

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

N° d'enregistrement

Université de Ghardaïa

/...../...../...../...../.....



كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الآلية والكهروميكانيك

Département d'automatique et électromécanique

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Master

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electromécanique

Spécialité : Maintenance Industrielle

Thème

La méthodologie exécutive de programme d'usinage dans les machines outil à commande numérique

Présenté par :

BEN GHOULA Ahmed Khalil

BOUGUERRA Oussama

Soutenu publiquement le 04/06/2023

: Devant le jury composé de

| | | | |
|--------------------------|-----|------------------------|--------------|
| MOSBAH Charaf Abdelkarim | MCB | Université de Ghardaïa | Président |
| BEN DAOUI Massoud | MCB | Université de Ghardaïa | Encadrant |
| FENNICHE Abderrazak | PSC | Université de Ghardaïa | Co-encadrant |
| MERZOUG Hocine | MAA | Université de Ghardaïa | Examineur |
| BOUSSANAN Toufik | MCB | Université de Ghardaïa | Examineur |

Année universitaire 2023/2024

Résume

Résume

Notre étude a porté sur différents types de machines à commande numérique. Les fonctionnalités dont il dispose et les programmes qu'il exécute, en plus d'étudier ses avantages et ses inconvénients.

Ont été également consacré un aspect important de notre étude à confirmer les caractéristiques de ces machines. Cette expérience est représentée dans la conception de la pièce mécanique et dans la mise en œuvre de sa méthodologie de fabrication, en tenant compte des obstacles auxquels nous avons été exposés lors de la conception du programme et lors de la fabrication de la pièce au niveau de la machine.

Mots clés : MOCN, Commande Numérique, WinNC, code G, Fanuc, EMCO, Fraisage, Taillage, Usinage

Abstract

Our study focused on different types of numerically controlled machines. The features it has and the programs it runs, in addition to studying it is advantages and disadvantages.

We also dedicated an important aspect of our study to confirming the characteristics of these machines. This expérience is represented in the design of the mechanical piece and in the implementation of its manufacturing methodology, taking into account the obstacles we faced. Exposed during the design of the program and during the manufacturing of piece at the machine level.

Key Word : NCMT, Numerical Commande, WinNC, G code, Fanuc, EMCO, Machining, Cutting, Milling.

ملخص

ركزت دراستنا على أنواع مختلفة من الآلات التي يتم التحكم فيها رقمياً، المميزات التي تحتوي عليها والبرامج التي تعمل بها، بالإضافة إلى دراسة مميزاتها وعيوبها.

كما خصصنا جانباً مهماً من دراستنا للتأكد من خصائص هذه الآلات. وتتمثل هذه التجربة في تصميم القطعة الميكانيكية وتنفيذ منهجية تصنيعها مع مراعاة العقبات التي تم مواجهتها، يتم الكشف عنها أثناء تصميم البرنامج وأثناء تصنيع القطعة على مستوى الآلة.

الكلمات المفتاحية: MOCN, التحكم الرقمي, WinNC, Fanuc, EMCO, الرمز G, التصنيع, القطع, الطحن.

DÉDICACES

A mes parents.

A tout ma famille.

A tous mes professeurs.

A tous mes amis.

Je dédie ce mémoire.

KHALIL

DÉDICACES

A mes parents.

A tout ma famille.

A tous mes professeurs.

A tous mes amis.

Je dédie ce mémoire.

OUSSAMA

REMERCIEMENT

Nous remercions en premier lieu ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la santé et le pouvoir d'accomplir ce modeste travail.

Nous remercions nos parents pour leur patience, leurs encouragements et leur soutien.

Nous remercions vont à Mr. Fenniche Abderrazak et Mr. BEN DAOUI d'avoir accepté de nous encadrer, pour ces précieux conseils et sa disponibilité.

Nous tenons, aussi, à remercier les membres du jury de nous faire l'honneur de lire et D'évaluer ce travail.

Nous tenons à remercier Mr. Bouamer Abdallah, Professeur de Génie Mécanique à l'Institut Ben Smara, pour sa présence, ses conseils et son suivi qui nous aident à comprendre beaucoup de choses à ce stage et aussi facile pour nous à obtenir les informations nécessaires pour la rédaction de mémoire.

Table des matières

Table des matières

| | |
|---|----|
| INTRODUCTION GENERALE | 1 |
| Chapitre 1 : Les Machines-outils à Commande numérique (MOCN) | |
| 1.1. Introduction..... | 2 |
| 1.2. Historique..... | 2 |
| 1.3. Généralités sur les MOCN | 3 |
| 1.3.1. Définition et fonctionnement..... | 3 |
| 1.3.2. Avantages et défis..... | 4 |
| 1.3.3. Applications..... | 5 |
| 1.4. Différents types de MOCN | 5 |
| 1.5. Domaine d'utilisation et coût de fabrication..... | 6 |
| 1.5.1. Domaine d'utilisation des MOCN | 6 |
| 1.5.2. Coût total de fabrication par pièce..... | 7 |
| 1.5.3. Rentabilité en fonction du nombre de pièces | 8 |
| 1.6. Rôle d'une machine-outil à commande numérique | 8 |
| 1.7. Classification des MOCN | 9 |
| 1.7.1. Classification selon le mode de fonctionnement | 9 |
| 1.7.1.1. Machine-outil à commande numérique en boucle ouverte | 9 |
| 1.7.1.2. Fonctionnement avec commande adaptative | 10 |
| 1.7.1.3. Machine-outil à commande numérique en boucle fermée | 11 |
| 1.7.2. Classification selon le nombre d'axes..... | 12 |
| 1.7.3. Classification selon le mode d'usinage | 14 |
| 1.7.3.1. Commande numérique point à point..... | 14 |
| 1.7.3.2. Commande numérique paraxiale : | 15 |
| 1.7.3.3. Commande numérique de contournage..... | 15 |

Table des matières

| | |
|---|----|
| 1.7.4. Classification des MOCN selon la nature de déplacement | 17 |
| 1.8. Caractéristiques principales résultantes de la structure de la MOCN..... | 17 |
| 1.9. origines des systèmes de coordonnées..... | 17 |
| 1.10. Structure physique de MOCN..... | 18 |
| 1.10.1. Partie opérative | 18 |
| 1.10.2. Partie commande | 18 |
| 1.11. Décalage et géométrie d'outil..... | 19 |
| 1.11.1. Décalage d'outil | 19 |
| 1.11.2. Géométrie d'outil | 20 |
| 1.12. Langage et programmation | 22 |
| 1.12.1. Langages conversationnels..... | 22 |
| 1.12.2. Langages structurés | 22 |
| 1.13. Conclusion | 23 |

Chapitre 2 : La partie commande et la partie opérative

| | |
|---|----|
| 2.1. Introduction..... | 24 |
| 2.2. partie commande..... | 24 |
| 2.2.1 Introduction | 24 |
| 2.2.2. système de commande numérique (CNC)..... | 25 |
| 2.2.2.1. Fonctions principales du système CNC | 26 |
| 2.2.2.2. différents types de systèmes CNC..... | 27 |
| 2.2.2.3. Avantages des systèmes CNC..... | 28 |
| 2.2.2.4. Limites des systèmes CNC..... | 28 |
| 2.3. partie opérative | 28 |
| 2.3.1. Eléments de la MOCN dans la partie opérative | 29 |
| 2.3.1.1. Le bâti..... | 29 |

Table des matières

| | |
|--|----|
| 2.3.1.2. La broche..... | 30 |
| 2.3.1.3. Porte-outil..... | 30 |
| 2.3.1.4. Mandrin..... | 32 |
| 2.3.1.5. Poupée mobile..... | 33 |
| 2.3.1.6. Motorisation..... | 34 |
| 2.3.2. Fonctionnement..... | 35 |
| 2.3.3. Avantages..... | 36 |
| 2.3.4. Limites..... | 36 |
| 2.4. L'armoire électrique de relaying ou de puissance..... | 36 |
| 2.5. fonctionnement des MOCN..... | 37 |
| 2.6. Les capteurs..... | 37 |
| 2.6.1. Définition..... | 37 |
| 2.6.2. L'utilisation des capteurs..... | 37 |
| 2.6.3. types des capteurs..... | 38 |
| 2.6.3.1. Capteurs analogiques..... | 38 |
| 2.6.3.2. Capteurs digitaux (ou numériques)..... | 38 |
| 2.6.4. différents systèmes de mesure..... | 39 |
| 2.6.4.1. Mesure directe..... | 39 |
| 2.6.4.2. Mesure indirecte..... | 39 |
| 2.7. Conclusion..... | 40 |

Chapitre 3 : La programmation de la MOCN

| | |
|--|----|
| 3.1. Introduction..... | 42 |
| 3.2. Types de programmes..... | 42 |
| 3.2.1. Choix du type de programmation..... | 43 |
| 3.3. Structure d'un programme..... | 44 |
| 3.3.1. Bloc..... | 45 |

Table des matières

| | |
|---|----|
| 3.3.2. Mots..... | 45 |
| 3.3.3. Adresses..... | 46 |
| 3.3.4. Code..... | 47 |
| 3.4. Fonctions de programmation | 49 |
| 3.4.1. Fonctions préparatoires (G)..... | 49 |
| 3.4.1.1. Classification des fonctions préparatoires G..... | 50 |
| 3.4.2. Fonctions auxiliaires (M) | 51 |
| 3.4.2.1 classification des fonctions auxiliaires M | 52 |
| 3.5. Optimisation des programmes | 54 |
| 3.5.1. Techniques courantes d'optimisation des programmes MOCN | 54 |
| 3.5.2. Sécurité et bonnes pratiques | 55 |
| 3.6. CONCLUSION..... | 56 |
| Chapitre 4 : La méthodologie exécutive de programme d'usinage dans les machines outil à commande numérique | |
| 4.1. Introduction..... | 57 |
| 4.2. Etude théorique et pratique | 57 |
| 4.2.1. pièce à usiner | 57 |
| 4.2.2. Programme SolidWorks | 58 |
| 4.2.3. EMCO Concept TURN 55 | 58 |
| 4.2.4. logiciel de programmation WinNC | 59 |
| 4.2.4.1. Introduction | 59 |
| 4.2.4.2 L'interface de WinNC..... | 60 |
| 4.2.5. programmation | 60 |
| 4.3. Problèmes pouvant être rencontrés lors de la fabrication | 70 |
| 4.4. Résultats et discussions..... | 71 |

Table des matières

| | |
|--------------------------|----|
| CONCLUSION GENERALE..... | 73 |
| REFERENCE..... | 73 |
| ANNEXE..... | 75 |

Liste des figures

Liste des figures

CHPITRE 1

Les Machines-outils à Commande numérique (MOCN)

| | |
|--|----|
| Figure 1.2 : premier Mocn en 1952..... | 2 |
| Figure 1.3 : Machine à commande numérique. | 4 |
| Figure 1.5 : domaine d'utilisation économique des machines-outils à commande numérique.. | 7 |
| Figure 1.6 : Modèle de la structure d'une machine-outil..... | 9 |
| Figure 1.7 : Fonctionnement en boucle ouvert..... | 10 |
| Figure 1.7.1 : Commande adaptative | 11 |
| Figure 1.7.2 : Fonctionnement en boucle fermée..... | 12 |
| Figure 1.7.2.1 : Fraisage à cinq axes..... | 13 |
| Figure 1.7.3 : Commande Numérique Point A Point..... | 14 |
| Figure 1.7.3.2 : Fraisage paraxiale..... | 15 |
| Figure 1.7.3.3 : Opération de contournage tournage..... | 15 |
| Figure 1.7.3.3.1 : Commande numérique de contournage..... | 16 |
| Figure 1.9 : Représentation des origines..... | 19 |
| Figure 1.10 : Fonction originale d'une commande numérique..... | 20 |
| Figure 1.11 : Point de référence dans le volume d'usinage (fraisage et tournage) | 21 |
| Figure 1-11.1 : Décalage d'origine de l'origine machine M à l'origine de la pièce W dans le tournage et le fraisage..... | 22 |

CHAPITRE 2

Liste des figures

La partie commande et la partie opérative

| | |
|--|----|
| Figure 2.1 : Elément d'une machine-outil à commande numérique..... | 24 |
| Figure 2.3: Bâti d'un MOCN..... | 29 |
| Figure 2.3.1: Broche d'un MOCN..... | 30 |
| Figure 2.3.1.6. : Moteur pas à pas..... | 34 |
| Figure 2.6.1: fonctionnement d'un capteur..... | 38 |
| Figure 2.6.4.1 : Capteur rotatif sur le mobile..... | 39 |
| Figure 2.6.4.2 : Système d'axe avec l'utilisation d'un codeur linéaire (règle de positionnement) | 39 |
| Figure 2.6.4.3 : Capteur rotatif fixé sur le moteur..... | 40 |
| Figure 2.6.4.4 : Capteur rotatif sur l'extrémité libre de la vis..... | 40 |

CHPITRE 3

La programmation de la MOCN

| | |
|--|----|
| Figure 3.2 : Programme conversationnel MOCN..... | 42 |
| Figure 3.2.1 : Programme par blocs MOCN..... | 43 |
| Figure 3.2.2 : Types de programmation..... | 44 |
| Figure 3.3 : Structure d'un bloc de programme d'usinage..... | 45 |
| Figure 3.3.1 : Ecriture d'un bloc définissant la mise en rotation de broche..... | 45 |
| Figure 3.3.2 : Ecriture d'un bloc définissant une trajectoire..... | 45 |
| Figure 3.3.2.1 : MOT..... | 46 |

CHAPITRE 4

Liste des figures

La méthodologie exécutive de programme d'usinage dans les machines outil à commande numérique

| | |
|--|----|
| Figure 4.2.1 : Dessin de Définition de la pièce a usine avec programme SolidWorks..... | 57 |
| Figure 4.2.2: Dessin 3D de la pièce Designer avec programme SolidWorks..... | 58 |
| Figure 4.2.3 : machine Concept TURN 55..... | 59 |
| Figure 4.2.4: L'interface de WinNC..... | 60 |
| Figure 4.2.5.1 : programme WinNc sur le bureau..... | 60 |
| Figure 4.2.5.2 : L'interface de WinNC sur le bureau..... | 61 |
| Figure 4.2.5.3 : L'interface de Fanuc..... | 61 |
| Figure 4.2.5.4: fenêtre en mode EDIT sur le programme Fanuc..... | 63 |
| Figure 4.2.5.5.1 : contour de cycle de chariotage 1..... | 63 |
| Figure 4.2.5.5.2 : contour de cycle de chariotage 2..... | 63 |
| Figure 4.2.5.5.3: Phase de taillage..... | 64 |
| Figure 4.2.5.5.4 : fenêtre d'écrire le programme Fanuc phase 1..... | 67 |
| Figure 4.2.5.5.5 : fenêtre d'écrire le programme Fanuc phase 2..... | 68 |
| Figure 4.2.5.5.6 : fenêtre d'écrire le programme Fanuc phase 3..... | 68 |
| Figure 4.2.5.6.1 : début de la simulation graphique dans le programme sous le nom O0107..... | 69 |
| Figure 4.2.5.6.2 : la simulation graphique dans le programme sous le nom O0107..... | 69 |
| Figure 4.2.5.6.3 : la simulation graphique dans le programme sous le nom O0108..... | 70 |
| Figure 4.2.5.7 : Fermé le programme WinNc..... | 70 |

Liste des tableaux

Liste des tableaux

CHPITRE 1

Les Machines-outils à Commande numérique (MOCN)

| | |
|--|----|
| Tableau 1.7.2 : Classification des MOCN suivant le nombre d'axe..... | 12 |
| Tableau 1.9 : Origines utilisées dans des MOCN..... | 17 |

CHAPITRE 2

La partie commande et la partie opérative

| | |
|--|----|
| Tableau 2.2 : Différents pupitres des MOCN..... | 26 |
| Tableau 2.3.1.3 : Différents porte-outils des MOCN..... | 31 |
| Tableau 2.3.1.4: Différents mandrins des MOCN..... | 32 |
| Tableau 2.3.1.5 : Différents poupées mobiles des MOCN..... | 33 |

CHAPITRE 3

La programmation

| | |
|---|----|
| Tableau 3.3.3 : les adresses des M.O.C.N..... | 46 |
| Tableau 3.3.4 : Codes utilisables..... | 47 |
| Tableau 3.4.1 : Fonctions préparatoires (G)..... | 48 |
| Tableau 3.4.1.1 : Classification des fonctions préparatoires G..... | 50 |
| Tableau 3.4.2 : Fonctions auxiliaires (M)..... | 52 |
| Tableau 3.4.2.1 : Classification des fonctions auxiliaires M..... | 53 |

Liste des Abréviations

Liste des Abréviations

MOCN : machine-outil à commande numérique

CN : commande numérique

CNC : Commande Numérique par Calculateur

MO : Machine-outil

DCN : Directeur De Commande Numérique

OP : Origine Programme

EIA : Electronic Industries Association

PO : Partie Opérative

PC : Partie Commande

CC : moteurs à courant continu

IHM : Interface Homme-machine

UC : Unité de Commande Centrale

COR : Compensation De Rayon D'outil

FAO : La Fabrication Assistée Par Ordinateur

EPI : équipements de protection individuelle

CAO : Conception Assistée Par Ordinateur

OM : Origine machine

Om : Origine mesure

OP : Origine Programme

Op : Origine pièce

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'industrie manufacturière a connu une transformation majeure avec l'introduction des Machines-Outils à Commande Numérique (MOCN), des systèmes innovants qui allient précision et automatisation dans le processus d'usinage.

Ce mémoire s'attache à explorer de manière approfondie les différentes dimensions de ces machines, en se focalisant sur la partie commande et opérative, la programmation, et surtout, la méthodologie exécutive des programmes d'usinage. Cela est dû à son importance dans le domaine de l'industrie et la production mécanique et de leurs produits sur le marché commercial.

Cette étude se compose de quatre chapitres :

Le premier chapitre : Machines outil à Commande numérique (MOCN)

Ce chapitre présenter les différents types de MOCN, leurs composants principaux et leurs caractéristiques. Il aborde également les avantages et les inconvénients de l'utilisation des MOCN.

Le chapitre deux : La partie commande et la partie opérative

Ce chapitre décrit les deux parties principales d'une MOCN : la partie commande et la partie opérative. La partie commande est responsable de l'interprétation des instructions numériques et du contrôle des mouvements de la machine. La partie opérative comprend les éléments mécaniques et électriques qui permettent à la machine de se déplacer et de couper le matériau.

Le troisième chapitre : La programmation

Ce chapitre explique comment les programmes d'usinage sont créés et utilisés pour contrôler les MOCN. Il présente les différents langages de programmation utilisés pour les MOCN et les étapes à suivre pour créer un programme d'usinage.

Le quatrième chapitre : La Méthodologie exécutif de programme d'usinage dans (MOCN)

Ce chapitre concentrer particulièrement sur la méthodologie exécutive des programmes d'usinage.

Les machines-outils à commande numérique sont des outils puissants et polyvalents qui peuvent être utilisés pour fabriquer une large gamme de pièces complexes et de haute précision. La compréhension des principes de fonctionnement des MOCN et de la méthodologie d'usinage est essentielle pour exploiter pleinement leur potentiel.

CHAPITRE 1

Machines outil à Commande numérique (MOCN)

1.1. Introduction

L'avènement du contrôle numérique a révolutionné le monde des machines, poussant l'automatisation des machines-outils traditionnelles à un niveau sans précédent. Ce chapitre aperçu complet de la technologie MOCN, abordant sa classification, sa structure et fournit un la justification de son adoption.

1.2. Historique

Les machines-outils à commande numérique (CNC) ont une histoire fascinante qui remonte au milieu du XXe siècle. Dans les années 1940, les premiers efforts pour automatiser les processus de fabrication, en particulier dans l'industrie aéronautique, ont jeté les bases du développement des CNC. John Parsons est souvent reconnu comme le pionnier de cette technologie.

Au cours des années 1950, les premières machines-outils à commande numérique ont fait leur (MIT) et l'United States Air Force ont Technologie apparition. Le Massachusetts Institute of collaboré pour élaborer des techniques de programmation numérique pour le fraisage de pièces complexes. [5]

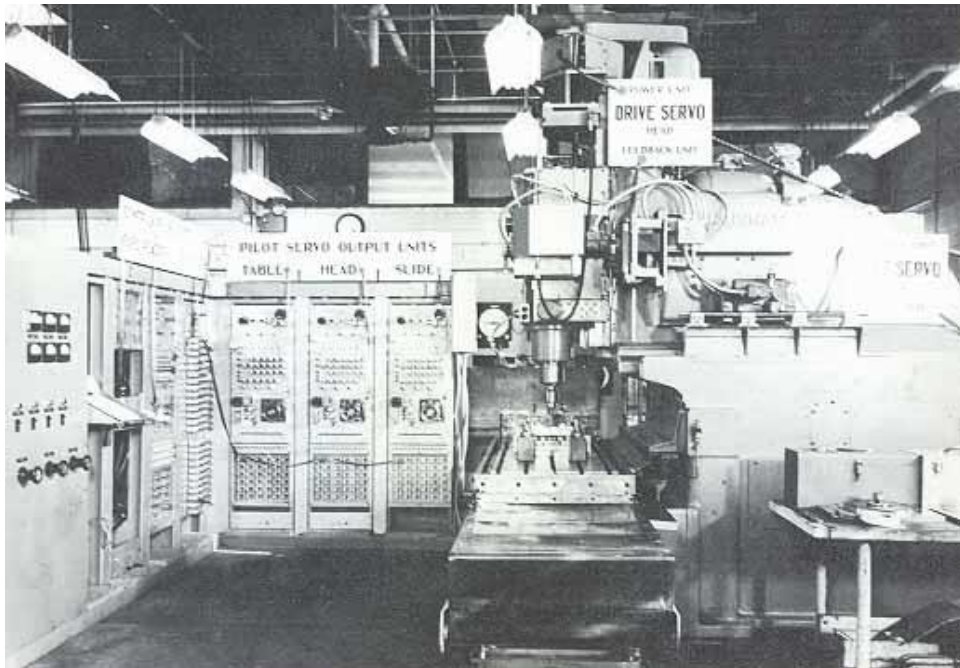


Figure 1.2 : premier MOCN en 1952. [15]

Chapitre 1 : Machines outil à Commande numérique (MOCN)

Les années 1960 ont marqué une diffusion plus large de la technologie CNC dans l'industrie manufacturière. Les ordinateurs ont commencé à contrôler les machines-outils, offrant une précision et une reproductibilité significativement améliorées.

Les années 1970 ont vu une adoption accrue des CNC dans divers secteurs. Les ordinateurs devenaient plus puissants et abordables, facilitant ainsi l'adoption généralisée de la technologie CNC.

Au cours des années 1980, les CNC ont continué à évoluer avec l'introduction de commandes plus avancées, de logiciels de programmation conviviaux et de systèmes intégrés de gestion de la production. L'automatisation des processus de fabrication est devenue la norme dans de nombreuses industries.

Les années 1990 jusqu'à aujourd'hui ont été marquées par une progression continue des machines-outils à commande numérique. Les CNC modernes offrent une précision accrue, une flexibilité sans précédent et une automatisation poussée grâce à l'intégration de technologies telles que l'informatique en nuage, l'internet des objets et l'apprentissage automatique.

Au fil des décennies, les CNC ont profondément transformé le paysage manufacturier, permettant une production plus rapide, plus précise et plus flexible. Elles sont devenues des outils indispensables dans des secteurs variés tels que l'aéronautique, l'automobile, l'industrie médicale et bien d'autres.

1.3. Généralités sur les MOCN

1.3.1. Définition et fonctionnement

Une Machine-Outil à Commande Numérique (MOCN) est une machine-outil dont les mouvements sont pilotés par un automate programmable. Cet automate, intégré ou externe à la machine, reçoit des instructions sous forme de programme numérique.

Ce programme définit les trajectoires de l'outil, les vitesses d'avance et de coupe, ainsi que les autres paramètres nécessaires à la réalisation de la pièce. [18]



Figure 1.3 : Machine à commande numérique.

1.3.2. Avantages et défis

Les MOCN présentent de nombreux avantages par rapport aux machines-outils conventionnelles : [15]

- **Précision accrue** : La précision des mouvements est assurée par l'automatisation et la répétitivité des instructions numériques.
- **Gain de temps et de productivité** : La programmation et l'automatisation des tâches permettent de réduire les temps de production et d'augmenter la cadence de travail.
- **Flexibilité et adaptabilité** : Les MOCN peuvent être facilement reprogrammées pour réaliser différentes pièces, ce qui les rend adaptables à des productions variées.
- **Meilleure sécurité** : L'automatisation des tâches réduit les risques d'accidents pour l'opérateur.

Cependant, les MOCN présentent également quelques défis : [15]

Chapitre 1 : Machines outil à Commande numérique (MOCN)

- **Coût d'investissement** : L'acquisition et la maintenance des MOCN peuvent être plus coûteuses que les machines-outils conventionnelles.
- **Compétences requises** : La programmation et l'utilisation des MOCN nécessitent des compétences spécifiques en programmation et en commande numérique.
- **Risques de cyberattaques** : La connectivité des MOCN les expose à des risques de cyberattaques qui peuvent perturber la production et compromettre la sécurité des données.

1.3.3. Applications

Les MOCN sont utilisées dans une grande variété d'applications industrielles, notamment :
[15]

- **Usinage** : Fraisage, tournage, perçage, alésage, etc.
- **Découpe** : Découpe laser, jet d'eau, oxycoupage, etc.
- **Soudage** : Soudage par points, soudure TIG, soudure MIG/MAG, etc.
- **Assemblage** : Assemblage de composants électroniques, de pièces mécaniques, etc.
- **Impression 3D** : Fabrication de prototypes et de pièces complexes.

Remarque

Les MOCN sont des outils de production puissants et flexibles qui permettent d'améliorer la précision, la productivité et la sécurité dans l'industrie. Les défis liés à leur coût, à leur complexité et à leur sécurité doivent être pris en compte pour garantir leur utilisation optimale.

1.4. Différents types de MOCN

Les centres d'usinages sont des machines-outils qui travaillent par enlèvement de matière et permettent de réaliser automatiquement des opérations de fraisage, alésage, perçage, taraudage.

Elles possèdent un magasin d'outils avec changeur automatique et peuvent être équipées d'un dispositif automatique de chargement des pièces. [3]

L'ensemble de ces fonctions est géré par un ou plusieurs systèmes électroniques

Chapitre 1 : Machines outil à Commande numérique (MOCN)

Programmables (commande numérique (CN), ordinateur, automate programmable...).

On distingue plusieurs types de machines :

- Les machines à enlèvement de copeaux : les perceuses, les tours 2 et 4 axes, les centres de tournages 5 axes, les fraiseuses 2 axes 1/2, 3 axes, les centres d'usinage, 3 à 5 axes, les rectifieuses, les affûteuses, les machines d'usinage à très grande vitesse...
- Les électroérosions : les machines à enfonçages,
- Les machines à fil,
- Les machines de découpes : oxycoupage, laser, jet d'eau...
- Les presses : métal, injection plastique.
- Les machines à bois : à portique ou col de cygne.
- Les machines spéciales : à panneaux, à têtes multiples, de conditionnement (pour l'agroalimentaire).
- Les machines de l'usinage pour des matériaux (les machines de fabrication mécanique – MOCN)

1.5. Domaine d'utilisation et coût de fabrication

1.5.1. Domaine d'utilisation des MOCN

Les machines-outils à commande numérique (MOCN) couvrent un large éventail d'applications dans divers secteurs industriels, dont : [15]

- **Mécanique** : Découpage, usinage de pièces (Fraisage, tournage, perçage, alésage...).
- **Aéronautique** : Fabrication de pièces complexes pour avions et hélicoptères.
- **Automobile** : Production de composants pour moteurs, transmissions et carrosseries.
- **Médical** : Fabrication d'implants, prothèses et instruments chirurgicaux.
- **Métallurgie** : Usinage de pièces en métal pour la construction, l'énergie et l'outillage.
- **Electronique** : Fabrication de circuits imprimés et de composants électroniques.
- **Moulage** : Création de moules pour la fabrication de pièces en plastique et en métal.
- **Bois** : Usinage de pièces en bois pour la construction, l'ameublement et la menuiserie.

1.5.2. Coût total de fabrication par pièce

Le système de fabrication le plus rentable est celui qui génère le coût d'une pièce le plus bas.

Ce coût est calculé selon la formule suivante : [1]

$$C = C_u + C_r / L + C_p / ZL$$

Où :

- **C** : Coût total de fabrication pour une pièce
- **C_u** : Coût d'usinage d'une pièce (matière, main d'œuvre directe, coût machine)
- **C_r** : Coût de lancement de la série et des réglages des outils et de la machine
- **L** : Nombre de pièces d'une série
- **C_p** : Coût de préparation (gammes et programmes d'usinage) et des outillages
- **Z** : Nombre de séries
- **ZL** : Nombre total de pièces fabriquées

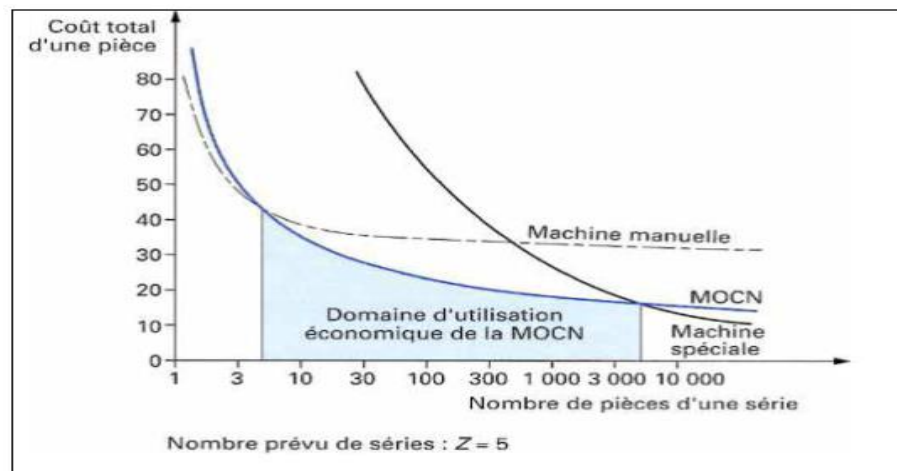


Figure 1.5 : domaine d'utilisation économique des machines-outils à commande numérique.

[16]

On constate que le coût total de fabrication par pièce varie en fonction de la quantité ZL d'une manière hyperbolique.

Si l'on considère le nombre de pièces usinées, le domaine d'utilisation économique de la machine-outil à commande numérique se situe dans la petite et la moyenne séries.

Les machines-outils conventionnelles restent rentables pour des opérations simples où elles

Chapitre 1 : Machines outil à Commande numérique (MOCN)

ont malgré tout tendance à être remplacées par des MOCN d'entrée de gamme.

Pour les grandes séries, le recours à des machines spéciales à automatisation rigide (machines transfert, tours à cames, fraiseuses de copiage) se montre encore très avantageux.

Si l'on représente le coût d'une pièce en fonction du nombre d'exemplaires à fabriquer, on peut déterminer les limites économiques d'utilisation de la commande numérique.

Dans l'exemple de la **Figure 1.5.** au-dessus de 5 pièces par série, l'usinage sur une MO à commande manuelle est plus rentable que sur une MOCN ; de la même façon, une machine spéciale le sera au-dessus de 5 000 pièces par série. [16]

1.5.3. Rentabilité en fonction du nombre de pièces [23]

- **Petites et moyennes séries :** La MOCN est généralement plus rentable.
- **Grandes séries :** Les machines spéciales à automatisation rigide peuvent être plus avantageuses.

REMARQUE

- La formule du coût total de fabrication par pièce permet de comparer la rentabilité des différents systèmes.
- La MOCN est généralement plus rentable pour les petites et moyennes séries.
- Les machines spéciales à automatisation rigide peuvent être plus avantageuses pour les grandes séries.
- Il est important de bien analyser les besoins et de comparer les différentes options avant de choisir un système de fabrication.

1.6. Rôle d'une machine-outil à commande numérique

Imaginez une machine qui peut suivre des consignes précises afin de fabriquer des pièces complexes en métal, en plastique ou en bois.

La machine-outil à commande numérique (MOCN) accomplit cela.

Son rôle principal est de couper et de façonner des matériaux avec une grande précision.

Elle remplace les gestes de l'ouvrier par des mouvements automatiques pilotés par un programme informatique (voir le **Figure 1.6**).

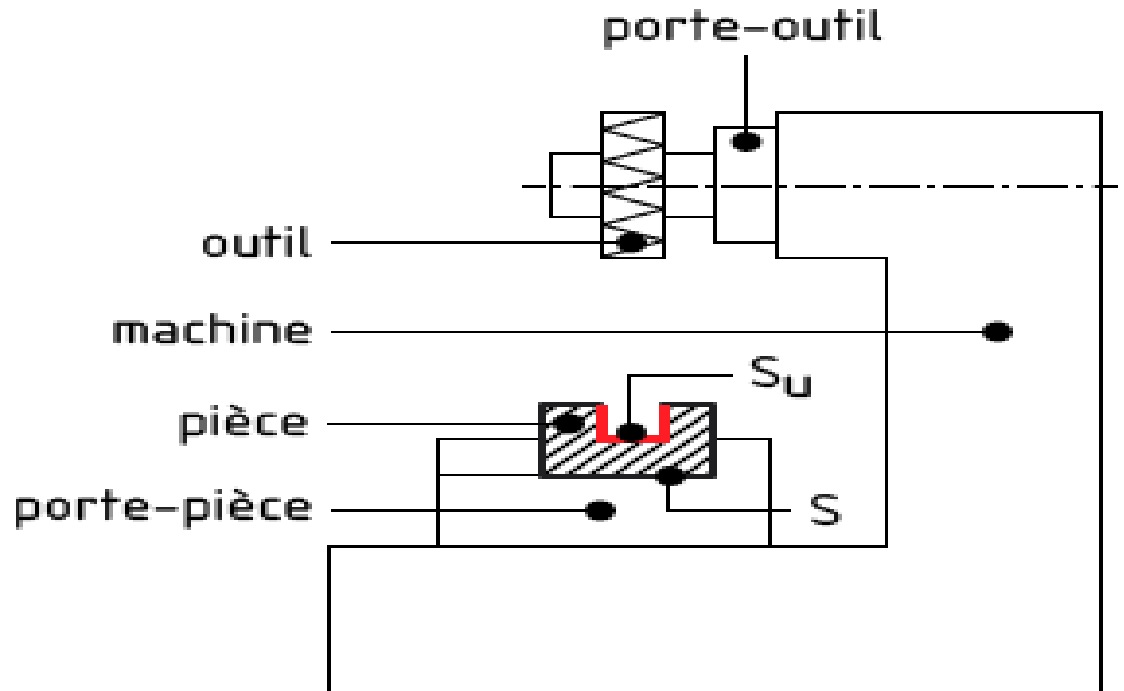


Figure 1.6 : Modèle de la structure d'une machine-outil.

1.7. Classification des MOCN

Les machines-outils à commande numérique (MOCN) sont classées suivant :

- Classification selon le mode de fonctionnement.
- Classification selon le nombre d'axes.
- Classification selon le mode d'usinage.
- Classification des MOCN selon la nature de déplacement

1.7.1. Classification selon le mode de fonctionnement

1.7.1.1. Machine-outil à commande numérique en boucle ouverte

- **Fonctionnement** : La machine exécute les instructions du programme sans vérifier la position réelle de l'outil ou de la pièce.
- **Avantages** : Simplicité de conception et coût moins élevé.
- **Inconvénients** : Moins précise et moins fiable que les MOCN en boucle fermée.

Chapitre 1 : Machines outil à Commande numérique (MOCN)

- **Applications :** Usinage de pièces simples où la précision n'est pas critique En boucle ouverte comme l'illustre la **Figure 1.7**. Le système assure le déplacement du chariot mais ne le contrôle pas.

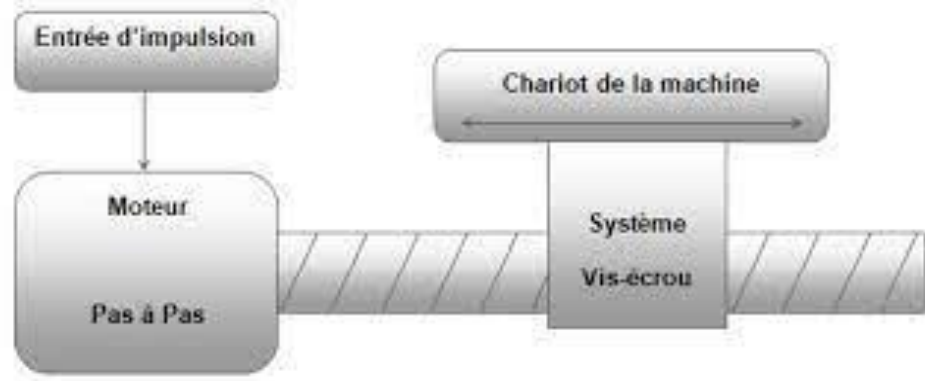


Figure 1.7 : Fonctionnement en boucle ouvert. [17]

1.7.1.2. Fonctionnement avec commande adaptative

La commande adaptative réalise d'une façon continue et automatique l'adaptation des conditions de coupe.

Des capteurs relèvent les valeurs de couple de la broche, l'amplitude de vibration de la broche, la température au point de coupe.

Ces informations sont transmises à une unité spéciale qui les envoie vers le directeur de commande numérique qui agit selon l'analyse des informations sur les conditions de coupe pour permettre une meilleure qualité de travail, une meilleure productivité et une plus grande sécurité. [1]

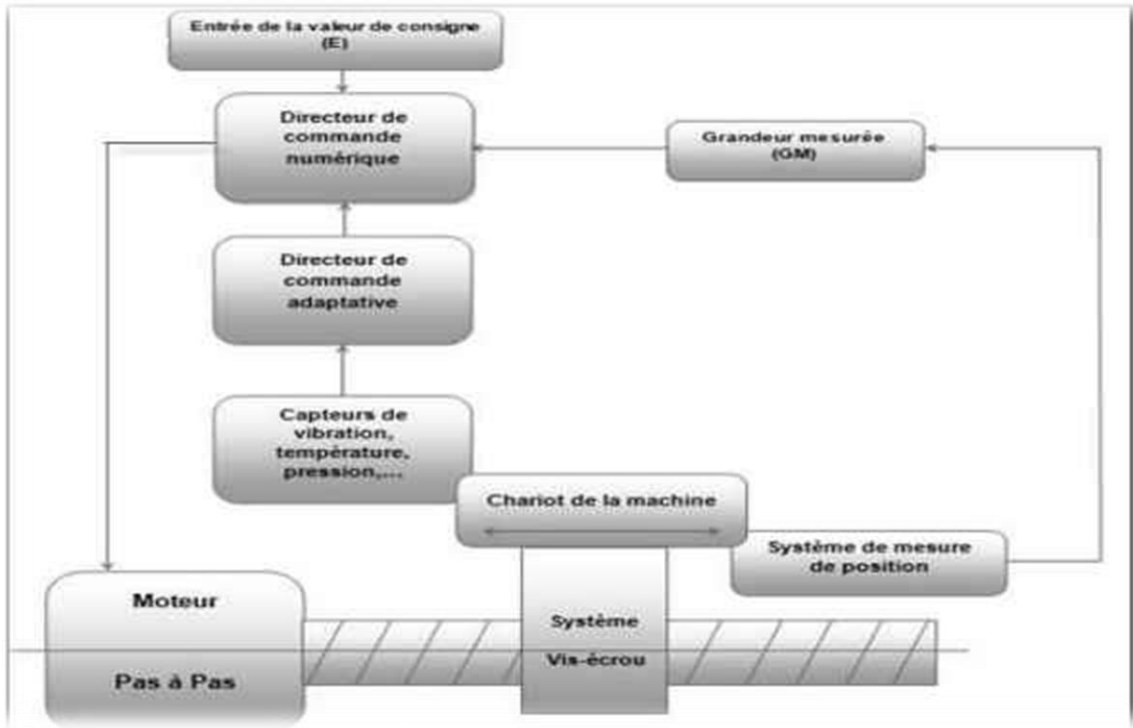


Figure 1.7.1 : Commande adaptative. [17]

1.7.1.3. Machine-outil à commande numérique en boucle fermée

- **Fonctionnement** : La machine intègre des capteurs qui contrôlent en permanence la position de l'outil et de la pièce. En cas d'écart, la machine ajuste automatiquement ses mouvements.
- **Avantages** : Plus précise et plus fiable que les MOCN en boucle ouverte.
- **Inconvénients** : Plus complexe et plus coûteuse à concevoir.
- **Applications** : Usinage de pièces complexes où la précision est importante. En boucle fermée (**Figure 1.7.2.**) le système contrôle le déplacement ou la position jusqu'à égalité des grandeurs entrée (E) désirée et celui mesuré (GM). [17]

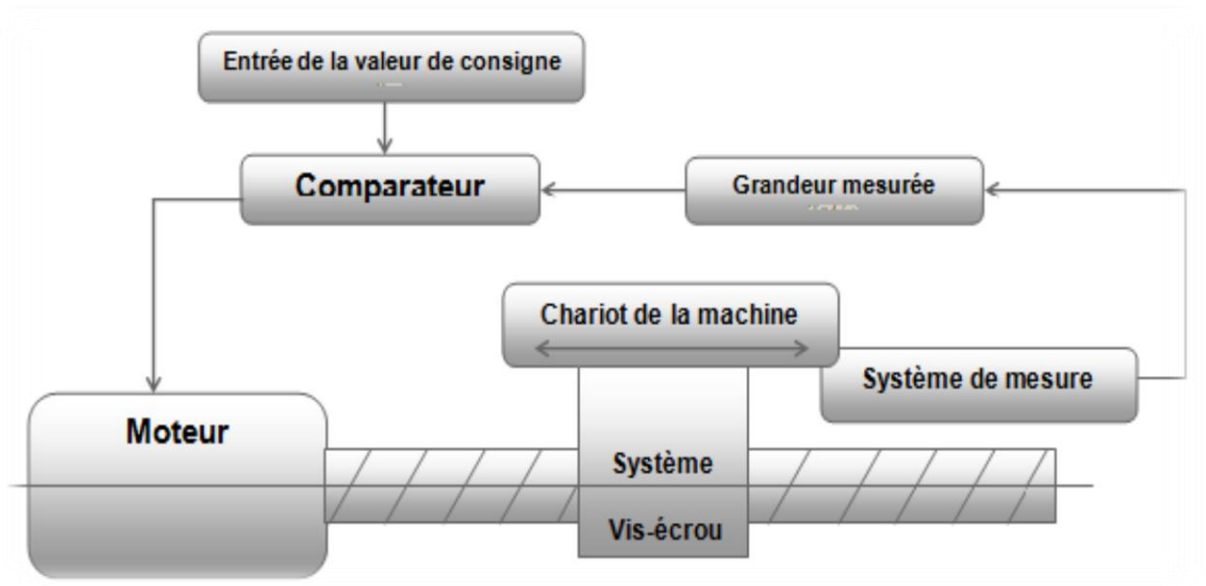


Figure 1.7.2 : Fonctionnement en boucle fermée. [17]

1.7.2. Classification selon le nombre d'axes

On classe maintenant les machines-outils par le nombre de mouvements

Élémentaires qu'elles peuvent mettre en œuvre lors du déplacement de l'outil par rapport à la pièce **Tableau 1.7.2**. Seuls les axes sont décomptés.

La mise en œuvre simultanée de plusieurs outils entraînent l'augmentation du nombre d'axes.

Cette classification ne permet pas d'associer directement un type de forme usinable à une classe de machine, car elle ne reflète pas la cinématique de l'outil.

Par exemple un tour à cinq axes ne permet pas de faire des pièces différentes par rapport à un tour à trois axes. [3]

Tableau 1.7.2 : Classification des MOCN suivant le nombre d'axe.

| Nombre d'axes | Description | Exemples | Applications |
|---------------|---------------------------------|---|--|
| 2 axes | Mouvements linéaires sur X et Y | Machines de gravure simple | Gravure de plaques, circuits imprimés |
| 3 axes | Ajoutent l'axe Z | Fraiseuses classiques, perceuses à commande numérique | Perçage, fraisage de pièces simples |
| 4 axes | Ajout d'un axe rotatif A ou B | Tours à commande numérique, centres d'usinage 4 axes | Tournage de pièces complexes, fraisage de formes complexes sur 3 faces |
| 5 axes | Ajout d'un second axe rotatif C | Centres d'usinage 5 axes | Fraisage de formes complexes sur 5 faces, usinage de pièces à symétrie radiale |

La figure ci-dessous montre un exemple d'un centre d'usinage à cinq axes

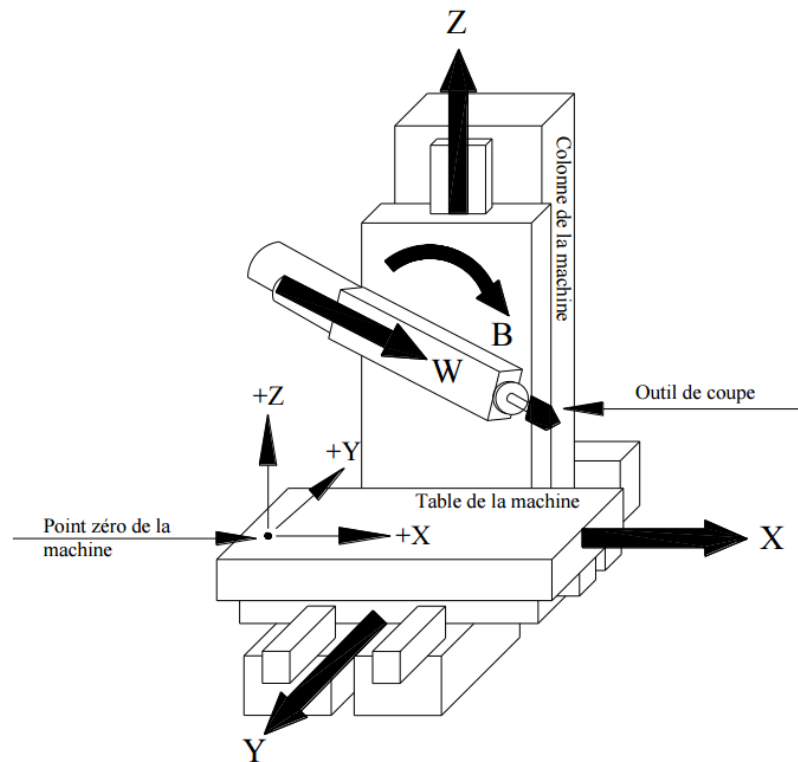


Figure 1.7.2.1 : Fraisage à cinq axes. [4]

1.7.3. Classification selon le mode d'usinage [4]

Selon le mode d'usinage on peut classer les MOCN en trois catégories :

- Commande numérique point à point
- Commande numérique paraxiale
- Commande numérique de contournage

1.7.3.1. Commande numérique point à point

C'est la mise en position de l'outil ou de la pièce Par déplacements non synchronisés. Le mouvement de coupe (usinage) n'est possible que lorsque le mouvement de positionnement est effectué.

Exemples d'opération d'usinage : perçage, alésage, lamage taraudage, petit fraisage.

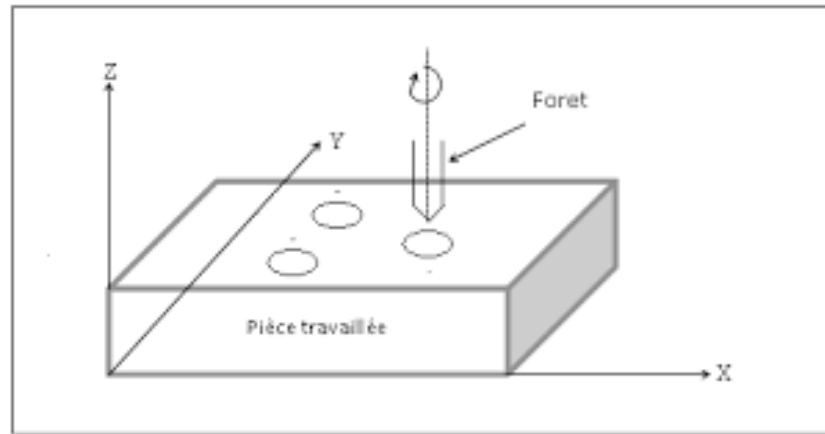


Figure 1.7.3 : Commande Numérique Point A Point. [6]

1.7.3.2. Commande numérique paraxiale :

Les déplacements sont en parallèle avec les axes et la vitesse de déplacement (programmable) est réglée.

Exemple : fraisages précis à vitesses imposées.

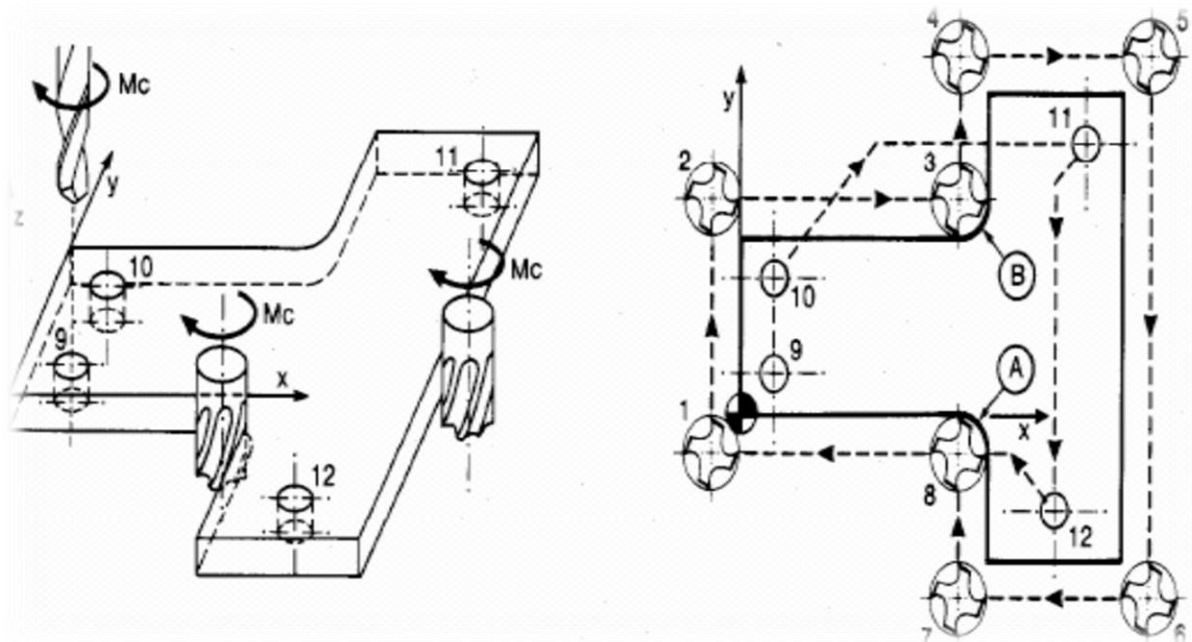


Figure 1.7.3.2 : Fraisage paraxiale.

1.7.3.3. Commande numérique de contournage

Des interpolateurs linéaires et circulaires permettent de réaliser des trajectoires linéaires et circulaires dans le plan ou dans l'espace (Certains D.C.N. n'autorisent pas l'interpolation circulaire dans l'espace) **Figure 1.7.3.3.** Les différents axes exécutant la trajectoire sont

Chapitre 1 : Machines outil à Commande numérique (MOCN)

contrôlés en vitesse et en position pour assurer une synchronisation permanente des mouvements.

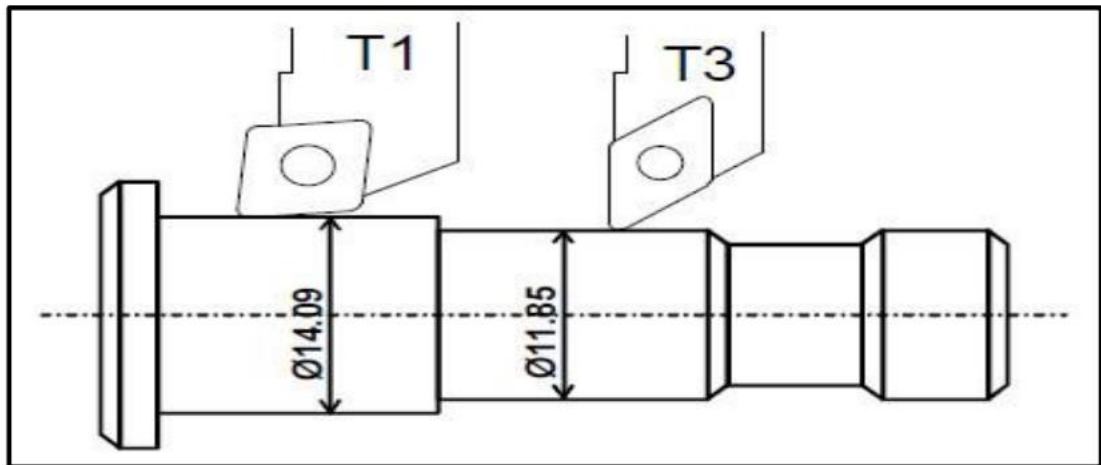


Figure 1.7.3.3 : Opération de contournage tournage.

Exemples d'opération d'usinage : toute opération possible sur un centre de tournage ou centre d'usinage.

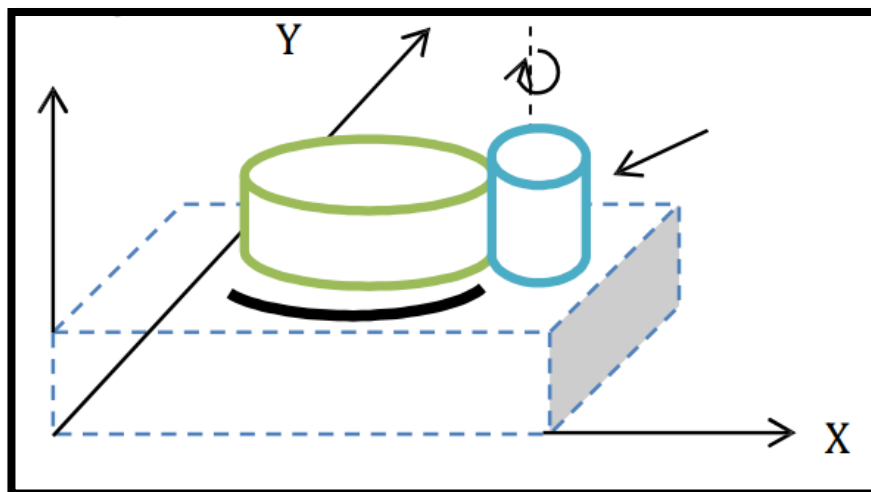


Figure 1.7.3.3.1 : Commande numérique de contournage. [6]

1.7.4. Classification des MOCN selon la nature de déplacement

Le classement des machines est nécessaire car il aide au choix de machines, lors d'étude de gammes de fabrication. Traditionnellement, on a classé les machines en fonction des formes de surfaces à réaliser : cylindriques / parallélépipédiques, tournage / fraisage.

Cette classification est remise en cause, car la commande numérique et l'adaptation des structures de machine cassent le lien entre les deux couples. [3]

1.8. Caractéristiques principales résultantes de la structure de la MOCN





Les caractéristiques principales d'une MOCN découlent de sa structure et influencent son choix pour une application donnée :

- **Rigidité** : Capacité à résister aux efforts et aux vibrations pendant l'usinage, garantissant la précision et la qualité de la surface usinée.
- **Précision** : Capacité à suivre fidèlement les instructions du programme d'usinage, déterminant la tolérance dimensionnelle des pièces usinées.
- **Vitesse d'usinage** : Détermine la rapidité d'exécution du programme et la productivité de la machine.
- **Capacité d'usinage** : Définie par la puissance de la broche, le couple et la capacité d'enlèvement de copeaux.
- **Flexibilité** : Capacité à usiner des formes complexes et à s'adapter à différents types de pièces et d'outils.
- **Encombrement** : Dépend de la configuration de la machine et de la taille de la table.
- **Coût** : Dépend de la complexité de la machine, de ses fonctionnalités et de son constructeur.

1.9. Les origines des systèmes de coordonnées

Les programmes d'usinage sont réalisés à partir d'une origine appelée "origine programme" (OP) définie par le programmeur lui-même, le programme a pour but de commander les déplacements de la machine afin de réaliser la pièce souhaitée à partir d'une pièce vierge, ces déplacements sont réalisés dans un repère orthonormé (x, y, z) normalisé basé sur la structure de la machine.

Tableau 1.9 : Origines utilisées dans des MOCN. [4]

| Points utilisées | Symbole | Définition |
|-------------------------|--|---|
| Origine machine (OM) |  | C'est la référence des déplacements de la machine. C'est un point défini (sur chaque axe) par le constructeur qui permet de définir l'origine absolue de la machine. OM et om peuvent être confondues. |
| Origine mesure (Om) |  | C'est le point de départ de toutes les mesures dans l'espace machine |
| Origine Programme OP |  | C'est le point de départ de toutes les cotes. |
| Origine Pièce W (Op) |  | Origine de la mise en position (isostatique de la pièce) |

La figure suivante représente la répartition des origines en tournage et en fraisage.

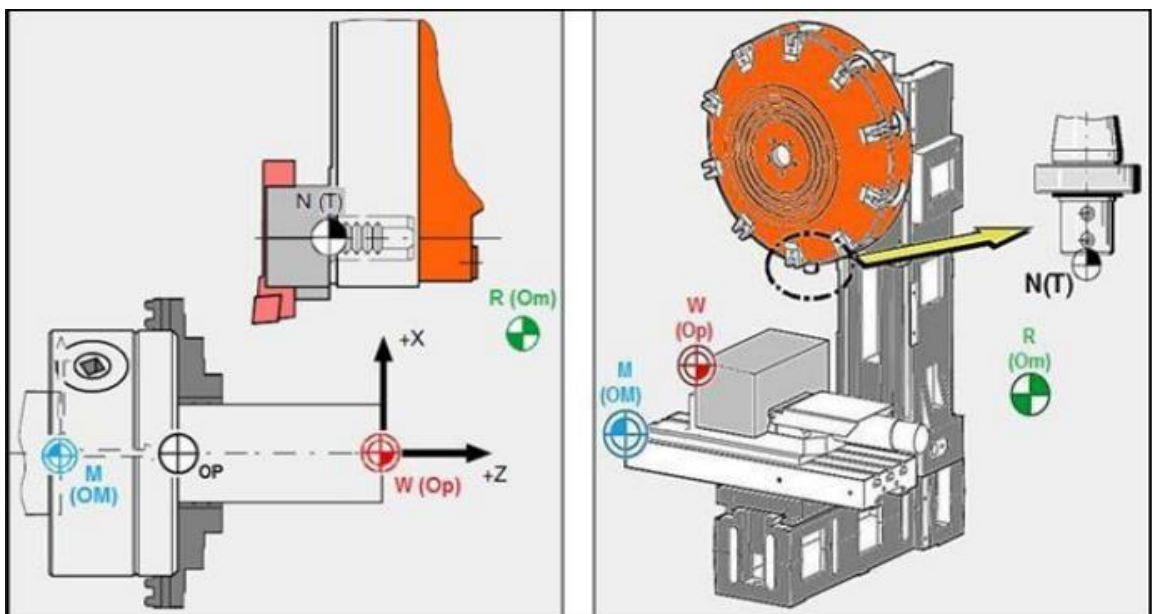


Figure 1.9 : Représentation des origines. [4]

1.10. Structure physique de MOCN

Une machine-outil à commande numérique est composée de deux principales parties :

1.10.1. Partie opérative

Représente la machine elle-même. Elle est identique aux machines conventionnelles dans la fonction "usinage" mais elle possède des performances supérieures. Elle peut posséder plusieurs têtes d'usinage motorisées selon un ou plusieurs systèmes d'axes indépendants et elle comporte également des éléments annexes pour commander les dispositifs de serrage et de lubrification.

1.10.2. Partie commande

Il s'agit du cœur de la machine, connu sous le nom de directeur de commande numérique (DCN).

Les commandes de rotation et de déplacement sont envoyées aux organes mobiles de la machine en fonction des valeurs de consignes fournies dans le programme de la pièce à effectuer.

La partie commande est alimentée par un courant faible et ne peut donc pas alimenter en direct les moteurs de la machine (voir **Figure 1.10**). [2]

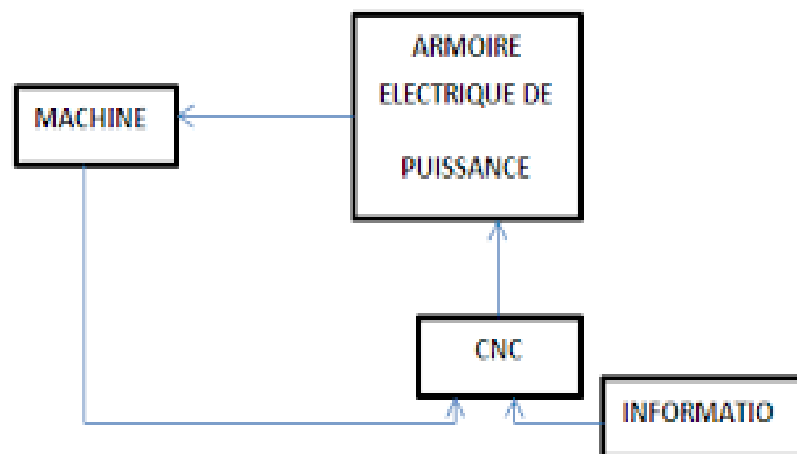


Figure 1.10 : Fonction originale d'une commande numérique. [20]

1.11. Décalage et géométrie d'outil

Dans l'espace de travail d'une MOCN, sont définis différents points de de référence, Nous présenterons les différents points ainsi que leur positionnement dans l'espace de travail d'une MOCN.

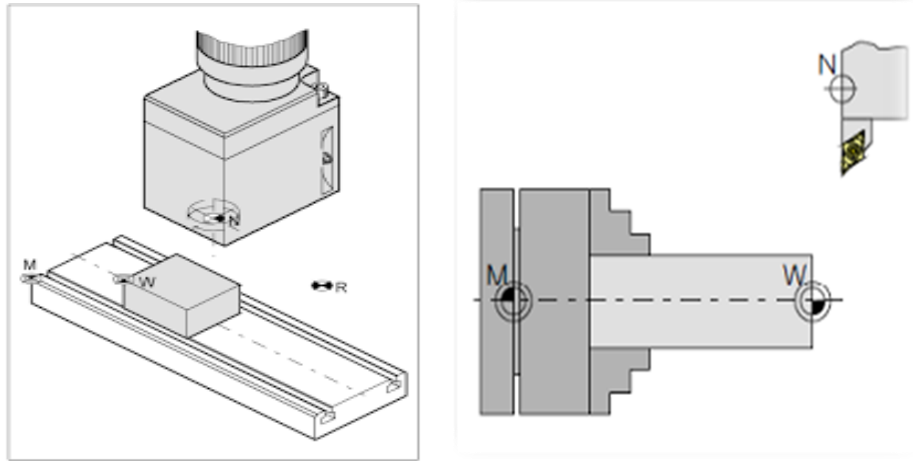


Figure 1.11 : Point de référence dans le volume d'usinage (fraisage et tournage). [20]

1.11.1. Décalage d'outil

Le décalage d'outil est une valeur numérique qui permet de compenser la différence entre la position géométrique de l'outil et la position réelle de son point d'usinage. Il est utilisé pour garantir la précision des usinages et pour éviter les collisions entre l'outil et la pièce.

Il existe deux types de décalage d'outil :

- **Décalage d'outil statique :** Ce décalage est constant et ne change pas pendant l'usinage. Il est généralement utilisé pour compenser l'usure de l'outil.
- **Décalage d'outil dynamique :** Ce décalage peut varier en fonction de la position de l'outil dans la machine. Il est utilisé pour compenser les déformations de la machine et les variations de température.

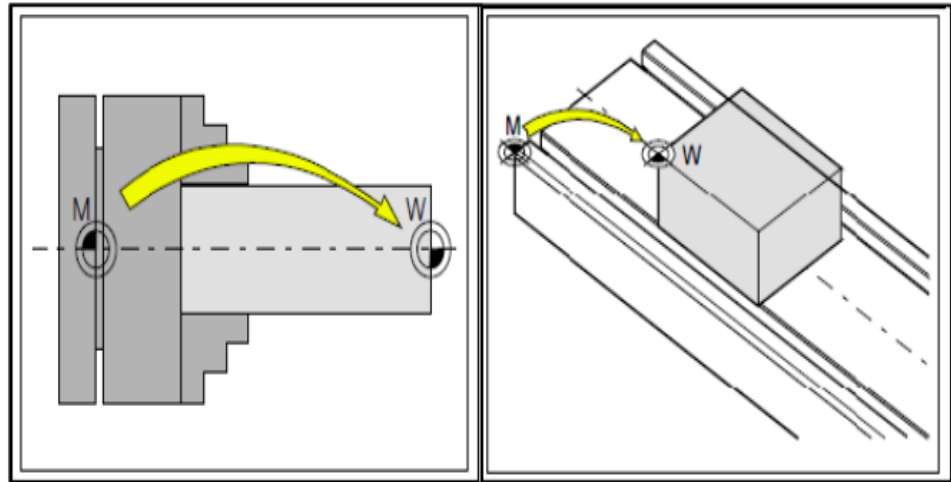


Figure 1-11.1 : Décalage d'origine de l'origine machine M à l'origine de la pièce W dans le tournage et le fraisage. [20]

Le décalage d'outil peut être défini de différentes manières :

- **Manuellement** : L'opérateur peut entrer la valeur du décalage d'outil dans le système de commande numérique (CNC) de la machine.
- **Automatiquement** : La machine peut mesurer le décalage d'outil à l'aide d'un palpeur ou d'un système de mesure laser.

1.11.2. Géométrie d'outil

La géométrie d'outil est la forme et la taille de l'outil de coupe. Elle est définie par plusieurs paramètres, tels que le diamètre, le rayon de pointe, l'angle de dépouille et l'angle d'inclinaison. [2]

Remarque

La géométrie d'outil a un impact important sur les performances de l'usinage, notamment sur :

- **La force de coupe** : La géométrie d'outil influence la force nécessaire pour couper le matériau.
- **La qualité de la surface usinée** : La géométrie d'outil peut influencer la rugosité et la précision de la surface usinée.

Chapitre 1 : Machines outil à Commande numérique (MOCN)

- **La durée de vie de l'outil** : La géométrie d'outil peut influencer la durée de vie de l'outil avant qu'il ne soit nécessaire de l'affûter ou de le remplacer.

Remarque

Il est important de choisir la géométrie d'outil appropriée en fonction du matériau à usiner, des conditions d'usinage et des exigences de qualité.

En résumé : le décalage et la géométrie d'outil sont des concepts importants dans la Programmation des MOCN. Ils permettent de définir la position et la forme de l'outil par rapport à la pièce à usiner. Il est important de définir correctement le décalage d'outil et la géométrie d'outil pour garantir la précision et l'efficacité de l'usinage.

1.12. Langage et programmation

Les MOCN sont pilotées par des programmes écrits dans des langages spécifiques. Le langage le plus répandu est le **G-code**, développé par l'EIA (Electronic Industries Association) et normalisé par l'ISO. D'autres langages existent, comme le **M-code**, le langage HEIDENHAIN et le langage FANUC et Le langage PROFORM. etc.

Il existe deux types de langages de programmation :

1.12.1. Langages conversationnels

- **G-code (EIA)** : Le langage le plus largement utilisé, développé par l'EIA (Electronic Industries Association) et normalisé par l'ISO. Il utilise des codes alphanumériques pour définir les mouvements de l'outil, les vitesses d'avance et les fonctions auxiliaires.
- **M-code (EIA)** : Complémentaire au G-code, il est utilisé pour les fonctions auxiliaires de la machine, comme la gestion des outils, le contrôle du liquide de refroidissement et les arrêts programmés.

1.12.2. Langages structurés

➤ HEIDENHAIN

Développé par la société allemande Heidenhain, ce langage utilise une syntaxe proche du langage BASIC et offre des fonctions plus avancées que le G-code. Il permet de :

- Définir des variables et des expressions mathématiques
- Créer des boucles et des sous-programmes
- Utiliser des fonctions trigonométriques et logiques

Chapitre 1 : Machines outil à Commande numérique (MOCN)

- Gérer les outils et les cycles d'usinage

➤ **SIEMENS**

Développé par la société allemande Siemens, ce langage est utilisé sur ses propres machines CNC et offre une grande flexibilité pour la programmation d'usinages complexes. Il permet de :

- Définir des structures de données et des classes
- Utiliser des pointeurs et des références
- Programmer des interruptions et des événements
- Gérer les communications avec les périphériques

➤ **Le langage NUM**

Le langage NUM prend pour base le langage ISO. Il ajoute des fonctions supplémentaires ce qui en fait un langage unique.

Les spécificités du langage sont :

- * Parenthèses pour les commentaires
- * Appel de sous programmes avec G77

➤ **Le langage MAZATROL**

Mazatrol utilise son propre langage de programmation conversationnel et intuitif. L'idée de leur langage est de réduire la complexité et la longueur du programme (il revendique 80% de Réduction de code).

1.13. Conclusion

Ont été présente dans ce chapitre une recherche bibliographique sur Les machines –outils à commande numérique (MOCN), les Caractéristiques principales, les Classifications des MOCN, le Décalage et la géométrie d'outil,

Les MOCN sont des machines puissantes et polyvalentes qui permettent de fabriquer des pièces complexes avec précision et rapidité.

CHAPITRE 2

La partie commande et la partie opérative

2.1. Introduction

Les machines-outils à commande numérique (MOCN) sont composées de deux parties principales :

- **La partie commande** : Elle est le cerveau de la machine et contrôle son fonctionnement.
- **La partie opérative** : Elle est le bras de la machine et effectue les mouvements nécessaires à l'usinage.

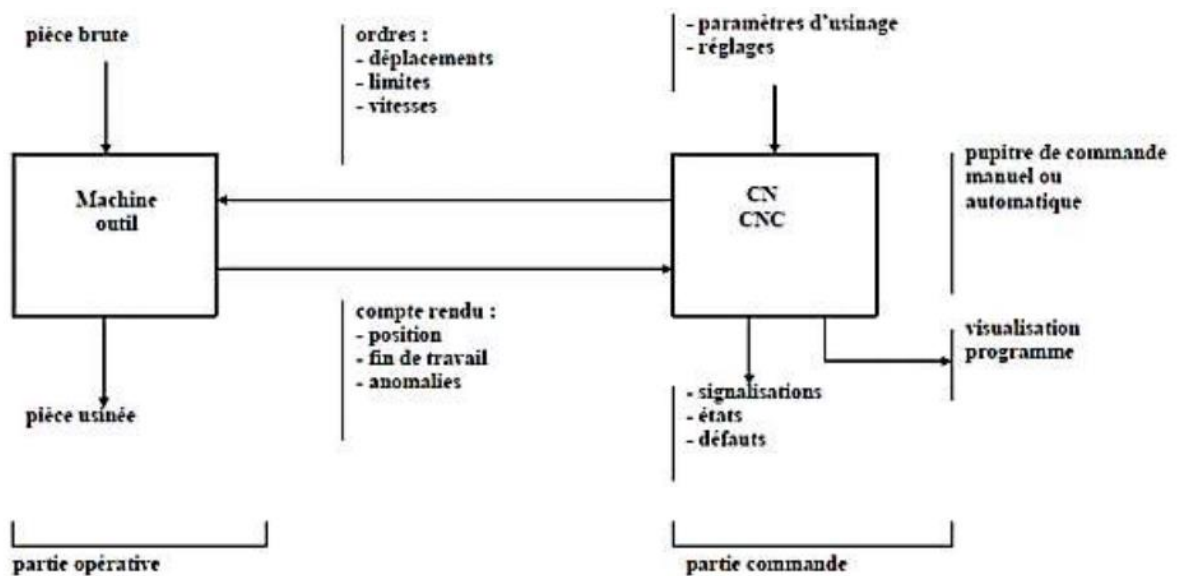


Figure 2.1 : Elément d'une machine-outil à commande numérique. [6]

2.2. La partie commande

2.2.1 Introduction

C'est la partie qui commande tous les mouvements de l'avance au niveau de la machine. Elle est composée notamment par le directeur de commande numérique (DCN) qui assure les asservissements en position et en vitesse des déplacements de mobiles.

Elle comporte aussi d'autres composants électroniques regroupés dans un boîtier.

Sa partie frontale est appelée « pupitre ». Ce dernier est constitué par des touches, des commutateurs, &, qui permettent l'introduction manuelle des données de programme.

Chapitre 2 : La partie commande et la partie opérative

Les différentes touches de fonctions similaires sont regroupées en pavés. Il y a d'autres moyens d'introductions des données des programmes ; à savoir des périphériques tels que ; le clavier, le lecteur de bande, bande, la disquette, clé USB, SD, DVD, etc. [21]

2.2.2. Le système de commande numérique (CNC)

Le système de commande numérique (CNC) est le cerveau de la machine-outil à commande numérique (MOCN). Il est composé de plusieurs éléments : [6]

- **Unité de commande centrale (UC) :** L'UC est le processeur du système CNC. Elle est responsable de l'exécution du programme d'usinage et du contrôle des autres composants du système.
- **Mémoire :** La mémoire peut être de type volatile (RAM) ou non volatile (ROM). La RAM est utilisée pour stocker les données qui changent pendant le fonctionnement du système CNC, comme le programme d'usinage en cours d'exécution et les données d'état de la machine. La ROM est utilisée pour stocker les données qui ne changent pas, comme le système d'exploitation du CNC et les paramètres de configuration.
- **Interface homme-machine (IHM) :** L'IHM permet à l'opérateur de communiquer avec le système CNC. Elle affiche des informations sur l'état de la machine et permet de saisir les données nécessaires à l'usinage.
- **Modules d'entrées/sorties (E/S) :** Les modules d'E/S permettent au système CNC de communiquer avec les différents organes de la machine. Ils reçoivent des signaux des capteurs et envoient des signaux aux moteurs et aux autres actionneurs.



REMARQUE

Le système CNC est généralement composé des éléments suivants :

- **Un pupitre de commande** Il permet le dialogue entre l'homme et la machine et la mise au point des programmes pièce à l'aide du système clavier écran. C'est aussi le moyen de moduler certains paramètres tels que la vitesse d'avance ou la vitesse de broche. Les unités de commande d'axes sont chargées de piloter les axes de la machine, en boucle fermée, sous le contrôle de l'unité centrale.

Le **Tableau 2.2.** Illustre différents pupitres des MOCN :

Tableau 2.2 : Différents pupitres des MOCN. [6]

| PUPITRE | MOCN |
|---|---------------------|
|  | <p>PC Turn 155.</p> |
|  | <p>BOXFORD.</p> |
|  | <p>DENFORD.</p> |

- Un écran qui affiche les informations relatives à l'usinage.
- Un clavier qui permet à l'opérateur de saisir les données.
- Des cartes électroniques qui gèrent les différentes fonctions de la machine.

2.2.2.1. Fonctions principales du système CNC

Chapitre 2 : La partie commande et la partie opérative

Les fonctionnalités d'un système CNC varient selon le modèle et le fabricant. Cependant, les fonctionnalités les plus courantes incluent :

- **Interpréter le programme d'usinage** : Le programme d'usinage est un ensemble d'instructions qui définit la géométrie de la pièce à usiner, les outils à utiliser et les paramètres de coupe. Le système CNC lit le programme et le traduit en instructions que la machine peut comprendre.
- **Contrôler les mouvements de la machine** : Le système CNC envoie des signaux aux servomoteurs de la machine pour contrôler sa position et sa vitesse. Cela permet à la machine de suivre avec précision le programme d'usinage.
- **Gérer les outils** : Le système CNC sélectionne l'outil approprié pour chaque opération et le positionne à la bonne place. Il peut également surveiller l'état des outils et les changer automatiquement lorsqu'ils sont usés.
- **Surveiller les paramètres de coupe** : Le système CNC surveille les paramètres de coupe tels que la vitesse de rotation de la broche et l'avance de l'outil. Il peut ajuster ces paramètres en fonction des conditions de coupe afin d'optimiser le processus d'usinage.
- **Diagnostic des pannes** : Le système CNC peut diagnostiquer les pannes et afficher des messages d'erreur.
- **Calcul des trajectoires** : Le système CNC calcule les trajectoires de l'outil en fonction du programme d'usinage.

2.2.2.2. Les différents types de systèmes CNC

Il existe deux types principaux de systèmes CNC :

- **Systèmes CNC à boucle ouverte** : Ces systèmes ne disposent pas de retour d'information sur la position des axes de la machine. Ils sont moins précis que les systèmes à boucle fermée, mais ils sont également moins chers.
- **Systèmes CNC à boucle fermée** : Ces systèmes utilisent des encodeurs pour mesurer la position des axes de la machine et renvoyer cette information à l'UC. Cela permet à l'UC de corriger les erreurs de position et d'améliorer la précision de la machine.

2.2.2.3. Avantages des systèmes CNC

- **Précision** : Les systèmes CNC permettent d'obtenir une précision accrue par rapport aux machines-outils traditionnelles.
- **Répétabilité** : Les systèmes CNC peuvent produire des pièces identiques avec une grande répétabilité.
- **Efficacité** : Les systèmes CNC peuvent réduire le temps d'usinage et augmenter la productivité.
- **Flexibilité** : Les systèmes CNC peuvent être utilisés pour usiner une grande variété de pièces.

2.2.2.4. Limites des systèmes CNC

- **Coût** : Les systèmes CNC sont généralement plus chers que les machines-outils traditionnelles.
- **Complexité** : Les systèmes CNC peuvent être complexes à programmer et à utiliser.
- **Fiabilité** : Les systèmes CNC peuvent être sensibles aux pannes.
- **Risque d'erreurs** : Les erreurs de programmation ou de configuration peuvent entraîner des pièces défectueuses.

REMARQUE

- ✓ Le système CNC reçoit des informations de l'opérateur et des capteurs de la machine. Il utilise ces informations pour calculer les trajectoires de l'outil et pour piloter les mouvements de la machine.
- ✓ Les systèmes CNC sont disponibles dans une grande variété de configurations. Le choix du système CNC dépend des besoins spécifiques de l'utilisateur.

2.3. La partie opérative

C'est la partie qui réalise les opérations d'usinage en utilisant les autres données de la partie commande. La machine est constituée des divers éléments d'une machine traditionnelle tels que les chariots, le bâti, le mandrin, le porte-outil, etc.

En plus des éléments, il inclut également les moteurs électriques pas à pas. Cependant, cette section ne dispose pas des divers leviers, verniers et commandes manuelles. [6]

2.3.1. Eléments de la MOCN dans la partie opérative

2.3.1.1. Le bâti

Le bâti assure le guidage des axes de mouvements, et l'agencement des autres organes de la machine.

Pour assurer une géométrie correcte, et encaisser les actions mécaniques dues aux accélérations élevées des mobiles, le bâti doit être rigide et limiter les déformations dues à la chaleur.

Les nouvelles machines-outils à commande numérique intègrent de nouveaux matériaux de construction (béton), et la répartition des masses est optimisée. La liaison au sol du bâti est également importante. Pour augmenter la rigidité des machines, on a recours à des liaisons hyperstatiques au sol, ce qui pose des problèmes de déformation du bâti. Par contre, les machines actuelles, plus rigides, permettent la réalisation de liaisons isostatiques sur trois points, qui limitent les déformations du bâti. Cette rigidité importante pose des problèmes de dissipation énergétique. [6]



Figure 2.3: Bâti d'un MOCN.

2.3.1.2. La broche

La broche crée le mouvement de coupe nécessaire à l'usinage. Elle assure donc la mise en rotation de la pièce ou de l'outil. Ces deux cas posent des contraintes fonctionnelles différentes cinématiquement, la broche est en liaison pivot avec le bâti ou un chariot. Dynamiquement, elle doit être très rigide, et stable thermiquement de façon à garantir la

position relative de l'outil par rapport à la pièce durant l'usinage. L'augmentation des vitesses de coupe impose une augmentation des fréquences de rotation et des couples admissibles au niveau des broches. En fraisage, on cherche actuellement à ce que le couple fréquence de rotation - puissance atteigne ($50\ 000\ \text{tr.mn}^{-1} - 50\ \text{kW}$). Industriellement, on utilise des broches atteignant ($25\ 000\ \text{tr.mn}^{-1} - 30\ \text{kW}$). A ces fréquences de rotation, les effets dynamiques sont importants et l'équilibrage des parties tournantes est vital.

Les hautes fréquences de rotation imposent des modifications technologiques. La liaison pivot est, le plus souvent assurée par des roulements à billes (85 % du marché 1996). Les roulements métalliques ont tendance à laisser la place aux roulements dits hybrides, dont les billes sont en céramique. D'autres technologies sont mises en Suivre, comme les paliers à air (8 %), les paliers hydrostatiques (5 %), et les paliers magnétiques (2 %). [6]

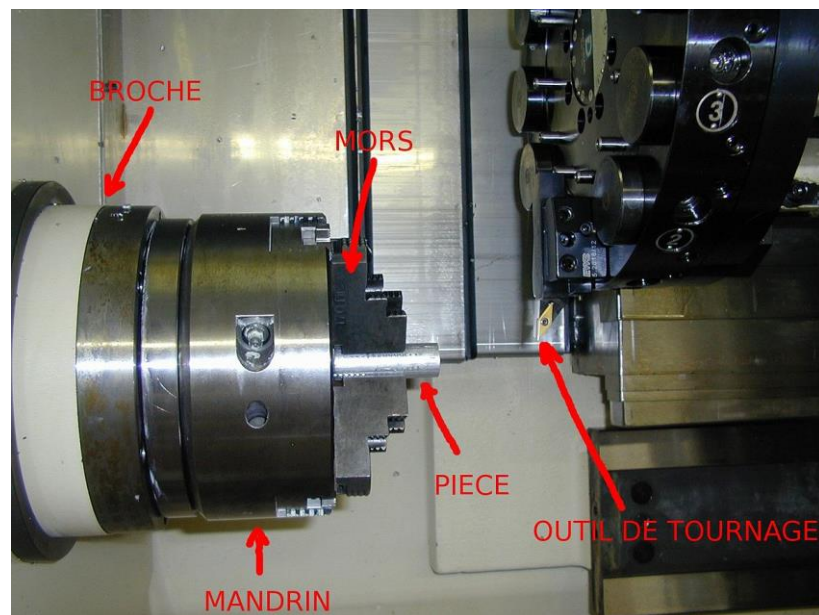


Figure 2.3.1: Broche d'un MOCN. [6]

2.3.1.3. Porte-outil

Comme son nom l'indique, le porte-outil a pour fonction de maintenir l'outil coupant dans une position qui facilite l'usinage. Que ce soit en mouvement et donc fixé sur une broche, ou en position fixe et fixé sur un chariot.

L'utilisation de plusieurs outils pendant un même cycle d'usinage est nécessaire en raison de l'universalité des MOCN. On a examiné différentes solutions pour résoudre ce problème, parmi lesquelles on peut mentionner :



- Mise à jour manuelle d'outil : conçu pour des processus à CN afin de résoudre le problème à un coût réduit.

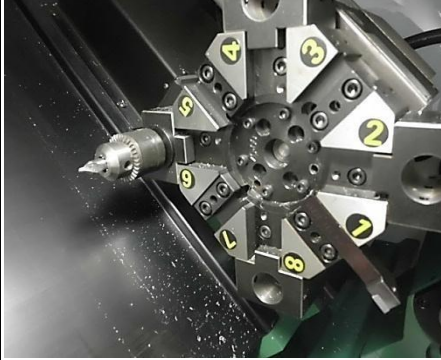
Chapitre 2 : La partie commande et la partie opérative

- Tourelle porte-outils : facilite la manipulation automatique des outils sur le lieu de travail. Le nombre d'outils sur la fraiseuse peseuse et le manque de rigidité des outils tournants restreignent cette solution.
- Changeur automatique d'outil : appareil permettant le changement automatique d'outils. [6]

Le **Tableau 2.3.1.3**. Illustre différents porte-outils des MOCN :

Tableau 2.3.1.3 : Différents porte-outils des MOCN. [6]


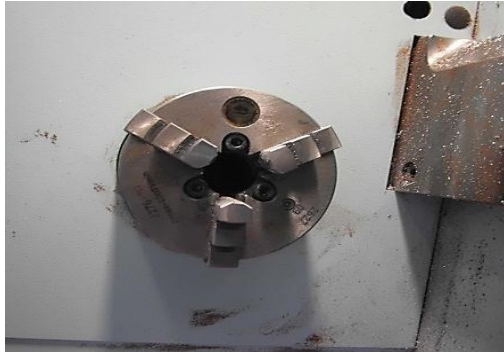
| PORTE-OUTILS | MOCN |
|---|----------------------------|
|  | <p>PC Turn 155.</p> |
|  | <p>BOXFORD.</p> |


| | |
|---|------------------------|
|  | <p>DENFORD.</p> |
|---|------------------------|

2.3.1.4. Mandrin

Le mandrin est un élément mécanique qui est attaché à la fin de l'arbre d'une machine rotative. Il permet de fixer rapidement une pièce (comme le mandrin de tour) ou un outil (comme le mandrin de tour). Les mandrins des MOCN sont présentés dans le Tableau 2.3.1.4 : [6]

Tableau 2.3.1.4: Différents mandrins des MOCN. [6]

| MANDRINS | | MOCN |
|----------|---|---|
| |  | <p>PC Turn 55 (De l'Institut Ben Smara).</p> |
| |  | <p>BOXFORD.</p> |

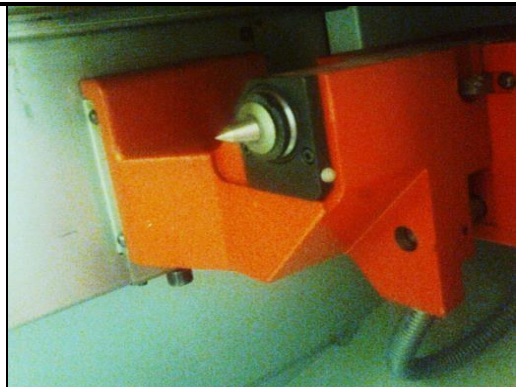

| | | |
|--|---|------------------------|
| |  | <p>DENFORD.</p> |
|--|---|------------------------|

2.3.1.5. Poupée mobile

La poupée mobile est un élément mobile qui permet de supporter la pièce à usiner entre les centres. [6]

Le **Tableau 2.3.1.5.** illustre différentes poupées mobiles des MOCN :

Tableau 2.3.1.5 : Différents poupées mobiles des MOCN. [6]

| POUPEES MOBILES | MOCN |
|---|----------------------------|
|  | <p>PC Turn 155.</p> |
|  | <p>DENFORD.</p> |

REMARQUE

La poupée mobile est située à l'extrémité opposée du banc, par rapport au mandrin. Elle sert d'appui à la pièce à usiner lorsque celle-ci est fixée au mandrin.

2.3.1.6. Motorisation

Trois principales technologies de moteurs de commande d'axes peuvent être identifiées : [6]

2.3.1.6.1. Les moteurs pas à pas

Le moteur pas à pas est un dispositif électromécanique qui permet de convertir le signal électrique (comme une impulsion ou un train d'impulsions de pilotage) en déplacement mécanique (angulaire ou linéaire). [21]



Figure 2.3.1.6. : Moteur pas à pas. [21]

Entre le moteur et son alimentation, sont intercalés trois éléments essentiels :

- Une unité de calcul, qui élabore les impulsions de commande.
- Un modulateur, qui génère les commandes des contacteurs électroniques de commutation.
- Une électronique de commutation (puissance), qui, à partir d'une alimentation, fournit l'énergie vers les enroulements appropriés du moteur.

2.3.1.6.2. Les moteurs à courant continu

Les moteurs à courant continu (CC) offrent de nombreux bénéfices, tels que leur facilité d'utilisation et de contrôle, leur puissante puissance et leurs excellentes capacités d'accélération. Toutefois, leur approche technologique est plus ancienne et comporte des désavantages, tels que l'obligation d'un entretien régulier des brosses et le risque de démagnétisation des aimants permanents en cas de dommage accidentel. [6]

REMARQUE

Les moteurs à courant continu, bien que performants, s'avèrent sensibles à l'usure et nécessitent une attention particulière.

2.3.1.6.3. Les moteurs synchrones

Les moteurs synchrones autopilotés à courant alternatif sont aujourd'hui les plus fréquemment utilisés. Aussi appelés moteurs sans balais, ils sont constitués d'un rotor à aimants permanents, d'un stator généralement triphasé et d'un moteur.

Système interne pour la conversion des phases. Les rotors se distinguent par leur grande solidité, leur excellente dissipation thermique, leurs vitesses élevées (allant de 4 000 à 10 000 tr/min), leur entretien quasiment nul, leur puissance massique élevée (moteur plus compact pour un même couple) et leur faible moment d'inertie du rotor. En raison de sa stabilité à basse vitesse, le principe de commande le plus fréquemment utilisé pour ces moteurs est de type sinusoïdal. [6]

REMARQUE

- Le bâti doit être rigide et stable pour garantir la précision de l'usinage.
- La broche est un élément essentiel de la machine qui doit être capable de supporter des vitesses de rotation élevées.
- Le porte-outil permet de changer d'outil rapidement et facilement.
- Le mandrin et la poupée mobile permettent de fixer la pièce à usiner sur la machine.
- La motorisation des axes est assurée par des moteurs électriques.

2.3.2. Fonctionnement

La partie opérative d'une MOCN fonctionne de la manière suivante :

- Le programme d'usinage est transmis à la machine.
- La machine calcule les positions et les vitesses des différents axes en fonction du programme d'usinage.
- Les moteurs envoient aux axes de la machine les mouvements nécessaires pour usiner la pièce.

Chapitre 2 : La partie commande et la partie opérative

- Les capteurs permettent de contrôler la position et la vitesse des axes de la machine.
- L'outillage permet de couper la matière de la pièce et de la façonner selon les spécifications du programme d'usinage.

2.3.3. Avantages

Les avantages de la partie opérative d'une MOCN sont les suivants :

- **Précision** : La partie opérative d'une MOCN permet d'obtenir une précision d'usinage très élevée.
- **Répétabilité** : La partie opérative d'une MOCN garantit une répétabilité des pièces usinées.
- **Gain de temps** : La partie opérative d'une MOCN permet d'automatiser l'usinage, ce qui permet de gagner du temps.
- **Meilleure qualité des pièces** : La partie opérative d'une MOCN permet d'obtenir des pièces usinées de meilleure qualité.
- **Réduction des coûts** : La partie opérative d'une MOCN peut réduire les coûts de production en augmentant la productivité et en réduisant les rebuts.

2.3.4. Limites

Les limites de la partie opérative d'une MOCN sont les suivantes :

- **Coût élevé** : Les machines-outils à commande numérique sont généralement plus chères que les machines-outils traditionnelles.
- **Complexité** : Les machines-outils à commande numérique peuvent être complexes à programmer et à utiliser.
- **Nécessité d'une formation** : Les opérateurs de machines-outils à commande numérique doivent être formés à l'utilisation de la machine.

2.4. L'armoire électrique de relayage ou de puissance

En analysant et en utilisant les données fournies d'une part par le programme, et d'autre part par les capteurs de mesure.

Elle se compose :

- D'un automate programmable gérant toutes les entrées 3 sorties.
- D'un relais.

Chapitre 2 : La partie commande et la partie opérative

- D'électrovannes.
- De cartes variateurs d'axes (une par axe).
- De contacteurs (1 par élément de machine : axes, broche).
- D'un interrupteur général avec sécurité.

2.5. Fonctionnement des MOCN

Le fonctionnement des MOCN est basé sur l'interaction entre la partie commande et la partie opérative. [14]

- L'opérateur programme la machine à l'aide de l'IHM. Le programme d'usinage contient les instructions nécessaires à la réalisation de l'usinage, telles que les positions de l'outil, les vitesses de déplacement et les outils à utiliser.
- Le système CNC lit le programme d'usinage et le décompose en instructions élémentaires.
- Le système CNC envoie les instructions élémentaires aux actionneurs qui commandent les mouvements de la machine.
- Les capteurs collectent des informations sur l'état de la machine et les envoient au système CNC.
- Le système CNC compare les informations reçues des capteurs aux instructions du programme d'usinage.
- Lorsque des disparités sont repérées, le système CNC procède aux ajustements requis afin de s'assurer du respect des instructions et de la précision de l'usinage.

2.6. Capteurs

2.6.1. Définition

Un capteur est un organe de prélèvement d'information qui élabore à partir d'une grandeur physique, une autre grandeur physique de nature différente (très souvent électrique). Cette grandeur représentative de la grandeur prélevée est utilisable à des fins de mesure ou de commande. [7]

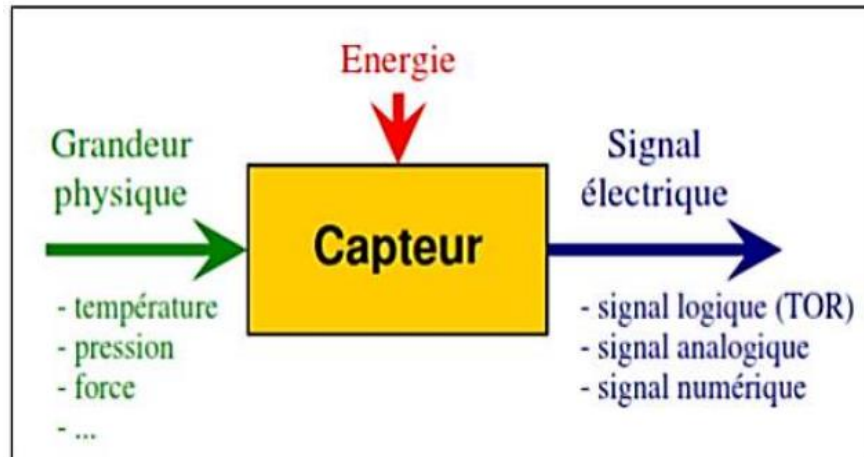


Figure 2.6.1: fonctionnement d'un capteur. [7]

2.6.2. L'utilisation des capteurs

Les capteurs sont utilisés dans les MOCN pour :

- **Mesurer la position et la vitesse des axes de la machine** : Cette information est utilisée par la partie commande pour contrôler les mouvements de la machine.
- **Mesurer la force et le couple appliqués à l'outil** : Cette information est utilisée par la partie commande pour surveiller l'état de la machine et pour optimiser le processus d'usinage.
- **Contrôler la température de la broche et de l'outil** : Cette information est utilisée par la partie commande pour protéger la machine et l'outil contre les surchauffes.
- **Détecter les défauts de la pièce** : Cette information est utilisée par la partie commande pour arrêter la machine et pour prévenir l'opérateur.

2.6.3. Types des capteurs

2.6.3.1. Capteurs analogiques

Quand la variation magnétique, électrique ou autre est provoquée par le déplacement, elle est convertie en signal de sortie (capteurs inductifs, résolveurs). [6]

2.6.3.2. Capteurs digitaux (ou numériques) [5]

Qui comportent eux-mêmes deux catégories dont l'incidence pour l'utilisateur est importante :

- Capteurs absolus.
- Capteurs incrémentaux.

2.6.4. Différents systèmes de mesure

La mesure réalisée est directe ou indirecte suivant l'implantation du capteur sur la machine.

2.6.4.1. Mesure directe

Les coordonnées d'un point sont fournies en fonction d'une source fixe, sans mention de sa position antérieure. Les capteurs analogiques offrent cette possibilité de mesurer. [8]

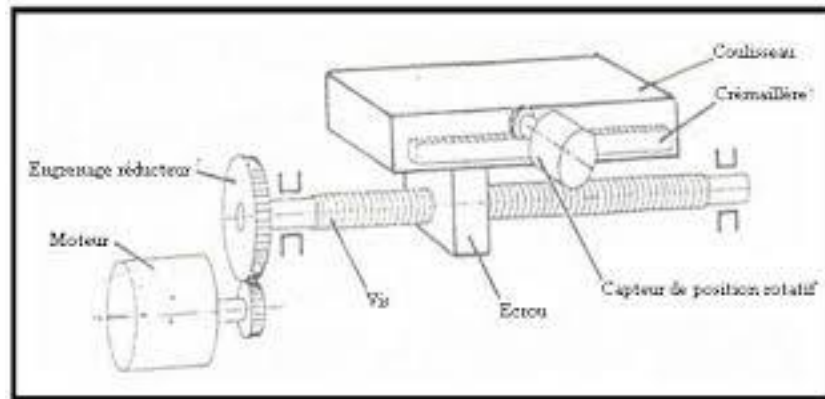


Figure 2.6.4.1 : Capteur rotatif sur le mobile. [7]

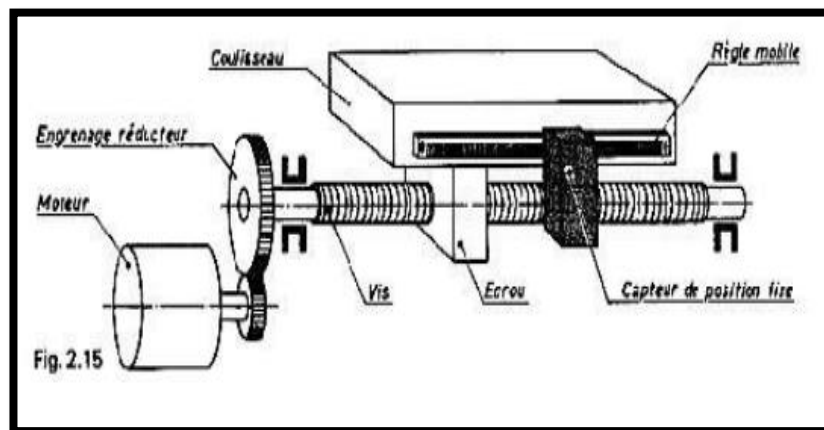


Figure 2.6.4.2 : Système d'axe avec l'utilisation d'un codeur linéaire (règle de positionnement). [7]

2.6.4.2. Mesure indirecte

Les coordonnées d'un point sont données par rapport à la position précédente.

C'est l'agrandissement du déplacement qui est, en fait, mesuré. [8]

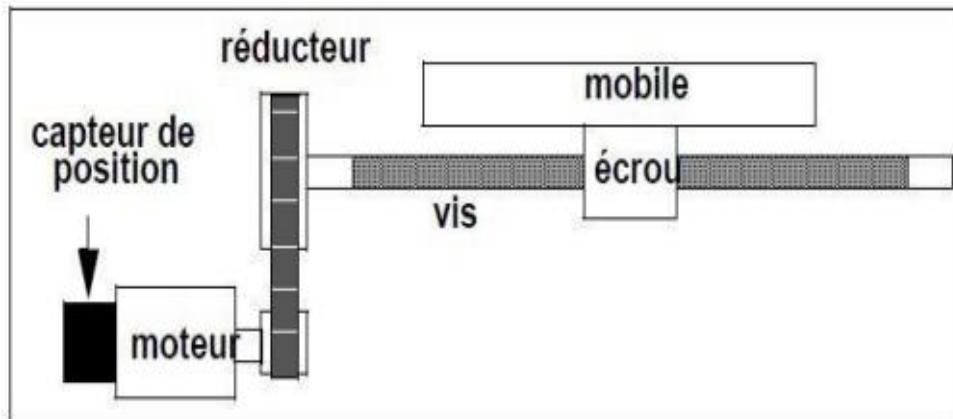


Figure 2.6.4.3 : Capteur rotatif fixé sur le moteur. [7]

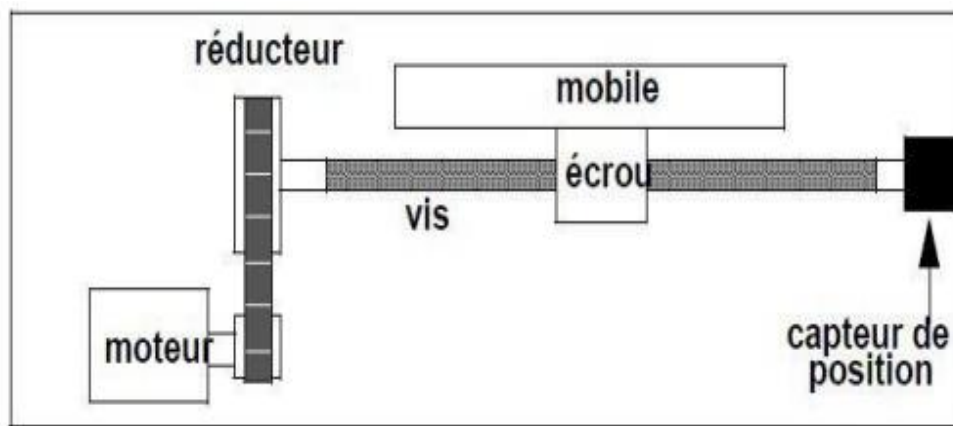


Figure 2.6.4.4 : Capteur rotatif sur l'extrémité libre de la vis. [7]

REMARQUE

La précision des capteurs est essentielle pour garantir la précision de l'usinage. Des capteurs défectueux peuvent entraîner des erreurs de positionnement, des vibrations excessives et une usure prématurée de l'outil.

2.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons détaillé sur les éléments les composants de la machine-outil à commande numérique, qui sont divisés en deux parties :

- Partie commande : qui effectue les opérations de calcul et transmet les ordres à la partie opérative
- Partie opérative : qui effectue les actions physiques est généralement composée d'actionneurs etc., et des capteurs ce qui est d'une grande importance dans le contrôle de la vitesse et le déplacement.

Chapitre 2 : La partie commande et la partie opérative

La partie commande et la partie opérative sont deux éléments essentiels d'une MOCN. Elles travaillent ensemble pour permettre à la machine de réaliser des usinages précis.

CHAPITRE 3

Programmation

3.1. Introduction

La programmation des machines-outils à commande numérique (MOCN) est un élément crucial pour leur utilisation efficace. Elle permet de définir les instructions que la machine doit suivre pour réaliser la pièce souhaitée.

Les langages les plus utilisés sont :

- Heidenhein
- ISO
- FANUC
- NUM
- FAGOR
- SINUMERIK

3.2. Types des programmes

Il existe deux types principaux de programmes :

- **Programmes conversationnels** : permettent à l'opérateur de saisir les instructions de manière progressive en utilisant l'interface homme-machine (IHM). On peut utiliser cette méthode pour effectuer des usinages simples ou pour acquérir les connaissances de programmation.



Figure 3.2 : Programme conversationnel MOCN.

- **Programmes par blocs** : l'ensemble des instructions est écrit dans un fichier texte et ensuite transmis à la machine. Cette méthode est plus efficace pour les usinages complexes et répétitifs. [9]

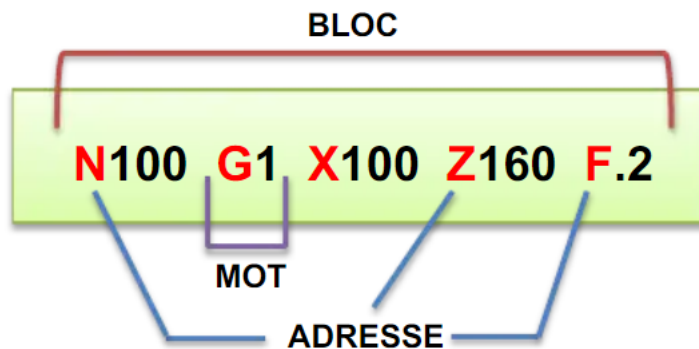


Figure 3.2.1 : Programme par blocs MOCN. [9]

REMARQUE

En plus des deux types principaux, il existe d'autres types de programmes moins courants, tels que :

- **Programmes paramétriques** : Définissent la géométrie de la pièce à l'aide de paramètres variables, permettant de générer des programmes pour des pièces similaires avec des variations de taille ou de forme.
- **Programmes génériques** : Sont des programmes préétablis pour des opérations d'usinage courantes (perçage, fraisage, etc.), pouvant être adaptés à des pièces spécifiques en modifiant certains paramètres.

3.2.1. Choix du type de programmation

La programmation est le travail de préparation qui consiste à transposer, sous forme de texte alphanumérique, la gamme d'usinage de la pièce en un ensemble ordonné d'instructions comprises et exécutées par la CN en vue de réaliser son usinage. Ce travail peut être effectué manuellement ou avec l'assistance d'un ordinateur utilisant un langage de programmation évolué. De plus, certaines surfaces complexes sont extrêmement difficiles, voire impossibles à

Chapitre 3 : Programmation

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 (**Figure 3.2.2**).

Quel que soit le langage de programmation utilisé pour le développement des programmes pièces, le seul langage compréhensible par la machine est le langage ISO.

Le passage d'un langage de haut niveau au langage ISO est possible en utilisant un logiciel de traduction. [5]

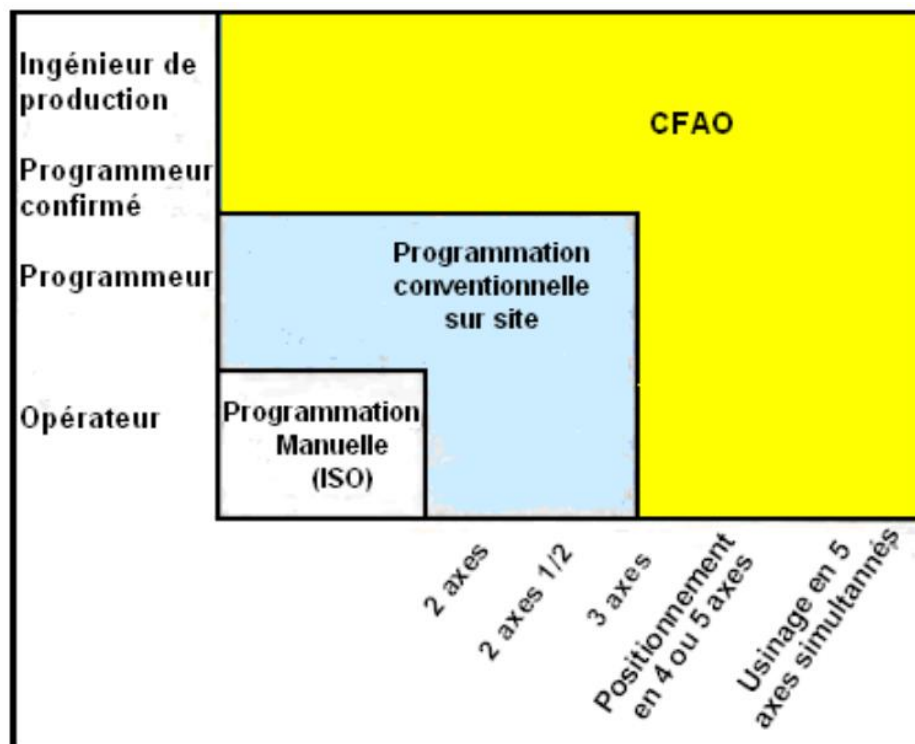


Figure 3.2.2 : Types de programmation. [11]

3.3. Structure d'un programme

Le programme est constitué par une suite d'action totalement définies et réparties sur des lignes. Chaque ligne constitue une séquence qui contient un bloc d'informations. Ces dernières sont des fonctions, des conditions de coupe, des codes d'outil, des coordonnées, etc.

Un programme d'usinage donc comprend :

- Bloc
- Mots
- Adresses
- Code

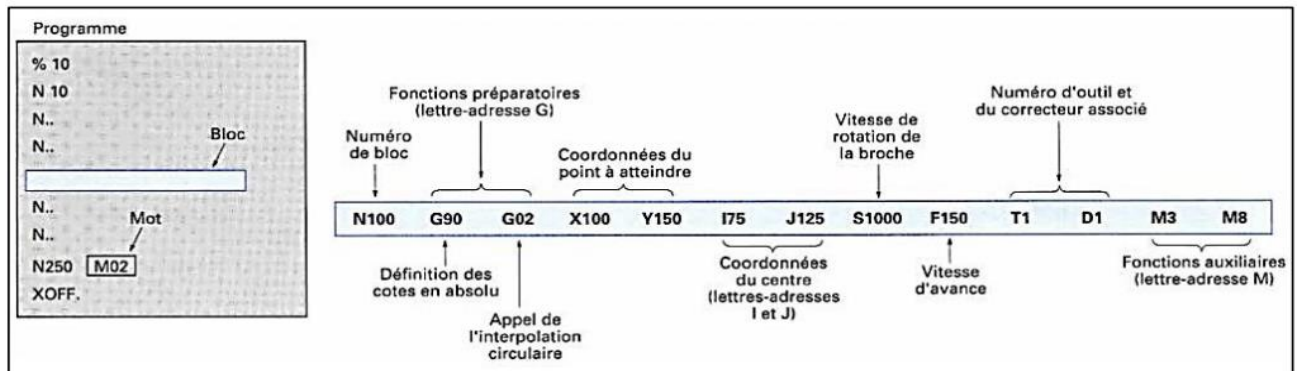


Figure 3.3 : Structure d'un bloc de programme d'usinage. [11]

3.3.1. Bloc

Groupe de mots correspondant aux instructions relatives à une séquence d'usinage. La numérotation des blocs s'effectue de 5 en 5 ou de 10 en 10 pour permettre une insertion éventuelle de blocs. [10]

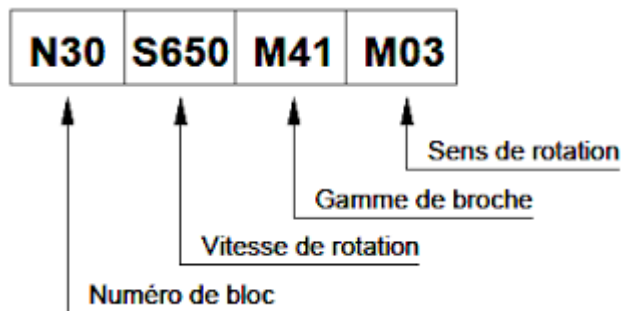


Figure 3.3.1 : Ecriture d'un bloc définissant la mise en rotation de broche. [10]

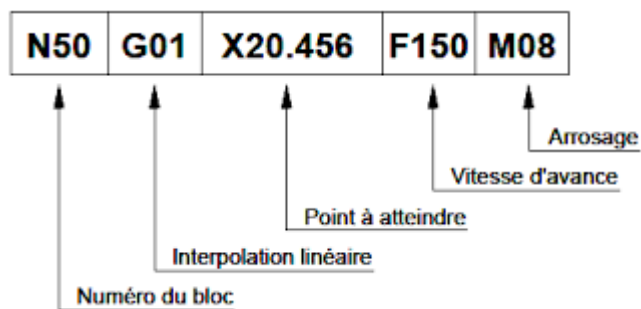


Figure 3.3.2 : Ecriture d'un bloc définissant une trajectoire. [13]

3.3.2. Mots

Un mot de langage CN constitué d'une lettre appelée adresse et d'un certain nombre de chiffres (de 0 à 9) avec éventuellement un signe (+) ou (-) ainsi qu'un point décimal.

Chapitre 3 : Programmation

Le format de chaque mot est l'une des caractéristiques des directeurs de commande. Il faut donc consulter le manuel pour respecter le format autorisé. [13]

Types de mots :

- Mots définissant des dimensions.
- Mots définissant des fonctions.

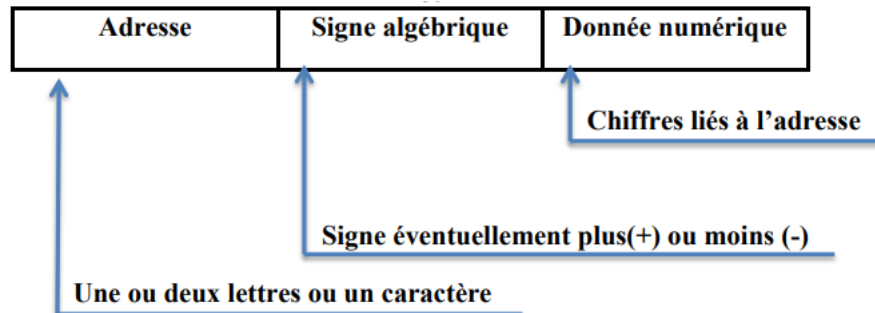


Figure 3.3.2.1 : MOT. [13]

Particularités du format des mots de dimensions

Les unités internes du système sont définies en général pour : [13]

- Les axes linéaires : l'unité de base étant le mm avec 3 chiffres pouvant être placés après le point décimal → Format 053
- Les axes rotatifs : l'unité de base étant le degré avec 3 chiffres pouvant être placés après le point décimal → Format 033

REMARQUE

Le format de mot définit les caractéristiques particulières de chaque mot codé employé en programmation.

3.3.3. Adresses

Le tableau ci-dessous regroupe les adresses des M.O.C.N utilisées :

Tableau 3.3.3 : les adresses des M.O.C.N. [19]

| Adresses | Désignations |
|----------|---|
| % | Numéro de programme principale 1 à 9999 |
| L | Numéro de sous-programme 1 à 9999 |

| | |
|---------|---|
| N | Numéro de séquence 1 à 9999 |
| G | Fonction déplacement |
| M | Fonction de commutation, fonction supplémentaire |
| A | Angle |
| D | Correction d'outil 1 à 49 |
| F | Avance, Temporisation |
| I, J, K | Paramètre de cercle, pas de filetage |
| P | Nombre de perçage pour sous-programme, facteur d'échelle |
| R | Paramètre de reprise pour cycle |
| S | Vitesse de broche |
| T | Appel d'outil (position de changeur d'outil) |
| U | Rayon de cercle, rayon (signe positif), chanfrein (Signe négatif) |
| X, Y, Z | Données de position (X aussi temporisation) |
| LF | Fin de séquence |

3.3.4. Code

Le **Tableau 3.3.4.** Présents codes utilisables dans les normes ISO et EIA :

Tableau 3.3.4 : Codes utilisables. [6]

| Signification | ISO | EIA |
|-----------------------|----------|----------|
| 10 chiffres | De 0 à 9 | De 0 à 9 |
| Lettres de l'alphabet | A à Z | A à ZTY |
| Début de programme | % | EOR |
| Début de commentaire | (| , |
| Fin de commentaire |) | % |
| Signe + | + | + |
| Signe - | - | - |
| Point décimal | . | . |
| Supérieur | > | |
| Inférieur | < | |

| | | |
|--------------------------|-------|----------|
| Multiplié | * | |
| Egal | = | |
| Division | / | |
| A Commercial | @ | |
| Fin de bloc | LF | CR |
| Saut de bloc | / | / |
| Subdivision de programme | : | Lettre O |
| Fin de bande | X OFF | BS |

3.4. Fonctions de programmation

Les langages de programmation pour les MOCN utilisent deux types principaux de fonctions :

3.4.1. Fonctions préparatoires (G)

Les différentes fonctions déterminent les déplacements de la machine, tels que les déplacements linéaires, circulaires et les modifications d'orientation.

Tableau 3.4.1 : Fonctions préparatoires (G). [5]

| CODE | REVOCACTION | DESIGNATION |
|------|-----------------------|---|
| G00 | G01 – G02 – G03 - G33 | Interpolation linéaire en rapide |
| G01* | G00 – G02 – G03 - G33 | Interpolation linéaire à la vitesse programmée |
| G02 | G00 – G01 – G03 - G33 | Interpolation circulaire à la vitesse tangentielle programmée, sens horaire |
| G03 | G00 – G01 – G02 - G33 | Identique à G02 mais en sens anti-horaire |
| G04 | Fin de bloc | Temporisation programmable avec l'adresse F |
| G09 | Fin de bloc | Arrêt précis en fin de bloc avant enchaînement sur le bloc suivant |
| G10 | Fin de bloc | Arrêt d'usinage sur acquisition du signal "Butée fin de bloc" ou sur détection d'un seuil mesuré, et saut à un autre bloc ou enchaînement sur le bloc suivant |
| G12 | Fin de bloc | Survitesse par manivelle |
| G16* | Fin de bloc | Définition de l'axe de l'outil à l'aide des adresses PR |
| G20* | G21 | Programmation en X et Z |
| G21 | G20 | Programmation cartésienne sur le couple d'axes rotatif (C) et rectiligne (X) |
| G33 | G00 – G01- G02 – G03 | Filetage à pas constant |
| G38 | G00 – G01- G02 – G03 | Filetage enchaîné sur cône |
| G40 | G41 – G42 | Annulation de la correction d'outil suivant le rayon |
| G41 | G40 – G42 | Correction de rayon d'outil à gauche du profil |
| G42 | G40 – G41 | Correction de rayon d'outil à droite du profil |

Chapitre 3 : Programmation

| | | |
|---|------------------------------|--|
| G52 | Fin de bloc | Programmation absolue des cotes par rapport à l'origine mesure |
| G53 | G54 | Suspension du zéro programme par rapport au zéro machine |
| G54* | G53 | Validation du zéro programme par rapport au zéro machine |
| G59 | Fin de bloc | Décalage d'origine programmé. S'ajoute au décalage validé par G54 |
| G64 | G80 | Cycle d'ébauche paraxial |
| G65 | Fin de bloc | Cycle d'ébauche de gorge |
| G66 | Fin de bloc | Cycle de défonçage |
| G70 | G71 | Entrée des données en pouce |
| G71* | G70 | Entrée des données en métrique |
| G75 | Fin de bloc | Validation d'un sous-programme de dégagement d'urgence |
| G76 | Fin de bloc | Transfert des valeurs courantes des paramètres dans le programme pièce |
| G77 | Fin de bloc | Appel inconditionnel d'un sous-programme ou d'une suite de séquences avec retour |
| G79 | Fin de bloc | Saut conditionnel ou inconditionnel à une séquence sans retour |
| G80* | G64 – G83 - G87 | Annulation de cycle d'usinage |
| G83 | G80 – G64 - G65 - G66 G87 | Cycle de déburrage |
| G87 | G80 – G64 - G65 - G66 G83 | Cycle de brise-copeaux |
| G90* | G91 | Programmation absolue par rapport à l'origine programme |
| G91 | G90 | Programmation relative par rapport au point de départ du bloc |
| G92 | M02 | Limitation de la vitesse de broche |
| G92 X (Z) | Fin de bloc | Présélection de l'origine programme |
| G94* | G93 – G95 | Vitesse d'avance exprimée en mm/mn |
| G95 | G93 – G94 | Vitesse d'avance exprimée en mm/tr |
| G96 | G97 | Vitesse de coupe constante |
| G97* | G96 | Vitesse de broche en tr/mn (choix automatique de gamme) |
| G98 | | Définition du rayon ou du diamètre de départ lors de l'usage d'un plateau interpolé avec X et Z ou seul pour le calcul de la vitesse de rotation |
| * Fonctions initialisées à la mise sous-tension ou à la suite d'une remise à 0. | | |

REMARQUE :

- Une avance de chariot programmée F se trouve inhibée pendant G00

Chapitre 3 : Programmation

- La vitesse d'avance rapide est définie par le fabricant de la machine
- Le commutateur de correction de l'avance est opérant.

3.4.1.1. Classification des fonctions préparatoires G

Les fonctions préparatoires G (aussi appelées codes G) sont classées en plusieurs catégories selon leur fonction :

- **Modales**
- **Non modales**
- **Incompatible**
- **Avec argument associé**

Le **Tableau 3.4.1.1.** Présente classification des fonctions préparatoires G :

Tableau 3.4.1.1 : Classification des fonctions préparatoires G. [19]

| Types | Définition | Exemple | Commentaires |
|---------------------|---|--|--|
| Modales | Une fonction G modale appartient à une famille de fonction G qui se révoque mutuellement | N40 G00 X... Z... N50 G01 Z... | Interpolation linéaire a vitesse rapide. Interpolation linéaire a vitesse d'usinage qui révoque G00. |
| Non modales | Une fonction G non modal est uniquement valide dans le bloc où elle est programmée. | N70 G09 X... | Arrêt précis en fin de bloc à X=300 révocations en fin de bloc. |
| Incompatible | Une fonction G est incompatible si sa programmation avec une autre n'est pas autorisée selon l'état du programme en cours | N120 G18 G41 Z... N120 G41 G18 Z... | Choix du plan ZX (G18) puis correction du rayon (G41). Correction du rayon (G41) interdite avant choix du |

| | | | |
|------------------------------|--|---|--|
| Avec argument associé | <p>Une fonction G avec arguments associés est suivie d'un ou plusieurs mots spécifiques qui suivent la fonction.</p> <p>Arguments obligatoires :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La fonction G annonce uniquement des arguments. - La fonction G révoque un état modal et caractérise un argument différemment. | <p>N140 G16 P+</p> <p>N160 G94 F100 N...</p> <p>N190 G95 F0.5</p> | <p>Orientation de l'outil (G16) suivant l'axe X+ (P+)</p> <p>Vitesse d'avance définie en mm.min⁻¹</p> <p>Vitesse d'avance redéfinie en mm.tr⁻¹</p> |
| | <p>Argument facultatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les arguments sont facultatifs si la fonction G permet de les déterminer par défaut. | <p>N210 G96 [X45]</p> <p>S140</p> | <p>Si la position de X=45 est déterminée dans un bloc précédent, elle n'a pas besoin d'être répétée</p> |
| | | | |

3.4.2. Fonctions auxiliaires (M)

Ces fonctions contrôlent les fonctions auxiliaires de la machine, comme la broche, le liquide de refroidissement et l'ouverture/fermeture des portes.

Le **Tableau 3.4.2.** Présente les fonctions auxiliaires M :

Tableau 3.4.2 : Fonctions auxiliaires (M). [14]

| CODE | FONCT. AVANT | FONCT. APRES | REVOCACTION | DESIGNATION |
|---------|----------------|--------------|----------------|---|
| M00 | | X | Action sur DCY | Arrêt programmé |
| M01 | | X | Action sur DCY | Arrêt optionnel |
| M02 | | X | % ou EOR | Fin de programme pièce |
| M03 | X | | M4-M5-M0-M19 | Rotation de broche sens horaire |
| M04 | X | | M3-M5-M0-M19 | Rotation de broche sens anti-horaire |
| M05* | | X | M3-M4 | Arrêt de broche |
| M06 | | X | Compte-rendu | Changement d'outil |
| M07 | X | | M9-M2 | Arrosage n°2 |
| M08 | X | | M9-M2 | Arrosage n°1 |
| M09* | | X | M7-M8 | Arrêt des arrosages |
| M10 | | X | M11 | Blocage d'axe |
| M11 | X | | M10 | Déblocage d'axe |
| M19 | | X | M3-M4-M5 | Indexation broche |
| M24 | Fonction Codée | | | Fermeture porte |
| M25 | Fonction Codée | | | Ouverture porte |
| M40-M45 | X | | | 6 gammes de broche |
| M48* | | X | M49 | Validation des potentiomètres de broche et d'avance |
| M49 | X | | M48 | Inhibition des potentiomètres de broche et d'avance |
| M64* | X | | M65 | Commande broche 1 |
| M65 | X | | M64-M2 | Commande broche 2 |
| M66* | X | | M67 | Utilisation mesure broche 1 |
| M67 | X | | M66-M2 | Utilisation mesure broche 2 |

* Fonctions initialisées à la mise sous tension ou à la suite d'une remise à 0.

3.4.2.1 la classification des fonctions auxiliaires M

Les fonctions auxiliaires M (aussi appelées codes M) sont classées en plusieurs catégories selon leur fonction :

Chapitre 3 : Programmation

- **Modales**
- **Non modales**
- **Avant**
- **Après**
- **Codées**
- **Décodées**

Le **Tableau 3.4.2.1**. Illustre la classification des fonctions auxiliaires M.

Tableau 3.4.2.1 : Classification des fonctions auxiliaires M. [19]

| Types | Définition | Exemple | Commentaires |
|--------------------|--|----------------------------------|---|
| Modales | Une fonction M modale appartient a une famille de fonction M qui se révoque mutuellement | N40 S1000 M03 N... N80 M05 | Mise en rotation de la broche (M03) à 1000tr.min ⁻¹ (s1000) Arrêt de la broche. |
| Non modales | Une fonction M non modal est uniquement valide dans le bloc où elle est programmée. | N70 M00 | Arrêt programmé. |
| Avant | Une fonction M « avant » est exécutée avant les déplacements programmés dans le bloc. | N120 X50 Y40 M08 | La mise en route de l'arrosage (M08) est exécutée avant les déplacements en X et en Y. |
| Après | Une fonction M « après » est exécutée après les déplacements programmés dans le bloc. | N150 X70 Y20 M09 | L'arrêt de l'arrosage M09 est exécutée après les déplacements en X et en Y. |

| | | | |
|-----------------|--|--|--|
| Codées | Une fonction M codée est définie par le constructeur. De M100 à M199 : fonctions après non modale. De M200 à M899 : fonctions avant modales. | | |
| Décodées | Une fonction M décodée est une fonction de base dont la signification est établie. Ces fonctions sont acquittées ; cet acquittement permet la poursuite du programme. | | |

3.5. Optimisation des programmes

Un bon programme de MOCN ne se limite pas simplement à la fonctionnalité de base. L'optimisation permet d'améliorer l'efficacité de l'usinage et de réduire les temps de production.

3.5.1. Techniques courantes d'optimisation des programmes MOCN

Voici quelques techniques courantes d'optimisation des programmes MOCN : [12]

- **Minimisation des déplacements à vide** : Le programme doit optimiser l'ordre des opérations pour minimiser les déplacements de l'outil sans usinage (déplacements à vide) entre les différentes zones de la pièce.
- **Sélection des vitesses et des avances optimales** : Choisir les vitesses d'avance et de coupe appropriées permet d'équilibrer trois facteurs clés : la durée de vie de l'outil, la

Chapitre 3 : Programmation

qualité de surface de la pièce et le temps d'usinage. Des vitesses d'avance plus élevées peuvent réduire le temps d'usinage, mais elles peuvent également raccourcir la durée de vie de l'outil et nuire à la qualité de la surface. En sélectionnant judicieusement ces vitesses, on peut atteindre un équilibre optimal pour une production efficace et de qualité.

- **Compensation de rayon d'outil (COR) :** Pendant l'usinage, il est important de prendre en considération le rayon de l'outil utilisé. La technique de programmation appelée compensation de rayon d'outil (COR) permet d'ajuster automatiquement le parcours d'un outil en fonction du rayon de l'outil. Cela assure que les mesures finales de la pièce usinée sont exactement conformes au programme, ce qui évite les erreurs de dimensionnement.
- **Simulation et vérification d'outil (FAO) :** Les logiciels de FAO offrent une fonctionnalité précieuse pour l'optimisation des programmes. La simulation virtuelle du parcours d'outil permet de visualiser le comportement de la machine et de l'outil avant l'usinage réel. Cela aide à identifier les points de collision potentiels entre l'outil et la pièce ou les fixations, évitant ainsi les accidents et les rebuts de pièces. De plus, la simulation permet de vérifier la qualité du parcours d'outil et d'apporter des ajustements si nécessaire pour optimiser l'efficacité de l'usinage.

3.5.2. Sécurité et bonnes pratiques

La programmation MOCN comprend des aspects de sécurité importants : [12]

- **Commentaires et documentation :** Ajouter des commentaires clairs et explicatifs dans le programme est essentiel pour plusieurs raisons. Tout d'abord, cela améliore la compréhension du programme par d'autres programmeurs ou opérateurs qui pourraient être amenés à le modifier ou à le réutiliser ultérieurement. Des commentaires bien rédigés permettent également de documenter la logique du programme et les choix faits par le programmeur initial. Cela facilite la maintenance et la mise à jour du programme au fil du temps.
- **Gestion des outils :** La gestion minutieuse des outils est primordiale pour la sécurité et la qualité de l'usinage. Vérifier la compatibilité des outils avec la machine et la pièce à usiner est crucial. S'assurer du bon serrage et du bon état des outils avant

l'usinage est essentiel pour éviter les ruptures d'outils et les dommages potentiels à la machine ou à la pièce.

- **Programmes de test :** Avant d'entamer la fabrication de la pièce finale, il est recommandé d'utiliser des programmes de test basiques. Il est possible de réaliser ces programmes en fabriquant une pièce d'essai en matériau similaire ou en effectuant un parcours d'outil vide (sans copeaux) afin de vérifier le bon fonctionnement du programme et de garantir qu'il ne provoque pas de collisions inattendues. Avant de procéder à l'usinage de la pièce finale, cette étape de test permet de repérer et de rectifier les éventuelles erreurs dans le programme, ce qui permet d'économiser du temps, du matériel et d'éviter des erreurs coûteuses.
- **Respect des consignes de sécurité :** Le respect des consignes de sécurité de la machine est primordial pour assurer la sécurité de l'opérateur et des personnes évoluant à proximité de la machine. Ces consignes incluent notamment le port des équipements de protection individuelle (EPI) appropriés, tels que des lunettes de sécurité, des gants et un casque anti-bruit. Il est également important de ne jamais laisser la machine fonctionner sans surveillance et de respecter les distances de sécurité indiquées par le fabricant.

3.6. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons détaillé sur les concepts de base de la programmation MOCN : Types de programmes, structure, fonctions et optimisation.

Maîtriser la programmation des MOCN permet de réaliser des pièces complexes avec précision et efficacité, d'améliorer la productivité et la rentabilité, et de gagner en flexibilité et en créativité.

CHAPITRE 4

**La méthodologie exécutive de programme
d'usinage dans les machines outil à
commande numérique**

4.1. Introduction

Ce chapitre présente la méthodologie exécutive de programme d'usinage dans les machines-outils à commande numérique (MOCN). Il s'agit d'un ensemble d'étapes et de techniques permettant de transformer une pièce brute en une pièce finie conforme aux exigences dimensionnelles, géométriques et de qualité de surface, en menant une étude appliquée à l'Institut Ben Smara situé dans l'état de Ghardaïa.

4.2. Etude théorique et pratique

Pour connaître la méthodologie exécutive de programme d'usinage dans les machines outil à commande numérique, un exercice de simulation a été réalisé avec les étapes suivantes.

4.2.1. pièce à usiner

La Pièce d'essai est en Matière métallique et ses dimensions sont indiquées dans la **Figure 4.2.1.**

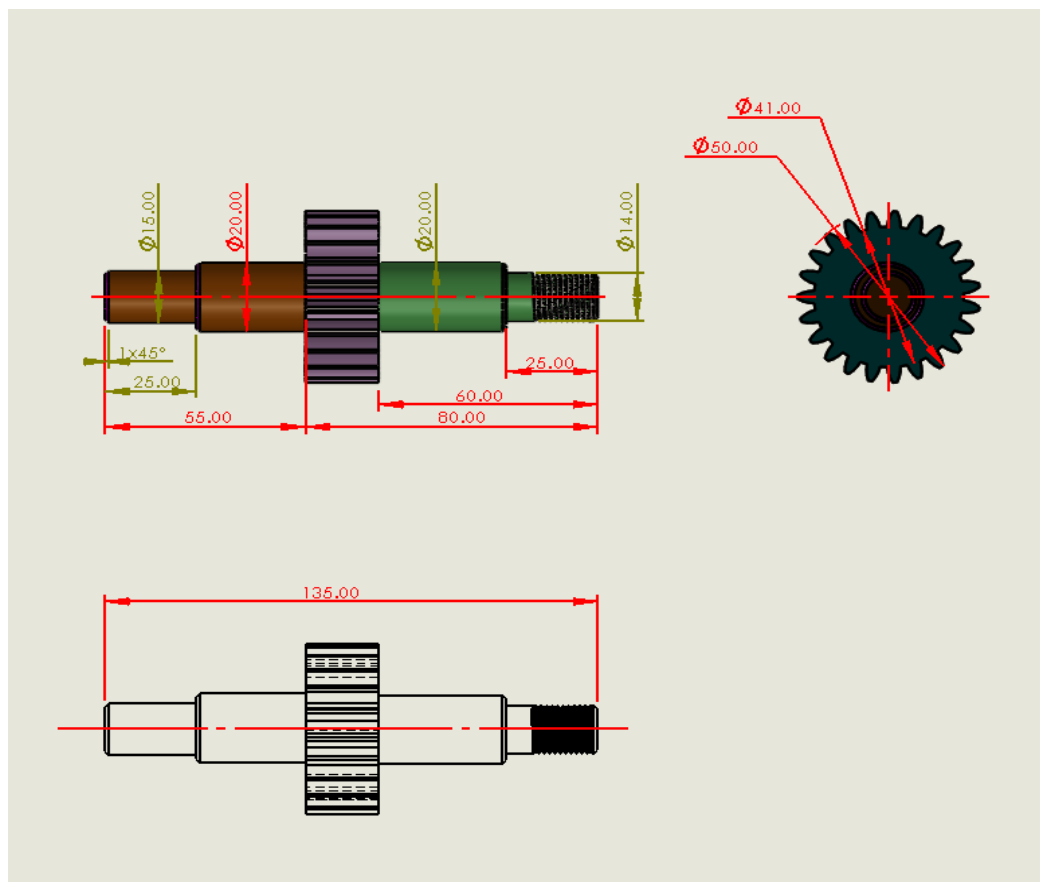


Figure 4.2.1 : Dessin de Définition de la pièce a usiner avec programme SolidWorks.

Chapitre 4 : La méthodologie exécutive de programme d'usinage dans les machines outil à commande numérique

4.2.2. Programme SolidWorks

SolidWorks est un programme de conception assistée par ordinateur (CAO) 3D utilisé pour créer des modèles réalistes de pièces et composants mécaniques. Il s'agit de l'un des programmes de conception 3D les plus populaires au monde et il est utilisé par plus de deux millions d'ingénieurs et de concepteurs dans plus de 165 000 entreprises à travers le monde. [22]

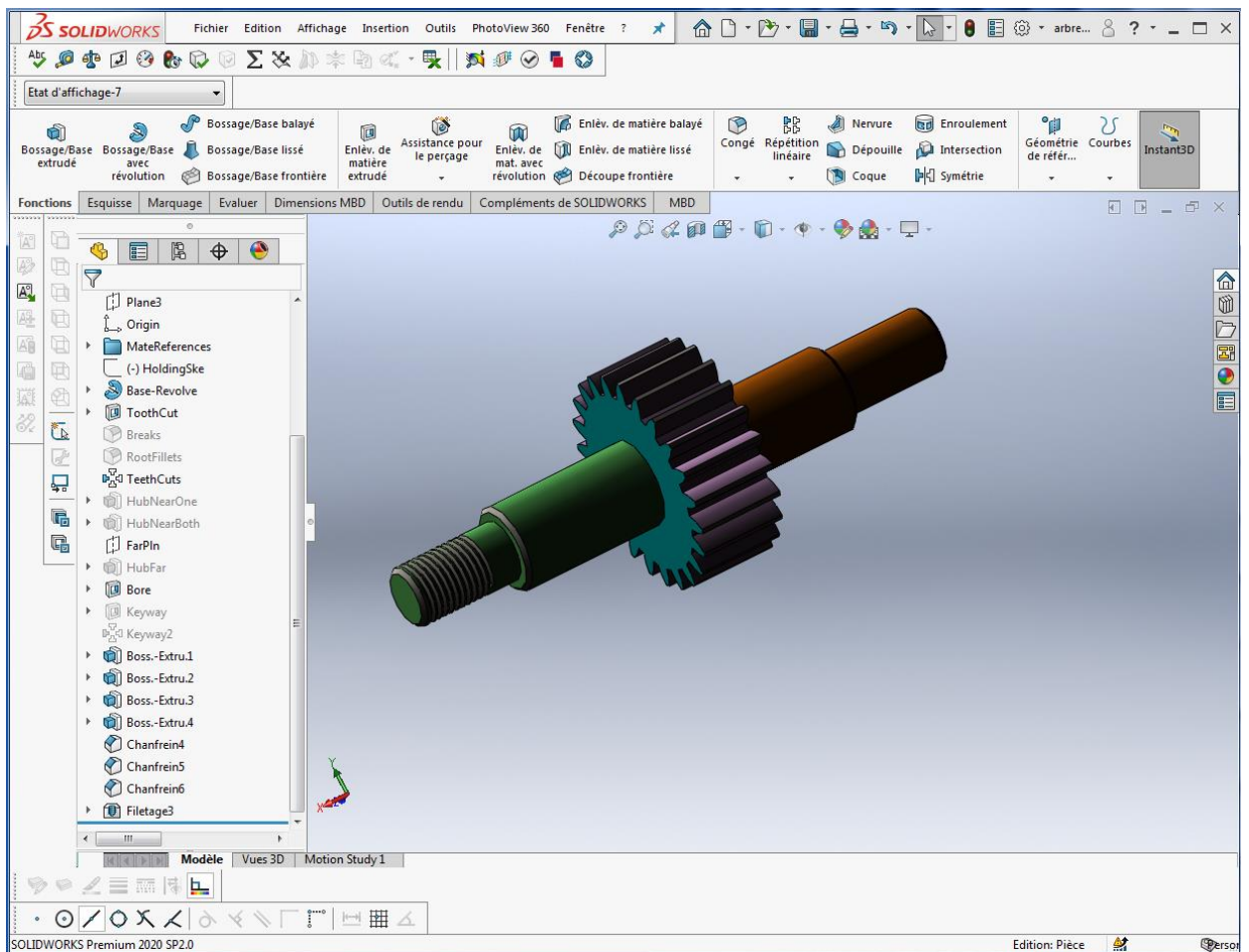


Figure 4.2.2: Dessin 3D de la pièce Designer avec programme SolidWorks.

4.2.3. EMCO Concept TURN 55

Le Concept TURN 55 est un tour CNC 2 axes d'établi, piloté par PC, dont la conception et le fonctionnement correspondent au standard industriel. Toutes les opérations principales du processus de fabrication moderne peuvent être expliquées sur ce tour et aussi reproduites

Chapitre 4 : La méthodologie exécutive de programme d'usinage dans les machines outil à commande numérique

conformément à la réalité. Une simplification judicieuse, une conception de machine claire et un maniement simple sont garants du succès rapide de la formation.



Figure 4.2.3 : Machine Concept TURN 55 (De l'Institut Ben Smara).

4.2.4. Logiciel de programmation WinNC

4.2.4.1. Introduction

WinNC est un logiciel de programmation CNC (Commande Numérique par Calculateur) développé par EMCO, une société spécialisée dans la conception et la fabrication de machines-outils.

Ce logiciel est conçu pour fonctionner spécifiquement avec les contrôleurs CNC des machines EMCO, offrant une interface intuitive et des fonctionnalités simplifiées pour la programmation de base, notamment pour le tournage et le fraisage.

4.2.4.2 L'interface de WinNC

L'interface du programme WinNC est comme le reste des programmes contient plusieurs fenêtres et chaque fenêtre ont une fonction spéciale.

Chapitre 4 : La méthodologie exécutive de programme d'usinage dans les machines outil à commande numérique



Figure 4.2.4: L'interface de WinNC.

4.2.5. La programmation

Pour créer le programme, les étapes suivantes sont suivies :

- 1- Sélection de programme WinNc sur le bureau :

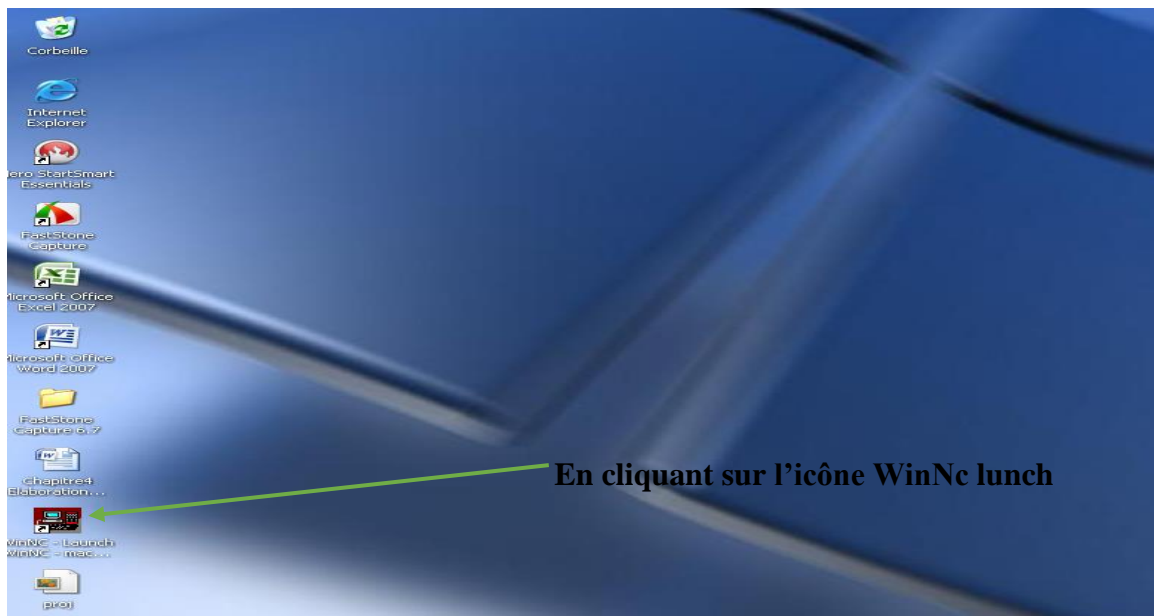


Figure 4.2.5.1 : Programme WinNc sur le bureau.

- 2- Après avoir cliqué sur WinNc une fenêtre de dialogue apparaisse pour choisir le logiciel CNC Et on choisit **GE Fanuc Séries 21T**

Chapitre 4 : La méthodologie exécutive de programme d'usinage dans les machines outil à commande numérique



Figure 4.2.5.2 : L'interface de WinNC sur le bureau.

3- Une fenêtre d'interface Fanuc apparaisse :

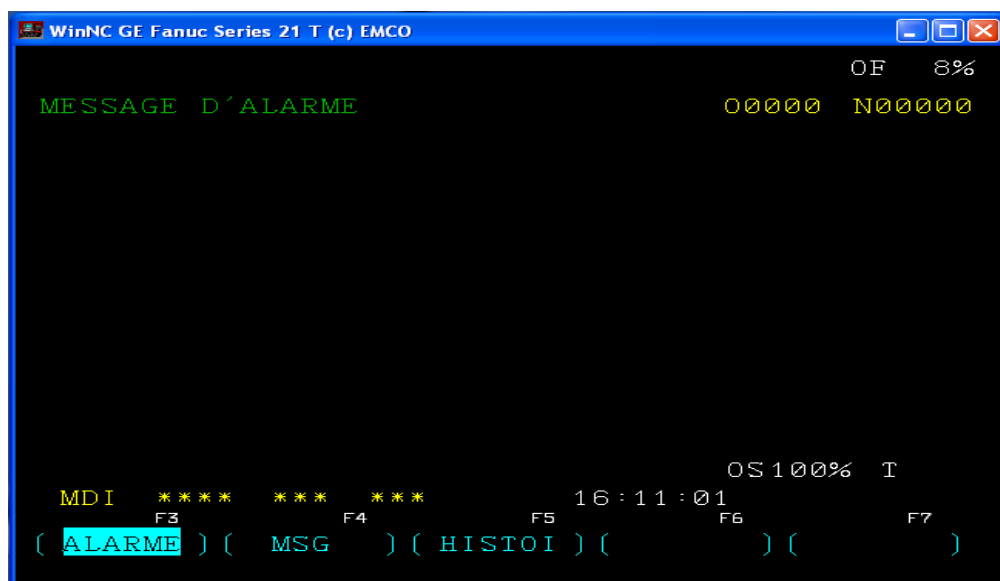



Figure 4.2.5.3 : L'interface de Fanuc.

Pour référencier les points zéro de la machine :

Sélectionner sur le commutateur point de réf  puis cliqué sur l'axe z ensuite sur l'axe x du clavier de commande machine.

4- Cette fenêtre en mode EDIT donne la possibilité d'entrer les corrections des outils et le décalage d'origine voulu.

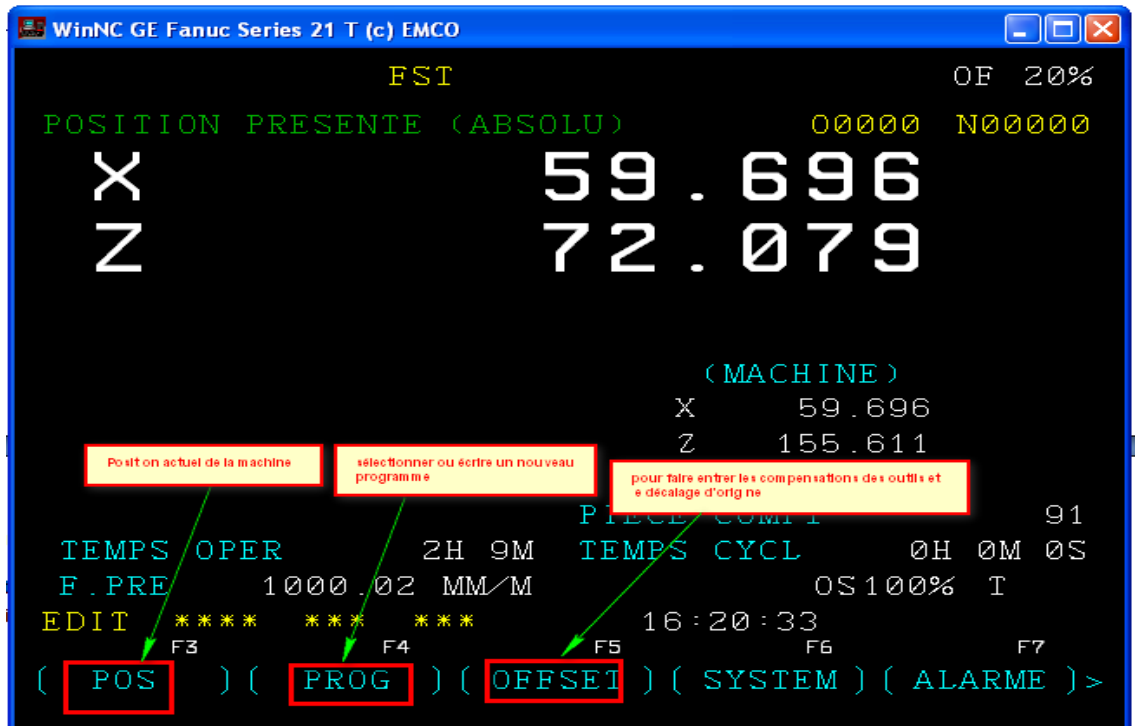


Figure 4.2.5.4: Fenêtre en mode EDIT sur le programme Fanuc.

5- Sélectionner programme ou F4

Après, écrire le programme principal :

```

O0107 Programme 1er phase d'usinage
N1 G10 P0 Z-165
N5 T0101 H1 M6
N10 S1000 M3 F0.1 G95
N20 G73 U0.3 R1
N25 G73 P30 Q75 U0.4 W0.1
N30 G42
N35 G0 X50 Z2
N40 G1 X0 Z0
N45 G1 X14 Z0
N50 X16 Z-1
N55 Z-23
N60 X20 Z-25
    
```

Chapitre 4 : La méthodologie exécutive de programme d'usinage dans les machines outil à commande numérique

N65 X20 Z-55
 N70 X49 Z-56
 N71 X50 Z-56
 N75 G40
 N80 G0 X30 Z3
 N85 M5

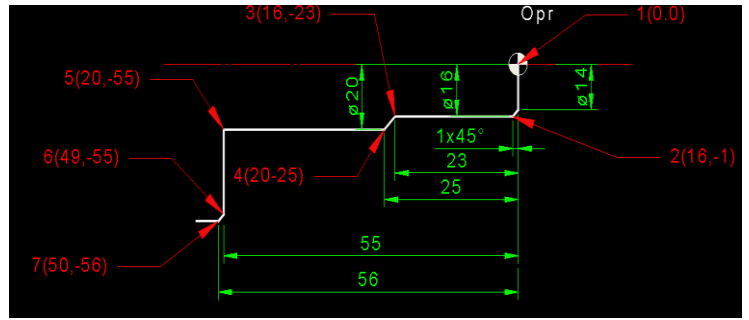


Figure 4.2.5.5.1 : Contour de cycle de chariotage 1.

N90 M30

O0108 Programme 2 me phase d'usinage

N1 G10 P0 Z-165
 N5 T0101 H1 M6
 N10 S1000 M3 F0.1 G95
 N20 G73 U0.3 R1
 N25 G73 P30 Q75 U0.4 W0.1
 N30 G42

N35 G0 X50 Z2
 N40 G1 X0 Z0
 N45 G1 X13 Z0
 N50 X14 Z-1
 N55 Z-25
 N60 X19 Z-25
 N65 X20 Z-26
 N70 X20 Z-60
 N71 X49 Z-60
 N72 X50 Z-60
 N73 X50 Z-80
 N75 G40
 N80 G0 X30 Z3
 N85 M5
 N90 M30

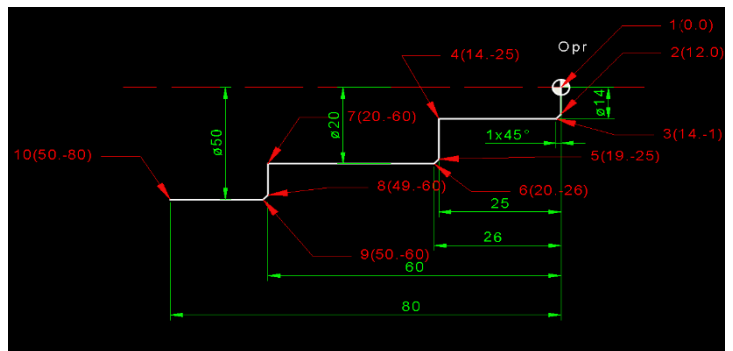


Figure 4.2.5.5.2 : Contour de cycle de chariotage 2.

O0116 3 me programme phase de taillage

Chapitre 4 : La méthodologie exécutive de programme d'usinage dans les machines outil à commande numérique

```
N1 G54
N2 S100 F30 M3 G94
N3 T1 G43 M6
M11
M27
G7.1 Q25
M3 S1000
G0 X-10.28 B360.
G1 F300.0 Z22.
G1 F800.0 X9.72
G0 Z28.
G0 B0.
G1 F300.0 Z22.
G1 F800.0 X-10.28
G0 Z28.
G0 X9.72 B15.650
G1 F300.0 Z22.
G1 F800.0 X-10.28
G0 Z28.
G0 X9.72 B31.299
G1 F300.0 Z22.
G1 F800.0 X-10.28
G0 Z28.
G0 X9.72 B46.949
G1 F300.0 Z22.
G1 F800.0 X-10.28
G0 Z28.
G0 X9.72 B62.599
G1 F300.0 Z22.
G1 F800.0 X-10.28
G0 Z28.
G0 X9.72 B78.248
G1 F300.0 Z22.
G1 F800.0 X-10.28
```

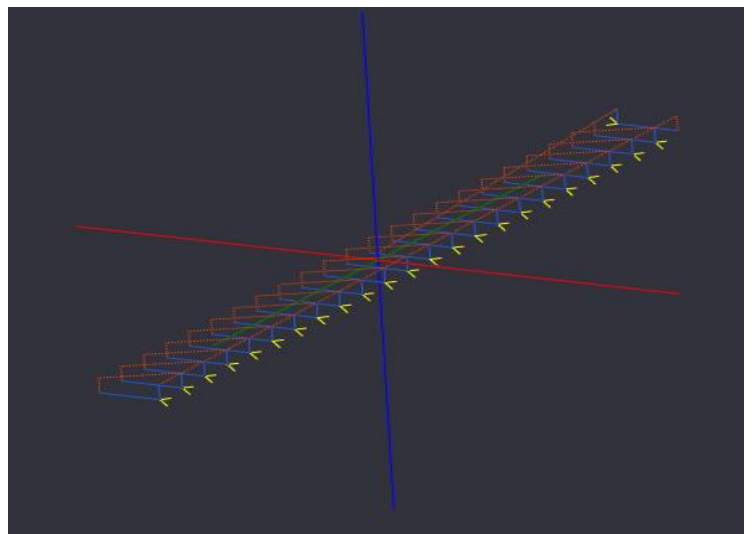


Figure 4.2.5.5.3: Phase de taillage.

Chapitre 4 : La méthodologie exécutive de programme d'usinage dans les machines outil à commande numérique

G0 Z28.

G0 X9.72 B93.898

G1 F300.0 Z22.

G1 F800.0 X-10.28

G0 Z28.

G0 X9.72 B109.548

G1 F300.0 Z22.

G1 F800.0 X-10.28

G0 Z28.

G0 X9.72 B125.197

G1 F300.0 Z22.

G1 F800.0 X-10.28

G0 Z28.

G0 X9.72 B140.847

G1 F300.0 Z22.

G1 F800.0 X-10.28

G0 Z28.

G0 X9.72 B156.497

G1 F300.0 Z22.

G1 F800.0 X-10.28

G0 Z28.

G0 X9.72 B172.146

G1 F300.0 Z22.

G1 F800.0 X-10.28

G0 Z28.

G0 X9.72 B187.796

G1 F300.0 Z22.

G1 F800.0 X-10.28

G0 Z28.

G0 X9.72 B203.446

G1 F300.0 Z22.

G1 F800.0 X-10.28

G0 Z28.

G0 X9.72 B219.096

Chapitre 4 : La méthodologie exécutive de programme d'usinage dans les machines outil à commande numérique

G1 F300.0 Z22.
G1 F800.0 X-10.28
G0 Z28.
G0 X9.72 B234.745
G1 F300.0 Z22.
G1 F800.0 X-10.28
G0 Z28.
G0 X9.72 B250.395
G1 F300.0 Z22.
G1 F800.0 X-10.28
G0 Z28.
G0 X9.72 B266.045
G1 F300.0 Z22.
G1 F800.0 X-10.28
G0 Z28.
G0 X9.72 B281.694
G1 F300.0 Z22.
G1 F800.0 X-10.28
G0 Z28.
G0 X9.72 B297.344
G1 F300.0 Z22.
G1 F800.0 X-10.28
G0 Z28.
G0 X9.72 B312.994
G1 F300.0 Z22.
G1 F800.0 X-10.28
G0 Z28.
G0 X9.72 B328.643
G1 F300.0 Z22.
G1 F800.0 X-10.28
G0 Z28.
G0 X9.72 B344.293
G1 F300.0 Z22.
G1 F800.0 X-10.28


Chapitre 4 : La méthodologie exécutive de programme d'usinage dans les machines outil à commande numérique

G0 Z28.

G7.1 Q0

M5

M30

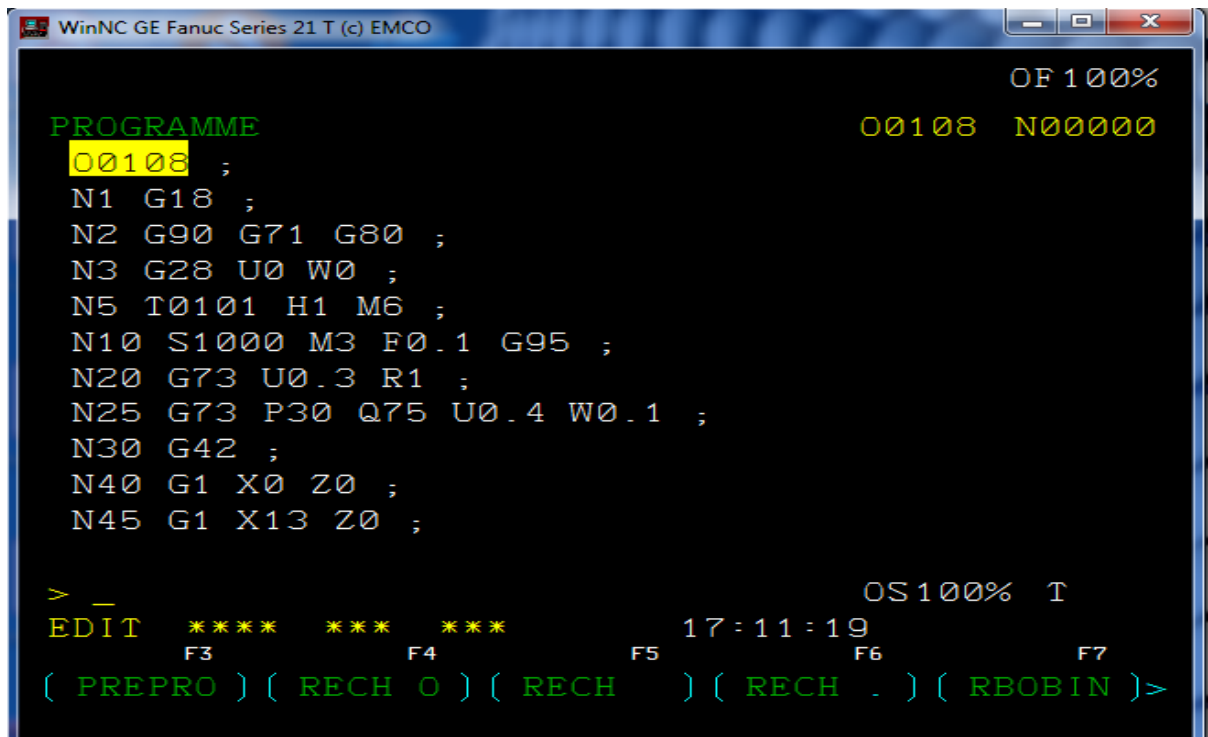


```
WinNC GE Fanuc Series 21 T (c) EMCO
OF 100%
PROGRAMME 00107 N00000
00107 ;
N1 ;
G10 P0 Z-165 ;
N5 ;
N10 T0101 H1 M6 ;
N15 S1000 M3 F0.1 G95 ;
N20 ;
N25 ;
N30 G73 U0.3 R1 ;
N35 G73 P40 Q85 U0.4 W0.1 ;
N40 G42 ;

> _ OS100% T
EDIT **** ** * 16:30:38
      F3      F4      F5      F6      F7
( PRGRM ) ( DIR ) ( ) ( C.A.P. ) ( OPRT )
```

Figure 4.2.5.5.4 : Fenêtre d'écrire le programme Fanuc phase 1.

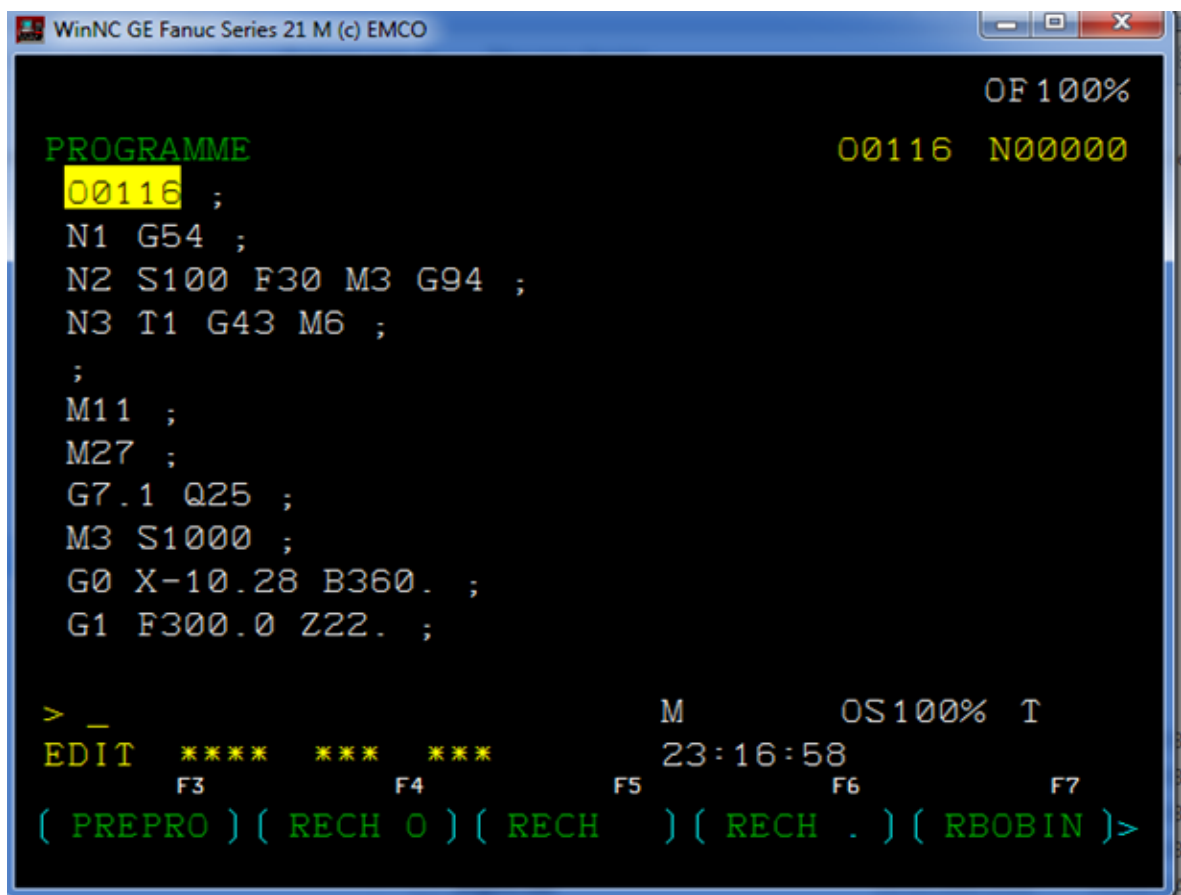
Chapitre 4 : La méthodologie exécutive de programme d'usinage dans les machines outil à commande numérique



```
WinNC GE Fanuc Series 21 T (c) EMCO
OF 100%
PROGRAMME 00108 N00000
00108 ;
N1 G18 ;
N2 G90 G71 G80 ;
N3 G28 U0 W0 ;
N5 T0101 H1 M6 ;
N10 S1000 M3 F0.1 G95 ;
N20 G73 U0.3 R1 ;
N25 G73 P30 Q75 U0.4 W0.1 ;
N30 G42 ;
N40 G1 X0 Z0 ;
N45 G1 X13 Z0 ;

> _ OS100% T
EDIT **** ** * 17:11:19
F3 F4 F5 F6 F7
( PREPRO ) ( RECH O ) ( RECH ) ( RECH . ) ( RBOBIN )>
```

Figure 4.2.5.5 : Fenêtre d'écrire le programme Fanuc phase 2.



```
WinNC GE Fanuc Series 21 M (c) EMCO
OF 100%
PROGRAMME 00116 N00000
00116 ;
N1 G54 ;
N2 S100 F30 M3 G94 ;
N3 T1 G43 M6 ;
;
M11 ;
M27 ;
G7.1 Q25 ;
M3 S1000 ;
G0 X-10.28 B360. ;
G1 F300.0 Z22. ;

> _ M OS100% T
EDIT **** ** * 23:16:58
F3 F4 F5 F6 F7
( PREPRO ) ( RECH O ) ( RECH ) ( RECH . ) ( RBOBIN )>
```

Figure 4.2.5.6 : Fenêtre d'écrire le programme Fanuc phase 3.

Chapitre 4 : La méthodologie exécutive de programme d'usinage dans les machines outil à commande numérique

6- Simulation graphique :

Pour simuler, cliquez sur 3D-VIEW depuis l'interface EDIT ou sur le bouton F12 dans le clavier.

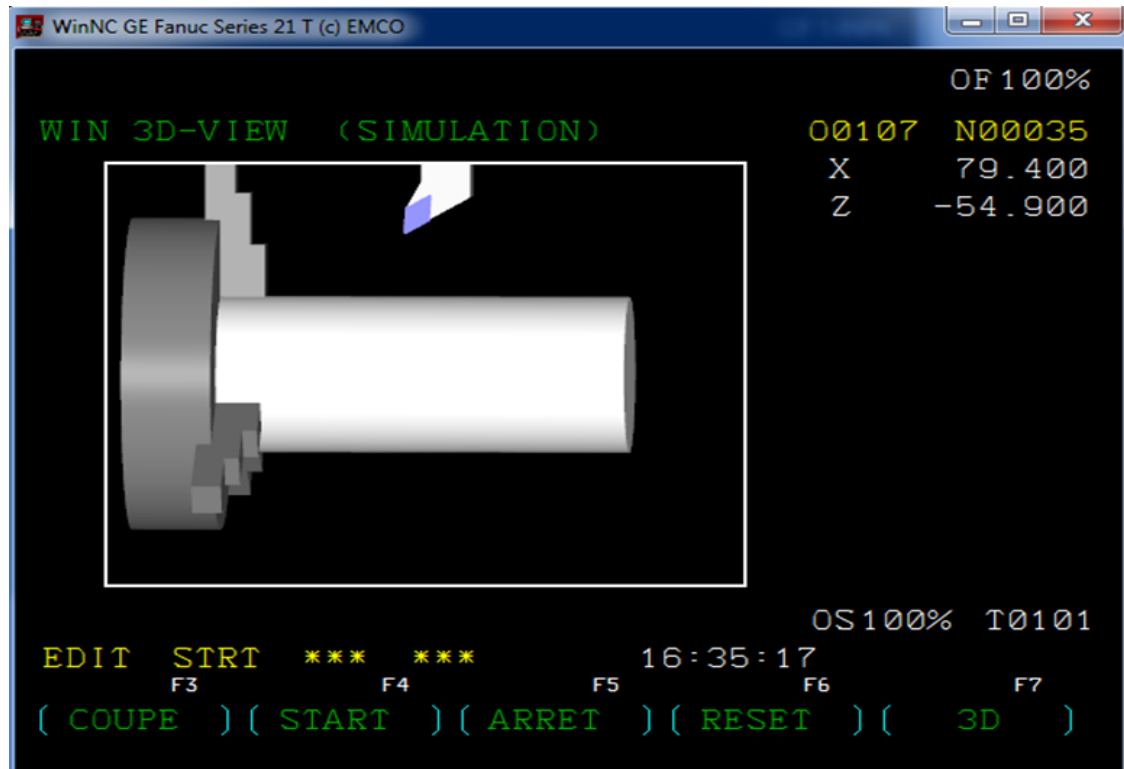


Figure 4.2.5.6.1 : Début de la simulation graphique dans le programme sous le nom O0107.

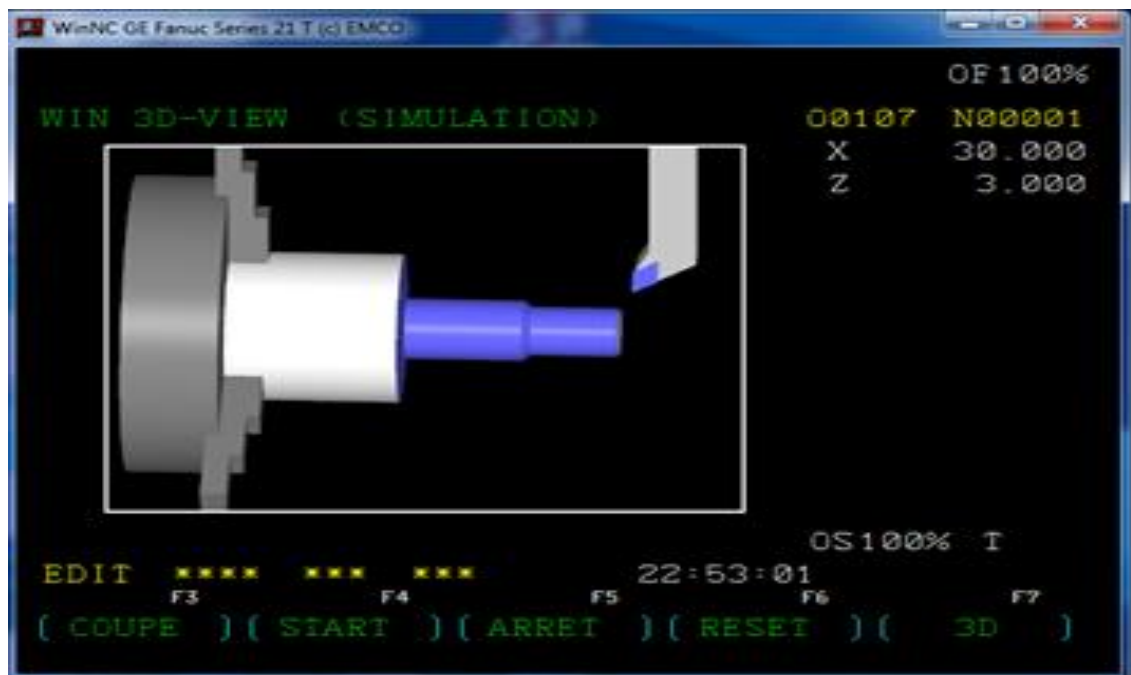


Figure 4.2.5.6.2 : La simulation graphique dans le programme sous le nom O0107.

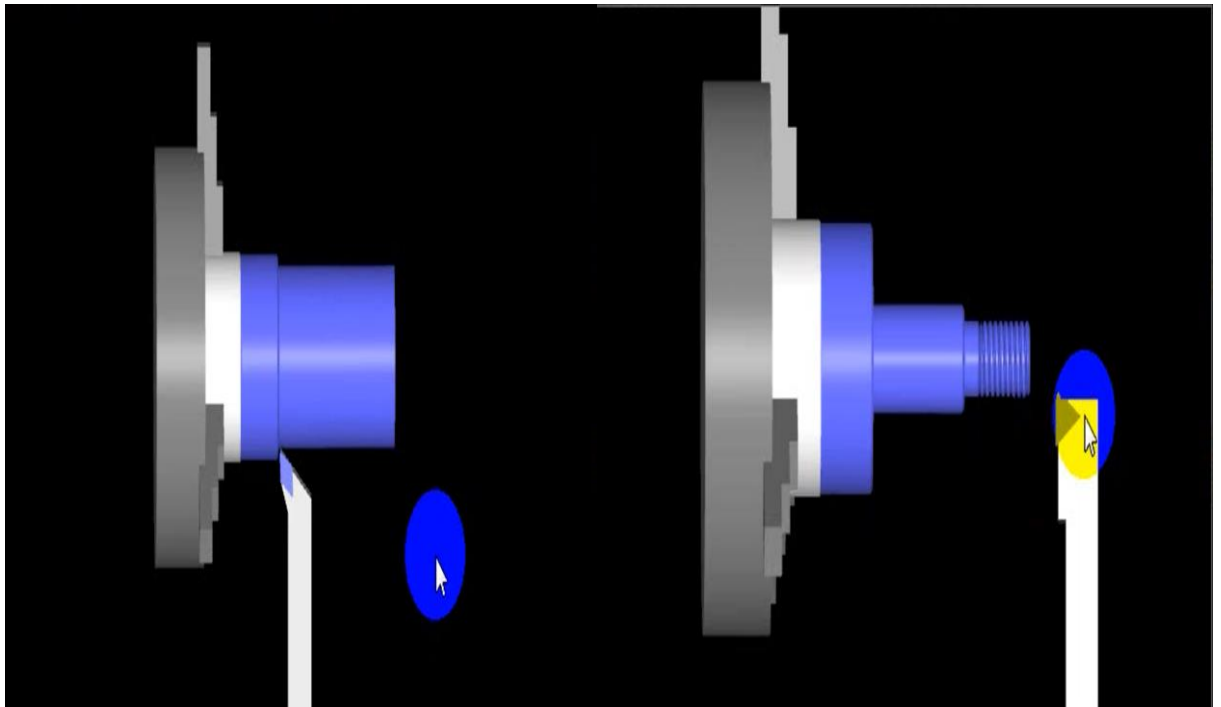


Figure 4.2.5.6.3 : La simulation graphique dans le programme sous le nom O0108.

7- Fermé le programme WinNc

Pour fermer le programme WinNC On clique sur le Bouton "fermer" ou "ALT+F4 " dans le clavier.

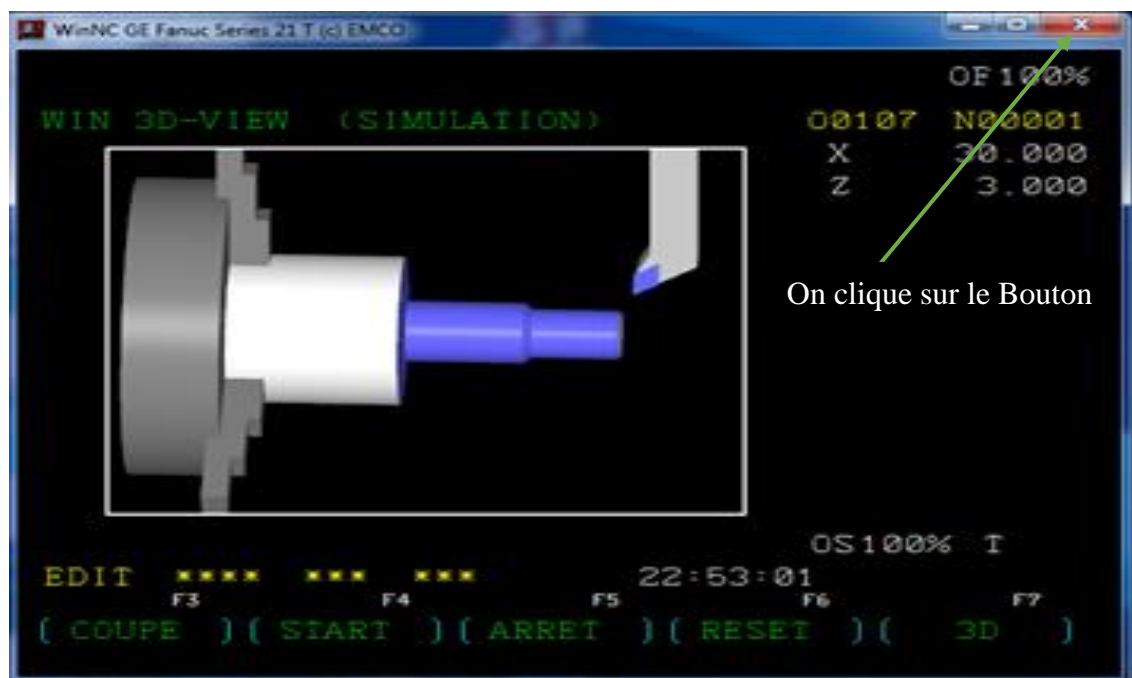


Figure 4.2.5.7 : Fermé le programme WinNc.

4.3. Problèmes pouvant être rencontrés lors de la fabrication

La fabrication est un processus complexe qui comporte de nombreuses étapes, depuis les matières premières jusqu'aux produits finis. De nombreux problèmes peuvent survenir à chaque étape, pouvant entraîner des retards, du gaspillage et des produits de qualité inférieure. Voici quelques-uns des problèmes les plus courants lors de la fabrication :

- **Défauts de produits :** Parmi les défauts les plus courants figurent les imperfections dimensionnelles, les erreurs d'assemblage, les problèmes de finition et les défaillances matérielles. Ces défauts peuvent être causés par des facteurs tels que des machines mal calibrées, des erreurs de manipulation, des matériaux défectueux ou des conceptions inadéquates.
- **Non-conformité aux normes :** Le non-respect des normes de qualité et de sécurité peut entraîner des problèmes de sécurité, des retards de production et des coûts supplémentaires.
- **Défaillance de l'équipement :** Les pannes d'équipement peuvent interrompre la production et entraîner des pertes de temps et d'argent considérables. Des défaillances mécaniques, des problèmes électriques ou des erreurs logicielles peuvent en être la cause.

4.4. Résultats et discussions

A travers la conception de la pièce mécanique, qui est le convertisseur de vitesse, ont été conçus la pièce avec toutes ses caractéristiques techniques afin de compléter un programme avec ses différentes commandes, Les contrôles du programme sont la méthodologie de fabrication.

Il s'agit d'élaborer un programme sonore, afin d'obtenir une pièce mécanique modistique et de qualité.

Sur la base de tout ce qui précède, ont été conçus un programme WinNC Fanuc Séries 21T. Ces lignes sont des commandes exécutives exécutées par la machine afin de fabriquer la pièce avec toutes les spécifications requises. Ont été également divisés la méthodologie de fabrication en trois parties, en tenant compte des exigences existantes, en tenant compte de l'âge technologique et des caractéristiques de cette machine.

CONCLUSION GENERAL

REFERENCE

CONCLUSION GENERALE

Cette étude est considérée comme un résumé de nos efforts tout au long des années d'études dans notre parcours universitaire.

A partir de l'analyse de la méthodologie exécutif de programme d'usinage par les machines-outils à commande numérique on peut déduire les conclusions principales suivantes :

- ✓ Démontrer l'efficacité de l'utilisation des MOCN pour la fabrication de pièces mécaniques complexes.
- ✓ Identifier les avantages de l'utilisation des programmes WinNC Fanuc Série 21T pour contrôler les MOCN.
- ✓ Présenter une méthodologie de fabrication détaillée qui peut être appliquée à une variété de pièces mécaniques.
- ✓ Facilité de l'utilisation du programme pour gérer les machines-outils à commande numérique

Cette thèse s'est concentrée spécifiquement sur la méthodologie de mise en œuvre de logiciels de fabrication. Une étude de cas détaillée de la conception et de la fabrication d'un convertisseur de vitesse utilisant une série WinNC Fanuc 21T sur une machine EMCO Concept Turn 55. Est présentée Cette étude a souligné l'importance d'une conception détaillée, d'un développement logiciel minutieux et d'une méthodologie de fabrication bien définie. obtenir une pièce mécanique de haute qualité.

Enfin, pour élaborer et mieux utiliser les machines-outils à commande numérique de type EMCO, nous espérons que l'étudiant et les chercheurs poursuivre les recherches dans le domaine des machines-outils à commande numérique Parce que c'est le domaine de la technologie future,

REFERENCE

REFERENCE

[1] Djamel SMAINI « Conception et réalisation d'une machine CNC » master, UNIVERSITE MOULOUDE MAMMARI DE TIZI-OUZOU.

<https://dspace.ummto.dz/server/api/core/bitstreams/95c6f96f-dcee-44a2-ae7f-322361a43dd7/content>

[2] BENBEKHTI Ahmed, « Etude de réalisation d'un support pour affutage des forêts sur une machine à commande numérique. », master, Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen, 2013.

<http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/3808/1/msgm2.pdf>

[3] BOUANIK FOUAD « Simulation de l'usinage d'un guidage longitudinal sous le logiciel SINUTRAIN 828D Shop Mill » UNIVERSITE BADJI-MOKHTAR-ANNABA.

<https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2018/02/BOUANIK-FOUAD.pdf>

[4] Mr RAHOU MOHAMED, « MOCN », EPST- TLEMCEN.

http://www.academia.edu/5498887/COURS_-_MOCN_-_EPST_-_RAHOU

[5] D. DJAMAA Mohamed Cherif « MACHINES-OUTILS A COMMANDE NUMERIQUE ».

https://dspace.univ-guelma.dz/jspui/bitstream/123456789/14091/1/Cours%20MO%20C3%A0%20CN_Djamaa_2020_1.pdf

[6] Mr OUARET MOHAMED, « Conception d'un outil multimédia D'aide à la programmation CNC en Tournage » Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen 2012.

<http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/12248/1/Ms.GM.Ouaret.pdf>

[7] TS IRIS (Physique Appliquée) Christian BISSIERES.

[8] P. Lefur. (1997). Machines-outils à commande numérique : structure, modélisation et réglage. L'école supérieure des arts et métiers l'ENS de Cachan Paris.

REFERENCE

[9] D.A-CHAIR « Programmation Des MOCN ».

<https://www.scribd.com/document/350220842/2-Programmation-Des-MOCN-corrige-1>

[10] DR DAHMANI L « Programmation des Machines-Outils à Commande Numérique »
Département GM ISET SILIANA.

<https://www.technologuepro.com/cours-production-commande-numerique/chapitre-3-programmation-machines-outils-commande-numerique.pdf>

[11] Dr Zahia HESSAINIA « Machines-outils à commande numérique » Université Des
Frères Mentouri Constantine 1.

https://telum.umc.edu.dz/pluginfile.php/16745/mod_resource/content/1/Chapitre%207.pdf

[12] Matthieu Rauch « Optimisation de la programmation des MOCN - Application aux
machines à structure parallèle ».

<https://theses.hal.science/tel-00429692/document>

[13] DR EL HAJIOUI « SENSIBILISATION A LA PROGRAMMATION DES MOCN ».

[14] Autodesk (2014) « Fundamentals Of CNC Machining ».

[15] Hechmi CHERMITI ‘ Généralités sur les machines-outils à commande numérique’, ISET
Kairouan.

[16] Farid ASMA ‘Introduction à la commande numérique’, Notes de cours, 2007/2008.

[17] DR Gelin, M. Vincent « éléments des fabrications », Edition marketing, paris, Mars 1995.

[18] Alain BOTTASO « Programmation des machines-outils à commande numérique ».

[19] JEAN-PIERRE URSO, Memotech Commande numérique programmation Educative,
Edition castilla, juillet 2002.

[20] D. Duret, « simulation de gamme d’usinage », revue de l’ingénieur et du Technicien de
l’enseignement technique, n°229,1981, pp. 34-37.

[21] Gilles PROD’HOMME, 1995, commande numérique des machines-outils, Techniques de
l’ingénieur, Génie mécanique, Usinage, B7 130.

[22] Site Web <https://www.solidworks.com/>

[23] Guy Delfosse « Machines-outils à commande numérique ».

ANNEXE

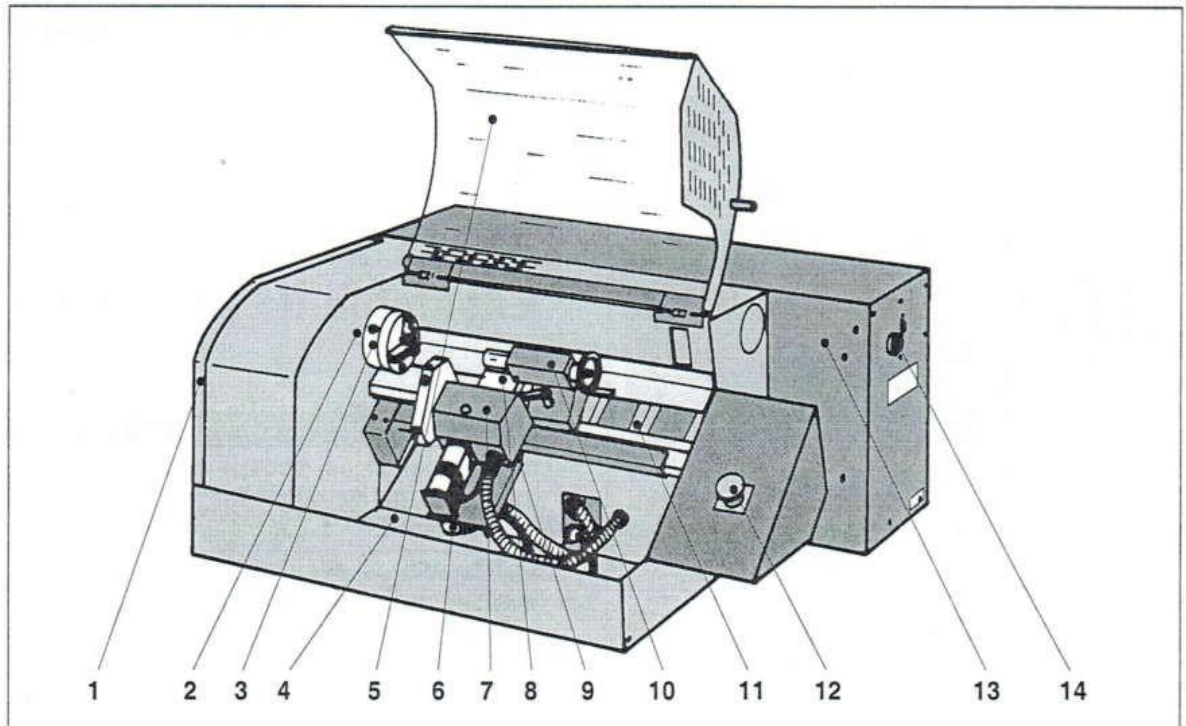


Figure IV.2 : Description de la machine EMCO Concept Turn 55.

- | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| 1) Couvercle des engrenages, | 8) Chariot transversal, |
| 2) Poupée fixe, | 9) Traînard, |
| 3) Mandrin de tournage à 3 mors, | 10) Poupée mobile, |
| 4) Bac à copeaux, | 11) Banc de machine, |
| 5) Protection contre les copeaux, | 12) Coup de poing ARRET D'URGENCE, |
| 6) Moteur pas-à-pas, | 13) Armoire électrique, |
| 7) Changeur d'outil, | 14) Commutateur à clé, |

Les paramètres de coupe

Paramètres technologique

1/ Vitesse de coupe V

$$V(m/min) = \frac{D(mm) \cdot \pi \cdot S(\frac{tr}{min})}{1000}$$

V [m/min]vitesse de coupe

D [mm]..... diamètre de la pièce

S [tr/min]..... vitesse de la broche principale

La vitesse de coupe maxi admissible dépend des facteurs suivants :

- **Matériau de la pièce**
Plus la résistance du matériau est élevée , plus la vitesse de coupe est faible.
- **Matériau de l'outil de tournage**
Les outils en métal dur permettent des vitesses de coupe plus élevées que les outils à coupe rapide.
- **Valeur de l'avance**
Plus l'avance est élevée, plus la vitesse de coupe est faible.
- **Profondeur de coupe**
Plus la profondeur de coupe est élevée, plus la vitesse de coupe est faible.

2/ vitesse d'avance

$$S(tr/min) = \frac{V(m/min) \cdot 1000}{D(mm) \cdot \pi}$$

On peut calculer la vitesse de la broche principale à partir de la vitesse de coupe et du diamètre de la pièce

3/ Avance F

L'avance F est programmée sur le tour EMCO PC TURN 55II [mm/min]

$$F[mm/min] = S[tr/min] \cdot F[mm/tr]$$

F [mm/min]Avance

F [mm/tr].....Avance

S [tr/min]..... Vitesse de la broche

Points sur la machine-Système de coordonnées

Description de la machine TURN 55

Caractéristiques techniques de la machine

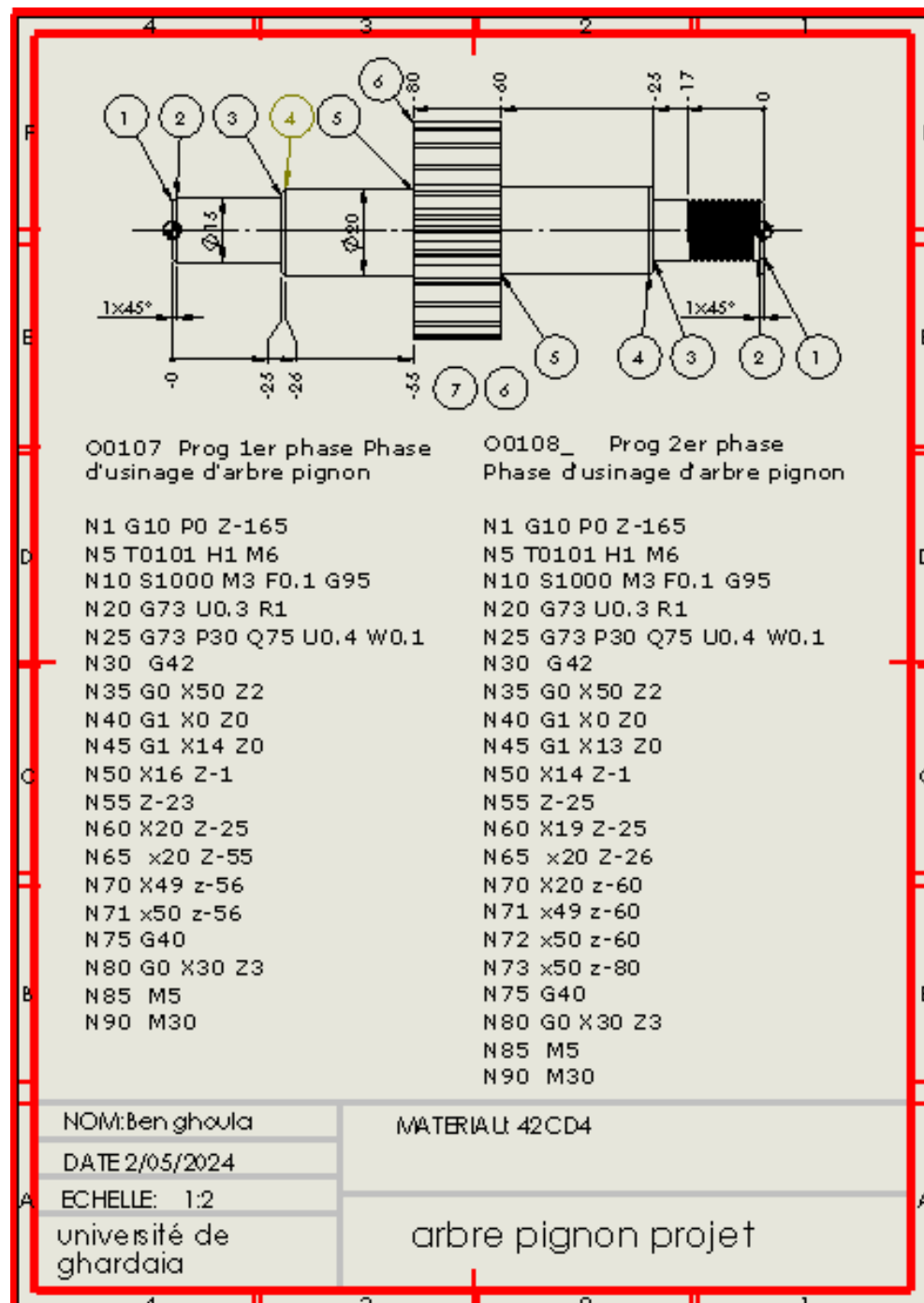
| | | |
|--|-------------|-----------|
| Volume d'usinage | | |
| Hauteur de pointes | 65 | mm |
| Entre-pointes (mandrin – poupée mobile) | 280 | mm |
| Diamètre de tournage sur toute la longueur de tournage | Ø60 | mm |
| Longueur maxi pour pièces | 215 | mm |
| Course (utile) de chariot transversal | 48 | mm |
| Course (utile) du trainard | 236 | mm |
| Broche | | |
| Alésage de broche | Ø16 | mm |
| Cône intérieur | Cm2 | |
| Diamètre du mandrin | Ø74 | mm |
| Diamètre du plateau circulaire | Ø90 | mm |
| Vitesse de broche | 120-4000 | {tr /min} |
| Couple | Max. 14 | Nm |
| Moteur d'entraînement | | |
| Moteur à courant triphasé | | |
| Vitesse nominale du moteur | 1400 | {tr /min} |
| Puissance | 750 | W |
| Moteurs des avances | | |
| Résolution du pas /Déplacement minimum | 0,5 | µm |
| Avance d'usinage en X/Z | 0-2000 | mm/min |
| Avance rapide en X/Z | 2000 | mm/min |
| Force d'avance maxi X/Z | 1000 | N |
| Changeur d'outil | | |
| Nombre de montages d'outil | 8 | |
| Montages d'outil extérieur /intérieur | 4/4 | |
| Section de la queue pour outils extérieurs | 12/12 | mm |
| Alésage pour outil intérieur | Ø10 | mm |
| Raccordement électrique | | |
| Alimentation | 100/110/230 | (v~) |
| Fréquence | 50/60 | Hz |
| Fusible principal | 12 | A |
| Dimensions de la machine | | |
| Hauteur de l'axe de tournage au-dessus de sol | 320 | mm |
| Longueur totale x largeur totale x hauteur totale | 840/696/395 | mm |
| Poids total de la machine | 85 | Kg |

Configuration PC

| | |
|----------------------------|-------------------------|
| Composants de l'ordinateur | Configuration mini |
| IBM ou compatible IBM | Celeron 700 MHz |
| Disque dur | 10 GB |
| Lecteurs | Lecteur de CD-ROM |
| Système d'exploitation | Win 9x, NT4.0, 2000, XP |
| Mémoire centrale | 128 MB |
| Carte graphique | Couleurs VGA 8 Mo |
| Ecran couleur | 14 " |
| Clavier | MF-2 |

ANNEXE

Tolérances géométriques et les surfaces



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de L'enseignement Supérieur et de La recherche Scientifique

جامعة غرداية
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الآلية والكهربوميكانيك

جامعة غرداية
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département automatique et électromécanique

إذن بالطباعة (مذكرة ماستر)

بعد الاطلاع على التصحيحات المطلوبة على محتوى المذكرة المنجزة من طرف الطلبة التالية أسمائهم:

1. الطالب (ة): بوقرة اسامه

2. الطالب (ة): بن غولة خليل

تخصص: صيانة صناعية

نمنح نحن الأستاذ (ة):

| الإمضاء | الصفة | الرتبة - الجامعة الأصلية | الاسم واللقب |
|---------|----------|--------------------------|-----------------|
| | مؤطر | جامعة غرداية MCB | بن داوي مسعود |
| | مصصح (1) | جامعة غرداية MCB | بوسنان توفيق |
| | مصصح (2) | جامعة غرداية MAA | مرزوق حسين |
| | رئيس | جامعة غرداية MCB | مصباح شرف الدين |

الإذن بطباعة النسخة النهائية لمذكرة ماستر الموسومة بـ

**La méthodologie exécutive de programme d'usinage dans les machines
Outil à commande numérique**

إمضاء رئيس القسم

العلمي عبد اللطيف
رئيس قسم الآلية والكهربوميكانيك

جامعة غرداية
قسم الآلية والكهربوميكانيك
كلية العلوم والتكنولوجيا