

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Ecole Nationale Polytechnique

Département Génie Mécanique

P00006/05B



Projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Mécanique

**Etudes des Machines-outils à Commande Numérique
Programmation et réalisation de pièces types
sur PC TURN 345 pour la mise
en place de travaux pratiques**

Proposé et dirigé par :
M^r MADANI

Etudié par :
M^r MIRA Aziz

Juin 2005

E.N.P 10, Avenue Hassen-Badi, EL HARRACH, ALGER

Dédicaces

Je dédie ce projet de fin d'études à

mes chers parents auxquels je dois énormément

et que je ne remercierai jamais assez

A ma grand-mère aussi

Que Dieu vous garde pour moi

Votre fils qui vous aime

REMERCIEMENTS

Je remercie dieu de m'avoir donné la volonté et le courage afin d'arriver à la finalité de ce modeste travail.

Au début de ce mémoire, j'exprime ma profonde gratitude envers tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à ma formation et aux résultats auxquels nous sommes parvenus.

Je tiens à remercier mon promoteur Monsieur MADANI Mohamed pour son soutien et ses orientations qu'il m'a apportées durant tout mon travail pour réaliser ce projet.

Je tiens aussi à exprimer mes plus sincères et profonds remerciements à Monsieur KEMMOUCHE Azzedine et Monsieur RIGHI Djamel Din qui ont relevé le défi avec moi de faire fonctionner à 100 % un PC TURN 155 en l'espace de trois jours. Messieurs encore une fois, je vous salue bien bas.

Mes remerciements vont également à vous messieurs les membres du jury pour l'honneur que vous me faites en acceptant d'examiner mon travail.

Je remercie très fort mes cousins : BENARAB Nouredine, Sofiane, Samir, Karim et à toi aussi chère tante Hania. Pour votre irremplaçable aide et soutien.

A vous aussi mes chers amis : MEZIANE Nassim, BALI Arezki, BEDDAR Djamel, TOUMERT Fouad, je vous remercie pour votre précieuse aide.

ملخص

سنعرف آلة التحكم رقمفة (MOCN) أوأا سنطرق إلى اءاطة الموضوع. بعد اعطاء لمءة تاريخفة عن آلة التحكم رقمفة وءطوراتها عبر الزمن. سنرى بعدها ما هو التحكم الرقمي بالءقصفل من ءفء البرمءة و الهندسة. سنءءق بعدها فف ءراسة الآلاف ءاف التحكم الرقمي و ممفزافها نسبة إلى الآلاف الأءرى. بعدها سنرى. عبر مءال ءطففقفة، اللمببفباف الأوففة، البرمءة و ءطففق برنامء ءصنع ءءعة مفكانفكفة. فف النءافة نءءرء مءموءة من الأعمال الءطففقفة لهءف ببءاءوءف. الكلماف المفاففء : آلة التحكم رقمفة، البرمءة، التحكم الرقمي، الءمءفل.

Résumé :

Dans un premier temps nous allons appréhender le contexte dans lequel s'inscrit ce mémoire. Apres avoir donné un petit historique des MOCN, nous définirons la machine outil et ses principales évolutions dans le temps. Nous verrons plus en détail ce qu'est la commande numérique dans son aspect programmation et son aspect structurel. On se consacre ensuite à l'étude des MOCN et aux avantages qu'elle apporte comparativement aux autres machines. Par la suite, nous verrons, à travers un exemple pratique, les préréglages, la programmation et l'exécution d'un programme d'usinage d'une pièce. Enfin, nous proposerons des Travaux Pratiques de divers niveaux de difficulté à finalité pédagogique.

Mots clefs : Machine-outil à commande numérique, Programmation, Simulation, Commande numérique.

Abstract:

Initially we will apprehend the context in which this memory fits. After having given a small history of the MOCN, we will define the machine tool and its principal evolutions in time. We will see more in detail what is the numerical control in its aspect programming and its structural aspect. One devotes oneself then to the study of the MOCN and the advantages which it compared brings to the other machines. Thereafter, we will see, through an example practises, presettings, the programming and the execution of programme of machining of a part. Lastly, we will propose Practical Work of various levels of difficulty to teaching purpose.

Key words: Machine tool with numerical control, Programming, Simulation, Numerical control.

Sommaire



introduction.....	Page 1
-------------------	-----------

CHAPITRE 1

1.1. Historique.....	3
1.2 Définition d'une machine-outil.....	4
1.3. Evolution de la commande numérique.....	4

CHAPITRE 2

Descriptif général de la commande numérique (CN)

2.1. Généralités sur la commande numérique.....	9
2.2 Terminologie.....	9
2.3 Structure des commandes.....	15
2.3.1 Passage d'une structure analogique à une structure numérique.....	16
2.3.2 Architecture des commandes numériques et modèles de types échantillonnés.....	17
2.3.3 Le maniement et la programmation des commandes CNC.....	20
2.3.3.1 Le tableau d'une commande CNC.....	20
2.3.3.2. Les modes d'exploitation d'une commande CNC	20
2.3.4. Les points zéros flottants.....	21
2.3.5. Les Paramètres d'Usinage.....	21
2.3.5.1 L'indication d'avance (F).....	21
2.3.5.2 Le nombre de tours de l'arbre(S).....	21
2.3.5.3 La fonction outil (T).....	22
2.3.6 : La correction de trajectoire d'outil.....	22
2.4 Programmation des MOCN.....	23
2.4.1 Instructions programmées et leurs supports.....	23
2.4.2 Codification des instructions.....	23
2.4.3 Supports d'information.....	24
2.4.5 Nature des déplacements.....	26

2.4.6 Programmation manuelle.....	27
2.4.6.1 Aides à la programmation manuelle.....	28
2.5 Programmation conversationnelle.....	28
2.6 Programmation de cycles d'usinage.....	30
2.7 Programmation assistée.....	31

CHAPITRE 3

Pourquoi l'utilisation de la commande numérique ?

3.1 Automaticité.....	33
3.2 Flexibilité.....	34
3.3 Sécurité.....	35
3.3.1. Sécurité à concept parallèle.....	35
3.3.2. Description du concept de « sécurité intégrée ».....	37
3.4 Interchangeabilité des commandes.....	39
3.5 Domaines d'utilisation et coûts.....	39
3.6 Entraînement des organes dans CN.....	41
3.6.1 Moteurs.....	41
3.6.2 Variateurs électroniques de vitesse.....	42
3.7 Comparaison des commandes numériques et analogiques.....	43
3.7.1 Limites de la commande analogique et avantages de la technologie numérique.....	43
3.7.2 Rapidité.....	45
3.7.2.1 Solutions matérielles.....	46
3.7.2.2 Solutions logicielles.....	46
3.7.3 Problèmes des fréquences.....	48
3.7.4 L'avantage décisif de la commande numérique.....	49
3.7.5 Simplification du matériel, Standardisation et intégration.....	50

CHAPITRE 4

Mise en marche et réalisation d'une pièce type sur un tour

PC TURN 345 à commande numérique

Programmation d'une machine à commande numérique :

4.1. Programmation en mode manuelle.....	51
4.1.1.Composition d'un mot.....	52
4.1.2Format d'un mot.....	52
4.1.3 Bloc d'information.....	53

Programmation assistée

4.2 Exemple de réalisation sur WINCAM.....	54
4.2.1 Choix de l'outil.....	57
4.2.2 Choix du type de ligne pour simulation.....	57
4.2.3 Identification automatique du contour et renouvellement du programme FAO.....	58
4.2.4.Choix des données technologiques d'usinage.....	58
4.3. Préparatifs de la mise en marche de la machine.....	60
4.3.1. Ajustement des mors.....	60
4.3.2. Le réservoir d'huile.....	62
4.3.3. Réglage de la poupée mobile et du fourreau.....	62
4.3.4. Décalage d'origine.....	63
4.3.5. Jauge d'outil.....	64
4.3.5.1 Jauge d'outil par effleurement.....	64
4.3.5.2 Jauge d'outil par la méthode optique.....	65
4.4. Simulation graphique sur SINUMERIK.....	66
4.5. Descriptif des principales fonctions de SINUMERIK 820 PC TURN 345.....	67

Chapitre 5

Exemple de réalisation de travaux pratiques sur PC TURN 345 de EMCO :

5.1 exemple 1 : premier degré de difficulté. Changement des décalages d'origines...	70
5.2 exemple 2 :deuxième degré de difficulté. changement des outils.....	72
5.3 exemple 3 : troisième degré de difficulté. Identifier une pièce à partir de son programme SINUMERIK.....	73
Conclusion.....	75

Introduction:

Apparue il y a seulement quelques dizaines d'années, la commande numérique (CN) s'impose actuellement dans le monde de l'usinage.

Conçue pour piloter le fonctionnement d'une machine à partir des instructions d'un programme sans intervention directe de l'opérateur pendant son exécution, elle a, dans un premier temps, permis de franchir un pas important dans l'automatisation des machines-outils traditionnelles. Tours, fraiseuses, perceuses et aléseuses sont ainsi devenues capables d'assurer en quantité comme en qualité, une production à peine imaginable quelques années auparavant.

La CN est également à l'origine de nouvelles conceptions de machines polyvalentes comme le centre d'usinage, par exemple.

Aujourd'hui, de plus en plus étroitement associée aux progrès de la microélectronique et de l'informatique, la CN voit ses performances et sa convivialité augmenter régulièrement tandis que, en revanche, son prix et son encombrement ne cessent de diminuer. Elle pénètre, de ce fait, dans les plus petites entreprises et devient accessible à tous les secteurs industriels faisant appel aux procédés de positionnement ou de suivi de trajectoire.

Les contraintes pesant sur les machines-outils d'usinage ont beaucoup augmenté tant du point de vue de la réduction des temps de cycle que de l'accroissement de la flexibilité de leurs production. La réduction des temps de cycle est dictée par des critères économiques et la flexibilité par une grande capacité de réaction à l'évolution des marchés des pièces fabriquées.

Ces contraintes ont abouti à de nombreuses évolutions dans le secteur de la machine-outil.

Le problème de la flexibilité a été résolu grâce à l'utilisation des commandes numériques sur les structures conventionnelles.

Par contre, la réduction des temps de cycle fait intervenir plusieurs facteurs dont principalement le temps copeau, le temps de changement d'outil et le temps de déplacement rapide. Afin d'accroître la productivité, il faut donc réduire chacun de ces temps :

- La solution adoptée pour la diminution du temps copeau est l'utilisation de l'Usinage à Grande Vitesse (UGV).
- Diverses dispositions constructives ont été prises afin de réduire le temps de changement d'outil comme, par exemple, les changeurs d'outils intégrés à la broche ou les machines à deux broches qui changent d'outil en temps masqué.
- La réduction des temps de déplacement rapide passe par l'amélioration de la dynamique de la machine, pour cela, plusieurs étapes ont été franchies :
 - _ Utilisation de moteurs linéaires dont la dynamique est meilleure que celle des systèmes moteur rotatif + réducteur + système vis-écrou dont la vitesse est limitée par l'utilisation de vis à billes.
 - _ Réduction des masses déplacées grâce à l'utilisation d'alliages d'aluminium pour la réalisation des pièces massives en mouvement.
 - _ Utilisation de structures parallèles dont les performances dynamiques sont intrinsèquement meilleures que celles des structures cartésiennes conventionnelles.

CHAPITRE 1

1.1. Historique [1] :

Dans ce paragraphe, nous présentons quelques dates clés dans l'évolution des « machines- outils »

- 2000 ans avant Jésus Christ, la plus ancienne machine-outil jamais découverte est un tour, les artisans se servaient de tours à arc. Plus tard, le tour de potier sera découvert.
- Vers l'an 1500, Léonard de Vinci propose des solutions basées sur du tournage à mouvement continu. Son tour, comme beaucoup de ses inventions, est en avance sur son époque.
- Il faudra attendre le XIXème siècle pour que les bases de la mécanique moderne poursuivent cette évolution et débouchent sur le tour automatique.
- 1954 : Bendix acquiert le brevet de Parsons et fabrique la première CN industrielle.
- 1955 : à Font du Lac (Wisconsin), le constructeur américain Giddins & Lewis commercialise la première MOCN.
- 1959 : apparition de la CN en Europe (foire de Hanovre).
- 1964 : en France, la Télémécanique Electrique lance la CN .100 conçue à base de relais Téléstatic.
- 1968 : la CN adopte les circuits intégrés ; elle devient plus compacte et plus puissante.
- 1972 : les minicalculateurs remplacent les logiques câblées ; la CN devient CNC.
- 1976 développements des CN à microprocesseurs. 1984 : apparition de fonctions graphiques évoluées et du mode de programmation conversationnel.
- 1986 : les CN s'intègrent dans les réseaux de communication, début de l'ère de la fabrication flexible (CIM).
- 1990 : développement des CN à microprocesseurs 32 bits

1.2. Définition d'une machine-outil [1]:

Une machine-outil est un appareil destiné à faire fonctionner des outils mécaniquement, le mouvement étant d'ailleurs transmis à la machine soit à la main, soit par l'intermédiaire d'un moteur. Les machines-outils employées pour le travail des métaux sont très diverses et très répandues, de nos jours les exigences de la construction ont amené à produire des types de machines d'une grandeur vraiment colossale.

Les machines employées dans les ateliers de construction de machines comprennent :

- Les tours établis avec des dispositions et des dimensions variables selon les formes et les dimensions des pièces qu'ils sont appelés à réaliser.
- Les machines à percer sont employées pour le perçage et l'alésage des pièces les plus diverses.
- Les machines à fraiser sont employées très utilement pour le façonnage de pièces.
- Les machines à aléser sont destinées à l'alésage des cylindres des machines à piston, des corps de pompes, etc....
- Les machines à raboter sont utilisées lors du dressage de pièces, telles que les bâtis de machines. Les limeuses sont d'un emploi très répandu dans les ateliers d'ajustage, pour le rabotage des pièces.

1.3. Evolution de la commande numérique :

Historiquement les premières machines ont été des tours pour la fabrication de pièces de révolution. Les tours actuels sont toujours basés sur le même principe.

Par contre, parmi les autres machines, certaines ont évolué et d'autres ont disparu par exemple, les machines à raboter et les limeuses ont quitté les ateliers, remplacées par les fraiseuses [2].

Au début des années 50, l'apparition des premières commandes numériques a révolutionné le monde de la machine-outil, les types de machines (tours – fraiseuses) n'ont pas

fondamentalement changé, mais les temps de reconfiguration de ces machines ont été considérablement réduits par le remplacement des butées réglables (mécaniques ou électromécaniques) par des butées logicielles. L'utilisation des commandes numériques a également permis d'augmenter la complexité des formes réalisées grâce à la combinaison de mouvements suivant plusieurs axes [2].

Les figures 1.1, 1.2, 1.3 présentent une comparaison entre quelques machines courantes et à commande numérique et les surfaces qu'elles permettent de générer .

- Les tours

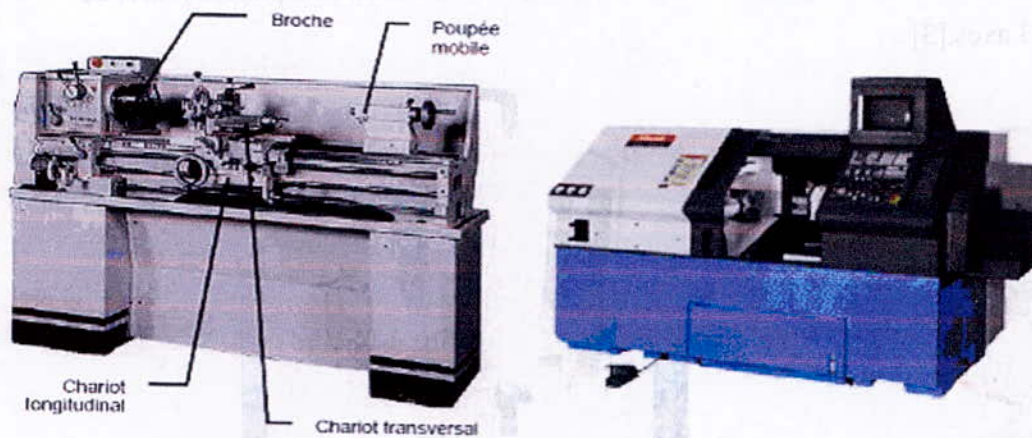


Figure 1.1- Tour conventionnel et tour à commande numérique. [2]

Les tours (voir Figure 1-1) permettent de réaliser des surfaces hélicoïdales (filetage) et des surfaces de révolution : cylindres, cônes et plans (génératrice perpendiculaire à l'axe de révolution).

L'utilisation principale des ces machines est l'usinage des arbres ; la pièce généralement tenue par le mandrin, a un mouvement de rotation (mouvement de coupe) transmis par la broche ; l'outil peut se déplacer en translation suivant deux directions.

Ces deux directions, perpendiculaires entre elles, appartiennent à un plan auquel l'axe de la broche est parallèle.

Le premier mouvement de translation est parallèle à l'axe de la broche.

Le deuxième mouvement de translation est perpendiculaire à l'axe de la broche.

- Les fraiseuses :

Les fraiseuses ont supplanté certaines machines (raboteuses, étaux limeurs) pour l'usinage de surfaces planes. Ces machines (voir Figure 1-2) peuvent également servir pour des opérations de contournage l'outil, est fixé dans la broche et est animé d'un mouvement de rotation (mouvement de coupe). Il peut se déplacer en translation par rapport à la pièce suivant trois directions. L'appellation « fraiseuse à commande numérique » n'est pas très utilisée, on parlera plutôt de centre d'usinage 3 axes.[3]

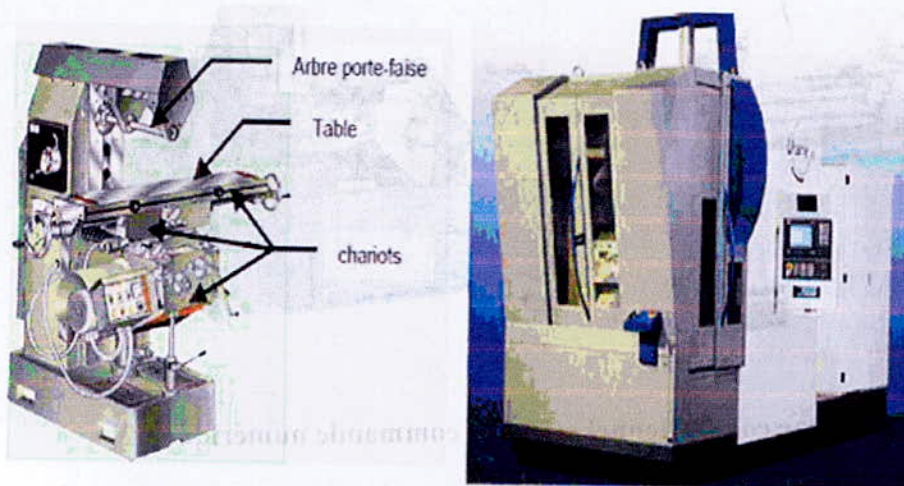


Figure 1-2 : Fraiseuse à broche horizontale et fraiseuse à commande numérique [3]

Même si les surfaces planes et cylindriques représentent la majeure partie des surfaces fonctionnelles des pièces. L'usinage de surfaces complexes s'est développé. Ces surfaces gauches sont présentes sur les matrices d'emboutissage et sur les moules pour l'industrie de l'injection plastique.

La Figure I-3 montre un exemple de matrice d'emboutissage utilisé pour la fabrication d'un capot de voiture.

A gauche réalisation de la matrice par un procédé artisanal.

A droite réalisation de la même matrice par une MOCN.



Figure 1-3 : Matrice d'emboutissage avec surface gauche. [3]

Les surfaces gauches peuvent être réalisées avec un centre d'usinage 3 axes en utilisant comme outil une fraise boule. Dans ce cas, les conditions de coupe de la fraise ne sont pas optimales. En effet, lorsque le point générateur de l'outil se trouve sur l'axe de rotation de la fraise, la vitesse de coupe en ce point est nulle. Pour résoudre ce problème il est nécessaire de pouvoir incliner l'axe de rotation de la fraise qui est également l'axe de rotation de la broche. Cette inclinaison est obtenue en ajoutant sur le centre d'usinage 3 axes une tête rotative (Figure I-4). La tête rotative possède deux axes de rotation motorisés souvent concourants l'équivalent dans le domaine de la robotique étant un poignet à deux degrés de liberté [3].

L'association d'un centre d'usinage 3 axes et d'une tête rotative 2 axes constitue un centre d'usinage 5 axes (Figure 1-5).



Figure 1-4 : Tête rotative 2 axes.

. [4]

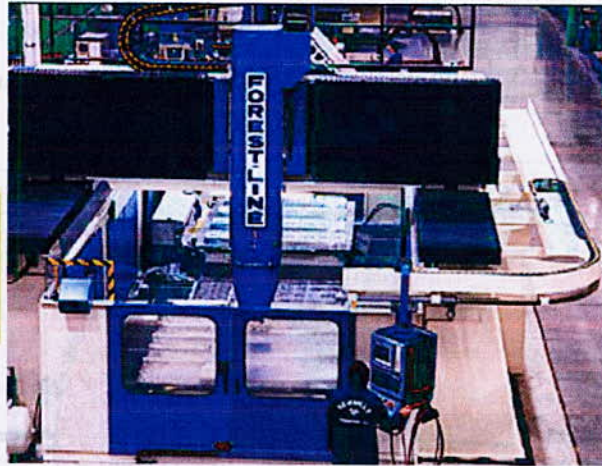


Figure 1-5 : Centre d'usinage 5 axes à tête rotative 2 axes [4]

Une autre solution consiste à utiliser une tête rotative 1 axe combinée à un plateau tournant (voir Figure 1-6). La réalisation de ce type de solution est plus simple que la réalisation d'une tête rotative deux axes. En contrepartie, les dimensions des pièces réalisées sont limitées par la dimension du plateau tournant [4].

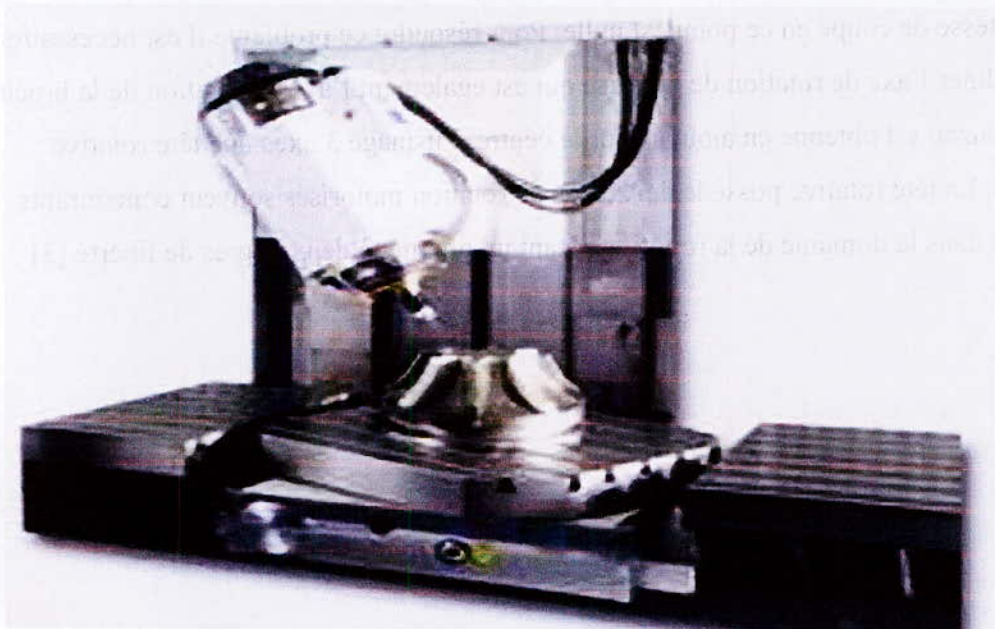


Figure 1-6 : Centre d'usinage 5 axes à tête rotative 1 axe et plateau tournant [4].

CHAPITRE 2

Descriptif général de la commande numérique (CN)

2.1. Généralités sur la commande numérique :

La CN est une technique utilisant des données composées de codes alphanumériques pour représenter les instructions géométriques et technologiques nécessaires à la conduite d'une machine ou d'un procédé.

C'est également une méthode d'automatisation des fonctions des machines ayant pour caractéristique principale une très grande facilité d'adaptation à des travaux différents.

A ce titre, la CN constitue l'un des meilleurs exemples de pénétration du traitement de l'information dans les activités de production.

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

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

2.2 Terminologie [5] :

Le Mémotech de génie mécanique donne des définitions générales relatives à la désignation des machines d'usinage :

- Machine- Outil à Commande Numérique (MOCN) : est une Machine-outil programmable équipée d'une Commande Numérique par Calculateur (CNC). Elle est dédiée à des fabrications variées de pièces différentes lancées en petits lots répétitifs.

- Centre d'Usinage (CU) : est une MOCN équipée de périphériques qui assurent le changement automatique d'outils stockés dans les magasins d'outils, le changement automatique de pièces (palettisation) et éventuellement le convoyage des copeaux (convoyeur). Il est dédié à des fabrications variées de pièces différentes.
- Machine autonome flexible : est un CU doté d'un carrousel de palettes pour le chargement et le déchargement des pièces, de plusieurs magasins d'outils, de moyens d'auto-contrôle, d'un système de détection des bris et usures d'outils. Elle est dédiée à des fabrications variées de plusieurs familles de pièces.
- Cellule flexible : Il s'agit d'un système formé de plusieurs CU (2 à 3) semblables ou non reliés entre eux par un dispositif de transfert de pièces. Les fonctions de stockage, chargement et déchargement des pièces brutes et finies sont aussi automatiques. Elle est dédiée à des opérations spécifiques sur plusieurs familles de pièces.
- Ligne transfert flexible : Il s'agit d'un système formé de plusieurs MOCN, machines spéciales (à têtes interchangeable automatiquement) agencées linéairement conformément au flux des produits (gamme de fabrication). Elle est dédiée à une famille de pièces.
- Atelier flexible : C'est un système formé de plusieurs MOCN ou cellules flexibles (de 5 à 15) associé à des dispositifs de transfert de pièces (chargement, déchargement, stockage, contrôle) entièrement automatisés et gérés par un ordinateur central. Il est dédié à l'usinage des pièces d'une même famille.

La norme NF Z 68-020 définit un système de coordonnées machine et les mouvements de la machine de telle façon qu'un programmeur puisse décrire les opérations d'usinage sans avoir à distinguer si l'outil s'approche de la pièce ou la pièce de l'outil. Ce système d'axes peut être défini d'après cette norme pour n'importe quel type de machine. Cette normalisation est notamment nécessaire pour garantir l'interchangeabilité des programmes sur plusieurs machines différentes. Cette norme étant complexe, nous allons en présenter une version simplifiée pour les machines les plus usuelles (pour plus de détails voir la partie programmation).

Le système normal de coordonnées est un système cartésien rectangulaire de sens direct avec les trois principaux axes appelés **X**, **Y** et **Z** et avec des axes de rotation autour de chacun de ces axes appelés respectivement **A**, **B** et **C**.

Mouvements de translation **X**, **Y**, **Z**:

L'axe de mouvement Z est parallèle à la broche principale de la machine.

Lorsque celle-ci est pivotante ou orientable, cet axe doit être parallèle à l'axe de la broche quand cette dernière est dans la position zéro. La position zéro de référence est de préférence celle où la broche est perpendiculaire à la surface de bridage de la pièce.

Quand cela est possible, l'axe **X** doit être horizontal et parallèle à la surface de bridage de la pièce. Pour les machines avec des pièces en rotation, l'axe **X** doit être radial et parallèle aux glissières du chariot transversal.

L'axe **Y** de mouvement forme avec les axes **X** et **Z** un trièdre de sens direct.

Mouvements de rotation **A**, **B**, **C** : Les angles **A**, **B** et **C** définissent les mouvements de rotation effectués respectivement autour d'axes parallèles à **X**, **Y** et **Z**.

Direction :

Le sens positif des axes est défini de manière telle qu'un mouvement dans une direction positive d'axes de translation ou de rotation, augmente les valeurs positives de la position de la pièce par rapport à la machine.

Mouvements additionnels :

- *Mouvements de translation* : Quand en plus des mouvements de translation primaire **X**, **Y** et **Z**, il existe des mouvements de translation secondaires parallèles à ceux-ci, ils seront respectivement désignés par **U**, **V** et **W**.
- *Mouvements de rotation* : Quand, en plus des mouvements de rotation primaires **A**, **B** et **C**, il existe des mouvements de rotation secondaires parallèles ou non à **A**, **B** et **C**, ceux-ci seront désignés par les lettres **D** ou **E**.

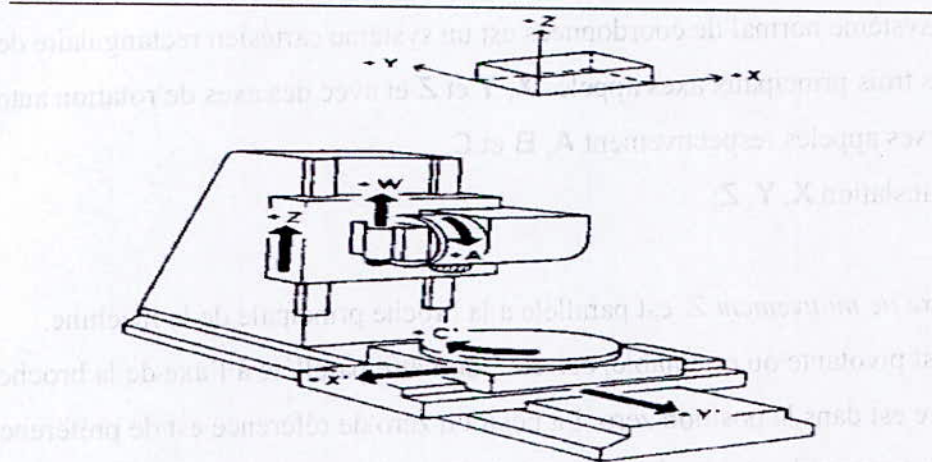


Figure 2.1 : Exemples de dénomination des axes.

Fraiseuse à broche verticale, tête pivotante et à plateau tournant [6]

Fonctions fondamentales et auxiliaires [6] : les mots correspondant aux fonctions diverses sont appelés par les adresses :

- S pour la vitesse de rotation de la broche,
- F pour la vitesse d'avance demandée aux organes mobiles,
- T pour le numéro d'outil,
- D pour le numéro du correcteur d'outil,
- R pour la programmation d'un cercle par son rayon en interpolation circulaire

Les mots fonctions auxiliaires (adresse M suivie d'un nombre de 1 à 3 chiffres) servent essentiellement à la programmation des fonctions de commutation de la machine.

Les fonctions auxiliaires peuvent être modales ou non modales, ou encore des fonctions avant ou après selon qu'elles sont exécutées avant ou après le déplacement programmer dans le bloc.

Nous citons dans ce qui suit la majorité des instructions du langage de programmation du système SINUMERIK:

Ordre des fonctions G :

G00 : avance rapide

G01 : interpolation linéaire

G02 : interpolation circulaire dans le sens des aiguilles d'une montre

G03 : interpolation circulaire dans le sens anti- horaire d'une montre

- G04 : temporisation
- G09 : arrêt précis séquence par séquence
- G10 : interpolation en coordonnées polaire, avance rapide
- G11 : interpolation en coordonnées polaire linéaire
- G12 : interpolation en coordonnées polaire circulaire, sens horaire
- G13 : interpolation en coordonnées polaire circulaire, sens anti-horaire
- G33 : filetage
- G48 : retrait du contour comme l'accostage
- G50 : suppression changement d'échelle
- G51 : sélection changement d'échelle séquence par séquence
- G53 : suppression décalage d'origine séquence par séquence
- G54 : décalage d'origine 1
- G55 : décalage d'origine 2
- G56 : décalage d'origine 3
- G57 : décalage d'origine 4
- G58 : décalage d'origine programmable 1
- G59 : décalage d'origine programmable 2
- G60 : mode arrêt précis
- G62 : suppression mode arrêt précis
- G70 : cotation en pouce
- G71 : cotation en millimètres
- G90 : programmation en cotes absolue
- G91 : programmation en cotes relatives
- G92 : limitation de la vitesse
- G94 : avance par minute
- G95 : avance par tour
- G96 : vitesse de coupe constante, avance par tour
- G97 : vitesse constante
- G147 : accostage linéaire
- G148 : accostage linéaire du contour en douceur
- G247 : accostage en douceur selon un quart de cercle
- G248 : retrait en douceur selon un quart de cercle
- G347 : accostage du contour en douceur selon un demi-cercle
- G348 : retrait selon un demi-cercle

Ordre des fonctions M :

- M00 : arrêt programmé absolu
- M01 : arrêt programmé conditionné
- M02 : fin de programme principale
- M03 : broche en marche a droite
- M04 : broche en marche a gauche
- M05 : broche OFF
- M08 : arrosage ON
- M09 : arrosage OFF
- M17: fin de sous-programme
- M20: fourreau recul
- M21: fourreau en avant
- M25 : organe de serrage ouvert
- M26 : organe de serrage fermé
- M30 : fin de programme principal
- M71 : soufflerie ON
- M72 : soufflerie OFF

Ordre des fonctions L :

- L93 : cycle de plongée
- L94 : cycle de plongée a vide
- L95 : cycle de chariotage avec dépouille
- L96 : cycle de chariotage sans dépouille
- L97 : cycle de filetage
- L98 : cycle de perçage de trous profond
- L99 : enchaînement de filetages
- L971 : filetage longitudinal

2.3 Structure des commandes :

L'exemple le plus général d'une structure de commande numérique est représenté dans la figure 2.2.

Les structures sont généralement composées de :

- Machine destinée à fournir des mouvements bien précis avec un couple déterminé au préalable par le concepteur de la commande.
- Les capteurs de courant, voltage, vitesse, couple, positions, ... etc.
- D'un convertisseur statique ou de plusieurs convertisseurs pour des commandes de sorties assez complexes à obtenir avec un seul convertisseur.
- D'une commande rapprochée qui détermine le moment de démarrage ou d'arrêt d'un moteur, elle agit directement sur le convertisseur statique qui lui est en liaison directe avec le moteur électrique (remarquez que pour arrêter un moteur il ne suffit pas de la mettre hors tensions).
- La commande algorithmique : c'est le principal élément d'une commande numérique elle est sensée tout planifier, piloter, corriger, sécuriser, ... etc.

Dans le cas d'un courant alternatif on doit superposer un synchroniseur entre convertisseur- machine- capteur, ces derniers sont considérés comme une machine unique à courant continu [7].

La référence au courant continu est naturelle car elle permet une meilleure dynamique dans les mouvements du moteur, chose qui sera plus détaillée dans le chapitre 3

2.3.1 Passage d'une structure analogique à une structure numérique :

La structure fonctionnelle de pilotage d'un processus analogique peut être décomposée en deux sous-ensembles (figure 1) :

- le processus lui-même ;
- le bloc correcteur.

Ce bloc correcteur met en jeu les signaux suivants :

- le signal de consigne $c(t)$;
- le signal de retour primaire $z(t)$ élaboré par les éléments de retour, à partir de

- la sortie $y(t)$;
- l'erreur $e(t) = c(t) - z(t)$;
- le signal de commande $u(t)$ élaboré par les éléments de commande, à partir de l'erreur $e(t)$.

La fonction de ce second sous-ensemble, le correcteur, est alors de générer $u(t)$ à partir de $y(t)$ et de $c(t)$, selon une loi dite de correction qui, dans le cas analogique, se présente le plus souvent sous la forme de relations différentielles [7].

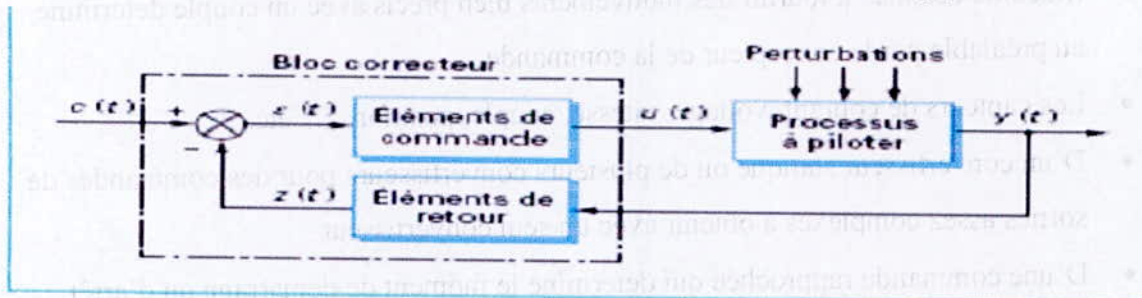


Figure 2.2- structure fonctionnelles de pilotage d'un processus analogique [7].

Lorsque l'on veut effectuer le pilotage du processus à partir d'une machine numérique (calculateur, automate...), il convient de réaliser un double interfaçage permettant de passer de l'univers analogique à l'univers numérique ou inversement.

Les éléments d'interfaçage utilisés sont les Convertisseurs Analogiques-Numérique (CAN) et Numérique- Analogique (CNA) qui s'intègrent dans la structure précédente selon le schéma de la figure 2.3

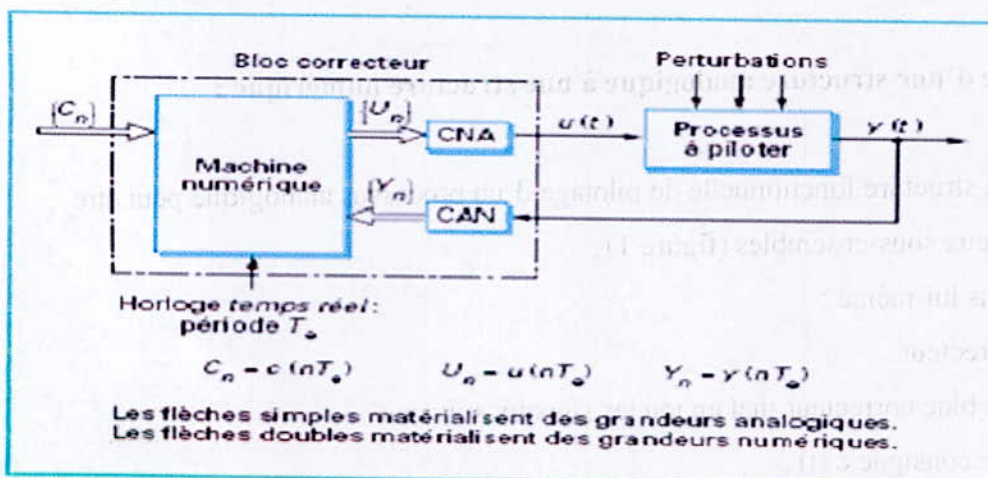


Figure 2.3-structure numérique de pilotage d'un processus analogique [7]

Dans ce schéma, la fonctionnalité du bloc correcteur est évidemment la même que précédemment.

Toutefois, les lois de correction se présentent ici sous la forme de relations de récurrence traitées par le calculateur, pour cela, celui-ci dispose d'un signal d'évaluation du temps (l'horloge temps réel) qui permet de cadencer les suites d'échantillons $\{U_n\}$, $\{Y_n\}$ et $\{C_n\}$ associées respectivement aux fonctions $u(t)$, $y(t)$ et $c(t)$. Ce cadencement est effectué selon une période T_e , qui est la période d'échantillonnage du bloc correcteur [7].

Dès lors, le rôle du calculateur est d'élaborer, en temps réel, la suite $\{U_n\}$, à partir des suites $\{C_n\}$ et $\{Y_n\}$, et de commander les convertisseurs de manière à réaliser l'interfaçage avec le processus à piloter.

2.3.2 Architecture des commandes numériques et modèles de types échantillonnés :

Si l'on veut modéliser plus rigoureusement le convertisseur et sa commande, ce qui est nécessaire lorsque l'on cherche des performances élevées (temps de réponse très bref), on doit adopter des représentations échantillonnées puisque :

- le convertisseur est échantillonné (à la période de hachage, au sens de l'électronique de puissance) ;
- la commande est échantillonnée (à la période d'échantillonnage, au sens de l'automatique).

Ces deux échantillonnages risquent d'entrer en conflit, c'est pourquoi il est conseillé de les synchroniser, en fait la modélisation est un guide pour la conception, de ce point de départ, il faut que le dispositif conçu pour avoir un modèle le plus simple possible sera plus facile à maîtriser et aura un meilleur comportement qu'un dispositif dont le modèle est complexe et pour lequel il est difficile de définir une stratégie de commande.

C'est pourquoi la modélisation va souvent de pair avec la recherche d'une architecture qui définit à la fois la structure matérielle et le séquençement temporel des signaux de commande

Une représentation rigoureuse de la commande numérique des convertisseurs oblige à distinguer plusieurs éléments [8].

- Le régulateur, de fonction de transfert échantillonnée $C(z)$, calculé un signal de commande, ce signal est converti en un nombre utilisable par un compteur qui détermine l'instant de commutation (noté T_r) ou l'angle d'allumage (noté ψ dans le cas des redresseurs synchronisés sur le réseau), cet instant de commutation définit la tension de sortie du convertisseur, la plupart du temps à partir de sa valeur moyenne.

Considérons, par exemple, un système typique, le redresseur de la figure 2.4 la figure 2.5 montre les formes des signaux.

On suppose que la commande est synchronisée sur le réseau.

Le raisonnement présenté dans le cas du redresseur monophasé peut être étendu, immédiatement, au cas du redresseur triphasé ou au cas du hacheur abaisseur à fréquence fixe, synchronisé sur une horloge, tel que :

L'instant de commutation vérifie : $T_r = T'n - T_n$

T_r étant le retard dû à l'amorçage et l'angle d'allumage vérifie : $\psi = \omega T_r$ avec ω pulsation du réseau d'alimentation.

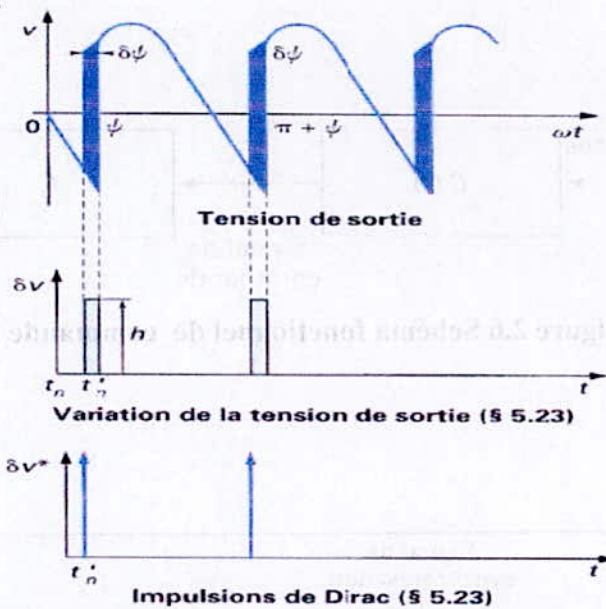
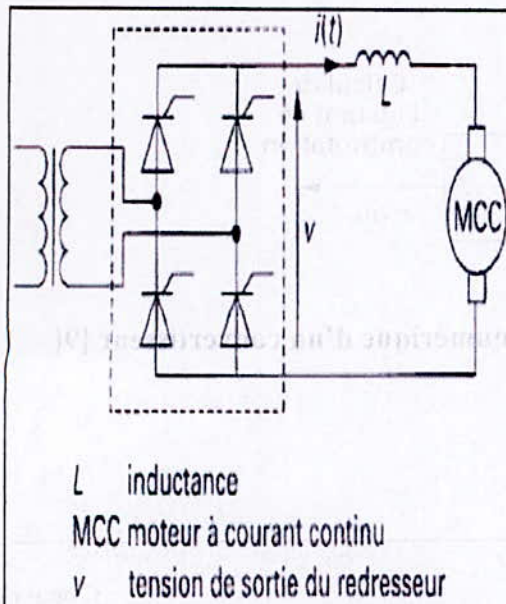


Figure 2.4 – Association d’un redresseur et d’un moteur à courant continu [8]

Figure 2.5 – Forme des signaux [8]

On désigne par a_0 le coefficient de conversion entre la variable de sortie du régulateur numérique (que l’on note également V_a , comme en analogique) et le retard à l’allumage, cette fonction étant fréquemment réalisée techniquement par un compteur :

$$a_0 = \frac{dT'n}{dV_a} = \frac{dTr}{dV_a} = \frac{d\Psi}{\omega dV_a}$$

Comme c’est le cas pour les commandes analogiques on considère, en pratique, deux types de conversions [8] :

- Linéaire : $V_a = A \left[1 - 2 \left(\frac{\Psi}{\pi} \right) \right] \Rightarrow a_0 = \frac{-\pi}{\omega dV_a}$
- Cosinusoidal : $V_a = A \cos(\Psi)$ avec A valeur maximal du signal de conversion.

Les figures 2.6 et 2.7 donnent le schéma fonctionnel et l’architecture de la commande numérique d’un convertisseur. Il faut ensuite modéliser le convertisseur proprement dit.

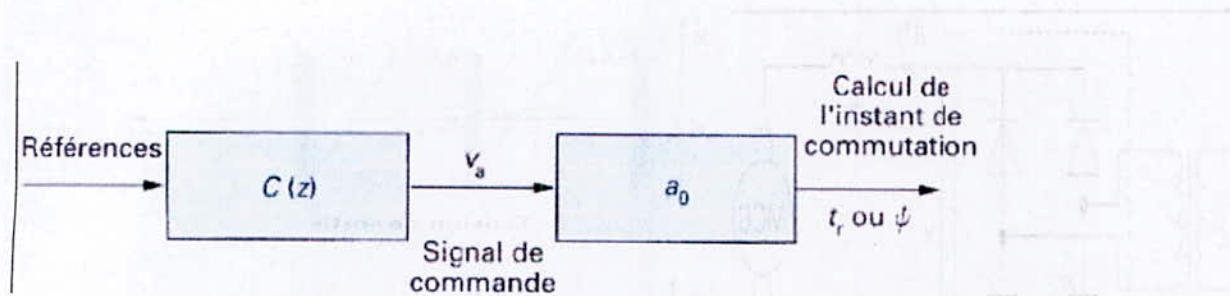


Figure 2.6 Schéma fonctionnel de commande numérique d'un convertisseur [9]

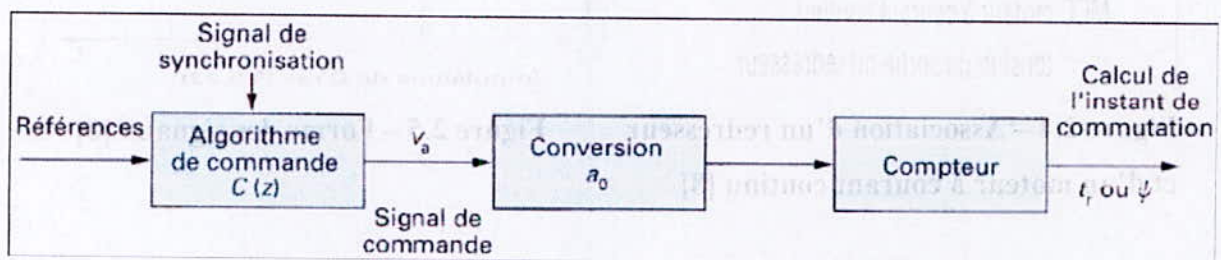


Figure 2.7 – Commande numérique de convertisseur (architecture) [9]

2.3.3 Le maniement et la programmation des commandes CNC

2.3.3.1 Le tableau d'une commande CNC : consiste en un clavier pour la programmation ainsi qu'en des éléments pour le maniement de la machine CNC. De plus un ou plusieurs interrupteurs sont prévus le plus souvent, pour le choix du **MODE**

D'Exploitation, pour allumer ou couper le circuit de la machine ou encore pour la commande. Au moyen de l'interrupteur d'urgence, la machine peut être immédiatement stoppée en cas de danger. Sur le tableau de commande, il existe de plus des touches pouvant influencer sur le déroulement du programme.

2.3.3.2 Les modes d'exploitation d'une commande CNC : Selon le mode d'exploitation choisi, la commande CNC a une manière de travailler différente. Celle-ci est réglée en fonction du type de commande, au moyen du commutateur de sélection des modes. Les modes suivants sont disponibles sur presque toutes les commandes CNC : MODE SEMI AUTOMATIQUE, MODE MANUEL, MODE AUTOMATIQUE... etc.

2.3.4 Les points zéros flottants : Après la mise en marche d'une machine CNC et après avoir visé le point de référence, le point zéro coïncide toujours avec le point origine machine « M ». A l'aide d'un zéro flottant l'origine des coordonnées peut être transférée sur un point quelconque situé dans l'espace de travail d'une machine NC. Le zéro flottant est appelé avec les commande G54-G59.

Comme il est inapproprié pour la programmation de faire coïncider la position du système des coordonnées avec l'origine machine « M », on transfère le point zéro sur un point approprié de la pièce. Pour le tournage, on choisit la surface transversale de la pièce. Depuis cette surface en effet, la pièce a été mesurée et l'on peut par conséquent procéder directement au transfert des cotes dimensionnelles du dessin sur le programme NC. Les valeurs déterminant le transfert du point zéro sont mémorisées dans le registre des points zéros flottants. Dans la zone 1 de ce registre, on stocke les valeurs de transfert de la détermination du point zéro flottant qui correspondent a la commande G54, dans la zone 2 du registre sont stockées les valeurs de transfert de la commande G55,... etc.

2.3.5: Les Paramètres d'Usinage [10]:

2.3.5.1 L'indication d'avance (F) : L'indication d'avance (F) est une adresse dont on programme la valeur de la vitesse d'avance. En fonction du point de savoir si c'est la commande G94 ou bien G95 qui active, on exprime la valeur de l'avance en mm/minute ou en mm/rotation. L'avance s'effectue de manière modale. Cela signifie que la valeur de l'avance reste constante aussi longtemps qu'une nouvelle indication d'avance sous l'adresse F ne vient à l'effacer.

2.3.5.2 La vitesse de rotation(S) : on indique sous l'adresse S la valeur de la vitesse de coupe ou bien la valeur du nombre de tour, en fonction du point se savoir si c'est la commande G96 ou bien la commande G97 qui est active. Si c'est la commande G96 qui est active, la valeur programmée sous l'adresse S s'exprime en m/minute. Si c'est la commande G97 qui est active, la valeur programmée sous l'adresse S s'exprime en tours/minute.

2.3.5.3 la fonction outil (T) : lors d'un changement d'outil, on programme le numéro de l'outil souhaité sous l'adresse T. Il faut appeler en plus du numéro de l'outil, les valeurs de correction d'outil. Cette opération s'opère au moyen de l'adresse D et du numéro de correction d'outil. Pour programmer un changement d'outil, les commandes et adresses suivantes doivent être programmées.

L'adresse T+ le numéro de l'outil 'xx'

Avec l'adresse T et les chiffres 'xx' on choisit l'outil souhaité.

L'adresse D+ le numéro de correction d'outil 'yy'

Avec l'adresse D et les chiffres 'yy', on choisit le numéro de correction d'outil souhaité.

L'adresse M06 :

Avec la commande M06, on appelle le changement d'outil. Exemple N005 T04 D04 M06

2.3.6 : La correction de trajectoire d'outil : afin d'augmenter la durabilité de l'outil de tour et pour améliorer la qualité de la surface de la pièce, on arrondit la pointe des plaques de coupe. Lorsque les déplacements ne sont pas parallèles aux axes (déplacement en arc) cet arrondissement de la pointe de l'outil de tour conduit à des déformations de contour ou à des erreurs de contours sur la pièce. Lors du tournage longitudinal ou transversal au contraire, de telles erreurs n'apparaissent pas. Pour obtenir la forme souhaitée de la pièce, la trajectoire de l'outil doit s'effectuer parallèlement au contour de la pièce et en respectant un écart correspondant au rayon. On appelle cette trajectoire, la trajectoire d'outil équidistante. Cette trajectoire d'outil équidistante peut être ou bien calculé ensuite programmé, ou bien être prise automatiquement en compte par la commande CNC grâce à la correction de trajectoire d'outil. En ce qui concerne la correction de la trajectoire d'outil, nous disposons des commandes G41 et G42. La question de savoir laquelle de ces deux commandes doit être programmée, dépend du point de savoir si l'outil se déplace à gauche ou à droite du contour de la pièce. Pour que la commande puisse calculer la trajectoire d'outil équidistante, il lui faut connaître le rayon du tranchant de l'outil et aussi la position du tranchant de l'outil. L'annulation de la commande de correction de trajectoire d'outil s'effectue au moyen de la commande G40.

2.4 Programmation des MOCN

2.4.1 Instructions programmées et leurs supports :

La programmation est le travail de préparation qui consiste à transposer sous forme de texte alphanumérique, la gamme d'usinage de la pièce en un ensemble ordonné d'instructions comprises et exécutées par la CN en vue de réaliser son usinage.

Ce travail peut être effectué manuellement ou avec l'assistance d'un ordinateur utilisant un langage de programmation évolué, à titre indicatif, la figure 2.8 classe différentes méthodes de programmation en fonction des compétences du programmeur et de la complexité des machines à piloter.

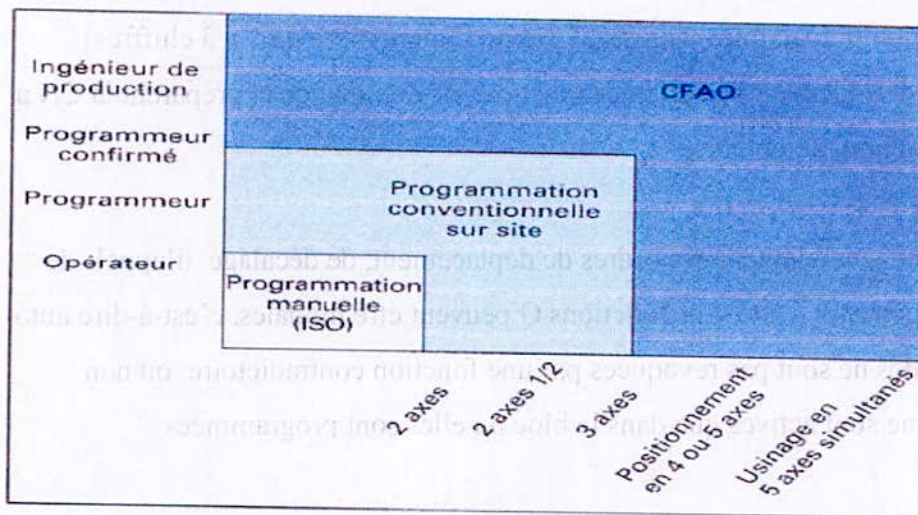


Figure 2.8 – Méthodes comparées de programmation [11]

2.4.2 Codification des instructions :

Les instructions d'un programme sont écrites dans un langage codé appelé langage machine dont le format variable et les adresses répondent aux normes internationales ISO.

Ce langage utilisé pour décrire les opérations d'usinage sur une MOCN comporte un certain nombre de lignes d'écriture appelées blocs d'information, chaque ligne correspondant à une étape particulière du processus d'usinage (figure 17). Chaque bloc, ou

séquence d'usinage, contient plusieurs mots qui sont la combinaison de lettres d'identification appelées adresses et d'une série de chiffres accompagnés ou non d'un signe (+) ou (-).

La plupart des machines actuelles acceptent des blocs à format variable dans lesquelles ne figurent que les seules instructions nécessaires à leur exécution, celles déjà fournies et encore actives n'ont pas à être répétées [11].

Chaque fabricant de CN spécifie dans son manuel de programmation la façon d'écrire les données numériques allouées aux différentes lettres- adresses (nombre de chiffres avant et après la virgule, mode de séparation des entiers et des décimales, etc.), pour exemple, les lettres- adresses usuelles sont indiquées sur la figure 2.9 :

- les mots numéro de bloc (adresse N suivie d'un nombre de 1 à 5 chiffres) figurent obligatoirement au début de chaque bloc, un numéro de bloc précédé du signe/ permet de sauter le bloc correspondant si l'opérateur le désire ;
- les mots fonction préparatoire (adresse G suivie d'un nombre de 1 à 3 chiffres) définissent le déroulement de certaines fonctions de commande et préparent la CN à exécuter une action bien précise.

Ce sont généralement des ordres de déplacement, de décalage, d'appels de cycles spécifiques d'usinage, ... etc. Les fonctions G peuvent être modales, c'est-à-dire auto-maintenues tant qu'elles ne sont pas révoquées par une fonction contradictoire, ou non modales lorsqu'elles ne sont actives que dans le bloc où elles sont programmées.

Un bloc d'information peut contenir plusieurs fonctions préparatoires G si elles ne sont pas contradictoires ;

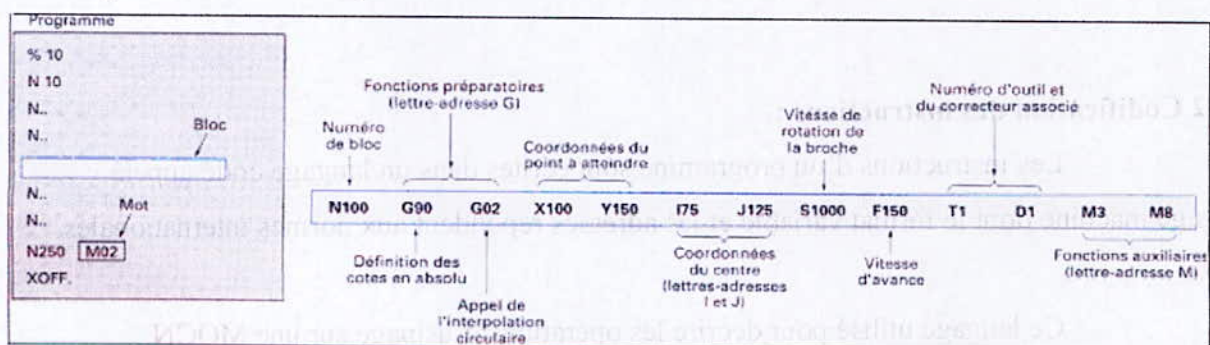


Figure 2.9 – Structure d'un programme d'usinage avec l'organisation d'un bloc [12]

2.4.3 Supports d'information :

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

La bande perforée représente le mode de changement des programmes le plus ancien, elle est constituée d'un support en papier ou en matière plastique sur lequel les informations du programme sont codées en binaire. Un lecteur photoélectrique transmet alors ces informations à la CN en vue de leur mémorisation. Le manque de fiabilité des lecteurs et la mauvaise tenue des bandes à l'usure et au déchirement ont longtemps été à l'origine de défaillances à répétition.

Dès l'arrivée des CN à calculateur, on n'effectuait déjà plus qu'une seule lecture du ruban de manière à stocker ses informations dans la mémoire RAM de la CN, celle-ci pouvant alors poursuivre l'usinage en toute autonomie.

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

En plus des supports physiques que sont la bande perforée, la cassette magnétique ou la disquette, l'information peut aussi être introduite manuellement au pupitre de la MOCN.

L'opérateur utilise alors le clavier du pupitre pour charger dans la CN, caractère par caractère, les données du programme d'usinage.

L'information peut enfin provenir d'un micro-ordinateur de type PC ou même d'un calculateur central avec une liaison DNC (commande numérique directe).

2.4.5 Nature des déplacements [13]:

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

Les plus courants sont :

- le positionnement rapide (G00), qui impose aux organes mobiles d'atteindre le point programmé en effectuant une trajectoire linéaire, à la vitesse maximale permise par la machine. Des vitesses de plusieurs dizaines de mètres par minute sont des valeurs courantes sur la plupart des MOCN modernes ;
- l'interpolation linéaire (G01), qui permet d'atteindre le point programmé en parcourant une trajectoire linéaire à la vitesse d'avance spécifiée par le programmeur sous l'adresse F (figure 2.10a) ;
- l'interpolation circulaire (G02, G03 ou G23), qui a pour fonction de décrire des cercles complets ou des arcs de cercle à partir de certains éléments géométriques caractéristiques qui les définissent, comme les coordonnées du centre et celles de points extrêmes par exemple (figure 2.10b).

Parmi les autres modes de déplacement, on peut citer :

- l'interpolation hélicoïdale, qui combine un mouvement circulaire dans un plan avec un mouvement de translation perpendiculaire à ce plan (figure 2.10c) ;
- l'interpolation parabolique dans le plan, où chaque segment parabolique est géométriquement défini par un groupe de 3 points, le dernier point d'un segment devant être le premier du segment suivant (figure 2.10d) ;
- l'interpolation polynomiale, qui permet la définition de trajectoires à partir de polynômes et qui est utilisée pour le lissage des courbes de type spline.

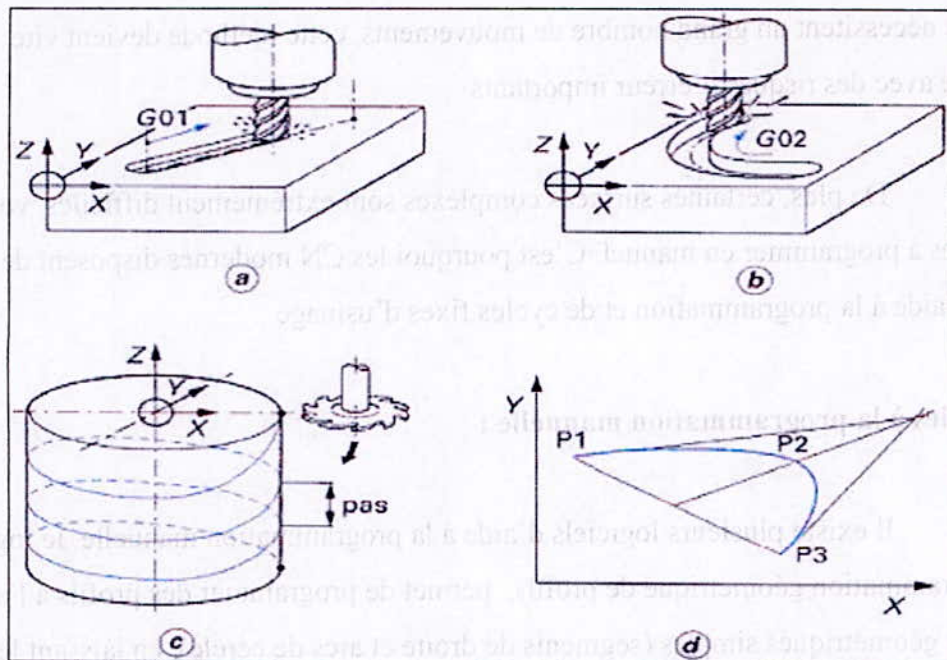


Figure 2.10 – Interpolations linéaire, circulaire, hélicoïdale et parabolique [13]

2.4.6 Programmation manuelle :

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

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

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

Pour un opérateur qualifié, la programmation manuelle peut être un moyen efficace d'effectuer des opérations simples. Mais lorsque les pièces deviennent compliquées

et qu'elles nécessitent un grand nombre de mouvements, cette méthode devient vite fastidieuse avec des risques d'erreur importants.

De plus, certaines surfaces complexes sont extrêmement difficiles, voire impossibles à programmer en manuel. C'est pourquoi les CN modernes disposent de logiciels intégrés d'aide à la programmation et de cycles fixes d'usinage.

2.4.6.1 Aides à la programmation manuelle :

Il existe plusieurs logiciels d'aide à la programmation manuelle, le logiciel PGP (programmation géométrique de profil), permet de programmer des profils à l'aide d'éléments géométriques simples (segments de droite et arcs de cercle), en laissant le soin à la CN de calculer les points de raccordement entre ces éléments.

Dans ce but, le langage machine est enrichi d'informations spécifiques qui précisent les positions relatives entre les éléments consécutifs (ES pour élément sécant, ET pour élément tangent, EA pour l'angle par rapport à un axe de référence).

Des signes (+) ou (-) sont utilisés pour lever les indéterminations possibles (figure 2.11).

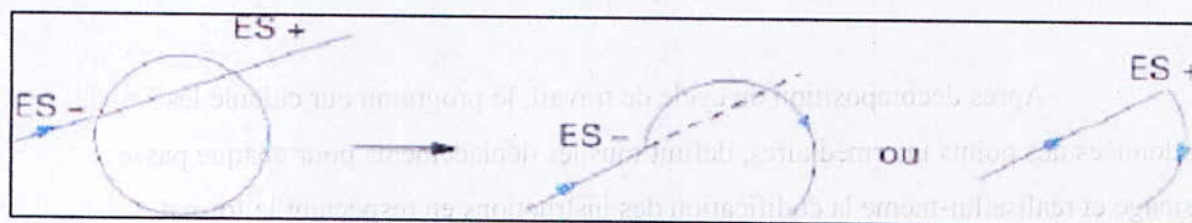


Figure 2.11- exemple de signe affectés [13]

2.5 Programmation conversationnelle :

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



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

Ces pages d'écran peuvent être :

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

Toutes ces pages font largement appel aux possibilités graphiques étendues des CN pour faire apparaître des zones de saisie, des croquis ou des images animées d'outils en cours de travail, par exemple, le logiciel de programmation interactif SINUMERIK de EMCO apporte une assistance graphique permanente aux différentes étapes de la programmation, de la mise au point et de l'usinage (figure 2.12). [14]

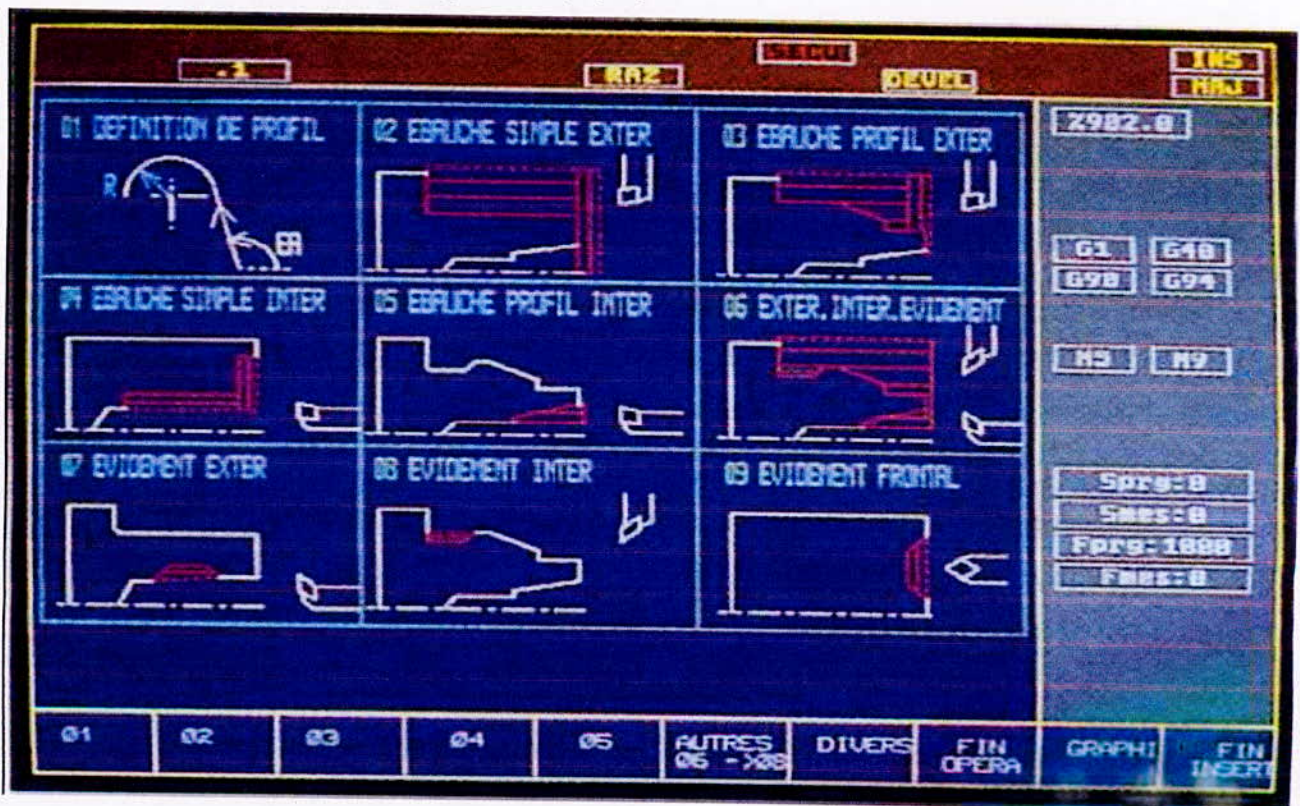


Figure 2.12 – Programmation conversationnelle SINUMERIK [14]

Actuellement, la quasi-totalité des CN sont conçues de manière à ce que la programmation conversationnelle s'effectue en temps masquer.

L'opérateur a donc toute liberté de créer et de simuler un nouveau programme sur l'écran de sa CN, sans interrompre le déroulement de l'usinage en cours.

Il convient enfin de souligner que la CN convertit en langage ISO toutes les informations qui ont été programmées en mode conversationnel.

Le programme correspondant, même s'il est transparent pour l'utilisateur, est donc récupérable à tout instant en vue d'une modification rapide ou du stockage sur une mémoire périphérique.

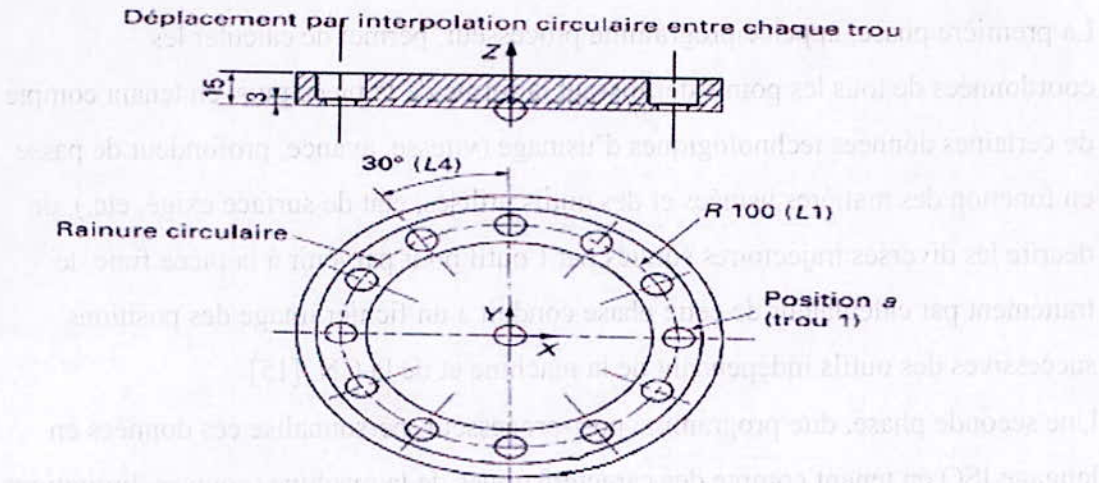
2.6 Programmation de cycles d'usinage :

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

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

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

- cycles d'ébauche, de dressage, de perçage, d'usinage de gorges, d'usinage avec outil tournant, de filetage et de palpé sur les machines de tournage ;
- cycles de perçage (exemple donné en figure 2.13), de taraudage, d'alésage, de surfacage, de rainurage, de contournage, d'usinage de poches, de filetage au grain et de palpé sur les machines de fraiseuse ;



<pre> %90 N10 T01 D01 M06 (FORET) N20 G00 G52 Z0 N30 S500 M03 M40 N40 L1=100 (RAYON) N50 L2=5 (Z APPROCHE) N55 L3=-5 (Z PERÇAGE) N60 L4=30 (ED) N65 L5=12 (NBRE DE TROUS) N70 X0 YL1 N80 ZL2 N90 G79 N150 N100 G81 ZL3 F100 N110 G80 G91 EDL4 N120 L10=L10+1 N130 G79 L10=L5 N160 N140 G90 G03 X0 YL1 I0 J0 F5000 N150 G77 N100 N140 SL5 N160 G00 G52 Z-50 N170 G52 X-100 Y-50 M05 N180 M02 </pre>	<pre> Numéro de programme Appel outil + correcteur Point de dégagement outil Mise en route broche Définition variable 1 Définition variable 2 Définition variable 3 Définition variable 4 Définition variable 5 Point a, approche XY Approche Z Saut au bloc N150 Cycle de perçage Décalage angulaire 30° Incrémentatation Condition : si L10=L5, saut bloc N160 Déplacement circulaire Répétition du cycle Retour au point de dégagement Z Retour au point de dégagement XY Fin de programme </pre>
--	--

Figure 2.13 –programmation paramétrée : perçage en cycle de 12 trous décalés angulairement dans le plan XY [15]

2.7 Programmation assistée :

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

Ce langage a généralement deux phases de traitement des programmes.



- La première phase, appelée programme processeur, permet de calculer les coordonnées de tous les points définissant la forme de la pièce puis, en tenant compte de certaines données technologiques d'usinage (vitesse, avance, profondeur de passe en fonction des matières usinées et des outils utilisés, état de surface exigé, etc.), de décrire les diverses trajectoires suivies par l'outil pour parvenir à la pièce finie, le traitement par ordinateur de cette phase conduit à un fichier image des positions successives des outils indépendant de la machine et de la CN. [15]
- Une seconde phase, dite programme post-processeur, personnalise ces données en langage ISO en tenant compte des caractéristiques de la machine (courses, limitations) et de celles de la CN utilisée (format, fonctions particulières, etc.).

Ce post-processeur permet de compenser les différences d'écriture qui existent entre des matériels de provenance diverse, un programme écrit pour une machine donnée étant rarement opérationnel sur une autre machine sans quelques aménagements préalables.

Le langage de programmation assistée le plus universel est le langage APT (Automatically Programmed Tools).

Très souple, ce langage autorise l'écriture de programmes d'usinage de géométries tridimensionnelles complexes, y compris sur les machines conçues pour travailler en cinq axes simultanés. L'utilisation d'APT réclame cependant des systèmes informatiques très puissants, ce qui explique l'apparition de nombreux langages dérivés plus simples (IFAPT, MINIAPT, EXAPT, etc.) exploitables directement sur des micro-ordinateurs [15].

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



CHAPITRE 3

Pourquoi l'utilisation de la commande numérique ?**3.1 Automaticité :**

Le premier avantage d'une CN est d'offrir aux machines qui en sont équipées un très haut niveau d'automatisme.

Sur de telles machines, l'intervention de l'opérateur nécessaire pour assurer la production de pièces peut être considérablement réduite voire **supprimée**.

De nombreuses MOCN peuvent ainsi fonctionner sans aucune assistance pendant toute la durée de leur cycle d'usinage, laissant l'opérateur libre d'accomplir d'autres tâches en dehors du poste de travail.

Cette caractéristique présente par ailleurs un certain nombre d'avantages moins palpables mais tout aussi importants, tels qu'une diminution notable de la fatigue de l'opérateur, moins d'erreurs d'origine humaine et un temps d'usinage constant et prévisible pour chaque pièce d'une même série.

Si l'on compare une MO conventionnelle et une MOCN, on peut considérer que le temps copeau est assez voisin sur les deux types de machines.

En revanche, la productivité comparée de diverses catégories de machines de niveaux d'automatisation différents, c'est-à-dire ce même temps copeau ramené au temps effectif de production, est très différent compte tenu de la réduction importante des temps non productifs que l'on enregistre sur les machines à fort taux d'automatisation (figure 3.1).

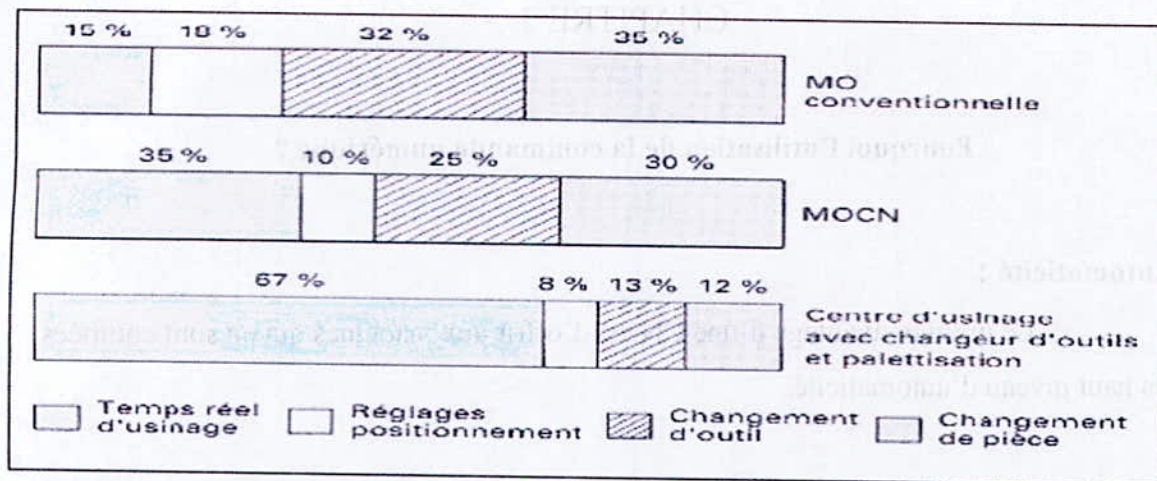


Figure 3. 1 – Productivité comparée de diverses machines en fonction de leur degré d'automatisation [16].

3.2 Flexibilité :

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

Une MOCN se caractérise en outre par des temps de réglage très courts qui répondent parfaitement aux impératifs de la production en flux tendus.

La grande souplesse d'utilisation de la CN entraîne une quantité non négligeable d'autres avantages :

- changement aisé du programme d'usinage des pièces ;
- réduction des en-cours de fabrication ;
- réduction des outillages et suppression des gabarits ;
- diminution du nombre des outils spéciaux et des outils de forme ;
- réduction des temps de préparation et de réglage du poste de travail (la plupart des réglages, en particulier des outils, étant effectués hors machine) ;
- prise en compte rapide des modifications d'usinage (il est plus facile de modifier une ligne de programme qu'un outillage spécial ou un gabarit) ;
- définition plus rapide et plus fiable des conditions optimales d'usinage ;
- réduction du nombre de prises de pièces du fait de l'universalité de la machine ;
- diminution du temps d'attente entre les diverses machines d'usinage d'un atelier ;
- **gain sur les surfaces au sol occupées dans l'atelier ;**

- possibilité de réaliser des pièces complexes en gérant des déplacements simultanés sur plusieurs axes ;
- contrôle automatique des outils et des dimensions de pièces avec prise en compte par la CN des corrections à effectuer.

3.3 Sécurité [17] :

3.3.1 Sécurité à concept parallèle :

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

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

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

La mise en œuvre de commandes d'axe à sécurité intégrée en milieu industriel et en particulier sur des machines à commandes numérique ou sur des centres d'usinage, permet entre autre d'améliorer la sécurité des opérateurs, mais ne supprime pas pour autant tous les risques et peut parfois en engendrer de nouveaux.

C'est pourquoi, l'exploitation récente de ces dispositifs a conduit à s'interroger sur leur capacité à assurer la sécurité des intervenants, notamment sur le niveau de sécurité qu'ils offrent vis-à-vis des équipements conventionnels.

L'usinage à grande vitesse (UGV) se généralise dans les différents secteurs de l'industrie et plus particulièrement dans le domaine de la machine-outil à commande numérique.

Avec ces nouveaux outils de production, les vitesses de rotation et de déplacement ont été multipliées par dix par rapport aux centres d'usinage conventionnels des années 1990

Cette augmentation des performances n'est pas sans créer de nouveaux risques tels que ceux de collision ou encore d'éclatement d'un outil.

Pour y remédier, certains constructeurs ont développé de nouvelles techniques de sécurité afin d'assurer la protection des opérateurs amenés à côtoyer de telles machines

Plusieurs questions viennent immédiatement à l'esprit :

- quel est le comportement de ces nouveaux dispositifs en présence d'un dysfonctionnement interne (matériel ou logiciel), notamment sur leurs performances d'arrêt ?
- comment peut-on autoriser un opérateur à côtoyer ou à accéder en sécurité à la zone d'usinage ?

Plusieurs réponses à ce type de problème nous ne citerons que les plus remarquables de part leur fiabilité

La commande d'axe à sécurité intégrée « SINUMERIK » : l'objectif de ce concept est de garantir, quel que soit le mode de marche de la machine (exploitation, contrôle, etc.) un arrêt sûr des mouvements de la machine lorsqu'une anomalie est décelée.

Le but est bien sûr de ne pas porter atteinte à l'intégrité physique de l'opérateur mais aussi d'éviter toutes collisions mécaniques des organes en mouvement.

Parmi ces protections :

- Les capotages intégraux qui, lorsque la porte d'accès est ouverte n'autorisent aucun mouvement.
- Surveillance numérique et physique de chaque mouvement programmé ou généré par la commande elle-même, ceci est principalement effectué par l'emploi de trajectoires limites mémorisées au préalable dans la commande numérique, le schéma suivant

explicite de façon très détaillée le mode de fonctionnement de la méthode SIUMERIK.

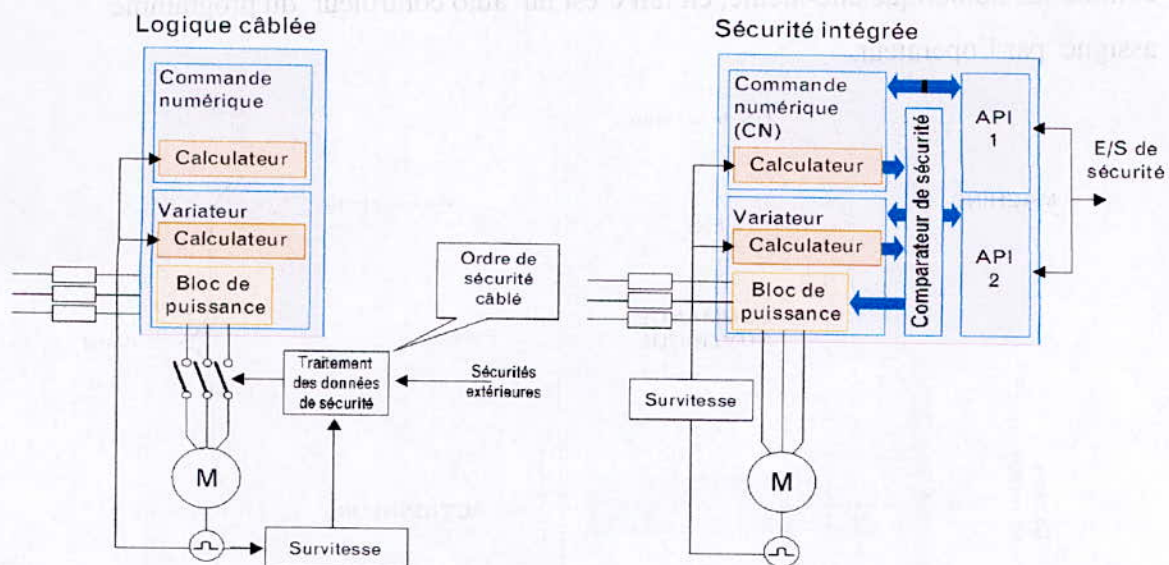


Figure 3. 2 : passage de la logique câblée a la sécurité intégrée [17]

3.3.2. Description du concept de « sécurité intégrée » :

L'approche théorique du concept de sécurité intégrée est essentiellement basée sur les points suivants :

- Le traitement des informations se fait par deux canaux indépendants.
- La comparaison des données s'effectue avec dynamisation forcée et comparaison croisée afin de déceler des défauts internes.
- L'accès aux données du processeur du variateur est décuplé par un automate programmable et par une interface spécialisée des entrées/sorties qui seront analysées et comparées par cette même interface.

Un autre principe de sécurité intégrée est celui de siemens, en fait dans cette structure de sécurité intégrée le bloc de puissance est divisé en deux parties de telle façon que le premier apport de puissance est apporté par la commande numérique, l'autre partie de puissance étant apportée par un « API » Automate Programmable Industriel, cependant, un comparateur de données permanent assure la liaison entre la commande numérique et l'API.

Il est évident que les API sont eux même programmés au préalable par la commande numérique elle-même, en fait c'est un auto contrôleur du programme assigné par l'opérateur.

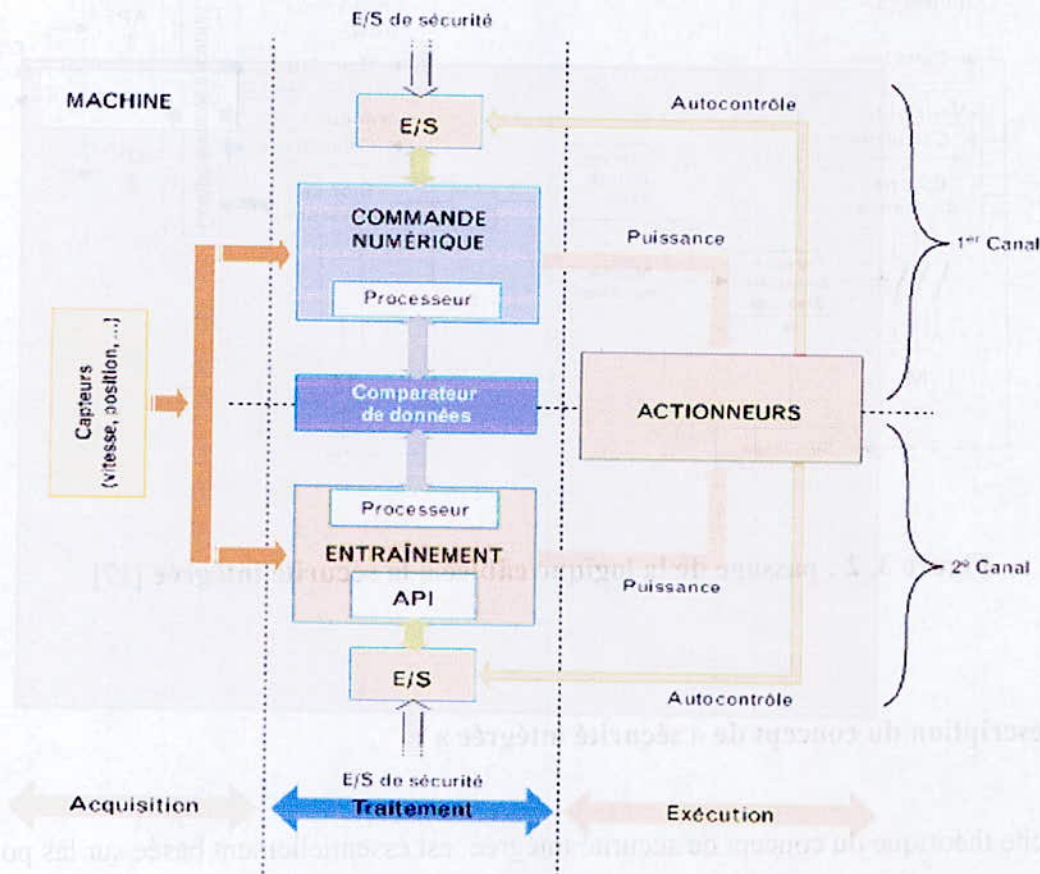


Figure 3.3: tableau de commande du concept de sécurité intégrée [17]

- Les capteurs de vitesse et de position agissent sur chacun des canaux ;
- Les actionneurs (moteurs électrique) sont pilotés par les deux canaux de commande des circuits de puissances, chaque actionneur restitue vitesse et position ;

Immobilisation sûre des organes :

L'immobilisation sûre n'est pas une fonction indépendante, elle est totalement incrémentée dans le processus pouvant être réalisé avec des fonctions SINUMERIK, de cette façon on est sûr et certain qu'il y'aura arrêt de mouvement quelle qu'en soit la défaillance décelée.

3.3.2 Interchangeabilité des commandes :

Une machine munie de la commande numérique peut fonctionner avec plusieurs commande, très diversifié mais de même principe de base, en effet par exemple : un tour peut aussi bien fonctionné avec SINUMERIK qu'avec ces commandes : FANUC, HEIDENHAIN, CT 40, WIN NC, WIN CTS... etc. Mais pas ELITRO PILOT (qui a une fréquence de hachage de 30 Hz), la seule contrainte à respecté, est la période de hachage du bloc d'information, chaque commande, donc logiciel de commande a sa propre fréquence de travail (hachage). Le non respect de cette période entraînent directement des disfonctionnement de la machine et principalement des collisions, qui peuvent être fatales aux organe de la machine. La figure ci- dessous illustre cette interchangeabilité

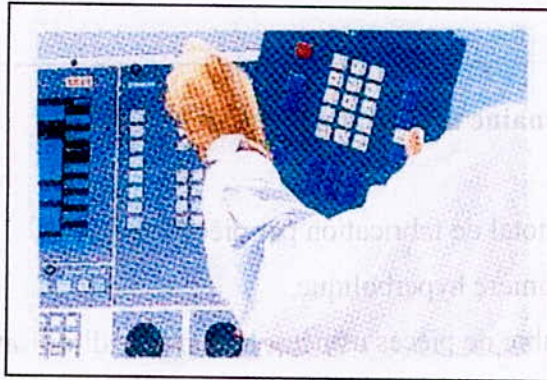


Figure 3.4

3.4 Domaine d'utilisation et coût :

Le système de fabrication le plus rentable est celui qui engendre le coût d'une pièce le plus bas. Ce coût est calculé par la formule suivante:

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

Avec :

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.

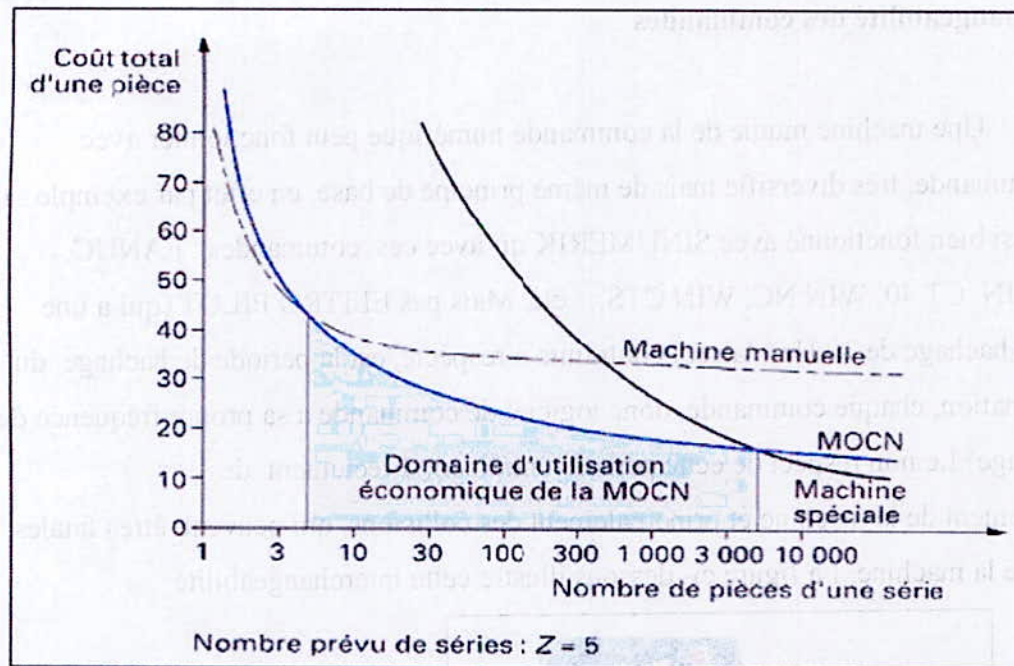


Figure 3.5 – Domaine d'utilisation des MOCN [18]

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 MOCN se situe dans la petite et la moyenne séries.

Les MO conventionnelles restent rentables pour des opérations simples où elles 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.

3.5 Entraînement des organes dans une CN :

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

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

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

3.5.1 Moteurs

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

- les moteurs pas à pas, conçus de manière à tourner d'une valeur angulaire fixe donné (un pas) à chaque impulsion transmise par leur électronique de commande. Le contrôle du nombre d'impulsions permet la réalisation de déplacements très précis.

D'un coût peu élevé et d'un entretien limité, ces moteurs peuvent fournir des couples importants à des vitesses moyennes. En contre-partie, ils ont tendance à chauffer rapidement et perdent leur capacité d'accélération à haute vitesse. Ils sont essentiellement destinés au travail en boucle ouverte ;

- faciles à mettre en oeuvre et à contrôler, les moteurs à courant continu se caractérisent par un fort couple de démarrage et de bonnes capacités de vitesse et d'accélération.

Bien qu'éprouvée, leur technologie n'en demeure pas moins ancienne, ce qui présente certains inconvénients comme, par exemple, la présence de balais qui impose des entretiens périodiques ou l'apparition fortuite de phénomènes de démagnétisation des aimants permanents dus au courant circulant dans le rotor ;

- les moteurs synchrones autopilotés à courant alternatif sont aujourd'hui les plus fréquemment utilisés, plus connus sous le nom de moteurs sans balais, ils se composent d'un rotor à aimants permanents, d'un stator généralement triphasé et d'un dispositif interne de commutation de phases et se caractérisent par une grande robustesse, une très bonne dissipation thermique, des vitesses élevées (entre 4 000 et 10 000 tr/min), un entretien pratiquement nul, une puissance massique élevée (moteur plus compact pour un même couple) et un moment d'inertie du rotor très faible. Le principe de commande le plus couramment retenu pour ces moteurs est de type sinusoïdal, en raison de la bonne stabilité qu'il procure à basse vitesse.

La commande des broches de machines est essentiellement confiée à des moteurs asynchrones, conçus pour être utilisés à puissance constante sur la plus large plage de vitesses possible, ces moteurs peuvent délivrer des puissances de plus de 100 kW et être animés, à partir d'une vitesse nominale de 1 500 tr/min, de vitesses de rotation maximales pouvant atteindre 6 000 ou 12 000 tr/min.

3.5.2 Variateurs électroniques de vitesse :

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

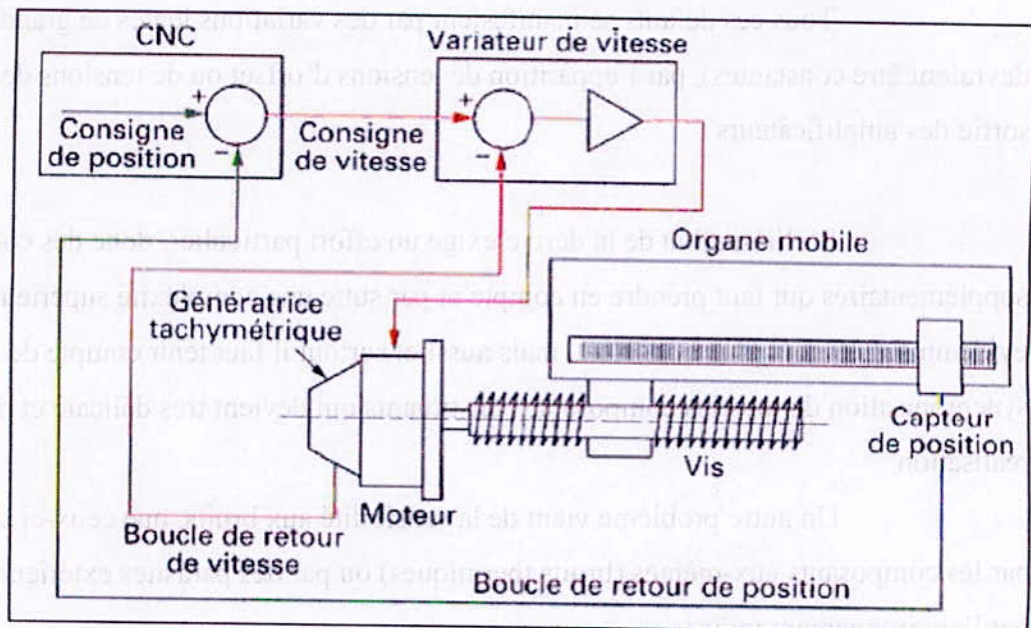


Figure 3.6 – Principe d'asservissement d'un organe mobile [19]

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

3.6 : Comparaison des commandes numériques et analogiques :

La comparaison des deux technologies (numérique et analogique) est délicate, mais intéressante. En effet, chacune a ses avantages et ses inconvénients propres, et cette comparaison permet de bien situer la problématique.

3.6.1 Limites de la commande analogique et avantages de la technologie numérique :

On reproche à la commande analogique un certain nombre de défauts très variés qui peuvent provenir de plusieurs facteurs (thermique, physico-chimiques, mécanique).

C'est différents phénomènes entraînent des dérives qui ne sont pas sans conséquences sur le fonctionnement d'un processus.

Tous ces défauts se manifestent par des variations lentes de grandeurs (qui devraient être constantes), par l'apparition de tensions d'offset ou de tensions de dérive à la sortie des amplificateurs.

L'élimination de la dérive exige un effort particulier, donc des composants supplémentaires qui faut prendre en compte et par suite une complexité supérieure et évidemment un coût plus important, mais aussi et surtout il faut tenir compte de la synchronisation de tous les composants constituants qui devient très délicate et difficile de réalisation.

Un autre problème vient de la sensibilité aux bruits, que ceux-ci soient créés par les composants eux-mêmes (bruits thermiques) ou par des parasites extérieurs introduits par l'environnement industriel.

Ce dernier cas est particulièrement important avec la commande de machines électriques, à cause de l'usage des convertisseurs statiques qui polluent considérablement le réseau.

Remarquons que les structures numériques peuvent être protégées contre les bruits par des techniques déjà efficaces en analogique (blindage), mais aussi par des techniques spécifiques comme le filtrage numérique des signaux qui permet d'éliminer les points aberrants sans limiter la bande passante (dans cet exemple, on voit une solution logicielle se substituer à une solution matérielle).

Il existe des difficultés dans la transmission des signaux analogiques à cause de l'atténuation en effet la transmission de signaux numériques (à des distances raisonnables) ne souffre pas de l'atténuation mais dès que ces distances deviennent importante comme c'est le cas dans les centre d'usinage, il convient de traiter la commande juste avant son application à l'organe.

La réalisation de certaines fonctions, comme la mémorisation ou les retards, est très difficile en analogique et très simple en numérique, il faut aussi noter la complexité de réalisation dès que l'on quitte le domaine des régulateurs classiques [PID (proportionnel intégral + dérivée)].

synchronisme et asynchrone :
sorties) ;

C'est, en fait, un point fondamental, car nous verrons que les lois de commande spécifiques des machines électriques sont rapidement compliquées à réaliser, même dans des cas apparemment, simples, et certaines stratégies sont d'une haute sophistication, très peu de fonctions analogiques sont réalisées en circuits intégrés et il faut avoir recours à un grand nombre de composants discrets.

La mise au point et les réglages sont longs et coûteux, et le nombre élevé de faux contacts possibles s'oppose à une bonne fiabilité, par ailleurs, il y a un niveau de complexité que l'on considère comme déraisonnable en analogique, alors qu'il semble naturel en numérique.

Cependant il est évident que la commande analogique présente certains avantages par rapport au numérique et qui ne sont pas sans négligence, mais qui reste tout de même secondaire par rapport aux nombreux avantages du numérique, en effet la commande analogique traite les signaux de façon continue mais aussi la rapidité d'action malgré une certaine atténuation, en contre partie la commande numérique apparaît comme lent et manipule des grandeurs discrètes et quantifiées. Ces dernières caractéristiques posent des problèmes permanents aux concepteurs.

3.6.2 Rapidité :

Les phénomènes électriques dans les machines sont très rapides et peuvent être destructeurs, les montages analogiques peuvent répondre quasi instantanément, ce qui ne peut pas être le cas avec des composants numériques.

En ce qui concerne la commande numérique, il y a là un problème qui se pose en des termes différents selon que l'on considère :

- un convertisseur lent (par exemple un redresseur à thyristors sur le réseau à 50 Hz) ; dans ce cas, la commande numérique peut être considérée comme presque parfaite ; les sécurités peuvent être gérées et les régulations réalisées avec des microprocesseurs de performances modestes ;
- un convertisseur rapide (par exemple un hacheur fonctionnant à plusieurs dizaines de kilohertz) ; dans ce cas, même avec des microprocesseurs très performants, des précautions particulières doivent être prises et plusieurs types de

stratégies peuvent être envisagées, s'appuyant soit sur des solutions matérielles, soit sur des solutions logicielles.

1. Solutions matérielles [20]

On peut envisager différentes architectures :

1.1 : Avec les structures hybrides, les fonctions les plus rapides (boucles de courant par exemple) restent réalisées en composants analogiques.

1.2 : Avec les structures purement numériques, on peut jouer sur des solutions matérielles qui s'appuient sur différentes architectures :

- mono ou bien multiprocesseur ;
- usage de composants spécialisés externes (mémoires, compteurs, transformateurs de Park, réseaux logiques programmables, etc.) ;
- recours à des microprocesseurs, qui peuvent être généralistes ou bien spécialisés : processeurs de signaux, microcontrôleurs équipés de fonctions propres à la commande de machines comme.

2. Solutions logicielles [20] :

Elles se fondent soit sur des concepts informatiques, soit sur des concepts venus de l'automatique.

2.1 L'informatique propose l'écriture soignée de programmes bien structurés.

L'usage soit de langages très proches de la machine (assembleur), soit de langages évolués (comme le C), dans tous les cas, les difficultés propres à la programmation en temps réel sont accentuées par les problèmes de sécurité et de rapidité.

2.2 L'automatique propose des solutions propres : modélisation dans le cadre des systèmes échantillonnés (transformée en z, variables d'état), mais ces méthodes ne sont réellement simples que dans le cas des systèmes linéaires, mono variables toutes les variables utiles étant mesurables, or les machines électriques, notamment les machines synchrones et asynchrones, sont non linéaires, multi variables (plusieurs entrées, plusieurs sorties), et certaines variables importantes (le couple, le flux rotorique des machines

asynchrones ou les courants dans les amortisseurs des machines synchrones) ne sont pas mesurables et enfin, certains paramètres fondamentaux ne sont pas constants (résistance rotorique du moteur asynchrone).

Il faut alors, des modèles et des structures de commande très spécifiques et, malgré les nombreux travaux déjà effectués, beaucoup de problèmes importants ne sont que partiellement résolus.

Les commandes numériques sont souvent considérées comme complexes de ce fait les variables internes à la commande sont peu accessibles, sauf si le logiciel l'a prévu, ce qui l'alourdit.

Si l'on utilise un microprocesseur pour compacter un grand nombre de fonctions, il faut effectuer une prévision globale :

- En effet, le logiciel doit traiter en un seul bloc l'ensemble des problèmes que l'analogique résout par des modules séparés, grand avantage pour l'analogique.
- Il est plus délicat de faire varier les coefficients des régulateurs numériques que ceux des régulateurs analogiques.

Lors d'un essai en analogique, on peut régler des paramètres petit à petit en toute sécurité, alors que, en numérique, une erreur sur un nombre peut avoir des effets catastrophiques.

- Enfin, l'échantillonnage a un effet déstabilisant très sensible, et on n'est pas toujours maître du paramètre période d'échantillonnage, à cause du temps de calcul.

Aussi est-il fréquent que les modèles utilisés (surtout pour les machines à courant alternatif) soient des modèles continus, ce qui conduit à des algorithmes de commande continus que l'on approxime par des algorithmes discrets.

Cette stratégie a des limites (apparition d'oscillations ou d'instabilités que les modèles continus ne peuvent prévoir), c'est pourquoi la modélisation des systèmes en vue de leur commande numérique a été beaucoup développée, il faut donc faire des méthodes de

représentation mathématique un outil précieux pour la synthèse des lois de commande quand on transforme les modèles mathématiques en schémas fonctionnels.

3.6.3 Problèmes des fréquences :

Dans toutes commandes numérique il persiste un problème majeur c'est celui des fréquences, en fait vue que le mode de transfert d'ordre s'effectue par quantité finies (discrétisé par la période de hachage du convertisseur statique)

Il ya la obligation de fait des boucles imbriquées de tel façon a garantir une synchronisation des étapes a suivre par la commande.

Dans une étape il existe généralement 6 phases a accomplir simultanément, qui sont :

- Phase 1 : la référence de position est affichée avec une période de l'ordre de 10 ms ;
- Phase 2 : le régulateur de position suit instantanément le calculateur de trajectoire avec une même période d'échantillonnage;
- Phase 3 : la machine doit répondre en vitesse en quelques millisecondes ; la bande passante en vitesse est de quelques centaines de hertz, d'où une période d'échantillonnage de l'ordre de la milliseconde ;
- Phase 4 : le couple doit répondre en quelques centaines de microsecondes ; les boucles de courant doivent donc avoir des bandes passantes de quelques kilohertz (période d'échantillonnage de 100 μ s) ;
- Phase 5 : les onduleurs qui alimentent les servomoteurs sont à transistors et les fréquences de commutation sont très élevées (5 à 20 kHz, période de hachage de 50 μ s) ;
- Phase 6 : l'allumeur du convertisseur doit maîtriser des phénomènes électriques très rapides (sécurité, surveillance de la commutation des composants) dont la durée est de l'ordre de la microseconde, ou même sensiblement moins.

ou pour des raisons de sécurité on affecte les fréquences les plus élevées aux phases de surveillance, mais aussi ces dernières doivent être obligatoirement imbriquées dans le noyau même de chaque étape et ce durant chaque phase de l'étape.

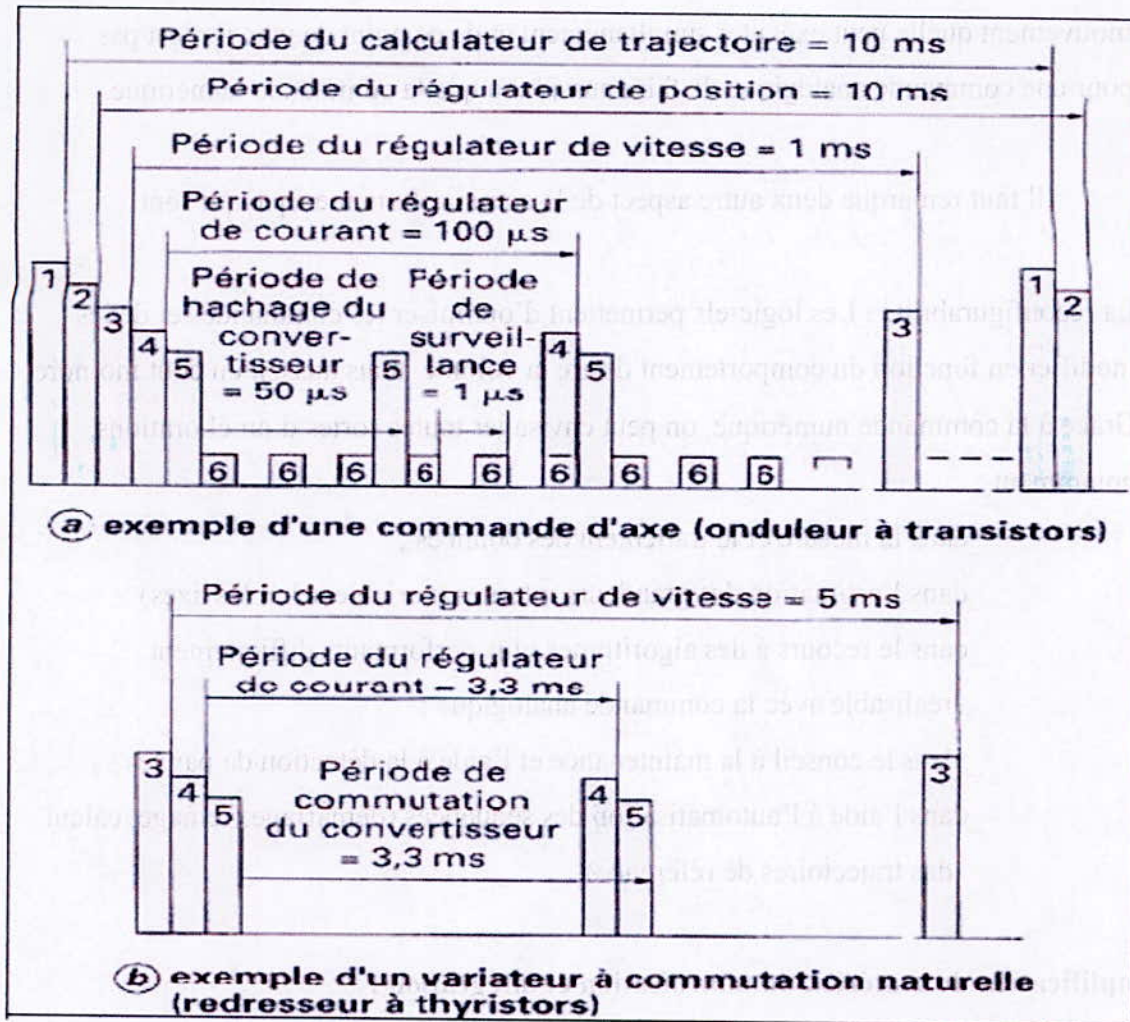


Figure 3.7 : Diagrammes temporels définissant les périodes relatives à chaque niveau [20]

3.6.4 L'avantage décisif de la commande numérique :

Effectivement la commande analogique, permet une rapidité et une continuité meilleures que celle du numérique, mais le fait de pouvoir compacter plusieurs fonctions complexes en un seul microprocesseur est évidemment un avantage indéniable de la commande numérique.

Dans une machine-outil quelconque le plus important est la synchronisation de tous les mouvement quelle peut exécuter simultanément et de ce point de vue, il n'est pas évident pour une commande analogique de faire aussi bien que la commande numérique.

Il faut remarque deux autre aspect de la commande numérique qui sont :

- La reconfigurabilité : Les logiciels permettent d'optimiser les commandes et de les modifier en fonction du comportement désiré a volonté mais aussi a un coût moindre
- Grâce à la commande numérique, on peut envisager toutes sortes d'améliorations, notamment :
 - _ dans la mesure et le traitement des données ;
 - _ dans l'estimation des grandeurs internes (variable selon les axes) ;
 - _ dans le recours à des algorithmes plus performants difficilement réalisable avec la commande analogique ;
 - _ dans le conseil à la maintenance et l'aide à la détection de pannes ;
 - _ dans l'aide à l'automatisation des séquences (démarrage, freinage, calcul des trajectoires de référence).

3.6.5 Simplification du matériel, Standardisation et intégration :

Puisque les fonctions sont réalisées par des logiciels, c'est toujours la même base matérielle (un microprocesseur et ses interfaces) qui est utilisée pour toutes sortes d'applications.

Par ailleurs, les commandes de machines sont toujours insérées dans des automatisations plus générales, actuellement réalisées par des microcalculateurs, ce qui facilite l'intégration et la synchronisation de tous les éléments.

Ces propriétés seraient moins aisées à obtenir avec des ensembles comprenant un ordinateur central, des automates programmables et toutes sortes de régulations analogiques.

De façon générale, le numérique s'accompagne d'un compactage des montages **sous une forme standardisée**, plus petite et plus fiable, alors que les fonctions se complexifient **et se sophistiquent** cependant cette simplification matérielle exige une modélisation plus fine **pour que les performances** soient effectivement meilleures.

CHAPITRE 4

Mise en marche et réalisation d'une pièce type sur un tour PC TURN 345 à commande numérique

Programmation d'une machine à commande numérique :

Il existe deux type de programmation sur machine a commande numérique nous distinguons, le mode assisté par ordinateur et le mode manuel qui consiste en une saisi direct sur le pupitre de commande.

4.1. Programmation en mode manuelle :

Ce mode de programmation est particulièrement long à la réalisation, pour des pièces à géométries complexes.

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

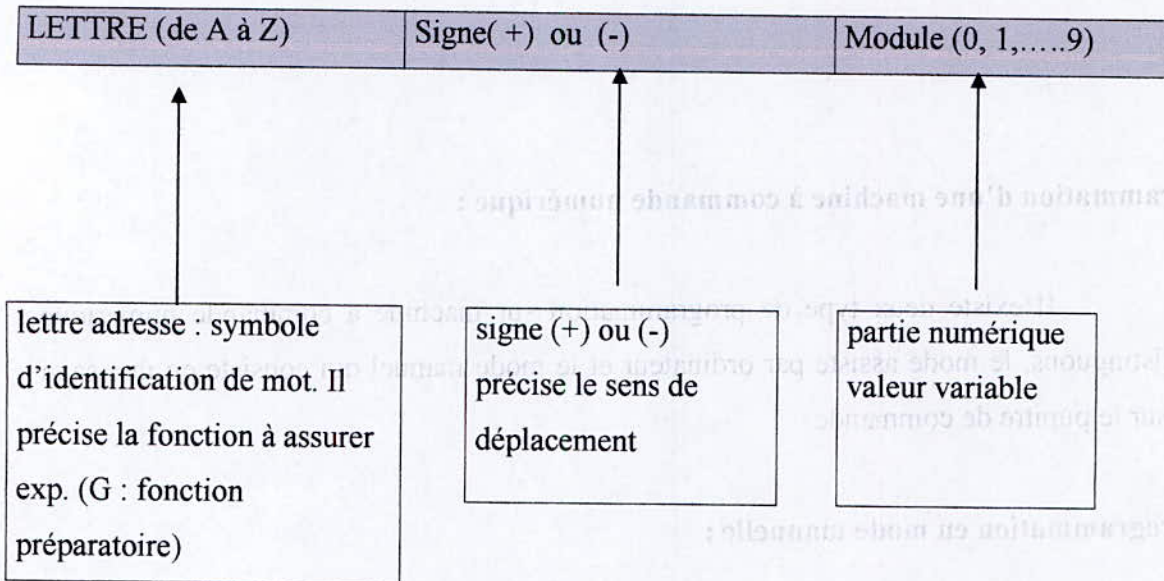
Le programme est écrit à l'aide de blocs constitués de mots, eux même constitués de caractères alphanumérique qui sont :

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

L'ensemble lettre et chiffres juxtaposés forme un mot.

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

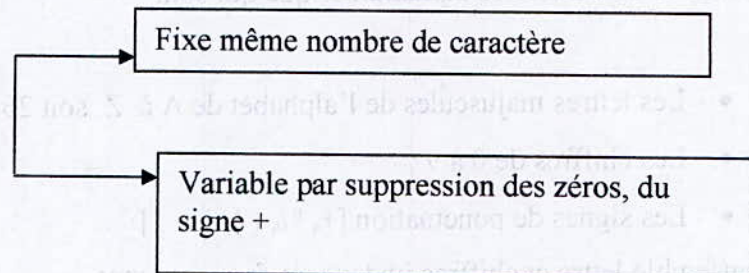
4.1.1 Composition d'un mot :



4.1.2 Format d'un mot :

Chaque mot a un format propre, en commande numérique, le format de mot est une attribution de caractères placés dans un ordre approprié comprenant :

- Une adresse ;
- Eventuellement un signe ;
- Des chiffres séparés par un point, représentant, de part et d'autre de la virgule des unités du module
- Le format du mot peut être :



Soit à introduire une côte de 5 mm sur l'axe X au format 3.2

on aura alors :

En format fixe → X + 500

En format variable → X 500

4.1.3 Bloc d'information :

Le bloc d'informations est un groupe de mots comprenant toutes les instructions pour une opérations ou séquence d'usinage, en coupe ou non.

- Un caractère fin de bloc termine le bloc ;
- Chaque bloc est séparé du précédent par un caractère fin de bloc, donc chaque ligne= un bloc d'informations.

Exemple d'un bloc :

N004	G2 X 200 Y500	*
N° de bloc	Mots de bloc	Fin de bloc

Le format de bloc peut être aussi fixe ou variable et la succession des blocs d'informations forme un programme d'usinage, soit la suite ordonnée des opérations d'usinage.

Programmation Assistée

4.2 Exemple de réalisation sur WINCAM :

La programmation sur wincam est très simple d'utilisation, cependant la bonne succession des étapes est très importante pour obtenir les résultats escomptés.

Pour une meilleure initiation à l'utilisation de ce logiciel, nous proposons un exemple de pièce à réaliser.

1ere étape

Conception Assisté par Ordinateur CAO :

Le logiciel wincam est muni d'une fenêtre pour pouvoir dessiner la pièce que l'on veut réaliser à l'aide de fonctions très simple la figure 4.1 ci-dessous illustre cette fenêtre.

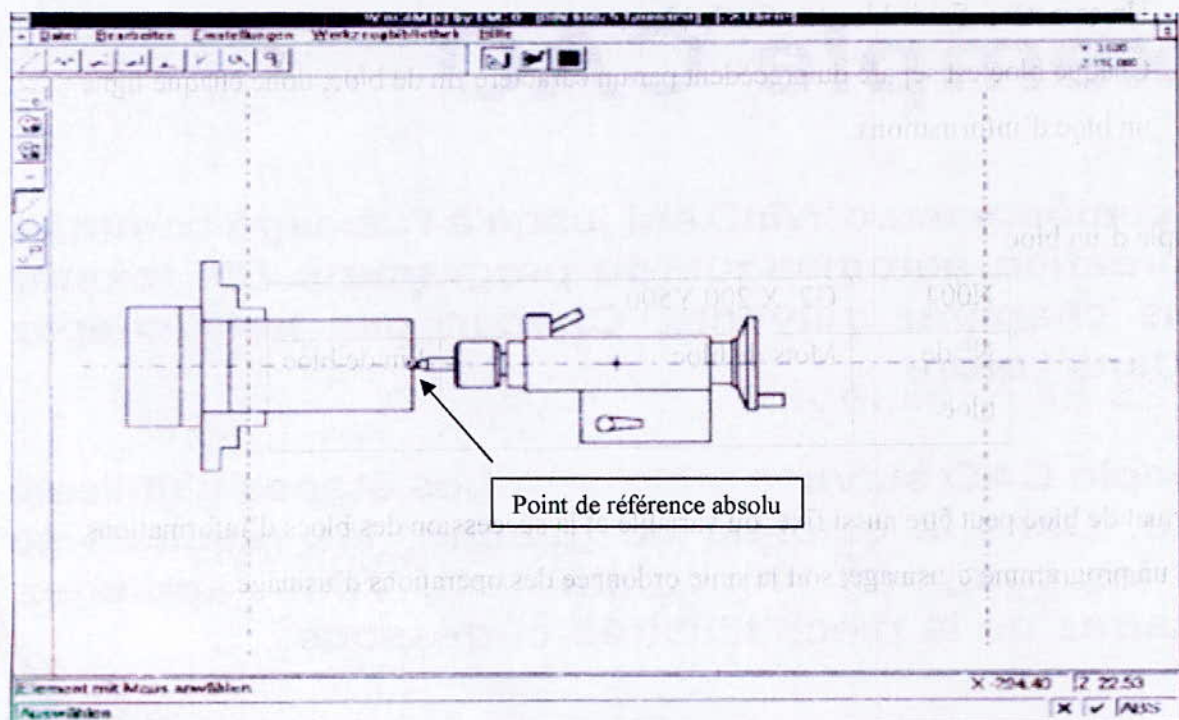



Figure 4.1 fenêtre WinCam

La première des choses à faire, avant de commencer le dessin et de fixer le point de référence par le bouton ci-contre , qui est montré dans la figure ci-dessus

Pour une meilleur lisibilité des coordonnées, il est préférable de fixer se point de référence, qui est absolu sur le point de serrage ou sera apposer le fourreau éventuellement.

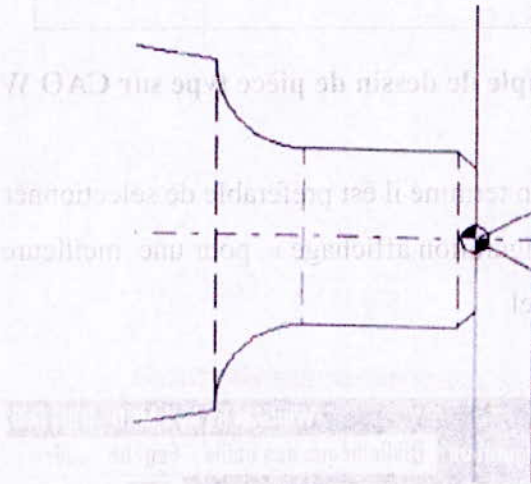
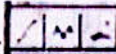
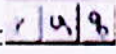



Figure 4.2 point de serrage et référence absolue

A l'aide des icônes suivantes on peut dessiner la pièce

Pour les droites : 

Pour les cercles : 

Pour les filetages : 

Nous présentons dans ce qui suit un Exemple de dessin d'une pièce sur wincam

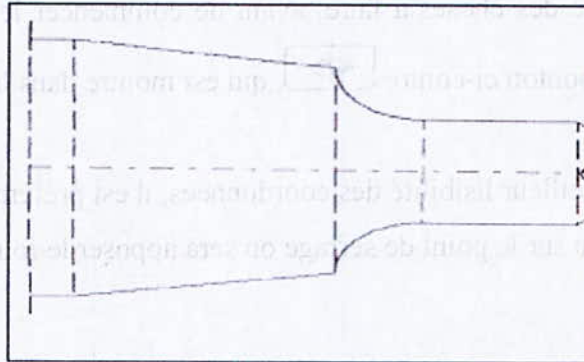


Figure 4.3- exemple de dessin de pièce type sur CAO WinCam

Une fois le dessin terminé il est préférable de sélectionner l'instruction redessiner dans la menu « configuration affichage » pour une meilleure reconnaissance du contour de la pièce par le logiciel.

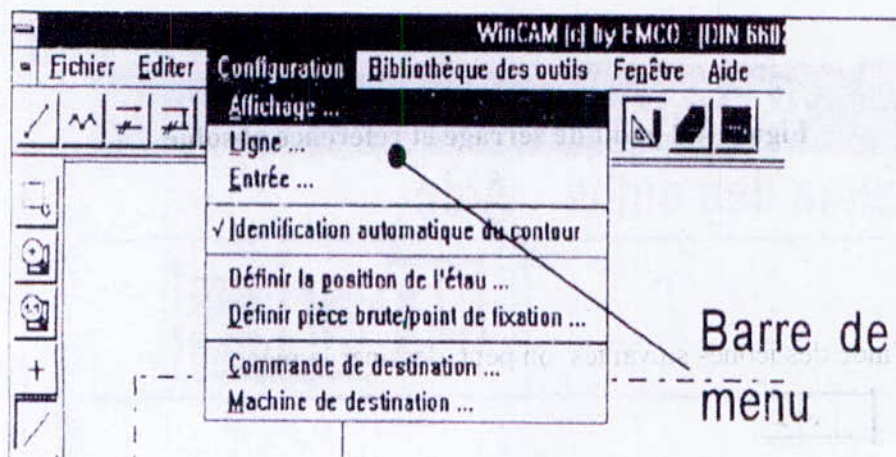



Figure 4.4 fenêtres de configuration

Après avoir terminer l'étape de CAO, il faut transférer exporter le dessin en mode

Fabrication Assisté par Ordinateur (FAO) avec la commande :  Passage en mode

FAO.

Le déroulement des quatre phases suivantes se fait dans l'ordre chronologique obligatoire suivant :

4.2.1 Choix de l'outil : le magasin d'outil virtuel de la machine dispose d'une série d'outils compatibles avec les fonctions que la machine peut accomplir, la figure ci-dessous montre la manière dont se fait le choix de l'outil pour une fonction bien précise. Les outils compatibles sont disposés dans la colonne de gauche pour être placés dans le porte outil de la colonne de droite, on valide par le OK

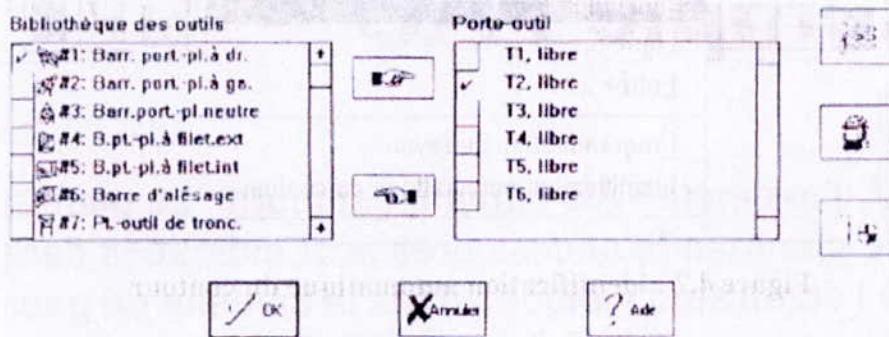


Figure 4.5 bibliothèques des outils

4.2.2 Choix du type de ligne pour simulation : WinCam dispose d'une gamme de lignes que l'on peut attribuer pour chaque tâche, qui sont montrées par la figure suivante :

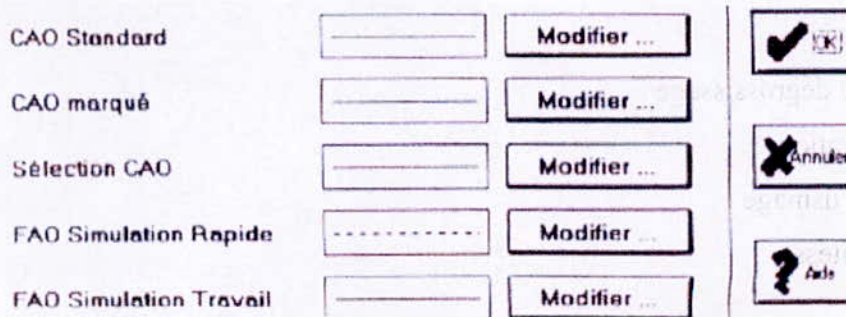


Figure 4.6 : types de lignes pour les tâches planifiées

Remarque : En aucun cas il ne faudra choisir le même type de ligne pour deux tâches différentes.

4.2.3 Identification automatique du contour et renouvellement du programme

FAO :

Dans cette phase, le logiciel procède à la reconnaissance du contour de la pièce et commence à écrire le programme dans un fichier qui sera exécuté sur la machine.

la figure suivante illustre cette procédure .

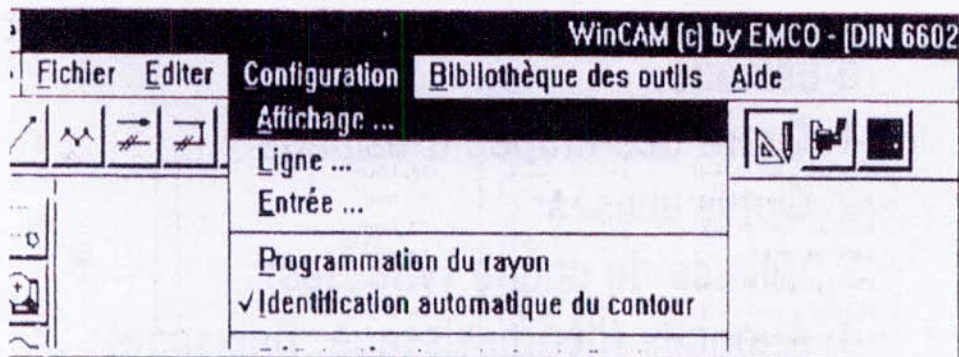


Figure 4.7 : identification automatique du contour

4.2.4 Choix des données technologiques d'usinage

Dans cette phase il nous est demandé de définir les données d'usinages à employer:

- vitesse de coupe ;
- vitesse d'avance ;
- surépaisseur de dégrossissage
- pas de pénétration
- sens et ordre d'usinage
- limitation de vitesse

L'affichage de ces données technologiques doit se faire selon le modèle de l'exemple suivant :

Avance (F)	<input type="text" value="0.100"/>	> mm/min < mm/tr
Override en %	<input type="text" value="100"/>	
Vitesse (S)	<input type="text" value="2000"/>	> m/min < tr/min
Override en %	<input type="text" value="100"/>	
Limitation vitesse	<input type="text" value="2500"/>	< tr/min
Outil (T)	<input type="text" value="1"/>	

Reprendre dans le programme CN

SP(1)	50.000
SP(2)	1.000
Z(0)	2.000
SA	0.200
F	0.100
S	2000

Direction de

↑ ↓ → ←

Direction de

↑ ↓ → ←

Cycle
• DIN 66025

Figure 4.8 : choix des données technologiques

A ce niveau, la préparation FAO est terminée, pour visualiser la simulation, il suffit de passer en mode simulation en cliquant sur le bouton .



Remarque : la simulation en deux dimensions ne fait pas apparaître les erreurs éventuelles de l'usinage qui sont en premier lieu les collisions, il faut donc passer en mode tridimensionnel (3D). Dans cette autre étape de simulation on peut voir exactement l'outil et la pièce en mouvement d'usinage, tout l'intérêt de la commande numérique est dans cette simulation 3D. En effet, il est impossible à la machine d'effectuer d'autres manœuvres que celles décrites durant la simulation. Car dans chaque ligne écrite dans le fichier programme qui sera retranscrit dans l'exécutable de la machine, existe une commande de fin de course qui correspond à un capteur de position.

En effet la programmation sur WINCAM est simple d'utilisation, facile d'accès, cependant elle n'est pas la projection parfaite de l'usinage, mais seulement une approche théorique de la manière dont va se dérouler le travail d'usinage.

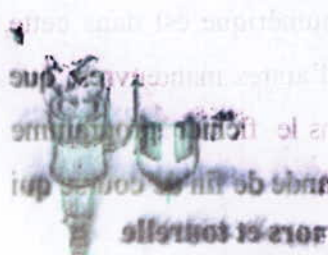
La procédure de génération du programme de la pièce sur WinCam est totalement différente de celle de SINUMERIK qui est un logiciel de la commande elle-même. WinCam procède point par point durant la génération de son programme et ne génère aucun cycle d'usinage, l'inconvénient de cela est que les capteurs de position sont continuellement sollicités entraîne un temps de réponse plus long et donc une mauvaise synchronisation des mouvements de la machine.

4.3 Préparatifs de la mise en marche de la machine :

Une fois l'étape programmation terminée, il faut vérifier le niveau d'huile, la pression hydraulique et pneumatique nécessaire, Qu'il faut maintenir scrupuleusement pendant toute la durée de travail, dans le cas contraire un message d'alarme vous est adressé.

Une simple pression prolongée sur la touche auxiliaire  met en marche tout l'asservissement de la machine. Il est demandé ensuite de repérer le référentiel de la machine en appuyant sur la touche référentiel . Si aucun message d'erreur n'apparaît en rouge sur votre écran, la pièce peut être fixée dans le mondrain après ajustement des mors.

4.3.1. Ajustement des mors : l'ajustement des mors consiste au réglage de la course parcourue par ces deniers, ainsi que la pression (de l'ordre de 60 à 80 Bars) avec laquelle ils maintiennent la pièce. Il est évident qu'un ajustement ne convient qu'à une gamme de diamètre bien précise, en effet il est souvent question de démonter les mors pour les réajuster à d'autres diamètres. La figure ci-après illustre comment démonter et réajuster ces mors.



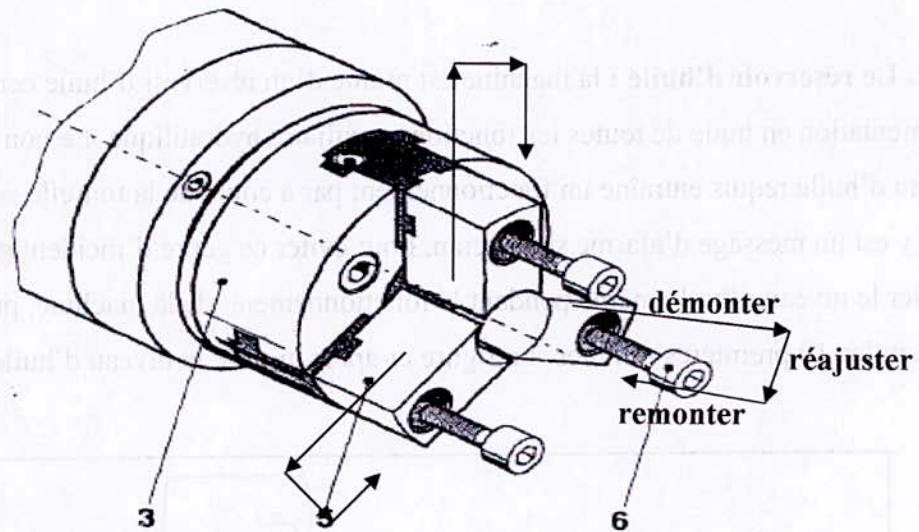
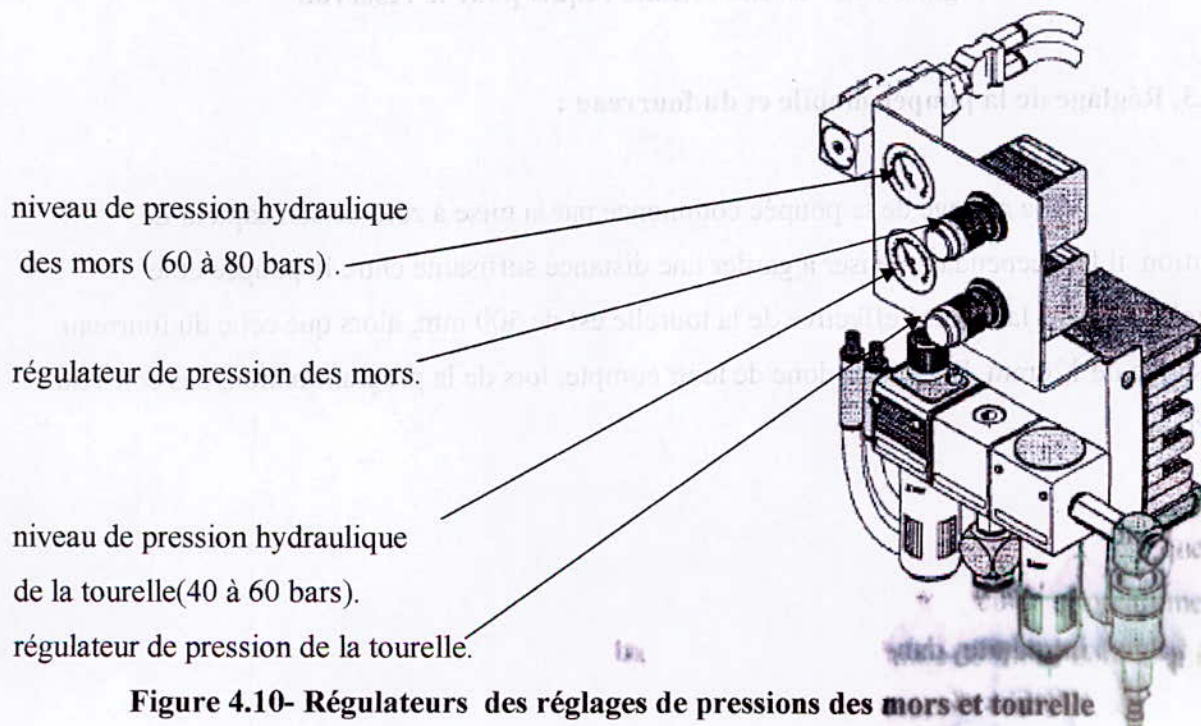


Figure 4.9- réajustement de la course des mors

Il est indispensable de bien synchroniser les courses des mors entre elles en comptant les stries sur lesquels reposent ces mors. En effet une mauvaise synchronisation de ces courses entraîne directement une mauvaise fixation de la pièce, qui n'est pas forcément visible à l'œil nu, car le pas entre les stries est de l'ordre de 1 mm. Il est aussi conseillé de vérifier le niveau de pression hydraulique totale de la machine, ainsi que celles des auxiliaires (tourelle, mondrain), mais aussi pneumatique pour le récupérateur de pièce et le soufflage de coupeaux. La figure ci-après montre les différents niveaux de pression.



4.3.2. Le réservoir d'huile : la machine est munie d'un réservoir d'huile central qui assure l'alimentation en huile de toutes les fonctions auxiliaire hydraulique. Le non respect du niveau d'huile requis entraîne un fonctionnement par à coup de la tourelle sans pour autant qu'il y est un message d'alarme sur l'écran. Pour éviter ce genre d'incident grave, il faut vérifier le niveau d'huile même pendant le fonctionnement de la machine, précisément pendant les 10 premières minutes. La figure ci-après montre le niveau d'huile à respecter.

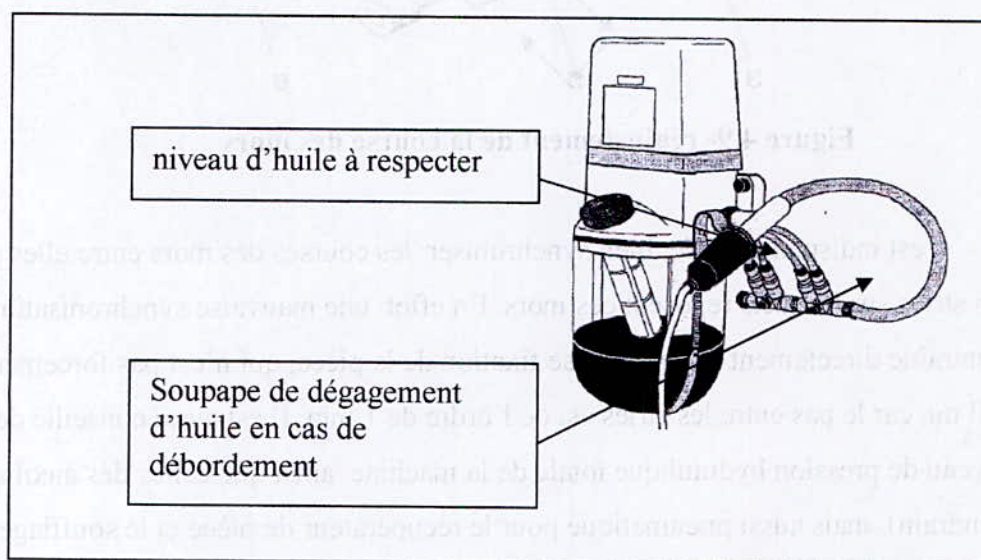


Figure 4.11- niveau d'huile requis pour le réservoir

4.3.3. Réglage de la poupée mobile et du fourreau :

Le réglage de la poupée commence par la mise à zéro de son capteur de position, il faut cependant penser à garder une distance suffisante entre la poupée et le tourelle, en effet la course effective de la tourelle est de 300 mm, alors que celle du fourreau n'est que de 120mm. Il y a lieu donc de tenir compte, lors de la programmation, des côtes du fourreau.



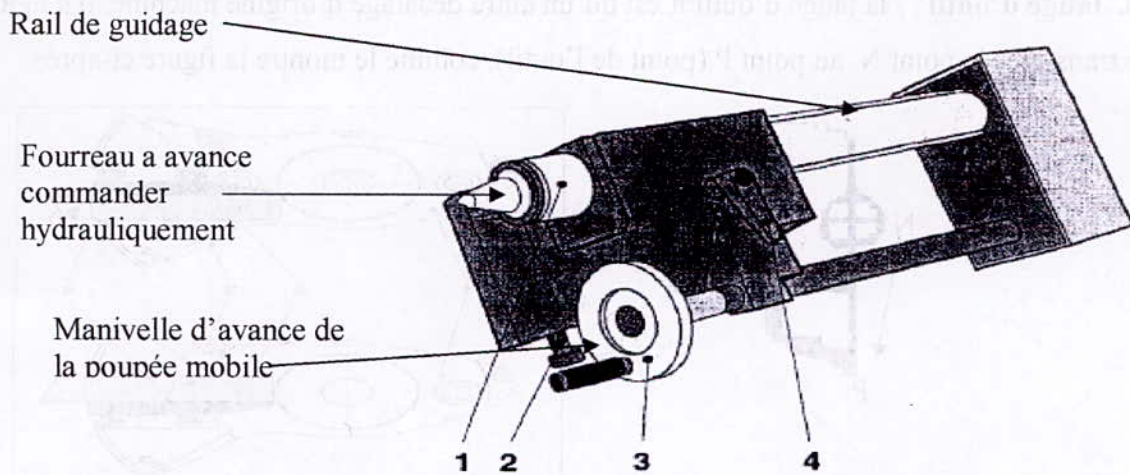


Figure 4.12- poutée mobile avec fourreau commandé hydrauliquement

4.3.4. Décalage d'origine : le point origine machine se trouve à l'intersection de la face où repose le mondrain avec son axe. La figure ci dessous illustre ce point, ainsi que la manière dont ce fait le décalage.

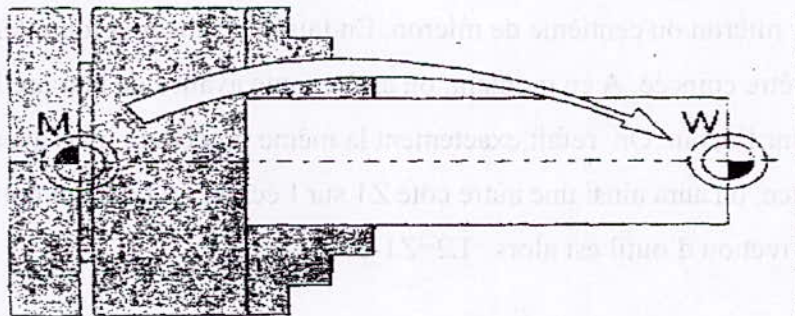


Figure 4.13- origine machine et décalage d'origine

Pour effectuer ce décalage d'origine, on utilise les commandes (G54, ..., G59). On note que G58 et G59 sont des décalages d'origines additifs. Dans un programme ces décalages d'origines consistent à ramener le point d'origine machine au centre de la pièce sur la face extérieure, en fait ces décalages d'origines facilitent sensiblement la programmation des côtes de pièces.

4.3.5. Jauge d'outil : la jauge d'outil n'est qu'un autre décalage d'origine machine, il s'agit là de transférer le point N au point P (point de l'outil), comme le montre la figure ci-après

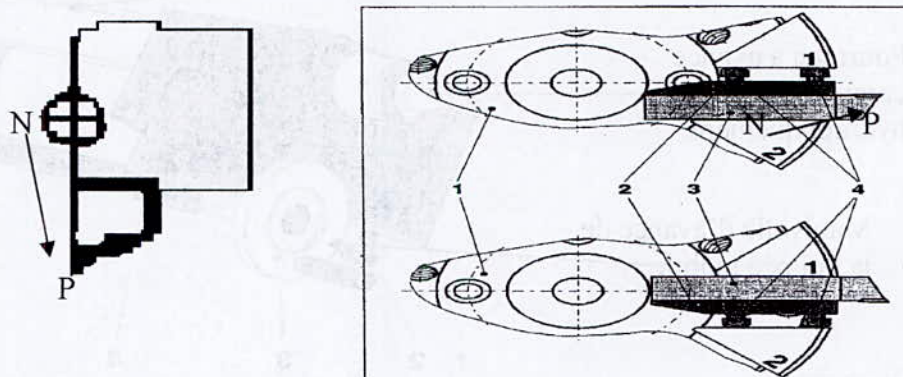


Figure 4.14- décalage de l'origine machine N à la pointe de l'outil P

Il existe deux possibilités pour jauger les outils :

4.3.5.1. Jauge d'outil par effleurement : la procédure à suivre pour effectuer ce décalage est la suivante:

- Détermination de la côte en Z : A l'aide d'un papier interposé entre le mandrain et la tourelle dans l'emplacement sans outil, on fait avancer cette dernière jusqu'au mandrain, (dans la mesure où le G54 a déjà été effectué par la jauge du mandrain), dès que la distance mandrain tourelle devient petite, on passe en mode de déplacement par micron ou centième de micron. En faisant avancer la tourelle, la feuille de papier va être coincée. A ce moment, on arrête toute avance de la tourelle et on relève la côte Z sur l'écran. On refait exactement la même procédure mais avec l'outil de travail en place, on aura ainsi une autre côte Z1 sur l'écran. La côte qui doit être portée dans la correction d'outil est alors : $L2=Z1-Z$.
- Détermination de la côte en X : une fois l'outil monté sur son porte outil, on procède à une tangente sur la pièce dont le diamètre précis (pièce calibre) est connu au préalable, dès que la fine couche de craie apposée sur le calibre est enlevée arrêter toutes avances de la tourelle et noter la côte sur écran selon X. la côte de l'outil qui doit être portée sur la correction d'outil est $L1=(X-D)/2$.

Les valeurs L1 et L2, sont les côtes de l'outil selon les deux axes X et Z, ces valeurs introduites dans le menu correction d'outil, font basculer le point N, au point P.

4.3.5.2. Jauge d'outil par la méthode optique : le principe de la méthode optique est le même que celui de l'effleurage à la différence, que cette méthode est plus précise car tout contact est évité et la visualisation de l'outil se trouve grossie de 40 fois sa taille normale.

Mode d'emploi : le dispositif optique de préréglage monter dans le volume d'usinage de façon à pouvoir atteindre le point de mesure avec l'outil de référence, mais aussi avec tous les outils à jauger, les côtes de l'outil de référence étant connues (figure 4.15a), on fait pivoter la tourelle pour atteindre tous les outils à jauger (figure 4.15b), on lit alors la nouvelle côte sur le dispositif optique remis à zéro au préalable. A partir de la nouvelle côte de l'outil de travail, on obtiendra la côte recherchée en faisant la différence entre la côte de l'outil de référence et celle de l'outil de travail, les figures ci-dessous illustrent cette méthode. La figure 4.15c montre comment la jauge d'outil peut se faire des deux côtés de l'outil.

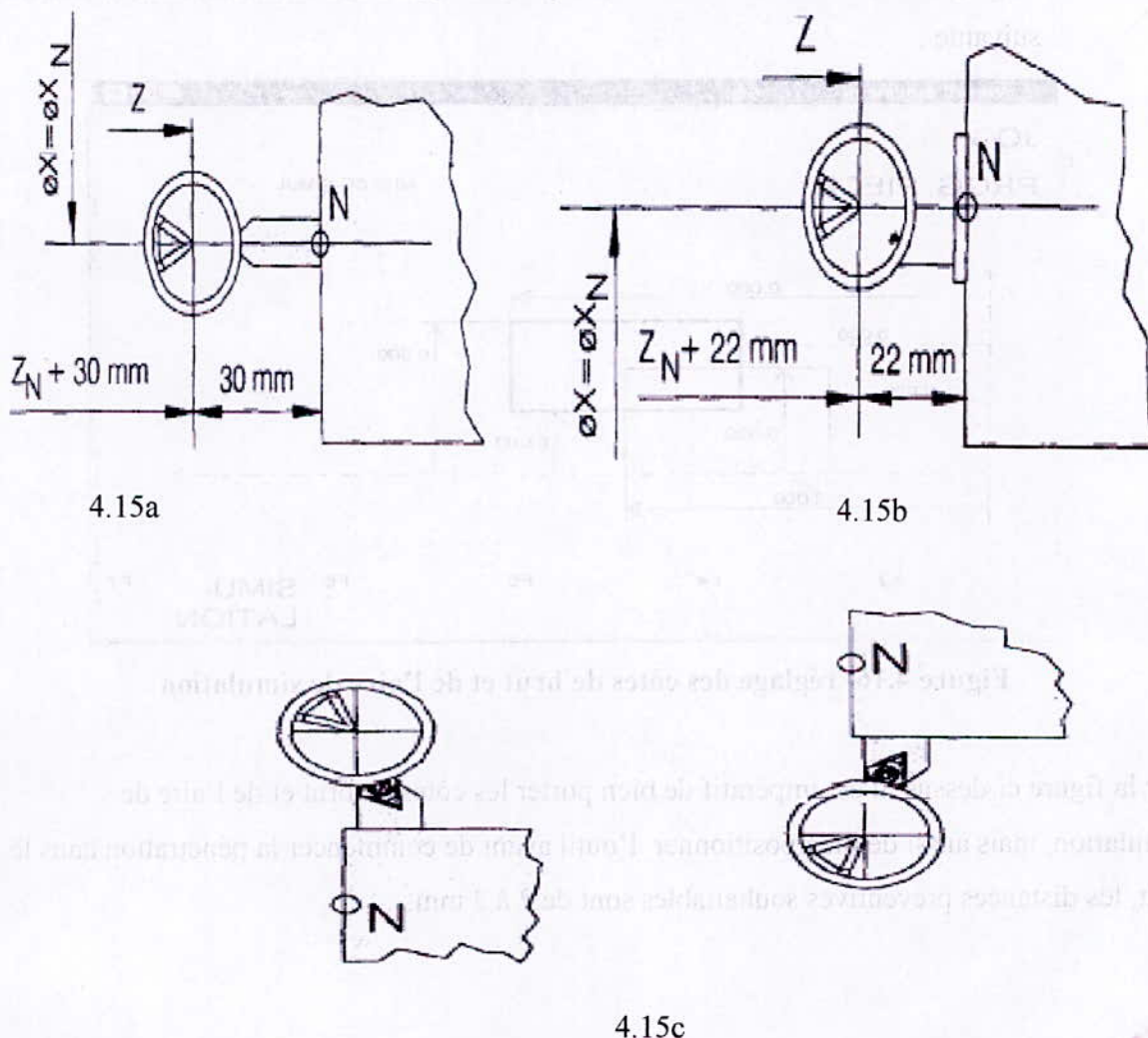


Figure 4.15- jauge d'outil par la méthode optique

Une fois que tous ces réglages sont effectués, il faut mettre tous les axes ainsi que la broche de la machine en mouvement pendant une période de 10 minutes. En effet il existe une température (25 à 30 °C) de fonctionnement de la machine qu'il faut atteindre, ainsi qu'une lubrification préalable de toutes les glissières et axes d'entraînement.

4.4 Simulation graphique sur SINUMERIK : la simulation sur la commande elle-même est une étape très importante avant de commencer tout usinage, en effet le passage par cette étape est indispensable afin de détecter toutes collisions ou défauts d'usinages. Nous exposons dans ce qui suit la procédure à suivre :

- Sélection du programme de la pièce à usiner ;
- Réglage des côtes du brute ainsi que celles de l'aire de simulation dans la fenêtre suivante :

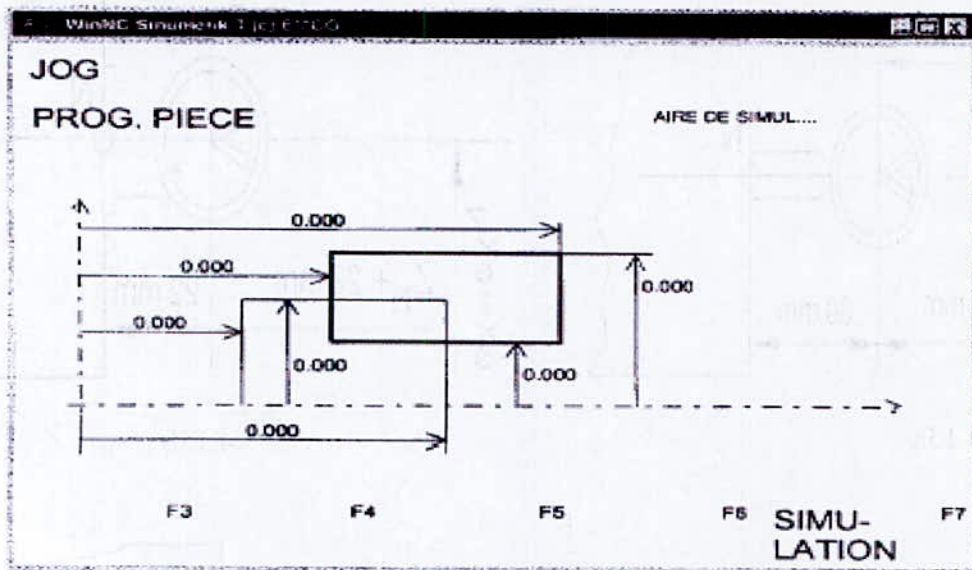


Figure 4.16- réglage des côtes de brut et de l'aire de simulation

Sur la figure ci-dessus, il est impératif de bien porter les côtes de brut et de l'aire de simulation, mais aussi de bien positionner l'outil avant de commencer la pénétration dans le brut, les distances préventives souhaitables sont de 2 à 3 mm.

Exemple de simulation sur SINUMERIK

La figure suivante montre comment l'outil travaillera exactement pendant l'usinage.

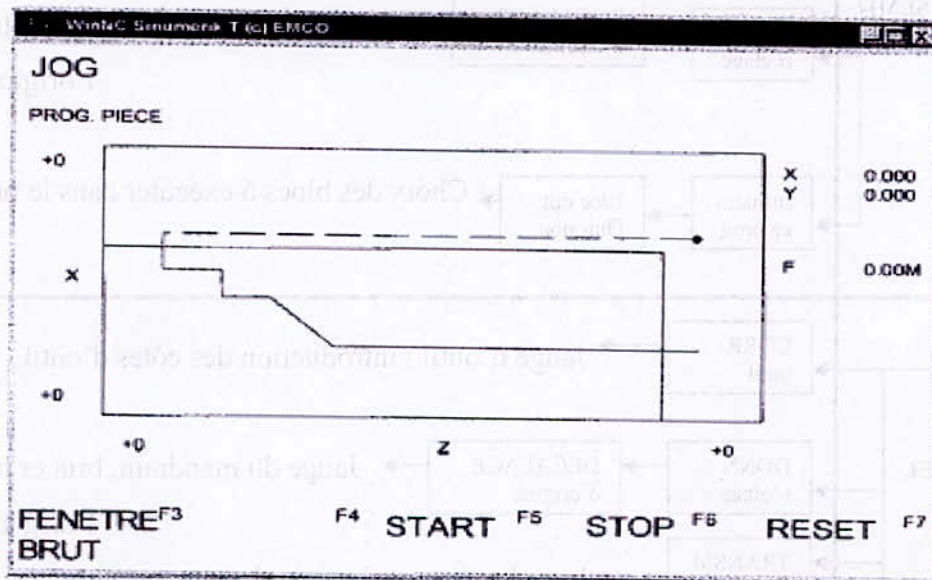
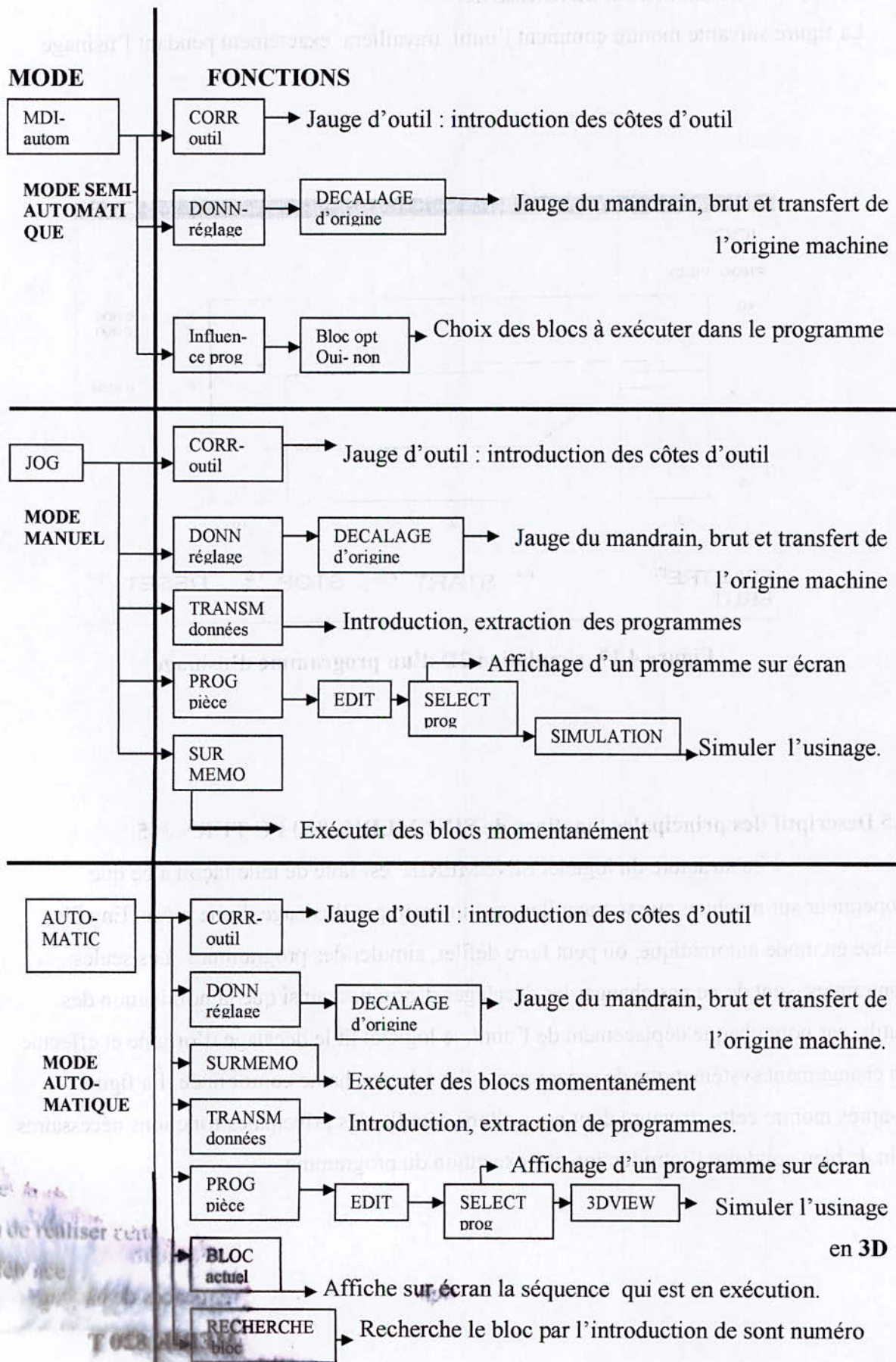


Figure 4.17- simulation 2D d'un programme d'usinage

4.5 Descriptif des principales fonctions de SINUMERIK 820 PC TURN 345

La structure du logiciel SINUMERIK est faite de telle façon à ce que l'opérateur sur machine puisse travailler sans interrompre l'usinage d'une pièce. En effet, même en mode automatique, on peut faire défiler, simuler des programmes. Les seules contraintes sont de ne pas changer les décalages d'origines, ainsi que la nomination des outils, car pour chaque déplacement de l'outil, le logiciel lit le décalage d'origine et effectue un changement systématique de repère pour aller à la prochaine coordonnée. La figure ci-après montre cette structure dont nous allons détailler les principales fonctions nécessaires afin de bien conduire l'introduction et l'exécution du programme.



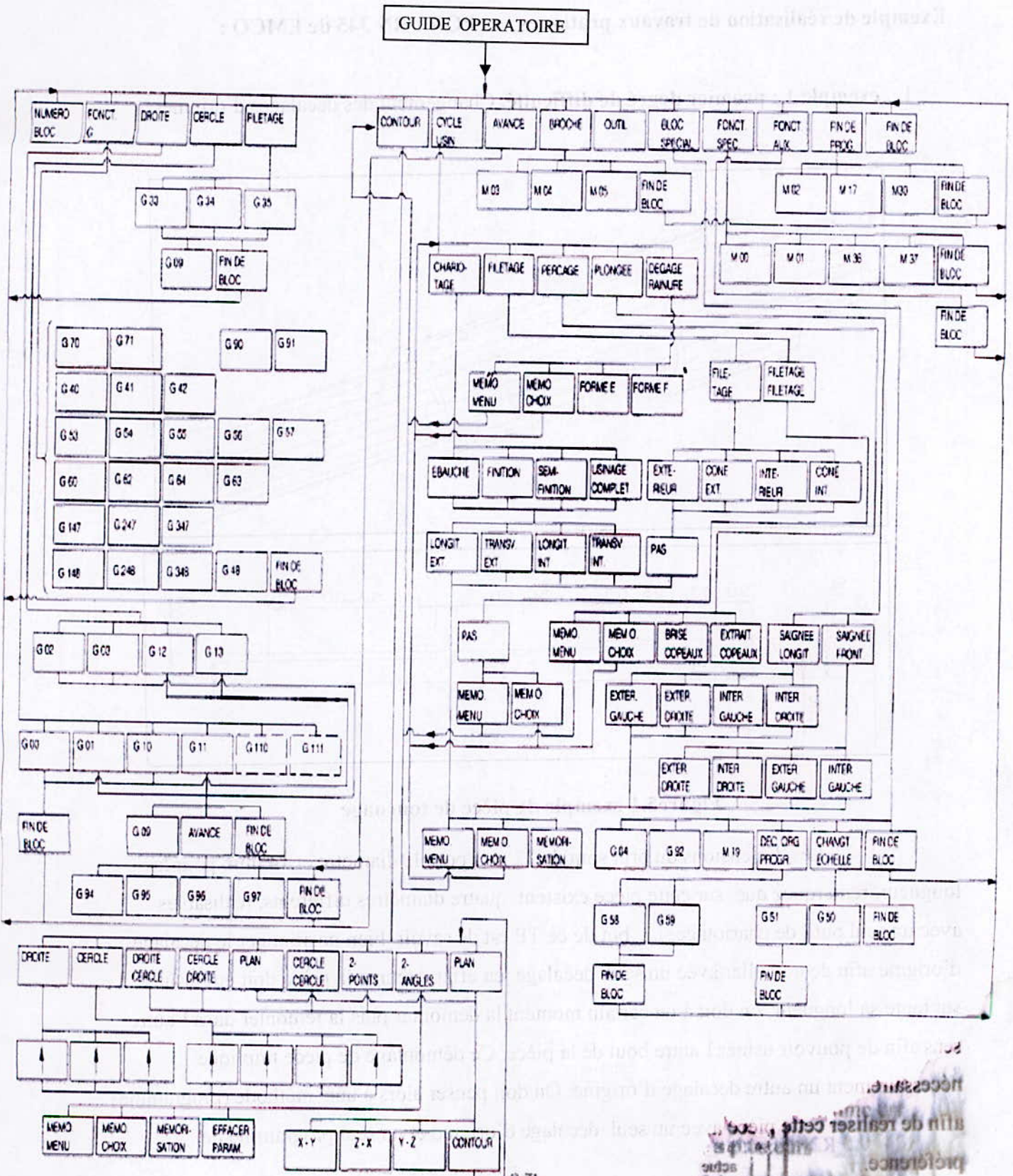


Figure 13-Diagramme des fonctions reconfigurables SINUMERIK 820 T

Chapitre 5

Exemple de réalisation de travaux pratiques sur PC TURN 345 de EMCO :

1. exemple 1 : premier degré de difficulté. Changement des décalages d'origines

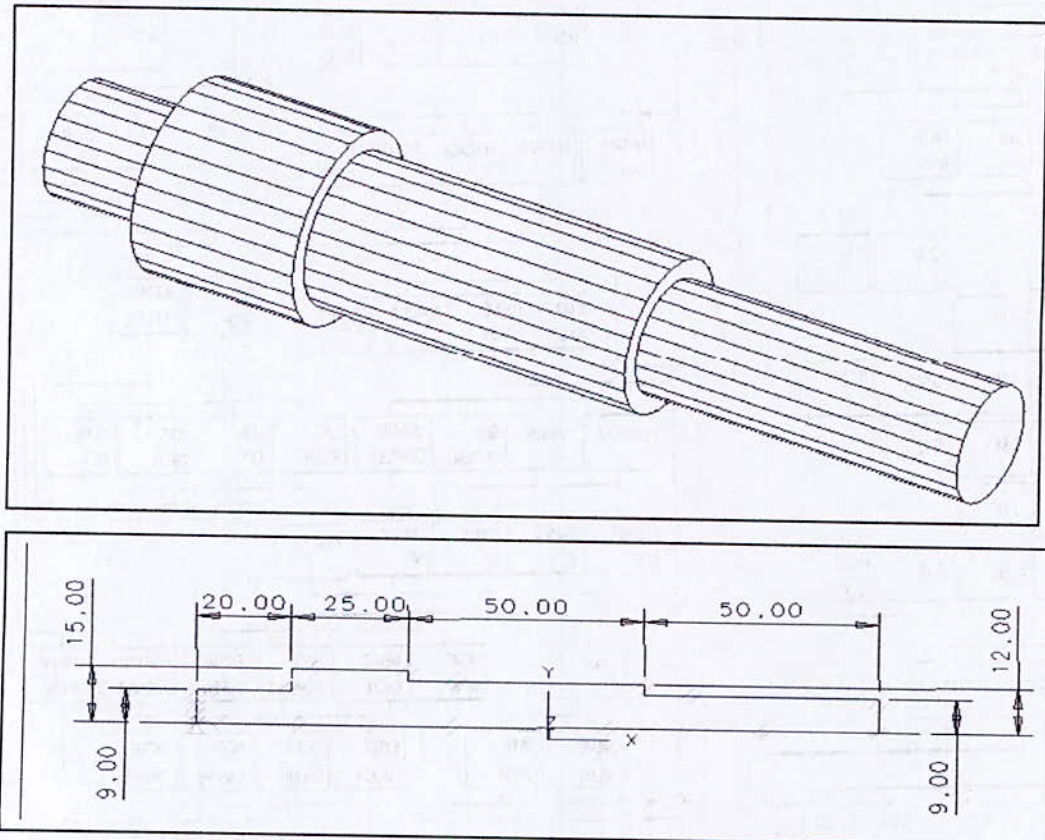
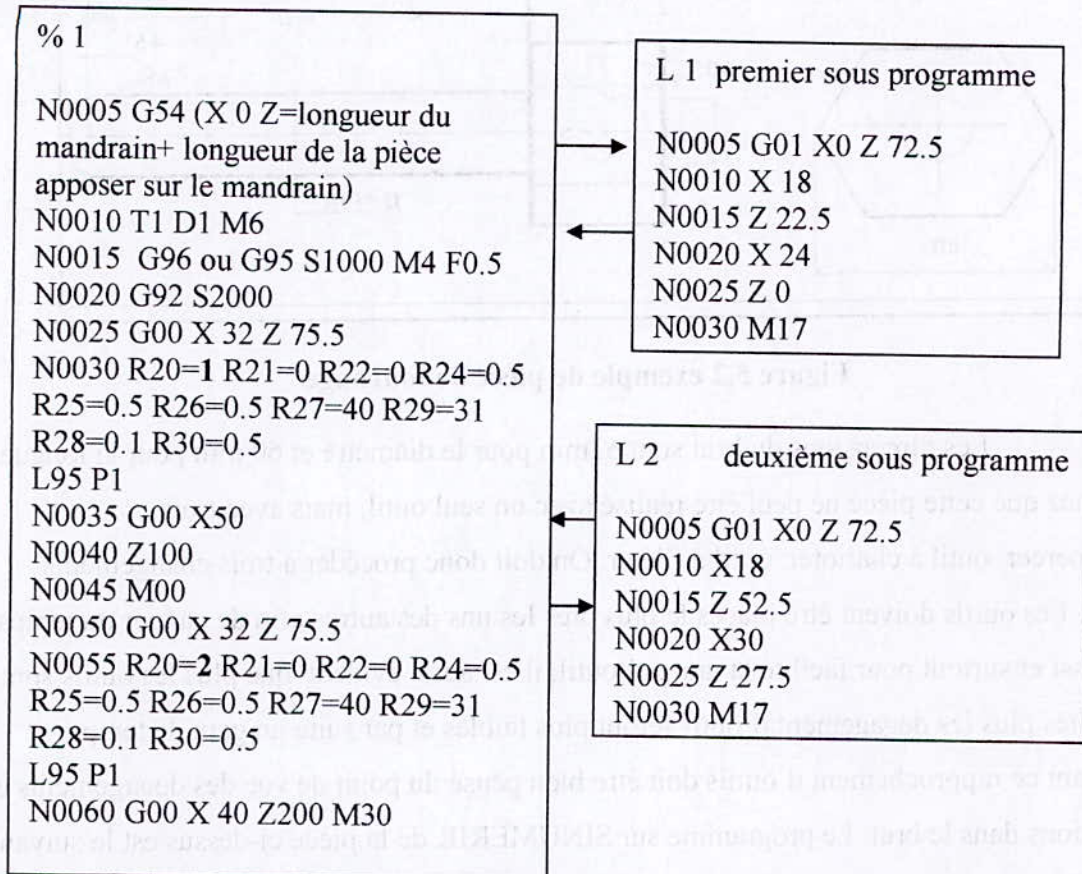


Figure 5.1 exemple de pièce de tournage

Les dimensions du brut sont de 32 mm pour le diamètre et 145 mm pour la longueur, remarquez que sur cette pièce existent quatre diamètres différents, réalisables avec un seul outil de chariotage. Le but de ce TP est de savoir bien positionner le décalage d'origine afin de travailler avec un seul décalage, en effet, comme la pièce doit être usinée sur toute sa longueur, on doit à un certain moment la démonter puis la remonter dans l'autre sens afin de pouvoir usiner l'autre bout de la pièce. Ce démontage de pièce implique nécessairement un autre décalage d'origine. On doit penser alors à une méthode (programme) afin de réaliser cette pièce avec un seul décalage d'origine et un seul programme de préférence.

Minimiser le nombre de décalages d'origine est très bénéfique, il permet une meilleure sécurité mais aussi de garder les autres décalages pour d'autres applications éventuelles sur la même pièce. Tout l'art du programmeur réside dans cette astuce.

Le programme sur SINUMERIK de la pièce ci-dessus est le suivant :



Remarque : les lettres R qui apparaissent dans le programme ci-dessus ne désigne pas des rayons de la pièce mais des fonctions bien précises correspondant à diverses applications dans le langage SINUMERIK.

L'élaboration de cette pièce nécessite deux cycles d'usinage, car la pièce n'étant pas symétrique pas rapport à son milieu selon Z. Pour garder le décalage d'origine fixe, on doit alors le prendre au milieu de la pièce pour avoir une symétrie et ainsi un décalage de (G54 X=0, Z=72.5+ longueur du mandrain). Il est vrai que généralement le décalage d'origine est pris sur la face extérieure de la pièce, mais cette option nous fera perdre un décalage d'origine inutilement.

L'introduction de plusieurs décalages d'origines dans un seul programme est une pratique simple, cependant, il n'est pas très souhaitable de procéder à plusieurs changements de repères machine dans un seul programme (risques de fréquences de hachage petite dans la prise d'information).

2. exemple 2 : deuxième degré de difficulté. changement des outils

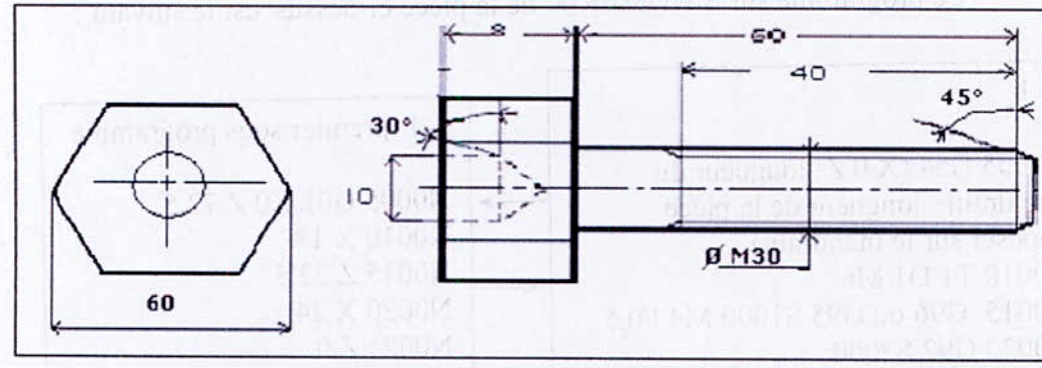


Figure 5.2 exemple de pièce de tournage

Les dimensions du brut sont 62mm pour le diamètre et 60 mm pour la longueur remarquez que cette pièce ne peut être réalisé avec un seul outil, mais avec trois :

Outil à percer, outil à charioter, outil à fileter. On doit donc procéder à trois changements d'outils. Les outils doivent être placés le plus près les uns des autres afin de gagner du temps, mais aussi et surtout pour facilité la jauge d'outil, il est aussi évident que plus les outils sont rapprochés plus les dégagement d'outil seront plus faibles et par suite un gain de temps.

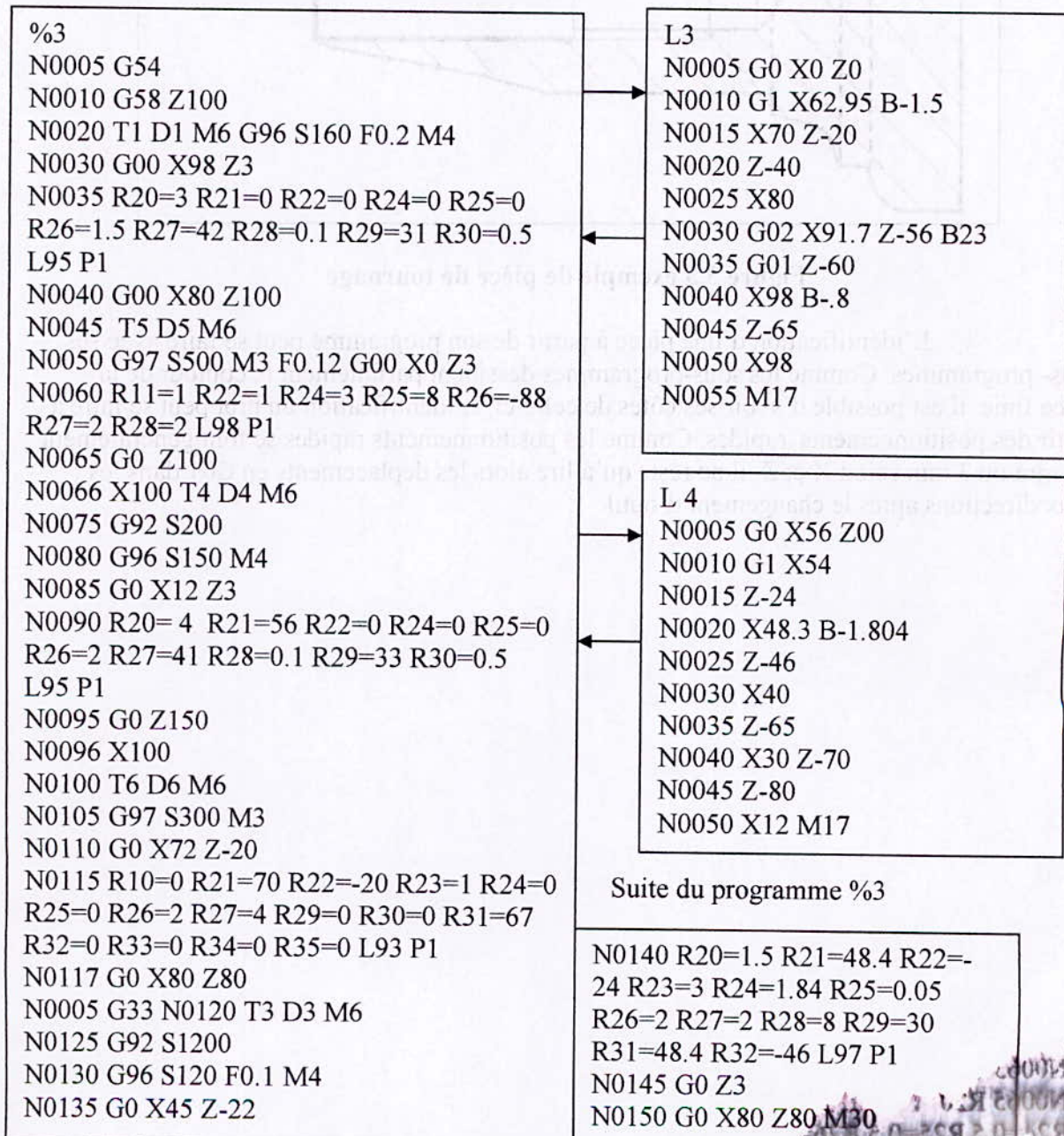
Cependant ce rapprochement d'outils doit être bien pensé du point de vue des dégagements et pénétrations dans le brut. Le programme sur SINUMERIK de la pièce ci-dessus est le suivant:

<pre>% 2 N0005 G54 (X=0 Z=134) N0010 T1 D1 M6 N0015 G96 ou G95 S1000 M4 F0.5 N0020 G92 S2000 N0025 T1 D1 M6 N0030 G00 Z 32 N0035 G01 Z21 N0045 G00 Z100 N0050 M00 N0055 G58 X 0 Z 174 N0060 T2 D2 M6 N0065 G00 X 63 Z180 N0065 R20=1 R21=0 R22=0 R24=0.5 R25=0.5 R26=0.5 R27=40 R29=31 R28=0.1 R30=0.5 L95 P1</pre>	<p>→</p>	<pre>L3 N0005 G01 X 0 Z 0 N0010 X28 N0015 X30 Z-2 N0020 Z-52 M17</pre>
	<p>←</p>	
	<p>Suite du programme % 2</p>	
		<pre>N0070 G00 X83 Z 200 N0075 T3 D3 M6 N0080 R20=1.5 R21=0 R22=0 R23=2 R24=1.5 R25=0.1 R26=1.5 R27=2 R28=2 R29=31 R31=0 R32=30 L97 P1 N0085 G00 X83 Z200 N0090 M30</pre>

3. **exemple 3 : troisième degré de difficulté.** Identifier une pièce à partir de son programme SINUMERIK

Dans cet exemple on se propose d'identifier une pièce à partir de son programme sur SINUMERIK. Par la simple lecture du programme l'étudiant doit être en mesure de redessiner la pièce à l'état brute mais aussi la pièce finie après usinage. Le but de ce TP est de faire défiler le programme mentalement et par suite le corriger si d'éventuelles erreurs existent.

Le programme suivant représente l'usinage d'une pièce :



La pièce qui correspond au programme ci-dessus est la suivante.

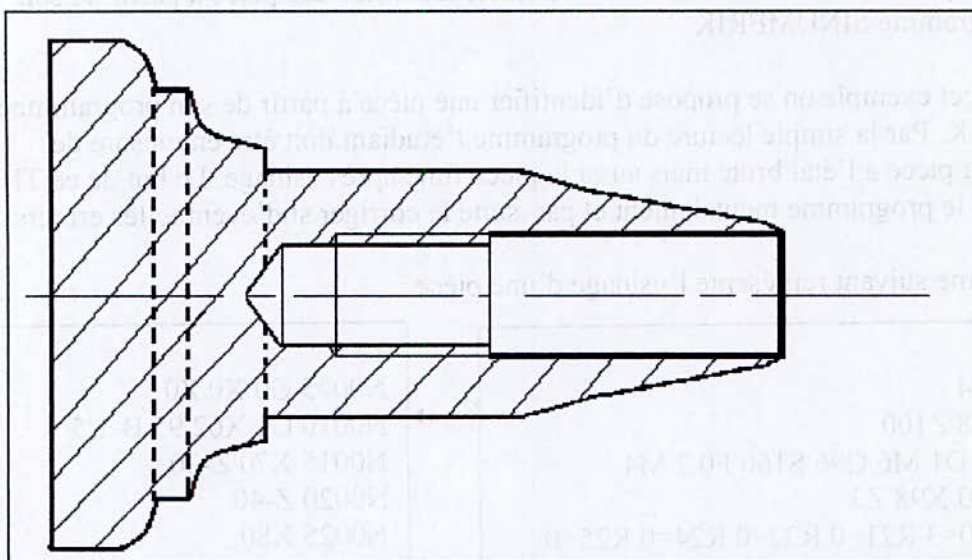


Figure 5.3 exemple de pièce de tournage

L'identification d'une pièce à partir de son programme peut se faire avec ses sous-programmes. Comme les sous-programmes dessinent parfaitement le contour de la pièce finie, il est possible d'avoir ses côtes de celle-ci. L'identification du brut peut se faire à partir des positionnements rapides. Comme les positionnements rapides se font généralement à 2 mm ou 3 mm selon X et Z, il ne reste qu'à lire alors les déplacements en G01 dans les deux directions après le changement d'outil.

Conclusion

En conclusion nous considérons que nous avons atteint le but escompté, celui d'essayer de maîtriser les types de programmation des commandes numériques des machines-outils. En effet, on a pu pendant notre modeste travail utiliser la commande SINUMERIK sur le tour numérique CONCEPT PC TURN 345 Professionnel de notre département. L'objectif de notre travail était aussi d'amorcer l'utilisation pédagogique de cette machine à travers la préparation de TP simples pour les futurs étudiants du département de génie mécanique.

Cette thèse s'adresse à toutes les personnes désireuses maîtriser la programmation sur commande numérique particulièrement sur SINUMERIK. Son contenu est basé sur les cours de commande numérique dispensés aux élèves de l'Ecole Nationale Polytechnique au département génie mécanique. Elle présente de manière didactique les principes de fonctionnement de ces équipements ainsi que les notions et les méthodes de programmation. On s'est également intéressé aux problèmes de productivité et de flexibilité.

Références bibliographiques

- [1] WECK, Etat de l'art des machines-outils et des mécanismes parallèles (1995) Page 1 à 22.
- [2] : MARTY, CASSAGNES et MARIN .La pratique de la commande numérique des machines-outils. Lavoisier (1993). Page 56 à 250
- [3]: REINTJES Numerical Control, Meeting a New Technology. Oxford University Press (1991). Page 28 à50
- [4] : Initiation à la commande numérique (ACIERA) (1985). Page 11 à 96
- [5] : CYSSAU –Dictionnaire des abréviations utilisées en CN. Sofetec (1994). Page 2 à28.
- [6]: BERGMANN et LOUIS – Study and Comparison of different algorithms for fast digital regulations of current loops for a selfcontrolled synchronous servomotor with permanent magnet. EPE, Grenoble(1987). Page 9-45.
- [7] BOIDIN et MIGUAISE. – Les techniques numériques dans la vitesse variable. Applications industrielles (1985).Page. 38 à 105
- [8] : SOURISSE Les automatismes industriels. Edition. Hermès (1988). Page 2 à30.
- [9] : technique de l'ingénieur D 3641 (2000). Page 12 à 58.
- [10] : EMCO Concept Turn 155 éditions ITS (2002).Page D2 à G42.
- [11] : LUPIN H. – Centre d'usinage à grande vitesse (UGV). Page 115 à 208.
- [12] : VIGNERON C.- Analyse des automates, éléments méthodologique (1998). Page 37 152.
- [13] : NF EN 954-1 parties des systèmes de commande relatives au déplacements selon axes paris AFNOR (1999).Page 5 à 84.
- [14] : SINUMERIK 820/810 T NC descriptions des fonctions, Saint Denis, simens (1997). Page 101 à 120.
- [15] : HOUPIS et LAMONT . – Digital control systems : theory, hardware, software.Mac Graw Hill international Editions (1992). Page 15 à 76.

Référence bibliographique

[17] : NF EN 292-1- Sécurité des machines. Notions fondamentales, principes généraux de conception, paris (1997). Page 12 à 28

[18] : LOUIS , MULTON et LAVABRE .- Commande des machines outils à vitesse variable. Technique de l'ingénieur D 3 610, traité Génie mécanique (1988). Page 2 à 60.

[19] : GEORGIU,-Application des commandes non linéaires pour la régulation en vitesse ou en position de la machine synchrone autopilotée. (1992). Page 10 à 40.

[20] : NOUGARET (M.). – Correction fréquentielle analogique, traité Informatique industrielle (1994). Page 36 à 96.

[21]: EMCO WinCam réf. No.FR 1804 Edition H2001-10.

[22] : EMCO CONCEPT 155- PC Controlled CNC- Lathe for training.

[23]: EMCO WinNc SINUMERIK 810/820 T Réf. No. FR 1804 Edition H2001-10.