



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة الجيلالي اليابس لسيدي بلعباس
كلية التكنولوجيا
قسم الهندسة الميكانيكية



République Algérienne Démocratiques et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbas
Faculté de Technologie
Département de Génie Mécanique

Polycopié pédagogique

Programmation des machines-outils à commande numérique

Principe et exemples

A l'intention des étudiants du parcours :

- ✓ Fabrication mécanique et productique (master 1)

Cours présenté par : **Dr DJEFFAL Ali**

Année Universitaire 2023/2024

Table des matières

Introduction.....	01
Chapitre I	
Introduction à la programmation des MOCN	
I.1 Introduction.....	02
I.2 Définition.....	03
I.3 Flexibilité des MOCN.....	05
I.4 Sécurité.....	05
Chapitre II	
Composants et programmation des MOCN	
II.1 Introduction.....	07
II.2 Structure et caractéristiques des MOCN.....	07
II.2.1 Fonction des MOCN.....	07
II.2.2 Caractéristiques des MOCN.....	08
II.3 Eléments d'une machine outil à commande numérique.....	08
II.3.1 Partie opérative.....	08
II.3.1-a Taches effectuées sur la partie opérative	09
II.3.2 La partie commande.....	09
II.3.2-a Structure et caractéristiques d'un directeur de commande.....	10
II.3.2-b Taches effectuées par la partie commande.....	11
II.4 liaison entre partie commande et opérative.....	11
II.5 Influence de la CN sur la morphologie des machines.....	12
II.5.1 Mouvements d'avance.....	12
II.5.2 Approvisionnement en outils.....	12
II.6 Description du pupitre de la machine.....	13
II.6.1 Pavé des adresses.....	13
II.6.2 Pavé numérique.....	15
II.6.3 Pavé de gestion des programmes.....	15
II.7 Aspect économique de l'utilisation des MOCN.....	16
II.7.1 Analyse des coûts.....	16
II.8 Avantages liés aux MOCN.....	17
II.9 Inconvénients liés aux MOCN.....	17
II.10 Principaux critères de choix	18

Chapitre III :

Programmation en tournage et Fraisage

III.1 Introduction.....	19
III.2 Vue globale sur le déroulement du processus de programmation.....	20
III.3 Signification du mot « Programmer ».....	21
III.4 Les règles de la codification.....	22
III.5 Codification des mouvements de chariot.....	22
III.5.1 Nomenclature et implantation des axes.....	23
III.5.2 Référentiel de programmation en fraisage.....	23
III.5.3 Référentiel de programmation en tournage.....	25
III.6 Structure d'un programme.....	25
III.7 Fonctions préparatoires G.....	27
III.8 Points de référence.....	27
III.9 Décalage d'origine.....	29
III.9.1 décalage d'origine dans les fraiseuses.....	29
III.9.2 décalage d'origine dans les tours.....	30
III.9.2-a Suppression d'un décalage du point zéro.....	30
III.10 Modes de cotation.....	31
III.10.1 Cotation en système de référence.....	32
III.10.2 Cotation itérative.....	32
III.10.3 Cotation conventionnelle.....	33
III.11 Instructions de déplacement en coordonnées absolu ou relative.....	33
III.11.1 Système de coordonnées avec une programmation absolue.....	33
III.11.2 Système de coordonnées avec une programmation relative.....	34
III.11.3 Cotation absolue « G90 ».....	35
III.11.4 Cotation incrémentale « G91 ».....	35
III.12 Saisie des données d'outil.....	36
III.12.1 Programmation du numéro de l'outil et de son correcteur.....	37
III.12.3 Commutation d'axes.....	37
III.14 Les interpolations.....	38
III.14-a Exemple de visualisation des interpolations en Tournage.....	41
III.14-b Exemple de visualisation des interpolations en Fraisage.....	41
III.14-c Quelques exemples de programmation sur l'interpolation circulaire.....	42

III.15 Programmation de la correction d'outil.....	43
III.15-a Exemples de programmation avec G40, G41, G42 et G00	45
III.16 Fonction d'appel d'un sous-programme.....	46
III.17 Fonction G27: saut non conditionnel.....	46
III.18 Fonctions préparatoires (G) possibles.....	47
III.19 Fonction auxiliaires (M).....	48

Chapitre IV :

Compléments de programmation spécifique à NUM

IV.1 Introduction.....	49
IV.02 Conditions d'enchaînement des trajectoires.....	49
IV.03 Interruption de séquence	50
IV.04 Orientation de l'axe de l'outil.....	51
IV.05 Cycle au filetage au grain.....	51
IV.06 Choix des origines des déplacements.....	52
IV.07 Appel d'un contour créé par PROFIL.....	53
IV.08 Saut Conditionnel.....	53
IV.09 Cycle de perçage centrage.....	54

Chapitre V :

Programmation CN et systèmes de FAO

V.1 Introduction.....	55
V.2 Conception et fabrication assistées par ordinateur.....	55
V.3 Fabrication assistée par ordinateur.....	57
V.4 Etape.....	57
V.4.1 Modélisation.....	57
V.4.2 Elaboration des parcours-outils.....	57
V.4.3 La Machine-Outil à Commande Numérique.....	58
V.5 Transfert d'informations CAO- FAO.....	58

Chapitre VI

Exemples d'application

VI.1 Introduction.....	60
VI.2 Exemple de programmation de la fonction G01 en tournage.....	60
VI.3 Exemple de programmation avec la fonction G02.....	61

VI.3.1 Programmation en absolue.....	61
VI.3.2 Programmation en incrémentielle.....	61
VI.4 Exemple de programmation avec l'interpolation G01 (cas de fraisage).....	62
VI.5 Exemple d'utilisation de la compensation et l'appel du sous-programme...	65
VI.6 Programmation d'un polygone arqué.....	67
VI.7 Programme d'usinage d'une came.....	78
VI.8 Réalisation d'un pignon à chaîne.....	70
VI.8.1 Programme de réalisation du pignon.....	71
✓ Partie tournage du pignon	71
✓ Programme de fraisage de la première face.....	72
✓ Programme de fraisage de la deuxième.....	76
✓ Usinage pour donner forme à l'intérieur de la pièce	76
✓ Finition de la forme intérieure du pignon	80
✓ Programme de finition des dents du pignon	81
VI.9 Programme de réalisation d'une soupape.....	83
VI.10 Programme de réalisation d'un pignon.....	87
VI.10.1 Programme avec les fonctions cycle.....	87
a) Partie tournage du pignon	87
a) Partie fraisage du pignon	88
VI.10.2 Programmation avec le code universel.....	91
a) Programme de perçage	91
b) Programme de finition avec la F1 CNC.....	93
Conclusion	99
Références bibliographiques.....	100

Liste des Figures

Chapitre II

Composants et programmation des MOCN

Figure II.01 : <i>Eléments d'une fraiseuse</i>	8
Figure II.02 : <i>Schéma simplifié d'une MOCN</i>	10
Figure II.03 : <i>Liaison entre partie commande et opérative</i>	11
Figure II.04 : <i>Magasin d'outils à chaîne</i>	13
Figure II.05: <i>Pavé des adresses</i>	14
Figure II.06: <i>Pavé numérique</i>	15
Figure II.07: <i>Touche de communication « SHIFT »</i>	16

Chapitre III :

Programmation en tournage et Fraisage

Figure III.01 : <i>Organigramme des étapes de la programmation</i>	19
Figure III.02 : <i>Organigramme sur le déroulement de la programmation</i>	20
Figure III.03 : <i>Aperçu sur le langage de compréhension entre la machine et l'être humain</i>	21
Figure III.04 : <i>Principe d'utilisation de la normalisation</i>	22
Figure III.05 : <i>Nomenclature des axes</i>	23
Figure III.06 : <i>Règle de la main droite</i>	23
Figure III.07 : <i>Système d'axe dans une fraiseuse verticale</i>	24
Figure III.08 : <i>Système d'axe dans une fraiseuse horizontale</i>	24
Figure III.09 : <i>Système d'axe dans un tour à commande numérique</i>	25
Figure III.10: <i>Points de référence 'Cas de la fraiseuse'</i>	28
Figure III.11: <i>Points de référence 'Cas du tour'</i>	28
Figure III.12: <i>Décalage du Points de référence 'Cas de la fraiseuse'</i>	29
Figure III.13: <i>Décalage du Points de référence 'Cas du tour'</i>	30
Figure III.14: <i>Présentation des décalages et leurs annulations</i>	31
Figure III.15 : <i>Exemples de cotation absolue en fraisage et tournage</i>	32

Figure III.16: <i>Exemples de cotation relative en fraisage et tournage</i>	32
Figure III.17 : <i>Exemples de cotation mixte</i>	33
Figure III.18 : <i>Représentation de Système de coordonnées absolue et relative dans une fraiseuse</i>	34
Figure III.19 : <i>Représentation de Système de coordonnées absolue et relative dans un tour</i>	34
Figure III.20 : <i>Représentation de Système de coordonnées absolue et relative « G90 et G91 »</i>	35
Figure III.21 : <i>Représentation des données d'outil en fraisage</i>	36
Figure III.22 : <i>Représentation des données d'outil en tournage</i>	36
Figure III.23 : <i>Commutation d'axes</i>	38
Figure III.24: <i>Déplacement rapide avec (G00)</i>	38
Figure III.25: <i>Déplacement rapide avec (G00)</i>	39
Figure III.26 <i>Interpolation linéaire à vitesse contrôlée</i>	40
Figure III.27 <i>Interpolation circulaire dans les plans</i>	40
Figure III.28 <i>Visualisation des interpolations en Tournage</i>	41
Figure III.29 <i>Visualisation des interpolations en fraisage</i>	41
Figure III.30 <i>Visualisation d'une interpolation en fraisage</i>	42
Figure III.31 <i>Visualisation d'une interpolation en tournage</i>	42
Figure III.32 : <i>Exemple d'Interpolation circulaire G02</i>	43
Figure III.33 : <i>Utilisation de G41 et G42</i>	44
Figure III.34 : <i>Annulation de la correction d'outil</i>	44
Figure III.35 : <i>Représentation de la correction d'outil</i>	45
Figure III.36 : <i>Exemple d'utilisation de la correction du rayon d'outil en fraisage</i> ...	45

Chapitre IV :

Compléments de programmation spécifique à NUM

Figure IV.01 : <i>Condition d'enchaînement des trajectoires avec G09</i>	50
Figure IV.02 : <i>Orientation de l'axe de l'outil</i>	51
Figure IV.03 : <i>Présentation du Cycle au filetage au grain</i>	52
Figure IV.04 : <i>Programmation absolue des déplacements par rapport à l'origine mesure</i>	52
Figure IV.05 : <i>Exemple du saut conditionnel à une séquence</i>	54
Figure IV.06 : <i>Présentation des paramètres du cycle de perçage</i>	54

Chapitre V :

Programmation CN et systèmes de FAO

Figure V.01 : <i>Exemple de modélisation via le logiciel Solidworks</i>	56
--	----

Chapitre VI

Exemples d'application

Figure VI.01 : <i>Profil d'une pièce réalisé au tournage</i>	60
Figure VI.02 : <i>Représentation d'une interpolation circulaire avec des coordonnées absolue</i>	61
Figure VI.03 : <i>Représentation d'une interpolation circulaire avec des coordonnées incrémentielle</i>	62
Figure VI.04 : <i>Représentation du profil d'une pièce</i>	63
Figure VI.05 : <i>Représentation de la cotation du profil d'une pièce</i>	65
Figure VI.06 : <i>Représentation de la cotation du polygone arqué</i>	67
Figure VI.07 : <i>Dimensionnement de la came à usinée avec la F1 CNC</i>	69
Figure VI.08 : <i>Photos au moment de la réalisation de la came</i>	70
Figure VI.09 : <i>Photo de la forme finale de la came après réalisation</i>	70
Figure VI.10 : <i>Présentation de la cotation du pignon a chaine à réaliser</i>	71
Figure VI.11: <i>Présentation de la cotation de la pièce</i>	71
Figure VI.12 : <i>Présentation de la pièce au moment de la réalisation de la première étape</i>	72
Figure VI.13 : <i>Présentation de la pièce au moment de la réalisation de la première étape en fraisage</i>	73
Figure VI.12 : <i>Réalisation du reste des formes intérieurs du pignon</i>	79
Figure VI.14 : <i>Etape d'usinage des dents du pignon à chaine</i>	82
Figure VI.15 : <i>Forme final du pignon a chaine</i>	83
Figure VI.16 : <i>Présentation de la cotation de la soupape à réaliser</i>	83
Figure VI.17 : <i>Présentation de la cotation de la première passe</i>	84
Figure VI.18 : <i>Chariotage de la pièce</i>	84
Figure VI.19 : <i>Présentation du profil de la soupape</i>	86
Figure VI.20 : <i>Photo réelle de la poulie après la réalisation</i>	86
Figure VI.21: (a) <i>Présentation de la pièce en état brut ; (b) Photo au moment de tournage</i>	87
Figure VI.22: <i>Position de l'outil</i>	91

Figure VI.23 : <i>Profil de la denture à usiner</i>	91
Figure VI.24: <i>Présentation des deux lamages circulaire réalisés</i>	98

Liste des tableaux

Chapitre III :

Programmation en tournage et Fraisage

Tableau III.01 : Fonctions préparatoires (G) possibles.....	47
Tableau III.02 : Suite des Fonctions préparatoires (G) possibles.....	48
Tableau III.03 : Fonction auxiliaires (M).....	48

Chapitre VI

Exemples d'application

Tableau VI.01 : Programme de réalisation de la came.....	69
Tableau VI.02 : Programme de dressage et chariotage du pignon.....	72
Tableau VI.03 : Programme de dressage de la face coupé de la pièce.....	72
Tableau VI.04 : Première étape.....	73
Tableau VI.05 : Programme principal d'usinage de la première face de la pièce.....	74
Tableau VI.06 : Premier sous- Programme pour la réalisation du lamage circulaire..	75
Tableau VI.07 : Deuxième sous- Programme pour la réalisation du lamage circulaire.....	75
Tableau VI.08 : Troisième sous- Programme pour la réalisation du lamage intérieur.	75
Tableau VI.09 : Quatrième sous- Programme pour donner forme entre les deux lamages.....	76
Tableau VI.10 : Premier partie du programme pour le perçage.....	76
Tableau VI.11 : Sous-programme de réalisation de la première forme.....	77
Tableau VI.12 : Position d'appel du sous-programme dans le programme principal...	77
Tableau VI.13 : Appel des sous-programmes (séquence 90, 101, 108, 118).....	78
Tableau VI.14 : Les sous-programmes de réalisation (séquence 90, 101, 108, 118)....	79
Tableau VI.15 : Séquence d'appel du premier sous-programme de finition.....	80
Tableau VI.16 : Le premier sous-programme de finition.....	80
Tableau VI.17 : Programme et sous-programme de finition.....	81
Tableau VI.18 : Programme de finition des dents du pignon.....	82
Tableau VI.19 : Programme de dressage et chariotage de la pièce.....	84
Tableau VI.20 : Programme d'ébauche la première partie de la pièce.....	85
Tableau VI.21 : Programme de finition de la première partie de la pièce.....	85
Tableau VI.22 : Programme du dressage de la 2 ^{ème} face.....	86

Tableau VI.23 : <i>Programme de dressage et chariotage</i>	87
Tableau VI.24 : <i>Programme de dressage de la deuxième face de la pièce</i>	88
Tableau VI.25 : <i>Programme de lamage circulaire</i>	88
Tableau VI.26 : <i>Programme de perçage</i>	89
Tableau VI.27 : <i>Programme de finition des dents</i>	89
Tableau VI.28 : <i>Programme de perçage avec la F1 CNC</i>	92
Tableau VI.29 : <i>Suite du programme de perçage</i>	93
Tableau VI.30 : <i>Programme principal de finition des dents</i>	94
Tableau VI.31 : <i>Suite du programme principal</i>	95
Tableau VI.32 : <i>Suite du programme</i>	96
Tableau VI.33 : <i>Programme principal d'usinage du lamage</i>	97
Tableau VI.34 : <i>Premier sous-programme</i>	97
Tableau VI.35 : <i>deuxième sous-programme</i>	98

Introduction

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. La programmation peut être effectuée manuellement ou avec l'assistance d'un ordinateur utilisant un langage de programmation évolué. 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.

La méthode de programmation est choisie en fonction des compétences du programmeur et de la complexité des machines à piloter. Quelque soit le langage de programmation utilisé pour le développement des programmes pièces, le seul langage compréhensible par la machine est le langage ISO.

Ce langage est utilisé par tous les constructeurs des MOCN de tous les pays du monde. A cet effet le but de ce cours est de confier aux étudiants du parcours fabrication mécanique et productique ainsi que le parcours construction mécanique un support de cours qui résume avec un maximum de détails le principe de base pour la programmation des machines outils à commande numérique.

A l'issue de ce cours, l'étudiant sera en mesure de :

- ✓ Savoir comment caractériser une machine outil à commande numérique
- ✓ Savoir les principales tâches des MOCN
- ✓ L'exécution des calculs des positions d'outils,
- ✓ Savoir comment utiliser les fonctions préparatoires ainsi que les fonctions auxiliaires
- ✓ Savoir comment décaler les points de référence que se soit en tournage ou en fraisage
- ✓ Savoir comment sélectionner les outils
- ✓ Savoir comment élaborer un programme d'une façon générale

Chapitre I

Introduction à la programmation des MOCN

Chapitre I :

Introduction à la programmation des MOCN

I.1 Introduction

Une machine-outil à commande numérique (MOCN, ou simplement CN) est une machine-outil dotée d'une commande numérique. Lorsque la commande numérique est assurée par un ordinateur, on parle parfois de machine CNC pour *computer numerical control*, francisé en « commande numérique par calculateur ».

Apparue il y a seulement quelques dizaines d'années, la commande numérique (CN) impose actuellement sa technologie dans le monde de l'usinage. Conçue pour piloter le fonctionnement d'une machine à partir des instructions d'un programme sans intervention directe de l'opérateur

Par extension, on appelle « commande numérique » l'armoire de commande recevant le programme d'usinage sous forme d'un ruban perforé (systèmes des années 1950 à 1980), d'une bande magnétique (systèmes des années 1970 à 1985), ou de données issues d'un ordinateur.

On parle d'un tour à commande numérique, ou d'une fraiseuse à commande numérique, par opposition à un tour conventionnel ou une fraiseuse conventionnelle, dont les mouvements sont commandés manuellement ou par un dispositif automatisé d'une façon figée.

Les machines-outils spécialisées (aléseuses-perceuses, fraiseuses) à commande numérique ont évolué en centres d'usinage à commande numérique permettant d'usiner des formes complexes sans démontage de la pièce. Ces centres d'usinage sont généralement

équipés de magasins d'outils (tourelles, tables, chaînes) sur lesquels sont disposés les différents outils. Les changements d'outils équipant la (ou les) tête(s) d'usinage sont programmés en fonction de la définition numérique de la pièce.

I.2 Définition

Dans le domaine de la fabrication mécanique, le terme « commande » désigne l'ensemble des matériels et logiciels ayant pour fonction de donner les instructions de mouvements à tous les éléments d'une machine-outil :

- ✓ l'outil (ou les outils) d'usinage équipant la machine,
- ✓ les tables ou palettes où sont fixées les pièces,
- ✓ les systèmes de magasinage et de changement d'outil,
- ✓ les dispositifs de changement de pièce
- ✓ les mécanismes connexes, pour le contrôle ou la sécurité, l'évacuation des copeaux...

Les commandes numériques sont employées le plus fréquemment :

- ✓ en fraisage à commande numérique (FCN) ; Là où, en fraisage conventionnel, on travaille « en opposition » (en raison du jeu dans la vis d'entraînement, un travail « en avalant » provoquerait des chocs pouvant nuire à la précision de l'usinage voire détériorer la machine), les machines à commande numérique possèdent des vis avec noix pourvues de billes précontraintes, donc exemptes de jeu, ce qui permet le travail « en avalant », qui soulage l'effort de coupe.

L'usage de moteurs linéaires sur certaines machines a même supprimé l'usage des vis (noix bronze ou butée à billes ou à rouleaux).

- ✓ en tournage à commande numérique (TCN) ; En tournage traditionnel, la vitesse de rotation choisie en fonction de la matière et du diamètre reste constante pendant l'opération. Sur les tours à commande numérique une fonction de programmation permet d'avoir une vitesse de rotation évolutive (recalculée dynamiquement par rapport au diamètre usiné).

Cette fonctionnalité s'appelle la vitesse de coupe constante, ou vitesse circonférentielle. Elle permet d'avoir des états de surface bien supérieurs à l'usinage traditionnel.

- ✓ dans les centres d'usinage à commande numérique (CUCN);
- ✓ en rectification à commande numérique ;
- ✓ en électro-érosion à commande numérique ; L'électroérosion, appelée aussi EDM (sigle formé sur les initiales de l'anglais *electrical discharge machining*), est un procédé d'usinage qui consiste à enlever de la matière dans une pièce en utilisant des décharges électriques. Le principe est d'envoyer des charges électriques de manière rapide et répétitive entre deux électrodes. L'une des électrodes est sur l'outil d'usinage, l'autre sur la pièce usinée. Cette action permet d'enlever petit à petit et sans contact avec la pièce usinée des couches de matières.

Dans chaque famille, les méthodes de montage et de travail sont totalement différentes, mais elles se rejoignent sur le principe de programmation, la grande majorité des machines utilisant un langage ISO (robotique exceptée). À cela peuvent se rajouter des interfaces homme-machine dites « conversationnelles » ou par apprentissage qui peuvent permettre de simplifier l'utilisation de la machine.

Les commandes numériques sont aussi employées (par exemple) dans les domaines :

- ✓ de la chaudronnerie : oxycoupage, découpage plasma, presse plieuse
- ✓ de l'assemblage : soudage (TIG, MIG, laser, ultrasons, inertiel), collage, vissage, rivetage
- ✓ du taillage d'engrenages
- ✓ du couchement de fibres (composites, métallo-composites)

Les commandes numériques sont de plus en plus utilisées dans les procédés où il est requis de déplacer un ou des mobiles dont les mouvements sont interpolés (vitesses des axes concourant au déplacement d'un point liées entre elles) avec des contraintes de vitesse très faibles ou très élevées (de 0,001 m/min à 130 m/min) et/ou de très grande précision de trajet ou de positionnement (< 0,001 mm). (À noter que ces performances dépendent des capacités de la machine à les atteindre).

I.3 Flexibilité des MOCN

Puisqu'elles sont pilotées à partir d'un programme, les MOCN peuvent usiner des pièces différentes aussi facilement que l'on charge un nouveau programme. Une fois vérifié puis exécuté pour la première série, ce programme peut être facilement rappelé lorsque la même série se représente.

Une MOCN se caractérise en outre par des temps de réglage très courts qui répondent parfaitement aux impératifs de la production en flux tendus. La grande souplesse d'utilisation de la CN entraîne une quantité non négligeable, d'autres avantages :

- ✓ changement aisé du programme d'usinage des pièces;
- ✓ réduction des outillages et suppression des gabarits;
- ✓ diminution du nombre des outils spéciaux et des outils de forme ;
- ✓ réduction des temps de préparation et de réglage du poste de travail (la plupart des réglages, en particulier des outils, étant effectués hors machine) ;
- ✓ prise en compte rapide des modifications d'usinage (il est plus facile de modifier une ligne de programme qu'un outillage spécial ou un gabarit) ;
- ✓ diminution du temps d'attente entre les diverses machines d'usinage d'un atelier ;
- ✓ gain sur les surfaces au sol occupées dans l'atelier ;
- ✓ possibilité de réaliser des pièces complexes en gérant des déplacements simultanés sur plusieurs axes ;
- ✓ contrôle automatique des outils et des dimensions de pièces avec prise en compte par la CN des corrections à effectuer.

I.4 Sécurité

La CN a beaucoup contribué à améliorer la sécurité des machines :

- ✓ en premier lieu, parce qu'elle connaît très précisément l'enveloppe de travail dans laquelle doivent évoluer les outils (possibilité de mémorisation des courses maximales des organes mobiles) ;
- ✓ ensuite, parce qu'elle permet une simulation graphique hors usinage des programmes nouvellement créés pour vérification et détection des risques éventuels de collision ;
- ✓ enfin, parce qu'en exerçant une surveillance permanente de l'usinage en cours, elle peut décider d'en interrompre le déroulement et d'alerter l'opérateur en cas d'incident.

Il est par ailleurs admis que le niveau de performances très élevé atteint par les MOCN conduit les constructeurs à prévoir des dispositifs de protection très élaborés (contre les projections de copeaux ou de liquide d'arrosage, notamment) qui ne s'imposent pas nécessairement sur une MO conventionnelle.

Chapitre II :
Composants et programmation des
MOCN

Chapitre II

Composants et programmation des MOCN

II.1 Introduction

La Commande Numérique est une technique utilisant des données composées de codes alphanumériques pour représenter les instructions géométriques et technologiques nécessaires à la conduite d'une machine ou d'un procédé. C'est également une méthode d'automatisation des fonctions des machines ayant pour caractéristique principale une très grande facilité d'adaptation à des travaux différents. À ce titre, la CN constitue l'un des meilleurs exemples de pénétration du traitement de l'information dans les activités de production.

Exploitant au maximum les possibilités de la micro-informatique, toutes les données sont traitées en temps réel, c'est-à-dire au moment où elles sont générées, de manière à ce que les résultats du traitement contribuent également à piloter le processus.

Après une première génération de CN, sont apparues les commandes numériques par calculateur (CNC), ou par ordinateur, qui intègrent un ou plusieurs ordinateurs spécifiques pour réaliser tout ou partie des fonctions de commande.

II.2 Structure et caractéristiques des MOCN

II.2.1 Fonction des MOCN

Les fonctions remplies sont les mêmes que pour une machine conventionnelle :

- ✓ Positionner et maintenir la pièce
- ✓ Positionner et maintenir l'outil
- ✓ Assurer un mouvement relatif entre la pièce et l'outil.
- ✓ La qualité mécanique générale de ces machines est très élevée par rapport à celle des machines conventionnelles.
- ✓ Motorisation plus puissante
- ✓ Chaîne cinématique plus simple et plus robuste à variation continue capable d'encaisser des accélérations et décélérations importantes.

- ✓ Commande des chariots par vis à bille avec système automatique de rattrapage de jeu.
- ✓ Glissière sans frottement (utilisation de glissières à galets, à billes hydrostatiques).
- ✓ Les Bâtis sont largement dimensionnés, très rigides avec excellent amortissement.

II.2.2 Caractéristiques des MOCN

Les principales caractéristiques des MOCN découlant de sa structure sont :

- ✓ Puissance et vitesse élevées
- ✓ Robuste et bonne résistance à l'usure.
- ✓ Déplacement rapide, précis (accélération et décélération très élevées).
- ✓ Spécifications métrologiques très serrées.
- ✓ Frottement et jeu très faibles.
- ✓ Faible échauffement.

II.3 Eléments d'une machine outil à commande numérique

II.3.1 Partie opérative

C'est la partie mécanique qui effectue l'usinage grâce aux informations reçues de la partie commande. Les mouvements sont exécutés par des moteurs pas à pas.

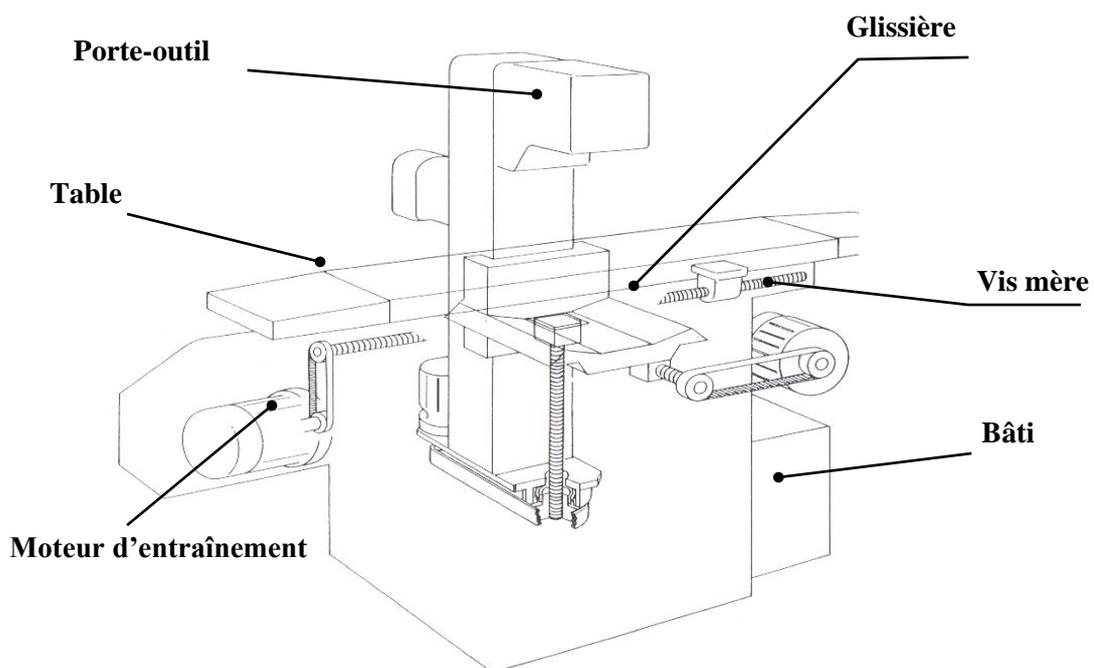


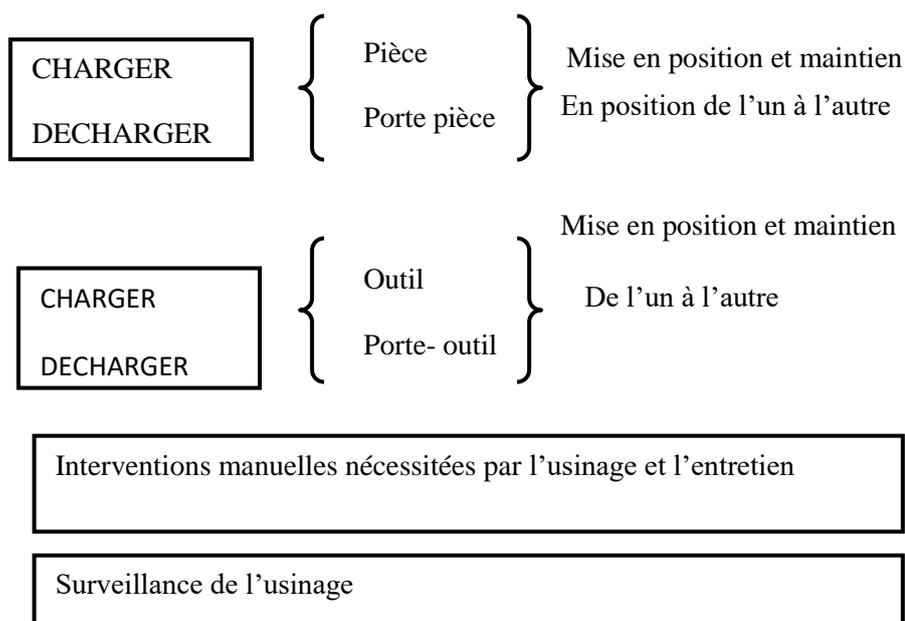
Figure II.01 : Eléments d'une fraiseuse

Prenons le cas d'une fraiseuse (figure I.01), La partie opérative comprend :

- **La table** : support de pièces mobiles selon deux ou trois axes, la table est équipée de système de commande vis et écrou à billes.
- **Les moteurs** : Chargés de l'entraînement de la table support de pièce suivant les divers axes.
- **Elément de mesure** : Un capteur de position qui renseigne à tout moment sur la position du mobile sur chaque axe
- **La dynamo tachymètre** : Qui assure la mesure de la vitesse de rotation.

Si la partie opérative comprend en plus un magasin à outils équipé d'un dispositif de chargement automatique d'outils entre deux opérations d'usinage, la machine s'appelle centre d'usinage et dans ce cas le magasin des outils est géré par la partie commande.

I.3.1-a Taches effectuées sur la partie opérative :



II.3.2 La partie commande :

C'est la partie électronique de la machine dans laquelle on introduit les programmes à exécuter grâce au pupitre. Les informations sont introduites dans cette partie à l'aide d'un clavier à plusieurs pavés, ou à l'aide d'un programme tiré directement d'une simulation de fabrication assistée par ordinateur.

La partie commande comprend :

- ✓ Un support d'informations : (Bande perforée, bande magnétique, USB) sur laquelle est enregistré le programme sous forme de langage machine (langage du directeur de commande numérique) et qui sera exécuté par la partie opérative.
- ✓ L'élément logique : Cet élément déduit le signal à adresser au dispositif d'entraînement pour que le mobile se rapproche de la position correspondant à la valeur de consigne.

II.3.2-a Structure et caractéristiques d'un directeur de commande

Elle est comparable à celle d'un micro-ordinateur

- ✓ Microprocesseur ou microcontrôleur
- ✓ ROM (logiciel de commande numérique)
- ✓ RAM (programme pièce, réglage d'outil etc...)
- ✓ Entrées et sorties :
 - Ecran, clavier
 - Liaison série- réseau
 - Convertisseur analogique numérique et numérique- analogique

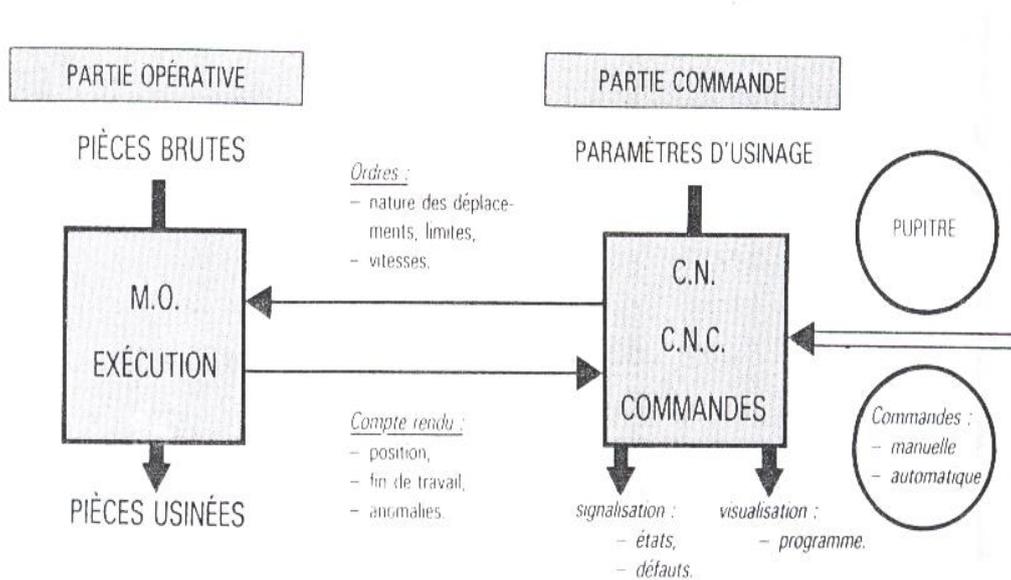


Figure II.02 : Schéma simplifié d'une MOCN.

II.3.2-b Taches effectuées par la partie commande :

- ✓ Charger le programme d'usinage dans la mémoire
- ✓ Référencer les origines machine
- ✓ Introduire les dimensions des outils
- ✓ Référencer les vitesses d'avance et de coupe
- ✓ Modifier les correcteurs d'outils
- ✓ Modifier les programmes
- ✓ Lire le déroulement du programme (anomalies, erreurs)
- ✓ Editer les programmes
- ✓ Utiliser au niveau du pupitre les touches de commande.

II.4 liaison entre partie commande et opérative

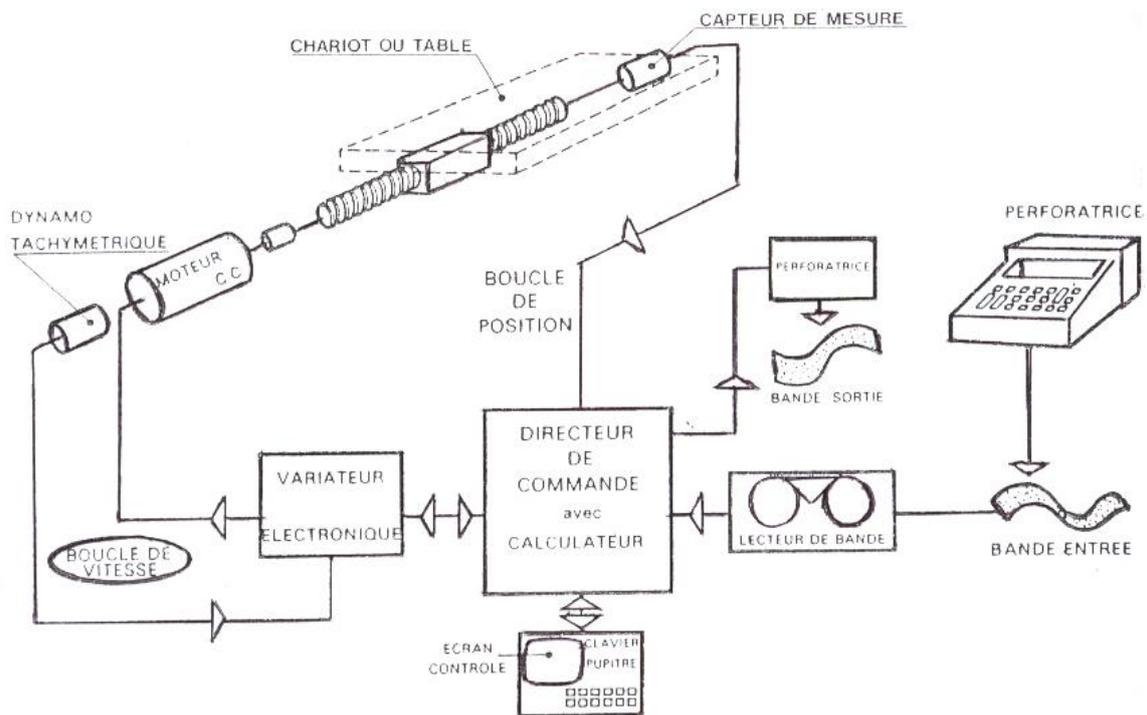


Figure II.03 : Liaison entre partie commande et opérative.

II.5 Influence de la CN sur la morphologie des machines

Pour s'adapter à l'accroissement exceptionnel de la productivité par la technologie de la commande numérique, la constitution mécanique des machines outils a dû être totalement changée.

II.5.1 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 la 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, et des vis à billes précontraintes.

II.5.2 Approvisionnement en outils

L'automatisation de la gestion des outils est un facteur déterminant 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'un 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) ;
- ✓ A chaîne (simple, double ou triple) dont la capacité peu dépasser 100 outils ;
- ✓ A 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. 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 II.04 : *Magasin d'outils à chaîne*

II.6 Description du pupitre de la machine

Le pupitre d'une machine outil à commande numérique est un tableau de commandes où sont rassemblées les différents claviers (pavés), ces pavés sont composés de touches pour introduire les données dans la mémoire de la machine ou bien exécuter une fonction de la machine. Il existe aussi sur le pupitre des interrupteurs comme par exemple arrêter ou démarrer la machine.

II.6.1 Pavé des adresses

X, Y, Z : adresses des coordonnées absolues de destination de l'outil.

U, V, W : Adresses des coordonnées relatives ou incrémentielles de destination de l'outil. Elles sont mesurées à partir de la dernière position de l'outil.

I, J, K : Coordonnées incrémentielles du centre d'un cercle lors d'usinage d'un contour circulaire, elles sont mesurées à partir du point de départ de l'outil.

O	PSO	P
N	G	M
I	J	K
X	Y	Z
R	/	W
U	V	
D	L	TO
F	S	T

Figure II.05: Pavé des adresses.

N : Lettre utilisée pour indiquer le numéro des séquences qui composent un programme.

G : Adresse utilisée pour indiquer la fonction préparatoire

M : Adresse utilisée pour désigner les fonctions auxiliaires.

F : Permet d'indiquer la valeur de l'avance de l'outil pendant l'usinage ou bien le pas de filetage en tournage (FEED).

S : Indique la valeur de la vitesse de rotation de la broche (SPEED).

T : Adresse utilisée pour désigner le numéro de l'outil (TOOL).

O : Adresse utilisée pour numéroter les programmes.

PSO : Registre dans lequel on emmagasine les différents décalages de l'origine (position shift offset).

P : Paramètre utilisé dans les cycles d'usinage.

D : Paramètre utilisé dans le cas d'un usinage en cycle.

L : Adresse utilisée dans le cas où on utilise un sous-programme.

To : Registre permettant de stocker des informations sur les différents outils utilisés (longueur, diamètre).

II.6.2 Pavé numérique

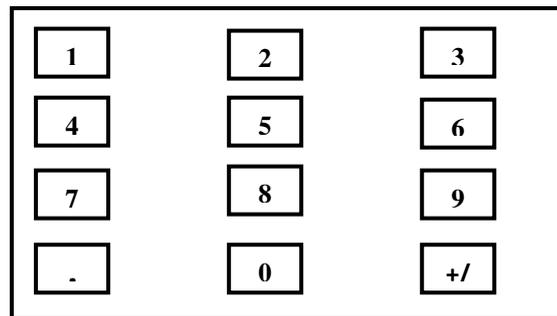


Figure II.06: *Pavé numérique.*

Ce pavé permet d'introduire les différentes valeurs des fonctions et des paramètres, les numéros des programmes et séquences etc.....

II.6.3 Pavé de gestion des programmes :

Ce pavé permet de gérer les programmes composés de séquences et de mots, les introduisant ou les effaçant.

- ✓ **ENTER** : Utilisée pour confirmer une entrée, une information telle : une fonction, un paramètre, une valeur, une adresse pour qu'elle soit mémorisée.
- ✓ **CLEAR BLOCK** : Permet d'effacer une séquence complète, son numéro ainsi que tous les instructions qu'elle contient, elle est alors définitivement supprimée de la mémoire.
- ✓ **CLEAR PROGRAMME** : Efface un programme en entier de la mémoire, avant de confirmer cette instruction il faut s'assurer qu'on n'a pas besoin de ce programme.
- ✓ **CLEAR ENTRY** : Effacer la dernière instruction introduite ou le dernier chiffre appartenant à un mot d'une séquence.
- ✓ **CLEAR WORD** : Elimine un mot (sur lequel se trouve le curseur) d'une séquence.

Remarque : Un mot se compose d'une lettre (fonction) suivie d'une combinaison numérique (exemple : G01).

- ✓ **SHIFT :** Touche de communication permettant de passer d'un état de travail à un autre se trouvant dans la même touche.

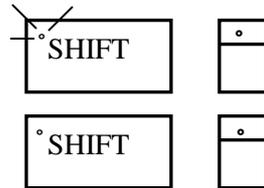


Figure I.07: Touche de communication « *SHIFT* ».

- ✓ **STORE NEXT :** Pour mémoriser les données introduites par pupitre, touche utilisée pour confirmer l'instruction écrite et passer à la suivante.
- ✓ **PREVIOUS :** Cette touche sert à revenir à la séquence précédente.

II.7 Aspect économique de l'utilisation des MOCN

L'utilisation des MOCN influe directement sur la production car ses avantages se présentent sous différentes formes et aspects.

II.7.1 Analyse des coûts :

a) au niveau de la machine :

- Coût horaire élevé, mais temps de réalisation plus court.
- Réduction des opérations de manutention.
- Temps improductif minimal.

b) Au niveau des ateliers :

- Réduction des montages d'usinage, gabarit, outils spéciaux.
- Contrôle statistique (seule la première pièce est contrôlée)
- Moins de circulation des pièces donc moins d'encours de production
- Temps de passage dans les ateliers plus bref.

c) Au niveau de l'entreprise :

- Favoriser la production à la commande
- Une MOCN fait le travail de plusieurs machines conventionnelles.
- Simplification de la gestion (temps de fabrication mieux contrôlé et moins fragmenté).
- Gain de place au niveau des ateliers.

II.8 Avantages liés aux MOCN

Les MOCN Permettent la réalisation d'usinage impossible sur les machines-outils conventionnelles :

- ✓ Surfaces complexes
- ✓ Très grand nombre d'opérations

Favoriser les très petites séries et les pièces unitaires :

- ✓ Prototypes
- ✓ Pièces en cours de conception ou modifiées fréquemment
- ✓ Production à la demande ou juste à temps (réduction de la taille des lots)

Précision :

- ✓ Machines de meilleure qualité en général
- ✓ Moins de montage, démontage de la pièce.

Fidélité de reproduction :

- ✓ Répétabilité (pas d'opérateur humain dans la chaîne de pilotage).

II.9 Inconvénients liés aux MOCN.

Pour bénéficier de la majorité des avantages précédents, il faut que le parc de l'entreprise contienne uniquement des machines outil à commande numérique:

- ✓ Investissement initial plus important
- ✓ La rentabilité n'est pas immédiate (comme dans l'introduction de toute nouvelle technologie).
- ✓ Amortissement impose souvent un travail en deux ou trois équipes
- ✓ Equipements annexes: ordinateur, logiciel, changeurs d'outils.

II.10 Principaux critères de choix :

a) De la machine –outil :

- ✓ Dimensions et poids des pièces à produire
- ✓ Matériaux (vitesse maximale, puissance, déformation)
- ✓ Précision
- ✓ Type de surfaces

b) Du détecteur de commande numérique :

- ✓ Précision (vitesse échantillonnage)
- ✓ Complexité d'usinage
- ✓ Possibilités du langage macro, calcul
- ✓ Compensateur d'outil (2 D, 3D)
- ✓ Intégration à l'environnement de production (CFAO, ROBOT, etc.....)

Chapitre III

Programmation en tournage et Fraisage

Chapitre III :

Programmation en tournage et Fraisage

III.1 Introduction

La machine outil à commande numérique a besoin de recevoir des instructions pour réaliser les mouvements nécessaires à l'usinage d'une pièce. Toutes les instructions à mettre sur le support des données, nécessitent un travail de préparation appelé « programmation ». Ce chapitre propose l'apprentissage de ce langage et l'assimilation des connaissances à son élaboration. La programmation a pour but de déterminer les différentes tâches que doit accomplir la machine, et de les enregistrer sur le support de lecture des données, élément de commande de la machine. Le déroulement de la programmation est donné dans l'organigramme suivant :

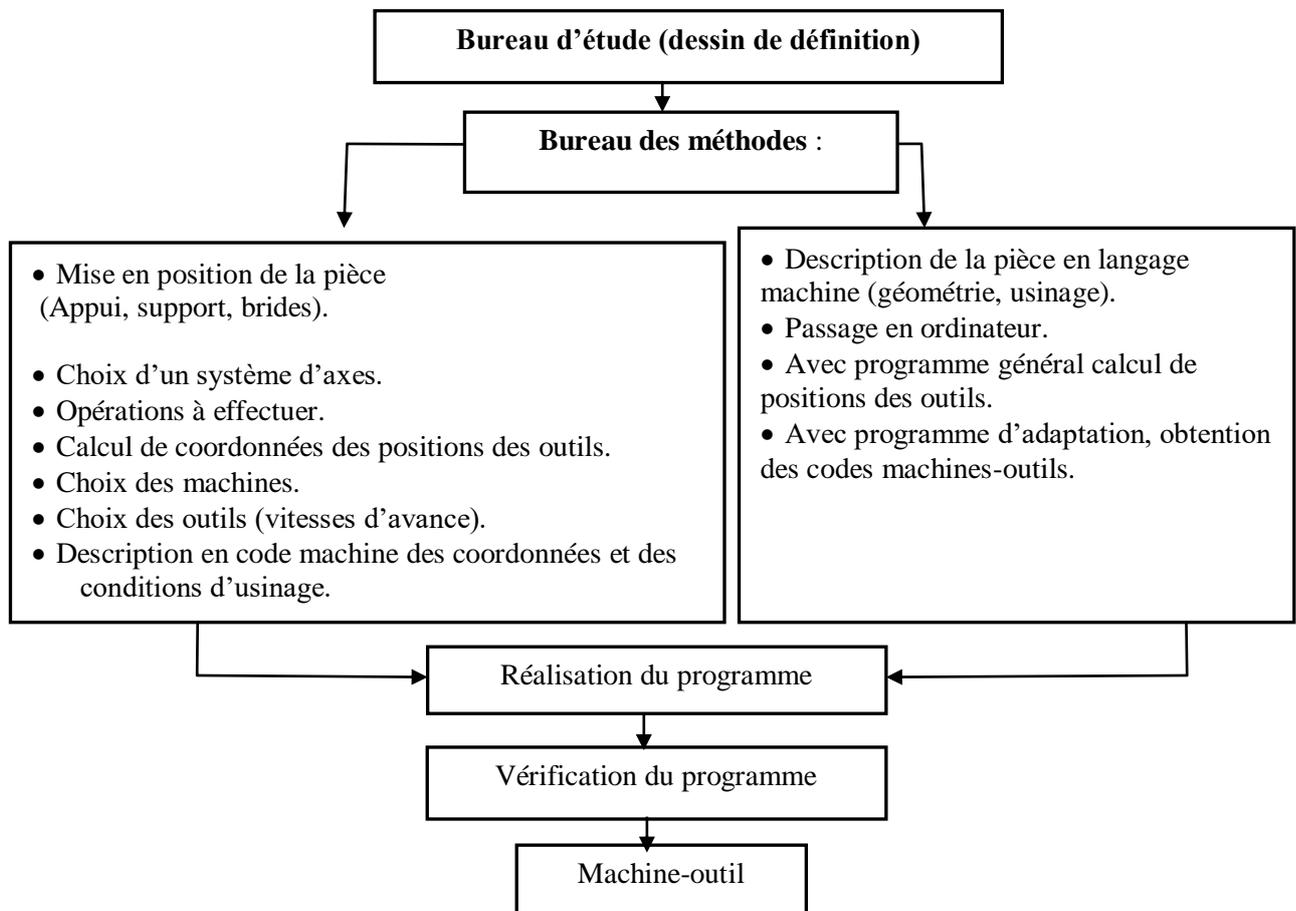


Figure III.01 : Organigramme des étapes de la programmation

III.2 Vue globale sur le déroulement du processus de programmation

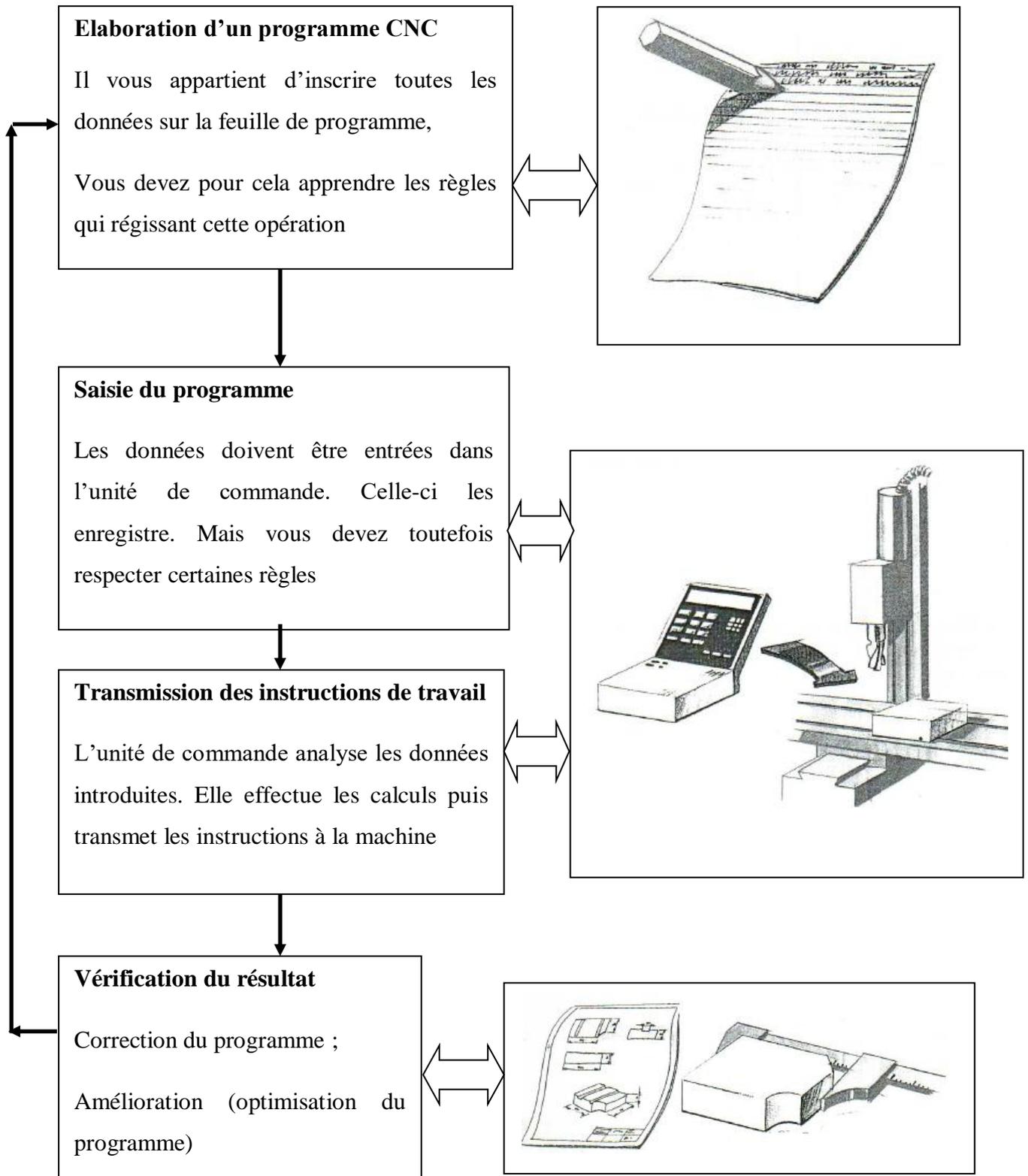
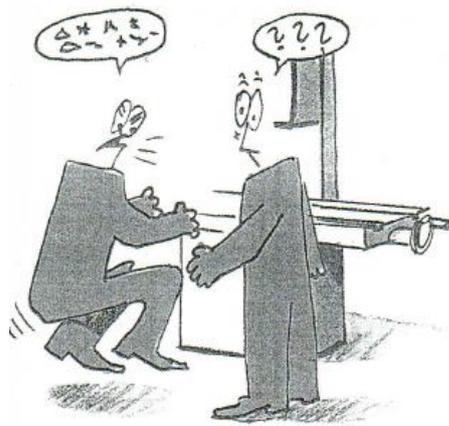


Figure III.02 : Organigramme sur le déroulement de la programmation

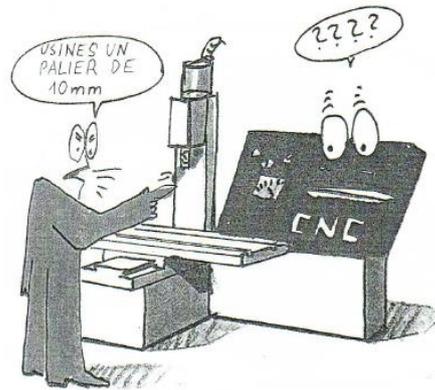
III.3 Signification du mot « Programmer »

Programmer signifie transmettre des informations à l'ordinateur qu'il est capable de comprendre.

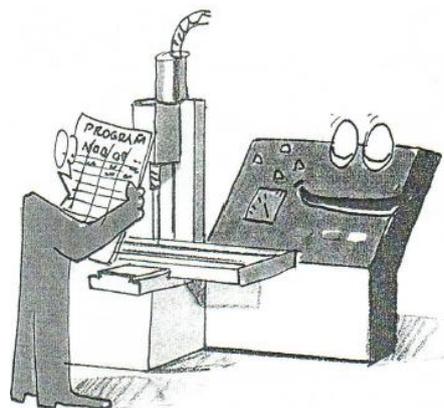
Nous devons donc lui mâcher les instructions et lui transmettre sous forme de liste. Mais pas dans n'importe quel ordre et n'importe quel langage ; dans un langage qu'il est capable de traduire



L'opérateur ne comprend pas des instructions en chinois car il ne connaît pas cette langue



La machine à commande numérique ne comprend pas le langage humain



Nous devons transmettre à la machine à commande numérique des ordres dans un langage que celle-ci comprend. Ce langage est codé.

Figure III.03 : Aperçu sur le langage de compréhension entre la machine et l'être humain

III.4 Les règles de la codification

La façon de codifier les instructions et les données au moment de l'élaboration d'un programme pour machine à commande numérique fait l'objet d'une norme.

La norme indique que l'élaboration d'un programme pour machine-outil à commande numérique est régit par :

- ✓ DIN 66025
- ✓ ISO 1056
- ✓ ISO 6983

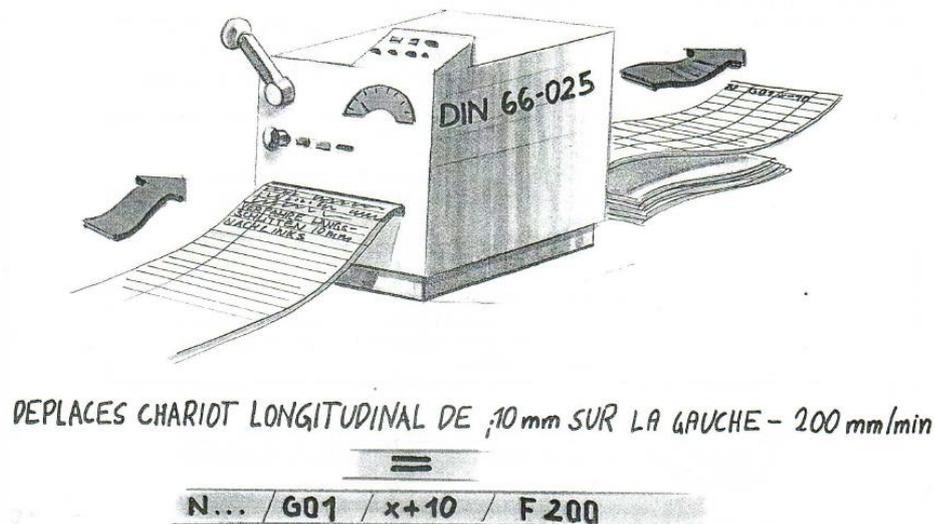


Figure III.04 : Principe d'utilisation de la normalisation

III.5 Codification des mouvements de chariot

Les mouvements de chariot peuvent se décrire souvent un système d'axe et de coordonnées cartésienne.

Sur le tour comme sur la fraiseuse, la mise en position d'une pièce sur la machine se fait par rapport à un repère lié au support de pièce (il est de même pour la position de l'outil sur la tourelle).

A chacun de ces repères peut définir un mouvement associé à un axe (trois translations suivant X, Y, Z et trois rotations notées A, B, C) appelés degrés de liberté.

III.5.1 Nomenclature et implantation des axes :

➤ **Axes primaires :**

Le système normal de coordonnées est un trièdre orthonormé direct (X, Y, Z). Le sens positif est celui qui provoque un accroissement de dimension.

➤ **Axes auxiliaires :**

- ✓ Les axes U, V et W sont respectivement parallèles aux axes X, Y et Z.
- ✓ Axes rotatifs : A, B et C sont les axes rotatifs autour de chacun des axes X, Y et Z.

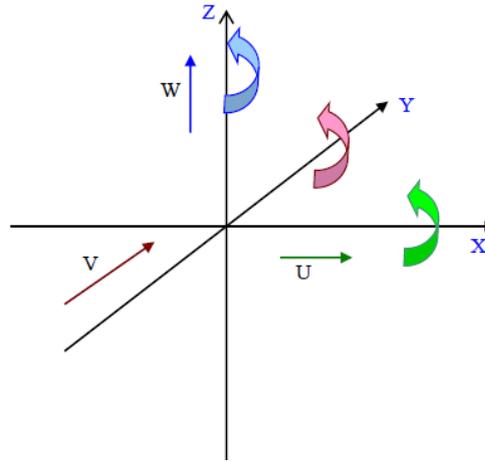


Figure II.05 : Nomenclature des axes

III.5.2 Référentiel de programmation en fraisage :

- ✓ Axe Z : axe de la broche et correspond au déplacement vertical de la table (fraiseuse verticale) ou broche.
- ✓ Axe X : perpendiculaire à l'axe Z il correspond au plus grand déplacement.
- ✓ Axes-Y: il forme un trièdre de sens direct avec les deux autres axes. La règle de la main droite permet de retrouver l'orientation des axes

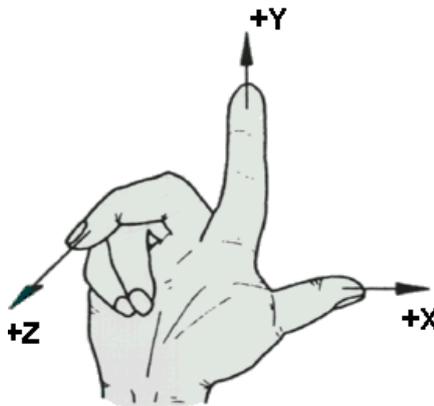


Figure III.06 : Règle de la main droite

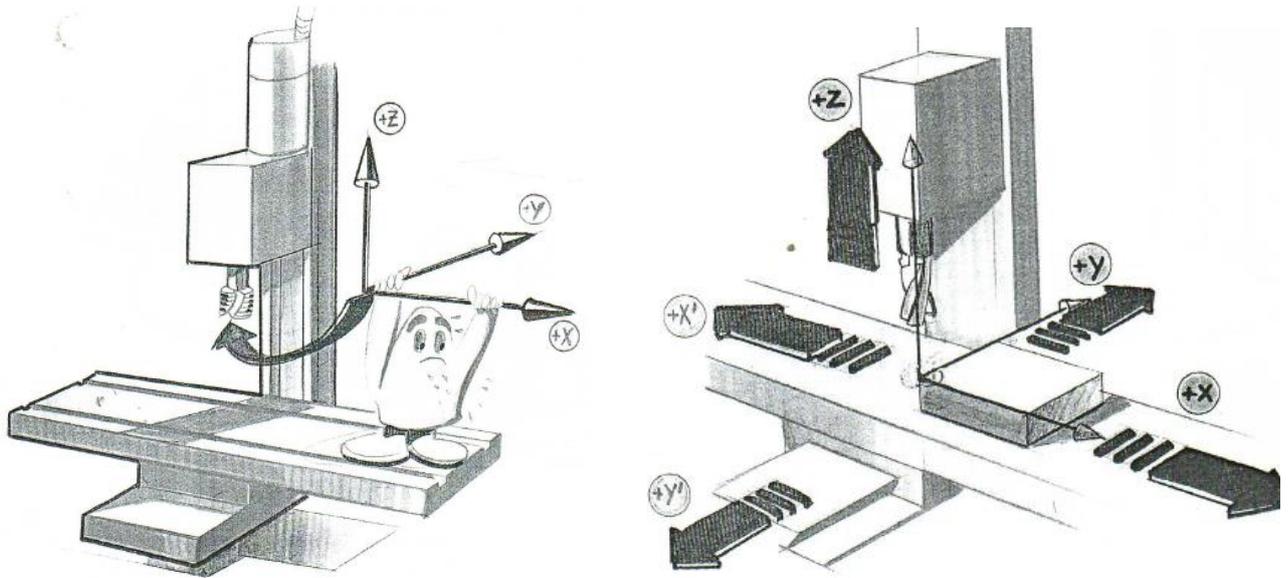


Figure III.07 : *Système d'axe dans une fraiseuse verticale*

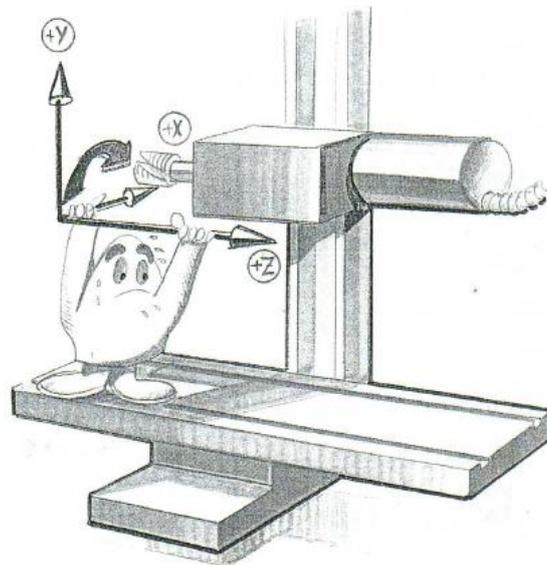


Figure III.08 : *Système d'axe dans une fraiseuse horizontale*

Les programmes pour une fraiseuse verticale sont différents de ceux d'une machine horizontale. Toutefois, l'axe Z est toujours l'axe de fraisage principal.

III.5.3 Référentiel de programmation en tournage :

- ✓ L'axe Z est celui de la broche il correspond au déplacement longitudinal de la tourelle porte outil.
- ✓ L'axe X perpendiculaire à l'axe Z, il correspond au déplacement radial de la tourelle porte outil.

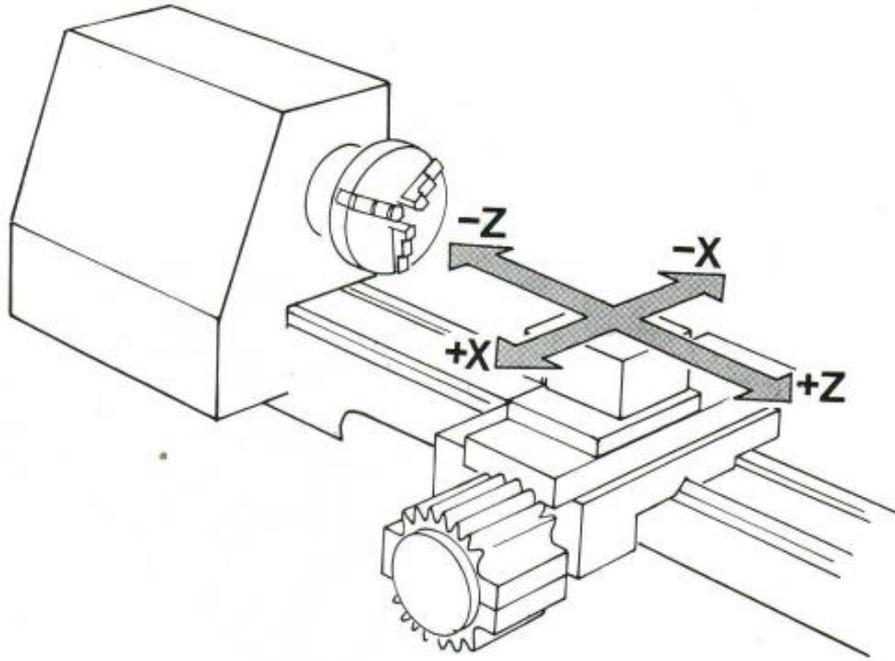


Figure III.09 : *Système d'axe dans un tour à commande numérique*

Dans la machine on distingue deux sortes de déplacements, ceux réalisés par les chariots et celui réalisé par l'outil, mais pour effectuer la programmation des déplacements nous supposons que c'est l'outil qui se déplace

III.6 Structure d'un programme

Un programme est une série d'informations qu'on introduit dans la partie commande pour être interprétée par la partie opérative. Le programme se compose de trois parties essentielles :

- ✓ La partie du début de programme qui est généralement composée de deux ou trois premières séquences dans lesquelles on trouve toutes les informations concernant les décalages, les instructions de mise en marche de la broche et de la pompe d'arrosage, numéros d'outils utilisés, vitesse d'avance, sens de rotation de la broche, unité de mesure utilisée.....
- ✓ La deuxième partie du programme est la plus importante et elle contient toutes les informations concernant l'usinage.
- ✓ La dernière partie qui est composée de deux ou trois séquences et dont laquelle on trouve toutes les informations concernant l'annulation des différents décalages, l'arrêt de la broche, l'arrêt de la pompe d'arrosage, fin du programme.

Exemple

```

O 0300

N 0000 G54

N 0010 T 0101 S400 M03 M08 G95 F80 G71 ← Séquence

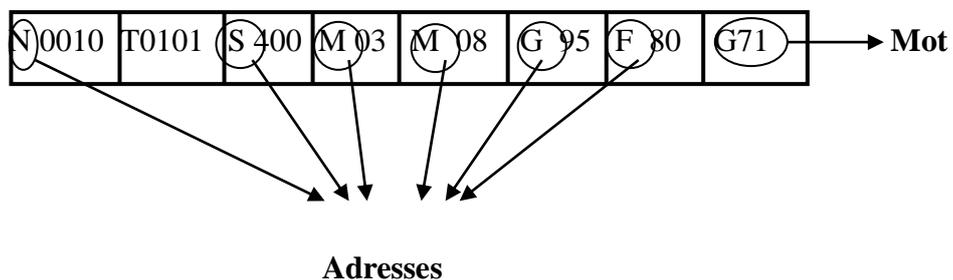
N0020 G92 X0.0 Y0.0 Z0.0

N 0030 G59

N0040 G40 G00 X16.0 Y6.0 Z1.0 ← Mot

N0050 M30
    
```

III.31 Structure d'une séquence



Un mot peut être une fonction ou un déplacement suivant un axe.

G.. : Adresse d'une fonction préparatoire

F.. : Adresse de la fonction vitesse d'avance

S...: Adresse de la fonction vitesse de rotation de la broche

T...: Adresse de la fonction outil

M..: Adresse d'une fonction auxiliaire

X..: Adresse désignant le mouvement suivant l'axe X

Y..: Adresse désignant le mouvement suivant l'axe Y

Remarque

Bien que certaines fonctions ou instructions soient normalisées, les langages pour machines-outils à commande numérique sont généralement spécifiques à chaque constructeur.

III.7 Fonctions préparatoires G :

Toutes les machines outil à commande numérique utilisent le code G qui est un langage proche du langage machine, mais chaque machine a son propre programme numérique car la programmation diffère d'une machine à une autre.

La norme « ISO 6983/1 » décrit le format des programmes pour les machine à commande numérique indépendamment du type de machine. Cette norme remplace un ensemble de normes plus anciennes (ISO840, ISO1056, ISO1059, ISO2539), et elle est adaptée pour les systèmes de commande du type :

- ✓ Mise en position
- ✓ Mouvement linéaire (par axial)
- ✓ Contournage

Les fonctions préparatoires (G) préparent la logique à une action donnée à un type de calcul.

III.8 Points de référence

- ✓ **Point M « Origine de la machine »**

Il s'agit d'un point non modifiable, défini par le fabricant de la machine. On mesure toute la machine à partir de ce point. "M" constitue en même temps l'origine du système de coordonnées.

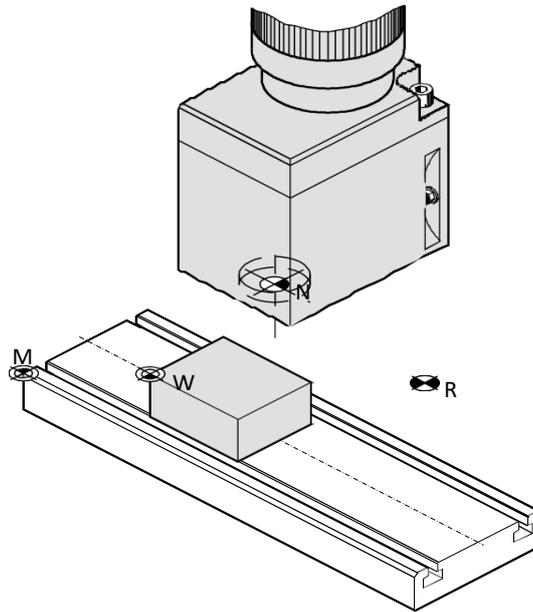


Figure III.10: Points de référence 'Cas de la fraiseuse'

✓ **Point R « Point de référence »**

Il s'agit d'une position dans le volume d'usinage qui est définie exactement par des interrupteurs fin de course.

Lorsque les chariots accostent le point "R", les positions des chariots se trouvent communiquées à la commande. Ceci est nécessaire après chaque interruption de courant.

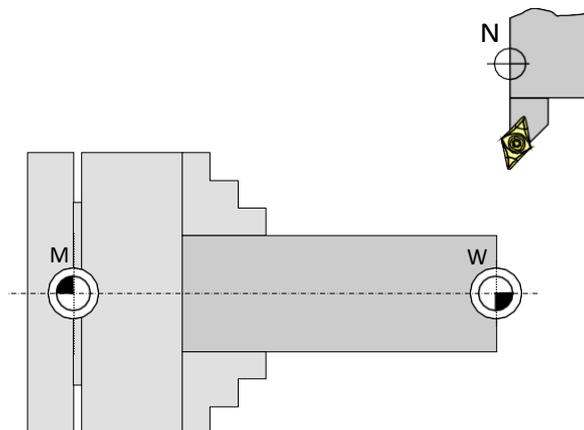


Figure III.11: Points de référence 'Cas du tour'

✓ **Point N « Point de référence du logement de l'outil »**

Il s'agit du point de départ pour la mesure des outils, "N" se trouve en un point adéquat du système de porte-outil et il est défini par le fabricant de la machine.

✓ **Point W « Origine de la pièce »**

Il s'agit du point de départ pour les indications de cotation dans le programme de pièce. Ce point peut être défini librement par le programmeur et déplacé à loisir dans un programme de pièce.

III.9 Décalage d'origine

III.9.1 décalage d'origine dans les fraiseuses

Dans les fraiseuses, l'origine de la machine se trouve sur l'arête avant gauche de la table de la machine. Cette position ne convient pas en tant que point de départ de la programmation. Avec le décalage d'origine, le système de coordonnées peut être déplacé en un point approprié dans le volume d'usinage de la machine.

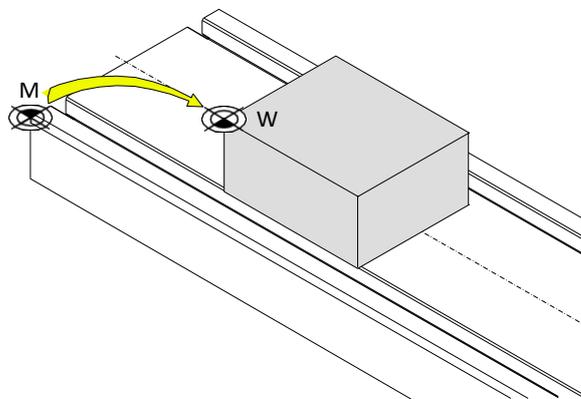


Figure III.12: Décalage du Points de référence 'Cas de la fraiseuse'

Dans le groupe fonctionnel décalage d'origine, on dispose de plusieurs décalages d'origine réglables (le nombre dépend de la machine).

Dès que vous définissez une valeur pour ce décalage dans les données de réglage, cette valeur se trouve prise en compte lors de l'appel dans le programme (avec les fonctions des

deux groupes de G54 jusqu'à G59) et le point d'origine des coordonnées « M » est décalé de cette valeur vers la droite à l'origine de la pièce "W".

L'origine de la pièce peut être décalée aussi souvent que possible dans un programme de pièce.

III.9.2 décalage d'origine dans les tours

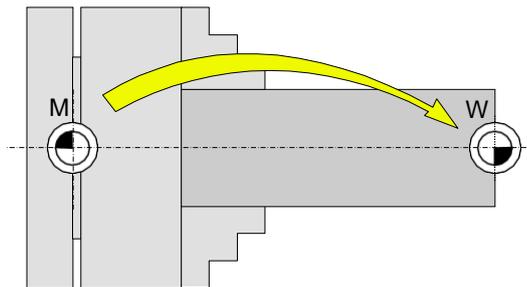


Figure III.13: Décalage du Points de référence 'Cas du tour'

Dans les tours, le point d'origine de la machine « M » se trouve sur l'axe de tournage et sur la face avant de la bride de la broche. Cette position ne convient pas en tant que point de départ de la programmation. Avec le décalage d'origine, le système de coordonnées peut être déplacé en un point approprié dans le volume d'usinage de la machine.

On note ici qu'il existe deux groupes de fonction du décalage :

- ✓ Le premier groupe de décalage consiste lorsqu'il s'agit d'un décalage absolu «G 53 G54, et G55)
- ✓ Le deuxième groupe de décalage lorsqu'il s'agit d'un décalage relative « G56, G57, G58, G59)

III.9.2-a Suppression d'un décalage du point zéro

G54: Le point ZERO (M) est déplacé sur le point (W₁) par les dimensions X, Y et Z, ces dimensions se trouvent sur le registre de décalage de position.

G53: Le décalage (G54) est supprimé par la fonction G53. Le point ZERO du système de coordonnées est à nouveau décalé au point de départ par les valeurs $-X$, $-Y$ et $-Z$.

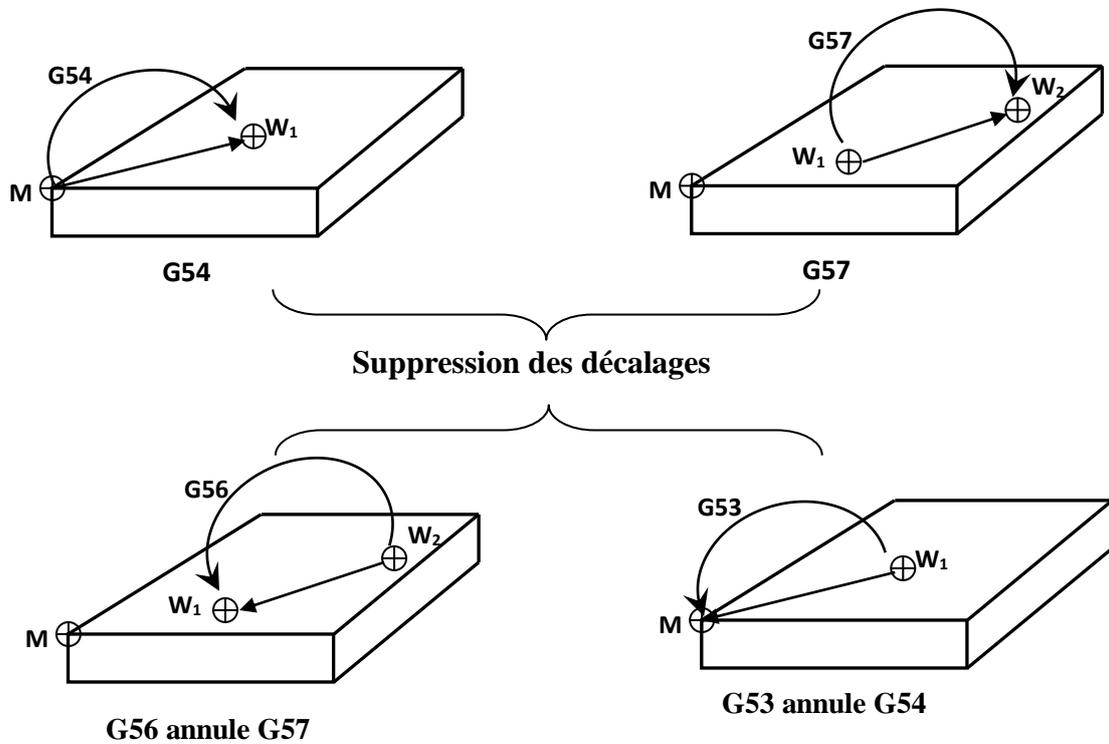


Figure III.14: Présentation des décalages et leurs annulations

La fonction G53 annule tous les décalages du premier groupe, alors que la fonction G56 annule les décalages du deuxième groupe

Chaque fonction d'annulation doit être parallèle à la fonction de décalage qu'elle annule comme montré sur la figure II.08

III.10 Modes de cotation :

Pour assurer l'usinage d'une pièce sur machine-outil commandée numériquement, le programmeur peut recevoir le dessin du produit fini côté suivant trois modes.

III.10.1 Cotation en système de référence :

Cotation absolue :

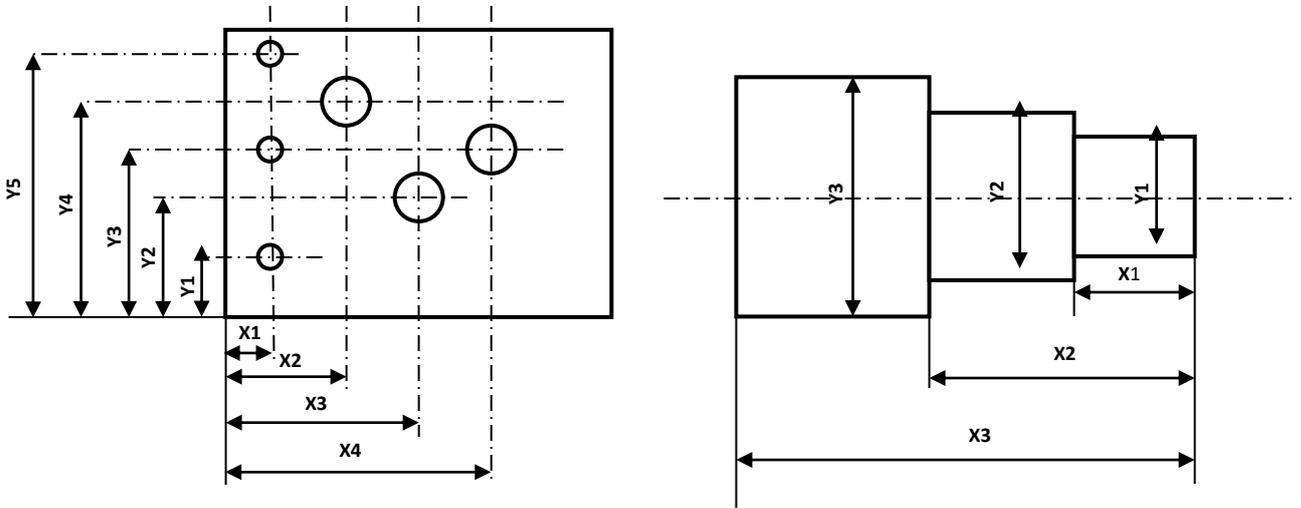


Figure III.15 : Exemples de cotation absolue en fraisage et tournage.

Nous remarquons que les coordonnées sont données par rapport à une origine fixe.

III.10.2 Cotation itérative :

Cotation relative

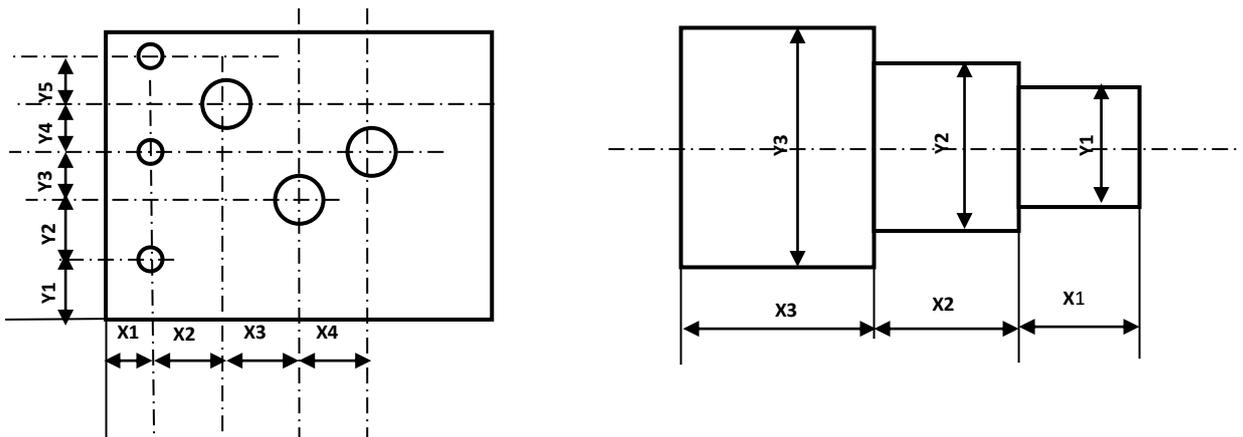


Figure III.16: Exemples de cotation relative en fraisage et tournage.

Les coordonnées sont données par rapport au point précédent.

III.10.3 Cotation conventionnelle :

Cotation mixte :

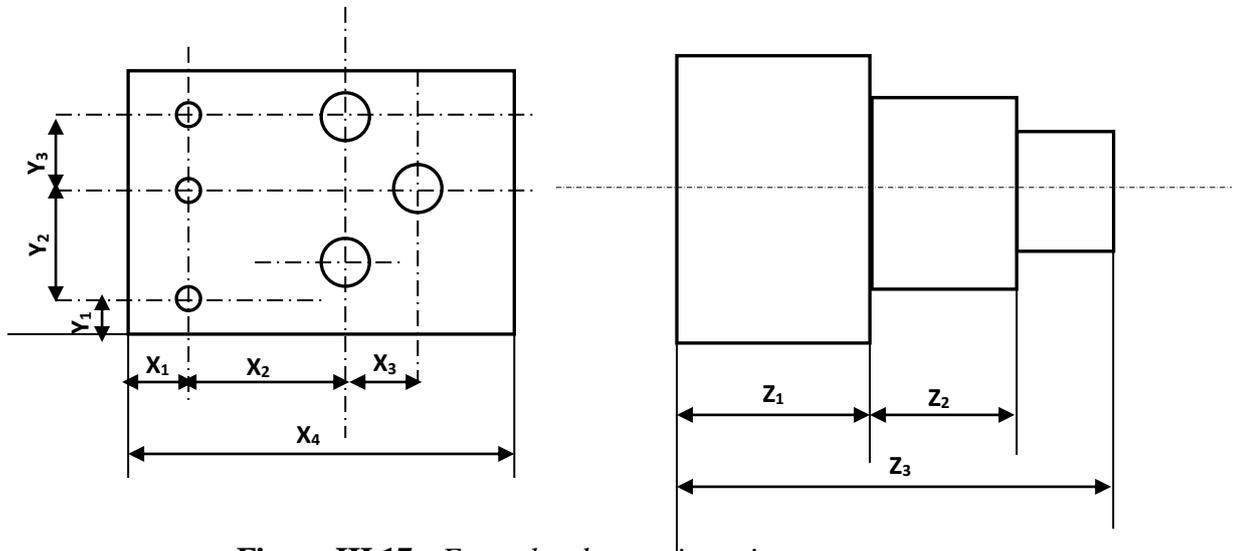


Figure III.17 : Exemples de cotation mixte.

Ce système de cotation résulte de la combinaison de la cotation absolue et la cotation relative et découle généralement d'une cotation fonctionnelle.

III.11 Instructions de déplacement en coordonnées absolu ou relative

La base de la plupart des programmes CN est un dessin avec des indications de cotes concrètes. Lors de la transposition d'un programme CN, il est judicieux de reprendre avec exactitude les indications de cotes d'un dessin de pièce dans le programme d'usinage.

Pour définir un point final de manière précis, il faut entrer les valeurs des côtes soit en coordonné absolue ou relative (En fonction des cotes motionné sur le dessin de définition).

III.11.1 Système de coordonnées avec une programmation absolue

Que se soit en fraisage ou en tournage, l'origine du système de coordonnées se trouve à l'origine de la machine « M » ou bien après un décalage d'origine programmé, à l'origine de la pièce « W ». (Figure III.18 et III.19)

Tous les points de destination sont décrits, à partir de l'origine du système de coordonnées, en indiquant les distances X, Y et Z.

Similairement au fraisage, en tournage tous les points de destination sont décrits, à partir del'origine du système de coordonnées, en indiquant les distances X et Z, sauf que cette fois-ci les distances X sont indiquées comme cote de diamètre.

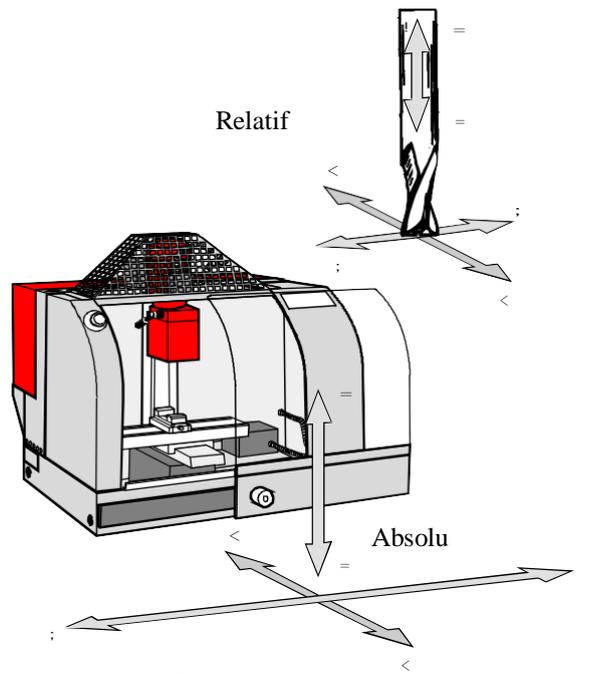


Figure III.18 : Représentation de Système de coordonnées absolue et relative dans une fraiseuse

III.11.2 Système de coordonnées avec une programmation relative

L'origine du système de coordonnées se trouve au point de référence du logement de l'outil « N » ou bien, après un appel d'outil, à la pointe de la fraise, (ou à la pointe du bec pour le cas du tour)

Dans la programmation relative, les déplacements réels de l'outil (d'un point à l'autre) sont décrits par les U, V, W selon les trois axes X, Y, Z respectivement.

Dans certaine machine les coordonnées U, V, W ne figurent pas dans la programmation, dans ce cas, le programmeur peut choisir entre les deux modes de programmation avec les fonctions « G90 » et « G91 »

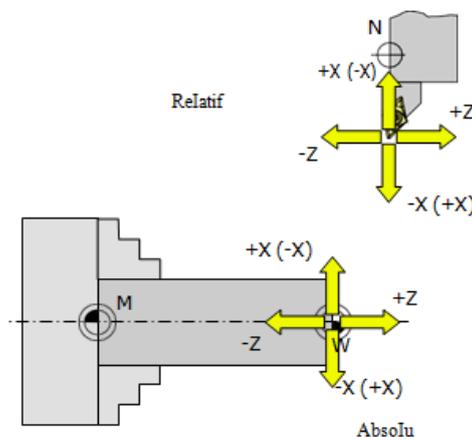


Figure III.19 : Représentation de Système de coordonnées absolue et relative dans un tour

III.11.3 Cotation absolue « G90 »

Les cotes se rapportent à l'origine machine « M ». L'outil se déplace sur une position programmée.

Format

N...G90

Les adresses doivent être programmées comme suit :

X +/- une valeur (Cotes absolues rapportées à l'origine de la pièce)

Y +/- une valeur (Cotes absolues rapportées à l'origine de la pièce)

Z+/- une valeur (Cotes absolues rapportées à l'origine de la pièce)

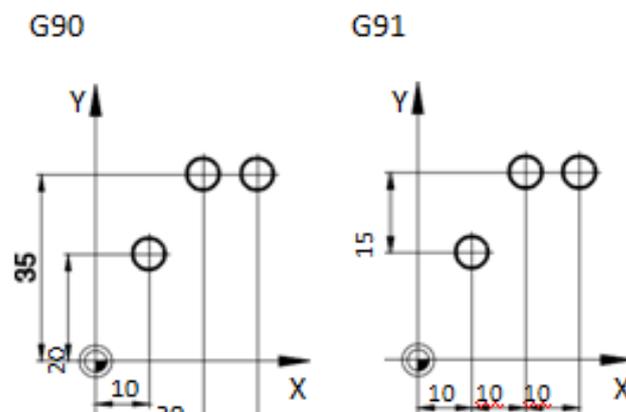


Figure III.20 : Représentation de Système de coordonnées absolue et relative « G90 et G91 »

III.11.4 Cotation incrémentale « G91 »

Les cotes se rapportent à la dernière position programmée de l'outil. L'outil se déplace d'une longueur à la prochaine position, c'est-à-dire chaque point à atteindre est coté par rapport au dernier point.

Format

N...G91

Les adresses doivent être programmées comme suit :

X..... Déplacement relatif avec signe (+/-)

Y..... Déplacement relatif avec signe (+/-)

Z.....Déplacement relatif avec signe (+/-)

III.12 Saisie des données d'outil

Cette saisie des données d'outil est nécessaire pour que le logiciel utilise la pointe de l'outil ou le centre de l'outil pour le positionnement, et non le point de référence du logement de l'outil.

Chaque outil utilisé pour l'usinage doit être mesuré. Il s'agit ici de calculer l'écart entre le point de référence du logement de l'outil « N » et la pointe respective de l'outil.

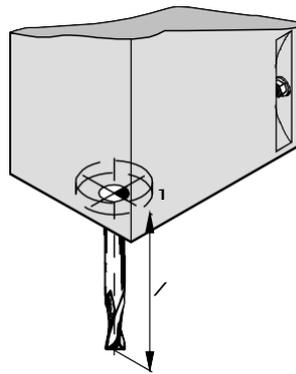


Figure III.21 : Représentation des données d'outil en fraisage

En fraisage, l'indication du rayon de la fraise n'est nécessaire que si une compensation du rayon de la fraise a été sélectionnée pour l'outil correspondant! (On parlera sur la notion compensation dans le paragraphe suivant). La saisie des données d'outil est effectuée pour :

- ✓ L1 : en direction Z absolu à partir du point "N" (Figure II.21)
- ✓ R : rayon de fraise

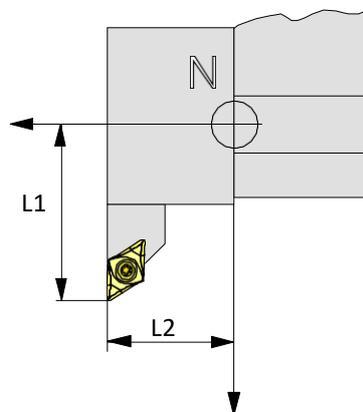


Figure III.22 : Représentation des données d'outil en tournage

En tournage la saisie des données d'outil se fait pour :

- ✓ L1: En direction X de manière absolue à partir du point "N" en rayon
- ✓ L2: En direction Z de manière absolue à partir du point "N"
- ✓ R: Rayon du bec

III.12.1 Programmation du numéro de l'outil et de son correcteur

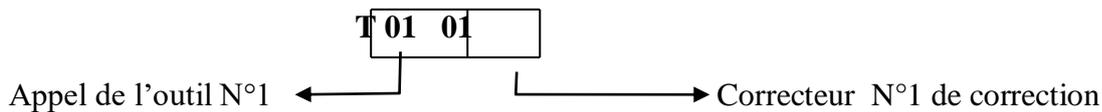
Sous l'adresse (T) on programme le numéro de l'outil et le numéro de correction qui lui est affecté. Tout outil peut être appelé plusieurs fois dans le programme d'usinage.

a) Correcteur d'outil

C'est le multi commutateur sur le clavier numérique de la CNC qui permet d'introduire les valeurs concernant les longueurs et rayon de l'outil et que la partie commande prendra en compte. Suivant le magasin porte outils on peut assurer la programmation de 0 jusqu'à 99 outils. L'adresse T associée à la fonction auxiliaire permet d'effectuer un changement manuel ou automatique de l'outil.

Sous la même adresse (T) sont programmés le numéro d'outil et le numéro de correction qui lui est affecté.

EXEMPLE



Cette écriture assure la validation des corrections, c'est-à-dire les prendre en compte avec les mots suivants. L'écriture T00 00 annule la correction.

III.13 Commutation d'axes

La sélection du plan de travail s'effectue sous les fonctions G17, G18, G19 (Figure II.23) d'où :

- ✓ G17 Plan XY
- ✓ G18 Plan ZX
- ✓ G19 Plan YZ

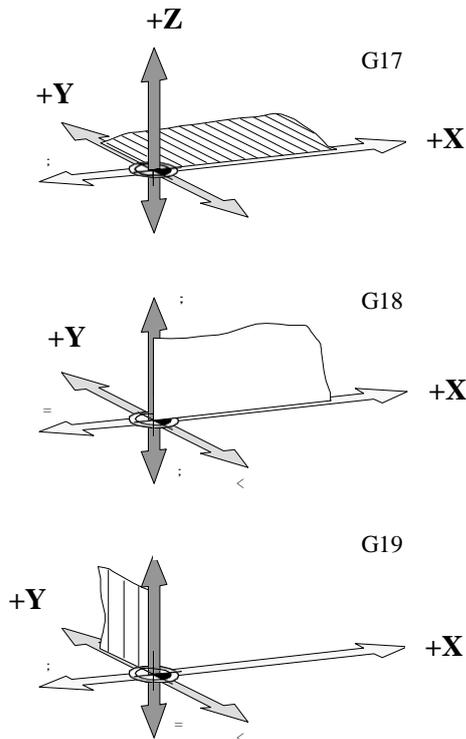


Figure III.23 : *Commutation d'axes*

III.14 Les interpolations

L'outil suit une courbe d'interpolation dont la description peut s'étendre sur plusieurs séquences, le code G définit le type de déplacement, seules les coordonnées du point d'arrivée sont données.

➤ G00 Interpolation Linéaire à vitesse rapide

C'est un déplacement rapide jusqu'au point d'arrivée, et sa vitesse n'est pas programmable.

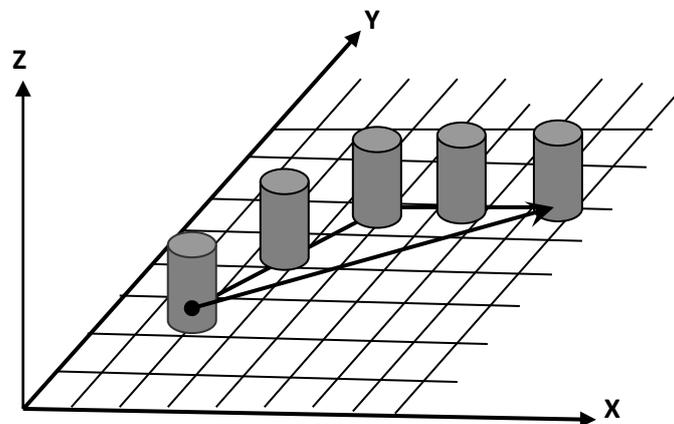


Figure III.24: *Déplacement rapide avec (G00).*

Ce type de déplacement est utilisé pour la mise en position rapide de l'outil ou pour un dégagement rapide lorsqu'il y a aucun obstacle devant l'outil (déplacement sans usinage).

Il faut faire attention quand à l'utilisation de ce type de déplacement car la trajectoire n'est pas contrôlée. (**Format G00 X.Y..Z..**)

La trajectoire est la résultante de tous les déplacements d'axes programmés dans le bloc.
Axes programmable :

- ✓ Axes primaire X, Y, Z
- ✓ Axes secondaire U, V, W
- ✓ Axes rotatifs A, B, C

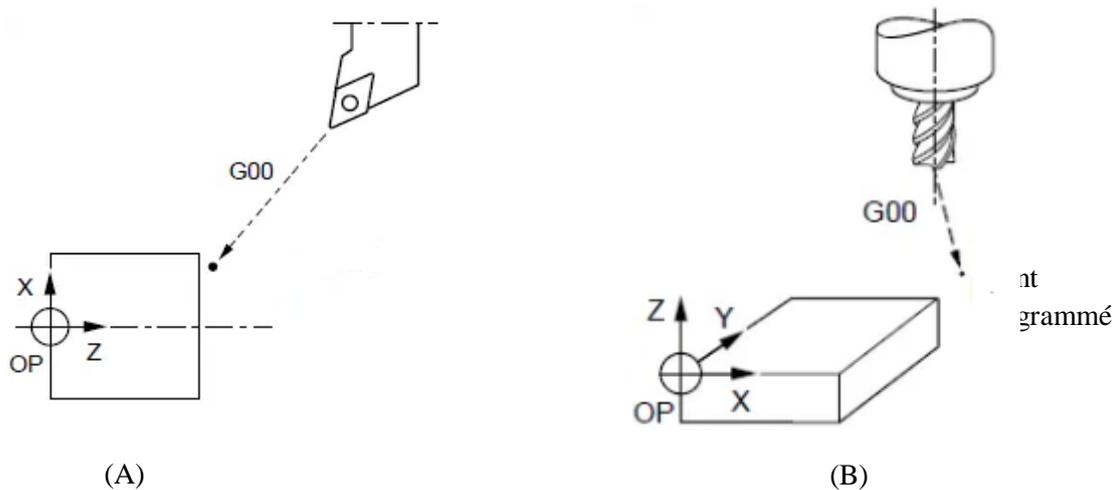


Figure III.25: Déplacement rapide avec (G00).

(A) Cas de tournage

(B) Cas du fraisage

➤ Interpolation linéaire (G01)

C'est une interpolation linéaire à vitesse contrôlée, la vitesse d'avance doit être introduite avant ou dans la même séquence.

Format G01 X...Y....Z...F...

En cas de déplacement de deux ou trois axes simultanément, la trajectoire résultante est une droite entre le point de départ et le point d'arrivée.

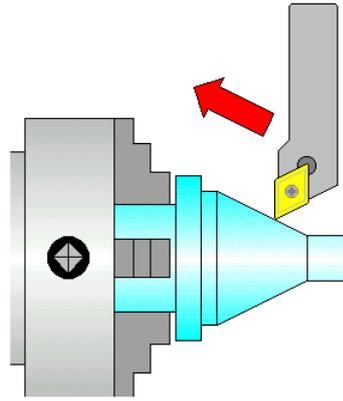


Figure III.26 Interpolation linéaire à vitesse contrôlée

➤ **Interpolation circulaire (G02. G03)**

Les déplacements se font à la vitesse programmée, en plus des coordonnées du point d'arrivée, il faut introduire les coordonnées du centre de cercle avec les adresses I, J, K relativement au point de départ. Telle que :

- ✓ G02 dans le sens des aiguilles d'une montre
- ✓ G03 dans le sens contraire

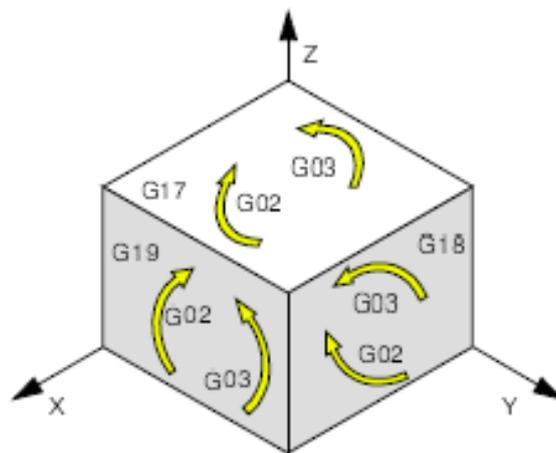


Figure III.27 Interpolation circulaire dans les plans

A noter qu'il faut définir le plan de travail avec G17-G19, d'où on aura :

- ✓ L'axe de l'outil est perpendiculaire au plan de travail.
- ✓ L'interpolation circulaire G02/G03 a lieu dans le plan de travail.
- ✓ L'interpolation en coordonnées polaires est effectuée dans le plan de travail.
- ✓ La compensation du rayon de plaquette G41/G42 est effectuée dans le plan de travail.

Les trois paramètres (I), (J) ou (K) sont placés à la suite des ordres de mouvements X, Y, ou Z, lors de l'interpolation.

L'interpolation pourra avoir lieu :

- ✓ - dans le plan XY ---- les paramètres seront et (I) et (J)
- ✓ - dans le plan YZ ---- les paramètres seront et (J) et (K)
- ✓ - dans le plan XZ ---- les paramètres seront et (I) et (K)

III.14-a Exemple de visualisation des interpolations en Tournage

G02 interpolation circulaire sens horaire à vitesse d'avance programmée Figure II.28 (A)

G03 interpolation circulaire sens antihoraire à vitesse d'avance programmée Figure II.28 (B)

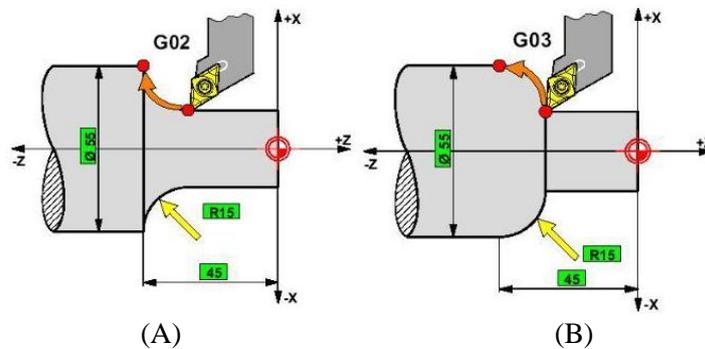


Figure III.28 Visualisation des interpolations en Tournage

III.14-b Exemple de visualisation des interpolations en Fraisage

G02 interpolation circulaire sens horaire à vitesse d'avance programmée Figure II.29 (A)

G03 interpolation circulaire sens antihoraire à vitesse d'avance programmée Figure II.29 (B)

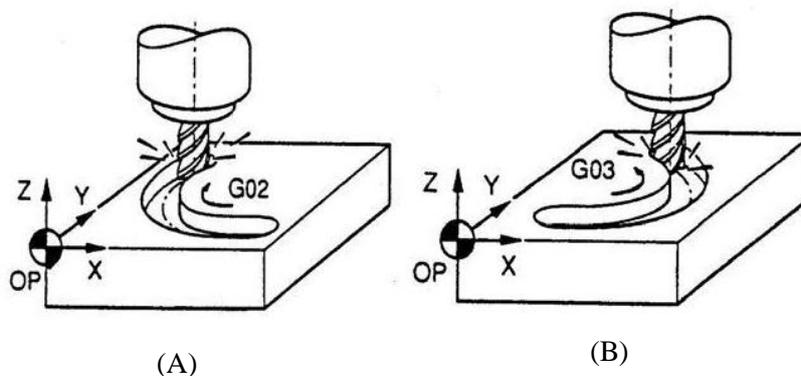


Figure III.29 Visualisation des interpolations en fraisage

III.14-c Quelques exemples de programmation sur l'interpolation circulaire :

Interpolation circulaire dans le plan XY :

✓ **Cas de fraisage**

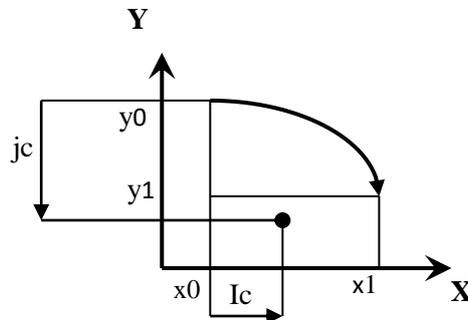


Figure III.30 Visualisation d'une interpolation en fraisage

En absolu : G02 Xx1 Yy1 Iic J-jc

En relatif : G02 X(x1-x0) Y (y1-y0) Iic J-jc

✓ **Cas de tournage**

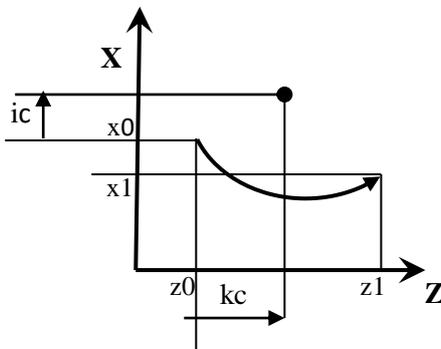


Figure III.31 Visualisation d'une interpolation en tournage

En absolu : G03 Xx1 Zz1 Iic Kkc

En relatif : G03 X(x1-x0) Z (z1-z0) Iic Kkc

✓ Exemples sur l'interpolation avec des valeurs

Exemple 1

G02 / X5.0 / Y65.0 / I-20.0 / J-45.0

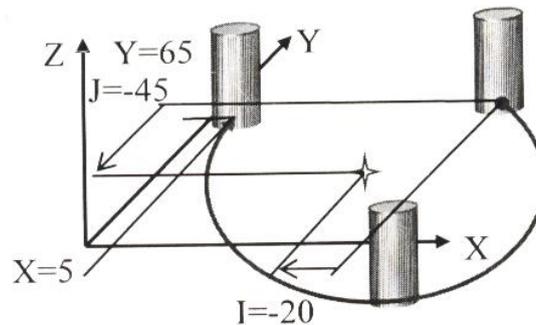


Figure III.32 : Exemple d'Interpolation circulaire G02.

III.15 Programmation de la correction d'outil

Pour les pièces de 'contournage', la correction du rayon de l'outil s'effectue dans le plan (Z, X) pour le tour et dans le plan du trièdre pour la fraiseuse.

La correction introduite peut être égale au rayon même de l'outil, c'est à dire qu'il est possible de programmer le profil réel de la pièce. La commande numérique exécute automatiquement la trajectoire de portée, elle peut aussi exprimer une correction du rayon par rapport à un rayon théorique dont la trajectoire programmée tient compte.

Remarque

Sur le programme pièce il faut préciser :

- ✓ La position de l'outil par rapport à la trajectoire programmée (outil à gauche ou à droite du profil à usiner).
- ✓ Numéro de correcteur à appliquer.

La CNC analyse les figures élémentaires successives et apporte les corrections en conséquence.

- ✓ **G41** : Compensation du rayon d'outil A GAUCHE
- ✓ **G42**: Compensation du rayon d'outil A DROITE

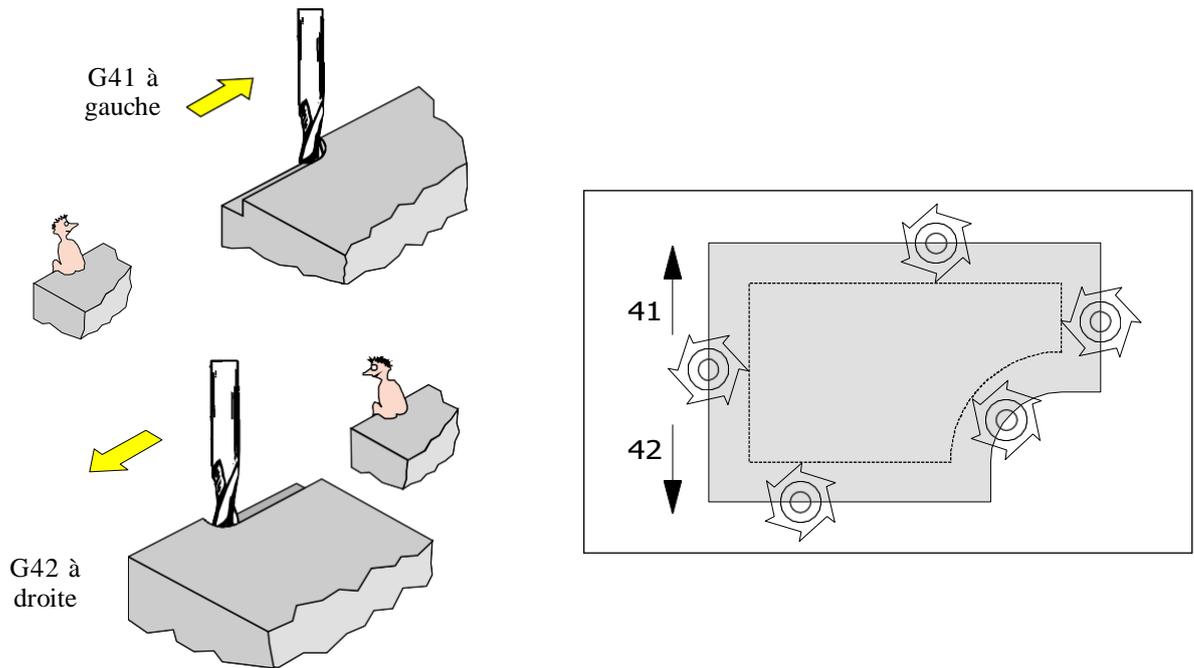


Figure III.33 : Utilisation de G41 et G42

- ✓ **G40** : Annulation de la correction du rayon de l'outil qui est progressive, elle n'est effective qu'à la fin du bloc contenant le code G40, à ce moment l'outil est positionné aux coordonnées programmées X et Y.

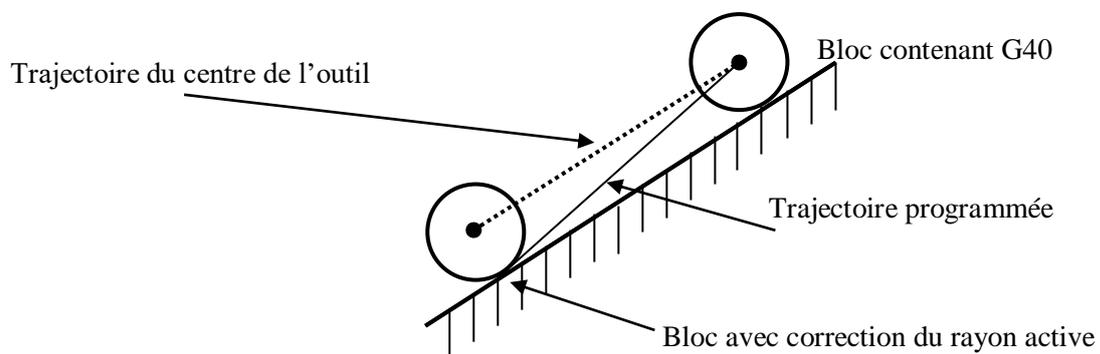


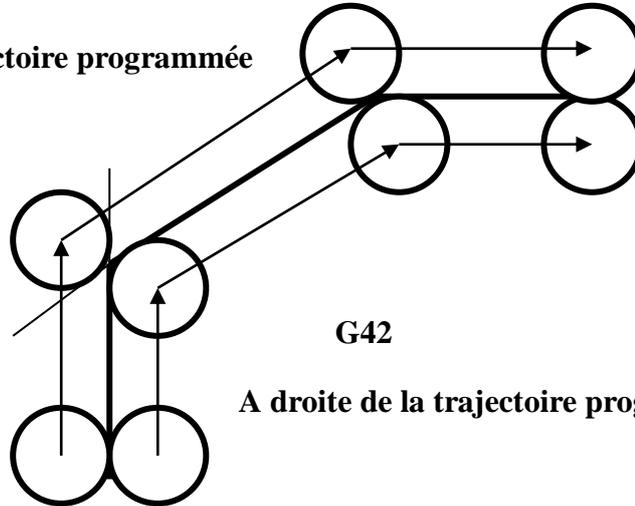
Figure III.34 : Annulation de la correction d'outil

III.15-a Exemples de programmation avec G40, G41, G42 et G00 :

✓ Exemple de correction du rayon de trajectoire

G41

A gauche de la trajectoire programmée



A droite de la trajectoire programmée

Figure II.35 : Représentation de la correction d'outil

✓ Exemple en fraisage :

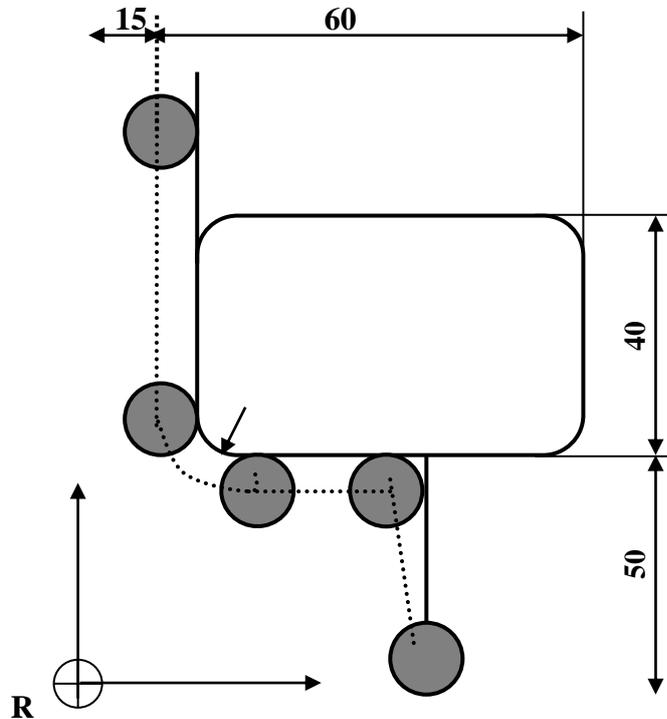
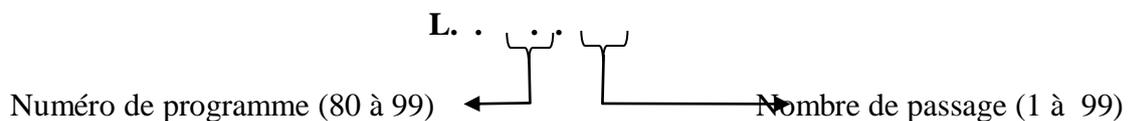


Figure III.36 : Exemple d'utilisation de la correction du rayon d'outil en fraisage

```
N 0100 G41 G01 X50 Y50  
N 0110 X35 Y50  
N 0120 G02 X25 Y60 I0, J10  
N0130 G01 Y110
```

III.16 Fonction d'appel d'un sous-programme

On utilise le sous-programme pour faciliter la programmation et raccourcir le programme principal, pour cela on utilise la fonction préparatoire (G25) suivie du paramètre (L) comportant un chiffre à quatre nombres.



Tous les sous-programmes se terminent par la fonction (M17) qui est une fonction auxiliaire, l'imbrication de sous programme peut aller jusqu'à (10) niveaux.

L'imbrication des sous-programmes est utilisée pour éviter les répétitions dans un programme, à supposer qu'on a dix opérations qui se répètent dans un même programme alors avec l'utilisation de la fonction d'appel de sous-programme on écrit qu'une seule fois le sous-programme et on peut l'exécuter jusqu'à (99) fois.

III.17 Fonction G27: saut non conditionnel

L'instruction (G27) provoque un saut dans le déroulement du programme, le numéro de séquence ou le saut doit être opérant est programmé sous l'adresse L.

Exemple

```
N0100 G27 L0320
```

Le programme saute de la séquence N0100 à la séquence N0320

III.18 Fonctions préparatoires (G) possibles

Chaque fabricant de CN spécifie dans son manuel de programmation la façon d'écrire les données numériques aux différentes lettres-adresses (nombre de chiffres avant et après la virgule, mode de séparation des entiers et des décimales, etc.).

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 modale 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 ;

Tableau III.01 : Fonctions préparatoires (G) possibles

Code de la fonction	Signification de la fonction
G00	Approche rapide en mode point à point
G01	Interpolation linéaire
G02	Interpolation circulaire, sens d'horloge
G03	Interpolation circulaire, sens inverse d'horloge
G04	Arrêt temporisé
G05-G07	Non assignées
G08	Accélération progressive
G09	Décélération progressive
G10-G12	Non assignées
G13-G16	Choix d'axes
G17	Choix du plan XY
G18	Choix du plan ZX
G19	Choix du plan YZ
G20-G32	Non assignées pour T120 et F3CNC
G33	Cycle de filetage avec pas constant
G34	Cycle de filetage avec pas croissant
G35	Cycle de filetage avec pas décroissant
G36-G39	Non assignées
G40	Annulation de la compensation du rayon d'outil
G41	Compensation du rayon d'outil, outil à gauche du profil
G42	Compensation du rayon d'outil, outil à droite du profil
G50-G59	Utilisées dans la commande adaptive
G60-G69	Non assignées
G70	Programmation en unités anglo-saxonne
G71	Programmation en unités métriques
G72	Interpolation dans l'espace dans le sens d'horloge

Tableau III.02 : Suite des Fonctions préparatoires (G) possibles

Code de la fonction	Signification de la fonction
G81	Cycle de perçage
G82	Cycle de lamage
G83	Cycle de perçage avec dégagement
G84	Cycle de taraudage
G90	Programmation absolue
G91	Programmation relative (incrémentale)
G92	Déplacement du point de référence
G93	Non assignées
G94	Vitesse d'avance en mm/mn
G95	Vitesse d'avance en mm/tr
G96	Vitesse de coupe constante en (mm/mn)
G97	Vitesse de coupe constante en (tour/mn)
G98	Retour au plan de départ
G99	Retour au plan de dégagement

III.19 Fonction auxiliaires (M)

Les fonctions auxiliaires (M) sont des fonctions qui déterminent le mouvement, la sélection de vitesse, le sens de rotation de la broche et l'arrosage. Toutes les fonctions (M) décodées sont modales sauf (M06) qui est une fonction codée par le constructeur et peut être programmée par bloc.

Tableau III.03 : Fonction auxiliaires (M)

Code de la fonction	Signification de la fonction
M00	Arrêt programmé
M01	Arrêt programme optionnel
M03	Rotation de la broche dans le sens de l'horloge
M04	Rotation de la broche dans le sens antihoraire
M05	Arrêt de la broche
M06	Changement d'outil pendant l'usinage par rotation automatique du porteur d'outil
M07	Fonctionnement du système d'arrosage secondaire qui existe sur certaines machines
M08	Démarrage de la pompe d'arrosage principale
M09	Arrêt d'arrosage à un moment choisi et programmé dans une séquence
M10	Blocage du porte-outil sur la tourelle d'un tour
M11	Déblocage du porte-outil de la tourelle
M17	Fin d'un sous-programme et retour vers le programme principal
M18	Sélection de la gamme de vitesse de la broche
M30	Fin du programme principal et retour au début de ce programme pour qu'il soit exécuté de nouveau avec cycle star en cas de besoin
M40-M47	Sélection d'une gamme de huit vitesses

Chapitre IV :
Compléments de programmation
spécifique à NUM

Chapitre IV :

Compléments de programmation spécifique à NUM

IV.1 Introduction

Le langage NUM prend pour base le langage ISO. Il ajoute des fonctions supplémentaires pour le pilotage des machines-outils à commande numérique, ce qui en fait un langage unique. Pour cela, les fonctions spéciales développées et optimisées pour telle ou telle autre application doivent sans cesse être plus nombreuses.

La CNC basé sur le langage NUM propose de nombreuses fonctions de commande destinées aux machines les plus diverses, ce qui donne la possibilité de pilotée la machine facilement pour un travail efficace sur des pièces de forme très complexe.

A cette effet, on propose dans se chapitres quelques fonctions supplémentaires du langage NUM, facilitent le pilotage ou l'usinage des pièces ayant un profil complexe.

IV.02 Conditions d'enchaînement des trajectoires

G09 Arrêt précis en fin de bloc avant enchaînement sur bloc suivant.

Le point programmé est atteint lorsque la fonction est programmée dans le bloc.

Syntaxe

N.. **G09** [G00/G01/G02/G03] X.. Z.. [F..]

- ✓ G09 Arrêt précis en fin de bloc avant enchaînement sur bloc suivant.
- ✓ G00/G01/G02/G03 Interpolation linéaire ou circulaire.
- ✓ X.. Z.. Point à atteindre.
- ✓ F.. Vitesse d'avance

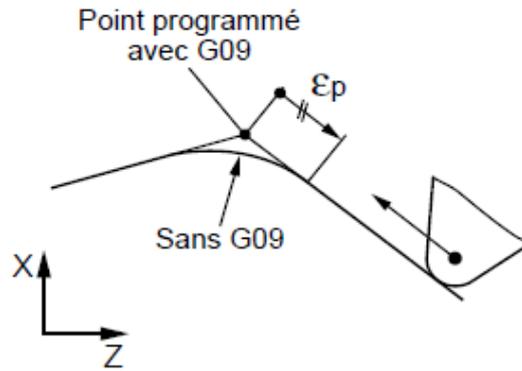


Figure IV.01 : Condition d'enchaînement des trajectoires avec G09

IV.03 Interruption de séquence

G10 Bloc interruptible

Le positionnement au point d'arrivée programmé dans le bloc comportant la fonction est susceptible d'être modifié par interruption programmée, hardware ou conditionnée par la comparaison d'une mesure à un seuil programmé.

Après interruption du bloc en cours, le système permet l'enchaînement au bloc suivant ou à un autre bloc.

Exemples

Bloc interruptible comprenant un saut, sans comparaison à un seuil

Saut au 3ème bloc après N150 si une interruption hardware est émise

N.. ...

N80 G01 G41 X.. Z.. F200

N90 G40 X.. G10 N150 +3

Saut à N150

N100

N..

N150

N..

N..

N..

N..

+ 3 blocs

IV.04 Orientation de l'axe de l'outil

G16 Définition de l'orientation de l'axe de l'outil avec les adresses P, R.

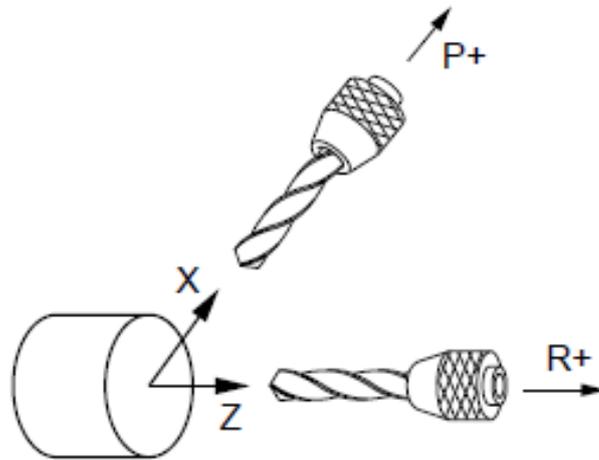


Figure IV.02 : Orientation de l'axe de l'outil

Syntaxe

N.. G16 P±/R±

- ✓ G16 Définition de l'orientation de l'axe de l'outil.
- ✓ P+ Orientation de l'axe suivant X+.
- ✓ P- Orientation de l'axe suivant X-.
- ✓ R+ Orientation de l'axe suivant Z+.
- ✓ R- Orientation de l'axe suivant Z-.

IV.05 Cycle au filetage au grain

Ce cycle s'effectue avec la fonction G31

Syntaxe

N... G17 [M04, M04] G31 [X.. Y... Z] ER..EH..K.. P..

- ✓ G17 choix du plan
- ✓ M03/M04 Rotation de la broche
- ✓ S Vitesse de rotation de la broche
- ✓ G31 Cycle de filetage au grain

- ✓ X..Y.. Position de l'outil dans le plan
- ✓ Z.. Point à atteindre sur l'axe d'usinage
- ✓ ER.. Cote d'approche ou de dégagement sur l'axe d'usinage
- ✓ EH.. Cote du plan d'attaque sur l'axe d'usinage
- ✓ K.. Pas du filetage exprimé en mm
- ✓ P..Cote absolue de retrait de l'outil en fin de filetage

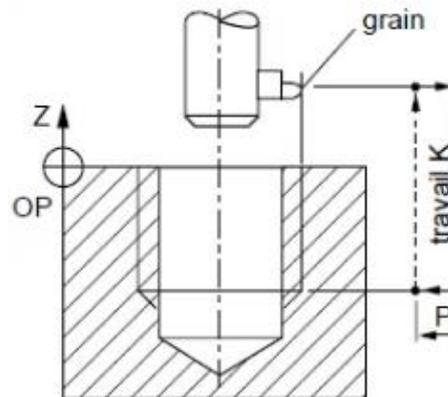


Figure IV.03 : Présentation du Cycle au filetage au grain

IV.06 Choix des origines des déplacements

La fonction G52 provoque la programmation absolue des déplacements par rapport à l'origine mesure.

Les déplacements programmés avec la fonction sont repérés par rapport à l'origine mesure (OM). Tous les axes sont programmables par rapport à l'origine mesure.

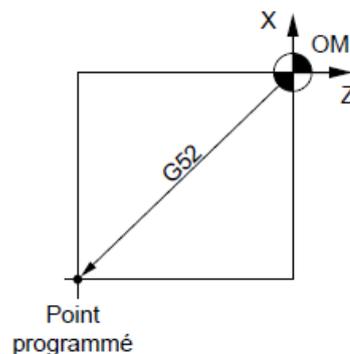


Figure IV.04 : Programmation absolue des déplacements par rapport à l'origine mesure.

Syntaxe

N.. [G40] [G90] [G00/G01] **G52** X.. Y.. Z.. [F..]

- ✓ G40 Annulation de correction de rayon.
- ✓ G90 Programmation absolue.
- ✓ G00/G01 Interpolations linéaires à vitesse rapide ou programmée.
- ✓ G52 Programmation absolue des déplacements par rapport à l'origine mesure.
- ✓ X.. Y..Z.. Point à atteindre par rapport à l'origine mesure.
- ✓ F.. Vitesse d'avance.

IV.07 Appel d'un contour créé par PROFIL

Pour être exécutable, un contour numéroté créé par PROFIL doit être appelé. Cet appel peut être effectué par la fonction G77 d'appel de sous programme,

La syntaxe de l'appel du contour est particulière selon que le contour a été créé à l'intérieur même du programme pièce principal ou dans un sous programme annexe.

Syntaxe

G77 [H..] P.. [S..]

P.. Numéro du contour créé par la fonction PROFIL.

Exemple

Appel par G77 du contour N° 1 situé dans un sous programme annexe %301.

%300 (PROGRAMME PRINCIPAL)

N..

N..

N..

N150 G77 H301 P1 Appel du contour 1

N..

N..

IV.08 Saut Conditionnel

Le saut conditionnel à une séquence sans retour se fait avec la fonction G79

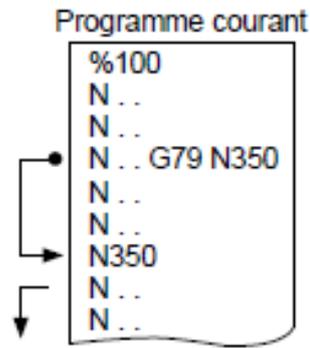


Figure IV.05 : Exemple du saut conditionnel à une séquence

IV.09 Cycle de perçage centrage

G81 Cycle de perçage centrage.

Syntaxe

N.. **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.

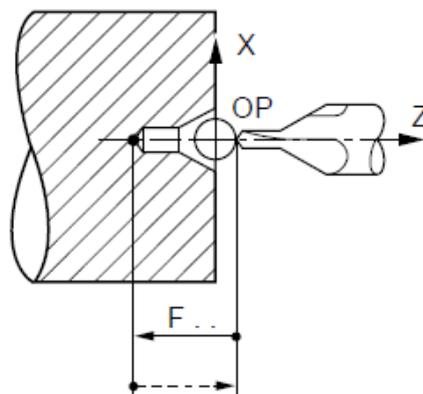


Figure IV.06 : Présentation des paramètres du cycle de perçage

Chapitre V :

Programmation CN et systèmes de FAO

Chapitre V :

Programmation CN et systèmes de FAO

V.1 Introduction

Suite à la reconnaissance des possibilités offertes par de telles machines, l'intégration de l'électronique aux procédés d'usinage évoluait à la vitesse des découvertes effectuées dans le domaine de l'électronique. L'augmentation rapide de la puissance des processeurs au cours des années 70 et 80 a résulté en une multitude de nouvelles applications dans le domaine de l'usinage. Les systèmes de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) et de Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO) sont apparus, les contrôleurs de MOCN sont devenus plus rapides, performants et simples d'utilisation et les procédés d'usinage ont augmenté en productivité.

L'évolution de ces technologies s'est effectuée à un rythme effréné et parfois dans des directions différentes, en se basant en partie sur la technologie déjà implantée. Ainsi, aujourd'hui, le langage utilisé afin de communiquer l'information aux contrôleurs de MOCN est basé sur un standard qui date d'environ 30 ans.

V.2 Conception et fabrication assistées par ordinateur

La conception et fabrication assistées par ordinateur (CFAO) est la synthèse de la CAO et de la FAO apparue dans les années 1970 avec l'introduction des machines-outils à commande numérique.

L'idée est qu'un système de CAO dispose précisément de toutes les informations nécessaires pour la création de la maquette numérique, et par la suite créer le programme d'une machine-outil à commande numérique à l'aide du système FAO.

Au départ, la CFAO visait surtout à commander aux machines-outils pour la réalisation des maquettes et prototypes, mais la fiabilité du procédé fait aujourd'hui intervenir

l'ordinateur sur tout le cycle de production. Les maquettes sont au passage devenues virtuelles également. Des interfaces d'exportation comme IGES, VDA, SET, STEP permettent également l'importation des schémas, des plans, des solides dans la documentation technique des objets fabriqués.

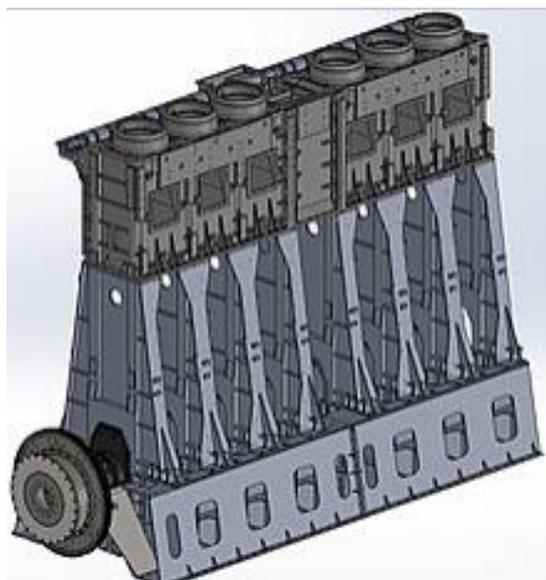


Figure V.01 : Exemple de modélisation via le logiciel Solidworks.

La démarche dans la CFAO est souvent la suivante :

- ✓ enquêter pour déterminer les besoins des clients et prévoir leurs désirs ;
- ✓ établir un cahier des charges définissant le produit et ses caractéristiques techniques ;
- ✓ réaliser un dessin technique 2D ;
- ✓ utiliser des outils de calcul pour un dimensionnement préliminaire ;
- ✓ maquette 3D à partir du dessin 2D par un modéleur volumique ;
- ✓ intégrer dans son ensemble l'élément ;
- ✓ repérer les interférences éventuelles (points durs) ;
- ✓ prendre en compte les contraintes de tous les services ;
- ✓ prototype
- ✓ essai
- ✓ test ;

- ✓ dessin définitif.

V.3 Fabrication assistée par ordinateur

L'objectif de la fabrication assistée par ordinateur ou FAO est d'écrire le fichier contenant le programme de pilotage d'une machine-outil à commande numérique. Ce fichier va décrire exactement les mouvements que doit exécuter la machine-outil pour réaliser la pièce demandée. On nomme aussi ce type de fichiers : programme ISO ou *blocs ISO*.

V.4 Etape

V.4.1 Modélisation

La conception de la pièce à fabriquer est réalisée avec un logiciel de Conception assistée par ordinateur (CAO) : on appelle le fichier ainsi obtenu "modélisation 3D" ou encore "DFN" pour Définition de Formes Numérisée. Cette modélisation en trois dimensions de la pièce à réaliser est ensuite «exportée», c'est-à-dire sauvée depuis la CAO dans un fichier intermédiaire en utilisant un standard d'échange comme IGES, STEP, VDA, DXF ou autre. Certains outils de FAO sont capables de relire directement les fichiers des grands fournisseurs de CAO. Dans d'autres cas, la CAO et la FAO sont totalement intégrées et ne nécessitent pas de transfert.

V.4.2 Elaboration des parcours-outils

La modélisation 3D étant importée sur le progiciel de FAO puis relue par ce dernier, il est envisageable de passer à la programmation des parcours outils, le cœur de l'activité de la FAO. Le programmeur crée les parcours en respectant les choix d'outil, les vitesses de coupe et d'avance, et les stratégies d'usinage à mettre en œuvre. Le logiciel de FAO "plaque" les trajectoires des outils choisis sur la modélisation 3D et enregistre celles-ci sous forme d'équations.

Depuis 1990-2000, les logiciels de FAO sont capables de reproduire graphiquement (visualisation volumique) et d'une manière fiable, l'action des outils dans la matière, donnant la possibilité ainsi au programmeur de vérifier ses méthodes d'usinage et éviter a priori les collisions sur les machines-outils.

Il est envisageable désormais de modéliser entièrement la machine outil et de visualiser les mouvements des organes mobiles de celle-ci (tête, table, axes rotatifs) lors de la simulation d'usinage : cette possibilité est précieuse lors de la vérification et la validation de parcours en 5 axes, où les risques de collision sont décuplés comparé à un usinage plus classique, en 3 axes.

V.4.3 La Machine-Outil à Commande Numérique

La dernière étape consiste, depuis le programme de FAO (au format binaire dit CLFile) ainsi élaboré, à générer les blocs ISO pour la machine-outil.

Ce programme de conversion est nommé un Post-Processeur. Il existe aussi des logiciels indépendants de simulation d'usinage servant à reproduire en 3D le comportement de la machine-outil en décodant directement les blocs générés par le Post-Processeur. Ceci sert à prendre en compte le programme donné à la machine-outil et non pas le résultat de la FAO. Le fichier ISO obtenu est transmis à la MOCN (Machine-Outil à Commande Numérique) par un logiciel de DNC (Direct Numerical Control), puis exécuté par cette machine, après la phase de réglage indispensable.

Les fichiers G-code sont produits par des programmes de CFAO tels que, SmartCAM, Gibbscam, SolidCAM, Featurecam, Artcam, Edgcam, Surfcam, Mastercam, OneCNC, Router-CIM, Alphacam, TopSolid'Cam, e-NC etc. Ces applications utilisent généralement des convertisseurs nommés post-processeurs pour optimiser le code en vue de son utilisation sur une machine spécifique.

V.5 Transfert d'informations CAO- FAO

Si les logiciels de CAO et de FAO ne sont pas des modules de la même plate-forme CFAO, un format neutre doit être employé afin de transférer la géométrie entre ces modules. La perte de toutes les caractéristiques de la pièce ainsi que des informations autres que géométriques résulte de ce transfert.

De plus, il est impossible d'effectuer une mise à jour de la géométrie dans le module de FAO et de rectifier les changements dans le module CAO. Ceci a pour conséquence que l'information voyage uni-directionnellement du système de CAO au système de FAO.

Des problèmes de mise à jour des données peuvent résulter d'une telle situation car des pièces ayant des géométries ou des dimensions différentes peuvent exister en parallèle si les changements ne sont pas rectifier à tous les modules.

Il existe deux solutions à cette problématique :

- ✓ la première est d'acquérir un logiciel de CFAO intégré, mis à part l'investissement élevé nécessaire à l'achat d'un tel logiciel, une formation doit être dispensée aux employés afin qu'ils puissent l'utiliser efficacement.
- ✓ La seconde solution consiste à apporter les modifications nécessaires dans le module CAO, exporter à nouveau le modèle par l'entremise d'un format neutre, et générer une seconde fois les trajets d'outils sur la nouvelle pièce. Ce qui constitue également une solution inefficace car la perte de l'associativité liée à l'utilisation du format neutre exige de générer à nouveau les trajectoires.

Chapitre VI

Exemples d'application

Chapitre VI

Exemples d'application

VI.1 Introduction

Dans cette partie, on détaille le principe de la programmation des profils des pièces à réaliser. On note que dans une première partie, on donne quelques exemples de programmation d'usinage des pièces uniquement avec des fonctions séparé ; c'est-à-dire qu'on va voir la méthode de programmation avec la fonction G01, et par la suite la programmation de la fonction G02 ...etc. Dans une seconde partie, on détail le programme d'usinage complet de quelques pièces avec des cotations bien défini, et dans une dernier partie, on donne quelques exemple de programmation d'usinage des pièces déjà réaliser au niveau de notre atelier.

VI.2 Exemple de programmation de la fonction G01 en tournage

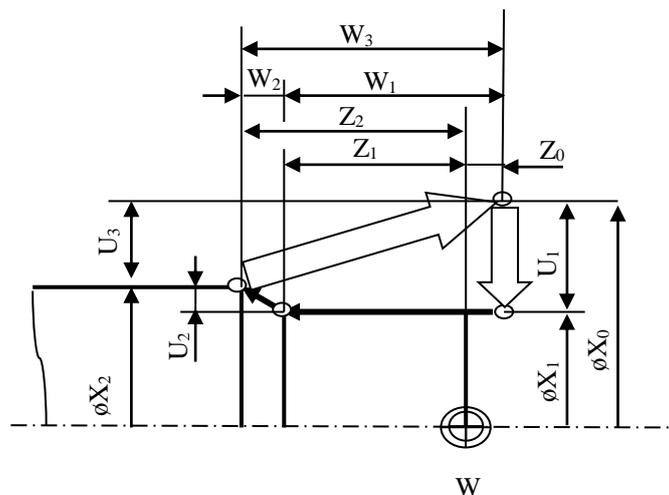


Figure VI.01 : Profil d'une pièce réalisé au tournage

Pour comprendre le principe de base de la programmation ; on donne à travers ce premier exemple, la programmation d'un profil d'une pièce (Figure VI.01) réalisé au tournage, uniquement avec la fonction G01,

On note que « N » représente le numéro de la séquence, « X, Y » les coordonnées absolu, « U, W » les coordonnées incrémentiels, et « F » la valeur de l'avance.

La programmation sera de la façon suivante :

```
N.../G00/X1 (-U1)
N.../G01/-Z1 (-W1)/ F...
N.../G01/X2 (+U2)/- Z1 (-W2)/ F...
N.../G00/X0 (+U3)/ + Z0 (+W3)
```

VI.3 Exemple de programmation avec la fonction G02

VI.3.1 Programmation en absolue

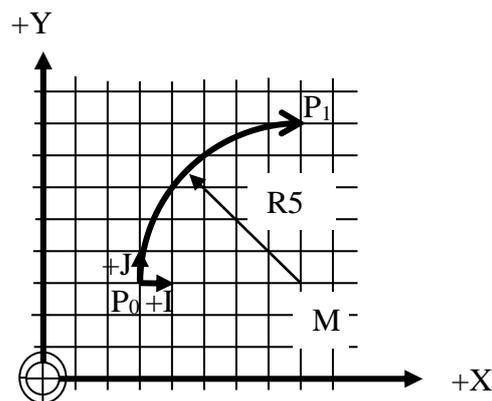


Figure VI.02 : Représentation d'une interpolation circulaire avec des coordonnées absolue

Pour le cas de figure VI.02, on à le sens de rotation s'effectue avec la G02, et on à les coordonnées d'extrémité de l'arc de cercle P1 en absolue, la programmation sera de la façon :

```
N.../G02/X8./Y8./I5./J0
```

Avec : « I, J » les coordonnées du centre de l'interpolation circulaire

VI.3.2 Programmation en incrémentielle

Pour le cas de figure VI.03, on à le sens de rotation s'effectue avec la G02, et on à les coordonnées d'extrémité de l'arc de cercle P1 en incrémentielle, on aura donc la programmation suivante : N.../G02/U5./V5./ I5. /J0.

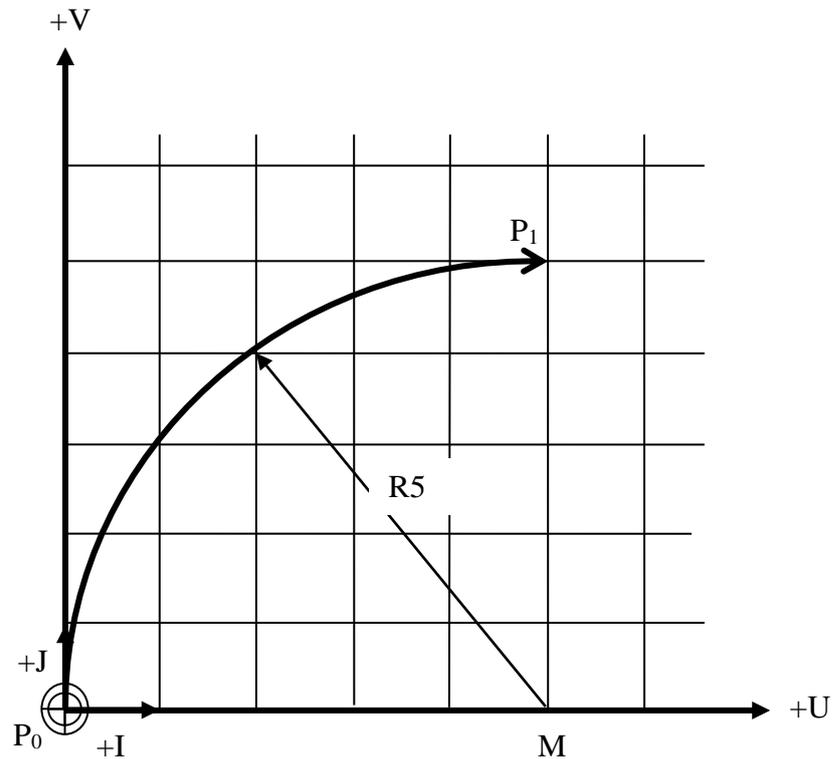


Figure VI.03 : Représentation d'une interpolation circulaire avec des coordonnées incrémentielle

VI.4 Exemple de programmation avec l'interpolation G01 (cas de fraisage)

Comme déjà mentionné au chapitre II, un programme se compose de trois parties :

- Début de programme, il se compose de trois ou quatre séquences, (décalage du point de référence, appel de l'outil, désignation de la valeur de la vitesse d'avance et de rotation, ainsi l'unité d'avance.....etc.)
- Le programme principal : contenant les fonctions préparatoires d'avancement de l'outil, et les coordonnées des points de destination (les coordonnées du profil à réaliser)
- La partie fin du programme : Annulation des décalages et des outils, arrêt de l'arrosage, et finalement instruction de la fin de programme

Dans ce paragraphe on détaillera le programme d'usinage d'un profil de pièce (Figure VI.04) réalisé sur une fraiseuse à commande numérique. Le programme « O 400 » se déroulera toute au long de la réalisation du profil de la pièce en coordonnées absolue

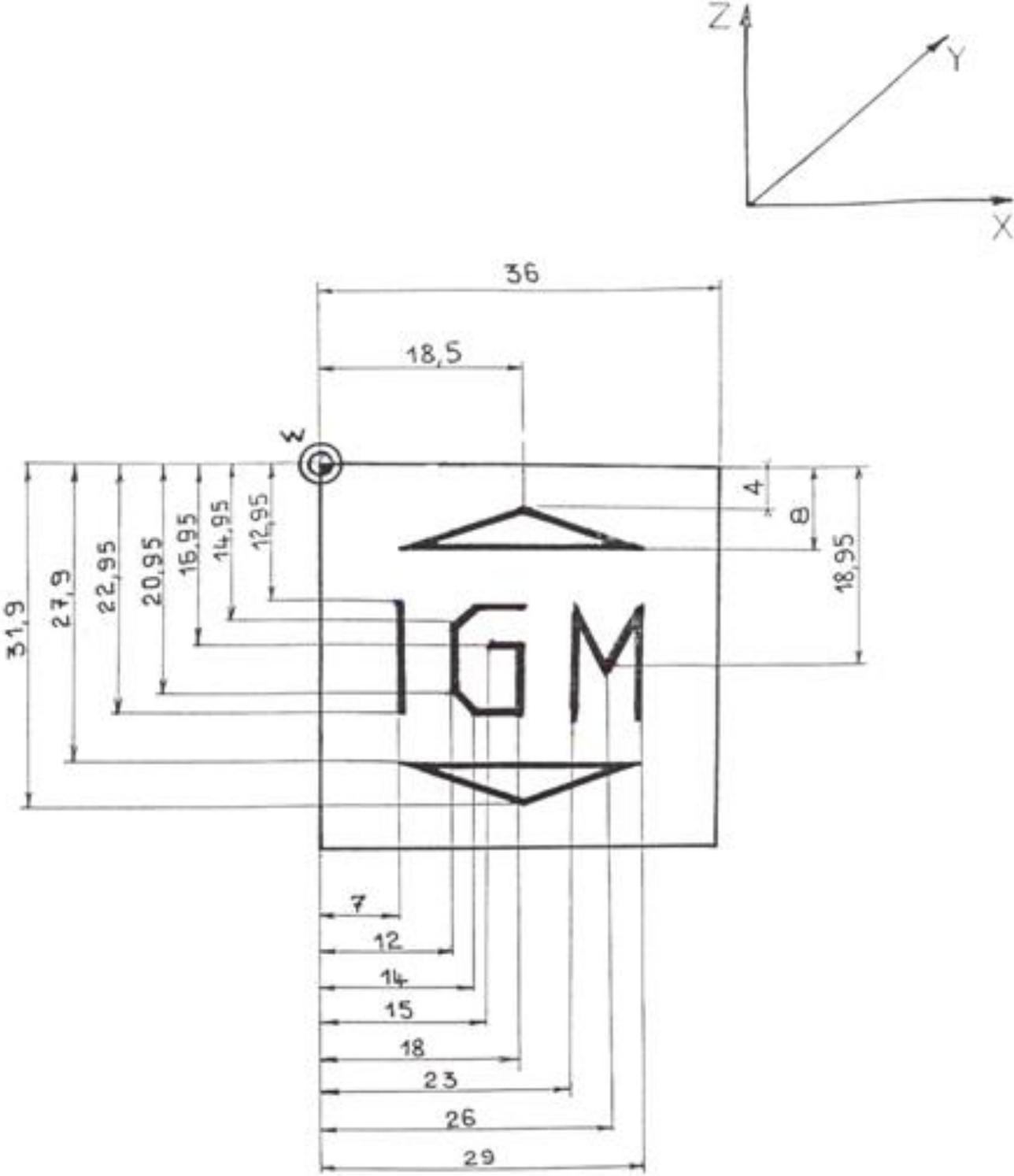


Figure VI.04 : Représentation du profil d'une pièce

O 0400

N0000 / G54 (Décalage du point de référence « M » vers l'étau)
N0010 / G92 / X0.0 / Y35.9 / Z7.872 (Chargement de la mémoire du deuxième décalage)
N0020 / G59 (Exécution du deuxième décalage)
N0030 / T0505 / G95 / F80 / S600 / M03 (Appel de l'outil et désignation de la valeur de la vitesse d'avance et de rotation, de même le sens de rotation de la fraise)
N0040 / G00 / Z2.0 / X7.0 / Y-12.95
N0050 / G01 / Z-0.5 / F5
N0060 / Y-22.95 / F10
N0070 / Z2.0 / G00
N0080 / X18.0 / Y-12.95
N0090 / G01 / Z-0.5 / F5
N0100 / X14.0 / F10
N0110 / X12.0 / Y-14.95
N0120 / Y-20.95
N0130 / X14.0 / Y-22.95
N0140 / X18.0
N0150 / Y-16.95
N0160 / X15.0
N0170 / Z2.0 / G00
N0180 / X23.0 / Y-22.95
N0190 / Z-0.5 / G01 / F5
N0200 / Y-12.95 / F10
N0210 / X26.0 / Y-18.95
N0220 / X29.0 / Y-12.95
N0230 / Y-22.95
N0240 / G00 / Z2.0
N0250 / X7.0 / Y-8.0
N0260 / G01 / Z-0.5 / F5
N0270 / X29.0 / F10
N0280 / X18.5 / Y-4.0
N0290 / X7.0 / Y-8.0
N0300 / Z2.0 / G00
N0310 / X7.0 / Y-27.9
N0320 / G01 / Z-0.5 / F5
N0330 / X29.0 / F10
N0340 / X18.5 / Y-31.9
N0350 / X7.0 / Y-27.9
N0360 / G00 / Z2.0
N0370 / X-10.0 / Y-10.0 / Z50.0
N0308 / T0000 / G53 / G56 / M05 / M09 / M30 (Annulation d'outil, les décalages, Arrêt de la broche et d'arrosage, et instruction e fin du programme)



Programme principale contenant les fonctions préparatoires et les coordonnées des points de destination

. VI.5 Exemple d'utilisation de la compensation et l'appel du sous-programme

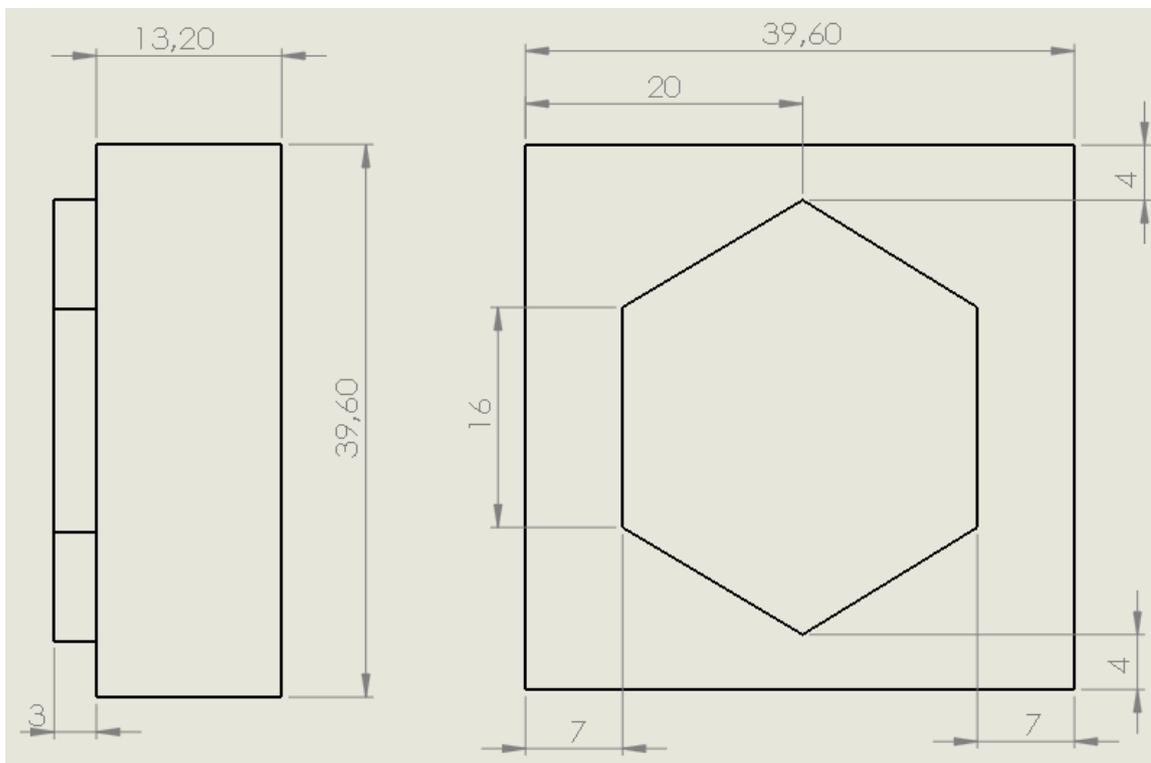
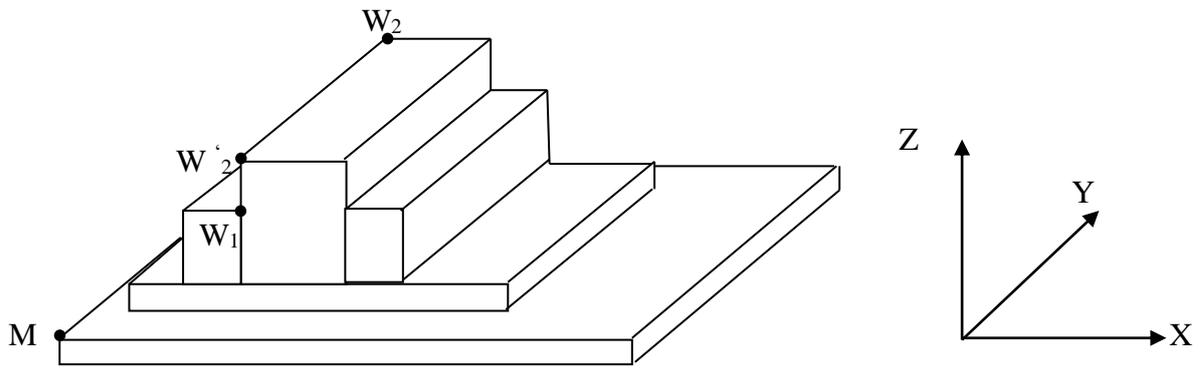


Figure VI.05 : Représentation de la cotation du profil d'une pièce

A travers la programmation de la pièce mention à la figure VI.05, on va voir la méthode d'utilisation de la notion du sous-programme (Avec la fonction G25) vu qu'on va réaliser le profil en trois passes afin d'avoir la profondeur final (3 mm). Puisqu'on a une forme de profil complexe pour ce cas de figure (c'est-à-dire des interpolations linéaire non parallèle par rapport aux axe « X » et « Y »), cela rendre le calcul des coordonnées des points de destination difficile. La meilleur façon c'est d'utiliser la cotation de la pièce pour la

programmation des coordonnées, cela nous guide vers l'utilisation de la notion compensation du rayon d'outil (G41 ou G42).

Programme principal O 0301 « Fraise diamètre 14 mm »

N0000 G54 (Décalage d'origine)
 N0010 S300 M03 G95 G71 F30 T0202 (Vitesse et sens de rotation, l'unité d'avance, avance et appel d'outil)
 N0020 G92 X0.0 Y39.6 Z9.065 (Chargement de la mémoire du deuxième décalage)
 N0030 G59 (Exécution du décalage)
 N0040 X20. Y11. Z0. G40 G00 Positionnement de l'outil aux coordonnées X, Y, Z)
 N0050 G25 L8003 (Appel du sous-programme)
 N0060 G00 Z50. M09 M05
 N0070 G40 X0. Y20.
 N0080 G53 G56 T0000 (Annulation des décalages et d'outil)
 N0090 M30 (Fin du programma principale)

Exécuté le sous-programme 03 fois, et par la suite passé à la séquence N0060

Le sous-programme O 0080

N0000 W-1. M08 (Profondeur de passe)
 N0010 Y3. X20. G01
 N0020 V-7. G42
 N0030 X7. Y-12.
 N0040 V-16.
 N0050 Y-36. X20.
 N0060 X33. Y-28.
 N0070 V16.
 N0080 X20. Y-4.
 N0090 Y11. G40
 N0100 M17 (Fin du sous-programme)

Coordonnées du contour à réalisé

VI.6 Programmation d'un polygone arqué

Soit à réaliser un profil d'un polygone arqué de cotation mentionné sur la figure VI.06, à une profondeur de 3 mm. Le brut de la pièce est de dimension 40*40 mm, et on note aussi qu'on usine cette pièce avec une fraise d'un diamètre de 14 mm.

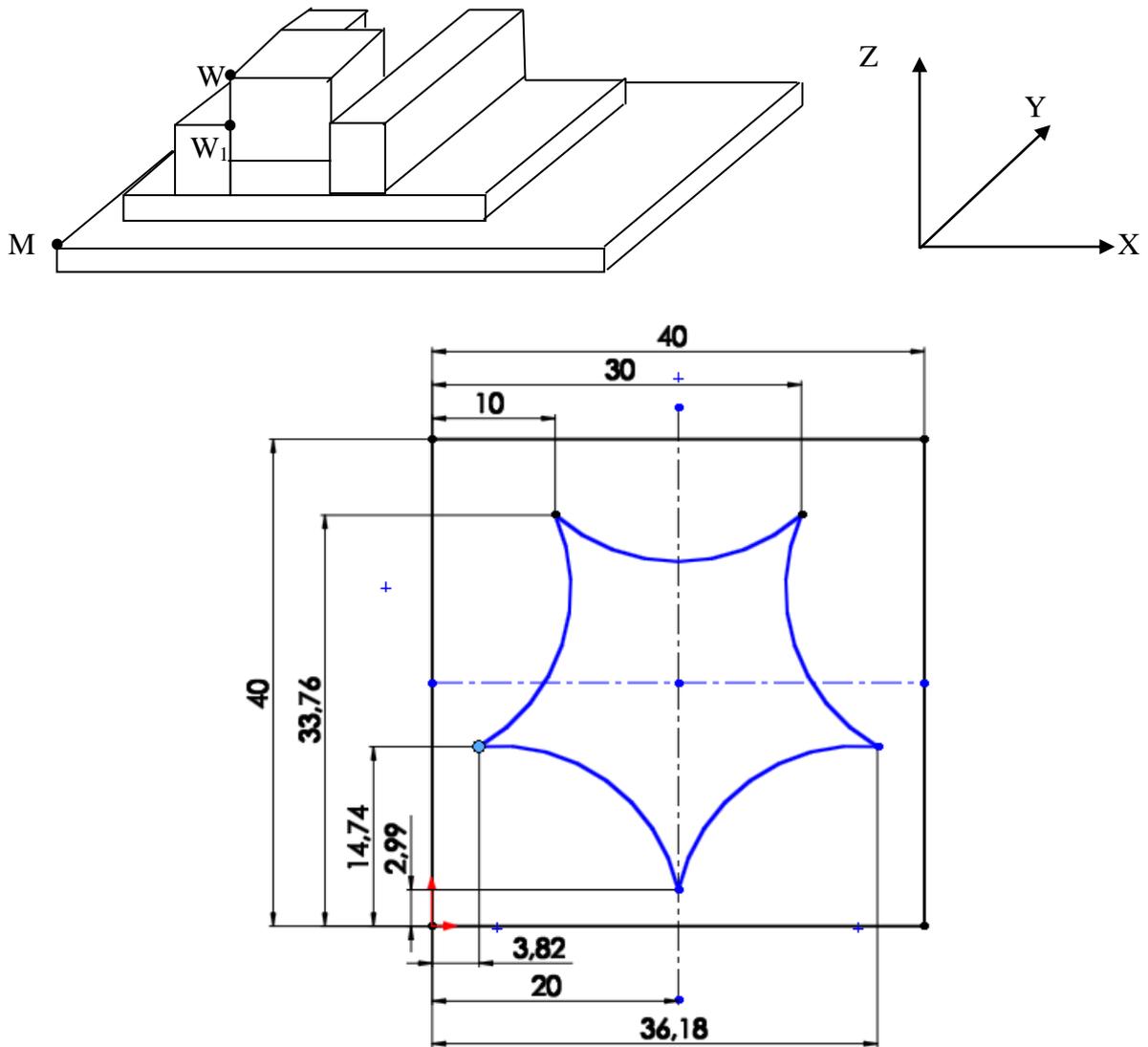


Figure VI.06 : Représentation de la cotation du polygone arqué

Le principe de la programmation est le même qu'avant, on décale au départ le point de référence « M » vers le point W_1 et par la suite vers W . Une fois terminer avec cette première étape on passe à l'appel de l'outil ainsi que la désignation des paramètres d'usinage, et en suite on donne des instructions pour que l'outil suit exactement la trajectoire du profil à usiné

bien évidemment avec l'utilisation de la compensation du rayon d'outil. Le programme d'usinage est donc comme suit :

O0350

```
N0000 G54
N0010 G40 T0202 S80 G95 F20 M08 M03
N0020 G92 X0.0 Y0.0 Z7.0
N0030 G59
N0040 X20.0 Y-10.0 Z5.0 G00
N0050 Y-8.0
N0060 Z-3.0
N0070 Y-4.01 G01
N0080 G42 V7.0
N0090 X36.18 Y14.74 I14.66 J-3.17 G02
N0100 X30.0 Y33.76 I7.54 J12.97
N0110 X10.0 I-10.0 J8.81
N0120 X3.82 Y14.74 I-13.72 J-6.06
N0130 X20. Y2.99 I1.52 J-14.92
N0140 G00 Z30.0 Y-50.0 G40
N0150 T0000 M09 G53 G56
N0160 M30
```

VI.7 Programme d'usinage d'une came

Afin d'expliquer la logique et la méthode de la programmation, on donne un exemple d'application sur un modèle réduit fabriqué avec les étudiants sur une machine outil à commande numérique (F1CNC).

Prenez un modèle avec des dimensions réduites d'une came comme montré sur la figure VI.07.

Pour ce cas de programmation, on utilise le langage de programmation universel, le programme se déroulera uniquement avec les fonctions G00, G01, et G02, sans avoir utilisé la compensation du rayon d'outil (c'est-à-dire programmer la trajectoire en fonction du centre d'outil pour arriver aux points de destination).

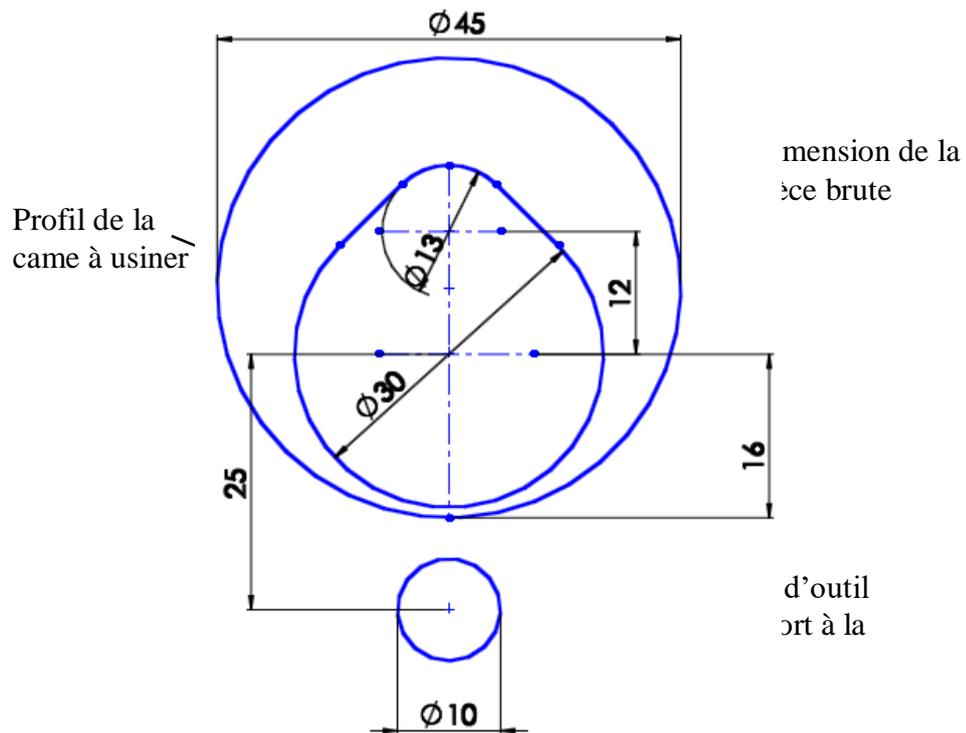


Figure VI.07 : Dimensionnement de la came à usinée avec la FI CNC

Le programme se déroulera comme mentionner sur le tableau VI.01 avec des coordonnées en incrémentielle pour arriver aux point de destination. L'opération s'effectuera avec le même outil, sachant que ce dernier s'éloigne au départ à une distance de 5 mm par rapport à la surface de la pièce.

Tableau VI.01 : Programme de réalisation de la came

N	G	X	Y	Z	F	N	G	X	Y	Z	F
00	00	00	5	-4		17	01	00	00	-1	15
02	01		00	-1	50	19	02	-20	20	00	15
03	25				L17	20		I 00	J 20	K 00	
04	25				L17	21	02	5.88	14.17	00	15
05	25				L17	22		I 20	J 00	K 00	
06	25				L17	23	01	8.20	7.26	00	15
07	25				L17	24	02	5.92	2.08	00	15
08	25				L17	25		I5.92	J9.42	K00	
09	25				L17	26	02	5.92	-2.08	00	15
10	25				L17	27		I00	J-11.5	K00	
11	25				L17	28	01	8.2	-7.26		15
12	25				L17	30	02	5.88	-14.17	00	15
13	00			20		31		I -14.12	J -14.17	K 00	
14	00	50	50			32	02	-20	-20	00	15
15	M30					33		I -20	J00	K 00	
16						34	M17				

Le principe de la programmation est simple, il suffit d'établir le programme de réalisation du profil de la came sous forme d'un sous-programme puisqu'on le réalise sous plusieurs passe, on a écrit le sous programme dans la séquence numéro 17, et on l'appel à partir de la séquence numéro 03 par la fonction G25, et on l'appel de nouveau 10 fois afin de réaliser l'épaisseur de la came.

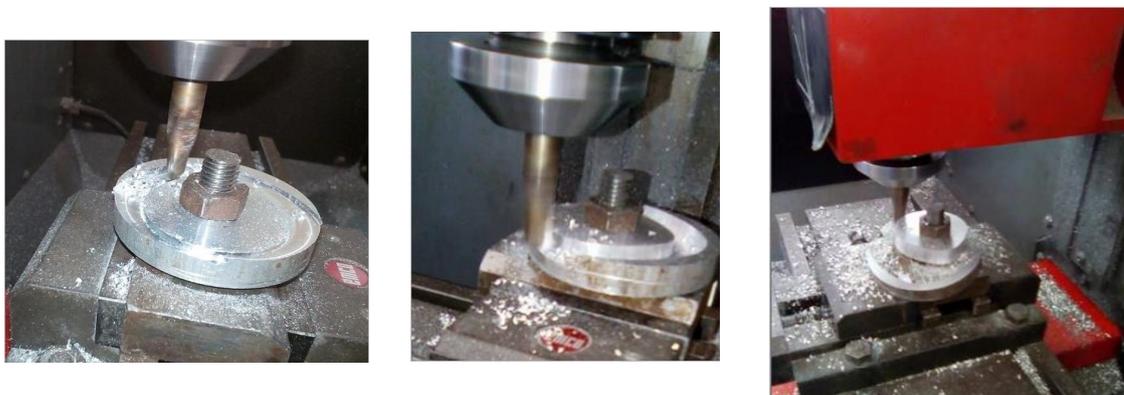


Figure VI.08 : Photos au moment de la réalisation de la came

Finalement on eu le profil d'une came comme montré sur le figure III.09 avec un simple suivit de l'outil sur la trajectoire programmé.



Figure VI.09 : Photo de la forme finale de la came après réalisation

VI.8 Réalisation d'un pignon à chaine :

Pour la réalisation du pignon, la programmation sera un peu longue puisqu'on n'utilisera pas les fonctions cycle pour la configuration circulaire (on utilisera uniquement les fonctions de base G00, G01, G02 ainsi que la fonction cycle G81). Le principe de base est le même, sauf qu'avec la F1 CNC on donne des instructions directe à l'outil pour qu'il se déplace aux coordonnées du centre du perçage, et par la suite on réalise le perçage avec la fonction cycle G81 sans avoir défini le plan du dégagement ou le plan de départ.

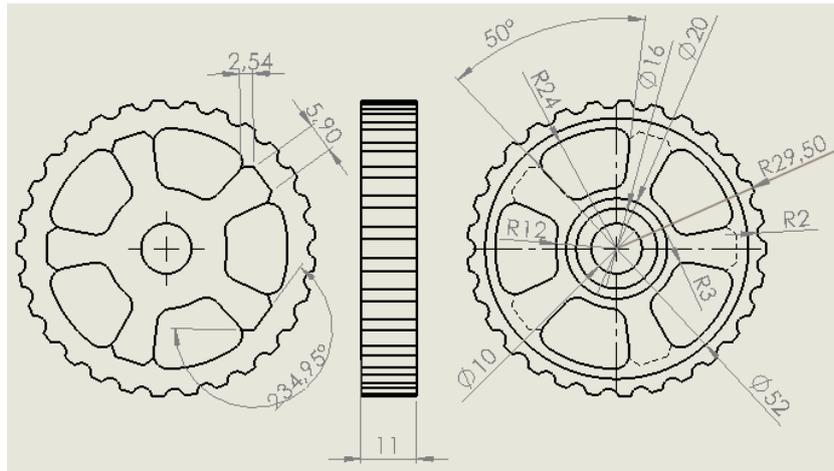


Figure VI.10 : Présentation de la cotation du pignon a chaine à réaliser

VI.8.1 Programme de réalisation du pignon

L'usinage du pignon à chaine s'effectue sur deux machines, en premier lieu on doit usiner le brute de la pièce en tournage afin d'avoir un diamètre de 52 mm, et par la suite en passe au fraisage pour sculpté la forme final du pignon. A cet effet nous avons choisi de divisé le programme en deux parties (tournage et fraisage) sachant que chaque partie comporte plusieurs étapes.

✓ Partie tournage du pignon

➤ Etape 1

Cette premier étape consiste à dresser et charioter le brute de la pièce (figure VI.11) avec les fonctions G88 et G84 respectivement. On note ici qu'on à programmer la trajectoire d'outil sous une programmation incrémentielle, c'est-à-dire que chaque point de destination va devenir un point de référence, sachant que l'outil s'éloigne de la pièce d'une distance de 5 mm.

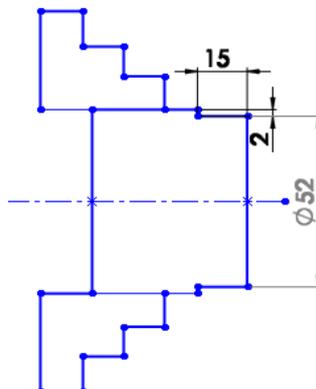


Figure VI.11:Présentation de la cotation de la pièce

Le tableau VI.02 présente le programme de réalisation de la forme initial de la pièce

Tableau VI.02 : Programme de dressage et chariotage du pignon

N	G	X	Z	F	H	Observation
00	00	-5	-4			Positionnement de l'outil
01	88	-16	-2	50	0.5	Chariotage de la pièce
02	00	00	-1	00		Repositionnement de l'outil
03	84	-26	-2	50	0.5	Dressage de la pièce
04	00	00	10			Dégagement de l'outil
05	M30					



Figure VI.12 : Présentation de la pièce au moment de la réalisation de la première étape

➤ **Etape 2**

Couper et tourner la pièce pour faire le dressage de la face coupée.

Tableau VI.03 : Programme de dressage de la face coupée de la pièce

N	G	X	Z	F	H	Observation
00	00	-2	-3	00		Positionnement de l'outil
01	88	-29.50	-2	50	0.5	Dressage de la pièce
02	M30					

✓ **Programme de fraisage de la première face**

➤ **Etape 1**

Pour cette première étape du fraisage, on perce la pièce au centre avec un outil d'un diamètre de 10 mm, et par la suite, on perce la pièce avec autre outil d'un diamètre de 6 mm

pour faciliter la pénétration de la fraise dans la matière puisqu'on se dispose pas de fonction cycle pour ce genre de taillage dans cette machine

Tableau VI.04 : Première étape

N	G	X	Y	Z	F	Observation
00	00	00	00	-29		Positionnement de l'outil de perçage (ø10 mm)
01	81			-12	12	Perçage du premier trou au centre de la pièce,
02	21					Changement de l'outil pour percé le deuxième trou (ø 6 mm) (pour facilité la pénétration de la fraise)
03	00	-21	00	00		
04	81			-15	12	
05	M30					

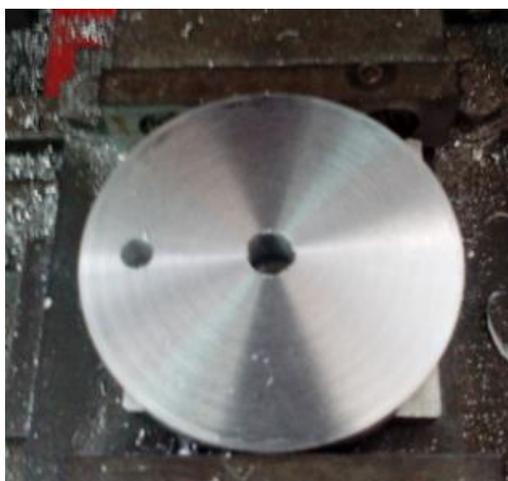


Figure VI.13 : *Présentation de la pièce au moment de la réalisation de la première étape en fraisage*

➤ **Etape 2**

Pour une meilleure compréhension du programme de réalisation de cette face on décompose le programme en plusieurs parties afin d'expliqué les différentes étapes de la réalisation.

On donne tous d'abord le programme principal de la réalisation de la face (tableau VI.05), et par la suite on détaillera séparément chaque sous programme d'usinage des différentes parties de la pièce.

Tableau VI.05: Programme principal d'usinage de la première face de la pièce

N	G	X	Y	Z	F	Observation
00	00	38.5	00	00		Changement et repositionnement de l'outil (fraise \varnothing 10 mm)
01	00	00	00	-29		
02	25				L24	Appel du sous-programme situé dans la séquence 24
03	25				L24	Deuxième appel pour la deuxième passe
04	25				L24	Troisième appel pour la troisième passe
05	00	00	00	3		Repositionnement de la fraise pour réaliser le deuxième lamage
06	00	2	00	00		
07	25				L35	Appel du sous-programme situé dans la séquence 35
08	25				L35	Deuxième appel pour la deuxième passe
09	25				L35	Troisième appel pour la troisième passe
10	00	00	00	300		Repositionnement de la fraise pour réaliser le deuxième lamage dans le centre de la pièce
11	00	19	00	00		
12	81			-12		Préparation d'un avant trou
13	00	-3	00	00		Repositionnement de la fraise
14	25				L49	Appel du sous-programme situé dans la séquence 49
15	25				L49	Deuxième appel pour la deuxième passe
16	25				L49	Troisième appel pour la troisième passe
17	00	00	00	3		Repositionnement de la fraise pour donner forme
18	00	-6	00	00		
19	25				L60	Appel du sous-programme situé dans la séquence 60
20	25				L60	Deuxième appel pour la deuxième passe
21	00	00	00	32		Dégagement de la fraise
22	00	-53.5	00	00		
23	M30					Fin du programme principal

Tableau VI.06: Premier sous- Programme pour la réalisation du lamage circulaire

N	G	X	Y	Z	F	Observation
24	01	00	00	-2	12	
25	02	21	21		15	
26		I=21	J=00	K=00		
27	02	21	-21		15	
28		I=00	J=00	K=00		
29	02	-21	-21		15	
30		I=21	J=00	K=00		
31	02	-21	21		15	
32		I=00	J=21	K=00		
33	00	00	00	1		
34	M17					

Tableau VI.07: Deuxième sous- Programme pour la réalisation du lamage circulaire

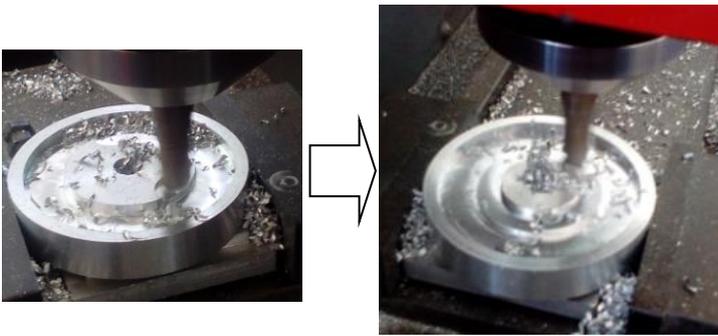
N	G	X	Y	Z	F	Observation
35	01	00	00	-2	12	
36	01	4	00	00	15	
37	02	15	15		15	
38		I=15	J=00	K=00		
39	02	15	-15		15	
40		I=00	J=15	K=00		
41	02	-15	-15		15	
42		I=15	J=00	K=00		
43	02	-15	15		15	
45		I=00	J=15	K=00		
46	00	-400	00	00		
47	00	00	00	100		
48	M17					

Tableau VI.08: Troisième sous- Programme pour la réalisation du lamage intérieur

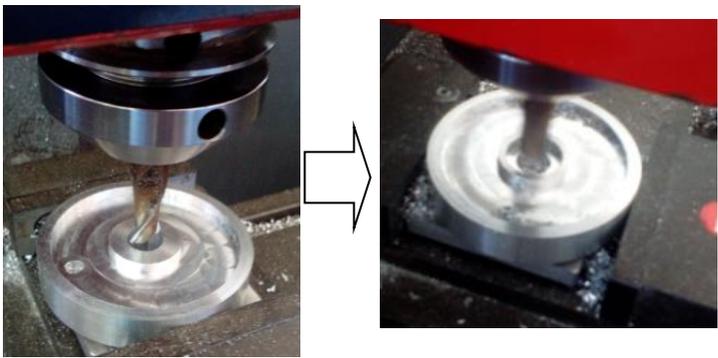
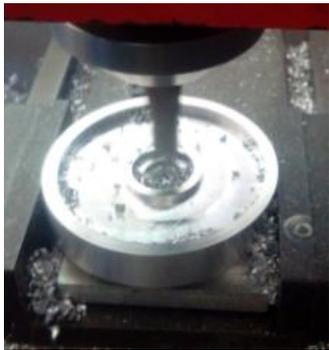
N	G	X	Y	Z	F	Observation
49	01	00	00	-2	12	
50	02	3	3	00	15	
51		I=3	J=00	K=00		
52	02	3	-3		15	
53		I=00	J=3	K=00		
54	02	-3	-3		15	
55		I=300	J=00	K=00		
56	02	-3	3		15	
57		I=00	J=00	K=00		
58	00	00	00	1		
59	M17					

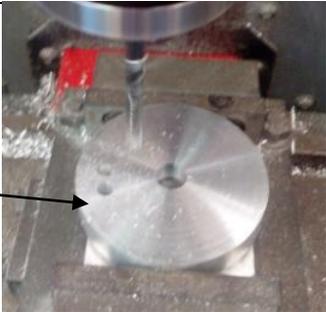
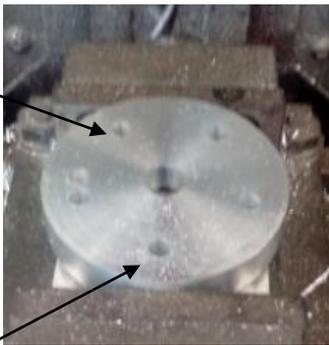
Tableau VI.09: Quatrième sous- Programme pour donner forme entre les deux lamages

N	G	X	Y	Z	F	Observation
60	01	00	00	-2	12	
61	02	6	6		15	
62		I=6	J=00	K=00		
63	02	6	-6		15	
64		I=00	J=6	K=00		
65	02	-6	-6		15	
67		I=6	J=00	K=00		
68	02	-6	6		15	
69		I=00	J=6	K=00		
70	00	00	00	1		
71	M17					

✓ **Programme de fraisage de la deuxième face**

On donne tous d'abord la première partie du programme (tableau III.10) celle de la réalisation des trous pour permettre à la fraise de faire une plongé dans la matière.

Tableau VI.10: Premier partie du programme pour le perçage

N	G	X	Y	Z	F	Observation
00	00	39.39	00	00		 
01	00	00	-6.07	00		
02	00	00	00	-29		
03	81			-10		
04	00	8.12	00	00		
05	00	00	23.31	00		
06	81			-10		
07	00	24.68	00	00		
08	00	00	-0.52	00		
09	81			-10		
10	00	7.13	00	00		
11	00	00	-23.63	00		
12	81			-10		
13	00	-20.27	00	00		
14	00	00	14.08	00		
15	81			-10		

✓ **Usinage pour donner forme a l'intérieur de la pièce**

Après avoir percé la pièce, sur le même programme principal on appel le sous-programme (Tableau VI.11) situé dans la séquence 79 pour usiner la première forme sur cette

face du pignon. Le premier appel du sous-programme sera pour la premier passe d'usinage, on l'appel de nouveau pour les passe qui suit (on note qu'on à une programmation incrémentiel).

Tableau VI.11: *Sous-programme de réalisation de la première forme*

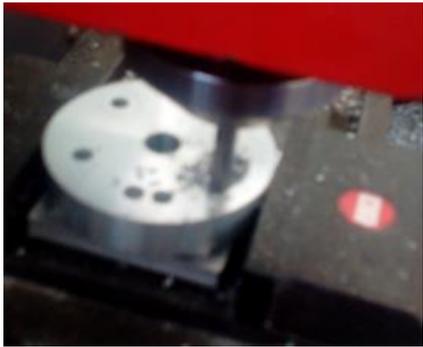
N	G	X	Y	Z	F	Observation
79	90					
80	00	00	00	-2		
81	02	-11.54	3.75	-2	15	
82		I=44	J=21	K=00		
83	01	-7.38	8.20	-2	15	
84	03	-74	6.07	-2		
85		I=7.83	J=1.79	K=00		
86	01	00	00	-2	15	
87	91					
88	00	00	00	1		
89	M17					

Tableau VI.12: *Position d'appel du sous-programme dans le programme principal*

N	G	X	Y	Z	F	Observation
16	25				L79	Appel de sous-programme (séquence 79)
17	25				L79	
18	25				L79	
19	25				L79	
20	25				L79	
21	25				L79	
22	25				L79	
23	25				L79	
24	25				L79	

De la même manière et la même façon, on réalise le reste des formes intérieurs de notre pignon, d'où on appel les sous-programmes d'usinage des formes respectivement (séquence 90, 101, 108, 118 (Tableau VI.14)) directement dans le programme principal (Tableau VI.13)

Tableau VI.13: Appel des sous-programmes (séquence 90, 101, 108, 118)

N	G	X	Y	Z	F		N	G	X	Y	Z	F
25	00	00	00	9			50	00	-24.68	00	00	
26	00	20.27	00	00			51	00	00	0.52	00	
27	00	00	14.08	00			52	25				L108
28	25				L90		53	25				L108
29	25				L90		54	25				L108
30	25				L90		55	25				L108
31	25				L90		56	25				L108
32	25				L90		57	25				L108
33	25				L90		58	25				L108
34	25				L90		59	25				L108
35	25				L90		60	25				L108
36	25				L90		61	00	00	00	9	
37	00	00	00	9			62	00	-8.12	00	00	
38	00	-7.13	00	00			63	00	00	-23.31	00	
39	00	00	23.63	00			64	25				L118
40	25				L101		65	25				L118
41	25				L101		66	25				L188
42	25				L101		67	25				L118
43	25				L101		68	25				L118
44	25				L101		69	25				L118
45	25				L101		70	25				L118
46	25				L101		71	25				L118
47	25				L101		72	25				L118
48	25				L101		73	00	00	00	9	
49	00	00	00	9								

Tableau VI.14: Les sous-programmes de réalisation (séquence 90, 101, 108, 118)

N	G	X	Y	Z	F	N	G	X	Y	Z	F
90	90					110		I=11.98	J=17.25	K=00	
91	01	00	00	-2	15	111	01	10.79	-2.29	-2	15
92	02	-7.13	-9.81	-2	15	112	03	4.15	-4.45	-2	15
93		I=19.83	J=6.91	K=00		113		I=1.19	J=14.95	K=00	
94	01	-10.08	-4.49	-2	15	114	01	00	00	-2	15
95	03	-5.98	1.16	-2	15	115	91				
96		I=9.75	J=11.40	K=00		116	00	00	00	1	
97	01	00	00	-2	15	117	M17				
98	91					118	90				
99	00	00	00	1		119	01	00	00	-2	15
100	M17					120	02	-0.89	6.07	-2	15
101	90					121		I=20.11	J=6.07	K=00	
102	01	00	00	-2	15	122	02	00	12.13	-2	15
103	02	7.13	-9.81	-2	15	123		I=21.00	J=00	K=00	
104		I=12.78	J=16.72	K=00		124	01	5.52	9.56	-2	15
105	01	1.15	-10.98	-2	15	125	03	5.11	6.07	-2	15
102	03	-2.95	-5.32	-2	15	126		I=14.59	J=3.49	K=00	
103		I=13.85	J=5.75	K=00		127	03	5.52	2.57	-2	15
104	01	00	00	-2		128		I=15.00	J=00	K=00	
105	91					129	01	00	00	-2	15
106	00	00	00	1		130	91				
107	M17					131	00	00	00	1	
108	01	00	00	-2	15	132	M17				
109	02	11.54	3.75	-2	15						

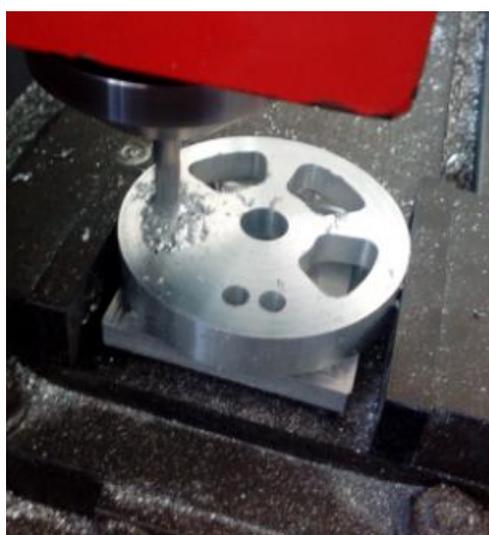


Figure VI.12 : Réalisation du reste des formes intérieurs du pignon

✓ **Finition de la forme intérieure du pignon**

➤ **Etape 1 :**

Dans ce qui suit et sur le même programme principal (Tableau VI.15), on fini le contour extérieur de la forme intérieur du pignon toute en se servant d'un sous-programme (tableau VI.16) qu'on l'appel à plusieurs reprise afin de donner forme final a la hauteur voulue.

Tableau VI.15: Séquence d'appel du premier sous-programme de finition

N	G	X	Y	Z	F
73	00	00	00	900	
74	25				L133
75	25				L133
76	25				L133
77	00	00	00	270	

Tableau VI.16: Le premier sous-programme de finition

N	G	X	Y	Z	F	Observation
133	90					
134	00	00	00	-1.9		
135	00	4.98	10.29	-1.9		
136	01	2.69	17	-1.9	15	
137	01	4.32	19.25	-1.9	15	
138	01	10.15	19.15	-1.9	15	
139	00	19.14	21.53	-1.9		
140	01	25.12	26.01	-1.9	15	
142	01	27.76	25.15	-1.9	15	
143	01	29.61	19.03	-1.9	15	
144	00	34.76	11.50	-1.9		
145	01	40.61	7.46	-1.9	15	
146	01	40.61	4.69	-1.9	15	
147	01	34.76	0.64	-1.9	15	
148	00	29.61	-7.07	-1.9		
149	01	27.77	-13.00	-1.9	15	
150	01	25.12	-13.86	-1.9	15	
151	01	19.66	-9.75	-1.9	15	
152	00	11.32	-7	-1.9		
153	01	4.34	-7.12	-1.9	15	
154	01	2.70	-4.86	-1.9	15	
155	01	4.98	2.03	-1.9	15	
156	00	00	00	-1.9		
157	91					
158	00	00	00	1		
159	M17					

➤ **Etape 2 :**

Pour finir la forme intérieure, on a refait un autre programme principal (Tableau VI.17) et on s'est servi d'un sous-programme (Séquence 09) pour usiner la hauteur voulu.

Tableau VI.17: Programme et sous-programme de finition

N	G	X	Y	Z	F	Observation
00	00	59	00	00		Positionnement de la fraise
01	00	00	00	-29		
02	25				L09	Appel du sous programme
03	25				L09	
04	25				L09	
05	00	00	00	2.70		Dégagement de la fraise
06	00	-59	00	00		
07	00	00	00	29		
08	M30					Fin du programme principal
09	01	00	00	-1.90		Séquence de début du sous-programme
10	01	-8	00	00	12	
11	02	8	8		15	
12		I=8	J=00	K=00		
13	02	8	-8		15	
14		I=00	J=00	K=00		
15	02	-8	-8		15	
16		I=8	J=00	K=00		
17	02	-8	8		15	
18		I=00	J=8	K=00		
19	01	-6.32	00	00	12	
20	02	14.32	14.32		15	
21		J=14.32	j=00	K=00		
22	02	14.32	-14.32		15	
23		I=00	J=14.32	K=00		
24	02	-14.32	-14.32		15	
25		I=14.32	J=00	K=00		
26	02	-14.32	14.32	00	15	
27		I=00	J=14.32	K=00		
28	00	00	00	1		
29	M17					Fin du sous-programme

✓ **Programme de finition des dents du pignon :**

Pour la réalisation des dents, nous créons un autre programme et à chaque fois qu'on veut percer on donne instruction à la fraise pour quelle se déplace aux coordonnées du centre de perçage. Une fois arrivé a la destination on donne une autre instruction sous la fonction cycle G81 pour quelle exécute le perçage. Dans notre cas, on se servi de cette fonction par ce que le forme de la denture du pignon a chaine ressemble a un demi cercle.

Tableau VI.18 : Programme de finition des dents du pignon

N	G	X	Y	Z	F	N	G	X	Y	Z	F
00	00	29.50	00	00		32	00	59.82	-3.24	00	
01	00	00	00	-29		33	81			-13	12
02	90					34	00	58.43	-9.58	00	
03	81			-13	12	35	81			-13	12
04	00	0.70	6.45	00		36	00	55.71	-15.47	00	
05	81			-13	12	37	81			-13	12
06	00	2.77	12.60	00		38	00	51.78	-20.63	00	
07	81			-13	12	39	81			-13	12
08	00	6.12	18.16	00		40	00	46.84	-24.83	00	
09	81			-13	12	41	81			-13	12
10	00	10.58	22.86	00		42	00	41.10	-27.87	00	
11	81			-13	12	43	81			-13	12
12	00	15.95	26.51	00		44	00	34.85	-29.60	00	
13	81			-13	12	45	81			-13	12
14	00	21.97	28.91	00		46	00	28.38	-29.96	00	
15	81			-13	12	47	81			-13	12
16	00	28.38	29.96	00		48	00	21.97	-28.91	00	
17	81			-13	12	49	81			-13	12
18	00	34.85	29.60	00		50	00	15.95	-26.51	00	
19	81			-13	12	51	81			-13	12
20	00	41.10	27.87	00		52	00	10.58	-22.86	00	
21	81			-13	12	53	81			-13	12
22	00	46.84	24.83	00		54	00	6.12	-18.16	00	
23	81			-13	12	55	81			-13	12
24	00	51.78	20.63	00		56	00	2.77	-12.60	00	
25	81			-13	12	57	81			-13	12
26	00	55.71	15.47	00		58	00	0.70	-6.45	00	
27	81			-13	12	59	81			-13	12
28	00	58.43	9.58	00		60	00	-29.50	00	00	
29	81			-13	12	61	00	00	00	29	
30	00	59.91	3.24	00		62	M30				
31	81			-13	12						



Figure VI.14 : Etape d'usinage des dents du pignon à chaîne

Finalement on obtiendra la forme finale du pignon comme montré sur la figure VI.15

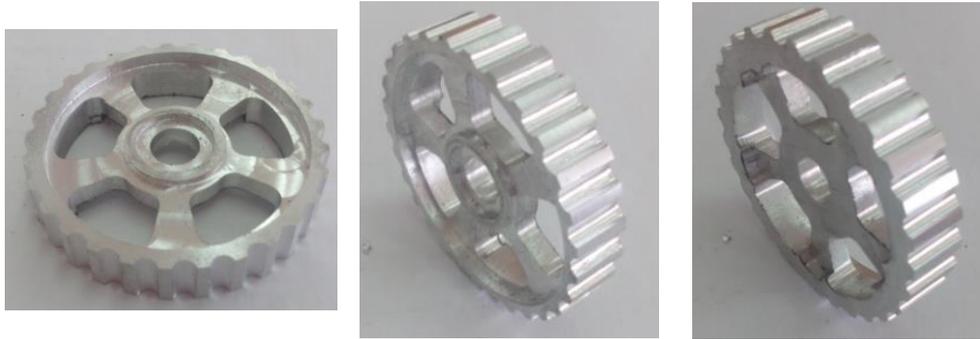


Figure VI.15 : *Forme final du pignon a chaine*

Remarque

D'une manière générale, le programme d'usinage de ce pignon à chaine aurais avoir lieu juste en quelques séquences avec l'utilisation des fonctions cycle comme les fonctions de la configuration circulaire, et le lamage circulaire. Pour cette programmation on s'est servit uniquement des fonctions de base a noté G00, G01, G02, et par la suite l'utilisation de la fonction cycle de perçage G81.

III.9 Programme de réalisation d'une soupape

Soit à usiner une soupape de cotation montrée sur la figure VI.16. Pour cette réalisation et comme nous allons usiner la pièce avec la Compact 5 CNC, on utilisera les deux fonctions cycles de chariotage et de dressage à savoir G84 et G88 respectivement. On rappel ici qu'on ne se dispose pas de fonction pour l'appel d'outil. (On change l'outil manuellement dans cette machine).

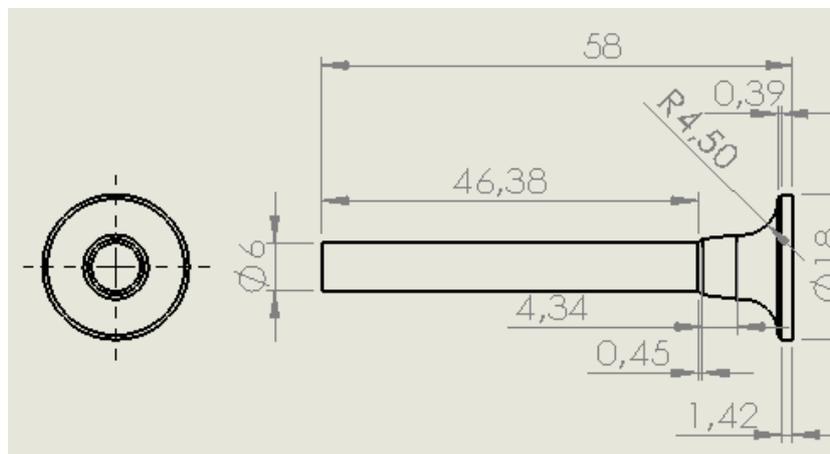


Figure VI.16 : *Présentation de la cotation de la soupape à réaliser*

➤ **Etape 01**

- ✓ Consiste à dresser et charioter la pièce brute de diamètre 22mm et réaliser un diamètre de 18 mm à une longueur de 60 mm (on note que le point de référence se situ à une distance de 5 mm par rapport a chaque face de la pièce, ainsi que la programmation se déroulera en incrémentielle)

Tableau VI.19 : Programme de dressage et chariotage de la pièce

N	G	X	Z	F	H	Remarque
00	00	-4	-5			Positionnement de l'outil à droite de la pièce
01	88	-12	-1	20	0.5	Cycle de dressage sur le coté droite de la pièce
02	00	-1	-0.5			Repositionnement de l'outil
03	84	-2	-60.5	20	0.5	Cycle de chariotage sur la longueur de la pièce

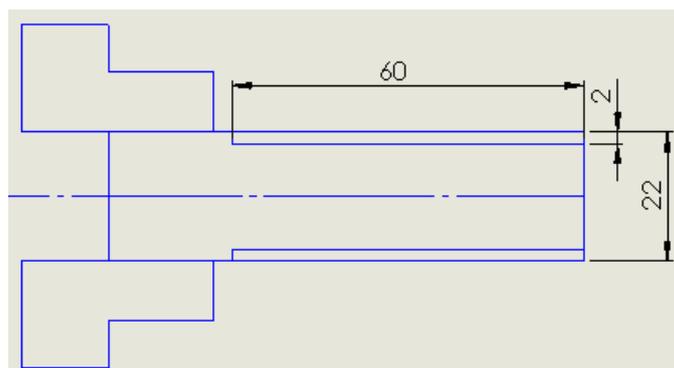


Figure VI.17 : Présentation de la cotation de la première passe



Figure VI.18 : Chariotage de la pièce

➤ **Etape 2**

- ✓ Ebauche de la première partie de la pièce.

Tableau VI.20 : Programme d'ébauche la première partie de la pièce

N	G	X	Z	F	H	Remarque
04	00	-2	00			Repositionnement de l'outil
05	84	-1	-56	20	0.5	
06	00	-1	00			
07	84	-2	-55.93	20	0.5	
08	00	-2	00			
09	84	-1	-55.02	20	0.5	
10	00	-1	00			
11	84	-1	-52.19	20	0.5	
12	00	-1	00			
13	84	-0.5	-46.88	20		
14	00	-0.5	00			

➤ **Etape 3**

- ✓ En dernier nous coupons et nous tournons la pièce du coté coupé pour finir la poulie avec un dressage et réaliser le diamètre 25mm.

Tableau VI.21 : Programme de finition de la première partie de la pièce

N	G	X	Z	F	H	Remarque
15	00	-0.5	00			
16	01	-46.43	00	20		
17	01	0.5	-0.5	20		
18	01	0.75	-5.19	20		
19	02	4.5	-4.5	20		
20		I=-4.5	K=00			
21	01	0.5	-0.39	20		
22	01	00	-2	20		
23	00	3	65			
24	M30					

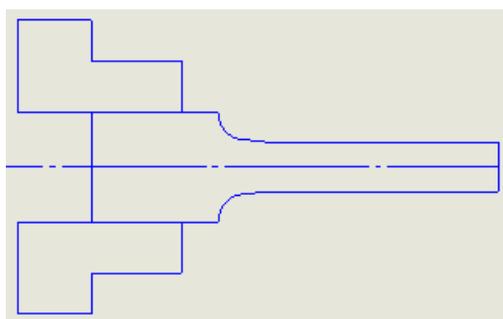


Figure VI.19 : Présentation du profil de la soupape

➤ **étape 4**

- ✓ En dernier, on coupe et on tourne la pièce du coté coupé pour finir la pièce avec l'utilisation de la fonction cycle G88.

Tableau VI.22 : Programme du dressage de la 2^{ème} face

N	G	X	Z	F	H	Remarque
00	00	-4	-5			Positionnement de l'outil
02	88	-10	-1	20	50	Dressage de la face de la pièce 
03	00	4	5			
04	M30					

Finalement nous avons eu la forme finale de la poulie (Figure VI.18).

2



Figure VI.20 : Photo réelle de la poulie après la réalisation

VI.10 Programme de réalisation d'un pignon

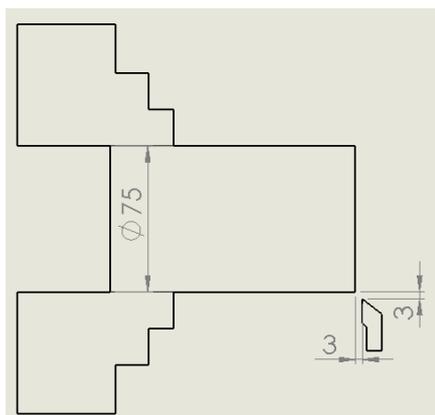
Dans ce qui suit ; on donne un exemple de réalisation d'un modèle réduit d'un pignon de deux façon. Etant donné l'existence des fonctions cycles permettant d'avoir un programme très courte quelques soit la complexité de la pièce, le premier programme sera avec l'utilisation de ces fonctions. Le deuxième programme de réalisation de cette même pièce va être en fonction des codes universels tels que G00, G01, G02. De cette façon on peut voir la différence entre les deux programmes.

VI.10.1 Programme avec les fonctions cycle

a) Partie tournage du pignon

Etape 1

- Consiste à dresser et charioter la pièce dans un tour avec les fonctions G88 et G84 respectivement.
- On coupe la pièce et on dresse le côté coupé de la pièce



(a)



(b)

Figure VI.21: (a) Présentation de la pièce en état brut ;
(b) Photo au moment de tournage

Tableau VI.23 : Programme de dressage et chariotage

N	G	X	Z	F	H	
00	00	-2	-3	00		
01	88	-38.50	-3	50	50	
02	00	-1	-2	00		
03	84	-2.50	-30	50	50	
04	00	-2.50	00	00		
05	84	-40	-25.50	50	50	
06	M30					

Tableau VI.24 : Programme de dressage de la deuxième face de la pièce

N	G	X	Z	F	H	
00	00	-2	-3			
01	88	-36	-2	50	50	
02	M30					

b) Partie fraisage du pignon

a- Etape 1

- ✓ On place la pièce dans la fraiseuse
- ✓ On perce la pièce au centre par une fraise de 10mm à l'aide de la fonction cycle du lamage circulaire (G88).

➤ **Cycle de fraisage des lamages circulaires(G88) avec outil de 10 mm**

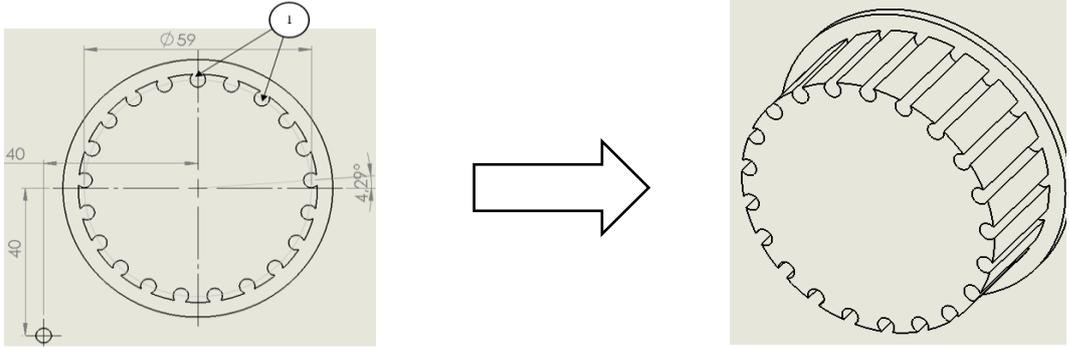
Tableau VI.25 : Programme de lamage circulaire

G54
T0303 S400 M03 M08 G95 F80 G71
G00/ X40/ Y40 /Z 00
G99
G88/X40 /Y40 /Z-4 /P143 /P32 /D2500 /D3200 /D4 1 /D5 3 /D7 1
G88 /X40 /Y40/ Z-24 / P130 /P32 /D2500 /D3200 /D4 1 /D5 3 /D7 1
M30

Pour donner forme de la denture à la pièce, on perce la circonférence de la pièce selon le nombre de dents du pignon à l'aide de la fonction cycle de configuration circulaire (G72)

➤ **Parçage de pignon par la fonction G72/G73, fraise de diamètre 4 mm**

Tableau VI.26 : Programme de perçage

G54			
T0101 S400 M03 M08 G95 F80 G71			
G72 /X40 /Y40 /P59 /D021 /D2429 /D33600			
G73 /G82 /Z-25.50			
			
X, Y	Cordonnée de centre de la configuration	D ₂	Angle de départ
P ₀	Diamètre de cercle	D ₃	Angle total
D ₀	Nombre des éléments		

b- Etape 2

On change l'outil (fraise 3mm) on effectue une pénétration de 1,5 mm à chaque passe
 Pour finir la forme des dents.

Pour ne pas trop condensé le programme cette fois-ci on fait appel a la notion du sous programme, c'est-à-dire y'aura un programme principal et appel d'un sous programme de réalisation du profil à l'aide de la fonction G25 qui va se répété 17 fois

➤ **Programme de finition de pignon avec outil de 3 mm**

Tableau VI.27 : Programme de finition des dents

00	G54
01	T0202/S400/M03/M08/G95/G71/F30
02	G00/U00/V-10/W00
03	G00/W-50
04	G25 L8017
05	G00/W75.50
06	G00/V50
07	M30

Pour le sous programme de finition de tous le profil de la pièce, on a eu juste recours au demi profil vue qu'on se dispose de la fonction image miroir

➤ **Sous-programme O80**

00	M90	36	G02/X30.20/Y-34.04/Z00/I-2.49/J26/K00
01	G01/U00/V00/W-150	37	G01/X27.89/Y-34.37/Z00
02	G01/X4.8/Y00/Z00	38	G01/X27.67/Y-35.31/Z00
03	G01/X1.32/Y2.17/Z00	39	G01/X29.61/Y-26.62/Z00
04	G02/X3.96/Y3.76/Z00/I2.33/J-90/K00	40	G02/X30.57/Y-39.54/Z00/I-1.39/J-2.07/K00
05	G01/X5.72/Y3.49/Z00	41	G01/X29.92/Y-41.20/Z00
06	G02/X7.78/Y1.20/Z00/I-.44/J-2.46/K00	42	G02/X27.23/Y-42.69/Z00/I-2.30/J0.98/K00
07	G01/X7.94/Y-1.13/Z00	43	G01/X24.92/Y-42.33/Z00
08	G01/X8.86/Y-1.41/Z00	44	G01/X24.44/Y-43.17/Z00
09	G01/X10.31/Y4.2/Z00	45	G01/X25.90/Y-44.98/Z00
10	G02/X13.29/Y1.16/Z00/I1.96/J-1.55/K00	46	G02/X25.96/Y-48.06/Z00/I-1.94/J-1.57/K00
11	G01/X14.90/Y0.38/Z00	47	G01/X24.84/Y-49.45/Z00
12	G02/X16.19/Y-2.41/Z00/I-1.15/J-2.22/K00	48	G02/X21.83/Y-50.09/Z00/I-1.91/J1.61/K00
13	G01/X15.65/Y-4.68/Z00	49	G01/X19.74/Y-49.06/Z00
14	G01/X16.45/Y-5.23/Z00	50	G01/X19.03/Y-49.72/Z00
15	G01/X18.37/Y-3.90/Z00	51	G01/X19.89/Y-51.89/Z00
16	G02/X21.44/Y-4.08/Z00/I1.42/J-2.06/K00	52	G02/X19.04/Y-54.84/Z00/I-0.93/J-2.32/K00
17	G01/X22.75/Y-5.29/Z00	53	G01/X17.56/Y-55.84/Z00
18	G02/X23.16/Y-8.34/Z00/I-1.75/J-1.79/K00	54	G02/X14.50/Y-55.56/Z00/I-1.35/J2.10/K00
19	G01/X21.98/Y-10.35/Z00	55	G01/X12.80/Y-53.96/Z00
20	G01/X22.58/Y-11.11/Z00	56	G01/X11.93/Y-54.38/Z00
21	G01/X24.81/Y-10.41/Z00	57	G01/X12.12/Y-56.71/Z00
22	G02/X27.69/Y-11.48/Z00/I0.75/J-2.38/K00	58	G02/X10.43/Y-59.28/Z00/I-2.49/J-0.20/K00
23	G01/X28.58/Y-13.03/Z00	59	G01/X8.72/Y-59.81/Z00
24	G02/X28.07/Y-16.06/Z00/I-2.20/J-1.19/K00	60	G02/X5.88/Y-58.63/Z00/I-0.67/J2.41/K00
25	G01/X26.35/Y-17.64/Z00	61	G01/X4.73/Y-56.61/Z00/
26	G01/X26.70/Y-18.54/Z00	62	G01/X3.77/Y-56.75/Z00
27	G01/X29.04/Y-18.53/Z00	63	G01/X3.26/Y-59.03/Z00
28	G02/X31.48/Y-20.40/Z00/I00/J-2.50/K00	64	G02/X0.89/Y-60.99/Z00/I-2.44/J0.54/K00
29	G01/X31.87/Y-22.14/Z00	65	G01/X00/Y-61.00/Z00
30	G02/X30.49/Y-24.89/Z00/I-2.45/J-0.49/K00	66	G00/X00/Y-61.00/Z51.50
31	G01/X28.38/Y-25.89/Z00/	67	G00/X00/Y00/Z51.50
32	G01/X28.45/Y-26.85/Z00/	68	G00/X00/Y00/Z00
33	G01/X30.69/Y-27.53/Z00	69	M92
34	G02/X32.46/Y-30.04/Z00/I-0.72/J2.39/K00	70	M17
35	G01/X32.33/Y-31.82/Z00		

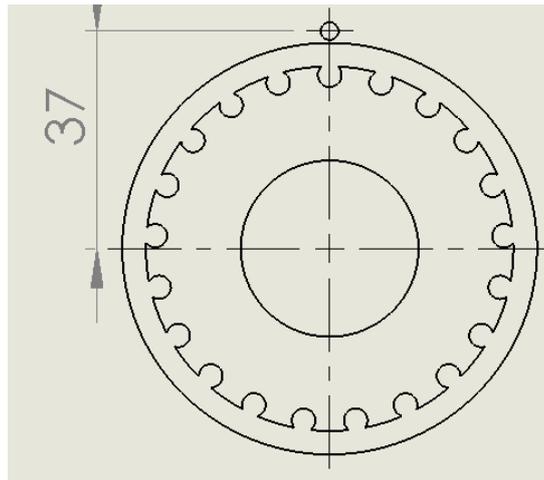


Figure VI.22: *Position de l'outil*

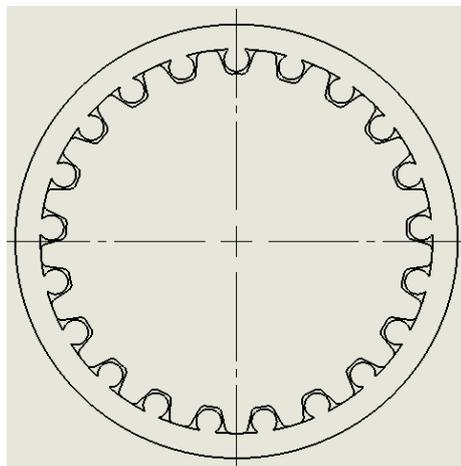


Figure VI.23 : *Profil de la denture à usiner*

VI.10.2 Programmation avec le code universel

a) Programme de perçage :

Pour la réalisation du pignon avec le code universel, la programmation sera un peu long que le programme élaborer dans la premier partie de ce travail et plus spécialement le fraisage vue qu'on à pas eu recours aux fonctions cycle,

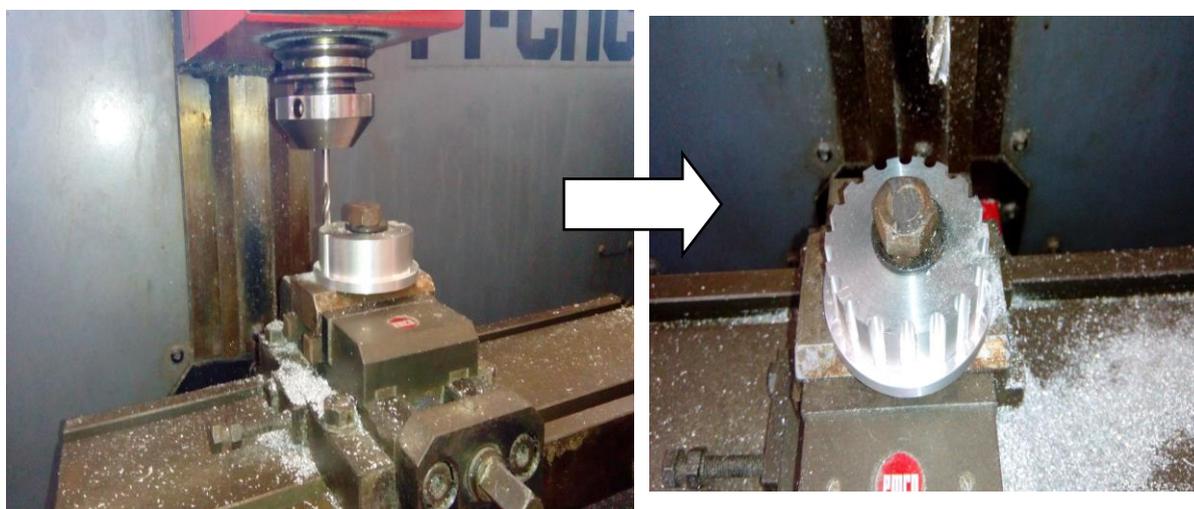
Le principe de base est le même, sauf que avec La F1 CNC on n'a pas recours à la fonction cycle pour la configuration circulaire (G72/G73), donc on donne des instructions direct à l'outil pour qu'il se déplace au coordonné du centre du perçage, et par la suite on réalise le perçage avec la fonction cycle G81 sans avoir défini le plan du dégagement ou le plan de départ.

Tableau VI.28 : Programme de perçage avec la F1 CNC

N	G	X	Y	Z	F	N	G	X	Y	Z	F
1	00	00	00	50		43	01	00	00	-13	06
2	00	00	25.50	00		44	01	00	00	15	06
3	00	00	00	-49		45	00	-3.96	-7.78	00	
4	01	00	00	-13	06	46	01	00	00	-15	06
5	01	00	00	13	06	47	01	00	00	13	06
6	01	00	-2.00	00	06	48	01	-1.29	1.53	00	06
7	01	00	00	-13	06	49	01	00	00	-13	06
8	01	00	00	15	06	50	01	00	00	15	06
9	00	8.72	0.46	00		51	00	-6.38	-5.96	00	
10	01	00	00	-15	06	52	01	00	00	-15	06
11	01	00	00	13	06	53	01	00	00	13	06
12	01	-0.68	-1.88	00	06	54	01	-0.68	1.88	00	06
13	01	00	00	-13	06	55	01	00	00	-13	06
14	01	00	00	15	06	56	01	00	00	15	06
15	00	8.35	-2.25	00		57	00	-8.04	-3.42	00	
16	01	00	00	-15	06	58	01	00	00	-15	06
17	01	00	00	13	06	59	01	00	00	13	06
18	01	-1.29	-1.53	00	06	60	01	00	2	00	06
19	01	00	00	-13	06	61	1	00	00	-13	06
20	01	00	00	15	06	62	01	00	00	15	06
21	00	6.98	-5.25	00	06	63	00	-8.72	-0.46	00	
22	01	00	00	-15	06	64	01	00	00	-15	06
23	01	00	00	13	06	65	01	00	00	13	06
24	01	-1.73	-1	00	06	66	01	0.68	1.88	00	06
25	01	-1.73	00	-13	06	67	01	00	00	-13	06
26	01	00	00	15	06	68	01	00	00	15	06
27	00	4.76	-7.32	00	00	69	00	-8.35	2.55	00	
28	01	00	00	-15	06	70	01	00	00	-15	06
29	01	00	00	13	06	71	01	00	00	13	06
30	01	-1.97	-0.35	00	06	72	01	1.29	1.53	00	06
31	01	00	00	-13	06	73	01	00	00	-13	06
32	01	00	00	15	06	74	01	00	00	15	06
33	00	1.97	8.51	00	00	75	00	-6.98	5.25	00	
34	01	00	00	-15	06	76	01	00	00	-15	06
35	01	00	00	13	06	77	01	00	00	13	06
36	01	-1.97	0.35	00	06	78	01	1.73	1	00	06
37	01	00	00	-13	06	79	01	00	00	-13	06
38	01	00	00	15	06	80	01	00	00	15	06
40	01	00	00	-15	06	81	00	-4.76	7.32	00	
41	01	00	00	13	06	82	01	00	00	-15	06
42	01	-1.73	1	00	06	83	01	00	00	13	06

Tableau VI.29 : Suite du programme de perçage

N	G	X	Y	Z	F		N	G	X	Y	Z	F
84	01	1.97	0.35	00	06		99	00	3.96	7.78	00	06
85	01	00	00	-13	06		100	01	00	00	-15	06
86	01	00	00	15	06		101	01	00	00	13	06
87	01	-1.97	8.51	00	06		102	01	1.29	-1.53	00	06
88	01	00	00	-15	06		103	01	00	00	-13	06
89	01	00	00	13	06		104	01	00	00	15	06
90	01	1.97	-35	00	06		105	00	6.38	5.96	00	
91	01	00	00	-13	06		106	01	00	00	-15	06
92	01	00	00	15	06		107	01	00	00	13	06
93	00	1.06	8.67	00	00		108	01	0.68	-1.88	00	06
94	01	00	00	-15	06		109	01	00	00	-13	06
95	01	00	00	13	06		110	01	00	00	13	06
96	01	1.73	-1	00	06		111	00	00	00	49	
97	01	00	00	-13	06		112	00	8.04	-22.08	00	
98	01	00	00	15	06		M30					



b) Programme de finition avec la F1 CNC :

Pour la réalisation des dents dans la machine F1CNC on crée un sous-programme et à chaque fois qu'on veut le répété on l'appel directement sous la fonction G25 dans la séquence là où il se situe.

Tableau VI.30 : Programme principal de finition des dents

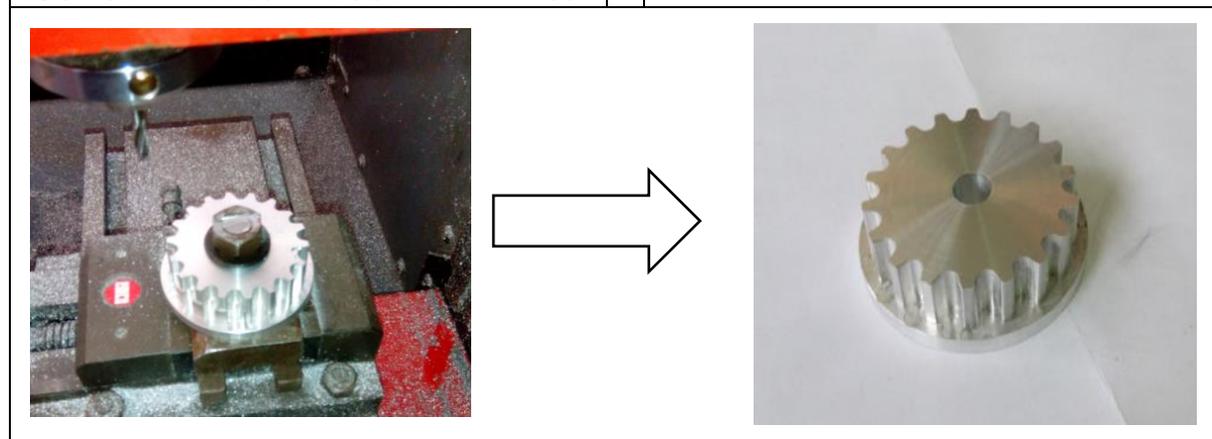
N	G	X	Y	Z	F	N	G	X	Y	Z	F
1	00	-27.50	00	00		42	90				
2	00	00	00	-49		43	01	02	1.13	-1	06
3	01	00	00	-1	06	44	02	2.04	3.48	-1	06
4	25	L42				45		I2.50	J0.10	K00	
5	00	00	00	-1		46	01	4.33	3.93	-1	06
6	25	L42				47	01	4.38	4.23	-1	06
7	00	00	00	-1		48	01	2.38	5.44	-1	06
8	25	L42				49	02	1.18	7.58	-1	06
9	00	00	00	-1		50		I1.29	J2.14	K00	
10	25	L42				51	02	1.29	8.34	-1	06
11	00	00	00	-1		52		I2.50	J00	K00	
12	25	L42				53	01	2.07	10.46	-1	06
13	00	00	00	-1		54	02	4.38	12.01	-1	06
14	25	L42				55		I2.31	J0.95	K00	
15	00	00	00	-1		56	01	7.07	11.62	-1	06
16	25	L42				57	01	7.22	11.88	-1	06
17	00	00	00	-1		58	01	5.76	13.70	-1	06
18	25	L42				59	02	5.20	15.27	-1	06
19	00	00	00	-1		60		I1.95	J1.57	K00	
20	25	L42				61	02	5.72	16.80	-1	06
21	00	00	00	-1		62		I2.50	J00	K00	
22	25	L42				63	01	7.18	18.53	-1	06
23	01	00	00	-1	06	64	02	9.03	19.34	-1	06
24	25	L42				65		I1.85	J1.68	K00	
25	01	00	00	-1	06	66	02	10.23	19.03	-1	06
26	00	00	00	63		67		I00	J2.50	K00	
27	00	27.5	00	00		68	01	12.28	17.91	-1	06
28	M30					69	01	12.51	18.10	-1	06
29						70	01	11.75	20.31	-1	06
30						71	02	11.62	21.12	-1	06
31						72		I2.37	J0.81	K00	
32						73	02	12.78	23.23	-1	06
33						74		I2.50	J00	K00	
34						75	01	14.74	24.36	-1	06
35						76	02	15.90	24.65	-1	06
36						77		I1.16	J2.21	K00	
37						78	02	17.78	23.79	-1	06
38						79		I00	J2.50	K00	
39						80	01	19.32	22.03	-1	06
40						81	01	19.60	22.13	-1	06
41						82	01	19.65	24.47	-1	06

Tableau VI.31 : Suite du programme principal

N	G	X	Y	Z	F	N	G	X	Y	Z	F
83	02	21.62	26.86	-1	06	124	02	53.82	7.58	-1	06
84		I2.50	J00	K00		125		I00	J2.50	K00	
85	01	24.17	27.28	-1	06	126	02	52.62	5.44	-1	06
86	02	26.51	25.68	-1	06	127		I2.50	J00	K00	
87		I00	J2.50	K00		128	01	50.62	4.23	-1	06
88	01	27.35	23.50	-1	06	129	01	50.67	3.93	-1	06
89	01	27.65	23.50	-1	06	130	01	52.96	3.48	-1	06
90	02	30.83	27.28	-1	06	131	02	54.98	1.13	-1	06
91		I2.33	J0.90	K00		132		I48	J245	K00	
92	01	33.38	26.86	-1	06	133	01	54.98	-1.13	-1	06
93	02	35.35	24.47	-1	06	134	02	52.96	-3.48	-1	06
94		I0.53	J2.44	K00		135		I2.50	J0.10	K00	
95	01	35.40	22.13	-1	06	136	01	50.67	-3.93	-1	06
96	01	37.22	23.79	-1	06	137	01	50.62	-4.23	-1	06
97	02	39.10	24.65	-1	06	138	01	52.62	-5.44	-1	06
98		I1.88	J1.65	K00		139	02	53.82	-7.58	-1	06
99	02	40.26	24.36	-1	06	140		I1.29	J2.14	K00	
100		I00	J2.50	K00		141	02	53.71	-8.34	-1	06
101	01	42.22	23.23	-1	06	142		I2.50	J00	K00	
102	02	43.38	21.12	-1	06	143	01	52.93	-10.46	-1	06
103		I1.34	J2.11	K00		144	02	50.62	-12.01	-1	06
104	02	43.25	20.31	-1	06	145		I2.31	J0.95	K00	
105		I2.50	J00	K00		146	01	47.93	-11.62	-1	06
106	01	42.49	18.10	-1	06	147	01	47.78	-11.88	-1	06
107	01	42.72	17.91	-1	06	148	01	49.24	-13.70	-1	06
108	01	44.77	19.03	-1	06	149	02	49.80	-15.27	-1	06
109	02	45.97	19.34	-1	06	150		I1.95	J1.53	K00	
110		I1.21	J2.19	K00		151	02	49.28	-16.80	-1	06
111	02	47.82	18.53	-1	06	152		I2.50	J00	K00	
112		I00	J2.50	K00		153	01	47.82	-18.53	-1	06
113	01	49.28	16.80	-1	06	154	02	45.97	-19.34	-1	06
114	02	49.80	15.27	-1	06	155		I1.85	J1.68	K00	
115		I1.98	J1.53	K00		156	02	44.77	-19.03	-1	06
116	02	49.24	13.70	-1	06	157		I00	J2.50	K00	
117		I2.50	J00	K00		158	01	42.72	-17.91	-1	06
118	01	47.78	11.88	-1	06	159	01	42.49	-18.10	-1	06
119	01	47.93	11.62	-1	06	160	01	43.25	-20.31	-1	06
120	01	50.62	12.01	-1	06	161	02	43.38	-21.12	-1	06
121	02	52.93	10.46	-1	06	162		I2.37	J0.81	K00	
122		I00	J2.50	K00		163	02	42.22	-23.23	-1	06
123	01	53.71	8.43	-1	06	164		I2.50	J00	K00	

Tableau VI.32 : Suite du programme

N	G	X	Y	Z	F	N	G	X	Y	Z	F
165	01	40.26	-24.36	-1	06	197		I2.50	J00	K00	
166	02	39.10	-24.65	-1	06	198	01	12.51	-18.10	-1	06
167		I1.16	J2.21	K00		199	01	12.28	-17.91	-1	06
168	02	37.22	-23.79	-1	06	200	01	10.23	-19.03	-1	06
169		I00	J2.50	K00		201	02	9.03	-19.34	-1	06
170	01	35.68	-22.03	-1	06	202		I1.21	J2.19	K00	
171	01	35.40	-22.13	-1	06	203	02	7.18	-18.53	-1	06
172	01	35.35	-24.47	-1	06	204		I00	J2.50	K00	
173	02	33.38	-26.86	-1	06	205	01	5.72	-16.80	-1	06
174		I2.50	J00	K00		206	02	5.20	-15.27	-1	06
175	01	30.83	-27.28	-1	06	207		I1.98	J1.53	K00	
176	02	28.49	-25.68	-1	06	208	02	5.76	-13.70	-1	06
177		I00	J2.50	K00		209		I2.50	J00	K00	
178	01	27.65	-23.50	-1	06	210	01	7.22	-11.88	-1	06
179	01	27.35	-23.50	-1	06	211	01	7.07	-11.62	-1	06
180	01	26.51	-25.68	-1	06	212	01	4.38	-12.01	-1	06
181	02	24.17	-27.28	-1	06	213	02	2.07	-10.46	-1	06
182		I2.33	J90	K00		214		I00	J2.50	K00	
183	01	21.62	-26.86	-1	06	215	01	1.29	-8.34	-1	06
184	02	19.65	-24.47	-1	06	216	02	1.18	-7.58	-1	06
185		I0.53	J2.44	K00		217		I2.38	J0.76	K00	
186	01	19.60	-22.13	-1	06	218	02	2.38	-5.44	-1	06
187	01	19.32	-22.03	-1	06	219		I2.50	J00	K00	
188	01	17.78	-23.79	-1	06	220	01	4.38	-4.23	-1	06
189	02	15.90	-24.65	-1	06	221	01	4.33	-3.93	-1	06
190		I1.88	J1.65	K00		222	01	2.04	-3.48	-1	06
191	02	14.74	-24.36	-1	06	223	02	0.02	-1.13	-1	06
192		I00	J2.50	K00		224		I0.48	J2.45	K00	
193	01	12.78	-23.23	-1	06	225	01	00	00	-1	06
194	02	11.62	-21.12	-1	06	226	00	00	00	00	
195		I1.34	J2.11	K00		227	M17				
196	02	11.75	-20.31	-1	06						



Finalement on donne le dernier programme d'usinage du lamage circulaire avec une fraise de diamètre 10mm sachant que la position de l'outil au centre de pignon est à $Z=5\text{mm}$.

Tableau VI.33 : Programme principal d'usinage du lamage

N	G	X	Y	Z	F
1	00	00	00	-5	
2	25	L19			
3	25	L19			
4	25	L19			
5	25	L19			
6	00	00	00	00	
7	25	L43			
8	25	L43			
9	25	L43			
10	25	L43			
11	25	L43			
12	25	L43			
13	25	L43			
14	25	L43			
15	25	L43			
16	00	00	00	50	
17	M30				

Tableau VI.34 : Premier sous-programme

N	G	X	Y	Z	F
19	90				
20	01	00	00	-1	50
21	01	00	9	-1	50
22	02	9	00	-1	50
23		I9	J00	K00	
24	02	00	-9	-1	50
25		I00	J9	K00	
26	02	-9	00	-1	50
27		I00	J9	K00	
28	02	00	9	-1	50
29		I9	J00	K00	
30	01	00	15	-1	50
31	02	15	00	-1	50
32		I00	J15	K00	
33	02	00	-15	-1	50
34		I15	J00	K00	
35	02	-15	00	-1	50
36		I00	J15	K00	
37	02	00	15	-1	50
38		I15	J00	K00	
39	M17				

Tableau VI.35 : deuxième sous-programme

N	G	X	Y	Z	F
43	90				
44	01	00	7.50	-1	50
45	02	7.50	00	-1	50
46		I00	J7.50	K00	
47	02	00	-7.50	-1	50
48		I7.50	J00	K00	
49	02	-7.50	00	-1	50
50		I00	J7.50	K00	
51	02	00	7.50	-1	50
52		I7.50	J00	K00	
53	M17				

Le premier sous-programme (Tableau III.34) réalise la surface numéro (1) et le deuxième sous-programme (Tableau III.35) réalise la surface numéro (2). (Figure III.24)

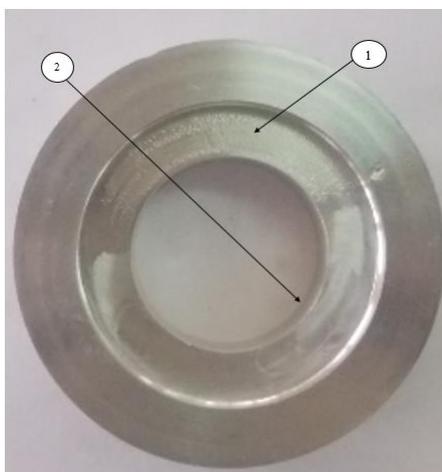


Figure VI.24: Présentation des deux lamages circulaire réalisés

Conclusion

Conclusion

Ce cours apporte des éléments avantageux pour la compréhension du principe de base de la programmation des machines-outils à commande numérique. L'utilisation des machines outils à commande numérique est devenue une préoccupation majeure pour répondre aux exigences du côté qualité et prix, d'une autre façon c'est le seul moyen pour s'imposer au niveau des grandes industries, d'où l'utilisation de la commande numérique en usinage s'étend de plus en plus dans les différents domaines industriels, la raison pour laquelle la maîtrise de l'utilisation des machines outils à commande numérique est devenue plus qu'essentiel.

Ce présent travail facilite la compréhension du principe de la programmation, mais on doit signaler que ce n'est pas tous, la mécanique est très vaste, et la technologie s'avance de plus en plus, et les recherches ne s'arrêtent pas à ce point.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- 1- EMCOTRONIC : Manuel d'utilisation du tour COMPACT 5 CNC -1996
- 2- EMCOTRONIC : Manuel d'utilisation de la fraiseuse F1 CNC -1996-
- 3- La commande numérique des machines-outils. Claude Hazard, Edition FOUCHER - 1984-
- 4- Machines à commande numérique, Bernard Méry, Edition HERMES -1997-
- 5- Manuel d'initiation fraisage et tournage, SINUMERIK 810D/840D/840Di, SIEMENS Edition 10.03
- 6- EMCO WinNC, SINUMERIK 810D/840D Fraisage. Réf.No. FR 1814 Edition E2003-5
- 7- EMCO WinNC. SINUMERIK 810D/840D Tournage. Réf.No. FR 1815 Edition E2003-5
- 8- NUM 1020/1040/1060T MANUEL DE PROGRAMMATION VOLUME 1
- 9- https://fr.wikipedia.org/wiki/Programmation_de_commande_num
- 10- <https://tu-quincy.fr/codes-de-programmation-iso-machine-num/>
- 11- https://fr.wikipedia.org/wiki/Conception_et_fabrication_assistées_par_ordinateur