance (outil vers l'axe de la broche).
- Approcher le bec de l'outil de 2 à 3 mm de la pièce (Figure 21).
- Bloquer le chariot longitudinal.
- Débloquer le tambour gradué du chariot supérieur.

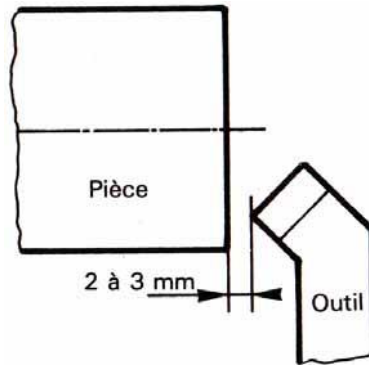


Figure 21

II. 6.2.1. Affleurement (Figure 22)

- Mettre la broche en rotation.
- Venir affleurer la pièce avec l'outil en déplaçant le chariot supérieur (CS).
- Mettre le tambour gradué à 0 et le bloquer.

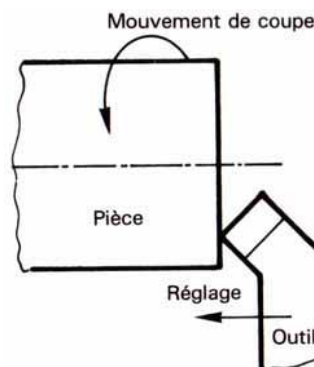


Figure 22

II. 6.2.2. Prise de profondeur de coupe (Figure 23)

- Dégager l'outil avec le chariot supérieur (CS) puis le chariot transversal (CT) à 2 ou 3 mm de la pièce.
- Approcher l'outil de la pièce avec le chariot supérieur au 0 et prendre la profondeur de coupe prévue.
- Approcher l'outil de la pièce avec le chariot transversal actionné manuellement.

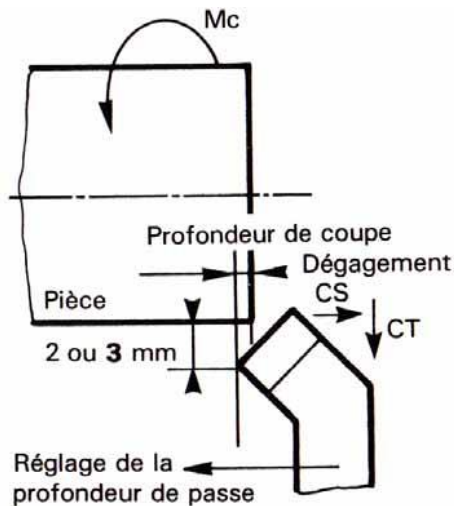


Figure 23. Prise de profondeur de coupe

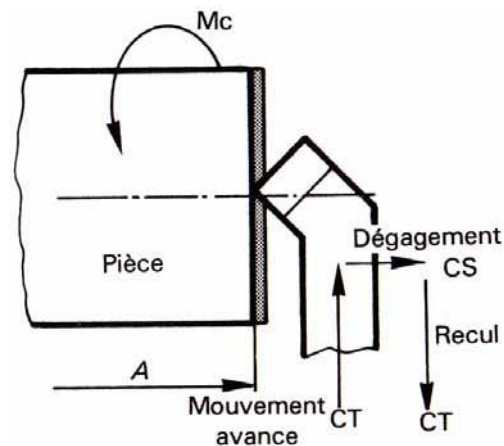


Figure 24. Usinage et contrôle

II. 6.2.3. Usinage et contrôle (Figure 24)

- Réaliser l'usinage par avance automatique jusqu'au centre.
- Reculer l'outil avec le C.S.
- Revenir en arrière avec le C.T.
- Arrêter la rotation de la broche et mesurer A (avec ou sans démontage de la pièce).
- S'il y a lieu, avancer le C.S. (figure 25) au repère de la prise de passe (figure 23).
- Prendre une nouvelle profondeur.
- Recommencer l'opération jusqu'à l'obtention de la dimension.

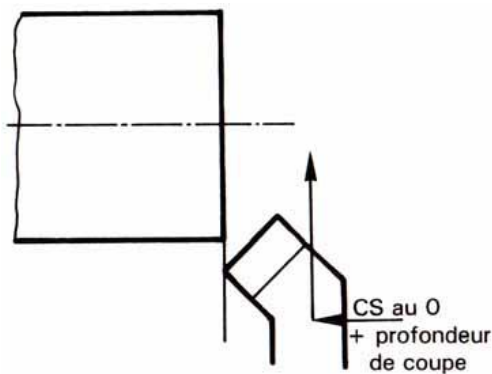


Figure 25

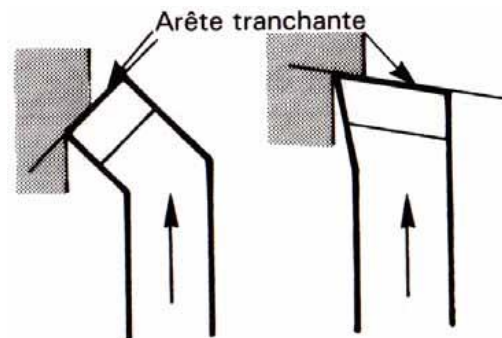


Figure 26. Outils utilisables

II. 6.2.4. Outils utilisables (Figure 26)

- Outil à chariotier coudé.
- Outil à dresser.

II. 6.2.5. Mise à longueur (Figure 27)

- Par utilisation d'un outil coupeau.
- Si $D/2 < A$: régler la position de l'arête tranchante de l'outil contre un mors du mandrin (le tour étant à l'arrêt) pour obtenir un angle $K = 90^\circ$.

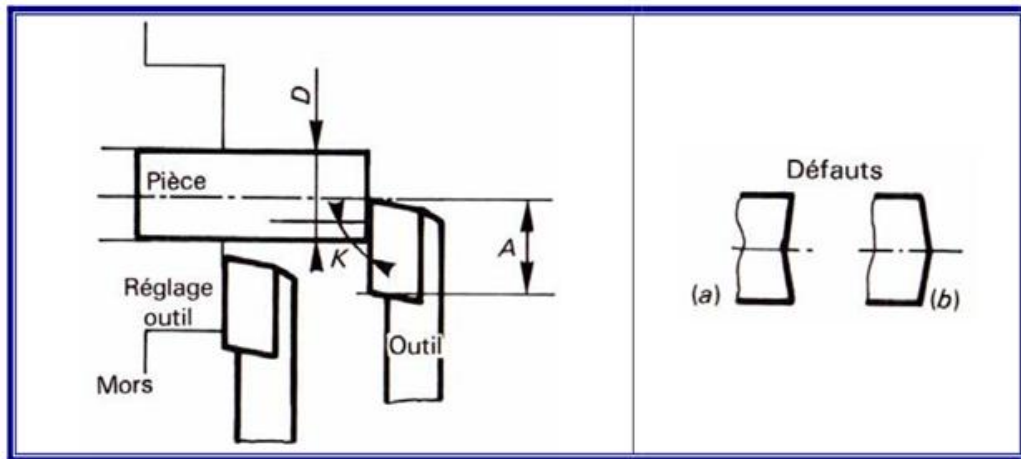


Figure 27. Mise à la longueur

Les figures 27a et 27b montrent les défauts pouvant résulter d'un mauvais réglage de l'outil.

II. 6.2.6. Analyse de l'opération dressage (opération 2 Figure 28)

➤ Instructions détaillées de la (Figure 28)

La pièce brute en acier laminé, a $\varnothing 60 \times 142$. Les surépaisseurs (2 mm sur (1), 4 mm au rayon sur (2)) avec $IT = 0,3$ sur le bout et le rayon imposent une seule passe par surface. L'état superficiel (traits réguliers, sensibles au toucher) impose une forte avance par tour. Le bout (1) est dressé au début.

OPÉRATIONS		OUTILLAGE	CONTRÔLE
1	Ébavurer, contrôler le brut $\varnothing 60$, $l = 142$	Lime	Calibre à coulisse
2	Dresser. Chariotage radial Bout 1	Outil à chariotier coudé acier rapide Cotes $140 \pm 0,15$ p 2 a 0,16 n 320	
3	Cylindrer. Chariotage longitudinal Cylindre 2		4
ÉBAUCHE		Acier, R = 40 hbar	

Figure 28. Analyse de l'opération dressage

➤ **Déterminer le processus**

Les données permettent le dressage en une seule passe :

$$p = 2 \text{ mm} ; a = 0,16 \text{ mm/tr.}$$

➤ **Choisir et monter l'outil**

Après contrôle (affûtage, surface de référence) l'outil à charioter coudé est placé sur la référence de la tourelle, propre et en bon état. Les angles de pente d'affûtage et de dépouille ne sont corrects que si l'arête tranchante est à hauteur de l'axe de la broche. L'outil dépassant le moins possible, serrer les vis de la tourelle et contrôler à nouveau la hauteur de l'arête tranchante.

➤ **Fixer la pièce dans le mandrin**

Engager la pièce dans les mors du mandrin (dépassement aussi faible que possible, compte tenu de la longueur nécessaire pour les opérations associées) et la serrer en utilisant la clé du mandrin; contrôler le contact entre mors et pièce.

➤ **Procéder aux réglages (tour à commande manuelle)**

- ✓ **Vitesse de rotation de la broche : n tr/mn.** Assurer la valeur figurant sur la feuille d'instructions détaillées en plaçant les leviers de la boîte des vitesses aux positions indiquées par le tableau de réglage (Figure 29)

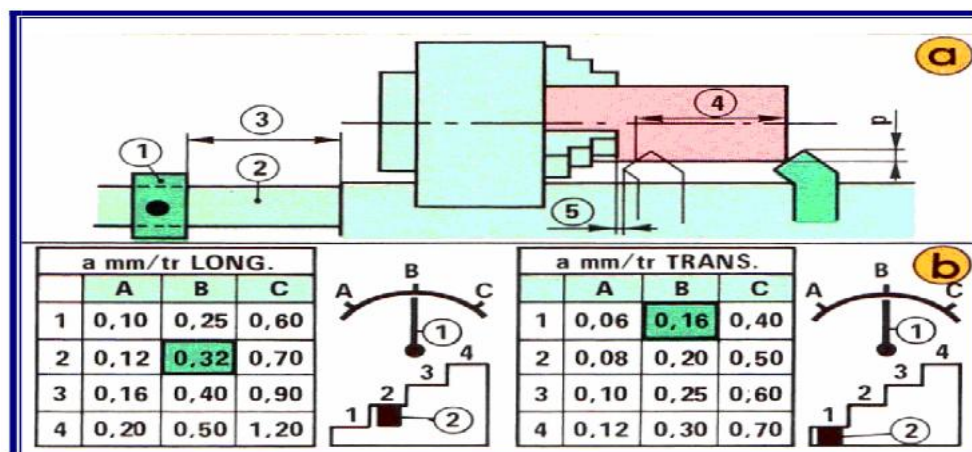


Figure 29. Réglages

• **Instructions détaillées de la (Figure 29):**

a) Sécurité : Lors du chariotage longitudinal, la butée (1) est bloquée sur le banc (2) en respectant une distance (3) égale à la course nécessaire (4), ce qui assure la sécurité (5).

b) Avances : Les avances longitudinales ou transversales sont obtenues par manipulation du levier (1) et du baladeur (2).

✓ **Avance automatique du chariot transversal : a mm/tr**

Assurer la valeur désirée en disposant les leviers de la boîte des avances suivant le tableau de réglage.

✓ **Contact outil-pièce**

Embrayer Mc. Situer le bec de l'outil devant le bout de la pièce et bloquer le traînard. Avancer lentement le chariot supérieur jusqu'à ce que la pointe de l'outil laisse une légère trace sur la pièce ; régler le tambour gradué au zéro et dégager l'outil (chariot transversal).

✓ **Profondeur de passe : p mm.**

Calculer le nombre de graduations correspondant à p . (Ex. une graduation 0,1 mm ;

$p = 2 \text{ mm} = 20$ graduations). Avancer le chariot supérieur du nombre de graduations calculé (Figure 30).

➤ **Prendre la passe**

Abaissier le levier de commande d'avance automatique du chariot transversal dans le sens voulu ; lubrifier. Pendant la passe, ne toucher à aucun organe en mouvement, ni à la pièce, ni aux copeaux. Débrayer Ma lorsque l'outil est arrivé au centre de la pièce ; reculer l'outil ; débrayer Mc ; contrôler.

II. 6.2.7 Analyse de l'opération de chariotage (Figure 29)

Cylindrage de la surface (2) avec $s = 4 \text{ mm}$, $IT = 0,6 \text{ mm}$, état superficiel ∇ (opérations 2 et 3 associées).

➤ **Déterminer le processus**

Les données permettent le cylindrage en une passe; mais le réglage de p sur une surface laminée est imprécis et nécessite un amorçage à un diamètre (supérieur au diamètre désiré) dont la mesure permette un second réglage précis.

➤ **Choisir et monter l'outil**

L'économie conduit à utiliser l'outil à chariotier coudé.

➤ **Fixer la pièce dans le mandrin**

Le dépassement est tributaire de la longueur à usiner, de la largeur de l'outil et de la distance interdisant le contact entre outil et mandrin.

➤ **Procéder aux réglages**

✓ **Vitesse de rotation de la broche ; avance du traînard.**

- ✓ **Contact outil-pièce.** Par déplacement du chariot transversal ; dégagement par déplacement du traînard. Débrayer Mc.
- ✓ **Butée longitudinale.** Régler $p = 4 \text{ mm}$, placer l'outil suivant (Figure 30) et bloquer la butée sur le banc à distance voulue du traînard; reculer l'outil et amener le traînard en butée pour constater le non contact outil-mandrin.

➤ **Amorcer la passe**

Régler $p_1 \approx 0,5 p$; embrayer Mc et Ma (traînard), cylindrer sur $L \approx 5 \text{ mm}$; dégager l'outil ; débrayer ; mesurer, calculer puis régler p_2 pour le diamètre désiré (Figure 7 Profondeur de passe).

➤ **Prendre la passe**

Débrayer Ma 2 mm avant le contact traînard-butée, terminer par commande manuelle du traînard. Débrayer Mc. Contrôler.

II. 7. Paramètres de coupe en tournage

II. 7.1. Vitesse de coupe

La pièce est entraînée sur le tour à une certaine vitesse $\omega \text{ rad/s}$ (soit $N \text{ tr/min}$), cette vitesse angulaire étant communiquée par la broche de la machine via le porte-pièce (Figure 31).

Compte tenu du diamètre de la pièce au point d'usinage situé sur un diamètre D , la vitesse relative de la pièce en ce point par rapport à l'outil (supposé fixe par rapport à la machine) vaut :

$$V_c \text{ (m/s)} = \frac{D}{2} \text{ (m)} \times \omega \text{ (rad/s)}$$

Cette vitesse est appelée vitesse de coupe ; soit, avec les unités traditionnelles de la fabrication mécanique :

$$N(\text{tr/min}) = \frac{1000 \times V_c \text{ (m/min)}}{\pi D \text{ (mm)}}$$

Il convient d'observer que la vitesse de coupe n'est constante que si la vitesse de broche et le diamètre de la pièce demeurent inchangés. En dressage, par exemple où l'outil se déplace en direction du centre, la vitesse de coupe varie continuellement si la rotation de la pièce s'effectue à une vitesse de broche constante.

Or, pour une productivité maximale et une meilleure qualité des surfaces obtenues, il est souhaitable de maintenir la vitesse de coupe constante.

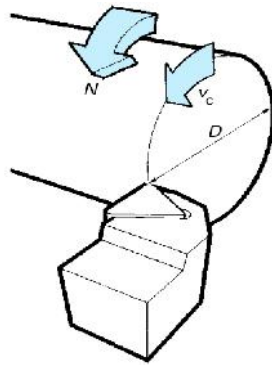


Figure 31. Vitesse de coupe

Sur un grand nombre de tours modernes, la vitesse de broche augmente au fur et à mesure que l'outil approche de l'axe, afin de compenser ainsi la diminution de diamètre. Mais dans le cas de très petits diamètres, cette compensation se révèle impossible du fait de la plage de vitesse limitée qu'autorisent les machines. De même, lorsqu'une pièce, comme cela est souvent le cas, présente des diamètres différents ou est de forme conique ou courbe, la fréquence de rotation doit être corrigée en fonction du diamètre, pour maintenir la vitesse de coupe constante (Figure 32).

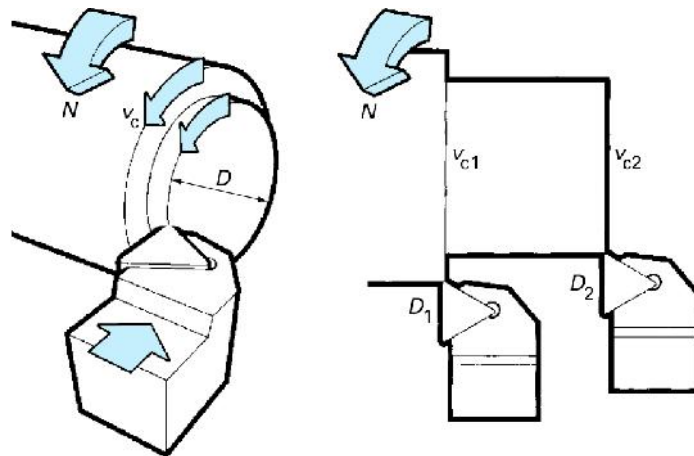


Figure 32. Définition des trois variables: vitesse de coupe V_c , diamètre D , vitesse de rotation N

Le préparateur choisit cette vitesse de coupe en fonction, notamment :

- des matériaux de la pièce et de l'outil ;
- de la lubrification ;
- de la durée de vie souhaitée pour l'outil ;

Des valeurs des autres paramètres de coupe (avance, profondeur de passe...)

✓ Pour de plus amples informations.

Les fabricants de matériaux à outils fournissent des valeurs de vitesse de coupe pour chaque type de plaquette en fonction du matériau de pièce, et ce pour une durée de vie standard de la partie active de l'outil (45 min par exemple).

La valeur numérique de V_c peut aller, à titre indicatif, de 40 m/min avec un outil en acier rapide coupant une pièce en acier à 0,3 % de carbone, à plus de 600 m/min pour la même pièce, avec un outil céramique, en passant par des valeurs courantes autour de 200 m/min pour des outils à pastille en carbure métallique (Figure 33).

L'évolution de ces valeurs de vitesses de coupe en une trentaine d'années a imposé une évolution parallèle des puissances à la broche des tours, afin de pouvoir utiliser au mieux les propriétés des outils.

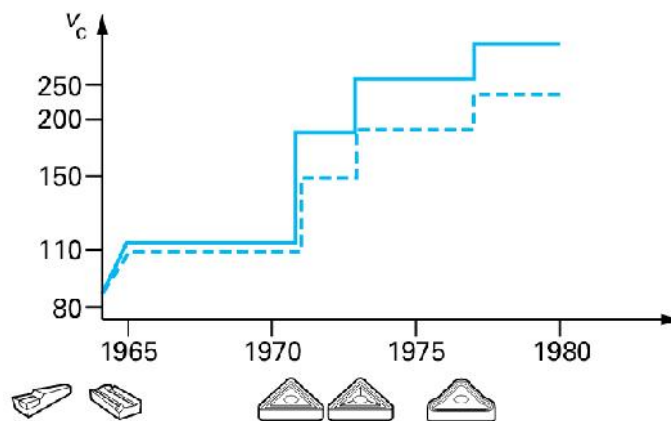


Figure 33. Amélioration des vitesses de coupe industrielles

II. 7.2. Vitesse d'avance V_f . Avance par tour f

La vitesse d'avance V_f (**mm/min**) (Figure 34) est la vitesse à laquelle la machine déplace l'outil par rapport au bâti.

L'avance par tour f (**mm/tr**) est la valeur du déplacement de l'outil, lorsque la pièce a effectué une révolution. C'est une donnée clé pour la qualité de la surface usinée.

L'avance influe non seulement sur l'épaisseur des copeaux, mais également sur la manière dont ils se brisent. La vitesse d'avance V_f (**mm/min**) est égale à f (**mm**) $\times$ N (**tr/min**).

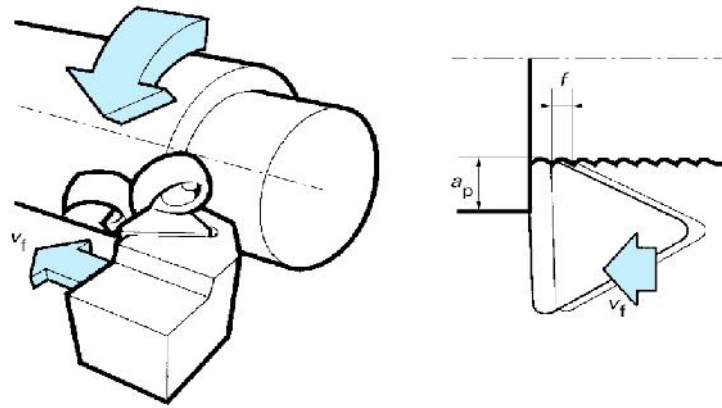


Figure 34. Vitesse d'avance V_f . Avance par tour f

II. 7.3 Profondeur de coupe a_p

En chariotage, la profondeur de coupe $a_p(\text{mm})$ (Figure 34) est la différence de rayon entre la surface non usinée et la surface usinée (c'est-à-dire la moitié de la différence entre le diamètre non usiné et le diamètre usiné). La profondeur de coupe est toujours mesurée perpendiculairement à la direction de l'avance et non pas suivant l'arête de l'outil.

II. 8. Perçage – Centrage

II. 8.1. Perçage

C'est un procédé d'usinage économique et rapide qui permet l'ébauche des alésages, l'exécution des diamètres de perçage avant taraudage.

L'outil appelé foret, il est généralement hélicoïdal et l'angle d'inclinaison d'hélice et l'angle de pointe sont choisis en fonction du matériau usiné. Il peut être à queue cylindrique ou queue conique.

Mesure du diamètre de l'outil : au pied à coulisse (Figure 35).

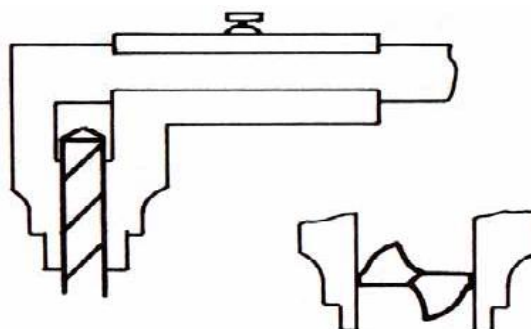


Figure 35. Pied à coulisse

II. 8.1.1. Montage du foret (Figure 36)

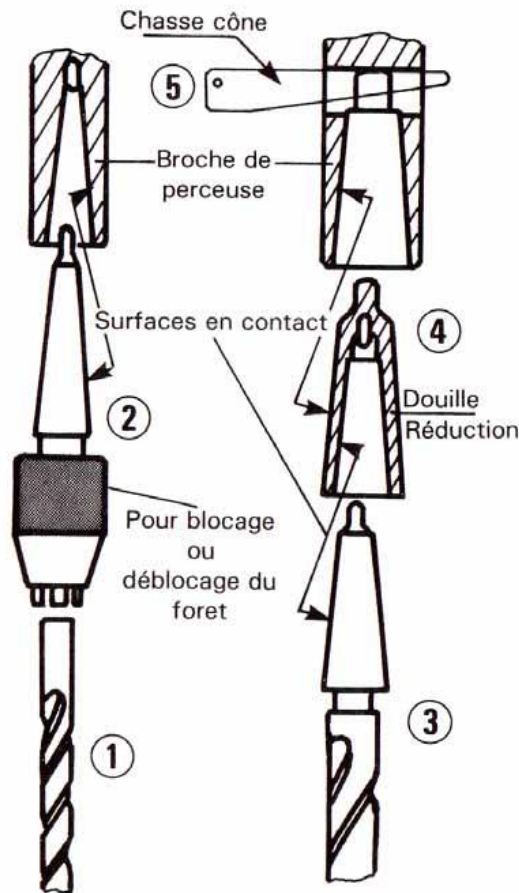


Figure 36. Montage du foret

❖ Foret a queue cylindrique ①

Utiliser un mandrin trois mors ②

- Ouvrir le mandrin.
- Vérifier si le foret ne possède pas une queue détériorée.
- Introduire le foret.
- Serrer énergiquement à la main ou avec une clé spéciale suivant le type de mandrin.
- Vérifier si chaque mors appuie bien sur la queue du foret.

❖ Foret a queue conique ③

- Vérifier la propreté des surfaces en contacts.
- Coincer le foret (et le cône) en présentant le tenon face au logement.

Si la grosseur du cône de la broche et du foret ne correspondent pas, ajouter une douille de réduction ④

- Monter le cône du foret ou du mandrin directement ou par l'intermédiaire de douille de réduction d (Figure 37) dans le fourreau.
- Laisser un dépassement minimal du fourreau hors de la poupée mobile.

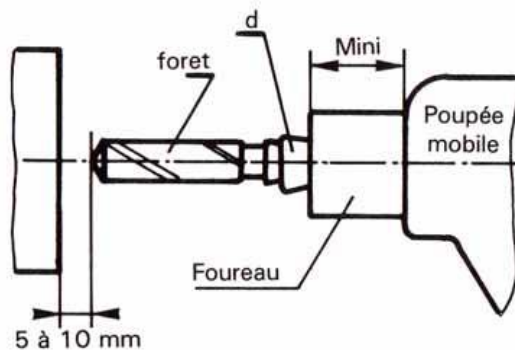


Figure 37. Douille de réduction (d)

II. 8.1.2. Réglage outil-pièce

- Régler la fréquence de rotation $V_c = 2/3$ de V_c du chariotage.
- Avancer la poupée mobile jusqu'à ce que le foret se trouve de 5 à 10 mm de la pièce.
- Bloquer la poupée mobile (levier ou clé).
- Mettre la broche en rotation.
- Avancer l'outil vers la pièce par le fourreau commandé par la manivelle.

II. 8.1.3. Exécution du perçage

- Lubrification abondante nécessaire.
- Pour trou débouchant, traverser.
- Pour trou borgne, repérer par le vernier la cote de départ de la partie cylindrique (Figure 38).
- Percer jusqu'à profondeur prévue.
- Si la profondeur à percer est 4 fois supérieure au diamètre D à percer, dégager souvent pour assurer le retrait des copeaux et le refroidissement de la partie active du foret.

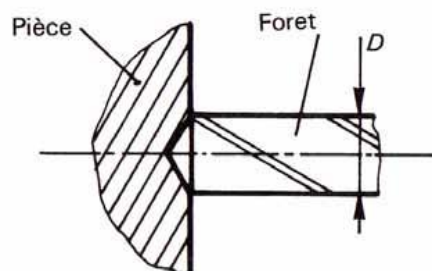


Figure 38. trou borgne

- Cycle de dégagement pour le perçage de l'acier (Figure 39).

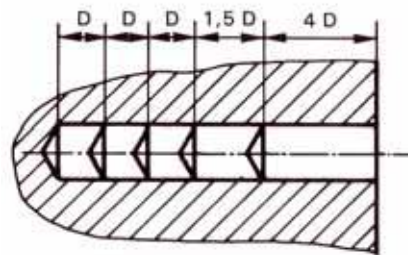


Figure 39. Cycle de dégagement pour le perçage de l'acier

II. 8.1.4. Démontage du foret

Pour extraire le foret :

- **queue cylindrique :**
 - Tourner le corps du mandrin dans le sens inverse du blocage.
- **queue conique :**
 - Introduire un chasse-cône dans le logement ⑤
 - Frapper avec un marteau en tenant le foret de l'autre main.

Précaution avant perçage

Contrôler la rotation du foret. La pointe doit tourner concentrique à l'axe de la broche.

II. 8.2. Centrage

Un centre est nécessaire pour exécuter un montage de pièce mixte.

La (Figure 40) représente un foret à centrer. Montage identique au foret queue cylindrique.

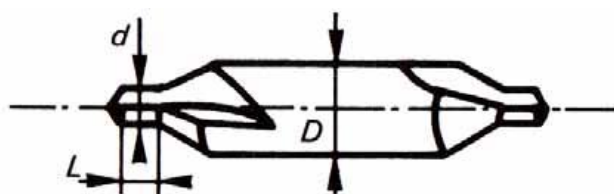


Figure 40. Foret à centrer

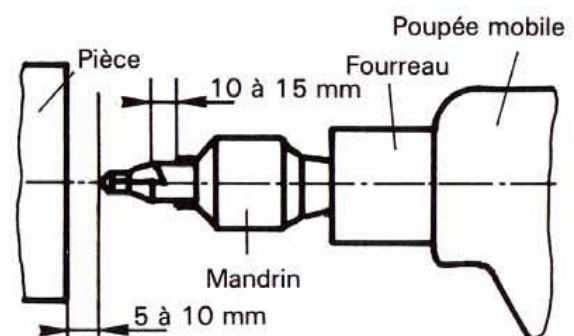


Figure 41. Montage un mandrin de perçage dans le fourreau

II. 8.2.1. Exécution

La pièce est montée en l'air. La face à centrer peut être usinée ou non.

- Régler la fréquence de rotation (pour le calcul prendre D).

- Monter un mandrin de perçage dans le fourreau (Figure 41).
- Ouvrir le mandrin.
- Glisser le foret à centrer entre les mors, en le faisant dépasser de 10 à 15 mm.
- Serrer le mandrin à la clé ou manuellement suivant le type.
- Approcher la pointe du foret de la pièce (5 à 10 mm) en déplaçant la poupée mobile.
- Bloquer la poupée mobile sur le banc de tour (levier ou clé).
- Mettre la broche en rotation.
- Avancer le foret dans la pièce par le fourreau commandé par la manivelle.
- Lubrifier.

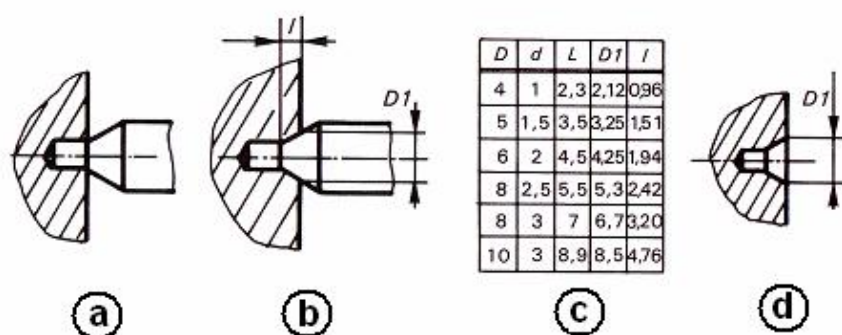


Figure 42. Les étapes de perçage

- Lorsque la partie cylindrique du foret a pénétré (Figure 42a), repérer la position du fourreau par le vernier ou au réglet.
- Faire pénétrer le foret (Figure 42b) suivant la dimension du tableau (Figure 42c) pour obtenir D1.
- Pour des raisons pratiques, le tableau (figure 42c) donne la longueur l à perce (figure 42b) calculée en fonction de D1 en employant :

$$\frac{D1 - d}{2} \times 1,732$$

Remarque :

Le contrôle du déplacement ne pouvant être fait de manière précise, les longueurs l ne sont données qu'à titre d'information, on se rapprochera le mieux possible de l.

Chapitre III:

Programmation

sur Tour CNC

III. 1. Généralités :

III. 1.1. Historique :

Les premières machines - outil à commande numérique (MOCN) ont vu le jour dans le début des années 1950 à partir d'un besoin croissant de l'industrie aéronautique pour l'usinage en fraisage des pièces mécaniques complexes de moteur d'avion. Le besoin est né essentiellement de la nécessité de combinaison des mouvements dans l'espace, des différents axes de travail des MO. La création des MOCN correspond par nature à des besoins en :

- ✓ petites séries
- ✓ moyennes séries

Leur souplesse d'évolution par rapport à des machines de production en grandes séries (machines transfert, tours automatiques, etc..) et l'investissement qu'elles représentent pour une entreprise, permet rarement de les figer dans des travaux répétitifs, mais les destinent aux usinages longs et complexes permettant de réunir un grand nombre d'opérations d'usinage en une seule phase. Ce regroupement aisé d'opérations, facilité sur les MO multiaxes, permet de concevoir à l'heure actuelle des applications rentables en grandes séries.

III. 1.2. Définition de la commande numérique

La commande numérique est un mode de commande dans lequel les valeurs désirées d'une variable commandée sont définies selon un code numérique (la machine-outil constitue le principal domaine d'application de la commande numérique). C'est une somme d'automatismes dans laquelle les ordres de mouvement ou de déplacement, la vitesse de ces déplacements et leur précision, sont donnés à partir d'informations numériques. Ces informations sont codées sur des supports tels que : rubans perforés, cassettes ou disquettes magnétiques ou simplement sauvegardés en « mémoire » dans le cas des dernières générations de commandes numériques à calculateur intégré (CNC). L'ensemble de ces informations de pilotage des machines - outil (MO) est élaboré sous forme de programme à exécution séquentielle. Les temps de réponse de telles commandes avoisinant la dizaine de microsecondes, il sera tout naturellement possible d'espérer piloter la machine suivant des trajectoires plus ou moins complexes, en vitesse et position.

III. 2. Constitution des MOCN

III. 2.1. Influence de la CN sur la morphologie des machines

Pour s'adapter à l'accroissement exceptionnel de productivité que permet la technologie CN, la constitution mécanique des MO a dû être totalement repensée.

III. 2.1.1 Mouvements d'avance

L'asservissement précis, rapide et stable de la position des différents organes mobiles (pièce ou outil selon la machine), a conduit les constructeurs de machines à redessiner complètement leurs systèmes d'entraînement. Une attention particulière a notamment été apportée sur les notions de rigidité, de réduction des frottements et de maîtrise des forces d'inertie de manière à favoriser des mouvements fréquents à vitesses et accélérations élevées, sans apparition d'usure intempestive ni perte de précision.

La plupart des solutions retenues pour la réalisation des déplacements adoptent des solutions faisant appel à des moteurs à faible inertie et fort couple, des vis à billes précontraintes et des principes de montage rigide sans jeu.

III. 2.1.2 Approvisionnement en outils

L'automatisation de la gestion des outils est un facteur déterminant de la productivité des MOCN. C'est pourquoi la majorité d'entre elles sont équipées de mécanismes de changement automatique de leurs outils qui apportent une très grande souplesse d'utilisation en permettant la réalisation d'opérations variées sans la présence d'un opérateur.

Un changeur automatique d'outils se compose d'une réserve d'outils (ou magasin) et d'un dispositif de transfert chargé de véhiculer l'outil du magasin vers le poste de travail de la machine et vice-versa, conformément aux instructions du programme d'usinage de la CN.

Il existe plusieurs sortes de magasins d'outils :

- ✓ circulaire (à disque ou à tambour) ;
- ✓ à chaîne (simple, double ou triple) dont la capacité peut dépasser 100 outils ;
- ✓ à cartouche, comportant plusieurs emplacements (ou cases).

La rotation du magasin peut s'effectuer dans un seul sens ou dans les deux, cette dernière solution permettant de sélectionner l'outil à changer par le chemin le plus court. En fonction de la gestion d'outils adoptée sur la machine, l'outil peut être sélectionné dans un ordre séquentiel fixe ou aléatoire. Dans ce cas, il est remplacé n'importe où dans le magasin, une codification étant prévue soit sur l'outil ou sur l'emplacement du magasin pour lever toute ambiguïté.

Le mécanisme de transfert se présente généralement sous la forme d'un bras pivotant qui enlève simultanément les outils de la broche de la machine et du magasin d'outils et les dépose en sens inverse après une rotation à 180° (figure 43).

Le choix d'un changeur d'outils est lié à plusieurs facteurs :

- ✓ le temps de changement d'outil de copeau à copeau ;
- ✓ la possibilité d'extension du magasin d'outils ;
- ✓ la facilité de rechargement du magasin.

(Se reporter également qui traite de la gestion des outils dans les unités de production automatisées.)

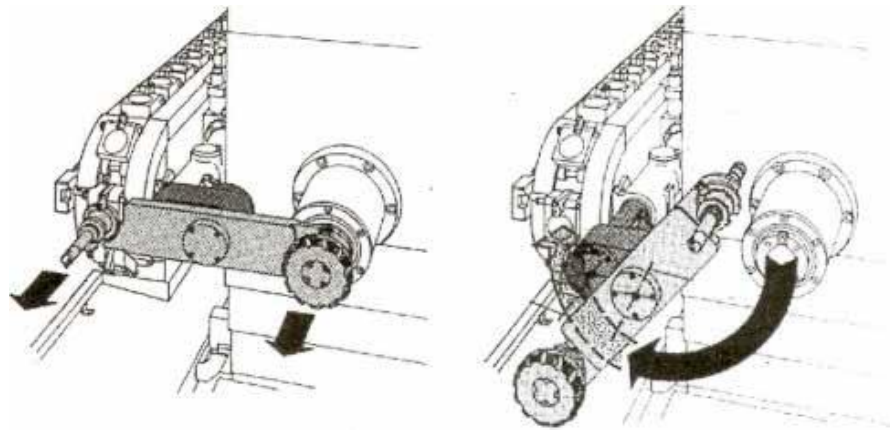


Figure 43. Changement automatique d'outil sur centre d'usinage

III. 2.1.3 Approvisionnement en pièces

Les temps de montage et de démontage de la pièce revêtent souvent une importance non négligeable dans la productivité d'une MOCN.

Sur les machines à pièces tournantes, les solutions retenues sont les suivantes :

- ✓ bras manipulateurs situés à l'extérieur de la machine ;
- ✓ robots au sol pouvant desservir plusieurs machines ;
- ✓ portiques conçus pour le transfert de pièces par la partie supérieure du poste de travail.

Sur les machines à outils tournants, les systèmes à palettes sont actuellement les équipements les plus répandus. Ils présentent l'avantage de monter et de démonter les pièces en temps masqué hors du poste de travail avant d'être transférées sur la table de la machine au moment opportun.

Il existe diverses configurations de palettiseurs, la plus simple étant constituée d'une table circulaire ou linéaire (figure 44) à deux emplacements placée à l'avant du poste de travail. Des solutions de systèmes à transfert linéaire ou par carrousel pouvant comporter un nombre élevé de palettes augmentent considérablement l'autonomie des machines. Ce type de configuration permet en outre une prolongation du temps productif en dehors des horaires normaux de travail, si des moyens appropriés de surveillance de l'usinage ont été prévus à cet effet.

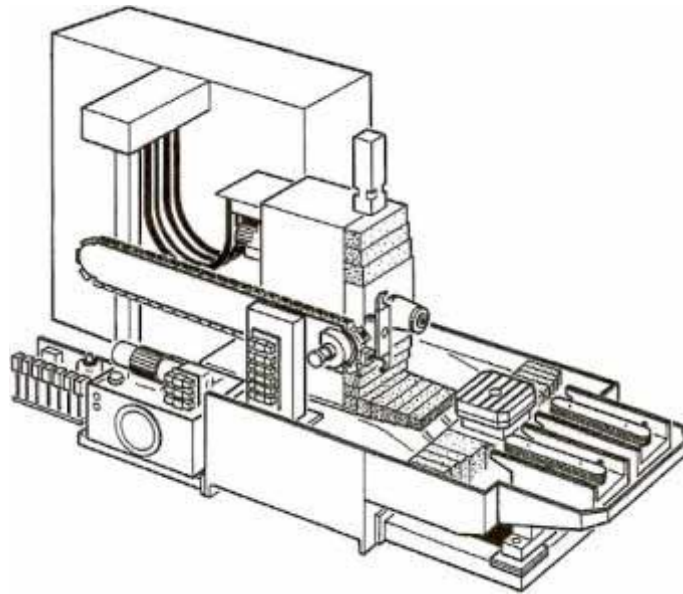


Figure 44. Approvisionnement de pièces par palettisation

III. 2.1.4 Évacuation des copeaux

Le débit de copeaux très important qu'engendre un travail sur MOCN impose de prévoir des dispositifs destinés à favoriser leur récupération et à automatiser leur évacuation :

- ✓ bancs inclinés sur les tours horizontaux ;
- ✓ carénages conçus de manière à canaliser à la fois le liquide d'arrosage et les copeaux
- ✓ arrosage abondant (parfois même surabondant) pour évacuer les copeaux par entraînement ;
- ✓ présence de buses de lavage orientées pour éviter l'accumulation des copeaux dans des endroits critiques de la machine ;
- ✓ fractionnement des copeaux pendant l'usinage (géométrie d'outil adaptée, présence de brise-copeau sur l'outil, régulation programmée du mouvement d'avance) ;
- ✓ adaptation d'un convoyeur mécanisé, à vis sans fin ou à chaîne, conçu pour évacuer les copeaux hors de la machine et les déverser dans un bac extérieur.

III. 2.1.5 Arrosage et soufflage

Un arrosage abondant doit être prévu pour refroidir la pièce et faciliter l'évacuation des copeaux. Un débit minimal de 20 L/min et une pression supérieure à 2 bar sont souhaitables pour les opérations d'usinage courantes. L'utilisation d'outils avec arrosage par le centre conduit à choisir des pressions plus élevées pouvant atteindre 10 bar.

Le liquide est stocké dans un bac dont la contenance correspond à environ 5 fois le débit à la minute de la pompe. Les volumes du bac et son refroidissement contribuent dans une large mesure à la stabilité thermique de la machine.

III. 2.1.6 Guidages

Une MOCN se caractérise essentiellement par la précision de déplacement de ses organes mobiles et par des efforts d'usinage importants. L'assurance d'un asservissement précis, rapide et stable de la position des différents chariots a donc conduit à concevoir de nouvelles solutions pour leurs guidages.

L'un des points les plus délicats à régler a été d'éliminer le phénomène de mouvement saccadé (stick-slip) qui se produit principalement lors de faibles avances des chariots de la machine.

Les remèdes apportés ont été les suivants :

- ✓ réalisation de surfaces grattées pour assurer un meilleur maintien du lubrifiant
- ✓ lubrification automatique et sous pression des guidages ;
- ✓ remplacement du glissement par un roulement en adoptant des patins à recirculation de rouleaux cylindriques ;
- ✓ adoption de matériaux à faible coefficient de frottement (matériaux composites, notamment) ;
- ✓ utilisation de lubrifiants spéciaux ;
- ✓ développement de guidages hydrostatiques.

III. 2.1.7 Précision et contrôle

Les MOCN sont contrôlées suivant des normes internationales qui spécifient leur précision de mise en position et leur précision géométrique.

Le contrôle de la précision de positionnement a pour but essentiel de vérifier la qualité de la CN et les performances des asservissements sur les axes.

Le moyen le plus utilisé pour effectuer ces contrôles successifs en un même point de la machine est l'interféromètre laser (figure 45 a). Compte tenu de la longueur d'onde de son rayon lumineux (laser hélium-néon), ce système offre, par sa résolution de 0,16 μm , une possibilité de mesure de longueur d'une très grande précision.

Le contrôle de la précision géométrique est généralement effectué à partir des résultats obtenus lors de l'usinage d'une pièce- type.

Capable de fournir des indications précieuses sur la géométrie de la machine et sur la capacité de réaction de ses asservissements, un procédé plus récent fait appel à un dispositif

appelé ball-bar, que l'on peut traduire par tige instrumentée à boules (figure 45b). Un ball-bar est constitué d'une tige télescopique contenant un capteur qui mesure ses variations de longueur avec une précision de $1\text{ }\mu\text{m}$. La tige est terminée à ses deux extrémités par une boule sphérique de haute qualité, chaque boule étant placée sur un support dégageant trois points de contact qui fournissent une rotule sans jeu. L'un des supports est fixé magnétiquement sur la table, l'autre est pris en pince dans la broche de la MOCN. Le test de géométrie est réalisé en programmant un parcours circulaire de la broche dans un plan. Le capteur enregistre les variations de ce parcours par rapport au parcours théorique programmé et transmet les informations correspondantes à un PC qui établit un diagnostic précis sur les principaux défauts de la géométrie de la machine et sur l'erreur de poursuite due aux asservissements.

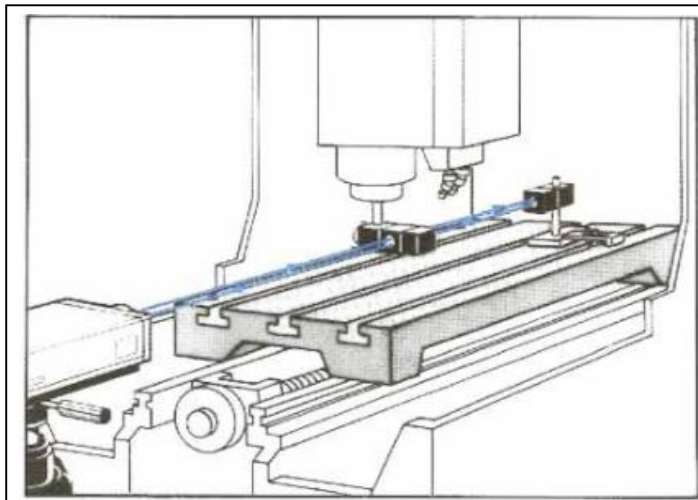


Figure 45a. Interféromètre laser

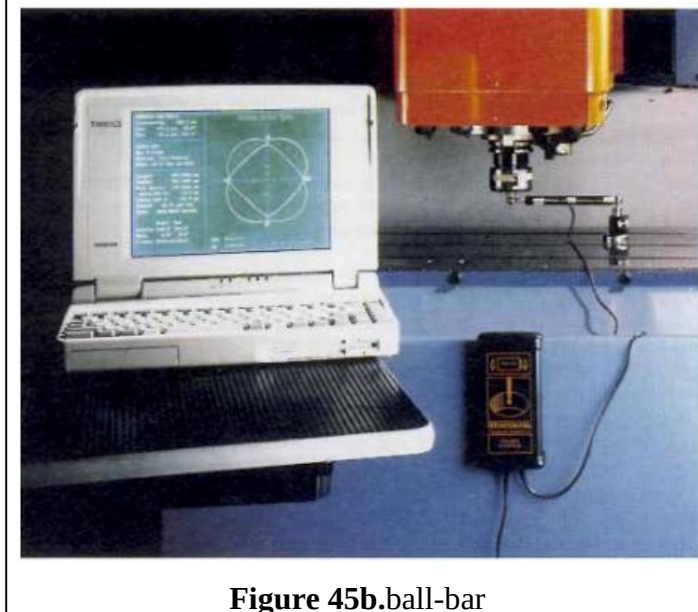


Figure 45b. ball-bar

Figure 45. Moyens de contrôle de mise en position

III. 2.2. Configuration des MOCN

La CN pilote les mouvements et gère les outils de pratiquement tous les types de machines outils travaillant par enlèvement de métal : perceuses, aléseuses, fraiseuses, centres d'usinage et de tournage, tours, rectifieuses, tailleuses d'engrenages, etc.

Dans le domaine du formage, la CN équipe fréquemment les poinçonneuses, cisailles, presses-plieres et machines de découpe, quel qu'en soit le procédé (oxycoupage, plasma, laser ou jet d'eau).

On la trouve également sur les machines d'électroérosion, de rivetage, de soudage et de mesure ainsi que sur de nombreuses configurations de machines à bois, perceuses, détoueurs, corroyeurs, tenonneuses, mortaiseuses et moulurières.

Dans les usines de fabrication électronique, la CN est utilisée sur les machines de perçage des circuits imprimés et sur les machines d'enrobage des câbles.

La plupart de ces machines sont conçues spécifiquement pour un usage optimal de la CN ; d'autres, plus rares, ne disposent que de quelques possibilités CN. Quelquefois, des machines anciennes sont modernisées en faisant appel à la CN (opérations dites de retro-fit). D'autres, encore, se contentent d'une table numérisée à chariots croisés.

Depuis la commande deux axes d'une table de perceuse jusqu'à la gestion cinq axes simultanés de machines de très grandes dimensions utilisées par l'industrie aéronautique pour usiner les profils complexes d'ailes et de fuselage d'avions, la CN a un impact considérable sur toutes les industries de fabrication mécanique.

La CN est aussi à l'origine de l'avènement du centre d'usinage, une nouvelle architecture de MO polyvalente développée dès 1958 par le constructeur américain Kearney & Trecker. Muni d'un changeur automatique d'outils et, le cas échéant, d'un changeur automatique de pièces, le centre d'usinage est capable d'effectuer des opérations d'usinage diverses (perçage, lamage, taraudage, alésage, fraisage, etc.) sur plusieurs faces d'une pièce sans démontage.

Le contrôle par la CN du positionnement angulaire de la broche d'un tour et de son interpolation avec les axes de déplacement de l'outil a également donné naissance à des machines complexes appelées centres de tournage. L'adjonction d'outils tournants (têtes de fraisage, notamment) dans les tourelles porte-outils a considérablement augmenté les possibilités de ces machines dont les fonctions respectives de tournage et de fraisage sont intégralement gérées par la CN.

III. 2.3. Principe d'asservissement d'un organe mobile

La fonction principale d'une CN est de contrôler en permanence les déplacements des divers organes mobiles de la machine, en vitesse comme en position.

Chaque axe de déplacement est donc assujéti à un asservissement en boucle fermée, dont le principe consiste à mesurer continuellement la position réelle du mobile et à la comparer avec la grandeur d'entrée, ou position de consigne, que délivre la CN pour atteindre la nouvelle position programmée (figure 46). Dès que l'écart entre les deux mesures s'annule, le mobile s'arrête.

Le déplacement de la table ou de l'outil d'un point à un autre implique la connaissance :

- ✓ de l'axe (X, Y, Z,...) sur lequel le déplacement doit s'effectuer ;
- ✓ des coordonnées du point à atteindre ;
- ✓ du sens de déplacement (+ ou -) ;
- ✓ de la vitesse de déplacement de la table ou de l'outil.

Les CN modernes permettent de contrôler simultanément plusieurs axes linéaires ou rotatifs (en général de 2 à 5) et de les interpoler entre eux afin de suivre avec précision une trajectoire quelconque dans l'espace.

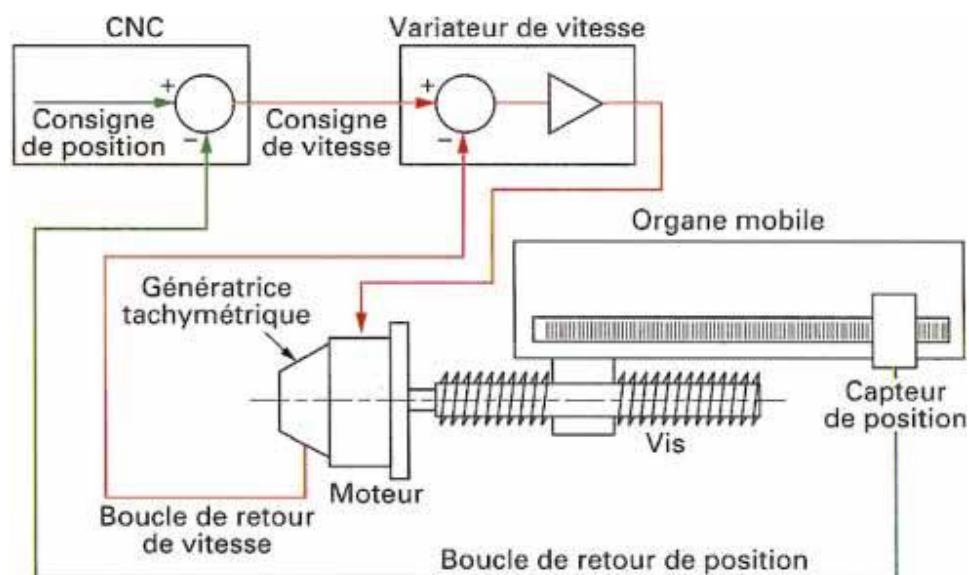


Figure 46. Principe d'asservissement d'un organe mobile

III. 2.4 Entraînement d'un organe mobile suivant un axe

Les éléments nécessaires pour entraîner un mobile sur une MOCN sont le moteur, le variateur électronique de vitesse et le mécanisme d'entraînement.

La chaîne cinématique constituée par ces divers éléments se caractérise par les performances et les fonctionnalités suivantes :

- ✓ commande individuelle de chaque axe;
- ✓ couples disponibles sur l'axe moteur compris entre 1 et 100 N.m ;
- ✓ possibilités de surcharges importantes pendant les périodes d'accélération et de freinage ;
- ✓ réponse à des demandes de déplacement très faible ($< 1 \mu\text{m}$) ;
- ✓ grande qualité d'accélération/décélération (temps de démarrage ≈ 10 à 50 ms) ;
- ✓ grande stabilité de vitesse ;
- ✓ dynamique élevée surtout lors d'avances faibles ;
- ✓ déplacements rapide de l'ordre de plusieurs dizaines de mètres par minute.

III. 2.4.1 Moteurs

Confrontés à la sophistication croissante des automatismes industriels, les constructeurs de machines sont particulièrement soucieux du niveau de performances et de la souplesse d'utilisation des organes moteurs.

On peut distinguer trois grandes technologies de moteurs de commande d'axes :

- ✓ **les moteurs pas à pas**, conçus de manière à tourner d'une valeur angulaire fixe donné (un pas) à chaque impulsion transmise par leur électronique de commande. Le contrôle du nombre d'impulsions permet la réalisation de déplacements très précis. D'un coût peu élevé et d'un entretien limité, ces moteurs peuvent fournir des couples importants à des vitesses moyennes. En contre- partie, ils ont tendance à chauffer rapidement et perdent leur capacité d'accélération à haute vitesse. Ils sont essentiellement destinés au travail en boucle ouverte ;
- ✓ faciles à mettre en œuvre et à contrôler, **les moteurs à courant continu** se caractérisent par un fort couple de démarrage et de bonnes capacités de vitesse et d'accélération. Bien qu'éprouvée, leur technologie n'en demeure pas moins ancienne, ce qui présente certains inconvénients comme, par exemple, la présence de balais qui impose des entretiens périodiques ou l'apparition fortuite de phénomènes de démagnétisation des aimants permanents dus au courant circulant dans le rotor ;
- ✓ **les moteurs asynchrones autopilotés** (ou auto commutés) à courant alternatif sont aujourd'hui les plus fréquemment utilisés. Plus connus sous le nom de moteurs sans balais (brushless), ils se composent d'un rotor à aimants permanents, d'un stator généralement triphasé et d'un dispositif interne de commutation de phases et se

caractérisent par une grande robustesse, une très bonne dissipation thermique, des vitesses élevées (entre 4 000 et 10 000 tr/min), un entretien pratiquement nul, une puissance massique élevée (moteur plus compact pour un même couple) et un moment d'inertie du rotor très faible. Le principe de commande le plus couramment retenu pour ces moteurs est de type sinusoïdal, en raison de la bonne stabilité qu'il procure à basse vitesse.

La commande des broches de machines est essentiellement confiée à des moteurs asynchrones. Conçus pour être utilisés à puissance constante sur la plus large plage de vitesses possible, ces moteurs peuvent délivrer des puissances de plus de 100 kW et être animés, à partir d'une vitesse nominale de 1 500 tr/min, de vitesses de rotation maximales pouvant atteindre 6 000 ou 12 000 tr/min. Des vitesses nominales plus faibles (en général, 750 tr/min) sont également proposées pour des applications demandant un couple élevé à basse vitesse.

Des dispositifs de mesure par capteurs à haute résolution et le recours au principe de régulation avec contrôle vectoriel de flux garantissent un très bon comportement de la broche, tant en indexage (jusqu'à 1/10 000 de degré) qu'en usinage en axe C (interpolation de la rotation de la broche avec les déplacements linéaires des chariots).

Des solutions de broches motorisées (figure 47) consistant à intégrer le moteur directement dans l'axe de la broche contribuent à simplifier considérablement la chaîne cinématique des machines.

Dans les applications d'usinage réclamant des vitesses de rotation de broche très élevées (Usinage à Grande Vitesse), on fait de plus en plus souvent appel à des électrobroches entraînées par un moteur asynchrone à haute fréquence monté en bout de broche. Précis et rigides (montage sur roulements hybrides à billes de céramique), ces équipements autorisent des vitesses de l'ordre de 30 000 à 50 000 tr/min dans des gammes de puissance pouvant atteindre 25 KW.

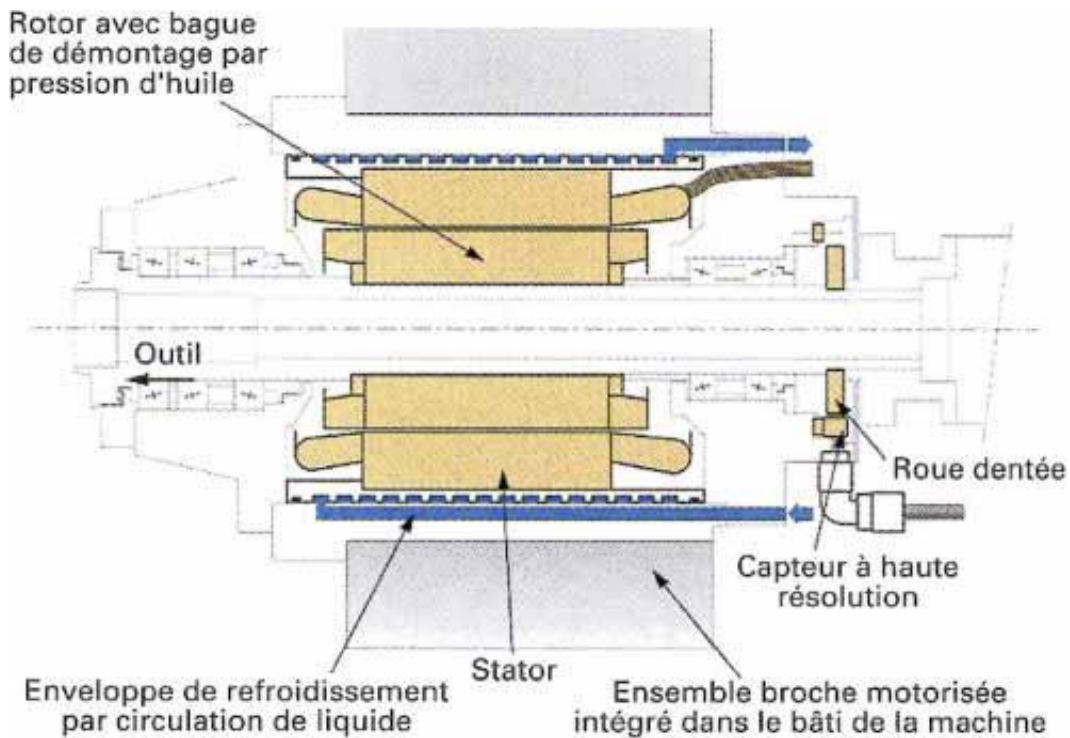


Figure 47. Broche motorisée (Motor spindle)

III. 2.4.2 Variateurs électroniques de vitesse

Pour que la vitesse de déplacement d'un mobile reste constante quelle que soit la variation de charge qui lui est appliquée, il est indispensable de fermer la boucle d'asservissement.

Cette fonction est traitée en dehors de la CN par le variateur de vitesse et nécessite la présence de génératrices tachymétriques au niveau des moteurs d'axes (figure 46).

Les variateurs de vitesse les plus répandus se raccordent directement sur le réseau triphasé 380 V. Ils bénéficient de la technique de contrôle vectoriel de flux qui leur permet de maîtriser parfaitement la vitesse et le couple du moteur et offrent la capacité de freiner celui-ci jusqu'à l'arrêt complet, même en cas de disparition intempestive du réseau d'alimentation. Dans la majorité des cas, les opérations de paramétrage et de personnalisation de ces équipements se font par PC, à l'aide d'un logiciel spécifiquement développé par le constructeur.

III. 2.4.3 Mécanismes d'entraînement

La chaîne cinématique qui, à partir de l'arbre moteur, doit assurer le déplacement de l'organe mobile doit être la plus courte et la plus directe possible.

Si les caractéristiques et l'encombrement du moteur le permettent, on entraîne directement la vis. Dans le cas contraire, on réalise un étage de réduction sans jeu avec une paire de roues dentées ou avec une transmission par courroie crantée.

Au niveau même de l'organe du mobile, le dispositif le plus communément utilisé est du type vis-écrou à billes (figure 48) : il se compose d'un filet de précision, d'un jeu de billes recirculantes et de deux écrous précontraints en traction pour compenser les dilatations thermiques. Cette solution se traduit par un frottement minime et une absence de jeu lorsque la précharge est correctement choisie.

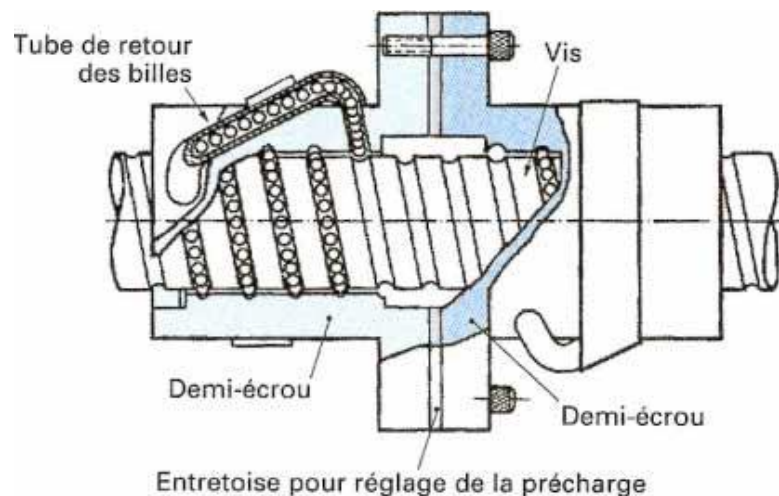


Figure 48. Vis et écrou à recirculation de billes

III. 2.5 Mesure des déplacements

Dans tous les systèmes de pilotage avec boucle de retour, on compare en permanence la position réelle du mobile avec la valeur de consigne délivrée par la CN. Le résultat de cette comparaison, appelé erreur de poursuite, sert à élaborer le signal de commande du moteur d'entraînement.

III. 2.5.1. Méthodes de mesure

En fonction de l'emplacement du capteur sur la machine, la méthode de mesure est directe ou indirecte :

- ✓ dans un système à mesure directe, le capteur de position est fixé directement sur l'organe mobile à positionner. Parce qu'il évite les erreurs de mesure dues au manque de précision éventuel de la vis à billes et du mécanisme d'entraînement, ce type de montage est le plus satisfaisant du point de vue de la précision ;

- ✓ dans un système à mesure indirecte, le capteur de position est monté en bout de vis-mère ou sur le mécanisme d'entraînement. Ce type de montage fait intervenir un certain nombre d'imprécisions dues à la prise en compte des contraintes mécaniques qui affectent l'ensemble de la chaîne cinématique.

On distingue également la mesure absolue, lorsque les déplacements sont mesurés toujours à partir de la même origine (en général, un point fixe de la machine) et la mesure incrémentale, ou relative, lorsque le déplacement demandé s'effectue par rapport à la position précédemment atteinte. Cette solution nécessite de reprendre avec précision le zéro absolu à chaque mise sous tension de la CN. Une solution intermédiaire, dite semi-absolue, consiste à fournir un signal analogique qui se répète cycliquement à intervalles constants (entre 2 et 10 mm) sur toute la course de l'axe. La valeur réelle est obtenue en considérant la cote absolue et le nombre de pas déjà effectués.

III. 2.5.2 Types des capteurs

La nature du signal mesurant l'écart entre la consigne de position et la position instantanée de l'organe mobile dépend de la nature du capteur de mesure utilisé.

Celui-ci peut être :

- ✓ analogique, lorsque le déplacement demandé entraîne une variation magnétique, électrique ou autre, qui est transformée en signal de sortie (capteurs inductifs, résolveurs, règle Inductosyn) ;
- ✓ numérique, lorsque le déplacement d'une règle ou d'un disque présentant des zones alternativement sombres et claires devant un lecteur optique produit des impulsions lumineuses qui sont transformées en signal de sortie (capteurs photoélectriques, règles et disques optiques ou codés).

III. 2.6 La CN dans les unités de production automatisées

III. 2.6.1 Classification

Les équipements d'usinage d'un atelier de production peuvent être classés en diverses configurations :

- ✓ machines individuelles autonomes ;
- ✓ cellules composées de deux ou plusieurs machines intégrées pour former une unité d'usinage ;

- ✓ systèmes de fabrication automatisés incluant, outre les unités d'usinage, des installations prévues pour assurer des opérations connexes (lavage, mesure, peinture, etc.).

■ Machines autonomes (ou stand-alone)

Les machines automatisées prévues pour fonctionner en mode autonome peuvent être affectées à des fabrications en série ou de type flexible.

Utilisées pour la fabrication en série, elles sont conçues et réglées pour réaliser une seule séquence d'usinage. Ce sont généralement des machines- transfert ou des tours multibroches dont la configuration figée ne justifie pas toujours la présence d'une CN, sinon de systèmes spécialisés, simples et peu coûteux.

Lorsqu'elles doivent, en revanche, réaliser des opérations d'usinage multiples sur des pièces de tailles et de natures différentes, ces machines demandent des niveaux de flexibilité plus élevés. Elles sont alors équipées de CN dont les performances sont le plus possible adaptées aux familles de produits pour lesquelles la machine a été conçue.

■ Cellules d'usinage automatisées

Une cellule d'usinage automatisée est un ensemble intégré composé de deux ou plusieurs MO, identiques ou non, et de dispositifs de chargement et de déchargement automatiques de pièces.

III. 3. Programmation des MOCN

III. 3.1. Instructions programmées et leurs supports

La programmation est le travail de préparation qui consiste à transposer, sous forme de texte alphanumérique, la gamme d'usinage de la pièce en un ensemble ordonné d'instructions comprises et exécutées par la CN en vue de réaliser son usinage. Ce travail peut être effectué manuellement ou avec l'assistance d'un ordinateur utilisant un langage de programmation évolué. À titre indicatif, la figure 49 classe différentes méthodes de programmation en fonction des compétences du programmeur et de la complexité des machines à piloter.

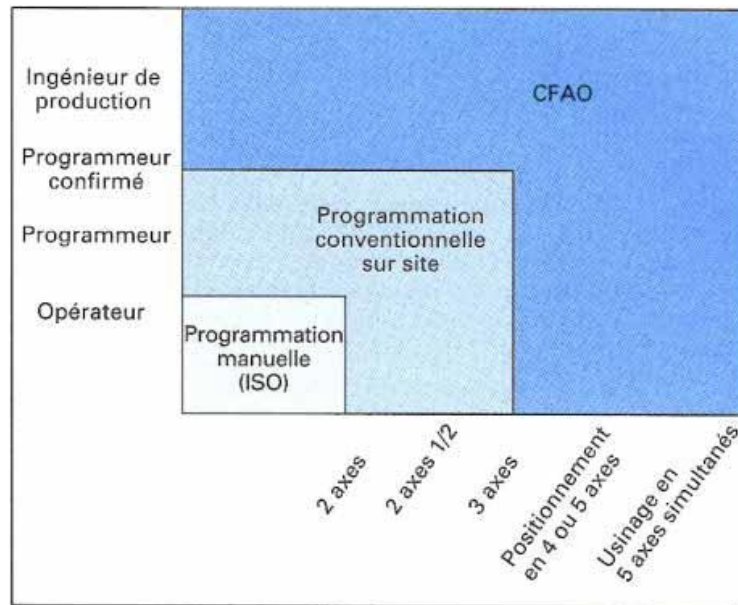


Figure 49. Méthodes comparées de programmation

III. 3.1.1 Nature des instructions programmées

Les instructions programmées doivent contenir toutes les données nécessaires à la commande et au séquençement des opérations à réaliser pour assurer l'usinage de la pièce sur la machine.

Elles regroupent :

- ✓ les données géométriques, qui indiquent la forme et les dimensions de la pièce à usiner et permettent à la CN de calculer les positions successives de l'outil par rapport à la pièce pendant les diverses phases de l'usinage. Les positions sont définies par rapport à une origine connue. Certaines instructions viennent compléter les données géométriques en indiquant la nature du traitement numérique qu'elles doivent subir : le mode d'interpolation, le choix du mode de cotation, absolue ou relative, le choix du cycle d'usinage, le choix de l'outil, etc... ;
- ✓ les données technologiques, qui précisent, compte tenu des caractéristiques et des performances de la machine (puissance des moteurs d'entraînement, performances de la broche et des organes mobiles), les conditions de coupe optimales dans lesquelles pourra s'effectuer l'usinage. Elles concernent principalement la vitesse de rotation de la broche, les vitesses d'avance et la commande de l'arrosage.

III. 3.1.2. Codification des instructions

Les instructions d'un programme sont écrites dans un langage codé appelé langage machine dont le format variable et les adresses répondent aux normes internationales : ISO 6983-1 (NF Z 68-035), NF Z 68-036 et NF Z 68-037.

Ce langage utilisé pour décrire les opérations d'usinage sur une MOCN comporte un certain nombre de lignes d'écriture appelées blocs d'information, chaque ligne correspondant à une étape particulière du processus d'usinage (**figure 50**). Chaque bloc, ou séquence d'usinage, contient plusieurs mots qui sont la combinaison de lettres d'identification appelées adresses et d'une série de chiffres accompagnés ou non d'un signe (+) ou (-).

La plupart des machines actuelles acceptent des blocs à format variable dans lesquels ne figurent que les seules instructions nécessaires à leur exécution. Celles déjà fournies et encore actives n'ont pas à être répétées. Chaque fabricant de CN spécifie dans son manuel de programmation la façon d'écrire les données numériques allouées aux différentes lettres-adresses (nombre de chiffres avant et après la virgule, mode de séparation des entiers et des décimales, etc.).

À titre d'exemple, les lettres-adresses usuelles retenues par NUM sont indiquées sur la **figure 50** :

- ✓ les mots numéro de bloc (adresse N suivie d'un nombre de 1 à 5 chiffres) figurent obligatoirement au début de chaque bloc. Un numéro de bloc précédé du signe/ permet de sauter le bloc correspondant si l'opérateur le désire ;
- ✓ les mots fonction préparatoire (adresse G suivie d'un nombre de 1 à 3 chiffres) définissent le déroulement de certaines fonctions de commande et préparent la CN à exécuter une action bien précise. Ce sont généralement des ordres de déplacement, de décalage, d'appels de cycles spécifiques d'usinage, etc. Les fonctions G peuvent être modales, c'est-à-dire auto-maintenues tant qu'elles ne sont pas révoquées par une fonction contradictoire, ou non modales lorsqu'elles ne sont actives que dans le bloc où elles sont programmées. Un bloc d'information peut contenir plusieurs fonctions préparatoires G si elles ne sont pas contradictoires ;
- ✓ les mots de dimensions ou d'ordre de déplacement, composés d'une adresse accompagnée de sa valeur formatée, sont les suivants :
 - X, Y, Z pour les mouvements principaux ;
 - U, V, W pour les mouvements secondaires ;

- I, J, K pour les paramètres d'interpolation ;
- A, B, C pour les coordonnées angulaires.
- ✓ les mots correspondant aux fonctions diverses sont appelés par les adresses :
- S pour la vitesse de rotation de la broche,
- F pour la vitesse d'avance demandée aux organes mobiles,
- T pour le numéro d'outil,
- D pour le numéro du correcteur d'outil,
- R pour la programmation d'un cercle par son rayon en interpolation circulaire.
- ✓ les mots fonctions auxiliaires (adresse M suivie d'un nombre de 1 à 3 chiffres) servent essentiellement à la programmation des fonctions de commutation de la machine. Les fonctions auxiliaires peuvent être modales ou non modales, ou encore des fonctions avant ou après selon qu'elles sont exécutées avant ou après le déplacement programmé dans le bloc.

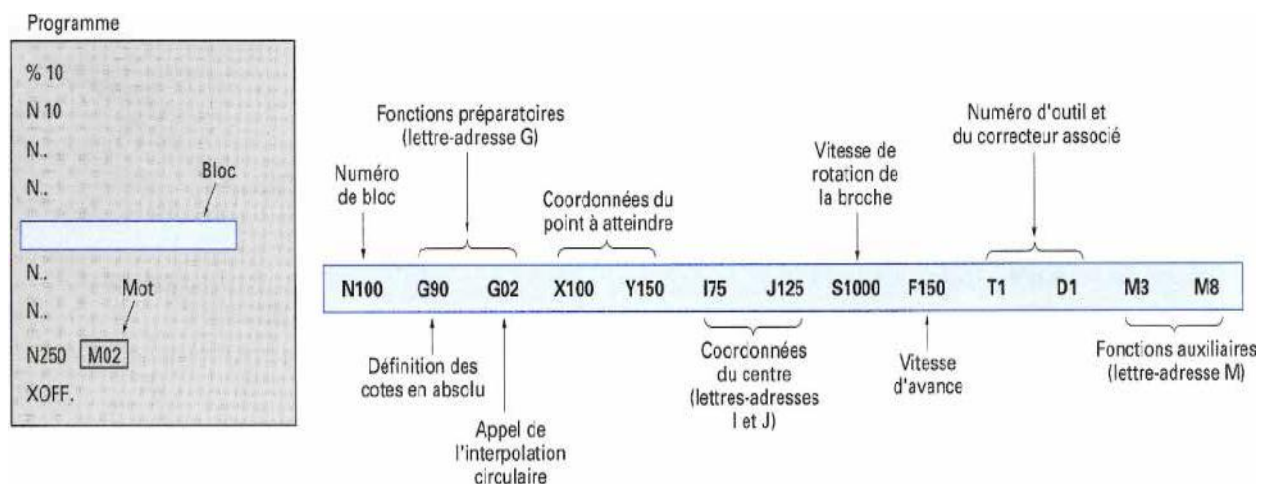


Figure 50. Structure d'un programme d'usinage avec l'organisation d'un bloc

III. 3.1.3. Supports d'information

Les informations codées du programme d'usinage doivent être transcrites, sous forme de données binaires, sur un support physique qui servira à leur introduction dans la CN et à leur archivage (figure 51).

La bande perforée représente le mode de changement des programmes le plus ancien. Elle est constituée d'un support en papier ou en matière plastique sur lequel les informations du programme sont codées en binaire. Un lecteur photoélectrique transmet alors ces informations à la CN en vue de leur mémorisation. Le manque de fiabilité des lecteurs et

la mauvaise tenue des bandes (y compris des meilleures) à l'usure et au déchirement ont longtemps été à l'origine de défaillances à répétition. Dès l'arrivée des CN à calculateur, on n'effectuait déjà plus qu'une seule lecture du ruban de manière à stocker ses informations dans la mémoire RAM de la CN. Celle-ci pouvant alors poursuivre l'usinage en toute autonomie.

Actuellement, la bande perforée tend à disparaître au profit d'autres procédés d'introduction de données comme les lecteurs magnétiques pour cassettes ou disquettes, plus souples, plus faciles à lire et dotés d'une plus grande densité d'enregistrement.

La cassette magnétique est sensiblement identique à celle utilisée sur un magnétophone audio du commerce. Elle est constituée d'une bande en matière plastique recouverte d'un oxyde magnétique. L'enregistrement des données s'opère en magnétisant des particules de métal sous une forme codée, ces particules générant des impulsions lorsque la bande défile sous la tête de lecture.

De plus en plus répandue, la disquette se présente sous la forme d'un disque flexible sur lequel peuvent être enregistrées des informations magnétiques sur une ou deux faces. Facilement transportable et de faible dimension (3,5 pouces pour la plupart), elle dispose d'une capacité de mémoire élevée équivalant à une longueur de ruban perforé de l'ordre de 500 à 3 000 m.

Bien entendu, les cassettes et les disquettes peuvent être également utilisées pour les opérations de déchargement et d'archivage des programmes d'usinage validés.

En plus des supports physiques que sont la bande perforée, la cassette magnétique ou la disquette, l'information peut aussi être introduite manuellement au pupitre de la MOCN. L'opérateur utilise alors le clavier du pupitre pour charger dans la CN, caractère par caractère, les données du programme d'usinage.

L'information peut enfin provenir d'un notebook, d'un micro-ordinateur de type PC ou même d'un calculateur central par une liaison directe de type DNC.

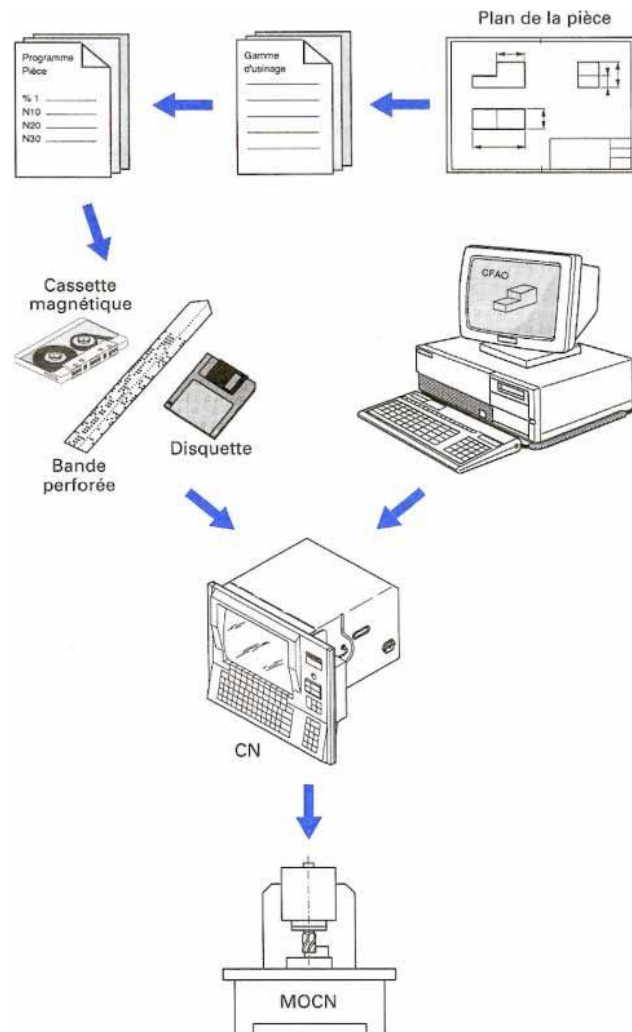


Figure 51. Elaboration des programmes d'usinage

III. 3.1.4. Nature des déplacements

Les déplacements que l'on est appelé à rencontrer sur une MOCN peuvent prendre des formes diverses. Les plus courants sont :

- ✓ le positionnement rapide (G00), qui impose aux organes mobiles d'atteindre le point programmé en effectuant une trajectoire linéaire, à la vitesse maximale permise par la machine. Des vitesses de plusieurs dizaines de mètres par minute sont des valeurs courantes sur la plupart des MOCN modernes ;
- ✓ l'interpolation linéaire (G01), qui permet d'atteindre le point programmé en parcourant une trajectoire linéaire à la vitesse d'avance spécifiée par le programmeur sous l'adresse F (figure 52a) ;
- ✓ l'interpolation circulaire (G02, G03 ou G23), qui a pour fonction de décrire des cercles complets ou des arcs de cercle à partir de certains éléments géométriques

caractéristiques qui les définissent, comme les coordonnées du centre et celles des points extrêmes par exemple (figure 52b).

Parmi les autres modes de déplacement, on peut citer :

- ✓ l'interpolation hélicoïdale, qui combine un mouvement circulaire dans un plan avec un mouvement de translation perpendiculaire à ce plan (**figure 52c**) ;
- ✓ l'interpolation parabolique dans le plan, où chaque segment parabolique est géométriquement défini par un groupe de 3 points, le dernier point d'un segment devant être le premier du segment suivant (**figure 52 d**) ;
- ✓ l'interpolation polynomiale, qui permet la définition de trajectoires à partir de polynômes et qui est utilisée pour le lissage des courbes de type spline.

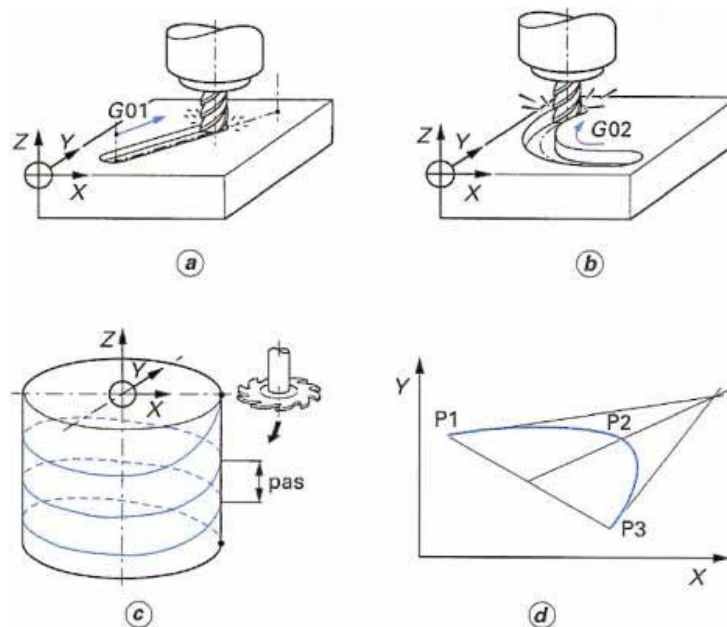


Figure 52. Exemples d'interpolations linéaire, circulaire, hélicoïdale et parabolique

III. 3.2. Systèmes de référence

Les systèmes d'axes d'une MOCN répondent à des normes NF Z 68-020 et ISO 841 qui précisent leur désignation et leur sens de déplacement.

Conformément à ces normes, les axes définissant les mouvements de translation principaux sont désignés par X, Y et Z. Afin de ne pas confondre X, Y et Z, de même que leur sens (+) ou (-), il est simple d'utiliser la règle des trois doigts de la main droite, l'axe du majeur étant parallèle à celui de la broche de travail.

Les axes additionnels définissant les mouvements secondaires parallèles aux axes principaux sont désignés par U, V, W et les axes rotatifs par A, B et C.

L'orientation positive d'un axe rotatif correspond à la rotation d'une vis avec pas à droite avançant dans le sens positif de l'axe associé.

Un exemple de définition des axes sur une typologie de machine classique est représenté à la **figure 53**.

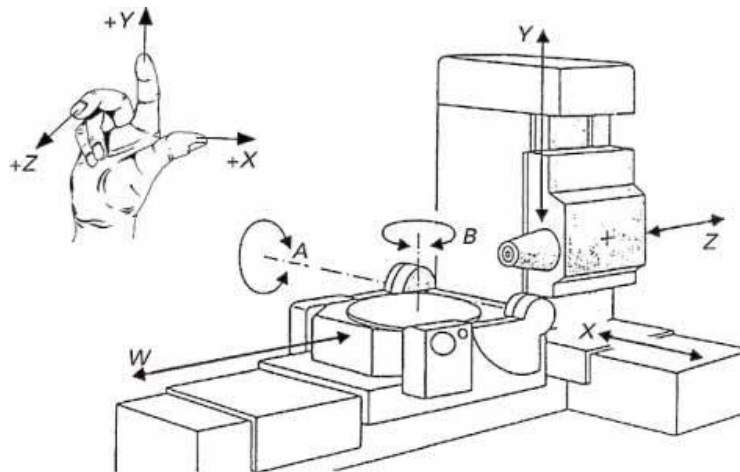


Figure 53. Axes de déplacement d'un centre d'usinage à broche horizontale

III. 3.3. Programmation manuelle

La programmation manuelle consiste à écrire, ligne par ligne, les étapes successives nécessaires à l'élaboration d'une pièce donnée.

Après décomposition du cycle de travail, le programmeur calcule les coordonnées des points intermédiaires, définit tous les déplacements pour chaque passe d'usinage et réalise lui-même la codification des instructions en respectant le format spécifique prévu pour la CN et la machine.

Ce mode de programmation requiert une profonde connaissance du langage ISO, des mathématiques (en particulier la géométrie et la trigonométrie) et des techniques d'usinage (limitations machine, outils, matières, etc.).

Pour un opérateur qualifié, la programmation manuelle peut être un moyen efficace d'effectuer des opérations simples. Mais lorsque les pièces deviennent compliquées et qu'elles nécessitent un grand nombre de mouvements, cette méthode devient vite fastidieuse avec des risques d'erreur importants.

De plus, certaines surfaces complexes sont extrêmement difficiles, voire impossibles à programmer en manuel.

C'est pourquoi les CN modernes disposent de logiciels intégrés d'aide à la programmation et de cycles fixes d'usinage.

III. 3.3.1. Aides à la programmation manuelle

■ Programmation géométrique de profil (PGP)

Le logiciel PGP permet de programmer des profils à l'aide d'éléments géométriques simples (segments de droite et arcs de cercle), en laissant le soin à la CN de calculer les points de raccordement entre ces éléments. Dans ce but, le langage machine est enrichi d'informations spécifiques qui précisent les positions relatives entre les éléments consécutifs (ES pour élément sécant, ET pour élément tangent, EA pour l'angle par rapport à un axe de référence). Des signes (+) ou (-) sont utilisés pour lever les indéterminations possibles (figure 54).

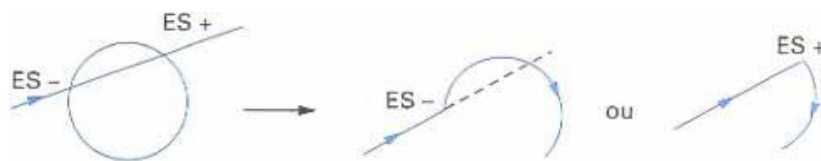


Figure 54. Définition d'éléments sécants en PGP : intersection d'un cercle par une droite

■ Module de définition graphique des contours (PROFIL)

Le logiciel PROFIL s'utilise exclusivement dans la phase de définition des contours géométriques de tournage et de fraisage en 2D. Il guide l'opérateur en permanence par une visualisation instantanée et dynamique des profils en cours de création et lui propose une aide à la décision dans le cas de solutions multiples. L'utilisateur peut ainsi se concentrer uniquement sur le dessin de sa pièce sans se préoccuper ni de la codification ISO (codes G et M), ni de la méthode à mettre en œuvre pour réaliser son usinage (figure 55).

■ Programmation conversationnelle

Le but de la programmation conversationnelle est de permettre à un opérateur de créer un programme pièce directement au pied de sa machine, sans avoir recours au langage machine codé en ISO.

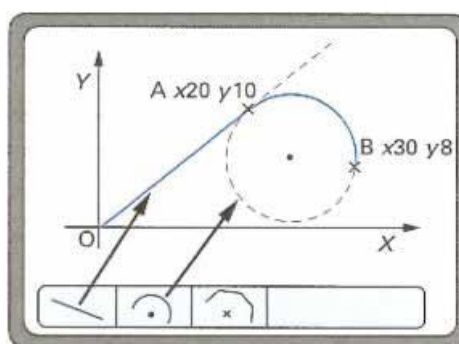


Figure 55. Module de définition géométrique des contours PROFIL

Dans ce mode, l'élaboration de la géométrie de la pièce et la génération des trajectoires d'outils font essentiellement appel à des fonctions graphiques et à des menus déroulants.

Dans un contexte de programmation conversationnelle, l'opérateur est assisté dans sa démarche par une succession de pages d'écran dites interactives, en ce sens que chaque entrée de données effectuée au moyen de touches logicielles sur le clavier du pupitre implique une réponse de la CN et vice versa.

Ces pages d'écran peuvent être :

- ✓ des pages informatives apportant une explication, une précision ou une mise en garde ;
- ✓ des pages de menus proposant un ensemble d'options parmi lesquelles l'opérateur devra faire un choix ;
- ✓ des pages d'introduction de paramètres délimitées par des zones dans lesquelles l'opérateur fournit toutes les valeurs et les indications nécessaires pour effectuer le travail demandé ;
- ✓ des pages de contrôle qui permettent à l'opérateur de visualiser et de simuler le résultat de sa programmation.

Toutes ces pages font largement appel aux possibilités graphiques étendues des CN pour faire apparaître des zones de saisie, des croquis ou des images animées d'outils en cours de travail.

À titre d'exemple, le logiciel de programmation interactive PRO-CAM de NUM apporte une assistance graphique permanente aux différentes étapes de la programmation, de la mise au point et de l'usinage (figure 56).

Actuellement, la quasi-totalité des CN sont conçues de manière à ce que la programmation conversationnelle s'effectue en temps masqué. L'opérateur a donc toute liberté de créer et de simuler un nouveau programme sur l'écran de sa CN, sans interrompre le déroulement de l'usinage en cours.

Il convient enfin de souligner que la CN convertit en langage ISO toutes les informations qui ont été programmées en mode conversationnel. Le programme correspondant, même s'il est transparent pour l'utilisateur, est donc récupérable à tout instant en vue d'une modification rapide ou du stockage sur une mémoire périphérique.

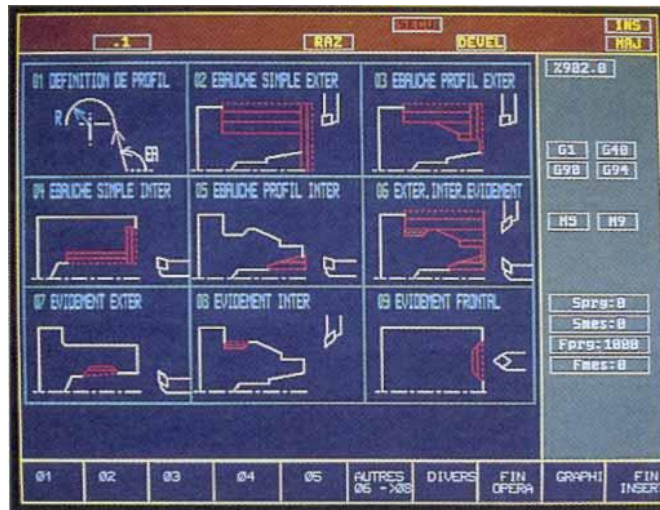


Figure 56. Programmation conversationnelle PROCAM page d'appel des sous-programmes

III. 3.3.2. Cycles d'usinage

On appelle cycles d'usinage des programmes fixes stockés dans la mémoire de la CN en vue de faciliter l'exécution d'opérations d'usinage répétitives.

À partir d'un nombre limité d'instructions fournies par le programmeur, la CN élabore un cycle complet d'usinage et le décompose suivant ses phases successives.

Généralement appelés par une fonction préparatoire de G81 à G89, les cycles fixes d'usinage sont propres à chaque type de machine :

- ✓ **cycles d'ébauche**, de dressage, de perçage, d'usinage de gorges, d'usinage avec outil tournant, de filetage et de palpé sur les machines de tournage ;
- ✓ **cycles de perçage** (exemple donné en figure 57), de taraudage, d'alésage, de surfacage, de rainurage, de contournage, d'usinage de poches, de filetage au grain et de palpé sur les machines de fraisage ;
- ✓ cycles de plongée, de balayage, d'épaulement, de profilage et de diamantage des meules sur les machines de rectification.

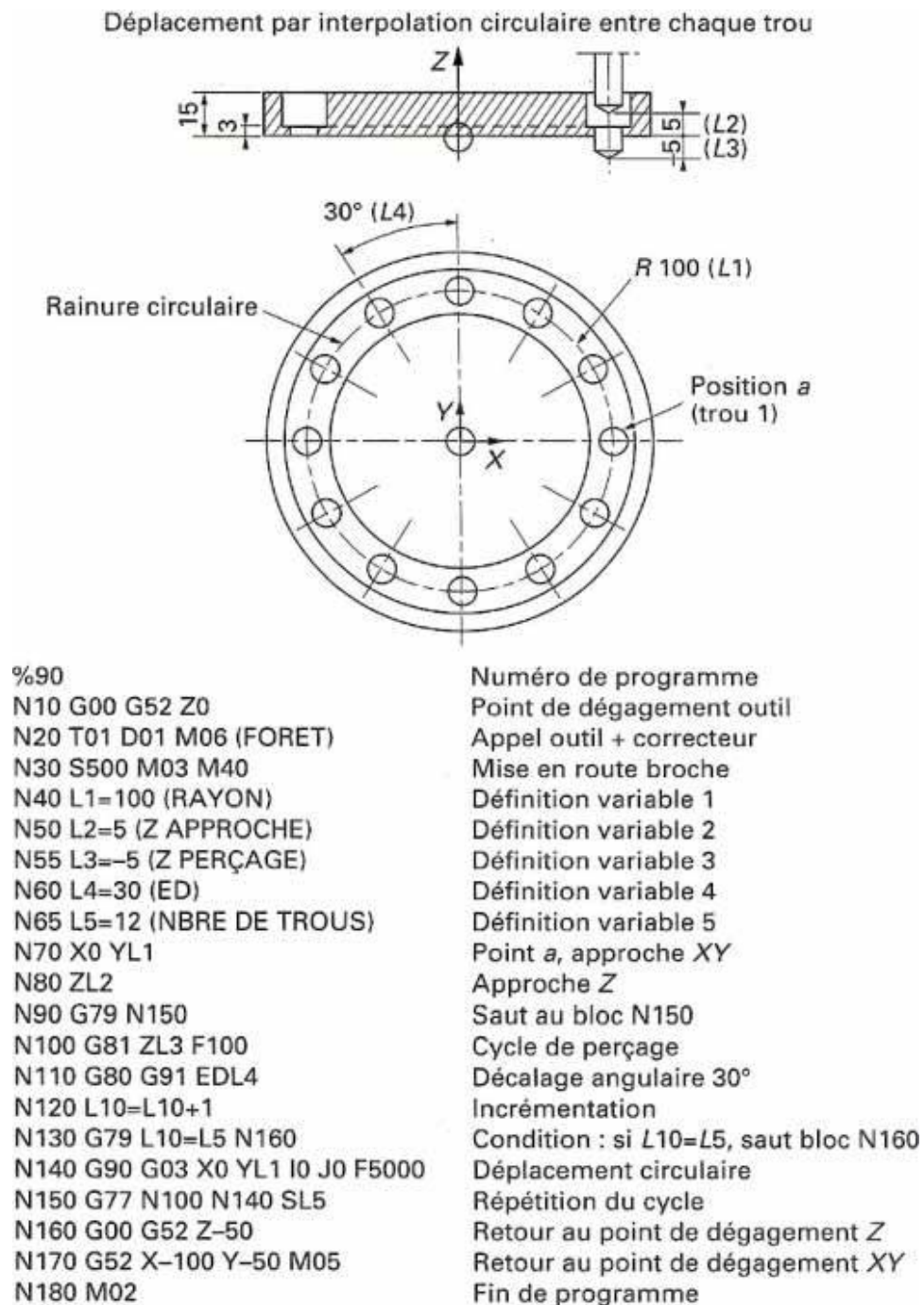


Figure 57. Exemple de programmation paramétrée : perçage en cycle de 12 trous décalés angulairement dans le plan **XY** (G17)

III. 3.4. Programmation automatique (ou assistée)

Lorsque la définition de l'usinage devient trop complexe ou lorsque le volume de programmation est tel qu'il exclut la programmation manuelle, on fait appel à un langage de programmation spécialisé généré à partir d'un système informatique extérieur à la machine. Ce langage comporte généralement deux phases de traitement des programmes.

- ✓ La première phase, appelée programme processeur, permet de calculer les coordonnées de tous les points définissant la forme de la pièce puis, en tenant compte de certaines données technologiques d'usinage (vitesse, avance, profondeur de passe en fonction des matières usinées et des outils utilisés, état de surface exigé, etc.), de décrire les diverses trajectoires suivies par l'outil pour parvenir à la pièce finie. Le traitement par ordinateur de cette phase conduit à un fichier image des positions successives des outils ou CLFILE (Cutter Location File), indépendant de la machine et de la CN.
- ✓ Une seconde phase, dite programme post-processeur, personnalise ces données en langage ISO en tenant compte des caractéristiques de la machine (courses, limitations) et de celles de la CN utilisée (format, fonctions particulières, etc.). Ce post-processeur permet de compenser les différences d'écriture qui existent entre des matériels de provenance diverse, un programme écrit pour une machine donnée étant rarement opérationnel sur une autre machine sans quelques aménagements préalables.

Le langage de programmation assistée le plus universel est le langage APT (Automatically Programmed Tools) du Massachusetts Institute of Technology. Très souple, ce langage autorise l'écriture de programmes d'usinage de géométries tridimensionnelles complexes, y compris sur les machines conçues pour travailler en cinq axes simultanés.

L'utilisation d'APT réclame cependant des systèmes informatiques très puissants, ce qui explique l'apparition de nombreux langages dérivés plus simples (IFAPT, MINIAPT, EXAPT, etc.) exploitables directement sur des micro-ordinateurs.

Les systèmes de FAO (fabrication assistée par ordinateur) suivent un processus similaire mais ils assurent, en plus, la reprise automatique des données de définition de profils de contournage ou de surfaces évolutives générés par des logiciels de CAO. La communication entre les différents logiciels applicatifs fait l'objet de standards d'échange.

III. 4. Programmation sur tour CNC

III. 4.1. Principes généraux

III. 4.1.1. Fonctionnement :

Une Machine Outil à Commande Numérique par Calculateur (MOCNC ou plus simplement CNC) est capable de commander ses propres mouvements suivant deux ou trois axes (voire davantage) et de mesurer avec précision les déplacements de ses organes mobiles: porte-pièce et/ou porte-outil.

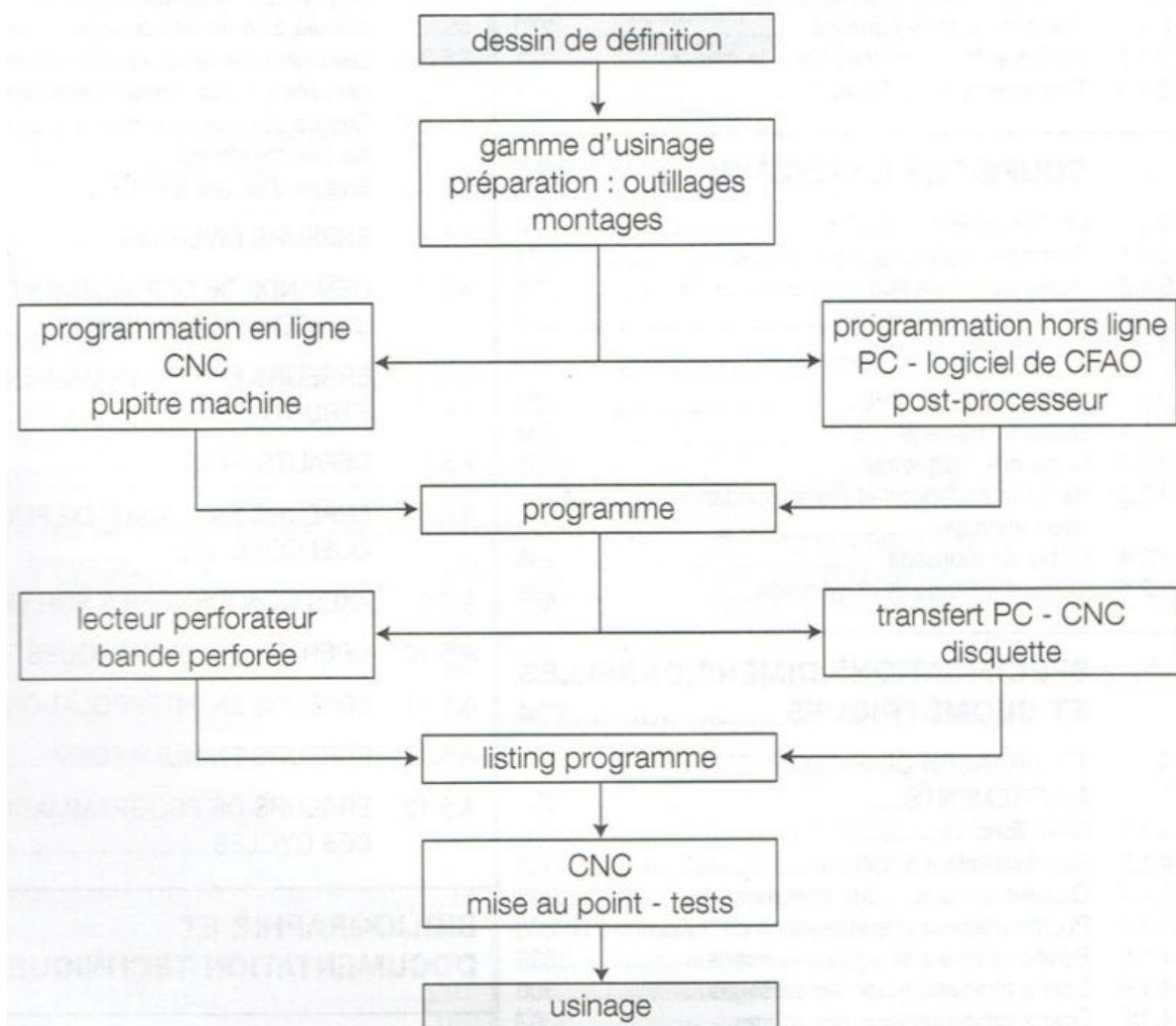
Ces automatismes sont gérés par un système électronique (directeur de commande numérique) qui garde en mémoire la description des opérations à effectuer : le programme.

III. 4.1.2 Programmation

Elle consiste en une suite d'instructions que le calculateur interprète pour commander un usinage sur la machine.

Des logiciels d'aide à la programmation (logiciels de Conception et de Fabrication Assistée par Ordinateur : CFAO) permettent d'éviter de fastidieux calculs de points. A partir de la pièce à usiner et compte tenu du directeur de commande, un post-processeur calcule puis traduit en ordres exécutables les déplacements à réaliser.

III. 4.1.3. Elaboration d'un programme



III. 4.2. Référentiels de programmation- systèmes d'axes

III. 4.2.1. Référentiel de programmation en tournage

Axe Z : axe de la broche ; il correspond au déplacement longitudinal de la tourelle porte-outils.

Axe X : perpendiculaire à l'axe Z ; il correspond au déplacement radial de la tourelle porte-outils.

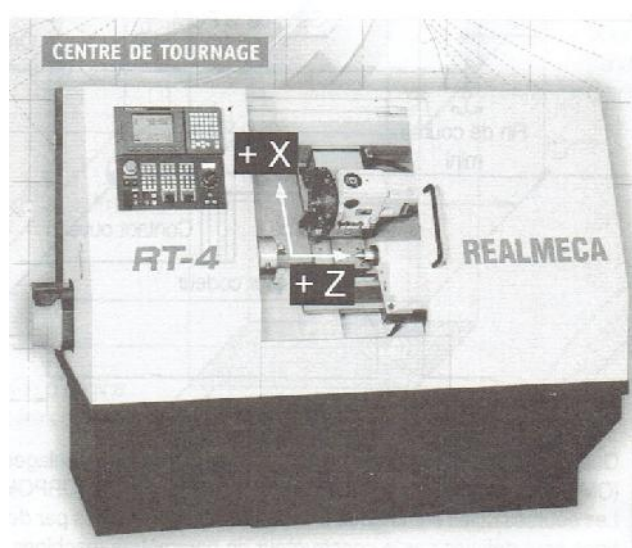


Figure 58. Centre de tournage

III. 4.3. Origines

III. 4.3.1. Définition

- **Origine mesure OM**  :

C'est l'origine physique des axes de la machine représentée par une butée détectée par un capteur électrique lors de l'initialisation ou prise d'origine machine (POM).

- **Origine machine Om**  :

C'est la référence des déplacements de la machine. C'est un point défini (sur chaque axe) par le constructeur qui permet de définir l'origine absolue de la machine. OM et Om peuvent être confondues.

- **Prises d'origine machine (POM) :**

Avant toute mise en service, une machine-outil à commande numérique doit être initialisée. Cette opération consiste à déplacer les chariots vers un point défini par des butées électriques, c'est l'origine machine (Om).

Ce point est le point de référence de la machine. Il est atteint en réalisant les prises d'origine machine (POM).

Le plus souvent, l'origine machine est confondue avec l'origine mesure (OM). Dans le cas contraire, l'origine mesure est définie par un paramètre machine Om/OM spécifique. Lors de l'opération de prises d'origines, le calculateur connaît la valeur de ce paramètre et peut positionner le «zéro mesure». L'origine mesure est un point défini sur chaque axe. C'est l'origine absolue de la mesure.

Sur chacun des axes, l'origine machine (Om) est acquise lorsque :

- la butée d'origine a été actionnée dans le sens de déplacement prévu (sens de la POM) ;
- le codeur qui mesure le déplacement de l'axe envoie son « top zéro ».

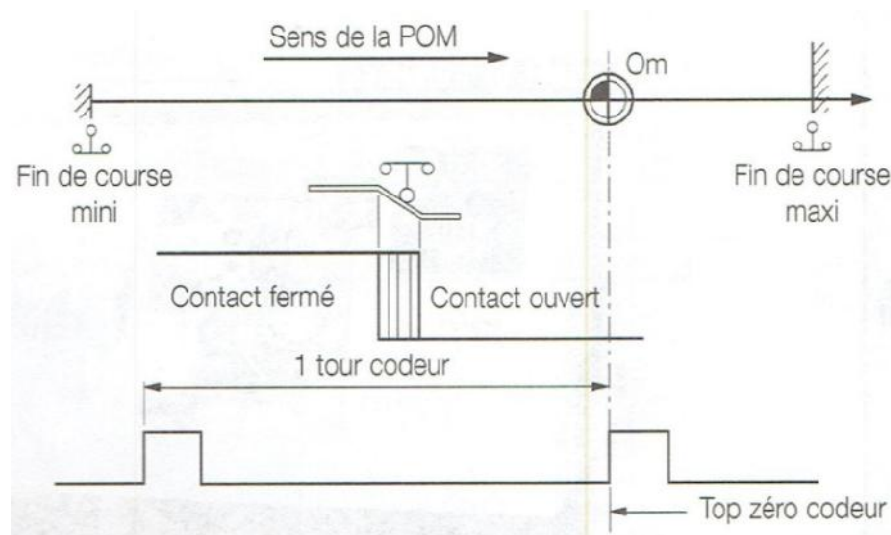
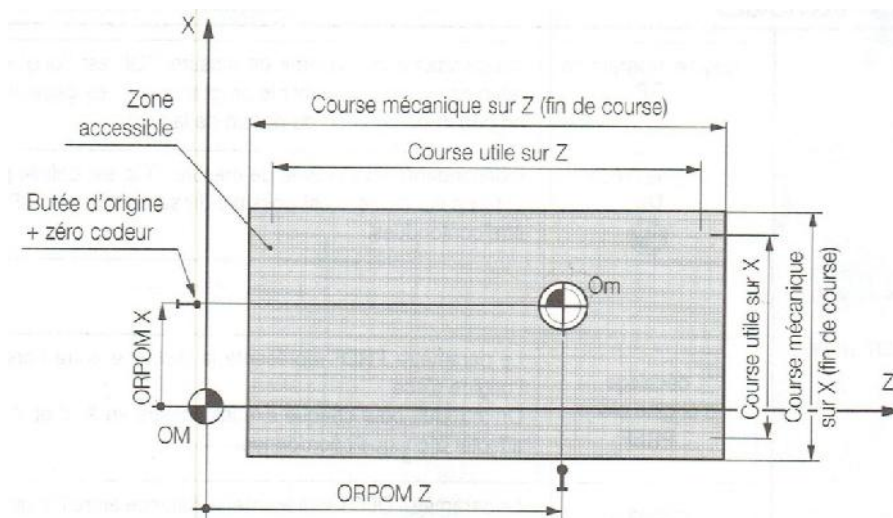


Figure 59. Origine machine

Quand la POM est réalisée, le système applique les décalages pour connaître l'origine mesure (OM), ceux-ci définissent le décalage d'origine mesure (ORPOM).

Les courses utiles sur chaque axe (X, Y et Z) sont limitées par des butées logicielles dont les positions sont définies par le constructeur en paramètres machines.

✓ **Tournage (axes XZ)****Figure 60.** Axe en tournage (XZ)**III. 4.4. Décalages****III. 4.4.1. Définitions :**

- **Origine programme OP**  :

Indépendante du système de mesure, l'OP est l'origine du trièdre de référence qui sert à établir le programme. C'est généralement un point de départ de cotation du dessin de la pièce.

- **Origine pièce Op**  :

Indépendante du système de mesure, l'Op est définie par un point de la pièce sur lequel il est possible de se positionner. OP et Op peuvent être confondues.

- **Décalage l'origine pièce PREF :**

Le paramètre PREF représente la distance entre l'origine mesure et l'origine pièce. On introduit pour chaque axe les valeurs en X, Y et Z que l'on désire affecter à chaque coordonnée.

- **Décalage d'origine programme DEC1 :**

Le paramètre DEC1 représente la distance entre l'origine pièce et l'origine programme. On introduit pour chaque axe les valeurs en X, Y et Z que l'on désire affecter à chaque coordonnée.

III. 4.4.2. Décalage sur l'axe Z et X

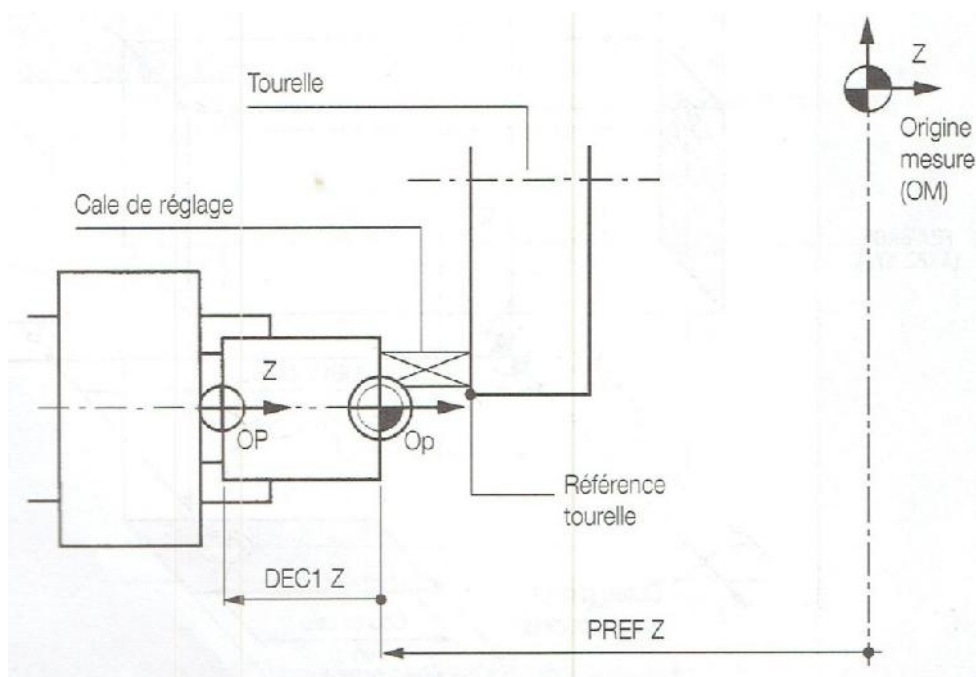


Figure 61. Décalage sur l'axe Z

III. 4.4.3. Décalage sur l'axe X

- Avec DEC 1

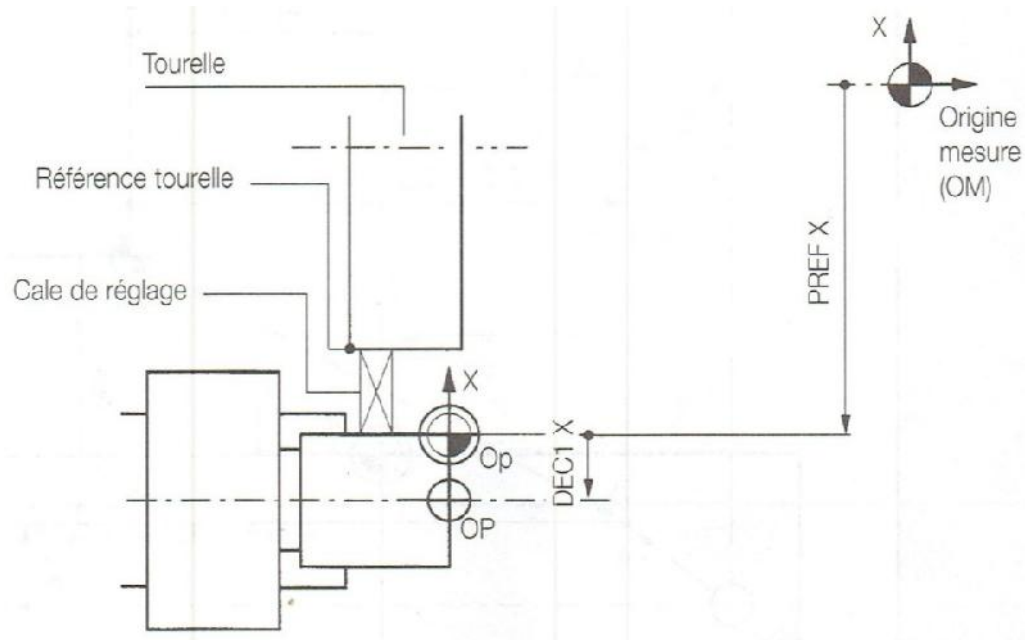


Figure 62. Décalage sur l'axe X avec DEC 1

- Sans DEC 1

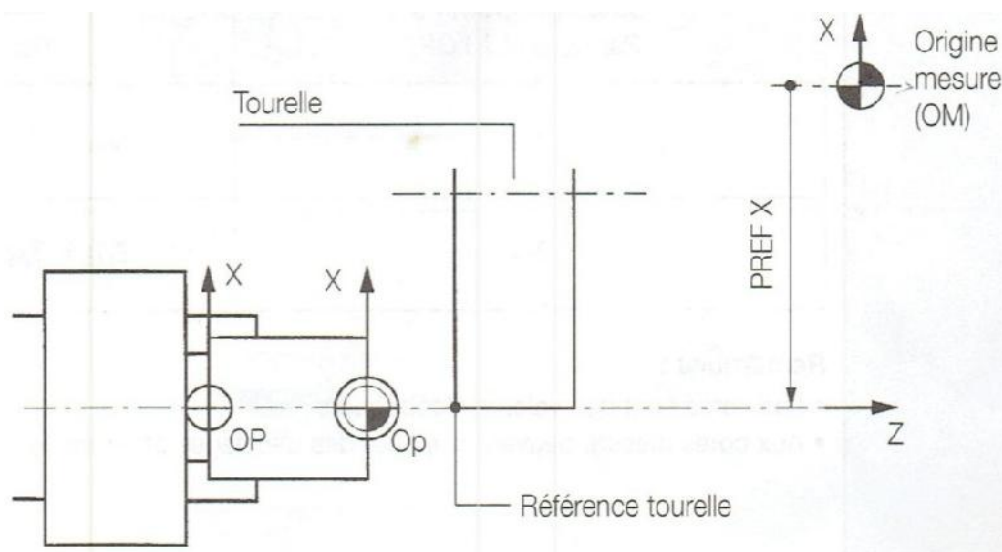


Figure 63. Décalage sur l'axe X sans DEC 1

La position du point A par rapport à l'origine programme (OP) est transformée par le Directeur de Commande Numérique de la machine en coordonnées par rapport à l'origine mesure (OM).

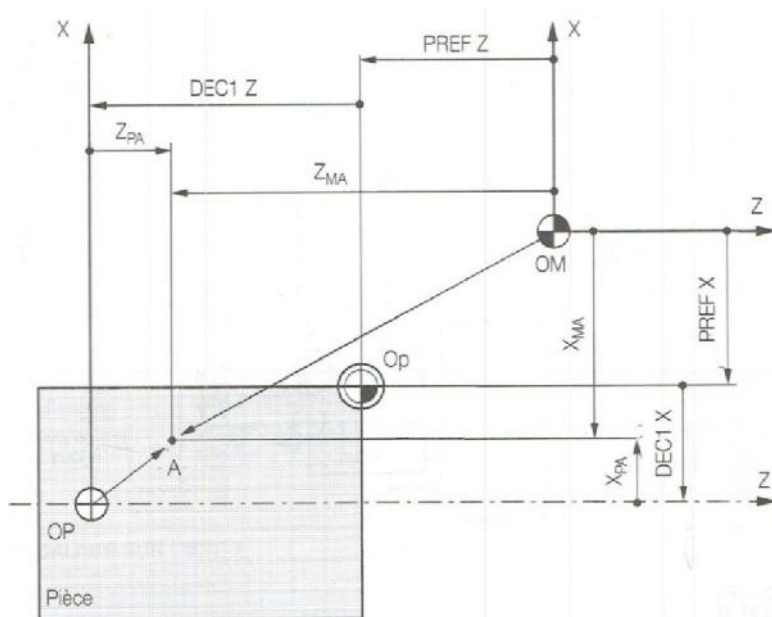


Figure 64. Cotes programme et cotes mesure

Cote programme Par rapport à l'OP	Cotes mesure Par rapport à l'OM
XPA	$XMA = XPA + PREF X + DEC 1 X$
ZPA	$ZMA = ZPA + PREF Z + DEC 1 Z$

 Remarques :

- * Les cotes sont des valeurs algébriques.
- * Aux cotes mesure peuvent s'ajouter des décalages programme.
- * Le paramètre PREF est déterminé lors de la réception de la machine et sa valeur est enregistrée par le directeur de commande. En général, c'est une donnée machine stabilisée (rarement modifiée).

III. 5. Ecriture des programmes**III. 5.1. Généralité:**

Le langage de programmation permet de constituer, sous forme de texte (programme), les informations d'entrées dans la partie commande de la commande numérique.

Le texte programme est écrit à l'aide de phrases blocs constituées de mot (mots), eux-mêmes constitués de caractères alpha -numériques qui sont :

- ✓ les lettres majuscules de l'alphabet de A à Z, soient 26 adresses ;
- ✓ les chiffres de 0 à 9 ;
- ✓ les signes de ponctuation [+, %, (), /,... .]

L'ensemble lettres et chiffres juxtaposés forme un mot.

Exemple : X + 35750 représente un mot de 7 caractères.

III. 5.2. Structure générale du langage**III. 5.2.1. Normes**

Un programme pièce de machine à commande numérique est une liste d'instructions et données transmises au directeur de commande numérique qui pilote le système.

Un programme est composé de blocs et de mots qui sont soumis à des règles de syntaxe ou format.

La programmation est dite « à format variable et adresses » suivant les codes normalisés ISO et EIA.

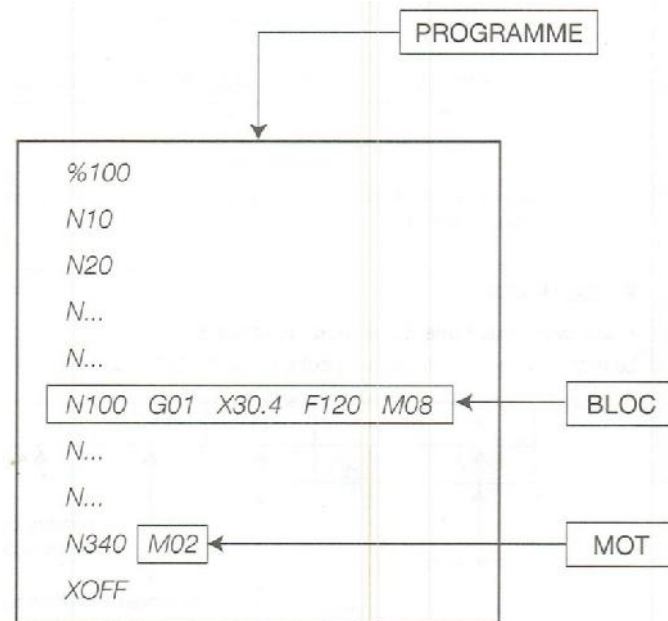


Figure 65. Ecriture des programmes

- Correspondance normes internationales (ISO) - normes françaises (NF)

Normes internationales (ISO)	Normes Françaises (NF)
ISO 6983-1	NF Z 68-036
ISO 6983-2	NF Z 68-036
ISO 6983-3	NF Z 68-037

 Remarque :

Les programmes développés dans ce mémoire sont exclusivement en code ISO
Langage utilisé en programmation

Adresse : lettre débutant un mot d'un langage machine, qui précise la fonction générale
commander : G, X, Y, Z, F, S, T, M.

III. 5.2.2. Formats

- **Format des mots**

Un mot définit une instruction ou une donnée à transmettre au système de commande. Il existe deux types de mots :

- * mots définissant des dimensions;
- * mots définissant des fonctions.

Le format d'un mot définit ses caractéristiques. Le nombre de caractères d'un mot doit être inférieur à 118.

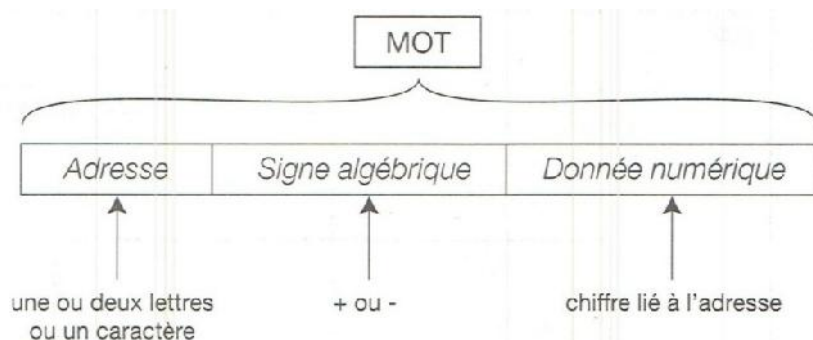


Figure 66. Format des mots

Exemples :

- Mot définissant une dimension: adresse X

Le mot de valeur $X = 0,75 \text{ mm}$ peut s'écrire $X + 0.750$ ou $X. 75$

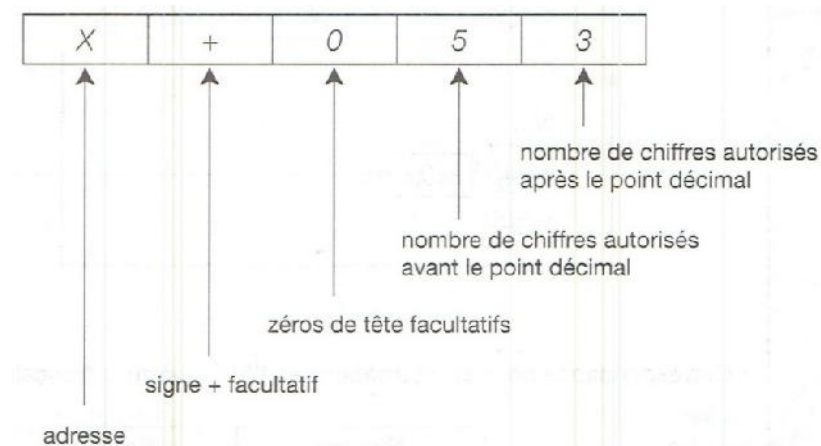


Figure 67. Mot définissant une dimension

- Mot définissant une fonction : adresse G

Le mot G02 peut s'écrire G2

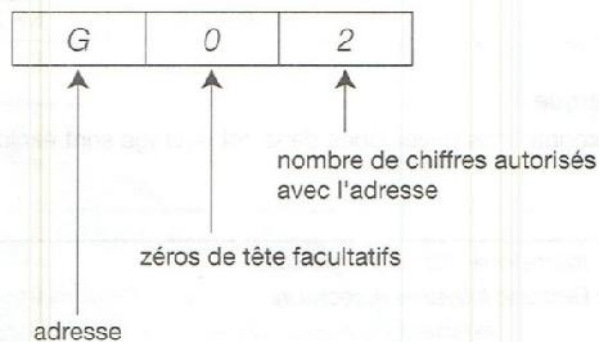


Figure 68. Mot définissant une fonction

- **Format des blocs**

Un bloc ou séquence définit une ligne d'instructions composée de mots codés à transmettre au système de commande.

Le format d'un bloc définit la syntaxe des mots de dimension et/ou de fonction composant chaque bloc de programmation.

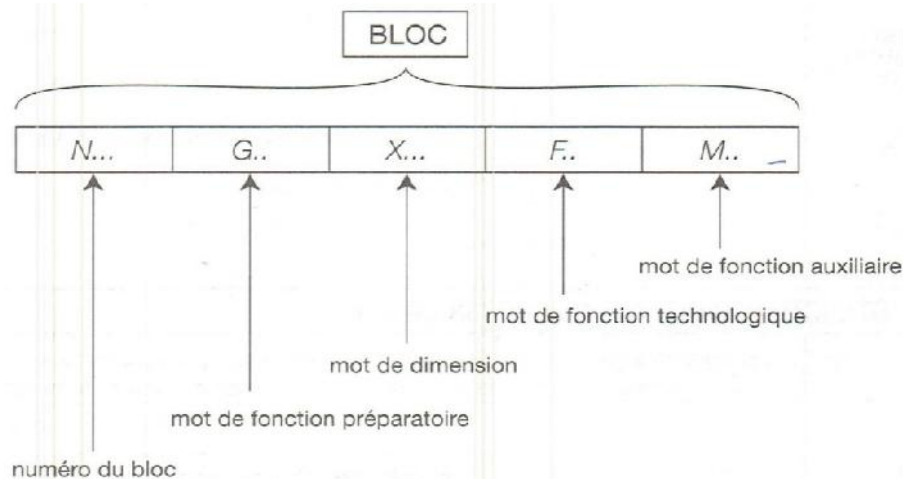


Figure 69. Format des blocs

✂ **Exemples :**

🏠 Bloc définissant un changement d'outil avec appel de son correcteur

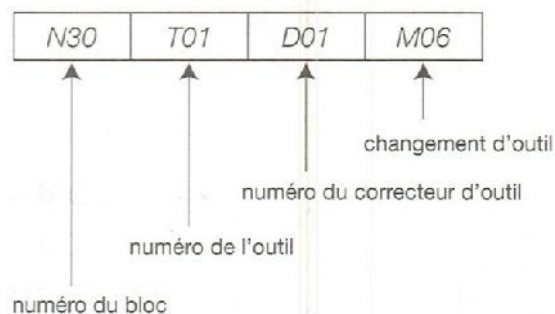


Figure 70. Bloc définissant un changement d'outil

🏠 Bloc définissant la mise en rotation de la broche

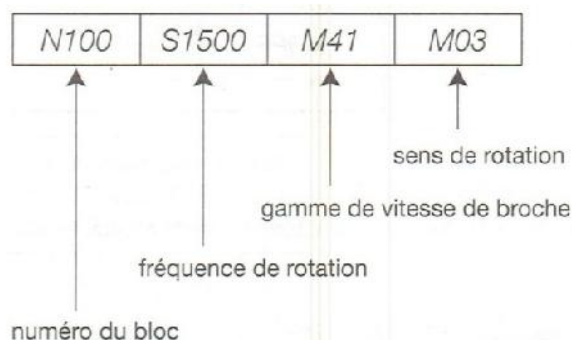


Figure 71. Bloc définissant la mise en rotation de la broche

■ Bloc définissant une trajectoire selon l'axe Z

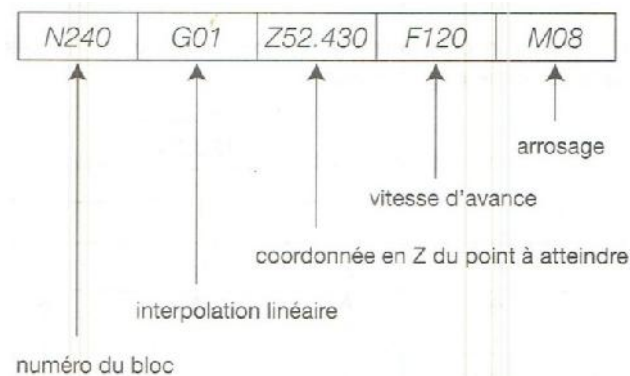


Figure 72. Bloc définissant une trajectoire selon l'axe Z

III. 5.3. Structure générale des programmes

III. 5.3.1. Caractéristiques générales

Le programme pièce doit obligatoirement commencer par le caractère % qui permet au système de reconnaître un programme en code ISO. Le programme doit se terminer par le caractère XOFF

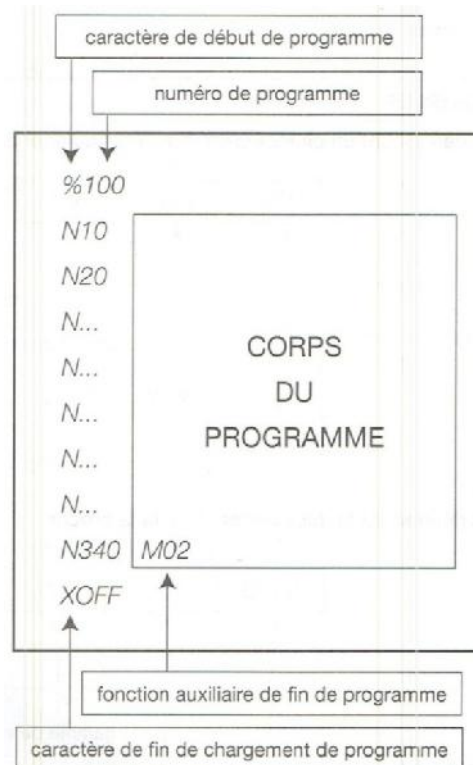


Figure 73. Structure générale des programmes

La numérotation des blocs n'intervient pas dans l'ordre du déroulement. Le directeur de commande exécute le programme ligne à ligne. Cependant, il convient de numéroter les blocs de 10 en 10 pour une meilleure lisibilité.

III. 5.3.2. Numérotation des programmes

- Le caractère % est suivi d'un numéro de programme et éventuellement d'un commentaire entre parenthèses : %452 (PIECE5 PROG A)
- Le numéro de programme peut être indicé: %452.6 (PIECE5 SERIE 6)

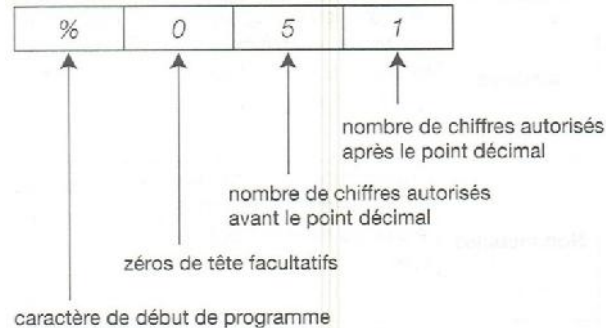


Figure 74. Numérotation des programmes

Remarque :

Les numéros de programmes situés au-delà de %9000 ne sont pas utilisables sur NUM.

Codes utilisables

III. 5.3.3. Code utilisables

- **Caractères reconnus**

Signification	ISO	EIA
10 chiffres	de 0 à 9	de 0 à 9
Lettres de l'alphabet (sauf O en ISO)	A à Z	A à Z
Début de programme	%	EOR
Début de commentaires	(	,
Fin de commentaires	)	%
Signe +	+	+
Signe -	-	-
Séparateur décimal	.	.
Supérieur	>	
Inférieur	<	
Produit	*	
Égalité	=	
Division	/	
A commercial (arobas)	@	
Fin de bloc	LF	CR
Saut de bloc (en début de ligne)	/	/
Subdivision de programme	:	lettre O
Fin de programme	X OFF	BS
Retour chariot	CR	
Espace	SP	SP

Tableau 1. Caractères reconnus

 Remarques :

Seuls les caractères du tableau ci-dessus sont reconnus par le système. Tous les autres caractères du code ASCII peuvent générer des erreurs à l'exécution d'un programme.

Les équivalents des caractères >, <, *, =, et à n'étant pas définis en code EIA, la programmation

Paramétrée et l'introduction des jauges d'outils se trouvent interdites dans ce code.

Les programmes développés dans cet ouvrage sont établis suivant le code ISO.

III. 5.4. Composition maximum d'un bloc :**III. 5.4.1. Adresses et mots utilisés :**

En programmation manuelle La définition des lettres-adresses et des mots est contenue dans la norme NF Z 680031.

III. 5.4.1. Lettres-adresses:

N désigne un numéro de bloc,

G désigne une fonction préparatoire,

X désigne un paramètre et un mouvement suivant l'axe X,

Y désigne un paramètre et un mouvement suivant l'axe Y,

Z désigne un paramètre et un mouvement suivant l'axe Z.

I désigne la coordonnée du centre d'un cercle suivant X,

J désigne la coordonnée du centre d'un cercle suivant Y,

K désigne la coordonnée du centre d'un cercle suivant Z,

F désigne une vitesse d'avance en mm/min ou en mm/tour,

S désigne une vitesse de rotation ou de coupe en tr/min ou en m/min,

T désigne un outil,

M désigne une fonction auxiliaire,

P désigne une correction discontinue du rayon d'outil suivant X,

Q désigne une correction discontinue du rayon d'outil suivant Y,

R désigne une correction discontinue du rayon d'outil suivant Z,

✓ **Format général des langages en CN et CNC (Tableau 2)**

Numéro de bloc	Fonctions préparatoires	Coordonnée axe X	Coordonnée axe Y	Coordonnée axe Z	Coordonnée circulaire liée à X	Coordonnée circulaire liée à Y	Coordonnée circulaire liée à Z	Vitesse d'avance	Vitesse de broche	Outil-identification	Fonction auxiliaire	Coordonnées angulaires	Valeur d'un déplacement secondaire	Correction d'outil sur X	Correction d'outil sur Y	Correction d'outil sur Z	Valeur d'une temporisation	Affectations
N	G	X	Y	Z	I	J	K	F	S	T	M	A B C	U V W	P	Q	R	H ou F	Fraiseuse
N	G	X	Y	Z	I	J	K	F	S	T	M			P		R	H ou F	Tour

Tableau 2.Format général des langages en CN et CNC**III. 5.4.2 Les Fonctions :**

Tous les mots d'un langage machine autres que ceux définissant les cotes, est nécessaires pour assurer le fonctionnement d'une machine-outil.

G – Fonctions préparatoires

F – Fonctions vitesse d'avance

S – Fonctions vitesse de broche

T – Fonctions outil

M – Fonctions auxiliaires (mouvement, sélection du sens, vitesse, arrosage, etc.).

Fonctions préparatoires :

fonctions définies par l'adresse G et préparant la logique à un type de calcul ou à une action déterminée.

✎ **Exemple:** G00, G01, G02, G03, G04, etc.

III. 5.5. Classification des fonctions**III. 5.5.1 Fonction préparatoires G**

Fonctions définies par l'adresse G et préparant la logique à un type de calcul ou à une action déterminée.

✎ **Exemple :** G00, G01, G02, G03, G04, etc.

Type	Définition	Exemple	Commentaires
Modales	Une fonction G modale appartient à une famille de fonctions G qui se révoquent mutuellement.	N40 G00 X.. Z.. N50 G01 Z..	Interpolation linéaire à vitesse rapide. Interpolation linéaire à vitesse d'usinage qui révoque G00.
Non modales	Une fonction G non modale est uniquement valide dans le bloc où elle est programmée.	N70 G09 X..	Arrêt précis en fin de bloc à X=300 ; révocation en fin de bloc.
Incompatibles	Une fonction G est incompatible si sa programmation avec une autre n'est pas autorisée selon l'état du programme en cours. ●	N120 G18 G41 Y.. N120 G41 G18 Y..	Choix du plan ZX (G18) puis correction du rayon (G41). Correction du rayon (G41) interdite avant choix du
Avec arguments associés	Une fonction G avec arguments associés est suivie d'un ou plusieurs mots spécifiques qui suivent la fonction.		
	<i>Arguments obligatoires :</i> – La fonction G annonce uniquement des arguments.	N140 G16 P+	Orientation de l'outil (G16) suivant l'axe X+ (P+).
	– La fonction G révoque un état modal et caractérise son argument différemment.	N160 G94 F100 N.. N190 G95 F0.5	Vitesse d'avance définie en $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Vitesse d'avance redéfinie en $\text{mm} \cdot \text{tr}^{-1}$.
	<i>Arguments facultatifs :</i> Les arguments sont facultatifs si la fonction G permet de les déterminer par défaut.	N210 G96 [X45] S140	Si la position de X = 45 est déterminée dans un bloc précédent, elle n'a pas besoin d'être répétée.
	<i>Arguments programmés seuls :</i> L'argument peut être programmé seul dans un bloc si la fonction G associée est toujours active.	N240 G94 F160 N.. N270 F100	La fonction vitesse d'avance (G94) définie à $F = 160 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ en N240 n'a pas besoin d'être répétée pour être redéfinie à $F = 100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ en N270.

Tableau 3. Classification des Fonctions préparatoires G

⌚ Rappel

Selon la norme en vigueur, mm/min s'écrit $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$. De même mm/tr s'écrit $\text{mm} \cdot \text{tr}^{-1}$

III. 5.5.2. Fonctions auxiliaires M

Type	Définition	Exemple	Commentaires
Modales	Une fonction M modale appartient à une famille de fonctions M qui se révoquent mutuellement.	<i>N40 S1000 M03</i> <i>N..</i> <i>N80 M05</i>	Mise en rotation de la broche (M03) à 1000 tr · min ⁻¹ (S1000). Arrêt de la broche.
Non modales	Une fonction M non modale est uniquement valide dans le bloc où elle est programmée.	<i>N70 M00</i>	Arrêt programmé.
Avant	Une fonction M « avant » est exécutée avant les déplacements programmés dans le bloc.	<i>N120 X50 Y40 M08</i>	La mise en route de l'arrosage (M08) est exécutée avant les déplacements en X et en Y.
Après	Une fonction M « après » est exécutée après les déplacements programmés dans le bloc.	<i>N150 X70 Y20 M09</i>	L'arrêt de l'arrosage (M09) est exécuté après les déplacements en X et en Y.
Codées	Une fonction M codée est définie par le constructeur. De M100 à M199 : fonctions après non modales. De M200 à M899 : fonctions avant modales.		
Décodées	Une fonction M décodée est une fonction de base dont la signification est établie. Ces fonctions sont acquittées ; cet acquittement permet la poursuite du programme.	<i>N170 T01 M06</i>	Changement (M06) de l'outil1 (T01).

Tableau 4. Classification des Fonctions auxiliaires M

 Remarque :

- * Une fonction est dite modale lorsqu'elle reste active au-delà du bloc où elle est écrite. Elle est donc mémorisée jusqu'à révocation.
- * Plusieurs fonctions G à M peuvent être écrites dans un bloc à condition qu'elles ne se révoquent pas mutuellement (voir fonctions).

III. 5.5.3. Fonctions vitesse de broche S

La vitesse de l'outil conformément à la pièce lorsque la pièce est usinée est appelée vitesse d'usinage.

Comme pour la CNC, la vitesse d'usinage peut être spécifiée par la vitesse de la broche en tours/minute.

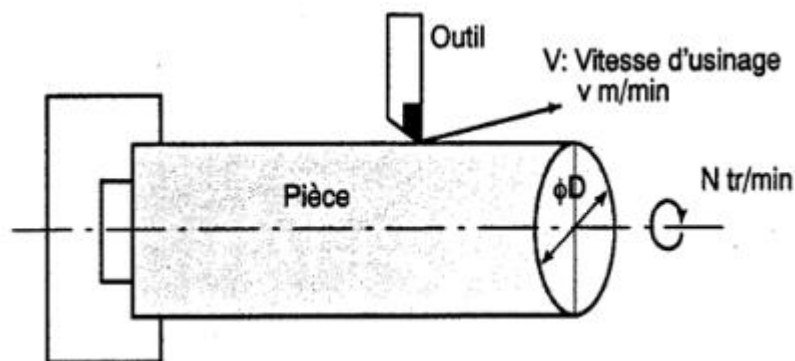


Figure 75. Fonctions vitesse de broche S

 Exemple :

(Quand une pièce de 200 mm de diamètre doit être usinée à une vitesse d'usinage de 300 m/min).

La vitesse de la broche est d'environ 478 tr/min, obtenue à partir de $N = \frac{1000 Vc}{\pi D}$. Cela requiert donc la commande suivante: S 478 ;

Les commandes associées à la vitesse de la broche sont appelées fonction vitesse de broche.

La vitesse d'usinage v (m/min) peut aussi être directement spécifiée par la valeur de la vitesse. Même lorsque le diamètre de la pièce est modifié, la CNC change la vitesse de la broche de façon à ce que la vitesse d'usinage reste constante.

Cette fonction s'appelle fonction contrôle de la vitesse de coupe constante.

III. 5.5.4. Fonctions vitesse d'avance F

Le mouvement de l'outil à une vitesse spécifiée pour l'usinage d'une Pièce est appelé avance.

Les vitesses d'avance peuvent être spécifiées à l'aide de chiffres réels. Par Exemple pour déplacer l'outil à une avance de 150 mm/mn il faut :

Programmer ce qui suit: F150.0 .

La fonction qui permet de définir l'avance est appelée fonction avance.

Les avances dans les blocs d'interpolation linéaire (G01), dans les blocs avance de coupe d'interpolation circulaire (G02, G03), etc. sont commandées par des nombres avec le code F.

III. 5.5.5. Fonction d'avance en tournage

❖ Avance par minute (G98)

Après F, spécifiez la valeur d'avance de l'outil par minute.

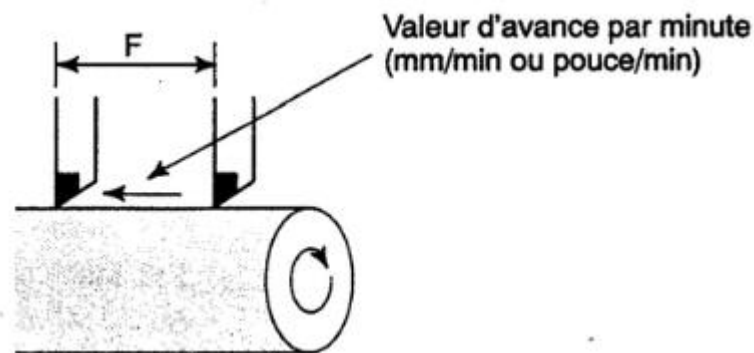


Figure 76. Avance par minute (G98)

Après avoir spécifié G98, la valeur d'avance de l'outil par minute doit être spécifiée par le réglage d'un numéro après F. G98 est une référence modale. Une fois que G98 est spécifiée, elle est activée jusqu'à ce que G99 (avance par tour) soit spécifiée.

Lors de la mise sous tension, (par défaut)

❖ Avance par tour (G99)

Après F, spécifiez la valeur d'avance de l'outil par rotation de la broche.

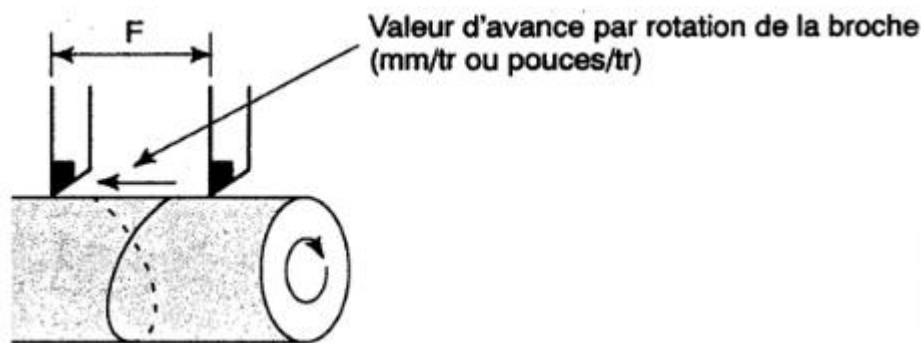


Figure 77. Avance par tour (G99)

Après avoir spécifié G99, la valeur d'avance de l'outil par minute doit être spécifiée par le réglage d'un numéro après F. G99 est une référence modale. Une fois que G99 est spécifiée, elle est activée jusqu'à ce que G98 (avance par minute) soit spécifiée.

• Sélection de l'outil pour différents usinage T

Lorsque des perçages, des taraudages, des alésages, des fraisages et autres Opérations d'usinage doivent être effectuées, il est nécessaire de Sélectionner un outil adéquat. Lorsqu'un numéro est attribué à chaque outil et que le numéro est spécifié dans le programme, l'outil correspondant est sélectionné.

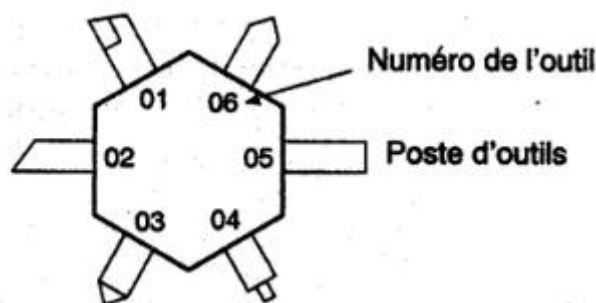


Figure 78. Sélection de l'outil pour différents usinage T

<Emplacement (n° 01) désigné pour un outil de dégrossissage>

Quand l'outil est mémorisé à l'emplacement 01 du poste d'outil, vous pouvez le sélectionner en spécifiant T0101 (en tournage) ou T01M06 (en fraisage) cette fonction porte le nom de fonction outil.

III. 6. Fonction iso tournage**III. 6.1. Codage et désignation****III. 6.1.1. Fonction G**

CODE	DÉSIGNATION
G00	Interpolation linéaire à vitesse d'avance rapide
G01	Interpolation linéaire à vitesse d'avance programmée
G02	Interpolation circulaire à vitesse d'avance programmée (sens antitrigonométrique)
G03	Interpolation circulaire à vitesse d'avance programmée (sens trigonométrique)
G04	Temporisation programmable à l'adresse F
G05*	Exécution d'un déplacement suivant un axe incliné
G06*	Ordre d'exécution d'une courbe spline
G07*	Positionnement initial de l'outil avant usinage suivant un axe incliné
G09	Arrêt précis en fin de bloc avant enchaînement sur le bloc suivant
G10	Bloc interruptible
G12	Survitesse par manivelle
G16	Définition de l'orientation de l'axe de l'outil par les adresses P, R
G20	Programmation en coordonnées cartésiennes X, Z
G20*	Programmation en coordonnées polaires X, Z, C
G21	Programmation en coordonnées cartésiennes X, C
G21*	Programmation en coordonnées cartésiennes X, Y, Z
G22*	Programmation en coordonnées cylindriques X, Y, Z
G23*	Interpolation circulaire définie par trois points
G33	Cycle de filetage à pas constant
G38	Filetage enchaîné
G40	Annulation de correction de rayon d'outil
G41	Correction de rayon d'outil à gauche du profil à usiner
G42	Correction de rayon d'outil à droite du profil à usiner
G48*	Définition d'une courbe spline
G49*	Suppression d'une courbe spline
G51*	Miroir
G52	Programmation absolue des déplacements par rapport à l'origine mesure
G53	Invalidation des décalages PREF et DEC1
G54	Validation des décalages PREF et DEC1
G59	Décalage d'origine programmé
G63*	Cycle d'ébauche avec gorge
G64	Cycle d'ébauche paraxial
G65	Cycle d'ébauche de gorge
G66	Cycle de défonçage
G70	Programmation en pouce
G71	Programmation métrique
G73*	Invalidation du facteur d'échelle

CODE	DÉSIGNATION
G74*	Validation du facteur d'échelle
G75	Validation d'un sous-programme de dégagement d'urgence
G76	Transfert des valeurs courantes des paramètres L et E dans le programme pièce
G76+/-*	Création/suppression de programme ou bloc ISO
G77	Appel inconditionnel d'un sous-programme ou d'une suite de séquences avec retour
G77-i*	Appel de bloc de retour d'un sous-programme
G78*	Synchronisation des groupes d'axes
G79	Saut conditionnel ou inconditionnel à une séquence sans retour
G79+/-*	Suspension momentanée de la préparation du bloc suivant dans une séquence
G80	Annulation d'un cycle d'usinage
G81*	Cycle de perçage centrage
G82*	Cycle de perçage chambrage
G83	Cycle de perçage déburrage
G84*	Cycle de taraudage
G85*	Cycle d'alésage
G87	Cycle de perçage brise-copeaux
G89*	Cycle d'alésage avec temporisation fin de trou
G90	Programmation absolue par rapport à l'origine programme
G91	Programmation relative par rapport au point de départ du bloc
G92	Présélection de l'origine programme
G92 R*	Programmation de la vitesse d'avance tangentielle
G92 S	Limitation de la vitesse de broche
G94	Vitesse d'avance en millimètres, pouces ou degrés par minute
G95	Vitesse d'avance en millimètres ou en pouces par tour
G96	Vitesse de coupe constante en mètres par minute
G97	Fréquence de rotation de broche en tours par minute
G98	Définition de la valeur de X de départ pour interpolation sur l'axe C
G110	Optimisation des trajectoires de manutention
G997*	Validation et exécution de toutes les fonctions mémorisées dans G999
G998*	Validation de l'exécution des blocs et d'une partie des fonctions traitées dans G999
G999*	Suspension de l'exécution et forçage de la concaténation ¹ des blocs

Tableau 5. Codage et désignation des Fonctions G

NB : Les fonctions marquées * sont disponibles uniquement sur NUM 1040/1060.

¹ Concaténation: enchaînement rendant solidaires des lignes de programmes.

III. 6.1.2 Fonction M

CODE	DÉSIGNATION
M00	Arrêt programmé
M01	Arrêt optionnel programmé
M02	Fin de programme
M03	Rotation de broche sens trigonométrique inverse
M04	Rotation de broche sens trigonométrique
M05	Arrêt de broche
M06	Appel d'outil
M07	Arrosage n° 2
M08	Arrosage n° 1
M09	Arrêt d'arrosage
M10	Blocage d'axe
M11	Débloccage d'axe
M12*	Arrêt d'usinage programmé
M19	Indexation de broche
M40 à M45	Gammes de broche
M48	Validation des potentiomètres de broche et d'avance
M49	Inhibition des potentiomètres de broche et d'avance
M61*	Libération de la broche courante dans le groupe d'axes
M62 à M65	Commande des broches 1 à 4
M66 à M69	Mesure des broches 1 à 4
M997*	Forçage de l'enchaînement des blocs
M998*	Réactivation des modes modification (MODIF), immédiat (IMD) et des appels de sous-programmes par l'automate
M999*	Neutralisation programmée des modes MODIF, IMD et des appels de sous-programmes par l'automate

Tableau 6. Codage et désignations des fonctions M

NB : les fonctions marquées * sont disponibles uniquement sur NUM 1040/1060.

- Autres fonctions tournage

CODE	DÉSIGNATION
\$0	Émission de message vers la visualisation
\$1 à \$6*	Émission de message vers l'automate, vers un serveur distant ou un périphérique
/	Saut de bloc
D	Appel du correcteur d'outil
ED	Décalage angulaire programmé
EG*	Modulation programmée de l'accélération
T	Numéro de l'outil
M*	Conversion de l'unité interne des axes rotatifs
U*	Conversion de l'unité interne des axes linéaires

Tableau 7. Autres fonctions tournage

NB: les fonctions marquées * sont disponibles uniquement sur NUM 1040/1060.

III. 6.2. Programmation de l'outil**III. 6.2.1. Orientation de l'outil****❖ Orientation des axes tourelles**

La position avant ou arrière de la tourelle principale définit l'orientation positive de l'axe X.

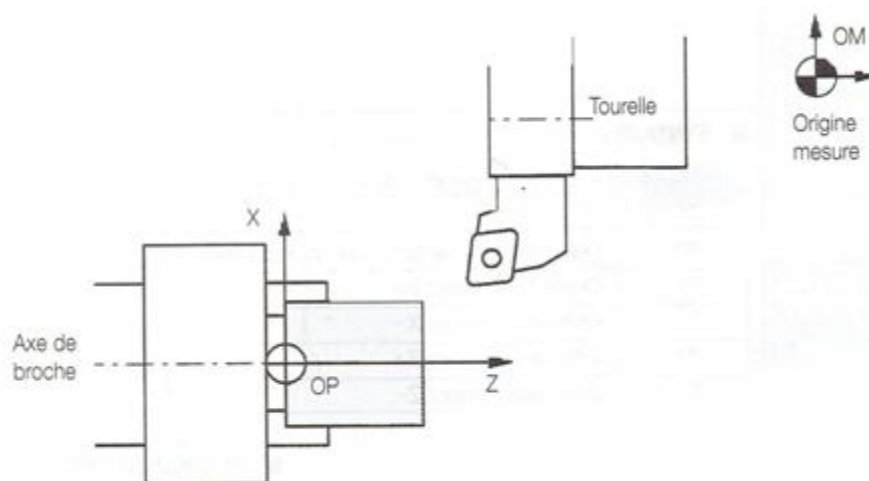
Tour avec tourelle arrière

Figure 79. Tour avec tourelle arrière

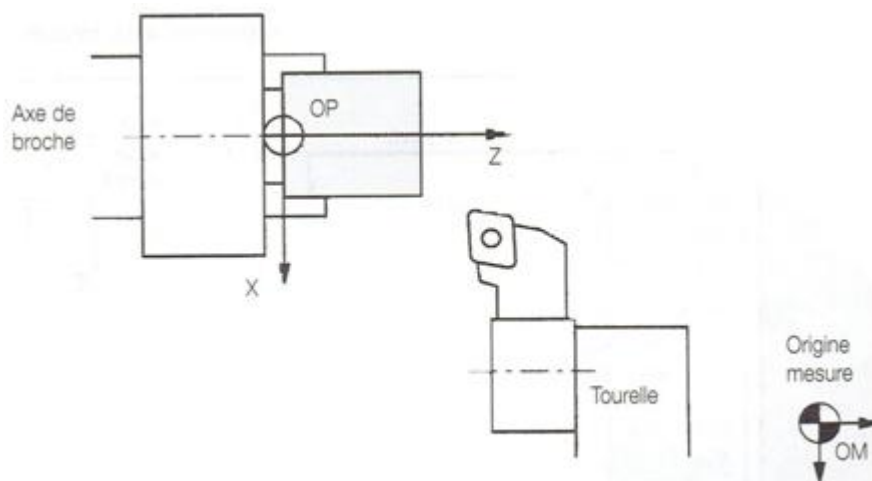
Tour avec tourelle avant

Figure 80. Tour avec tourelle avant

❖ **orientation de l'axe de l'outil G16**❖ **Désignation:**

La fonction G16 définit l'orientation de l'axe de l'outil avec les adresses P ou R suivi du signe + ou –

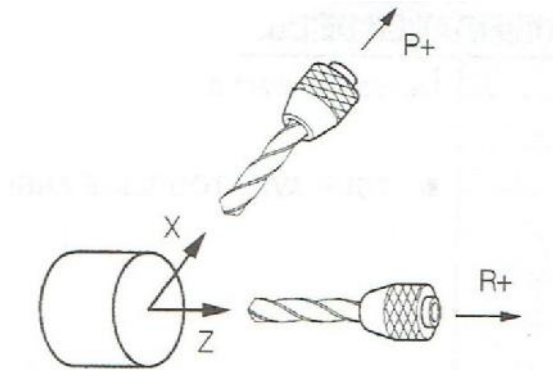


Figure 81. Orientation de l'axe de l'outil G16

♦ **Syntaxe:**

N 100 G16 P ± / R ±

G16 Définition de l'orientation de l'axe de l'outil

P + Orientation suivant X+

P- Orientation suivant X-

R+ Orientation suivant Z +

R- Orientation suivant Z-

♦ **Propriétés :**

Fonction modale. G16 R+ est initialisée à la mise sous tension.

♦ **Révocation:**

G16 suivie d'un argument P ou R différent de celui programme précédemment révoque l'état G16 antérieur.

♦ **Particularités :**

Par convention, le vecteur outil est orienté du bout de l'outil (partie coupante) vers la référence de l'outil (fixation sur la tourelle).

Lors de la définition de l'orientation de l'axe de l'outil, Il est recommandé d'être en annulation de correction de rayon (G40) et annulation de cycle (G80).

Le bloc contenant G 16 peut comporter des déplacements des fonctions M, S et T.

❖ **Orientation du nez d'outil (C) suivant la position de la tourelle :**

L'orientation est définie par les codes C0 à C8

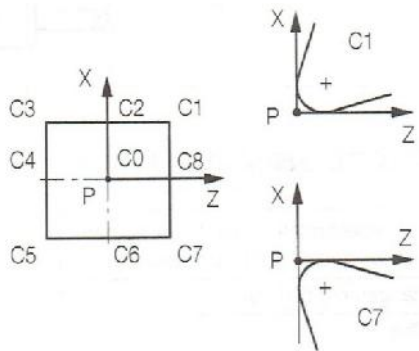


Figure 82 a. Orientation du nez d'outil (C) suivant la position de la tourelle arrière

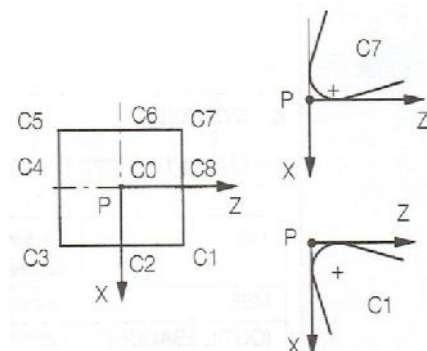


Figure 82 b. Orientation du nez d'outil (C) suivant la position de la tourelle avant

Figure 82. Orientation du nez d'outil (C) suivant la position de la tourelle

❖ **Position du nez d'outil (C) suivant la trajectoire :**

Dans le cas d'une pente ou d'une trajectoire quelconque, la connaissance du rayon de l'outil est nécessaire pour apporter une correction normale au profil. Le point de coupe réel de l'outil est obtenu en appliquant à partir de C, un vecteur de module R , perpendiculaire à la direction du déplacement.

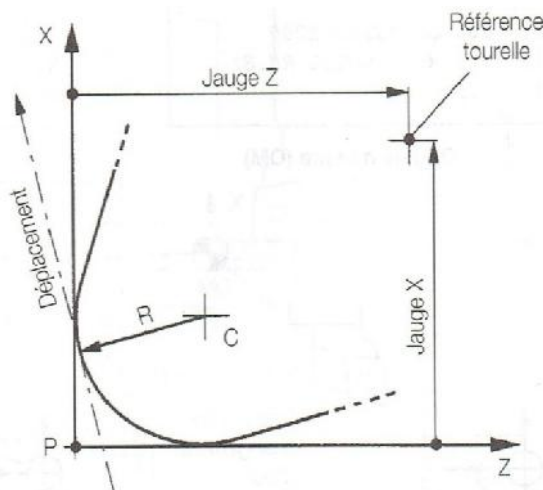


Figure 83. Position du nez d'outil (C) suivant la trajectoire

III. 6.2.2. Appel d'outil M06

◆ Désignation :

La fonction M06 permet l'appel d'un outil et son positionnement à son poste d'usinage. Cette mise en place peut être automatique ou manuelle.

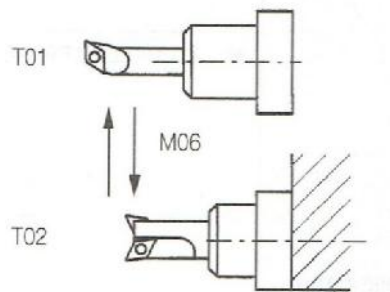


Figure 84. Appel d'outil M06

◆ Syntaxe:

N100 T01 **M06** [(OUTIL EBAUCHE)]

T01: La fonction T sélectionne l'outil 01. Le numéro correspond au poste de l'outil sur la tourelle.

M06 : Appel ou changement de l'outil.

(OUTIL EBAUCHE) Commentaires.

◆ Propriétés :

Fonction non modale, « après », décodée.

◆ Révocation:

Remise à l'état 0 dès détection par la CN du compte rendu de fonction M.

◆ Particularités :

Avant un appel ou un changement d'outil, il est préconisé de programmer une position de dégagement de l'outil par rapport à l'origine programme (OP) ou par rapport à l'origine mesure (OM).

III. 6.2.3. Jauge et correcteur d'outil

✓ Définition

La jauge d'un outil est la distance comprise entre l'arête coupante de l'outil et le point de référence de la tourelle porte-outil.

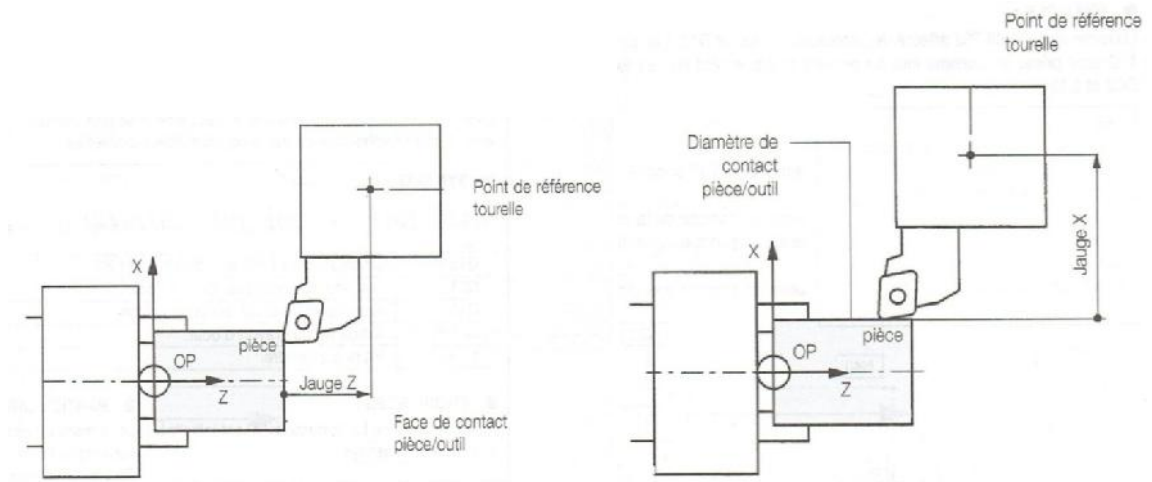


Figure 85. Jauge et correcteur d'outil

❖ Dimensions d'outil

◆ Désignation:

L'adresse D affectée d'un numéro sélectionne le correcteur d'outil. Les dimensions d'outil en mémoire sont validées selon les axes programmés.

X = dimension d'outil suivant X

Z = dimension d'outil suivant Z

R = rayon d'outil

C= Orientation de nez d'outil

L'introduction des dimensions d'outil peut être effectuée manuellement, par périphérique ou par programmation paramétrée.

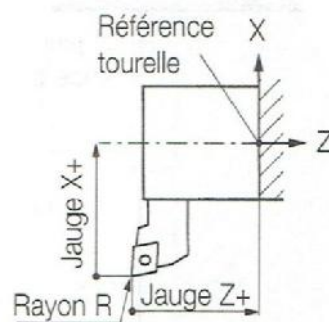


Figure 86. Dimensions d'outil

◆ Syntaxe :

N120 [G16 R+] D01 [G40/41/42] X.. Z..

G16 R+	Orientation de l'axe de l'outil suivant Z+.
D01	Numéro du correcteur (de 1 à 255).
G40	Annulation de la correction de rayon.
G41/G42	Correction de rayon d'outil.
X.. Z..	Point à atteindre.

♦ **Propriétés :**

Fonction modale. Le correcteur D01 est initialisé à la mise sous tension.

♦ **Révocation:**

D01 .. est révoquée par la programmation d'un nouveau correcteur ou annulé par D0.

♦ **Particularités :**

Le numéro du correcteur peut être différent du numéro de l'outil.

Plusieurs numéros de correcteurs peuvent être affectés au même outil.

Le contenu de D0 est toujours nul. Le système dispose de 255 correcteurs d'outils (X, Z, R, C).

❖ **Correction dynamique d'outil**

Il est possible d'introduire à tout moment, y compris en cours d'usinage, une correction dynamique d'outil lorsqu'il est constaté, sur une pièce, un écart entre la cote attendue et la cote obtenue.

- ♦ Correction dynamique sur X : DX
- ♦ Correction dynamique sur Z : DZ

Cette correction positive ou négative a pour objet de compenser une faible variation de dimension d'outil ou de pièce (usure, dilatation).

Le système prendra en compte les dimensions corrigées d'outils:

Longueur corrigée X = Jauge X + DX/2

Longueur corrigée Z = Jauge Z + DZ

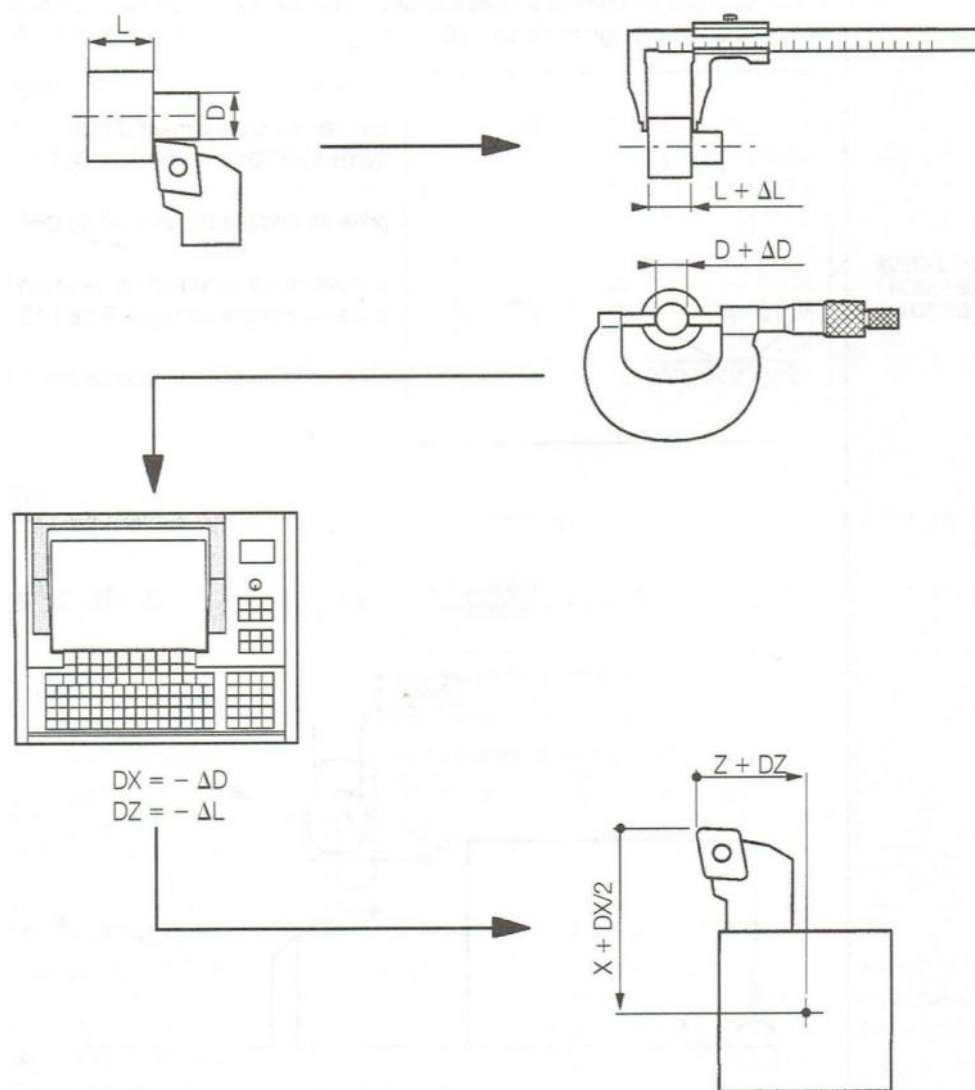


Figure 87. Correction dynamique d'outil

❖ Correcteur de rayon d'outil

◆ Désignation:

Le correcteur de rayon d'outil D est affecté à la programmation suivant les deux axes du plan d'interpolation.

Le rayon d'outil déclaré est pris en compte à la programmation:

- du numéro de correcteur D ,
- de la fonction $G41$ ou $G42$,
- d'un des axes du plan d'interpolation.

En cours d'usinage, la modification d'une valeur de rayon n'est prise en compte qu'après annulation de la correction de rayon par $G40$ puis reprogrammation de la correction de

rayon par G41 ou G42 suite à un changement de numéro de correcteur et/ou l'emploi de la correction dynamique (valeur maxi du correcteur $R = 999,999 \text{ mm}$).

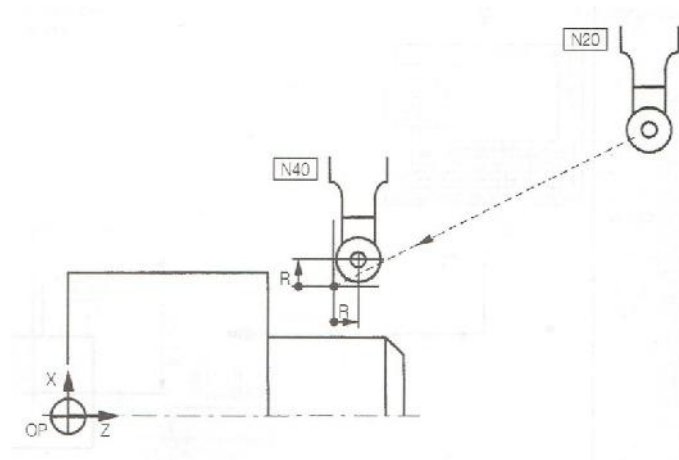


Figure 88. Correcteur de rayon d'outil

III. 6.2.4. Positionnement outil/pièce

❖ Correction de rayon par rapport au profil à usiner G41 / G42

◆ Désignation:

G41: correction de rayon à gauche du profil à usiner.

La trajectoire programmée de l'outil est décalée à gauche d'une valeur égale au rayon R déclaré par le correcteur D.

G42 : correction de rayon à droite du profil à usiner.

La trajectoire programmée de l'outil est décalée à droite d'une valeur égale au rayon R déclaré par le correcteur D.

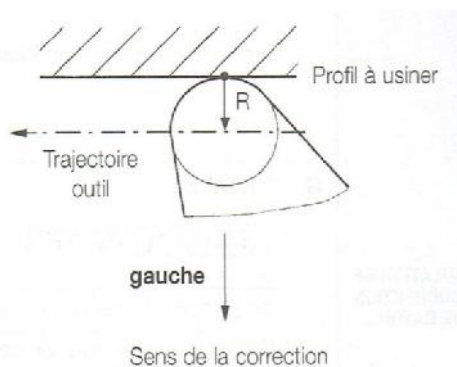


Figure 89 a. correction de rayon à gauche du profil à usiner G41

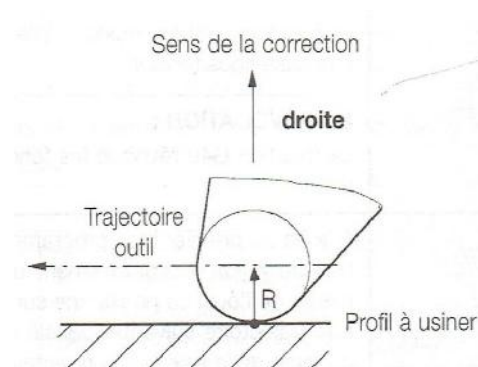


figure 89 b. correction de rayon à droite du profil à usiner G42

Figure 89. Correction de rayon par rapport au profil à usiner G41 / G42

♦ **Syntaxe :**

N100 D01 [G00 / G01 / G02 / G03] G41 / 42X.. Z..

D01 Numéro du correcteur (de 1 a 255).

G00 / G01 / G02 / G03 Interpolation linéaire ou circulaire.

G41 Correction de rayon d'outil à gauche du profit.

G42 Correction de rayon d'outil à droite du profit.

x .. Z .. Coordonnées du point à atteindre.

♦ **Propriétés :**

Les fonctions G41 et G41 sont modales.

♦ **Révocation:**

Les fonctions G41 et G42 se révoquent mutuellement.

♦ **Particularités:**

Les fonctions G41 et G42 permettent la programmation d'un profil pièce aux dimensions réelles du profil sans tenir compte du rayon de l'outil.

❖ **Annulation de la correction de rayon G40**

♦ **Désignation:**

G40 : annulation de la correction de rayon.

La correction de rayon n'est plus appliquée à l'outil.

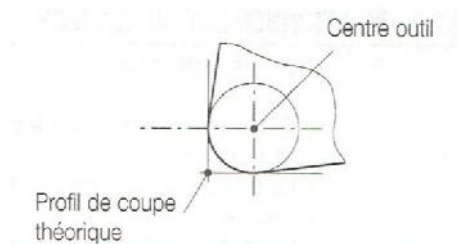


Figure 90. Annulation de la correction de rayon G40

♦ **Syntaxe:**

N100 [G00 / G01] G40 X.. Z..

G00 / G01 Interpolation linéaire.

G40 Annulation de la correction de rayon.

X .. Z.. Point à atteindre.

♦ **Propriétés :**

La fonction G40 est modale. Elle est initialisée à la mise sous tension.

♦ **Révocation :**

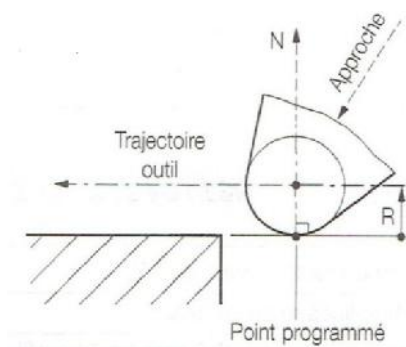
La fonction G40 révoque les fonctions G41 et G42.

♦ **Particularités:**

L'annulation par G40 n'est pas obligatoire pour passer de G41 à G42 (ou l'inverse).

❖ **Mise en position de l'outil**

A la fin du premier bloc programme en correction de rayon (obligatoirement une droite), le centre de l'outil se positionne sur la normale N à la trajectoire suivante, décalé du point programme de la valeur du correcteur R.



Il convient de prévoir une garde d'une valeur supérieure au rayon d'outil déclaré, lors d'un positionnement rapide.

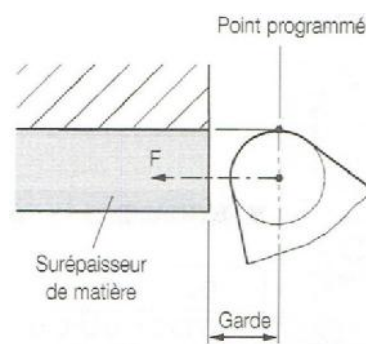


Figure 91. Mise en position de l'outil

❖ **Correction du rayon suivant position tourelle**

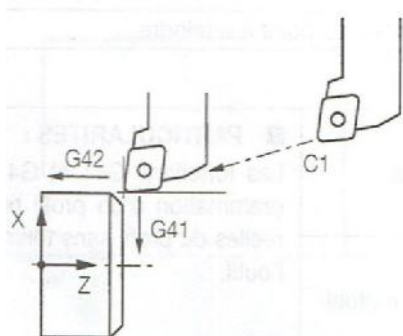


Figure 100 a. Correction du rayon suivant position tourelle arrière

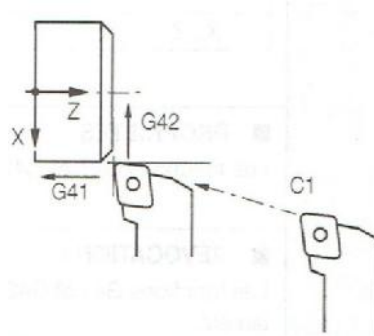


Figure 100 b. Correction du rayon suivant position tourelle avant

Figure 100. Correction du rayon suivant position tourelle

III. 6.3. Programmation des mouvements

III. 6.3.1 Choix des origines de déplacements

❖ G52 Programmation absolue par rapport à l'origine mesure

◆ Désignation:

G52 : programmation absolue des déplacements par rapport à l'origine mesure.

Les déplacements programmés avec la fonction sont repérés par rapport à l'OM.

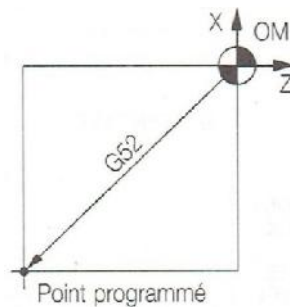


Figure 101. Programmation absolue par rapport à l'origine mesure G52

◆ Syntaxe:

N100 [G40] [G90] [G00 /G01] G52 X.. Z.. C.. [F..]

G40 Annulation de la correction de rayon.

G90 Programmation absolue.

G00 /G01 Interpolations linéaires (en rapide ou avance travail).

G52 Programmation absolue des déplacements par rapport à l'origine mesure.

X.. Z .. Coordonnées du point à atteindre.

F.. Vitesse d'avance.

◆ Propriétés :

La fonction G52 est non modale.

◆ Révocation :

La fonction G52 est révoquée en fin de bloc.

◆ Particularités :

La programmation de G52 dans un bloc suspend les données suivantes :

Jauges d'outils, PREF, DEC1, DEC3, G59, décalage angulaire ED et G74.

La fonction G52 doit précéder la programmation des axes dans le bloc et être programmée en G40 à G90.

❖ **Invalidation/validation des décalage PREF et DEC1 G53 G 54**◆ **Désignation:**

G53 : invalidation des décalages PREF et DEC1.

G54 : validation des décalages PREF et DEC1.

Les fonctions G53 et G54 autorisent la prise en compte ou la non-prise en compte des valeurs PREF et DEC1 introduites en page « PREF ».

◆ **Syntaxe:**

N100 G53 / G54

G53 Invalidation des décalages PREF et DEC1.

G54 Validation des décalages PREF et DEC1.

◆ **Propriétés :**

Les fonctions G53 et G54 sont modales. G54 est initialisée à la mise sous tension.

◆ **Révocation :**

Les fonctions G53 et G54 se révoquent mutuellement.

◆ **Particularités :**

Les jauges d'outils ne sont pas affectées par la fonction G53.

G92 Présélection de l'origine programme◆ **Désignation:**

G92 : présélection de l'origine programme, La fonction affectée d'un ou plusieurs axes et leurs valeurs, définit la position courante du mobile par rapport à la nouvelle origine programme.

Les PREF sont recalculés sur les axes programmés.

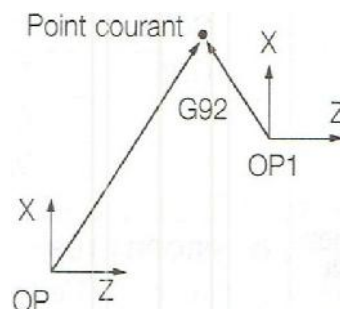


Figure 102. Présélection de l'origine programme G92

◆ **Syntaxe:**

N140 G92 X.. Z..

G92 Présélection de l'origine programme.

X .. Z .. Position du mobile par rapport a l'origine programme.

♦ **Détermination de la présélection de l'origine programme sur un axe :**

nouveau PREF = PREF précédent + point courant précédent par rapport à l'OP - valeur programmée en G92

Ou bien :

nouveau PREF = point courant par rapport à l'OM - valeur programmée en G92 - longueur d'outil - DEC1.

l'opération est réalisée après exécution du bloc précédant le bloc contenant G92.

La nouvelle valeur des PREF est conservée en fin de programme.

❖ **G59 Décalage d'origine programmé**

♦ **Désignation:**

G59 : décalage d'origine programmé.

La fonction affectée d'un ou plusieurs arguments (axes et valeurs) entraîne la translation de l'origine programme (OP).

Chaque axe peut être affecté d'un décalage d'origine.

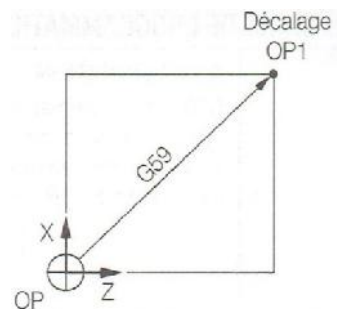


Figure 102a. Décalage d'origine programmé G59

♦ **Syntaxe:**

N160 [G90 / G91] G59 X.. Z.. U.. W.. C.. [I.. K.. ED..]

G90 / G91 Programmation absolue ou relative.

G59 Décalage d'origine programme.

X.. Z.. U.. W.. C.. Les axes programmés sont liés à la fonction. Ils doivent suivre immédiatement G59 et au moins un d'entre eux doit être programmé.

I.. K.. ED.. I.. K..: arguments définissant le centre de rotation d'un décalage angulaire programmé avec ED (décalage angulaire).

♦ **Propriétés :**

La fonction G59 est non modale, les arguments liés aux axes sont modaux.

♦ **Révocation :**

G59 est annulé par la programmation de G59 suivi des arguments d'axes affectés de valeurs nulles en absolu (G90), M02 (fin de programme) et par la remise à l'état initial (RAZ).

♦ **Particularités :**

Il est préconisé d'être en G90 avant la programmation d'un décalage d'origine G59 (lisibilité du programme).

❖ **G59 programmé en absolu (G90) :**

le décalage s'effectue par rapport au PREF + DEC1.

Un nouveau décalage remplace le précédent.

❖ **G59 programmé en relatif (G91):**

le premier déplacement programmé après G59 est translaté de la valeur du décalage programme. Un nouveau décalage affectera le déplacement suivant. La position absolue se trouve décalée de la somme de tous les G59 programmés antérieurement.

III. 6.3.2 Choix de programmation

❖ **G90 ; G91 Programmation absolue ou relative**

♦ **Désignation:**

G90 : programmation absolue
par rapport à l'origine programme.
La valeur programmée sur un axe
est repérée par rapport à l'OP.

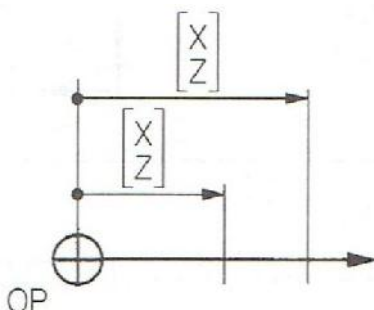


Figure 103 a. Programmation absolue

G91 : programmation relative
par rapport au point de départ du bloc.
La valeur programmée sur un axe
est repérée par rapport à la dernière
position programmée.

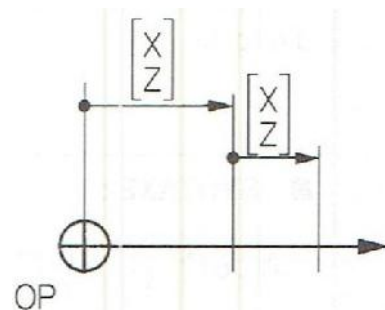


Figure 103 b. Programmation relative

Figure 103. Programmation absolue ou relative

♦ **Syntaxe:**

N150	G90/G91	X ..	Z ..	C..
G90	Programmation du déplacement en absolu.			
G91	Programmation du déplacement en relatif.			
X .. Z ..	Coordonnées du point à atteindre.			

♦ **Propriétés :**

Les fonctions G90 et G91 sont modales. La fonction G90 est initialisée à la mise sous tension

♦ **Révocation :**

Les fonctions G90 et G91 se révoquent mutuellement.

♦ **Particularités :**

Le premier déplacement programmé doit être effectué en absolu et repéré par rapport à l'origine programme.

Les deux types de programmation (G90/G91) peuvent coexister dans un même programme.

❖ **Programmation au diamètre ou au rayon**

Le choix de la programmation du système au diamètre ou au rayon s'effectue en paramètre machine. Suivant le cas, certaines fonctionnalités s'exprimeront par rapport au diamètre et d'autres par rapport au rayon.

✓ **SYSTEME PROGRAMME AU DIAMETRE**

- Valeurs programmées exprimées au diamètre:
 - * programmation en absolu (G90): coordonnées d'un déplacement suivant X, position I du centre d'un cercle,
 - * valeur du diamètre de départ en VCC (G96).
 - * valeur programmée avec G98.
- Valeurs programmées exprimées au rayon:
 - * programmation en relatif (G91): valeur d'un déplacement suivant X, position I du centre d'un cercle,
 - * rayon de cercle en interpolation circulaire (R),
 - * valeur de congé ou de chanfrein (EB+, EB-).
 - * profondeur de passe en cycle d'ébauche (P, R),
 - * surépaisseur de matière en cycle d'ébauche (I, K) (ER),

- * garde de positionnement en cycle d'ébauche (Q),
- * valeur du copeau mini en cycle d'ébauche (EQ),
- * profondeur de filet (P), dernière passe en filetage (Q),
- * profondeur de passe en cycle de perçage (P,Q),
- * décalages programmes avec G52 et G59.
- Dimensions des outils :
- * introduction des valeurs au rayon.
- Valeurs des corrections dynamiques d'outils:
- * introduction des valeurs au diamètre.
- Valeur du décalage DEC1 :
- * introduction de la valeur au rayon.
- ✓ **SYSTEME PROGRAMME AU RAYON**
- Valeurs exprimées au rayon:
- * tous les déplacements programmés et toutes les valeurs liées à l'usinage suivant X.
- Valeurs exprimées au diamètre :
- * corrections dynamiques des outils sur X.

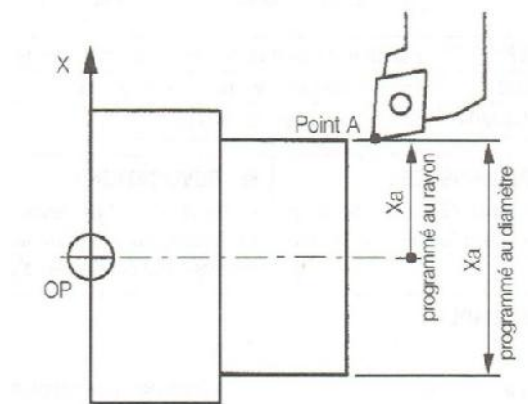


Figure 104. Programmation au diamètre ou au rayon

III. 6.3.3. Commande de broches

❖ M03 / M04 / M05 Sens de rotation

◆ Désignation:

M03 : rotation de broche sens anti-trigonométrique.

Mise en rotation de la broche à la fréquence programmée.

M04 : rotation de broche sens trigonométrique,

Mise en rotation de la broche à la fréquence programmée.

M05 : arrêt de broche.

Arrêt de la rotation de la broche.

♦ **Syntaxe:**

N100 M03 / M04 / M05

M03 Rotation de broche sens anti-trigonométrique.

M04 Rotation de broche sens trigonométrique.

M05 Arrêt de broche.

♦ **Propriétés :**

M03 et M04 sont des fonctions modales, « avant », décodées.

M05 est une fonction modale" après ", décodée , initialisée à la mise sous tension.

♦ **Révocation :**

Les fonctions M03, M04 et M05 se révoquent mutuellement.

Les fonctions M00,M19 et M01 révoquent les états M03 ou M04.

❖ **G97 Fréquence de rotation**

♦ **Désignation:**

G97: fréquence de rotation de broche exprimée en tr. min^{-1} .

La fonction définit une fréquence de rotation constante programmée avec l'argument S.

♦ **Syntaxe:**

N100 G97 S800 [M03 / M04]

G97 Fonction forçant la fréquence de rotation de la broche en tr. min^{-1}

S800 fréquence programmée = 800 tr. min^{-1}

M03/M04 Sens de rotation de la broche.

♦ **Propriétés :**

La fonction G97 est modale et initialisée à la mise sous tension.

♦ **Révocation :**

La fonction G97 est révoquée par la fonction G96.

La fréquence programmée avec G97 est annulée par S0 ou modifiée par S affectée d'une nouvelle valeur.

❖ **Vitesse de coupe et fréquence de rotation**✓ **Equation de la vitesse de coupe**

$$V_c = \pi \cdot d \cdot N$$

vitesse de coupe en $m \cdot \min^{-1}$ $\varnothing$ en m fréquence de rotation en $tr \cdot \min^{-1}$

✓ **Fréquence de rotation de la broche N**

N est exprimée en $tr \cdot \min^{-1}$. La fréquence de rotation est constante, donc la vitesse de coupe V_c tend vers zéro lorsque le diamètre tend vers zéro (V_c nulle au centre de la pièce).

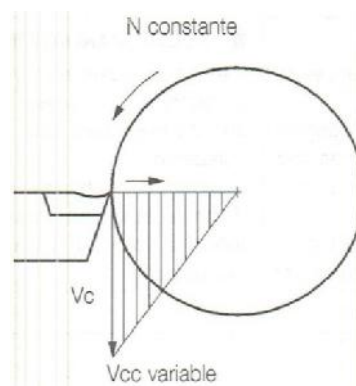


Figure 105. Fréquence de rotation de la broche N

❖ **Vitesse de coupe constante Vcc**

La V_{cc} est exprimée en $m \cdot \min^{-1}$. Elle est gardée constante lorsque l'outil se déplace vers le centre de la pièce. La fréquence de rotation varie de façon inversement proportionnelle au diamètre (limitation par la fréquence de rotation maxi de la broche).

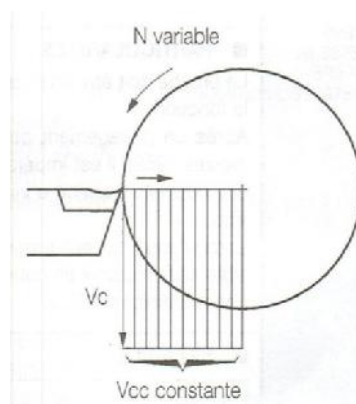


Figure 106. vitesse de coupe constante V_{cc}

La fréquence de rotation de la broche en Vcc est initialisée en fonction de la cote X et de la vitesse de coupe programmée. Elle évolue en proportion des déplacements en X et de leurs sens.

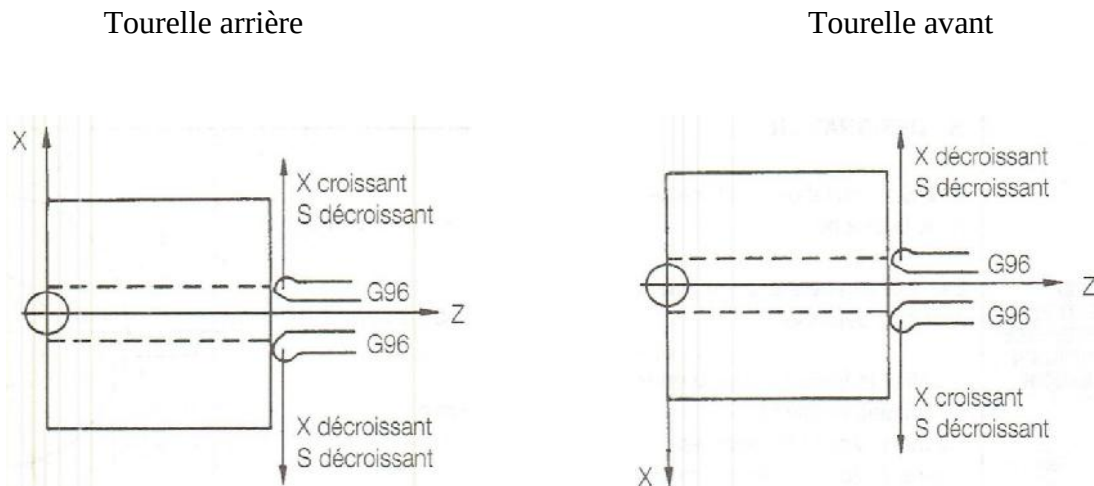


Figure 107. La relation de la fréquence de rotation en fonction de la vitesse de coupe et la cote X

❖ G96 Vitesse de coupe constante

◆ Désignation:

G96 : vitesse de coupe constante (Vcc) exprimée en $m \cdot min^{-1}$.

La fonction permet la variation de la fréquence de rotation de la broche. La fréquence de rotation évolue selon la position centre de l'outil/diamètre de la pièce.

◆ Syntaxe:

N200 G96 [X ..] S120

G96 Fonction forçant la vitesse de coupe constante en $m \cdot min^{-1}$.

X.. Argument définissant le diamètre de positionnement de l'outil.

8120 Argument obligatoire définissant la vitesse de coupe programmée.

◆ Propriétés :

La fonction G96 est modale.

◆ Révocation :

La fonction G96 est révoquée par la fonction G97.

◆ Particularités :

La broche doit être en rotation avant l'appel de la fonction.

Après un dégagement par rapport à l'origine mesure (G52), il est impératif de reprogrammer une nouvelle position d'initialisation en X de la Vcc.

Lorsqu'une Vcc est programmée, il est possible de la modifier en cours de programme par une redéfinition G96 S.

◆ **Recommandations :**

Pendant un usinage en Vcc, il est préconisé de programmer la vitesse d'avance en mm.tr^{-1} afin d'usiner avec une épaisseur de copeau constante.

Avant chaque changement d'outil, il convient d'annuler la Vcc en passant en G97 et de réinitialiser à nouveau la Vcc sur la position X du nouvel outil.

❖ **G92 Limitation de la fréquence de rotation de broche**

◆ **DESIGNATION:**

G92 S.. : limitation de la fréquence de rotation N de la broche.

Elle définit la fréquence de rotation de la broche à ne pas dépasser.

S définit la fréquence max en tr.min^{-1}

La limitation définit :

- * zone 1, Vcc et N variables;
- * zone 2, Vc variable et N constante.

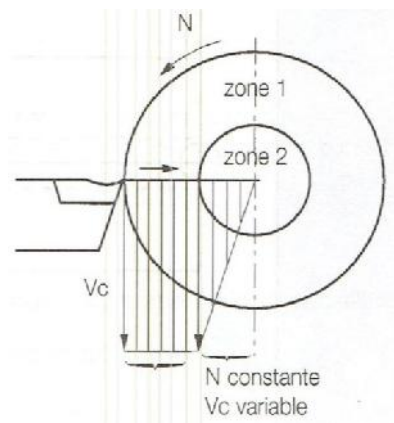


Figure 108. Limitation de la fréquence de rotation de broche G 92

◆ **Syntaxe:**

N100 G92 S2000

G92 Limitation de la fréquence de rotation de la broche.

S2000 Argument obligatoire définissant la valeur de 2000 $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$ maxi.

◆ **Propriétés :**

La fonction G92 est modale.

♦ **Révocation :**

La limitation est annulée par :

- * G92 S0
- * G92 S.. autre valeur de S
- * M02 fin de programme

♦ **Particularités :**

La limitation de fréquence de rotation de broche doit être programmée à une fréquence inférieure à la fréquence maxi de la broche et avant l'initialisation de la Vcc G96.

❖ **M40 à M45 Gamme de broche**

♦ **Désignation:**

M40 / M41 / M42 / M43 / M44 / M45: gammes de broche.

Le système permet de définir 6 gammes de broche associées à des fréquences de rotation S.

♦ **Syntaxe:**

N230 [G97 S..] [M03 / M04] M40 à M45

G97 S.. Fréquence de rotation de la broche en tr. min⁻¹.

M03 / M04 Sens de rotation de la broche.

M40 à M45 Choix de la gamme de fréquences.

♦ **Propriétés :**

Les fonctions M40 à M45 sont modales « avant » et décodées.

♦ **Révocation :**

Les fonctions M40 à M45 se révoquent mutuellement.

♦ **Particularités :**

Les intervalles de fréquences sont définis pour chaque gamme par le constructeur.

✎ **Exemple :**

M40 = 50 à 500 tr. min⁻¹ ;

M41 = 400 à 900 tr. min⁻¹ ;

M42 = 800 à 4200 tr. min⁻¹

Certains systèmes déterminent automatiquement la gamme en fonction de la fréquence de rotation programmée.

III. 6.3.4. Interpolations :

❖ G00 Positionnement rapide

◆ Désignation:

G00: interpolation linéaire à vitesse d'avance rapide.

Le point programme est atteint en effectuant une trajectoire linéaire à vitesse d'avance rapide, quels que soient les axes programmés (X et Z, U et V, C).

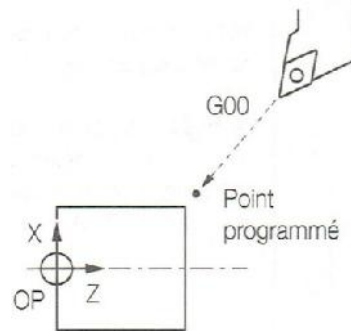


Figure 109. Positionnement rapide G00

◆ Syntaxe:

N180 [G90/G91] G00 [R-/R+] X.. Z..

G90 / G91 Programmation absolue ou programmation relative.

G00 Positionnement rapide.

R- / R+ Positionnement avant ou apres le point programme (à distance égale à la valeur du rayon de l'outil déclaré).

X.. Z.. Coordonnées du point à atteindre (G90); valeurs des déplacements (G91).

◆ Propriétés :

La fonction G00 est modale.

◆ Révocation :

G00 est révoquée par G01, G02 et G03

◆ Particularités:

Les arguments facultatifs R+ et R- ne sont actifs que dans le bloc où ils sont programmés.

❖ G01 interpolation linéaire

◆ Désignation:

G01 : interpolation linéaire à vitesse d'avance travail programmée.

Le point programme est atteint en effectuant une trajectoire linéaire à vitesse d'avance travail programmée, quels que soient les axes programmés (X et Z, U et V, C).

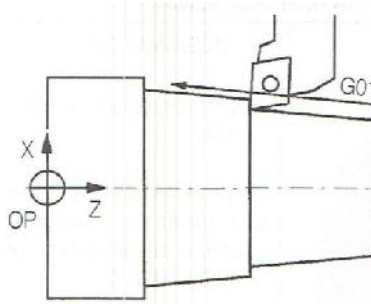


Figure 109 a. Interpolation linéaire G01

♦ **Syntaxe:**

N200 [G90IG91] G01 [R-IR+] X.. Z.. [F..]

G90 / G91 Programmation absolue ou programmation relative.

G01 Positionnement rapide.

R-/R+ Positionnement avant ou après le point programme (à distance égale à la valeur du rayon de l'outil déclaré).

X.. Z.. Coordonnées du point à atteindre (G90); valeurs des déplacements (G91).

F.. Vitesse d'avance.

♦ **Propriétés :**

Fonction modale, initialisée à la mise sous tension.

♦ **Révocation :**

G01 est révoquée par G00, G02 et G03.

♦ **Particularités :**

Les arguments facultatifs R+ et R- ne sont actifs que dans le bloc où ils sont programmés.

❖ **G02 / G03 Interpolations circulaires**◆ **Désignation:**

G02 : interpolation circulaire sens anti-trigonométrique à vitesse d'avance travail programmée.

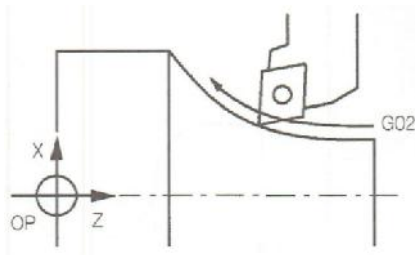


Figure 110 a. Interpolation circulaire sens anti-trigonométrique

G03 : interpolation circulaire sens trigonométrique à vitesse d'avance travail programmée.

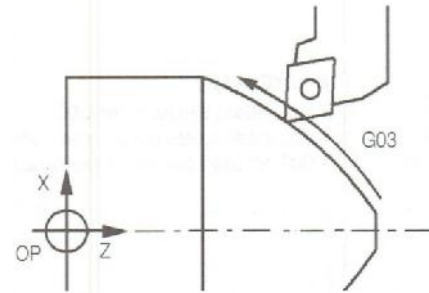


Figure 110b. Interpolation circulaire sens trigonométrique

Figure 110. Interpolations circulaires

Le point programmé est atteint en effectuant une trajectoire circulaire.

◆ **Syntaxe:**

N100 [G90 / G91] G02 / G03 Z .. I .. K .. / R .. [F..]

G90 / G91 Programmation absolue ou programmation relative.

G02 Interpolation circulaire sens anti-trigonométrique,

G03 Interpolation circulaire sens trigonométrique,

X.. Z .. Coordonnées du point à atteindre.

I.. K.. Position du centre de l'interpolation dans le plan XZ (I suivant X, K suivant Z).

R.. Rayon du cercle interpolé.

F.. Vitesse d'avance.

◆ **Propriétés :**

G02 et G03 sont modales.

◆ **Révocation :**

G02 est révoquée par G00, G01 et G03.

G03 est révoquée par G00, G01 et G02.

◆ **Particularités :**

Le point programme n'est pas atteint lorsque le bloc suivant est enchaîné avec un lissage de trajectoire.

Dans un bloc programme en G02 ou G03, les adresses qui permettent d'exécuter l'interpolation sont obligatoires (XZ, IK ou R) même si elles ne varient pas par rapport au bloc précédent.

• **SENS DE DEPLACEMENT SUIVANT LA POSITION DE LA TOURELLE**

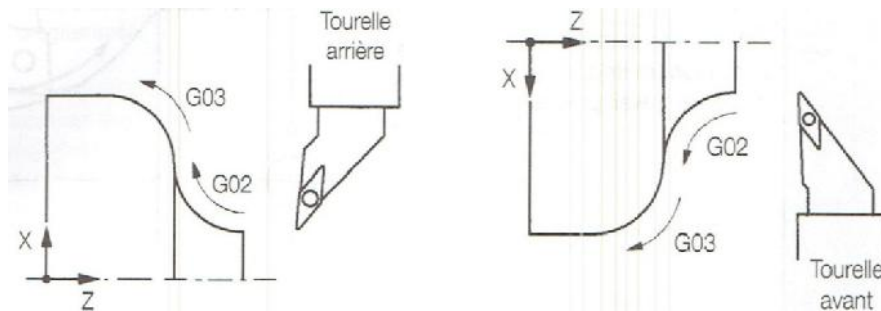


Figure 111. Sens de déplacement suivant la position de la tourelle

❖ **G23 Interpolation circulaire définie par 03 point**

◆ **Désignation:**

G23 : interpolation circulaire définie par 3 points.

Elle peut être exécutée par programmation du point de départ défini dans le bloc précédant la fonction G23, du point d'arrivée et du point intermédiaire définis dans le bloc avec G23.

Le sens de l'interpolation est défini par la position du point intermédiaire b par rapport aux points de départ a et d'arrivée c.

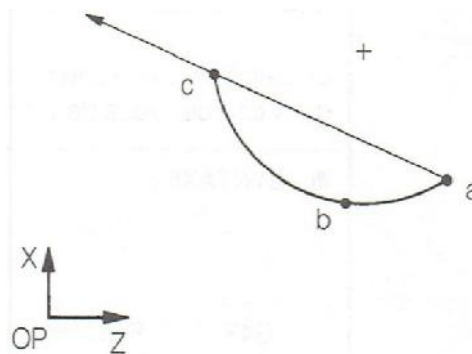


Figure 112. Interpolation circulaire définie par 03 points G23

♦ **Syntaxe:**

N240 [G90 / G91] G23 X.. Z .. I.. K.. [P ..]

G90 / G91 Programmation absolue ou programmation relative.

G23 Interpolation circulaire.

Z .. Coordonnées du point d'arrivée.

I.. K .. Coordonnées du point intermédiaire.

F.. Vitesse d'avance.

♦ **Propriétés :**

Fonction non modale

♦ **Révocation :**

G23 est révoquée en fin de bloc.

♦ **Particularités :**

Les arguments de la fonction G23 ne doivent être séparés par aucune adresse.

G23 peut être programmée en absolu (G90) ou en relatif (G91).

❖ **G48 Interpolation spline**♦ **Désignation:**

G48 : définition d'une courbe spline.

La définition d'une courbe spline comprend plusieurs instructions: fonction de définition, numéro de la courbe, blocs de définition des points de la courbe.

♦ **Syntaxe:**

N280 G48 NC .. H ../ N ..

G48 Fonction de définition d'une courbe spline.

NC.. Argument définissant le numéro de la courbe.

H.. Numéro du sous-programme dans lequel sont définis les points de la courbe (optionnel).

N.. N.. Numéros du premier et dernier bloc de définition des points de la courbe.

♦ **Propriétés :**

La fonction G48 est non modale.

♦ **Révocation:**

G48 est révoquée en fin de bloc.

♦ **Particularités :**

Si l'axe X de la machine est paramètre au diamètre, la programmation d'une courbe spline entraîne les conditions suivantes :

- ✓ Le bloc contenant G48 devra être précédé du paramètre externe E11005 = 0 (forçage de la programmation au rayon) ;
- ✓ les points de définition de la courbe N.. N.. devront être programmés au rayon;
- ✓ après exécution de la courbe G06 NC.., l'annulation éventuelle de la programmation au rayon est réalisée par E11005 = 1 (forçage de la programmation au diamètre).

♦ **BLOCS DE DEFINITION DES TANGENTES ET DES POINTS DE LA COURBE :**

N..

N150 X5 Z-2.5 tangent d'origine

$\left. \begin{array}{l} X.. Z.. \\ X.. Z.. \\ X.. Z.. \\ X.. Z.. \end{array} \right\}$ point de la courbe

N160 X.. Z.. tangente d'arrivée

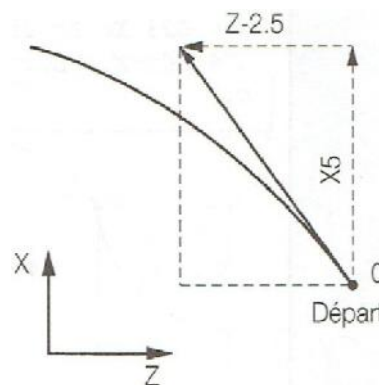


Figure 113. Blocs de définition des tangentes et des points de la courbe

Le nombre de points est limité à 255 maxi et 3 mini. G48 doit être programmée en état G40.

Les fonctions M, F et S peuvent être programmées dans les blocs de définition de la courbe.

❖ G06 interpolation spline exécution**◆ Désignation:**

G06 : ordre d'exécution d'une courbe spline

◆ Syntaxe:

N230 G06 NC ..

G06 Fonction forçant l'ordre d'exécution d'une courbe spline.

NC.. Numéro de la courbe.

◆ Propriétés:

La fonction G06 est non modale.

◆ Révocation :

G06 est révoquée en fin de bloc.

◆ Particularités:

Les fonctions F, S et T ne peuvent être programmées dans le bloc contenant G06 NC.

❖ G49 Interpolation spline suppression**◆ Désignation:**

G49 : suppression d'une courbe spline.

La fonction permet la libération de l'espace mémoire occupé par la courbe déjà exécutée.

◆ Syntaxe:

N300 G49 NC ..

G49 Suppression d'une courbe spline.

NC.. Numéro de la courbe a supprimer.

◆ Propriétés:

La fonction G49 est non modale.

◆ Révocation:

G49 est révoquée en fin de bloc.

◆ Particularités:

La fonction G49 doit être programmée en G40.

III. 6.3.5 Vitesse de déplacements

❖ G94 Vitesse d'avance par minute (en millimètres, pouces ou degrés)

♦ Détermination de la vitesse d'avance V_f en $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$

$$V_f = N \cdot f_z \cdot Z$$

fréquence de rotation (en $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$) avance par dent (en mm) nombre de dents de l'outil

✎ Exemple:

$N = 750 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$; $f_z = 0,1 \text{ mm}$; $Z = 2 \text{ dents}$

$V_f = 750 \times 0,1 \times 2 = 150 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ (soit F150 en code ISO).

♦ Désignation:

G94 : vitesse d'avance exprimée en millimètres, pouces ou degrés par minute.

La vitesse d'avance s'exprime en mm ou pouce par minute sur les axes linéaires (XZ, UW) et en degré par minute sur les axes rotatifs (AC).

♦ Syntaxe:

N200 G94 F.. G01 / G02 / G03 X.. Z.. C..

G94 Fonction vitesse d'avance en $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$, $\text{in} \cdot \text{min}^{-1}$, $\text{degré} \cdot \text{min}^{-1}$.

F.. Argument obligatoire définissant la vitesse programmée.

G01 / G02 / G03 Interpolation linéaire ou circulaire.

X.. Z.. Coordonnées du point à atteindre sur les axes linéaires.

C.. Coordonnées angulaires à atteindre sur un axe rotatif.

♦ Propriétés :

Fonction modale, initialisée à la mise sous tension

♦ Révocation:

G94 est révoquée par G95.

♦ Particularités:

Les limites de la vitesse d'avance sont définies par le constructeur de la machine.

Lors d'un changement d'unité de vitesse d'avance, la fonction G définissant la nouvelle unité doit être suivie obligatoirement de l'argument F...

❖ **G95 Vitesse d'avance par tour (en millimètres ou pouces)**◆ **DESIGNATION:**

G95: vitesse d'avance exprimée en millimètres ou en pouces par tour.

◆ **Syntaxe:**

N210 G95 F .. G01 / G02 / G03 X .. Z ..

G95 Fonction vitesse d'avance en mm. tr-1, in. tr-1.

F.. Argument obligatoire définissant la vitesse programmée.

G01 / G02 / G03 Interpolation linéaire ou circulaire.

X.. Z.. Coordonnées du point à atteindre sur les axes linéaires.

◆ **Propriétés:**

Fonction modale

◆ **Révocation:**

G95 est révoquée par G94.

◆ **Particularités:**

Les limites de la vitesse d'avance sont définies par le constructeur de la machine. Lors d'un changement d'unité de vitesse d'avance, la fonction G définissant la nouvelle unité doit être suivie obligatoirement de l'argument F...

La programmation de l'avance en pouce/mln n'est possible que si le système est en G70 (programmation en pouce).

❖ **G92 Vitesse d'avance tangentielle**◆ **Désignation:**

G92 R.. : vitesse d'avance tangentielle.

Cette fonction permet d'appliquer l'avance tangentielle lors de l'usinage de courbes en correction de rayon d'outil.

L'avance F.. n'est plus appliquée au centre de l'outil mais au point de tangence outil/pièce.

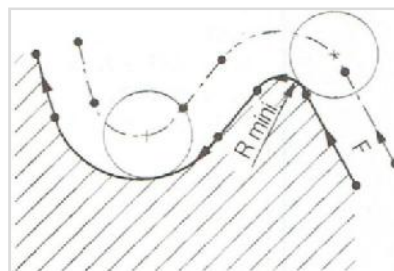


Figure 114. Vitesse d'avance tangentielle G92 R

◆ **Syntaxe:**

N200 G92 R ..

G92 Avance tangentielle appliquée à la correction de rayon d'outil.

R.. Argument obligatoire programmé définissant la valeur mini du rayon de courbe en dessous de laquelle l'avance tangentielle n'est pas traitée.

◆ **Propriétés:**

Fonction modale.

◆ **Révocation :**

G92 R.. est révoquée par:

- * la fonction d'annulation G92 R0;
- * la fonction M02 de fin de programme;
- * la fonction G92 R.. affectée d'un rayon différent
- * la remise à l'état initial (RAZ).

◆ **Particularités:**

La fonction G92 programmée dans un bloc ne peut être accompagnée de trajectoires.

III. 7.Cycles d'usinage

❖ **G80 Annulation d'un cycle d'usinage**

◆ **Désignation:**

G80 : annulation d'un cycle d'usinage.

Cette fonction révoque les cycles d'usinage.

◆ **Syntaxe:**

N100 G80

G80 Annulation de cycle d'usinage

◆ **Propriétés:**

La fonction G80 est modale et initialisée à la mise sous tension.

◆ **Révocation:**

La fonction G80 est révoquée par les fonctions G64, G81, G82, G83, G84, G85, G87 et G89.

III. 7.1Cycle d'ébauche

❖ **G64 Cycle d'ébauche paraxial**

◆ **Désignation:**

G64 : cycle d'ébauche paraxial.

Cette fonction permet l'ébauche d'un volume de matière situé entre les définitions d'un profil brut et d'un profil fini. Le cycle peut être exécuté par dressage ou chariotage, pour des usinages extérieurs ou intérieurs.

♦ **Syntaxe:**

N.. G64 [N.. N ..] / [EP ..] [I .. K ..] P .. / R ..

$$\left. \begin{array}{l} N.. \\ N.. \\ N.. \end{array} \right\} \text{ DEFINITION DU BRUT}$$

G64 Cycle d'ébauche paraxial.

N.. N .. Numéros du premier et du dernier bloc définissant le profil fin; (mini 2 blocs, maxi 50 blocs).

EP.. Numéro de contour créé par la fonction profil.

I.. Surépaisseur de finition suivant X (par défaut I= 0).

K.. Surépaisseur de finition suivant Z (par défaut K = 0).

P.. / R.. P..: profondeur de passe suivant X (ébauche suivant Z).

R..: profondeur de passe suivant Z (ébauche suivant X).

Définition du brut : Suite de blocs définissant les dimensions du brut situées entre G64 et l'annulation du cycle.

♦ **Propriétés:**

La fonction G64 est modale.

♦ **Révocation:**

La fonction G64 est révoquée par la fonction G80.

♦ **Particularités:**

Lorsque le cycle est programmé, le système doit être G40.

La fonction de vitesse d'avance et son argument peuvent être programmés dans le bloc du cycle.

✓ **Profil fini**

La définition du profil peut être programmée avant l'appel du cycle. Il est alors nécessaire d'utiliser la fonction G79 de saut de bloc. Les blocs définissant les bornes du profil doivent comporter les coordonnées en X et Z.

Les adresses I et K peuvent être munies du signe (sur épaisseur pour un alésage).

Le cycle n'exécute pas l'ébauche des gorges comprises dans la définition du profil.

En fin de cycle, le système est initialisé en G00. dans l'état Les variables programmes L100 à L199 et L900 à L959 ne peuvent pas être employées dans la définition du profil fini.

✓ **Profil brut**

Le brut ne peut pas contenir de bloc en PGP et de bloc définissant une courbe.

❖ **G65 Cycle d'ébauche de gorge**

◆ **Désignation:**

G65: cycle d'ébauche de gorge

Cette fonction permet l'ébauche d'une gorge dont le profil est programmé en cours de définition d'un profil fini. Le cycle peut être exécuté par dressage (gorges frontales) ou chariotage (gorges axiales).

◆ **Syntaxe :**

N.. G65 [N.. N ..] [EP ..] X.. / Z .. [I.. K ..] EA.. P.. / R.. [Q..] [EF ..]

G65 Cycle d'ébauche de gorge.

N.. N.. Numéros du premier et du dernier bloc définissant le profil fini (mini 2 blocs maxi 50 blocs).

EP.. Numéro de contour créé par la fonction profil.

X.. / Z.. Position de fin de passe sur l'axe d'ébauche de la gorge (X pour ébauche frontale; Z pour ébauche axiale).

I.. Surépaisseur de finition suivant X (par défaut I = 0).

K.. Surépaisseur de finition suivant Z (par défaut K = 0).

EA.. Angle de prise de passe dans la gorge.

P.. profondeur de passe suivant X (ébauche suivant Z) ;

R.. profondeur de passe suivant Z (ébauche suivant X).

Q.. Garde de positionnement (par défaut Q = 0).

EF.. Vitesse d'avance de pénétration dans la matière.

◆ **Propriétés:**

La fonction G65 est non modale.

◆ **Révocation:**

La fonction G65 est révoquée en fin de bloc.

◆ **Particularités:**

Les blocs définissant les bornes du profil doivent comporter les coordonnées en X et Z.

Le bloc de positionnement outil au départ du cycle doit être programmé en G40.

La fonction de vitesse d'avance et son argument peuvent être programmés dans le bloc du cycle.

❖ G63 Cycle d'ébauche de profil avec gorge

Cette fonction disponible sur NUM 1040/1060 permet de réaliser une ébauche de profil avec gorge (fonctions G64 et G65) par l'appel d'une seule fonction.

◆ Désignation:

G63 : cycle d'ébauche avec gorge.

Cette fonction permet l'ébauche d'un volume de matière situé entre la définition d'un profil brut et un profil fini. Le cycle peut être exécuté par dressage ou chariotage pour des usinages extérieurs ou intérieurs.

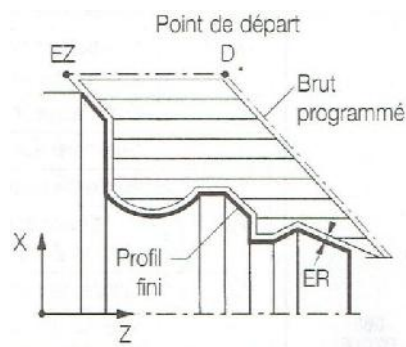


Figure 115. Cycle d'ébauche de profil avec gorge

◆ Syntaxe:

N.. G63 [N.. N..] / [EP..] X.. Z.. EX .. / EZ.. P.. / R.. EA.. / EU.. / EW.. [EB..] [EC..]
[ER..] [Q..] [EQ..] [EF..]

N.. N.. Numéros du premier et du dernier bloc définissant le profil fini (maxi 95 blocs).

EP.. Numéro de contour créé par la fonction profit.

X.. Z.. Position de départ du cycle.

EZ../ EX.. Position de fin de passe sur l'axe d'ébauche (EZ pour ébauche axiale suivant Z; EX pour ébauche frontale suivant X).

P.. profondeur de passe suivant X (ébauche suivant Z);

R.. profondeur de passe suivant Z (ébauche suivant X).

EA../EU../EW.. Position de départ des passes d'ébauche, La programmation de ces arguments permet la définition d'un angle de départ pour la prise de passe.

EB... Angle de limite de pénétration en gorge.

EC... Angle limite en fin de passe sur l'axe d'ébauche.

ER.. Surépaisseur de finition.

Q.. Garde de positionnement (par défaut $Q = 0$).

EQ.. Valeur du copeau mini (en deca de la valeur programmée, la passe n'est pas réalisée).

EF.. Vitesse d'avance de pénétration dans la matière.

♦ **Propriétés:**

La fonction G63 est non modale.

♦ **Révocation:**

La fonction G63 est non modale

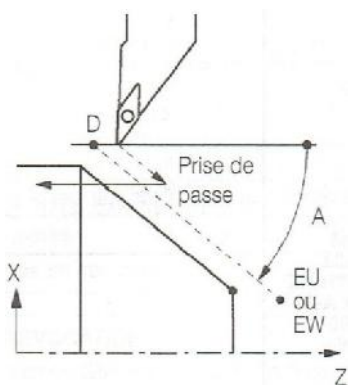
♦ **Particularités :**

Le bloc de positionnement outil au départ du cycle doit être programme en G40.

Les arguments définissant des angles sont repères selon le sens trigonométrique.

♦ **Particularités liées aux arguments EA, EU et EW:**

EA: angle limitant le départ des prises de passes entre le point D (départ du cycle) et l'intersection avec le profil fini.



EU ou EW: point limite de la dernière passe d'ébauche, Si l'argument EA n'est pas programmé, les valeurs déclarées avec EU et/ou EW et A permettent de définir l'angle A de départ.

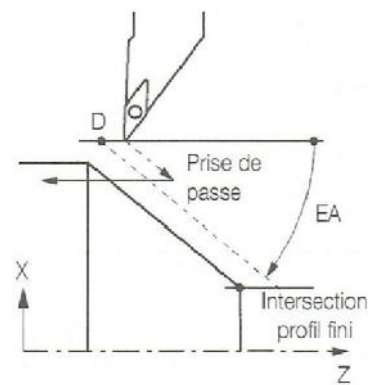
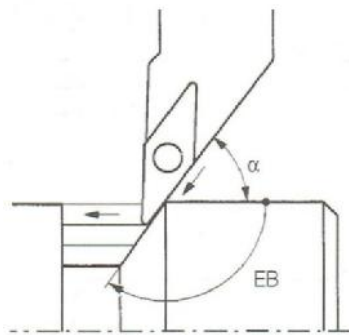


Figure 116. Particularités liées aux arguments EA, EU et EW

♦ **Particularités liées aux arguments EB et EC:**

Angle défini par EB



Angle défini par EC

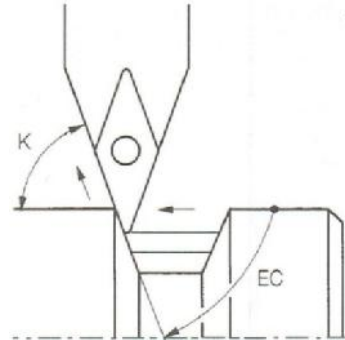


Figure 117. Particularités liées aux arguments EB et EC

❖ **G66 Cycle de défonçage**

♦ **Désignation:**

G66 : cycle de défonçage.

Cette fonction permet l'ébauche d'une gorge axiale ou frontale par plongées successives.

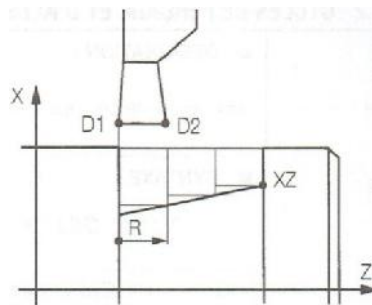


Figure 118. Cycle de défonçage G66

♦ **Syntaxe :**

N.. G66 D.. X.. Z.. [EA..] P.. / R.. [EP..] [EF..]

G66 Cycle de défonçage,

D.. Numéro du second correcteur d'outil, Le premier correcteur doit être programme dans un bloc précédent.

X.. Z.. Position de fin d'usinage de la gorge.

EA.. Angle définissant la pente en fond de gorge.

P.. / R.. Déplacement entre chaque plongée (P = valeur suivant X ; R = valeur suivant Z).

EP.. Valeur du déplacement à 45° en fin de passe.

EF.. Temporisation en fin de plongée exprimée en secondes (par défaut EF = 0).

◆ **Propriétés:**

La fonction G66 est non modale.

◆ **Révocation:**

La fonction G66 est révoquée en fin de bloc.

◆ **Particularités :**

Lorsque le cycle est programme, le système doit être en G40.

Les plongées de l'outil sont réparties uniformément sur la largeur de la gorge.

La fonction de vitesse d'avance et son argument peuvent être programmés dans le bloc du cycle.

Déclaration des deux correcteurs d'outil :

- * correcteur 001 : flanc de départ de gorge suivant Z ; point A.
- * correcteur 010 : flanc de fin de gorge suivant Z; point B.
- * La différence de valeur entre les correcteurs doit être égale à la largeur de l'outil.

III. 7.2 Cycle de perçage et d'alésage

❖ **G81 Cycle de perçage-centrage**

◆ **Désignation:**

G81 : cycle de perçage-centrage

◆ **Syntaxe:**

N100 G81 X .. / Z .. [ER ..] [EH ..]

G81 Cycle de perçage-centrage.

X .. / Z .. Point à atteindre sur l'axe d'usinage.

ER .. Cote du plan de dégagement sur l'axe d'usinage.

EH .. Cote du plan d'attaque sur l'axe d'usinage.

◆ **Propriétés:**

La fonction G81 est modale.

◆ **Révocation:**

La fonction G81 est révoquée par les fonctions G80, G82, G83, G84, G85, G87, G89 ou G64, G65 et G66.

◆ **DEROULEMENT DU CYCLE:**

- * positionnement rapide dans l'axe d'usinage,
- * pénétration à la vitesse d'avance F.
- * dégagement en vitesse rapide suivant l'axe de l'outil.

❖ **G82 Cycle de perçage-chambrage**

◆ **Désignation:**

G82 : cycle de perçage-chambrage

◆ **Syntaxe:**

N150 G82 X .. / Z .. [ER ..] [EH ..] EF ..

G82 Cycle de perçage-chambrage.

X .. / Z.. Coordonnées du point à atteindre sur l'axe d'usinage.

ER.. Cote du plan de dégagement sur l'axe d'usinage.

EH.. Cote du plan d'attaque sur l'axe d'usinage.

EF.. Temporisation en secondes (maxi 99.99 s).

◆ **Propriétés:**

La fonction G82 est modale.

◆ **Révocation:**

La fonction G82 est révoquée par les fonctions G80, G81, G83, G84, G85, G87, G89 ou G64, G65 et G66.

◆ **DEROULEMENT DU CYCLE:**

- * positionnement rapide dans l'axe d'usinage,
- * pénétration à la vitesse d'avance F,
- * temporisation en fin de perçage,
- * dégagement en vitesse rapide suivant l'axe de l'outil.

❖ **G83 Cycle de perçage –débouirage**◆ **Désignation:**

G83 : cycle de perçage-débouirage

◆ **Syntaxe:**

N120 G83 X .. / Z .. [ER..] [EH ..] [P ..] / [ES ..] [Q..] [EP ..] [EF..]

G83 Cycle de perçage-débouirage.

X.. / Z.. Coordonnées du point à atteindre sur l'axe d'usinage.

ER.. Cote du plan de dégagement sur l'axe d'usinage.

EH.. Cote du plan d'attaque sur 'axe d'usinage.

P.. Valeur de la première pénétration.

ES.. Nombre de pénétrations.

Q.. Valeur de la dernière pénétration.

EP.. Garde de retour après chaque débouirage.

EF.. Temporisation à chaque fin de pénétration.

◆ **Propriétés:**

La fonction G83 est modale.

◆ **Révocation :**

La fonction G83 est révoquée par les fonctions G80, G81, G82, G84, G85, G87, G89 ou G64, G65 et G66.

◆ **Particularités:**

Si P et Q sont programmes, les pénétrations successives seront de valeurs dégressives.

La programmation de P ou de ES est obligatoire.

❖ **G87 Cycle de perçage avec brise-copeaux**◆ **Désignation:**

G87 : cycle de perçage avec brise-copeaux

◆ **Syntaxe:**

N130 G87 X .. /Z .. [ER] .. [EH..] [P ..] / [ES ..] [Q ..] [EP ..] [EF ..]

G87 Cycle de perçage avec brise-copeaux.

X .. / Z.. Coordonnées du point à atteindre sur l'axe d'usinage.

ER.. Cote du plan de dégagement sur l'axe d'usinage.

EH.. Cote du plan d'attaque sur l'axe d'usinage.

- P.. valeur de la première pénétration.
- ES.. Nombre de pénétrations.
- Q.. Valeur de la dernière pénétration.
- EP.. Garde de retour après chaque déburrage.
- EF.. Temporisation a chaque fin de pénétration.

◆ **Propriétés:**

La fonction G87 est modale

◆ **Révocation :**

La fonction G87 est révoquée par les fonctions G80, G81, G82, G83, G84, G85, G89 ou G64, G65 et G66.

◆ **Particularités :**

Si P et Q sont programmes, les pénétrations successives seront de valeurs dégressives.

La programmation de P ou de ES est obligatoire.

❖ **G85 Cycle d'alésage**

◆ **Désignation:**

G85 : cycle d'alésage

◆ **Syntaxe:**

N100 G85 X .. /Z .. [ER ..] [ER ..] [EF ..]

G85 Cycle d'alésage.

X ../Z.. Coordonnées du point a atteindre sur l'axe d'usinage.

ER.. Cote du plan de dégagement sur l'axe d'usinage.

EH.. Cote du plan d'attaque sur l'axe d'usinage.

EF.. Valeur de l'avance de dégagement (par défaut EF = F),

◆ **Propriétés:**

La fonction G8S est modale

◆ **Révocation:**

La fonction G85 est révoquée par les fonctions G31, G8~ G81, G82, G83, G84, G87, G89 ou G64, G65 et G66.

❖ **G89 Cycle d'alésage Avec temporisation**

◆ **Désignation:**

G89 : cycle d'alésage avec temporisation

♦ **Syntaxe:**

NLL0 G89 X .. / Z .. {ER ..} [EH ..] EF

G89 Cycle d'alésage avec arrêt temporisé en fin de trou.
 X../ Z.. Coordonnées du point à atteindre sur l'axe d'usinage.
 ER Cote du plan de dégagement sur l'axe d'usinage.
 EH.. Cote du plan d'attaque sur l'axe d'usinage.
 EF.. Temporisation exprimée en secondes (par défaut EF = 1 s).

♦ **Propriétés:**

La fonction G89 est modale.

♦ **Révocation:**

La fonction G89 est révoquée par les fonctions G31, G80, G81, G82, G83, G84, G85, G87, ou G64, G65 et G66.

III. 7.3 Cycle de filetage et de taraudage❖ **G33 Cycle de filetage à pas constant**♦ **Désignation:**

G33 : cycle de filetage à pas constant.

Cette fonction permet l'exécution de filetages cylindrique, conique et frontal. Les filetages peuvent être exécutés par pénétration droite ou oblique.

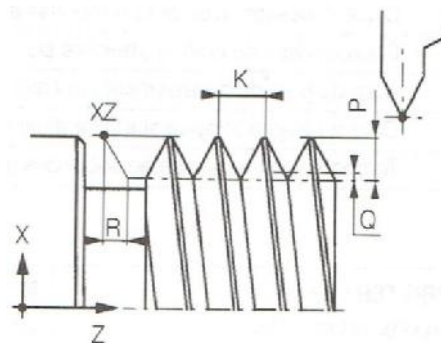


Figure 119. Cycle de filetage à pas constant G33

♦ **Syntaxe:**

N.. G33 X.. Z.. K.. [EA ..] [EB ..] P.. [Q ..] [R ..] [F ..] [S ..] / [ES ..]

G33 Cycle de filetage à pas constant.
 X.. Z Position de l'outil en fin de filetage par rapport à l'origine programme.

K..	Pas suivant l'axe de filetage (X ou Z) en mm.
EA..	Demi-angle au sommet d'un filetage conique (par défaut EA = 0; si EA = 90, filetage frontal.
EB..	Valeur de l'angle de pénétration d'outil (par défaut EB = 0 pénétration droite).
P..	Profondeur totale du filet Q inclus.
Q..	Profondeur de la dernière passe inclus dans P (par défaut sans finition ; Q = 0 passe à vide).
R..	Longueur de la pente de dégagement (par défaut R = 0 : dégagement perpendiculaire à l'axe de filetage.
F..	Nombre de filets (par défaut 1 filet).
S.. / ES..	Nombre de passes; S.. passes de valeurs dégressives; ES.. passes de valeurs constantes.

♦ **Propriétés:**

La fonction G33 est non modale.

♦ **Révocation:**

La fonction G33 est révoquée en fin de bloc.

♦ **Particularités:**

Les fonctions modales présentée avant l'appel de G33 sont restituées après exécution du cycle.

❖ **G38 Cycle de filetages enchainés**

♦ **Désignation:**

G38 : cycle de filetages enchaines.

Cette fonction permet l'exécution de plusieurs filetages successifs. Les filetages peuvent être cylindriques ou coniques.

♦ **Syntaxe:**

N.. G38 X .. Z .. K ..

G38 Cycle de filetages enchainés.

X.. Z.. Position de l'outil en fin de filetage par rapport à l'origine programme.

K.. Pas suivant l'axe de filetage (X ou Z) en mm.

♦ **Propriétés:**

La fonction G38 est modale.

♦ **Révocation :**

La fonction G38 est révoquée par les fonctions G00, G01, G02 ou G03.

♦ **Particularités :**

Des pas différents peuvent être programmés dans les blocs suivant la fonction G38.

Les passes successives sur les cycles peuvent être programmées par appels de sous-programmes.

❖ **G84 Cycle de taraudage**

♦ **Désignation:**

G84 : cycle de taraudage

Ce cycle permet l'exécution d'un taraudage avec porte-taraud flottant.

♦ **Syntaxe:**

N150 G84 X .. / Z .. [ER ..] [EH ..] EF ..

G84 Cycle de taraudage.

X .. / Z.. Coordonnées du point à atteindre sur l'axe d'usinage.

ER... Cote du plan de dégagement sur l'axe d'usinage.

EH.. Cote du plan d'attaque sur l'axe d'usinage.

EF.. Temporisation en secondes (maxi 99.99 s) Par défaut EF = 1 s.

♦ **Propriétés:**

La fonction G84 est modale.

♦ **Révocation:**

La fonction G84 est révoquée par les fonctions G80, G81, G82, G83, G85, G87, G89 ou G64, G65 et G66.

♦ **Particularités:**

L'avance n'est pas asservie à la rotation de la broche. Le taraud doit être monté flottant pour compenser les écarts de position.

❖ **G84 Cycle de taraudage rigide**

♦ **Désignation:**

G84 : cycle de taraudage rigide

Ce cycle permet d'asservir l'avance de l'outil à la rotation de la broche. La vitesse d'avance est calculée selon la fréquence de rotation de la broche et le pas programmé.

♦ **Syntaxe:**

N190 G84 X .. / Z .. K. . [ER..] [EH..] [EK..]

G84	Cycle de taraudage rigide.
X.. / Z ..	Coordonnées du point à atteindre sur l'axe d'usinage.
K..	Pas du taraudage en mm (différencie le taraudage simple du taraudage rigide).
EA..	Cote du plan de dégagement sur l'axe d'usinage.
EH..	Cote du plan d'attaque sur l'axe d'usinage.
EK..	Rapport de la fréquence de rotation de broche dégagement /pénétration (par défaut EK = 1).

◆ **Propriétés:**

La fonction G84 est modale.

◆ **Révocation:**

La fonction G84 est révoquée par les fonctions G80, G81, G82, G83, G85, G87, G89 ou G64, G65 et G66.

◆ **Particularités:**

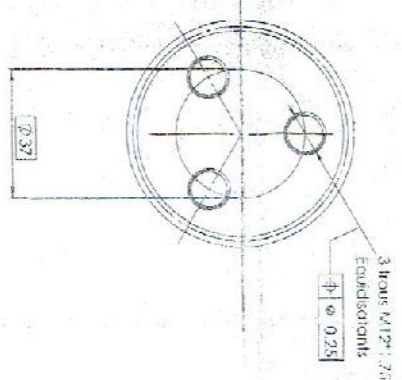
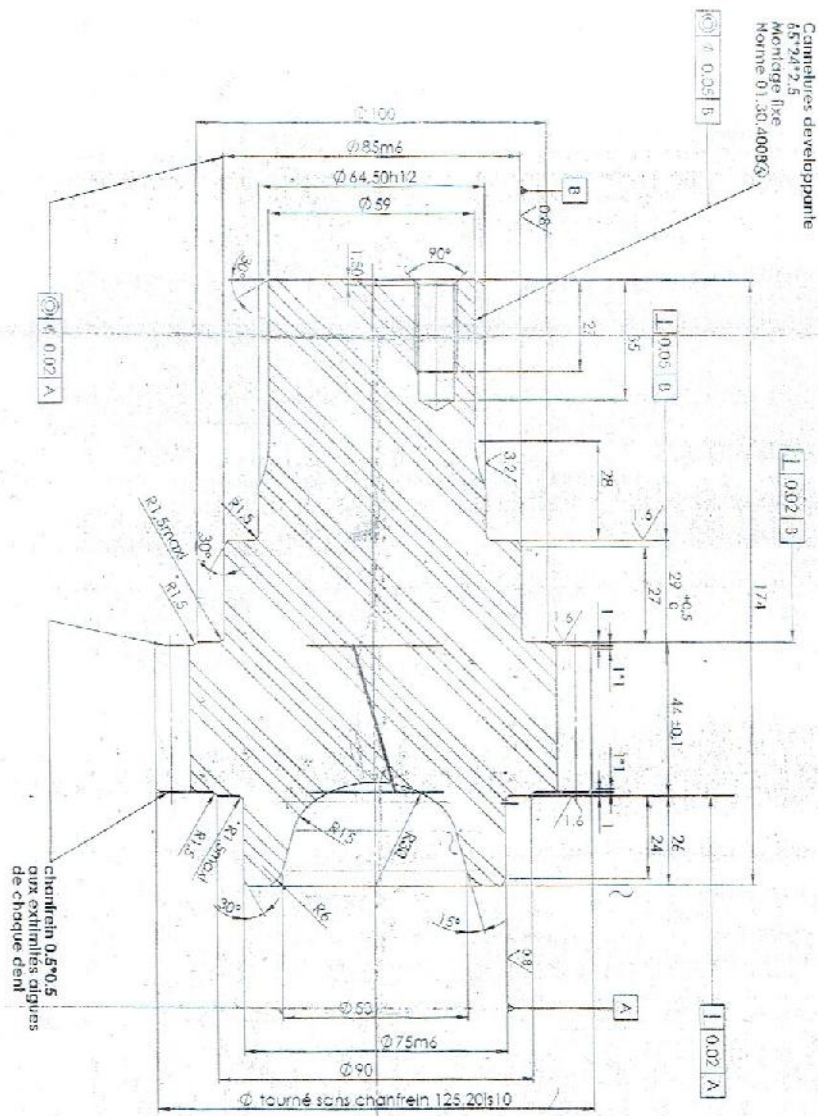
L'avance n'est pas asservie à la rotation de la broche. Le taraud doit être monté flottant pour compenser les écarts de position.

Chapitre IV :

Partie pratique



Cannelures développante
 65°24'2,5
 Montage fixe
 Norme 01.30.40083



CARACTERISTIQUES DENTURE

Denture cylindrique type : Hélicoïdale
 Nombre de dents : 24
 Module réel : 4.5
 Angle de pression réel : 20°
 Angle d'hélice : 17°43'12"
 caractéristique calcul n° : 189705

Matière :
 Acier 18NiCr5-4
 Cémenté trempé

ÉCOLE D'USINAGE SANS TOLÉRANCE R13
 ÉTAT DE SURFACE SANS INDICATIONS

Échelle : 1:1

PIGNON
 DE COMMANDE

dessiné par : TITAKH idriss
 MEDJER Ali
 Date : 19-02-2015

longue
 fr

N° 190788

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
 DE TECHNOLOGIE

IV. 1. le dossier de fabrication**V. 1.1. Définition :**

Le processus industriel est l'enchaînement des actions nécessaires à la mise en œuvre d'un procédé, mode d'élaboration impliquant la mise en œuvre de moyens définis.

Ce processus est consigné dans un ensemble de documents appelé dossier de fabrication.

IV. 1.2. Les composants d'un dossier de fabrication**IV. 1.2.1. Dessin d'ensemble et nomenclature**

Le dessin d'ensemble représente la solution adoptée pour le mécanisme à réaliser. Il comporte l'indication des conditions fonctionnelles (jeux, ...) ainsi que les dimensions essentielles.

IV. 1.2.2. Dessin de définition de produit fini

Dessin relatif à une pièce d'un ensemble définissant sans ambiguïté, les surfaces fonctionnelles à savoir :

- leurs formes,
- dimensions et positions,
- états de surface,
- matériau et traitements éventuels.

Les surfaces enveloppes ne sont représentées qu'à titre indicatif (encombrement, esthétique,...) et pourront être remises en cause par le bureau des méthodes d'obtention du brut par exemple. Ce document constitue une étape permettant d'engager le dialogue entre les méthodes et la fabrication.

IV. 1.2.3. Avant-projet d'étude du brut

Elaboré par le bureau des méthodes du brut, cette étude permet de définir les formes et d'arrêter le procédé.

Ce document ne comportera aucune cote mais des renseignements sur les dépouilles et l'emplacement du plan de joint.

IV. 1.2.4. Avant-projet d'étude de fabrication

Ce document, suite ordonnée possible des différentes phases intervenant dans un processus d'exécution d'une pièce, consigne pour chaque phase :

- les mises en position géométrique sur silhouettes ;
- le repérage des surfaces à réaliser ;
- les opérations à effectuer.

IV. 1.3. Ordonnancement des opérations d'usinage

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

- Un dossier comprenant :
 - Une gamme générale ou fiche suiveuse ;
 - Le dessin de définition de produit (d. d. p.) (figure 120) ;
 - Un bon de travail qui précise, pour la phase à réaliser, l'étendue de la tâche et le temps alloué ;
 - Eventuellement, pour une fabrication répétitive un contrat de phase.

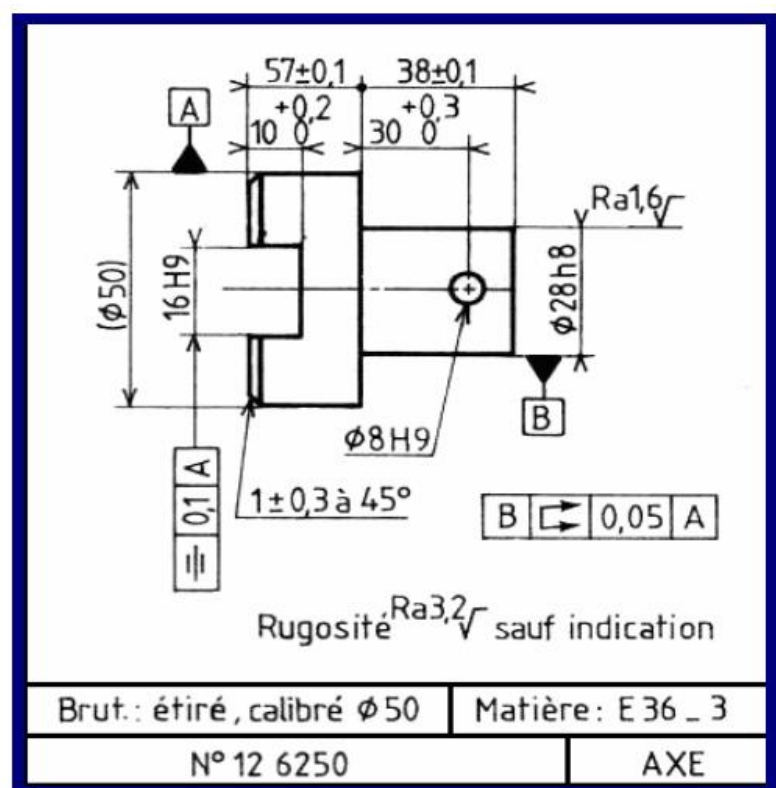


Figure 120. Ordonnancement des opérations d'usinage

- **Les pièces** à transformer et conformes aux exigences de la phase précédente.
- **Le poste de travail** équipé.
- **Objet des principaux documents.**

IV. 1.3.1. Définition de quelques termes

▪ La phase

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

- **La sous-phase**

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

- **L'opération**

C'est une transformation de la pièce qui met en œuvre un seul des moyens dont est doté le poste de travail. On repère les phases par des nombres (10, 20, 30, etc.) ; les sous-phases par des nombres : 21, 22... , pour celles de la phase 20, etc. ; les opérations par des nombres : 210, 211, 212..., pour celles de la sous-phase 21, etc.

- **La gamme générale (gamme de fabrication)**

Document qui précise la suite ordonnée des différentes étapes qui interviendront, dans le processus d'exécution d'une ou plusieurs pièces. La gamme générale reste au B.M.

- **Le contrat de phase**

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

IV. 1.3.2. Contenu d'un contrat de phase

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

- **à la phase** : poste de travail ; porte-pièce utilisé ; numéro de phase.

- **à la pièce** : nom de la pièce et de l'ensemble auxquels elle appartient ; nombres de pièces à fabriquer ; matière et origine du brut ; croquis de la pièce dans l'état où elle se trouvera en quittant le poste de travail à la fin de la phase.

Il faut un croquis par sous-phase (exemple page suivante). Il précise :

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

PHASE N 20		CONTRAT DE PHASE		Machine ou poste : Tour parallèle													
Désignation : Tournage			Pièce : Support avant droit		Qté : 5												
Sous-phase : 21			Matière : Ft 20														
			Produit : Montage de mise en position														
Croquis de phase																	
<table><tr><td>C</td><td></td><td>0,02</td><td>B</td></tr><tr><td>D</td><td></td><td>0,05</td><td>A</td></tr><tr><td>B</td><td></td><td>0,02</td><td>A</td></tr></table>						C		0,02	B	D		0,05	A	B		0,02	A
C		0,02	B														
D		0,05	A														
B		0,02	A														
Pièce montée en plateau. Matériel standard de mise et maintien en position.																	
Désignation des sous-phases et opérations		Outils et outillages		Verificateurs		Conditions de coupe											
210	Contrôle des dimensions du brut			Calibre à coulisse													
211	E ₃ Ébauche de ③	Outil à dresser d'angle Acier rapide R 20 q 20° r _ε = 0,8		Calibre à coulisse		V = 35 m/min N = 100 tr/min a ≈ 2, f = 0,3											
212	1/2 F ₃ demi-finition de ③	Outil à dresser d'angle R 20 q 20° r _ε = 0,8		Calibre à coulisse et micromètre 25-50 et calibre à machoire 50 f 8		V = 45 m/min N = 125 tr/min a ≈ 0,25, f = 0,2											
213	F ₃ finition de ③																
214	F ₂ finition directe de ②	Outil coudé à chariotier Acier rapide R 20 q 20° r _ε = 0,8		Jauge de profon- deur		V = 35 m/min N = 230 tr/min a ≈ 2,5, f = 0,3											
215	E'₁ centrage de ①	Foret à centrer ø 3,15															
216	E''₁ perçage à ø 23	Foret ø 23				N = 500 tr/min											
217	F ₄ finition directe de ④	Outil à chambrer Acier rapide 12 q 5°		Micromètre 25-50		V = 35 m/min N = 300 tr/min a ≈ 2, f = 0,1											
218	1/2 F ₁ demi-finition de ①	Outil à aléser Acier rapide 12 q 20° R ε = 0,4		Micromètre 3 tou- ches Tampon de 25 H 7		V = 45 m/min N = 600 tr/min a ≈ 0,25, f = 0,1											
219	F ₁ finition de ①																

Figure 121. Contenu d'un contrat de phase

La fiche suiveuse

C'est une copie de la gamme de fabrication qui en général reste en archive aux bureaux des méthodes. Elle suit le lot de pièces tout au long de sa fabrication. On la considère comme la carte d'identité de la pièce.

Société.....					FICHE SUIVEUSE			
N° DE PIÈCE 12 6250	DÉSIGNATION Support avant droit				QUANTITÉ 50	N° COMMANDE 335	DÉLAI 30-03-2006	
N° ENSEMBLE 12 6200	DÉSIGNATION Vérin pneumatique de bridage				DATE DE LANCEMENT: 20-02-2006		DATE DE SORTIE MATIÈRE : 24-02-2006	
N° PH.	PHASE DE TRAVAIL - OUTILLAGE A SORTIR	OUT.	N° MACH.	SECTION ou ATELIER	TEMPS ALLOUÉ			REMARQUES
					PRÉP.	UNIT.	TOTAL	
10	Contrôle des bruts, traçage	St	N° 7	Tra To Mét Pei				
20	Tournage de faces 1, 2, 3	St						
30	Contrôle général	St						
40	Peinture	St						

Tableau 8. La fiche suiveuse

Le bon de travail

Le service lancement établit pour chacune des phases de transformation des pièces un bon de travail qui constitue pour chaque exécutant un ordre d'engagement de travail.

Le bon de travail précise :

- ✓ le numéro de la phase, le poste de travail ;
- ✓ le temps prévu ; à la fin de son travail l'opérateur notera le temps réellement passé ;
- ✓ le nombre d'ébauches données et le nombre de pièces bonnes à l'issue du travail ;
- ✓ la date et les heures de début et de fin de réalisation.

DATE D'EMISSION 20-02-2006		DELAI FINAL 02-03-2006		QUANT. LANCEE 50		QUANT. REMISE		N° COMMANDE 335		N° PROGRAMME 535	
DESIGNATION DE LA PIECE Support avant droit					N° PIECE 12 6250		Qté PAR APPAREIL 1		POIDS DES PIECES TERMINEES 0,950 kg		
POUS ENSEMBLE OU S/ENSEMBLE : Montage de mise en position					N° ENSEMBLE 12 6200		LANCEMENT MINI. 50		FEUILLE N° : 1 NOMBRE : 1		
PH N°	PHASE DE TRAVAIL			OUT.	No MACH.	SECTION ou ATELIER	T.A. PREP.	T.A. UNIT.	T.A. TOTAL		
20	Tournage des faces 1, 2, 3			St	N° 7	To					
PLANNING DATE VISA		CONTROLE DATE VISA		PAYE DATE VISA		PRIX DE REVIENT DATE VISA		BON DE TRAVAIL			

Tableau 9. Le bon de travail

- **aux opérations** : nature de l'opération (E, 1/2 F, F) ; les cotes intermédiaires (E et 1/2 F).
- **aux outils** : type, désignation normalisée ou du fabricant ; nuance du matériau de la partie active ; rayon de bec.
- **aux conditions de coupe** :
 V : Vitesse de coupe en m/min.
 N : fréquence de rotation en tr/min.
 f : avance par tour en mm/tr (tournage, perçage).
 fz : avance par tour en mm/c (rabotage) ;
 fz : avance par dent en mm/dt (fraisage).
 a : profondeur de passe en mm.
- **aux outillages de contrôle utilisés à chaque opération.**

IV. 1.3.3. Application à la phase 20 Tournage

L'usinage se décompose en deux sous-phases.

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

Figure 122. Application à la phase 20 Tournage

IV. 2. Elaboration d'un programme de commande numérique**IV. 2.1. Les différentes étapes conduisant à la programmation :**

Avant d'obtenir le listing ou tout autre support d'information, nécessaires :

- 1) définir le nombre de phase d'usinage :
 - ✓ Décider des montages de la pièce et de la fixation
 - ✓ Eventuellement concevoir l'outillage spécifique.
- 2) Etablir, pour chaque phase, les opérations élémentaires d'usinage (dressage, Perçage, taraudage, fraisage, etc.)
- 3) Choisir les outils adaptés aux différentes opérations d'usinage.
- 4) Définir les paramètres de coupe pour chaque usinage: vitesse, avance, profondeur, Nombre de passes, etc...
- 5) Etablir, pour chaque usinage, la trajectoire parcourue par l'outil en fonction du Profil à réaliser, des dégagements (sauts de bride, etc...)

Les calculs géométriques interviennent ici car le dessin de la pièce ne donne que rarement toutes les indications utilisables directement: calcul des points de tangences, de raccordement, des transitions de contour, du décalage de l'outil, des Éléments géométriques manquants, etc.

- 6) Coder dans le langage compris par la commande de la machine toutes les séquences d'usinage dans le format propre à la C.N.
- 7) Taper le programme qui sera lu par la C.N. et éditer le listing qui sera confié à l'opérateur.
- 8) Rédiger la fiche d'instruction détaillée pour l'opérateur; celle-ci comportera:
 - ✓ La liste des opérations et des outils
 - ✓ Les correcteurs d'outils attribués à ceux-ci
 - ✓ La description du montage de la pièce
 - ✓ La prise d'origine
 - ✓ Les contrôles avec éventuellement les arrêts prévus à cet effet
- 9) Après vérification du bordereau et du listing lors de la fabrication de la Première pièce et optimisation des conditions de coupe, édition du listing Destiné à l'archivage. Toutes ces tâches sont réalisées par le programmeur sans utilisation d'aide autre que la calculatrice pour les calculs de géométrie, c'est pourquoi l'on appelle ce type de Programmation "manuelle".

IV. 2.2. Fiches d'aide à la programmation

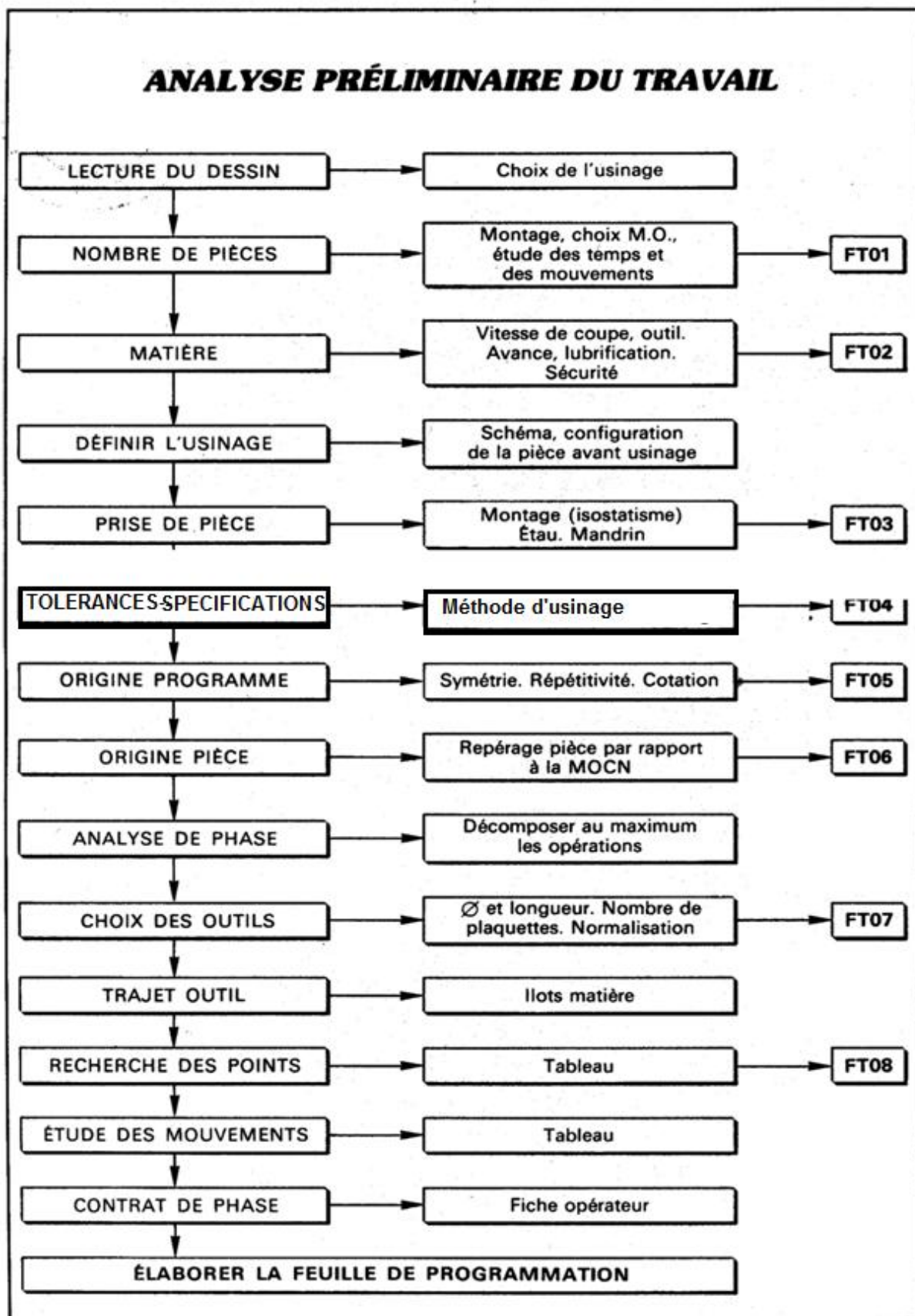


Figure 123. Fiches d'aide à la programmation

➤ **(FT 01) NOMBRE DE PIÈCES**

Le nombre de pièces, ainsi que la complexité de la pièce (lecture du dessin), sont des facteurs déterminants dans le choix de la machine-outil :

- ❖ machine traditionnelle,
- ❖ machine automatique,
- ❖ MOCN.

1. GRANDE SÉRIE (> 500000 pièces)

L'économie, dans ce cas, va porter sur le temps de montage de la pièce sur la machine. Le temps de réglage de la MO, puisque divisé par le nombre de pièces, peut être très long. L'utilisation de machines transferts, ou de machines automatiques est préférable à celle des MOCN.

2. MOYENNE SÉRIE

Cas des petites ou moyennes séries, renouvelables périodiquement. L'utilisation des MOCN se révèle très rentable, en effet: le lancement d'une campagne d'usinage à l'aide d'un programme stabilisé est très rapide. Les temps de mise au point et de réglage de la MOCN sont bons. L'usinage est quasi immédiat.

3. TRÈS PETITE SÉRIE -PIÈCE UNITAIRE

L'utilisation de la MOCN n'est rentable que si la pièce à usiner est complexe. En effet, la programmation de l'usinage permet d'économiser les temps de montage et de réglage sur la MO traditionnelle. L'exigence de la précision et de la qualité pour des pièces, souvent prototype, justifie également le choix d'une MOCN.

➤ **(FT 02) MATIÈRE**

La programmation de l'usinage d'une pièce tient compte de la matière à usiner. Celle-ci permet de déterminer, notamment:

- ❖ le choix de l'outil,
- ❖ le choix de la vitesse de coupe,
- ❖ le choix de la vitesse d'avance,
- ❖ la valeur de la profondeur de passe,
- ❖ le choix du lubrifiant,
- ❖ la durée de vie des outils
- ❖ la puissance de la machine.

Sur les MOCN, qui sont considérées comme des machines puissantes et robustes, il est conseillé de travailler avec des outils en carbures métalliques. Ces outils permettent d'atteindre des vitesses de coupe élevées, de l'ordre de 100 à 400 m/min; de plus, un système de plaquettes amovibles facilite le remplacement de la partie. Coupante de l'outil.

$$N = \frac{1000 V}{\pi D} \Rightarrow \begin{cases} N = \text{Nombre de tours par minute (tr/min),} \\ V = \text{Vitesse de coupe en mètres par minute (m/min),} \\ D = \text{Diamètre de la fraise ou de la pièce en millimètres (mm)} \end{cases}$$

$$A = aZN \Rightarrow \begin{cases} A = \text{Vitesse d'avance en millimètres par min (mm/min),} \\ a = \text{avance par dents, en millimètres (mm),} \\ Z = \text{Nombre de dents,} \\ N = \text{Nombre de tours par min (tr/min).} \end{cases}$$

Il est conseillé, lors de l'achat des outils, de relever les paramètres de coupe indiqués par le fabricant; de noter, lors de l'usinage, les paramètres réels et, de créer un fichier de ces données. Sur les MOCN une lubrification parfaitement bien adaptée permet :

- ❖ d'accroître d'un tiers la vitesse de coupe de l'outil,
- ❖ d'augmenter la durée de vie de l'outil,
- ❖ d'améliorer l'état des surfaces usinées,
- ❖ de diminuer les efforts de coupe (puissance absorbée),
- ❖ de refroidir la pièce (caractéristiques dimensionnelles),
- ❖ d'éliminer les copeaux de la zone d'usinage

Un lubrifiant doit être :

- ❖ non corrosif, pour la machine, les peintures et... pour l'opérateur;
- ❖ stable dans le temps (pas de dépôt, pas de développement bactérien);
- ❖ facile à éliminer sur la pièce et sur la machine.

Actuellement, trois principaux types de lubrifiants sont utilisés :

- ❖ fluide, dit «**pétroliers**» ou « émulsion », additionné à de l'eau (2 à 10%) = émulsion blanche, laiteuse;
- ❖ fluide, dit «**semi synthétiques**», additionné à de l'eau (2 à 10%) = émulsion translucide;
- ❖ fluide, dit « **synthétiques**», ne contient pas d'huile minérale.

Sur les MOCN, en tournage comme en fraisage, il est conseillé d'utiliser des fluides semi synthétiques.

➤ **(FT 03) PRISE DE PIÈCE**

D'une manière générale les montages d'usinage utilisés sur les MOCN sont plus simples que ceux employés sur les MO traditionnelles (exemple: élimination des canons de perçage, ...).

❖ Qualités mécaniques et géométriques

Afin de conserver la géométrie de la pièce, un montage d'usinage ne doit pas se déformer pendant l'usinage et sous les efforts de coupe. En outre, il doit positionner correctement la pièce, en respectant les règles de l'isostatisme.

❖ Ablocage de la pièce

Comme sur les machines transferts, ou automatisées, il convient de minimiser les temps de montage et de démontage des pièces. D'essayer de réaliser le maximum d'usinage sans démontage. De réaliser plusieurs pièces en même temps ou en série.

❖ Conception du montage

Afin de réduire le nombre d'heures d'usinage du montage, il est judicieux d'utiliser au maximum les éléments standards (pieds de position, brides pivotantes, vis articulées...)

❖ Précautions

Le programmeur doit appréhender très clairement, et très précisément l'encombrement spatial du montage d'usinage, afin de prévoir les dégagements et les déplacements. Veiller à ne pas usiner les têtes de vis et, à ne pas percuter les brides ou l'ossature du montage.

❖ Isostatisme

Par rapport à un trièdre OXYZ, une pièce peut se déplacer suivant six mouvements Simples :

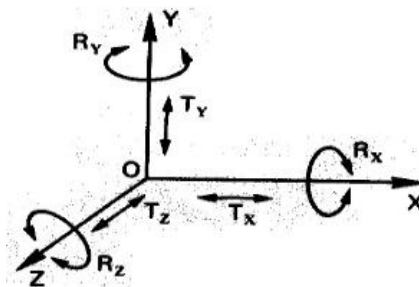


Figure 124. Degrés de liberté

- ✓ 3 translations,
- ✓ 3 rotations.

La pièce possède donc 6 degrés de liberté:

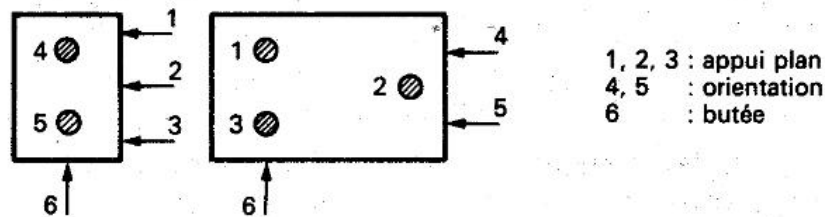
Chaque fois que l'on supprime un mouvement, on élimine un degré de liberté. j

❖ Immobilisation isostatique i

Lorsque les six degrés de liberté sont supprimés, on dit que la pièce est immobilisée Isostatiquement.

■ Représentation symbolique

● Pièce prismatique



● Pièce cylindrique

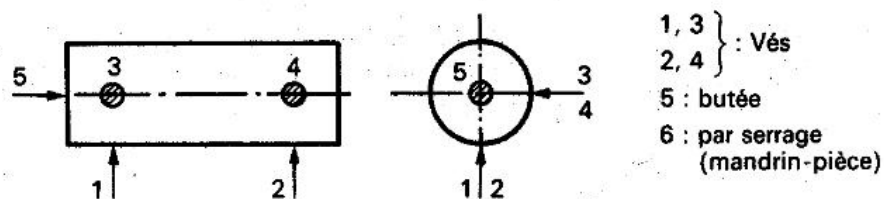


Figure 125. Immobilisation isostatique

➤ (FT 04) TOLÉRANCES –SPÉCIFICATIONS

Le respect des tolérances et spécifications particulières, inscrites sur le dessin de définition de la pièce à usiner, reste l'objectif principal de l'usineur, qu'il travaille sur une MO traditionnelle ou sur une MO à commande numérique. La différence vient de l'apport considérable dans la précision des déplacements sur une MOCN : répétitivité et précision de l'ordre de 0,01 mm. Ce qui permet d'obtenir la plupart des cotes à effectuer sur les pièces courantes, en programmant la cote moyenne.

Exemple :

$$40 \pm 0,1 \left\{ \begin{array}{l} \text{cote maxi : } 40,1 \\ \text{cote mini : } 39,9 \end{array} \right\} \text{ cote moy : } 40$$

$$20_{-0,04}^0 \left\{ \begin{array}{l} \text{cote maxi : } 20 \\ \text{cote mini : } 19,96 \end{array} \right\} \text{ cote moy : } 19,98$$

Au respect des tolérances dimensionnelles de la pièce s'ajoutent ceux des tolérances géométriques et des états de surface. Il convient, de ce fait, de tenir compte des points suivants :

- ❖ Ablocage de la pièce (montage indéformable).
- ❖ Usure des glissières.
- ❖ Phénomène de «pompage» de l'axe: asservissement mal réglé en boucle fermée, le Calculateur vérifie en permanence sa position ce qui entraîne un très faible déplacement. Facilement vérifiable en montant un comparateur sur la machine.
- ❖ Usure des vis à billes.
- ❖ Usure des roulements de la broche.
- ❖ Usure des outils.
- ❖ Lubrification...

➤ **(FT 05) ORIGINE PROGRAMME (OP)**

L'OP est le point d'origine du trièdre de référence permettant la programmation.

- ✓ L'OP est indépendante du système de mesure.
- ✓ L'OP est judicieusement choisie par le programmeur (à l'aide du dessin de fabrication).

Il est conseillé d'avoir un maximum de cotes positives.

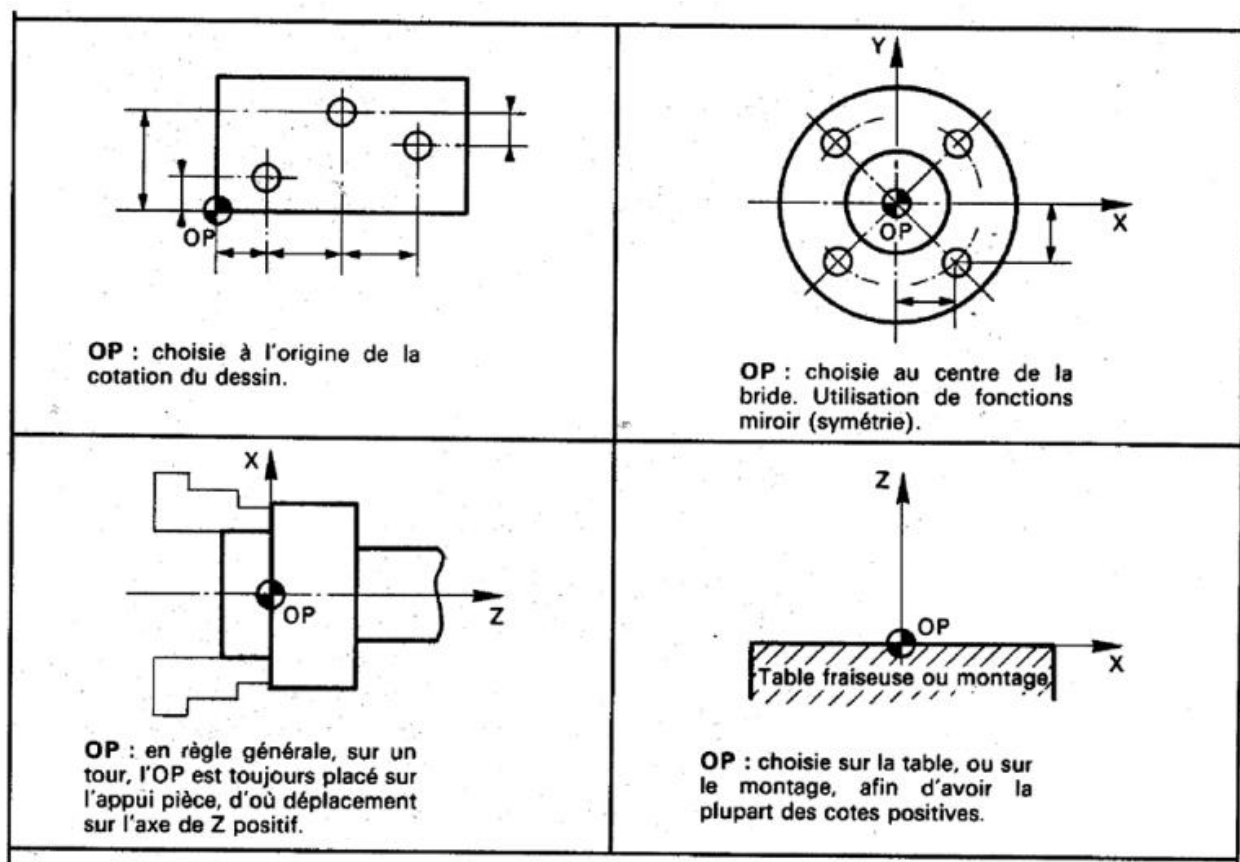
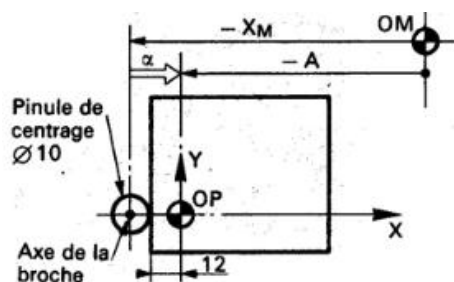


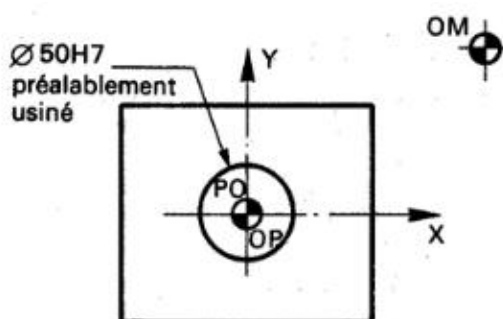
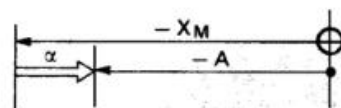
Figure 126. Choix de l'origine programme OP

➤ (FT 06) ORIGINE PIÈCE (Op)

C'est le positionnement, sur les (deux ou trois) axes, de la pièce par rapport à l'origine programme (OP). Lorsqu'il est impossible d'accéder directement à l'OP (axe d'un alésage non exécuté, ...) il convient de prendre une autre surface de référence et d'indiquer le décalage à la machine. De même, il n'est pas possible, comme sur une **MOT**, de tangenter une pièce avec l'axe de la broche. Il faut avoir recours à une pinnule, ou à une pige, ... Il convient de tenir compte de ce décalage et de l'introduire en OP.



En tangentant, on détermine la **cote XM**. Cote de l'origine mesurée à l'axe de la broche. Or, pour positionner correctement la pièce il faut connaître la **cote A**. On l'obtient, en initialisant le décalage, $\alpha = (-XM) - (-A)$, en PO. Graphiquement $\vec{\alpha}$ prolonge $\vec{XM}$:



Dans certains cas, OP et PO sont confondues. Pour positionner la pièce, comme en usinage traditionnel, on utilise un comparateur monté sur un support. L'axe de la broche est situé dans l'axe du trou $\varnothing 50H7$.

Figure 127. Choix de l'origine pièce Op

➤ (FT 07) Choix des outils

Le choix des outils de coupe a une influence sur la programmation et la fabrication d'une pièce. Ainsi, la conception d'un bon programme ne suffit pas, il importe de choisir judicieusement les outils qui l'accompagnent et de tenir compte des points suivants :

- ❖ Travailler, de préférence, avec une gamme d'outils standards, dont les caractéristiques sont bien connues. Ne pas oublier qu'un outil « maison » coûte cher, de plus, il est difficile à reproduire, alors qu'une plaquette amovible se remplace facilement.

- ❖ Travailler avec des outils toujours bien affûtés. Il est préférable de changer de

Plaquettes ou de fraises avant de commencer à usiner une pièce. Un changement en Cours d'usinage, avec reprise, est une opération délicate et toujours longue.

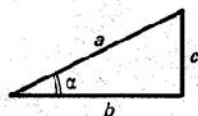
❖ Travailler avec des outils suffisamment dimensionnés. Un outil de section trop faible fléchira devant les efforts de coupe et les cotes obtenues seront en dehors des tolérances malgré un programme correct. Il convient de tenir compte de ces flexions et, si nécessaire, de prévoir une passe de finition.

➤ (FT 08) RECHERCHE DES POINTS

Avant de commencer la programmation d'une pièce, il est nécessaire de connaître avec précision les coordonnées de tous les points particuliers de la pièce, en X, Y et Z. Ce repérage et ce calcul se font à l'aide des indications du dessin de fabrication. Nous conseillons de ranger tous ces points, avec leur repère, dans le tableau suivant :

NUMERO DU POINT	X	Y	Z

■ Rappel de mathématiques



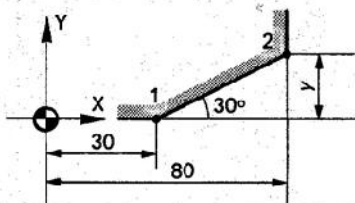
$$\sin \alpha = \frac{c}{a} \quad \text{tg } \alpha = \frac{c}{b}$$

$$\cos \alpha = \frac{b}{a} \quad \text{cotg } \alpha = \frac{b}{c}$$

$$a = \sqrt{c^2 + b^2} \quad b = \sqrt{a^2 - c^2} \quad c = \sqrt{a^2 - b^2}$$

■ Exemple simple :

Calcul de Y pour le point 2 :



$$\text{tg } 30^\circ = \frac{Y}{(80 - 30)}$$

$$\text{d'où } Y = 50 \times 0,577 = 28,85$$

Numéro du point	X	Y	Z
1	30	0	—
2	80	28,85	—

IV. 3. Pièce préparée

- Pièce: pignon de commande
- Matériel
 - Equipement : tour à commande Numérique
 - Outillage :
 - ✓ outil à dresser et à charioter en carbure métallique
 - ✓ outil à retouche
 - Matière d'œuvre : Acier 18NiCr5-4

❖ Objectifs visés

Apprendre à programmer sur le tour à commande numérique l'usinage :

- Application des cycles fixe (**G71 et G70**)
- des rayons intérieurs avec la fonction (**G02**)
- un perçage
- un taraudage

IV. 3.1. principe de programmation

Un programme est la transcription, dans un langage compréhensible par le directeur de commande numérique d'une machine, des opérations d'usinage à effectuer sur une pièce.

Les différentes manières de programmer sont :

- **La programmation manuelle,**
- **La programmation assistée :**
 - ✓ Soit **conversationnelle par le DCN**
 - ✓ Soit avec un **logiciel de F.A.O** (fabrication assistée par ordinateur).

**Remarque :**

Les documents suivants sont nécessaires:

- ✓ Le dessin de définition,
- ✓ Le contrat de phase avec l'isostatisme et les paramètres de coupe,
- ✓ Le dossier de la machine utilisée

IV. 3.2. Préparation de la programmation

IV. 3.2.1. Choix de l'Origine Programme OP

On choisit l'**OP** en fonction de la cotation de la pièce sur le dessin de définition. Pour faciliter la réalisation du relevé de points, prendre l'origine qui demande le moins de calcul (cotes directes).

IV. 3.2.2. Calcul des coordonnées des Points programmés

Il est indispensable de chercher les coordonnées des points de changement de direction sur chaque axe pour la programmation d'une pièce.

A l'aide du dessin de définition, il faut :

- ✓ repérer ces points
- ✓ relever ou calculer leur position par rapport aux axes de l'Origine Programme **OP** en **cotes moyennes**
- faire le report de leur position dans un tableau.



Remarque :

- ✓ Les coordonnées des points sont calculées par rapport à l'origine programme **OP**, à l'aide des cotes moyennes.
- ✓ En Tournage les coordonnées en X sont données au **diamètre**.

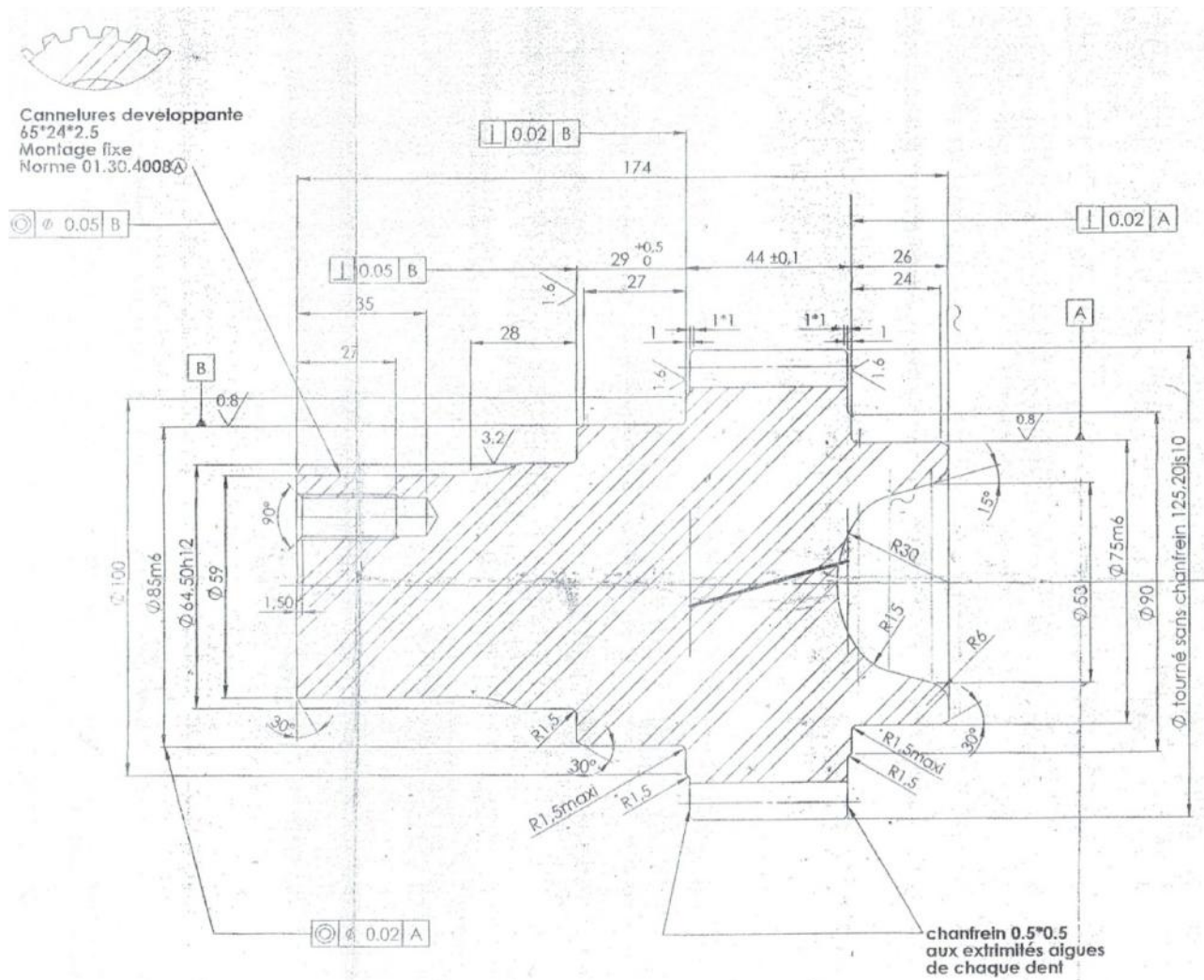
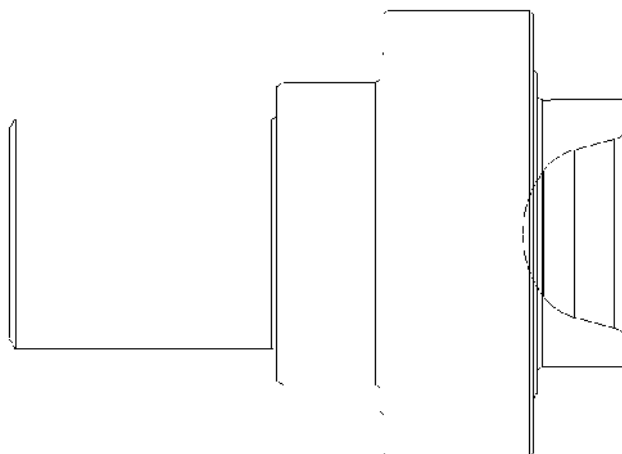


Figure 128. Dessin de définition de pignon de commande



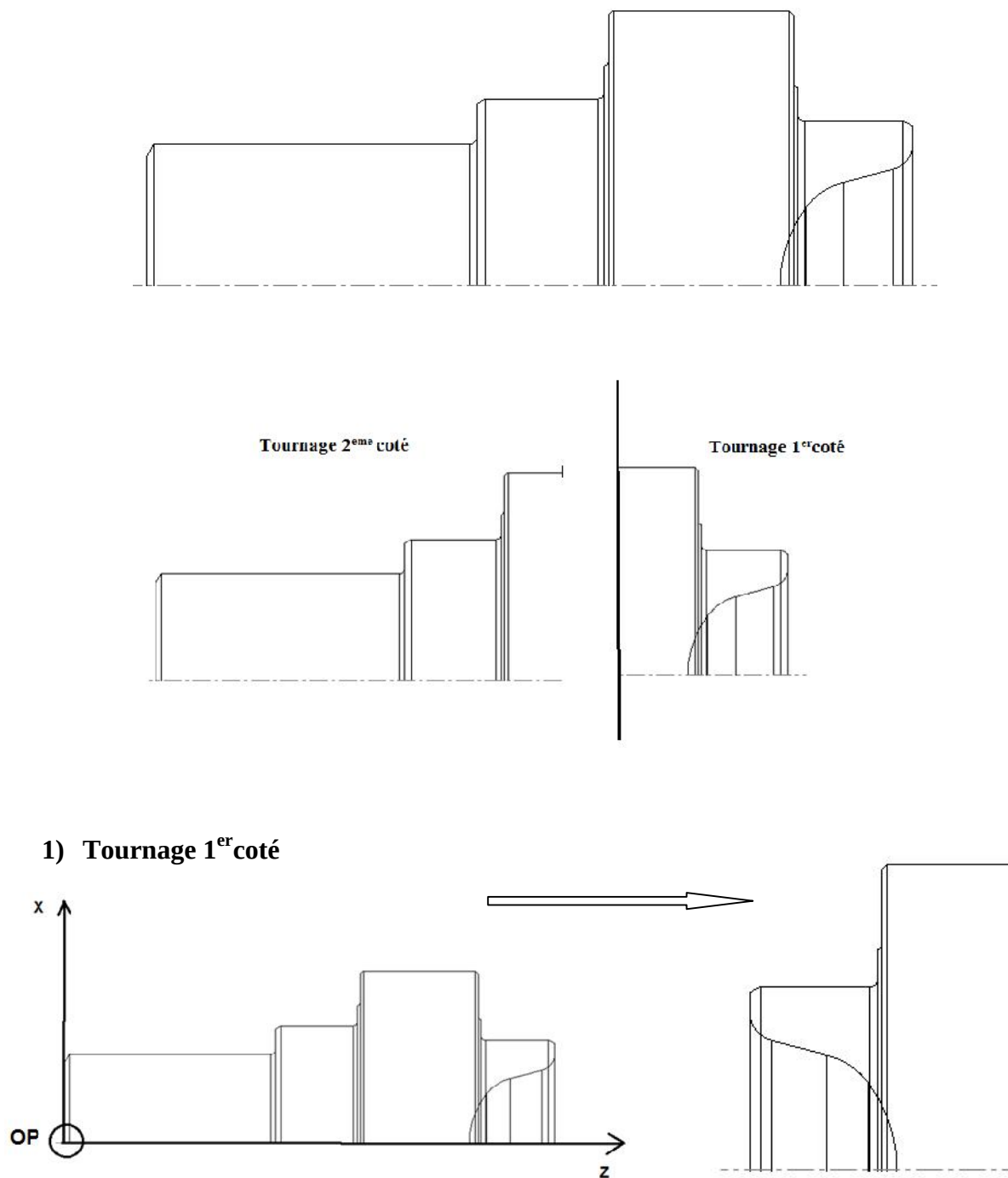


Figure 129. Tournage 1^{er} coté (pignon de commande)

➤ **Operations de 1^{er} coté**

❖ **Ebauche de 1^{er} coté**

Pour l'usinage de l'ébauche on utilise soit :

✓ Le cycle d'ébauche en chariotage (**axe longitudinal**) **G71** de syntaxe suivante :

N...G71 U(Δd), ...R(e) ;

N...G71 P...Q...U(Δu)...W(Δw)...F...S...T...

- ✓ Le cycle d'ébauche en dressage (**axe transversal**) G72 de syntaxe suivante :

N...G71 W(Δd), ...R(e) ;

N...G71 P...Q...U(Δu)...W(Δw)...F...S...T...

G71: cycle de chariotage, axe longitudinal

U: profondeur de passe en chariotage (Δd)

R : (e), valeur du retrait

P : bloc de départ pour la définition du contour

Q : bloc de terminaison pour la définition du contour

U : surépaisseur de finition dans la direction X (Δu) (programmation au diamètre / au rayon)

W : surépaisseur de finition dans la direction Z (Δw)

F : avance d'usinage

S : vitesse de rotation de broche

T : sélection de l'outil

▪ **Explication : cas cycle de chariotage axe longitudinal G71**

La surface indiquée sera usinée avec une surépaisseur de finition par le biais de Δd (profondeur de passe pendant le chariotage). $\Delta u / 2$ et Δw sont maintenus dès lors que le contour est décrit de A vers A', puis de A' vers B par un programme CN.

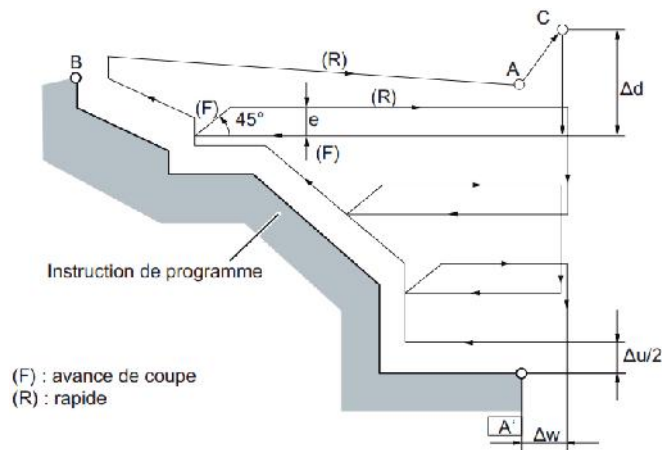


Figure130.Trajectoire d'un cycle de chariotage, axe longitudinal

▪ **Explication : cas cycle de chariotage axe transversale G72**

L'instruction G72 permet de programmer un cycle de chariotage avec une surépaisseur de finition sur le côté plan. A la différence du cycle appelé avec G71, dans lequel l'usinage s'effectue par un déplacement parallèle à l'axe Z, l'usinage du cycle G72 s'effectue par un

déplacement parallèle à l'axe X. Le cycle appelé avec G72 exécute donc le même usinage que le cycle appelé avec G71, mais dans une autre direction.

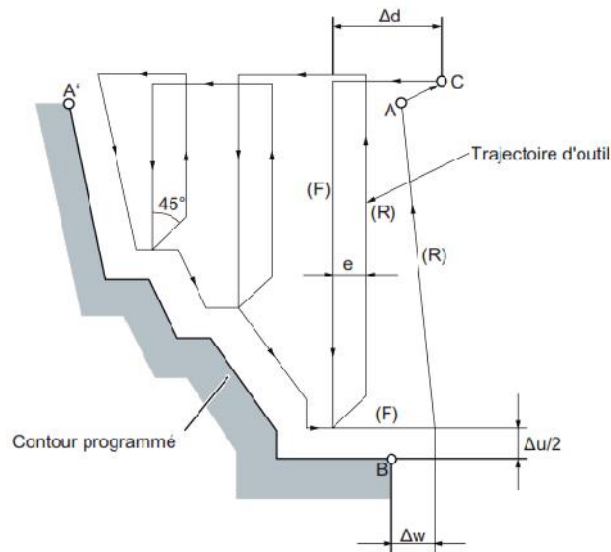


Figure 131. Trajectoire d'un cycle de chariotage, axe transversal

▪ Explication Répétition de contour (G73)

Le cycle de répétition de contour G73 est d'autant plus performant que la forme de la pièce à usiner est proche de la forme finale, ce qui est le cas, par exemple, des pièces de fonderie ou des pièces forgées.

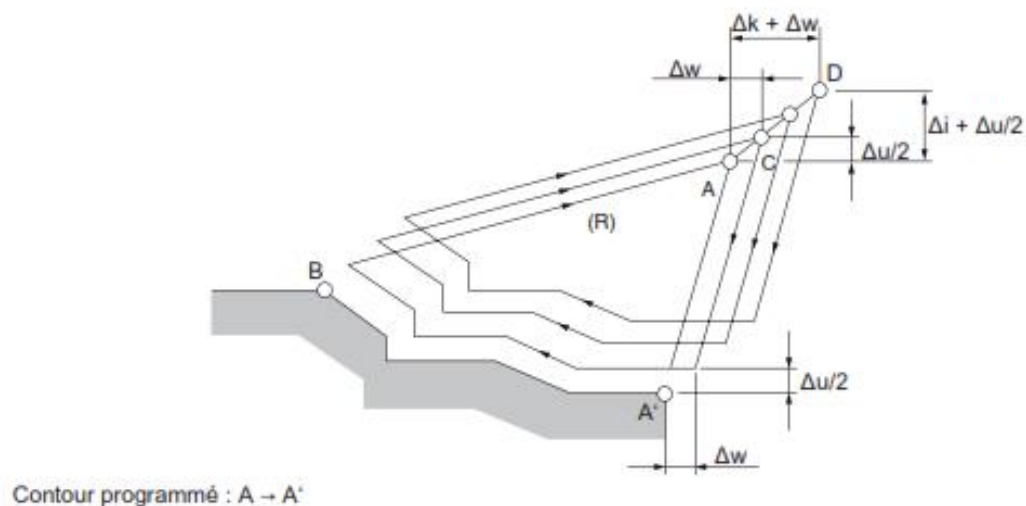


Figure 132. Trajectoire de répétition de contour

✓ Format :

G73 U... W... R... ;

U : distance (Δi) entre le point de départ et la position courante de l'outil dans la direction de l'axe X (programmation au rayon).

Cette valeur est modale et reste appliquée jusqu'à la programmation d'une autre valeur.

W : distance (Δi) entre le point de départ et la position courante de l'outil dans la direction de l'axe Z.

Cette valeur est modale et reste appliquée jusqu'à la programmation d'une autre valeur.

R : nombre de passes parallèles au contour (d).

Cette valeur est modale et reste appliquée jusqu'à la programmation d'une autre valeur.

G73 P... Q... U... W F... S... T... ;

P : bloc de départ pour la définition du contour

Q : bloc de terminaison pour la définition du contour

U : surépaisseur de finition dans la direction de l'axe X (Δu) (programmation au diamètre / au rayon)

W : surépaisseur de finition dans la direction de l'axe Z (Δw)

F : avance d'usinage

S : vitesse de rotation de broche

T : sélection de l'outil

Les fonctions F, S et T figurant dans un bloc de programme CN et qui sont indiquées par les lettres adresses P et Q seront ignorées. Seules les fonctions F, S et T indiquées dans le bloc contenant G73 agissent

▪ **Explication Cycle de finition (G70)**

Alors que l'ébauche est exécutée avec G71, G72 ou G73, la finition s'effectue avec l'instruction suivante.

G70 P... Q... ;

P : bloc de départ pour la définition du contour

Q : bloc de terminaison pour la définition du contour

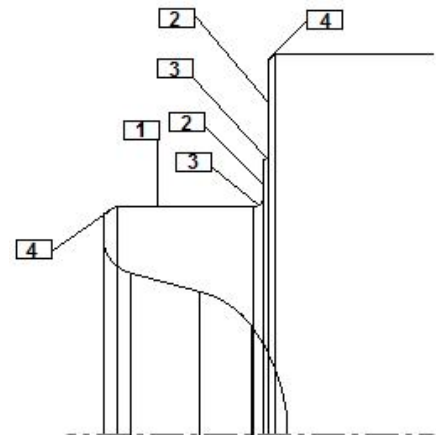

Remarque : Cycle de finition

❖ Les fonctions qui sont définies avec les lettres adresses P et Q et qui sont indiquées entre les blocs agissent dans le cycle contenant G70, alors que les fonctions F, S et T indiquées dans le bloc avec G71, G72 ou G73 n'ont pas d'effet.

❖ L'outil revient au point de départ et le bloc suivant sera lu dès que le cycle d'usinage avec G70 sera achevé.

❖ Il est possible d'appeler des sous-programmes dans les blocs définis avec les lettres adresses P et Q.

N°	opérations	outils
1	chariotage	T01 Outil à dresser et à charioter
2	dressage	
4	chanfreinage	
3	rayon	



➤ Choix des conditions de coupe

N° d'outil	Désignation	Vitesse de rotation	Vitesse d'avance
T1	Outil à dresser et à charioter	630 tr/min	0.25 mm/tr

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D}$$

N=630 tr /min

Avance **f = 0,25 mm / tr**

✓ **Choix de l'avance : (en mm/tr)**

L'avance en tournage est fonction du rayon de bec de l'outil **Rε** et de la puissance de la machine (dans notre cas de machine peu puissante **f** sera inférieure à 0.3 mm/tr)

En ébauche le Rε doit être important pour avoir l'outil le plus robuste possible.

$$f \text{ Ebauche} = 0.4 \times R\epsilon$$

$$f \text{ Finition} = 0.2 \times R\epsilon$$

Dans le cas d'outil ARS

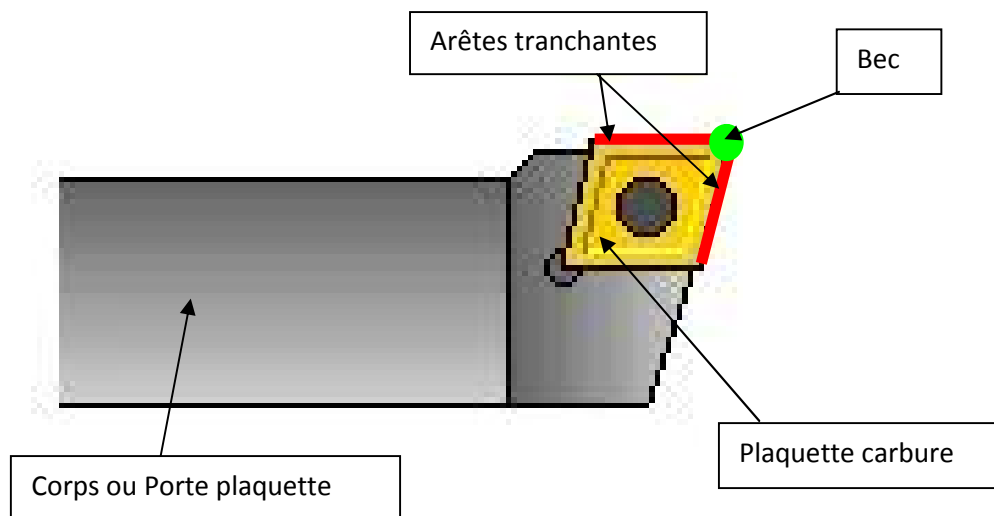
f Ebauche = 0.1 mm/tr pour les matériaux dur comme l'**acier**

f Ebauche = 0.2 mm/tr pour les matériaux non-ferreux (**aluminium, pvc ...**)

f Finition = 0.05 mm/tr

✓ **Profondeur de passe : (en mm)**

La profondeur de passe (ap) en tournage est fonction de la longueur de l'arête de coupe et de la puissance de la machine (dans le cas de machine puissante la profondeur de passe !!! en ébauche sera de 2/3 de la longueur de l'arête de coupe)

Dans notre cas :

ap Ebauche = 4 x R ϵ (mm)

ap Finition = 0.7 x R ϵ (mm)

🔧 **ap mini = R ϵ .** Attention en dessous de cette valeur le phénomène de coupe n'est plus garanti. C'est-à-dire que l'on ne sait pas si ça coupe, écrase ... enfin on ne sait pas trop ce qu'il se passe. (ap mini équivaux a une surépaisseur d'usinage qui va bien pour faire une finition)

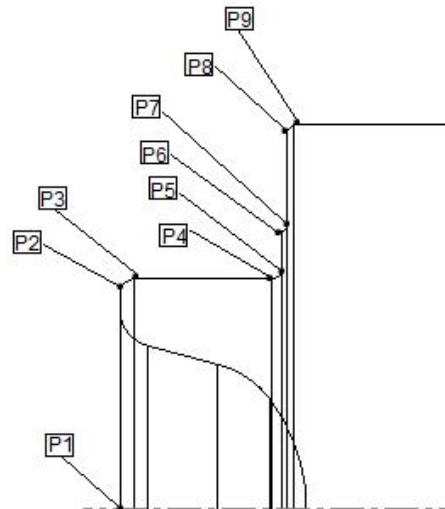
Dans le cas d'outil ARS (sans R ϵ)

ap Ebauche = 2 mm

ap Finition = 0.3 mm

➤ Recherche des points de la 1^{er} coté

N° point	Z	X
P1	174	0
P2	174	72.691
P3	172	75.0205
P4	149.5	75.0205
P5	148	78
P6	148	90
P7	147	92.828
P8	147	123.2
P9	146	125.2

❖ Les cotes moyennes **de la 1^{er} coté**:

- ✓ $\varnothing 125.20 \text{ js}10 = \varnothing 125.20^{+80}_{-11} = 125.20$
- ✓ $\varnothing 75 \text{ m}6 = \varnothing 75^{+30}_{-11} = \varnothing 75.0205$

➤ Rédaction de programme de la 1^{er} coté

% PROGRAMME 1

(Pignon de commande)

(opération 1 : chariotage)

(outil à dresser et à charioter)

(cas cycle de tournage longitudinal G71)

N10 T01 M06

N20 G00 X135 Z180

N30 G01 X125.2 Z174

N40 G71 U4 R1; (cycle d'ébauche pour le chariotage)

N50 G71 P60 Q130 U4 W2 F0.25 S630 T01 M03 M08

N60 G00 X72.691 F0.15 S630

N70 G01 X75.0205 Z172

N80 Z149.5

N90 G02 X78 Z148 R1.5

N100 G01 X90

N110G02X92.828Z147R1.5

N120G01X123.2

N130X125.02 Z146

N140G70P60Q130 (cycle de finition)

N150G00X135Z180

N160 X260 Z595 M02 M05 M09

N170 M30 (fin programme)

(répétition de contour G73 cas des pièces semi-finies « pièces forgées, moulées »)

N10 T01 M06

N20G00X135Z180

N30G01X125.2Z174

N40G73U4

R3 N50G73P60Q130U4W2F0.3S630 T01M03M08

N60G00X72.691 F0.15S700

N70G01 X75.0205 Z172

N80 Z149.5

N90G02X78Z148R1.5

N100G01X90

N110G02X92.828Z147R1.5

N120G01X123.2

N130X125.02 Z146 F0.25

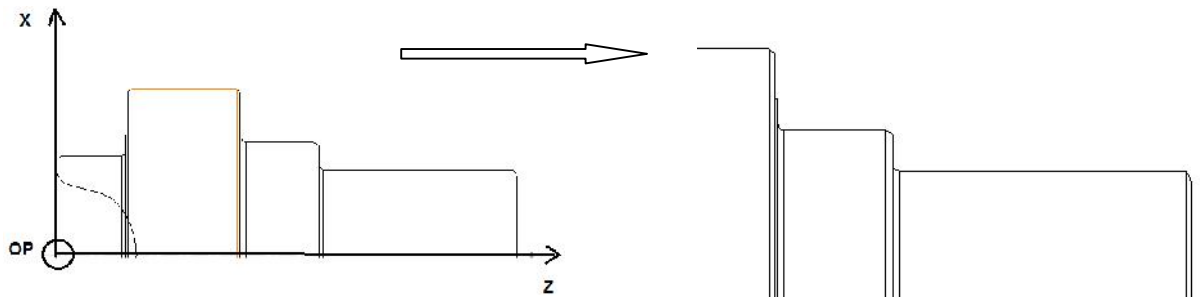
N140G70P60Q130

N150G00X135Z180

N160 X260 Z595 M02 M05 M09

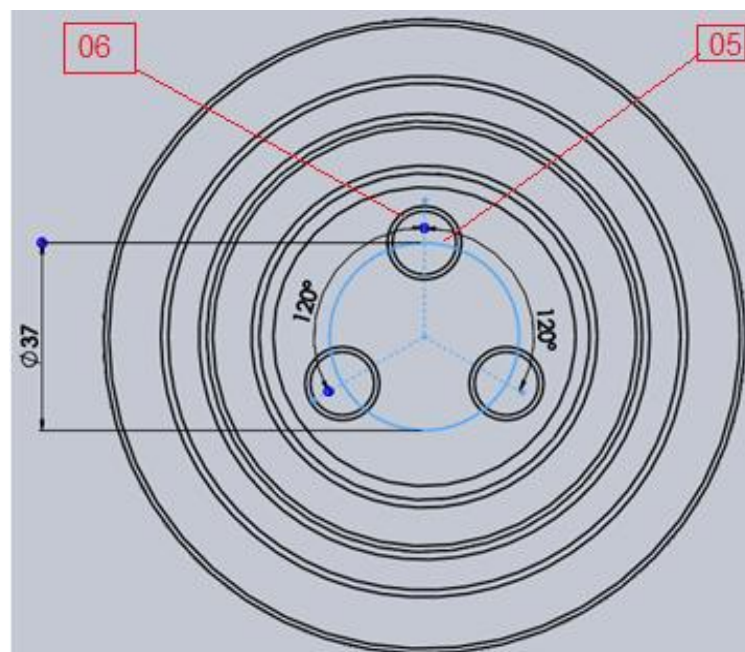
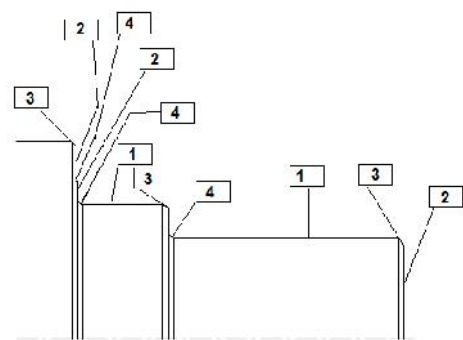
N170 M30 (fin programme)

2) Tournage 2^{ème} coté



➤ Operations de 2^{ème} coté

N°	opérations	outils
1	chariotage	T01 Outil à dresser et à charioter
2	dressage	
3	chanfreinage	
4	rayon	
5	perçage	T02 foret diamètre
6	taraudage	T03 Outil à tarauder



➤ Choix des conditions de coupe

N° d'outil	Désignation	Vitesse de rotation	Vitesse d'avance
T01	Outil à dresser et à charioter	630 tr/min	0.25 mm/tr
T02	foret diamètre 10	540 tr/min	
T03	Outil à tarauder		

❖ Le perçage

- ✓ Choix de l'avance : (en mm/tr)

L'avance en perçage est fonction du diamètre du foret

- Foret hélicoïdal :

$$f \text{ perçage} = 0.01 \times \varnothing \text{ foret}$$

- Foret à plaquette carbures :

$$f \text{ perçage} = 0.02 \times \varnothing \text{ foret}$$

Profondeur de perçage : (en mm)

Profondeur de perçage entre déburrage ou brise copeaux :

- Diamètre foret <14 mm :

$$P = \varnothing \text{ foret}$$

- Diamètre foret >14 mm :

$$P = 0.5 \times \varnothing \text{ foret}$$

❖ Le taraudage

- ✓ Choix de l'avance : (en mm/tr)

$$f \text{ taraudage} = \text{pas du filet}$$

Rappel :

Ci-dessous sont indiqués les pas pour les $\varnothing$ des vis les plus courantes.

$\varnothing$ vis	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20
Pas	0.5	0.7	0.8	1	1.25	1.5	1.75	2	2.5

✓ Diamètre perçage avant taraudage : (en mm)

🔧 Diamètre vis < 10 mm :

$$\phi \text{ perçage} = \phi \text{ vis} - \text{Pas}$$

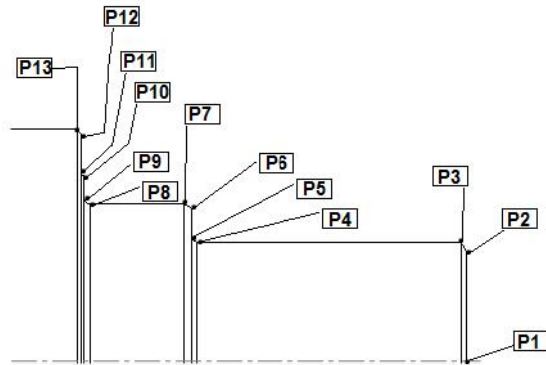
🔧 Diamètre vis > 10 mm :

$$\phi \text{ perçage} = \phi \text{ vis} - (1.2 \times \text{Pas})$$

Dans le cas de matériaux très durs prendre 1.3 à la place de 1.2

➤ Recherche des points de la 2^{ème} coté

N° point	Z	X
P1	174	0
P2	174	59
P3	172.372	64.35
P4	100.459	64.35
P5	98.959	67.5
P6	98.959	82.691
P7	97	85.024
P8	71.459	85.024
P9	69.959	88
P10	69.959	100
P11	68.959	102.828
P12	68.959	123.2
P13	67.959	125.2



❖ Les cotes moyennes de la 2^{ème} coté :

✓ $\phi 64.5 \text{ h}12 = \phi 64.5^0_{-300} = \phi 64.35$

✓ $\phi 85 \text{ m}6 = \phi 85^{+35}_{+13} = 85.024$

✓ $44^{\pm 0.1} = 44$

✓ $29^{+0.5}_0 = 29.25$

➤ Rédaction de programme de la 2^{ème} coté

% PROGRAMME 2

(Pignon de commande)

(opération 1 : chariotage)

(outil à dresser et à charioter)

(cas cycle de tournage longitudinal G71)

N10 T01 M06

N20 G00 X135 Z180

N30 G01 X125.2 Z174

N40 G71 U4 R1

N50 G71 P60 Q180 U4 W2 F0.3 S630 T01 M03 M08

N60 G00 X0 Z174 F0.15 S630

N70 G01 X59

N80 X64.35 Z172.372

N90 Z100.459

N100 G02 X67.5 Z98.959 R1.5

N110 G01 X82.828

N120 G01 X85.024 Z97

N130 Z71.459

N140 G02 X88 Z69.959 R1.5

N150 G01 X100

N160 G02 X102.828 Z68.959 R1.5

N170 G01 X123.2

N180 X125.2 Z67.959 F0.25

N190 G70 P60 Q180

N200 G00 X135 Z180

N210 X260 Z595 M02 M05

(répétition de contour G73 cas des pièces semi-finies « pièces forgées, moulées »)

N10 T01 M06

N20 G00 X135 Z180

N30 G01 X125.2 Z174

N40 G73 U4

R3 N50 G73 P60 Q180 U4 W2 F0.3 S630 T01 M03 M08

N60 G00 X0 Z174 F0.15 S630

N70 G01 X59

N80 X64.35 Z172.372

N90 Z100.459

N100 G02 X67.5 Z98.959 R1.5

N110 G01 X82.828

N120 G01 X85.024 Z97

N130 Z71.459

N140 G02 X88 Z69.959 R1.5

N150 G01 X100

N160 G02 X102.828 Z68.959 R1.5

N170 G01 X123.2

N180 X125.2 Z67.959 F0.25

N190 G70 P60 Q180

N200 G00 X135 Z180

N210 X260 Z595 M02 M05

Conclusion

Conclusion :

Un langage de programmation en commande numérique est, avant tout, un langage informatique de type « évolué » ; c'est-à-dire qu'il possède un vocabulaire et une syntaxe, le destinant à être facilement compréhensible par un individu. Il est donc normal de rapprocher son étude de celle des langages classiques de programmation utilisés en informatique, tels que BASIC, PASCAL ; etc.

Le programmeur de commande numérique doit connaître plusieurs points principaux tels que :

- Caractères utilisées
- Mots
- Instruction
- Bloc d'instruction
- Séquences de blocs d'instructions

De plus, il doit savoir déchiffrer et analyser tous points de dossier de fabrication de chaque pièce préparée par le bureau d'étude et de méthode.

Bibliographie

- **Exploitation des machines outils a commande numérique**

JEAN VERGNAS

PYC EDITION-PARIS 1985

- **Commande numérique programmation**

J-P.URSO

EDITION CASTELLA 1999

- **Fabrication mécanique**

R.BUTIN & M.PINOT

EDITION FOUCHER 1988

- **Fabrication par usinage**

JEAN-PIERRE CORDEBOIS ET COLL

DUNOD, PARIS 2008

- **Guide des fabrications mécaniques**

P.PADILLA & A.THELY

BORDAS, Paris 1981

- **Guide pratique de l'usinage**

J.JACOB

Y.MALSSON

D.RICQUE

HACHETTE LIVRE 1992, 2006

- **La pratique de la commande numérique des machines-outils**

CLAUDE MARTY

CLAUDE CASSAGNES

PHILIPPE MARIN

TECHNIQUE ET DOCUMENTATION-LAVOISIER, 1993

- **Machine a commande numérique**

BERNARD MERY

Hermès, Paris, 1997

- **Mémotech : Commande numérique**

JEAN-PIERRE URSO

EDITIONS CASTEILLA-1999

- **Précis de méthodes d'usinage**

R.DIETRICH

D.GARSAUD

S.GENTILLON

M.NICOLAS

AFNOR NATHAN

- **Techniques de fabrications**

DANIEL POLICET & HENRI CARRERE

LES EDITIONS FOUCHER, PARIS, 1983

- **Manuel de programmation**

SINUMERIK 840D SL / 828D

TOURNAGE ISO 02/2012

- **Technique de l'ingénieur**

❖ **MACHINE-OUTIL**

Par FRANÇOIS C. PRUVOT

❖ **COMMANDE NUMERIQUE DES MACHINES-OUTILS**

Par Gilles PROD'HOMME

❖ **USINAGE A GRANDE VITESSE**

Par Alain-L. DEFRETIN

& Gérard LEVAILLANT