

République Algérienne Démocratique Populaire .

*Ministère de l'enseignement supérieur
et de la recherche scientifique .*

L'Ecole Nationale Polytechnique .

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE .



*Intégration de La CFAO
à la programmation des
MOCN et remise en marche de la
MU 200CNC TERCO.*

Proposé et dirigé par :
Madani mohamed

étudié par :
Mehannek mokrane

Membre du jury :
N.AMOR
M.TAZI.
M.MADANI .

PROMOTION : juin 2001

DEDICACES

- JE DEDIE CE TRAVAIL , à MON FRERE QUI MALEUREUSEMENT NE PEUT PAS ASSISTER à MA SOUTENANCE , à MES PARENTS ET à MES AMIS ET SURTOUT(NOCIA) , à qui je souhaite tout le bonheur qui existe .
- JE DEDIE CE MODEST TRAVAIL , à la mémoire des gens qui sont morts pour une bonne cause .

REMERCIEMENTS



- AVANT TOUT JE REMERCIE MONSIEUR MADANI POUR M'AVOIR ENCADRER ET DE ME DONNER LA CHANCE DE M'EXPRIMER SUR LE TERRAIN , PENDANT TOUTE CETTE ANNEE .
- QUE TOUT, CE QUI ONT PARTICIPER à MA FORMATION D'INGENIEUR , S'ASSURENT DE MA PROFONDE RECONNAISSANCE .
- JE REMERCIE AUSSI PARTICULIEREMENT , MES PARENTS , MES AMIS ET DE M'AVOIR SOUTENU PENDANT CES DERNIERES ANNEES .
- ENFIN , JE REMERCIE TOUS LE MONDE .

ملخص:

يهدف هذا العمل إلى دراسة الآلات المقيدة عدديا و كيفية برمجتها . لذا لجأنا إلى استعمال برنامج معلوماتي يسمح بربح الوقت و كسب الدقة في الحسابات التي تصف تحركات أداة القطع . و ختمنا الكمل بإعادة إدماج الآلة المتواجدة بدائرة الهندسة الميكانيكية .

RESUME :

Le but de ce travail est l'étude des machines - outils à commande numérique , et Leurs programmation , pour ça on utilisé un logiciel de CFAO qui nous permet de Gagner du temps et d'améliorer la précision des calculs concernant la trajectoire de l'outil de coupe .

ABSTRACT :

The objectif of this work is to study the numerical commande of tools - machine and How to program it , for this we are used a logiciel of CFAO , for win a time and précision ,And we have répared the tool machine of who is in mecanic depatement of NPS .

MOTS CLES /

CFAO - commande numérique - codage iso - machine - outils - usinage .

LISTE DES ABREVIATIONS



- **MOCN** : machine- outil à commande numérique .
- **CFAO** : conception et fabrication assistée par ordinateur .
- **FAO** : fabrication assistée par ordinateur .
- **CNC** : commande numérique par calculateur .
- **CN** : commande numérique .
- **UGV** : usinage à grande vitesse .
- **DCN** : directeur de commande numérique .
- **DNC** : commande numérique directe .
- **CL - FILE** : fichier de situation de l'outil .
- **P.P** : post - processeur .
- **APT** : langage de programmation automatique .
- **CAO** : conception assistée par ordinateur .
- **PC**: ordinateur personnel .

sommaire

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

CHAPITRE 0 : introduction générale.

| | |
|----------------------|---|
| 1- Introduction..... | 1 |
| 2- Historique..... | 2 |

CHAPITRE I : généralités sur les MOCN

| | |
|--|---|
| I.1 - justification de la commande numérique..... | 4 |
| I.2 - évolution de la commande numérique..... | 6 |
| I.3 - classification des commandes numériques(CN)..... | 9 |

CHAPITRE II : introduction à la CFAO

| | |
|--|----|
| II.1- définition | 10 |
| II.2- CFAO et processus de conception - fabrication..... | 10 |
| II.3- principaux domaine d'application | 12 |
| II.4- l'intégration de la CFAO..... | 13 |

CHAPITRE III : constitution des MOCN

| | |
|---|----|
| III.1- fonction d'une MOCN..... | 14 |
| III.2- influence de la CN sur la morphologie de la machine-outil..... | 18 |
| III.2.1- guidage..... | 18 |
| III.2.2- approvisionnement en outils | 20 |
| III.2.3- approvisionnement en pièces | 21 |
| III.2.4- entraînement des organes mobiles | 22 |
| III.2.5- mécanismes d'entraînements | 23 |
| III.3- précision et contrôle | 26 |

CHAPITRE IV :traitement interne des informations

| | |
|--|----|
| IV.1- la M.O comme élément traitant l'information | 28 |
| IV.2- la M.O englobée dans une structure de transmission | 28 |
| IV.3- mesure de déplacements | 31 |
| IV.4- interpolateurs internes..... | 33 |
| IV.4.1- interpolation parabolique..... | 33 |
| IV.4.2- interpolation linéaire | 34 |
| IV.4.3- interpolation circulaire | 35 |
| IV.4.4- interpolation polynomiale | 35 |
| IV.4.5- interpolation hélicoïdale | 36 |
| IV.5- principe d'asservissement d'un organe mobile..... | 36 |

CHAPITRE V :le directeur de commande numérique

| | |
|--|----|
| V.1- fonction générale d'un directeur de commande numérique (DCN)..... | 39 |
| V.1.1- définition générale | 39 |
| V.1.2- fonction principale d'un DCN | 39 |
| V.2- gestion et commande de l'effecteur | 39 |
| V.2.1- gestion des outils | 40 |
| V.2.2- nature des commandes | 40 |
| V.2.3- cas d'une machine-outil | 40 |
| V.3- commandes des axes d'une machine | 41 |
| V.3.1- généralités..... | 41 |
| V.3.2- nature de commandes | 42 |
| V.3.3- mode de commande | 42 |
| V.4- prise en compte des dimensions de l'outil | 44 |
| V.5- prise en compte de l'environnement automatisé..... | 46 |
| V.6- exécution d'un programme. | 46 |
| V.7- gestion des anomalies et intervention de l'opérateur | 47 |
| V.8- modification des paramètres | 47 |

CHAPITRE VI :la commande numérique en FAO

| | |
|--|----|
| VI.1- la FAO et l'informatique..... | 48 |
| VI.2- la commande numérique | 48 |
| VI.3- procédures de programmation | 49 |
| VI.3.1- bases de programmation | 49 |
| VI.3.2- les aides de l'ordinateur..... | 50 |
| VI.4- la commande numérique par calculateur intégrés (CNC) | 50 |
| VI.5- la commande numérique directe (DNC) | 52 |
| VI.6- les étapes en CFAO | 52 |
| VI.7- les ateliers flexibles | 54 |
| VI.7.1- définition | 54 |
| VI.7.2- cellule d'atelier flexible..... | 55 |
| VI.8- programmation assistée | 57 |

CHAPITRE VII :programmation des MOCN

| | |
|---|----|
| VII.1- instruction programmées et leurs supports..... | 59 |
| VII.1.1- nature des instructions | 59 |
| VII.1.2- codification des instructions | 59 |
| VII.1.3- supports d'informations | 61 |
| VII.1.4- nature des déplacements | 64 |
| VII.2- système de référence. | 65 |
| VII.3- programmation manuelle | 66 |
| VII.4- programmation automatique | 67 |
| VII.5- programmation des formes complexes | 70 |
| VII.6- autre modes de programmation..... | 71 |
| VII.7- programmation par CAO | 72 |
| VII.8- dialogue HOMME - MACHINE | 73 |
| VII.8.1- décalage de l'origine..... | 73 |
| VII.8.2- mode de programmation..... | 74 |

| | |
|--|----|
| VII.8.3- correction dynamique des outils | 75 |
|--|----|

CHAPITRE VIII :remise en marche de la MOCN MU 200^{CNC} TERCO

| | |
|--|----|
| VIII.1- partie opérative..... | 76 |
| VIII.1.1- système d'entraînement (avance) | 76 |
| VIII.1.2- système de guidage | 77 |
| VIII.1.3- limitation des courses et sécurité | 77 |
| VIII.1.4- passage de la version fraiseuse en tour | 77 |
| VIII.2- partie commande | 78 |
| VIII.2.1- commande du système..... | 78 |
| VIII.2.2- commande de la programmation | 78 |
| VIII.2.3- autres commandes..... | 79 |
| VIII.3- procédure de programmation | 79 |
| VIII.3.1- manuellement à partir du directeur de commande numérique | 79 |
| VIII.3.2- chargé à partir d'une bande perforée | 80 |
| VIII.3.3- programmation élémentaire | 80 |
| VIII.4- sauvegarde du programme..... | 81 |
| VIII.5- introduction de l'origine programme..... | 82 |
| VIII.6- exécution du programme sur machine. | 82 |
| VIII.7- remarques importantes | 83 |

CHAPITRE IX :conclusion générale 85

Annexe I : exemples d'application de CFAO. 89

Annexe II : manuel de TP (fraisage)

Annexe III : code de programmation CNC4000

TABLE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure I.1 : productivité comparée de diverse machine en fonction de leurs degrés d'automaticité..... | 4 |
| Figure II.1: organisation autour de la CFAO | 9 |
| Figure III.1: diagramme fonctionnel d'une CN..... | 14 |
| Figure III.2.a. glissière de chariot ouverte..... | 15 |
| Figure III .2.b. glissière à queue..... | 16 |
| Figure III.3. principe d'un guidage lubrifié..... | 16 |
| Figure III.4. magasin d'outils à 31 positions | 18 |
| Figure III.5. approvisionnement de pièces par palettisation | 19 |
| Figure III.6. broche à circulation de bille..... | 21 |
| Figure III.7. vis à bille..... | 22 |
| Figure III.8. interféromètre laser..... | 23 |
| Figure III.9. ball - bar..... | 24 |
| Figure IV.1. flux d'information dans une commande sans relation De fonctionnement entre les parcours..... | 26 |
| Figure IV.2. flux d'information dans une commande avec relation De fonctionnement entre les parcours..... | 27 |
| Figure IV.3. mesure de position d'un chariot (système linéaire)..... | 29 |
| Figure IV.4. mesure de position sur vis d'avance..... | 29 |
| Figure IV.5. trajectoire parabolique..... | 31 |
| Figure IV.6. trajectoire linéaire | 31 |
| Figure IV.7. trajectoire circulaire | 32 |
| Figure IV.8. Trajectoire quelconque..... | 32 |
| Figure IV.9. trajectoire hélicoïdale..... | 33 |
| Figure IV.10. principe d'asservissement d'un organe mobile..... | 34 |
| Figure IV.11. Asservissement numérique d'un axe de moteur..... | 35 |
| Figure V.1. Adresses informatiques et identificateurs d'axes..... | 38 |
| Figure V.2. prise en compte du rayon de l'outil | 43 |

| | |
|---|----|
| Figure VI.1. Commande numérique par ordinateur intégré..... | 48 |
| Figure VI.2. Commande numérique directe..... | 49 |
| Figure VI.3. organigramme des étapes en CFAO | 51 |
| Figure VI.4. exemple d'un système de base..... | 52 |
| Figure VI.5. fonction d'une cellule..... | 53 |
| Figure VI.6. schéma de commande numérique | 55 |
| Figure VII.1. structure d'un programme d'usinage..... | 58 |
| Figure VII.2. Elaboration des programmes d'usinage..... | 60 |
| Figure VII.3. axes de déplacement d'un centre d'usinage à broche horizontale..... | 62 |
| Figure VII.4. décalage de l'origine..... | 71 |
| Figure VII.5. programmation absolue et relative | 71 |
| Figure VII.6. correction dynamique des outils..... | 72 |

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Introduction
Générale

I. INTRODUCTION :

Apparut il y a seulement quelques dizaines d'années, la COMMANDE NUMERIQUE (CN) impose actuellement sa technologie dans le monde de l'usinage ; conçue pour piloter le fonctionnement d'une machine à partir des instructions d'un programme sans intervention directe de l'opérateur pendant son exécution , elle a un premier temps , permet de franchir un pas important dans l'automatisation des machines - outils traditionnelles

Aujourd'hui , de plus en plus étroitement associée aux progrès de la micro-électronique et de l'informatique , la CN voit ses performances augmenter tandis que son prix et son encombrement ne cesse de diminuer ; elle pénètre de se fait dans les plus petites entreprises :

En raison des besoins de l'industrie en précision et miniaturisation des organes mécaniques de toute ces installations , l'intégration des systèmes à commande numérique dans les machine différentes , a résolu plusieurs problèmes de tolérance sur les dimensions à usiner , l'usinage de formes complexes , qui se faisait péniblement avec les machines - outils classiques .

Pour mieux gérer la production , et avoir un gain plus élevé , il a fallu attendre l'évolution des systèmes informatiques et les systèmes d'exploitations telle que WINDOWS , grâce à ces systèmes , les possibilité de programmations des MOCN ont augmentées , pour cela on introduit la CFAO (conception et fabrication assistées par ordinateur) .

Exploitant au maximum les possibilités de la micro - informatique , toute les données sont traitées en temps réel c'est-à-dire au moment ou elles sont générées .

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 .

Enfin on peut dire que les deux termes CFAO et CN , sont actuellement indissociables , d'ou la fusion des deux concepts , afin d'établir la liaison entre eux .

En ce sens , il ne s'agit pas d'établir un logiciel de CFAO , mais de leurs utilisation , c'est-à-dire :

- comment utiliser la CFAO .
- le principe de son fonctionnement .
- comment l'introduire dans l'entreprise .

Il est aussi nécessaire de préciser que l'on doit avoir des connaissances suffisantes pour utiliser la CFAO c'est-à-dire .

- 1) Connaissances en conception (dessin)
- 2) Connaissances en fabrication mécanique (gamme d'usinage en général).
- 3) Connaissances en informatique (exploitation) .

2. HISTORIQUE : [8]

Les travaux menés par FALCON et JACQUARD à la fin du 18^{ème} siècle ont montré qu'il était possible de commander les mouvements d'une machine à partir d'informations transmises par un carton perforé ; leur métier à tisser de 1805 fut le premier équipement à être doté de cette technique et de ce point de vue , il peut être considéré comme l'ancêtre de la commande numérique . il faut cependant rattacher l'exploitation industrielle de la CN au développement de l'électrotechnique .

rappelons maintenant, les différentes étapes de développement de la commande numérique.

- 1954 : BENDIX acquiert le brevet de parsons et fabrique la première commande numérique industrielle .
- 1955 : à Font du Lac (Wisconsin) , le constructeur américain Giddin & Lewis commercialise la première MOCN .
- 1959 : apparition de la commande numérique en Europe (foire de Hanovre) .
- 1964 : en France , la Telemécanique Electrique lance la CN NUM100 conçue à base de relais Téléstatic .
- 1968 : la commande numérique adopte les circuits intégrés ; elle devient plus compacte et plus puissante .
- 1972 : les minicalculateurs remplacent les logiques câblées ; la CN devient CNC .
- 1976 : développement des commandes numériques à microprocesseurs .
- 1984 : apparition de fonctions graphiques évoluées et du monde de programmation conversationnel .
- 1986 : les commandes numériques s'intègrent dans les réseaux de communication début de l'ère de la fabrication flexible .
- 1990 : développement des CN à microprocesseurs (32 bits) .

CHAPITRE

I

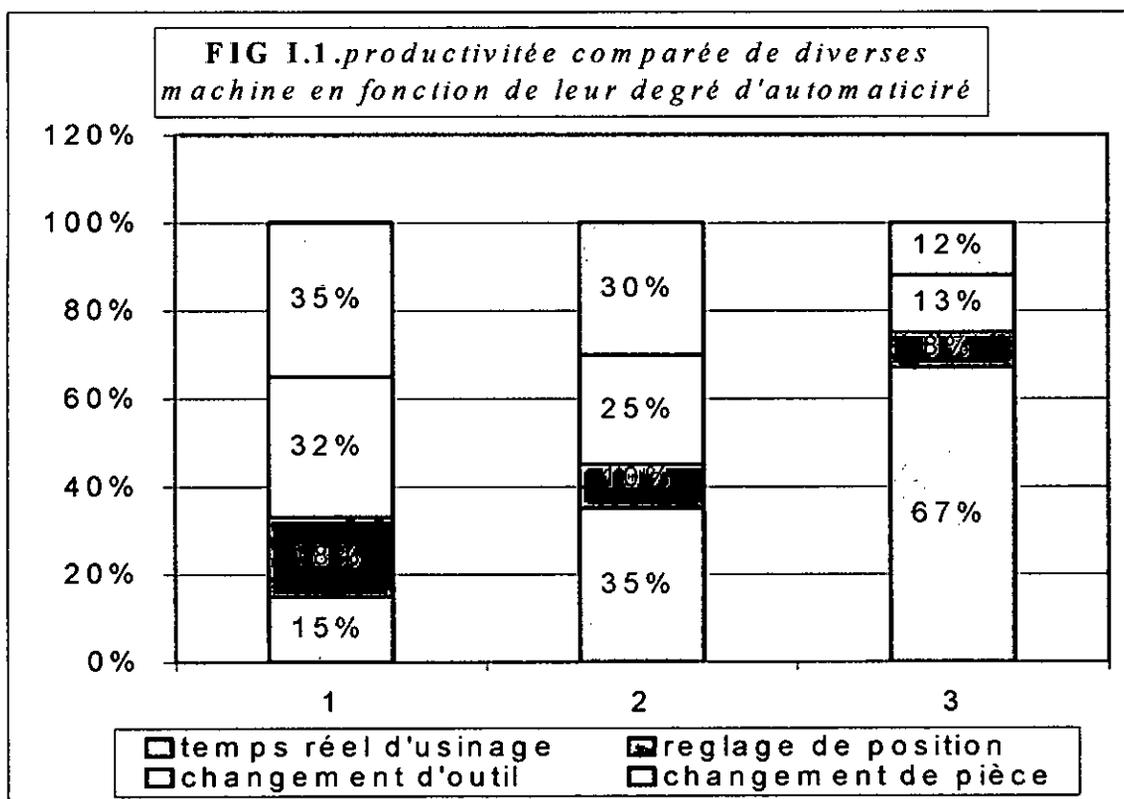
Généralités sur les
MOCN

- La commande numérique est une technique utilisant des données composées de codes alphanumériques pour représenter les instructions géométriques et technologiques nécessaires à la conduite d'une machine ou d'un procédé.
- C'est également une méthode d'automatisation des fonctions des machines ayant pour caractéristique principale une très grande facilité d'adaptation à des travaux différents ; à ce titre, la commande numérique 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 ou 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 ordinateurs , qui intègrent un ou plusieurs ordinateurs spécifiques pour réaliser tout ou une partie des fonctions de commande .
- tout les systèmes de CN commercialisés actuellement contenant au un micro processeur.
- Les termes CN et CNC peuvent être considérés comme des synonymes.

I.1. JUSTIFICATION DE LA CN : [8]

I.1.1. automaticité :

- Le première avantage d'une commande numérique est d'offrir aux machines qui en sont équipées un très haut niveau d'automaticité, sur de telles machines, l'intervention de l'Opérateur nécessaire pour assurer la production de pièce peut être considérablement réduite, voir supprimée .
- De nombreuse MOCN peuvent ainsi fonctionner sans aucune assistance pendant toute la durée de leur cycle d'usinage , laissant l'opérateur libre d'accomplir d'autre 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 .



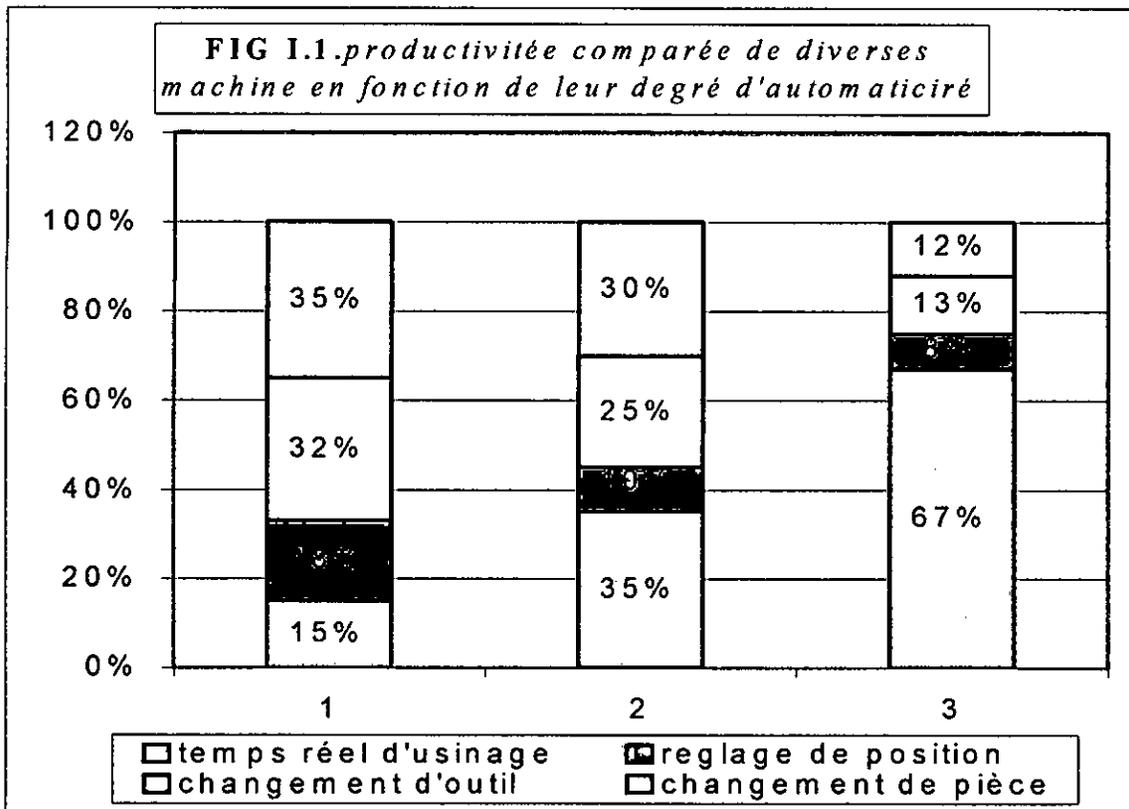
- (1) machine outil conventionnel.
- (2) Machine outil à commande numérique.
- (3) Centre d'usinage avec changeur d'outils et palettisation.

I.1.2. flexibilité:

Puisque les MOCN sont pilotées à partir d'un programme, elles peuvent usiner des pièces différentes aussi facilement que l'on charge un nouveau programme ; une MOCN se caractérise par des temps de réglage très courts qui répondent parfaitement aux impératifs de la production en flux tendu.

La souplesse d'utilisation de la CN permet de nombreux avantages tels que :

- Changement aisé du programme d'usinage.
- Réduction des coûts de fabrication.
- Réduction des outillages, et suppression des gabarits.
- Diminution du nombre des outils spéciaux.
- Réduction du temps de préparation.
- Prise en compte rapide des modifications.
- Définition plus rapide et plus fiable des conditions optimales d'usage.



- (1) machine outil conventionnel.
- (2) Machine outil à commande numérique.
- (3) Centre d'usinage avec changeur d'outils et palettisation.

I.1.2. flexibilité:

Puisque les MOCN sont pilotées à partir d'un programme, elles peuvent usiner des pièces différentes aussi facilement que l'on charge un nouveau programme ; une MOCN se caractérise par des temps de réglage très courts qui répondent parfaitement aux impératifs de la production en flux tendu.

La souplesse d'utilisation de la CN permet à de nombreux avantages tels que :

- Changement aisé du programme d'usinage.
- Réduction des coûts de fabrication.
- Réduction des outillages, et suppression des gabarits.
- Diminution du nombre des outils spéciaux.
- Réduction du temps de préparation.
- Prise en compte rapide des modifications.
- Définition plus rapide et plus fiable des conditions optimales d'usinage.

- Réduction du nombre de prises de pièce.
- Diminution du temps d'attente en les diverses machines.
- Gain sur les surfaces occupées de l'atelier.
- Possibilité de réaliser des pièces complexes.
- Contrôle automatique des outils et des dimension de la pièce.

I.1.3. sécurité :

La commande numérique a beaucoup contribué à améliorer la sécurité des machines par :

- La connaissance de l'enveloppe de travail.
- La possibilité des simulations graphiques.
- La surveillance permanente de l'usinage, et possibilité d'arrêt d'urgence.

Il est par ailleurs admis que le niveau de performances atteint par les MOCN conduit les constructeurs à prévoir des dispositifs de protections.

I.1.4. précision :

Ces conceptions sont faites d'une manière à ce qu'on contrôle tout les déplacements et les variation de vitesses , car le calculateur se charge de calculer les temps d'accélération et de décélération , pendant le déplacement d'un organe , par l'intermédiaire de capteur et de systèmes de mesures que l'on verra dans le chapitre concernant le traitement des informations .

I.2. EVOLUTION DES MOCN :

Les systèmes de CN évoluent bien entendu de façon permanente, les systèmes CNC et DNC , et le partage des fonctionnalités entre les différents processus est en cours d'autres évolutions importantes peuvent être relevées :

- la commande adaptative .
- l'intégration dans les ateliers flexibles .
- l'intégration dans les systèmes de CFAO

Actuellement bien que la notion de productivité reste une priorité dans la conception des CN , les principaux fabricants améliorent de plus en plus leur ergonomie ; c'est à dire à leur convivialité vis-à-vis de l'opérateur et leurs capacités à gérer leur environnement programmation simplifiée, communication améliorée avec les services en amont dans l'entreprise, prise en compte des bases de données technologiques et possibilité graphiques élargies sont autant d'avancées technologiques qui contribuent à désacraliser la CN au sein des ateliers .

1.2.1. L'USINAGE A GRANDE VITESSE :

Longtemps réservé au travail des métaux légers , la technologie d' UGV se tournent actuellement vers les métaux durs , en particulier les aciers traitées que l'on rencontre en permanence dans les industries de fabrication des moules et des outillages .

Les fonctionnalités demandées à la commande numérique appelée à traiter ce type D'application sont :

- 1) recherche d'erreurs de poursuite nulle par modulation anticipée des vitesses en Fonction des changements de trajectoire , et gestion progressive des accélérations .
- 2) mise en oeuvre d'une fonction dite (anti-pitch) ayant pour objet de corriger les défauts perceptibles à chaque changement de quadrant d'un cercle , au moment précis ou le moteur d'axe correspondant inverse son sens de rotation .
- 3) augmentation de la puissance de calcul ,(au besoin par adjonction de processeur Supplémentaires) .
- 4) mise en oeuvre d'une fonction dite (look-ahead) ; qui consiste à analyser le programme pièce par anticipation (en général plusieurs dizaines de blocs à l'avance) , de manière à prévoir les accidents de parcours et à réduire la vitesse d'avance sur les points critiques de la trajectoire .

1.2.2. LES FONCTION PC INTEGREES :

De plus en plus , la CN intègre les convivialités du monde PC en conservant toutes ses performances intrinsèques dans le domaine du suivie de trajectoire en temps réel , elle peut ainsi recevoir sur son écran les logiciels métiers développés sur PC (optimisation des conditions de coupe) .

Les plus récents développements sur ce sujet insistent sur l'ouverture croissante de la CN aux réseaux du monde de PC (présence d'un port) pour cartes (pcmcia) au format des cartes de crédit.

1.2.3. LA GESTION MULTIGROUPE D'AXES :

L'amélioration de la productivité impose d'effectuer le plus grand nombre d'opération sur une même machine , avec une structure multigroupe , les commandes numériques ont la faculté , en plus de gérer l'usinage proprement dit , de prendre en charge toutes fonctionnalités liées à l'environnement de la machine :

- Portique d'alimentation de Pièces .
- Changeurs d'outils .

- Dispositifs de reprise de pièce .
- Palpeurs de mesures .

Ce mode de gestion est particulièrement intéressant pour assurer le pilotage des machines spéciales comportants plusieurs poste de travail ; à titre d'exemple; la CN NUM 1060 pilote un total de 32 axes répartis en 8 groupes indépendants , chaque groupe pouvant comporter de 1 à 9 axes .

1.2.4. LA COMMANDE NUMERIQUE PAR APPRENTISSAGE :

Les CN dites par apprentissages permettent à un Opérateur non spécialisé en programmation CN de réaliser une pièce unitaire ou prototype, en s'aidant de manivelles et de touches symboliques de fonctions d'aides disposées sur le pupitre de la CN ou de la machine ; toutes les opérations effectuées sont mémorisées et reproduites automatiquement pour assurer l'usinage des pièces suivantes ou des séries futures .

Des systèmes plus puissants complètent le mode opératoire décrit précédemment par la prise en compte des données technologiques relatives aux outils employés , et à la matière à usiner , de manière à élaborer directement à l'écran une gamme d'usinage optimisée de la pièce .

Toutes ces évolutions sont dues au fait que les dispositifs avaient trop d'inconvénients parmi Cela on peut citer :

- la limitation de la commande analogique par rapport à celle de la commande numérique , bien que la technologie numérique pose quelque problèmes comme sa limite vis-à-vis des phénomènes thermiques et physico-chimiques , mais cela ne change pas le fait que la CN permet de faire des opérations complexes sous une forme compacte .
- le degrés de complexité de certaines opérations a fait que la fabrication de composants numériques est devenue plus importante .

1.3. CLASSIFICATION DES CN :

La complexité d'un système e CN varie en fonction du type de déplacement qui pourra être accompli sur la machine, on citera donc les trois types de système :

- Système de commande point par point.
- Système de commande paraxiale.
- Système de contournage.

CHAPITRE

II

*Introduction
à la
C.F.A.O*

II.1. DEFINITION: [6]

L'abréviation **C.F.A.O** signifie :

(CONCEPTION et FABRICATION ASSISTEES PAR ORDINATEUR) .

En effet la **CFAO** a pour domaine d'application l'ensemble du processus de conception et de fabrication des entreprises et recouvre donc les aspects:

- **CONCEPTION** (bureau d'études , équipes de recherches)
- **FABRICATION**(atelier....).

La **CAO** est une technique dans laquelle l'homme et l'ordinateur sont rassemblés pour résoudre des problèmes techniques , et la **CAO** se préoccupe de la création des données qui décrivent l'objet à concevoir , de la manipulation de ces données afin d'aboutir à une forme achevée de conception ,et de la génération des informations nécessaires à la fabrication de cet objet à partir de ces données. Cette définition nous permet d'introduire les notions de dialogue **HOMME-MACHINE**,qui nous permet de fusionner la qualité de l'homme(esprit de synthèses ,invention ,prise en compte de notion qualitatives),et la machine (rapidité de calcul, possibilité de traiter un grand nombre de données à une grande vitesse ,sortie graphique interface avec d'autre matériel). Le modèle défini par la **CAO** sera donc le support d'information de la conception et jouera le rôle central dans le système de **CFAO**.

La **FAO** est l'utilisation de l'informatique pour planifier ,gérer et contrôler les opérations de fabrications .les application de la **FAO** sont très diverses telles que :

- contrôle de machine à commande numérique .
- ateliers flexibles.
- conduite de robots, et autres.....

les applications de la commande numérique (**CN**) ont été d'ailleurs à l'origine de developement de la **CAO** et **FAO**.

La mise en oeuvre de systèmes de **CFAO** est la technologie qui a trait à l'usage de l'informatique dans le processus de conception-fabrication .

II.2.CFAO ET PROCESSUS DE CONCEPTION- FABRICATION: [6]

Il est impensable de concevoir un produit industriel sans tenir compte des contraintes de fabrication , de sa mise en œuvre , et de son utilisation ; c'est pour quoi on est passé de la **CAO** qui ne concerne que les phases de conception à la **CFAO** qui s'intéresse à l'ensemble du processus de conception -fabrication .

Pour ce faire on distingue les étapes suivantes de la définition d'un processus :

Avant projet : élaboration du cahier des charges

- Choix technologiques
- Vérification des spécifications
- Schéma de principe etc...

Le projet: - choix physiques

- Etudes des contraintes

Les méthodes: préparation à la fabrication

Fabrication: - préparation de la commande numérique

- Planification
- Gamme, contrôle de qualités

Maintenance: réalisation des notices .

Enfin pour situer la CFAO on se réfère au schéma ci-dessous:

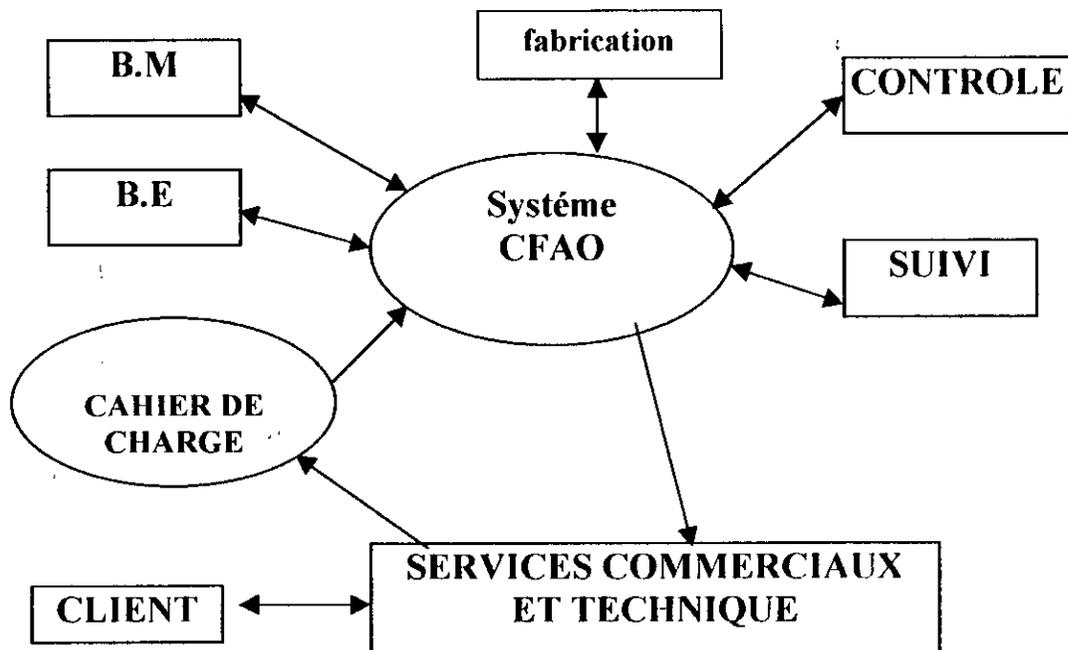


FIG .II.1. ORGANISATION AUTOUR DE LA CFAO

II.3. PRINCIPAUX DOMAINES D'APPLICATIONS :

Les principaux domaines d'application de la CFAO sont:

1) l'électronique:

la CFAO est utilisée dans ce domaine pour les possibilités qu'elle offre telles que les outils de simulations, aides au dépannage, aides au placement et à l'implantation

2) la mécanique:

les problèmes traités concernent:

- le dessin technique
- la définition de formes complexes
- la conception de mécanismes incluant les études cinématiques .
- calcul de résistance des matériaux
- conception d'outillages .
- liaison avec la commande numérique.

3) l'architecture

dessin, calcul de structures etc. . . .

II.4. L'INTEGRATION DE LA C.F.A.O :

La CFAO est l'ensemble des techniques d'assistance ou d'automatisation du processus de conception - fabrication .

L'intégration de la CFAO dans l'ensemble du processus de conception - fabrication est sans conteste le grand pari de demain . En effet, il n'existe actuellement que très peu d'exemples d'intégrations dignes de ce nom dans l'industrie .

Il est couramment admis que seule l'intégration, qui permettra d'avoir une approche pour aller de l'idée au projet, et apportera les véritables gains, que l'on peut attendre de la CFAO (qualité, flexibilité,).

Malheureusement, l'intégration de la CFAO dépend de facteurs bien difficiles à

Maîtriser tels que :

- l'informatique .
- les machines de fabrication (à commande numérique, robots,).
- la planification et le contrôle .
- les stocks, les transferts, ...
- les Hommes .

l'intégration est plus facile à atteindre dans des cas spécifiques , dont le processus de conception - fabrication , et l'environnement associé n'est pas complexe .

Il est aussi nécessaire de préciser que dans certain , domaine , l'élaboration d'un logiciel de CFAO est spécifique , c'est-à-dire , le logiciel est destiné à une fonction bien définie .

CHAPITRE

III

*Constitution
Des
MOCN*

III.1. FONCTION D'UNE MOCN : [8]

Comme on a vu dans le chapitre I , la machine-outil à commande numérique, est une machine outil englobée dans une structure de communication, qui est composée de :

- partie opérative
- partie commande

Dans ce chapitre on ne va pas traiter la partie commande, car cette partie sera vu dans les chapitres qui vont suivre :

La partie opérative est l'ensemble des organes qui peuvent constituer une machine-outil conventionnelle, avec quelques petites différences.

Nous nous proposons de dresser un schéma qui va résumer la fonction

Commande numérique comme l'indique la figure III.1.

Cette figure , présente le diagramme fonctionnel d'une CN en générale , elle se résume Comme suit :

1) Entré du système :

La CN reçoit dans son unité centrale :

- le programme d'usinage de la pièce sous forme codée (voir chapitre VII) .
- les paramètres d'usinage , qui sont en générale les dimensions de l'outil .
- des signaux électriques de mesure de vitesse et de position en provenance des capteurs implantés aux niveau de la partie opérative .
- des signaux logiques d'état des équipements (commande , sécurité ,....)

2) Préparation des données :

une fois les données introduites le travail de la CN consiste à :

- analyser le programme .
- prendre en compte les paramètres d'usinage , afin de modifier les données numériques programmées qui viennent d'être analyser .
- mettre en file d'attente les blocs d'informations prétraités et organiser leurs stockage dans une mémoire afin d'assurer la continuité du mouvement entre deux phases d'usinage successives .

3) Traitement des données :

Les informations stockées , son enfin prêtes à être traitées , c'est-à-dire , contrôle des axes d'une part et traitement des fonctions logiques spécifiques de la machine (broche , outils , etc ...) d'autre part .

Les fonctions de traitement sont assurées par les interpolateurs (voir chapitre IV) , Le traitement des fonctions logiques concerne les fonctions annexes de la machine telles que :

- le changement d'outils .
- le pilotage du magasin d'outil .
- commande de l'arrosage .
- gestion des gammes de vitesses .
- mise en rotation et arrêt de la broche .
- commande des automates (chargement et déchargement de pièces) .

4) Sortie du système:

Le résultats dü traitement des données apparaît sous forme de signaux de sortie transmis de la CN vers l'extérieur :

- Moteurs d'entraînements.
- Eléments périphériques.

III.2. INFLUENCE DE LA CN SUR LA MORPHOLOGIE DES MACHINES : [1]

III.2.1. GUIDAGE :

Une MOCN se caractérise essentiellement par la précision de déplacement de ses Organes mobiles et par ses efforts d'usinage importants ; la nécessité d'un asservissement Précis , rapide et stable conduit à la conception de systèmes de guidage .

Pour cela on peut citer quelque solution :

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

Pour avoir des glissières dépourvues de frottements , on connaît un bien plus grand nombre de solutions que dans le cas des broches filetées, on choisira particulièrement les dispositions données par les figures III.2 .

la figure (a) nous donne un exemple d'une glissière de chariot ouverte montée sur des roulements à aiguilles, qui supprime le contact entre le chariot et la glissière,

Et on peut citer aussi les glissières à queue d'aronde avec quatre cages cylindriques séparées comme l'indique la figure (b) .

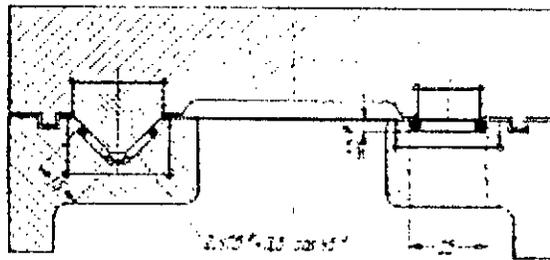


FIG III.2.a. *glissière de chariot ouverte.*

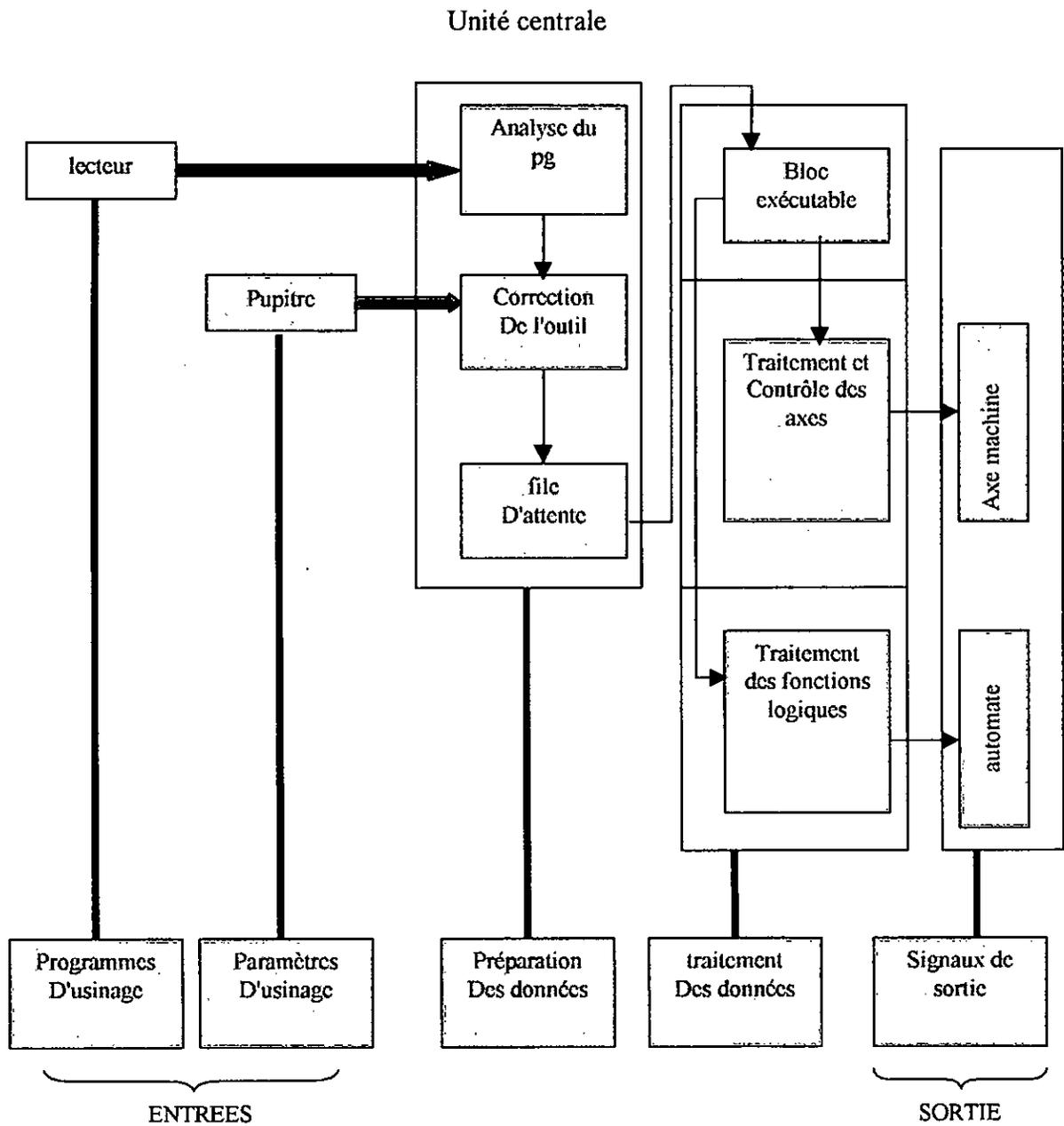


FIG III.1. *diagramme fonctionnel d'une CN.*

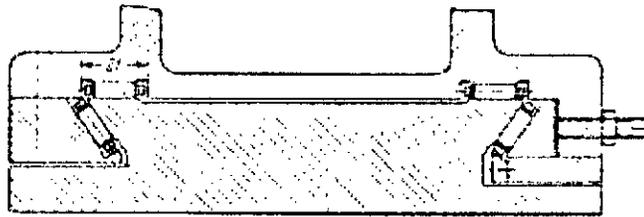
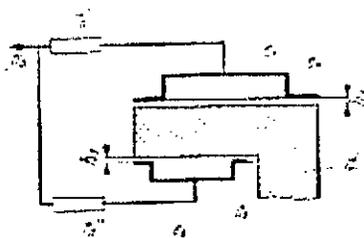


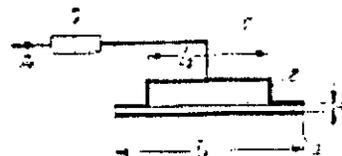
FIG III .2.b. glissière à queue

Cette solution est l'une des plus possibles, car l'étude des matériaux résistants et rigides, est toujours en cours donc on ne peut pas se prononcer et opter pour l'un des système , mais il y a lieu de dire que le choix du type de glissière dépend du type de commande à savoir (point par point, trajectoire).

Et il existe aussi les équipages hydrostatiques, dont la figure III.3 illustre le principe. la surface de la glissière est constituée par des plaquettes dont les cavités laissent échapper l'huile sous pression



Glissière de chariot fermée



Glissière de chariot ouverte

FIG III.3. principe d'un guidage lubrifié .

III.2.2. APPROVISIONNEMENT EN OUTILS :

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

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

Il existe plusieurs sorte de magasin d'outils :

- circulaire (à disque) .
- à chaîne (simple , double ou triple) dont la capacité peut dépasser 100 outils .
- à cartouche , comportant plusieurs emplacement .

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

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

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

pour que ces équipement (outils , porte outil ,) puissent être facilement reconnus par la CN , un système de codage est apposé sur le corps du porte outil , sous forme d'anneau codée , ou une puce électronique .

Les opérations de préréglage d'outils sont largement utilisées lors des changements de production , elles consiste à mesurer avec précision la longueur et le diamètre de l'outil et à informer la CN qui en tiendra compte sous forme de correction d'outil au moment d'usinage .

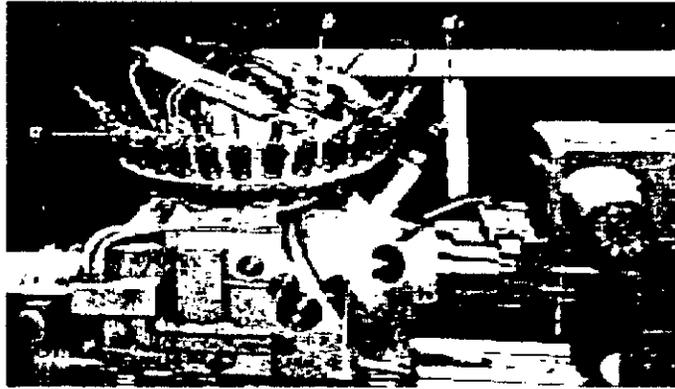


FIG III.4. *magasin d'outils à 31 positions .*

III.2.3. APPROVISIONNEMENT EN PIÈCES :

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

Sur les machines à pièce tournante , les solutions retenues sont les suivantes :

- bras manipulateurs situés à l'extérieure de la machine .
- Robots au sol pouvant desservir plusieurs machines.
- Portiques conçus pour le transfert de pièces par la partie supérieure du poste de travail.

Sur la machine à outil tournante , les systèmes à palettes sont les plus utilisés , ils présentent l'avantage de monter et démonter les pièces en temps masqués .

il existe diverses configurations de palettiseurs, la plus simple étant constituée d'une table circulaire ou linéaire (voir figure III.5) , ce type de configuration permet en outre une prolongation du temps productif en dehors des horaires normaux de travail , si des moyens appropriés de surveillance de l'usinage ont été prévus à cet effet .

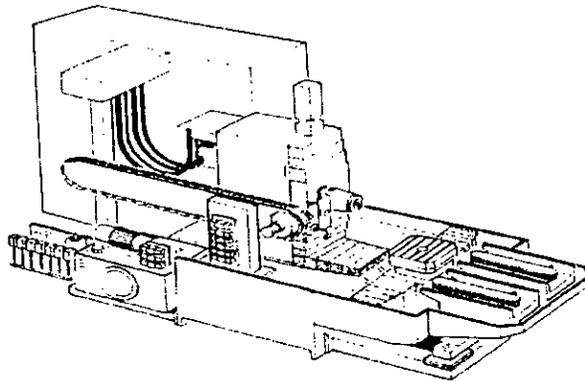


FIG III.5. *approvisionnement de pièces par palettisation .*

III.2.4. ENTRAÎNEMENT DES ORGANES MOBILES :

Les éléments nécessaires pour entraîner un mobile sur une MOCN sont le moteur et le mécanisme d'entraînement .

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

- commande individuelle de chaque axe .
- couple disponible sur l'axe moteur compris entre 1 et 100 N.m .
- possibilité de surcharge importante pendant les périodes d'accélération et de freinage .
- réponse à des demandes de déplacements très faible ($< 1\mu\text{m}$) .
- grande stabilité de vitesse .
- dynamique élevée surtout lors d'avance faible .
- déplacements rapides de l'ordre de plusieurs dizaines de mètres par minute .

Sur une machine à commande numérique , on trouve généralement des types de moteur .
Suivant l'utilité de ce dernier , on peut distinguer trois grandes technologies de moteurs de commande d'axes :

1) Moteurs pas à pas :

conçus de manière à tourner d'une valeur angulaire fixe donnée (pas), à chaque impulsion transmise ; le contrôle du nombre d'impulsions permet la réalisation de déplacements très précis ; 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 .

2) Moteurs à courant continu :

Faciles à mettre en œuvre et à contrôler, ils se caractérisent par un fort couple de démarrage et de bonnes capacités de vitesses et d'accélération .

3) Moteurs synchrones autopilotés :

Ces moteurs à courant alternatif sont les plus utilisés, ils se composent d'un rotor à aimants permanent ; d'un stator généralement triphasé et d'un dispositif interne de commutation de phases et se caractérise par une grande robustesse, une très bonne dissipation thermique, des vitesses élevées (4000 - 10000 tr / min.), le principe de commande le plus couramment retenu pour ces moteurs est de type sinusoïdal, en raison de la bonne stabilité qu'ils procurent à basse vitesse.

4) Moteurs asynchrones :

Ces moteurs sont destinés essentiellement à l'entraînement de la broche , ils sont munis de capteurs à haute résolution , et de systèmes de régulation avec contrôle vectoriel de flux qui garantissent un très bon comportement de la broche , dans des applications d'usinages , réclamants des vitesses de rotations très élevées , on fait appel à des électrobroches entraîné par un moteur asynchrone à haute fréquence monté en bout de broche (montage sur roulements hybrides à billes de céramiques) , ces équipements permettent des vitesses de rotation de l'ordre de 30000 à 50000 tr / min. dans des gammes de puissance pouvant atteindre 25 kW .

III.2.5. MECANISMES D'ENTRAINEMENT :

La chaîne cinématique qui , à partir de l'arbre moteur , doit assurer le déplacement de l'organe mobile doit être la plus courte et la plus directe possible ; si les caractéristiques et l'encombrement du moteur le permettent , on entraîne directement la vis , dans le cas contraire , on réalise un étage de réduction sans jeu avec une paire de roue dentées ou avec une transmission par courroie crantée .

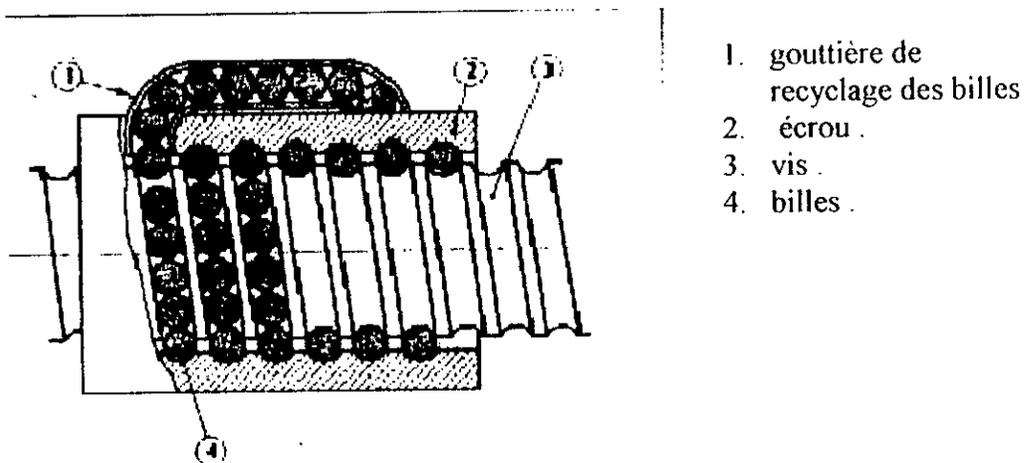
Enfin on peut citer quelques modes de transmission de mouvement :

1) Broche à circulation de billes :

La figure III.6 , montre d'une broche à double écrou à billes mobiles avec Recirculation, une telle disposition nous offre :

- la réduction des frottements entre la rainure hélicoïdale de la vis et de l'écrou , le rendement dépasse 90% et dans des conditions difficiles , l'échauffement reste encore minime .
- grâce au disque d'ajustage des portées , fini avec soin , le maintien de réglage dû au double écrou donne une bonne liberté de mouvement sans frottement et sans échauffement .

Grâce à leur bon rendement, les vis à billes permettent de façon relativement simple de convertir des déplacements longitudinaux en mouvements de rotation .



1. gouttière de recyclage des billes
2. écrou .
3. vis .
4. billes .

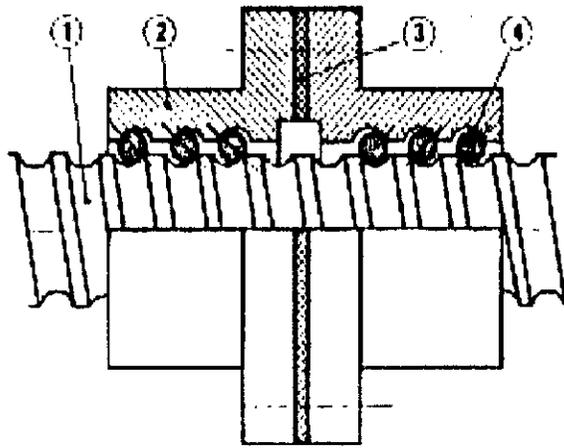
FIG III.6. broche à circulation de billes

2) Système vis - écrou:

c'est le système le plus répandu , il permet de transformer un mouvement de rotation en mouvement de translation ; comme le montre la figure III.7 , un moteur est fixé en bout de la vis ou par l'intermédiaire d'un variateur de vitesses , la vis est libre en rotation et immobilisée en translation sur le bâti de la machine , un écrou est fixé sur l'organe mobile et immobilisé en rotation et en translation ,si on fait tourner la vis l'écrou va déplacer l'organe considéré .

L'inconvénient de ce système est l'existence d'un jeu entre la vis et l'écrou dont on doit tenir compte. Pour cela on utilise des systèmes vis - écrou à rouleaux hélicoïdaux qui permet de transformer le frottement des filets vis - écrou en un Roulement, et le jeu est rattrapé en utilisant des écrous doubles rapprochables en utilisant des cales d'épaisseur.

Les vis à billes sont coûteuses, pour cela on ne les utilise que pour les déplacements allant jusqu'à 4 m, pour des courses plus grandes on utilise le système pignon - crémaillère.



1. vis .
2. écrou en deux partie
3. cale d'épaisseur .
4. billes .

FIG III.7. vis à billes .

III.3. PRECISION ET CONTROLE :

- Les MOCN sont contrôlées suivant les normes françaises et internationales , qui spécifient leur précisions de mise en position et leur précisions géométriques , le contrôle de la précision de positionnement a pou but de vérifier la qualité de la CN et les performances des asservissements sur leur axes .
- Le moyen le plus utilisé pour effectuer ces contrôles successifs en un même point de la machine est l'interféromètre laser (voir figure III.8) ; compte tenue de la longueur d'onde de son rayon lumineux , ce système offre , par se résolution de $0.16\mu\text{m}$, une possibilité de mesure de longueur d'une très grande précision .

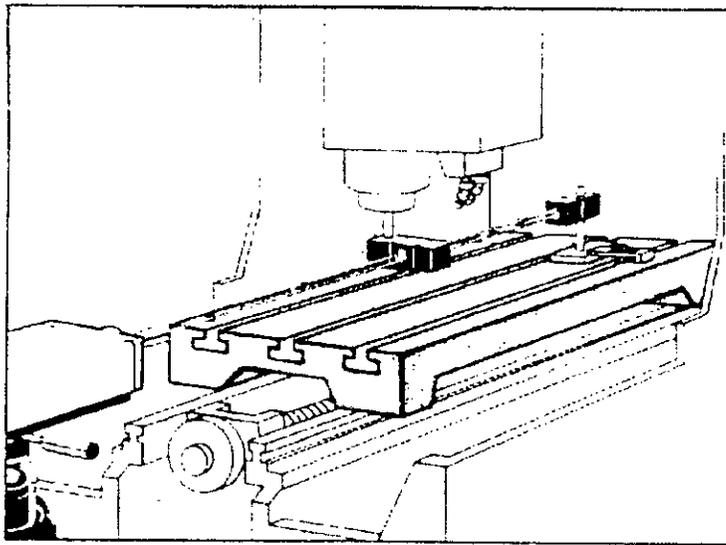


FIG III.8. *interféromètre laser*

- Le contrôle de la précision géométrique est généralement effectué à partir des résultats obtenus lors de l'usinage d'une pièce type , capable de fournir des indications sur la géométrie de la machine et sur la capacité de réaction de ses asservissements , un procédé plus récent fait appel à un dispositif appelé (ball- bar) que l'on peut traduire par tige instrumentée à boules voir figure III.9 , un ball bar est constitué d'une tige télescopique contenant un capteur qui mesure ses variations de longueur avec une précision de $1\mu\text{m}$; la tige terminée à ses deux extrémités par une boule sphérique de haute qualité .

- Chaque boule étant placée sur un support dégageant trois points de contact qui fournissent une rotule sans jeu ; l'un des supports est fixé magnétiquement sur la table , l'autre est pris en pince dans la broche de la MOCN ; le test de géométrie est réalisé en programmant un parcours circulaire de la broche dans un plan , le capteur enregistre les variations de ces parcours par rapport au parcours théorique programmé et transmet les informations correspondantes à un PC qui établit un diagnostic précis sur les principaux défauts de la géométrie de la machine et sur l'erreur de poursuite due aux asservissements .

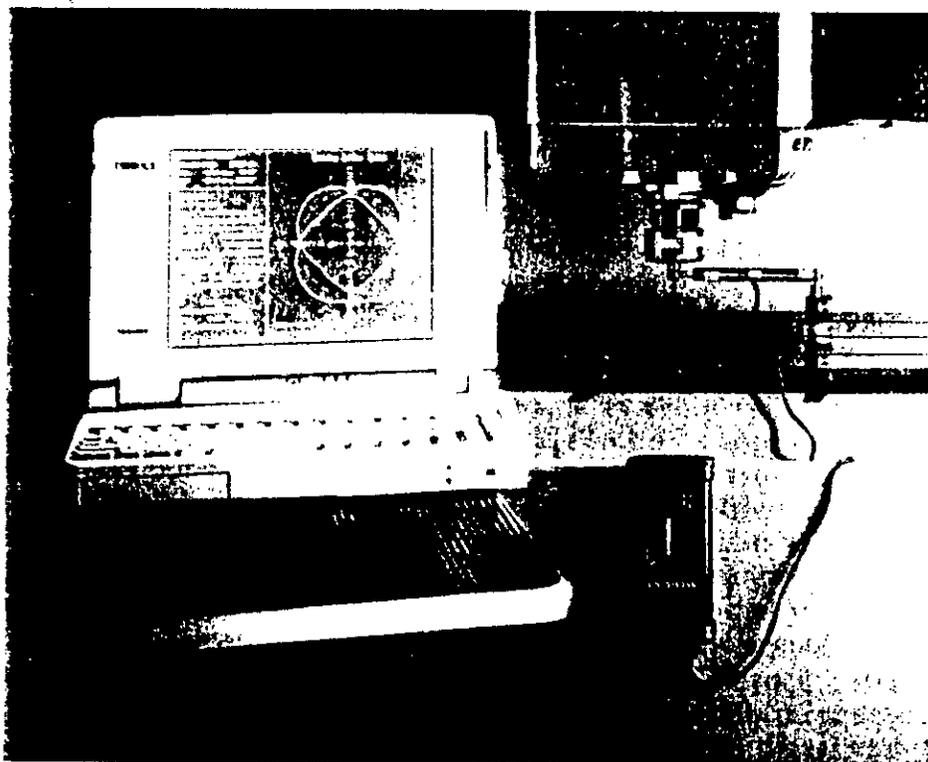


FIG III.9. *ball - bar*

CHAPITRE

IV

*Traitement interne
Des
Informations*

IV.1. LA M.O COMME ELEMENT TRAITANT L'INFORMATION :

- Dans cette partie on s'intéressera à l'interface qui lie la partie opérative et la partie commande, cela dit on va considérer la machine outil comme un système traitant l'information, capable de s'insérer dans une structure de communication, pour cela on doit considérer deux aspects qui sont :

- 1) l'établissement et la préparation des informations de travail de la première forme du projet , une fois ces informations prêtes elles sont transférées vers la machine par l'intermédiaire de supports physiques .
- 2) Traitement interne des informations qui est l'opération qui se déroule à l'intérieure de la machine-outil ; cela commence par l'entrée manuelle ou sur un support des informations dans la machine et comprend aussi , toute la commande de la machine .

Si on considère la machine - outil avec ses organes de traitements internes, on peut démontrer que deux modes de traitements sont appliqués, on peut donc adopter les deux appellations , information de commutation et information de parcours.

IV.2. LA M.O ENGLOBEE DANS UNE STRUCTURE DE TRANSMISSION :

Pour établir des systèmes de commande numérique et construire des réseaux de systèmes , l'examen des relations de fonctionnement, entre les déplacements des organes des machine - outils , présente une importance particulière , cela dit on distingue :

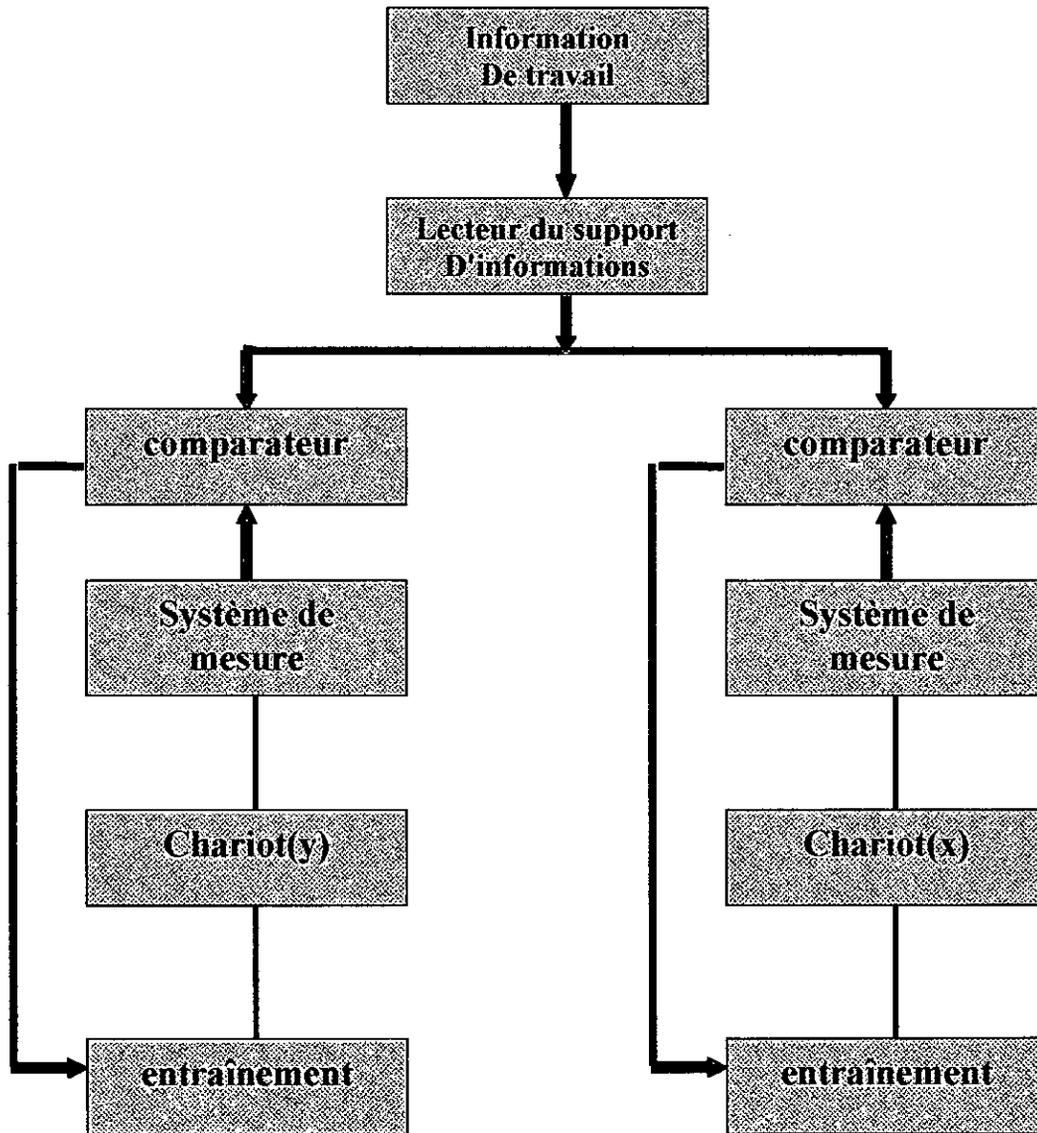
1) Sans relation entre les fonctionnements :

Elle concerne les commandes point par point et la commande segmentaire (rectiligne), dans cette commande l'outil n'est en prise que pour les parcours de chariots sur une Direction.

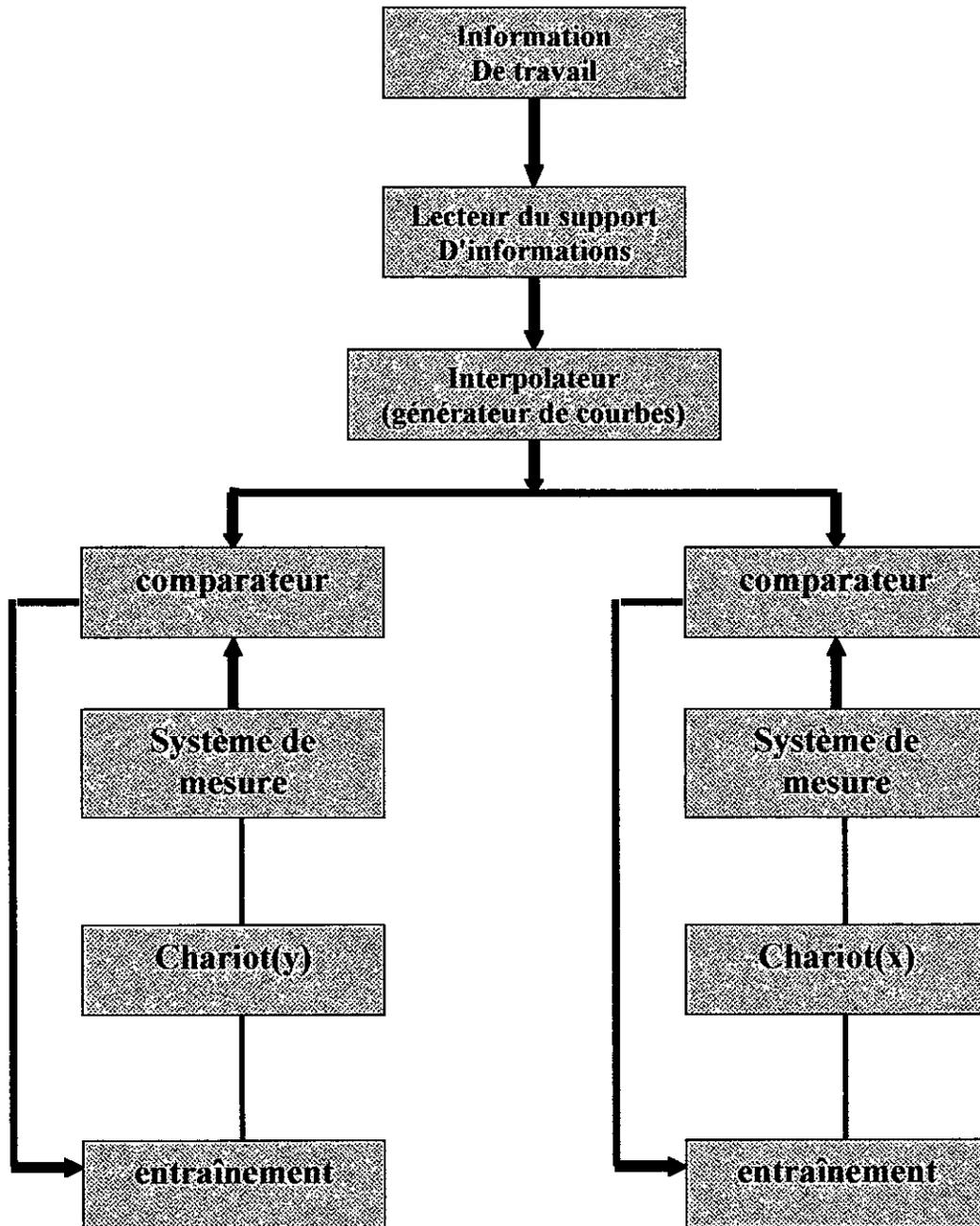
2) avec relation entre les fonctionnements :

Celle - ci est réservée aux commandes de trajectoire , qui se trouve à l'opposé des premières commande citées, qui sont définies par les commandes des machines à coutournage de profils, dans lesquelles l'outils est conduit selon un trajet de forme définie à volonté.

Pour illustrer les deux types de relations dont on a parlé précédemment on se réfère aux deux schémas ci-dessous .



FIGIV.1. *flux d'information dans une commande sans relation De fonctionnement entre les parcours.*



FIGIV.2. flux d'information dans une commande avec relation De fonctionnement entre les parcours.

Comme on le voit dans la figure (IV.2), les informations de travail sont introduites dans le système en passant par un générateur de courbes (interpolateur), son rôle est :

- Détermination d'une valeur moyenne entre deux points par interpolation linéaire, quadratique, cubique,....
- Le calcul de vitesse d'avance.

IV.3. MESURE DE DEPLACEMENTS :

Dans tout les systèmes de pilotages avec boucle de retour, on compare en permanence la position réelle du mobile avec la valeur de consigne délivrée par la CN, le résultats de cette comparaison appelée erreur de poursuite, sert à élaborer le signal de commande du moteur d'entraînement

IV.3.1. méthodes de mesures :

En fonction de la position du capteur sur la machine, la méthode de mesure est soit Directe ou indirecte.

- 1) dans le système de mesure directe le capteur de position est fixé directement sur l'organe mobile à positionner ; ce type de montage est plus satisfaisant du point de vue de la précision .
- 2) dans le système à mesurer indirecte, le capteur de position est monté en bout de vis-mère ou sur le mécanisme d'entraînement, ce type de montage fait intervenir un certain nombre d'erreurs dues au contraintes mécaniques .
- 3) la mesure absolue est dite lorsque les déplacements sont mesurés à partir de la même origine (un point fixe de la machine) .
- 4) la mesure est dite incrémentiel ou relative, lorsque le déplacement demandé s'effectue par rapport à la position précédemment atteinte, cette solution nécessite la reprise du zéro absolu à chaque mise sous tension de la CN .

Pour illustrer les principes de mesures de positions on se réfère aux figures IV.3 et IV.4

- 1) Dans le cas de la figure (IV.3) on voit un système de mesure fonctionnant par translation, la mesure du déplacement est directe, par conséquent, indépendante de la précision de la vis - mère d'avance ; le système de mesure reste également indépendant du mode d'entraînement choisit ; une telle méthode directe de mesure a été toujours appréciée, malheureusement, les systèmes de mesures à fonctionnement linéaire sont en général les plus coûteux.
- 2) Dans le cas de la figure (IV.4) le système de mesure est lié à la vis d'avance, le parcours est donc mesuré indirectement par l'angle de rotation de la vis ; ainsi tout les jeux ou écart de cette vis, les contraintes d'actions des forces etc. ..., sont comprises dans cette mesure cette disposition présente les avantages suivants :
 - ce dispositif est plus simple et moins coûteux que le premier .
 - grâce au rapport d'engrenage d'avance on obtient un certain facteur d'agrandissement , il en résulte plus de facilités pour le palpé des petites unités de déplacements .

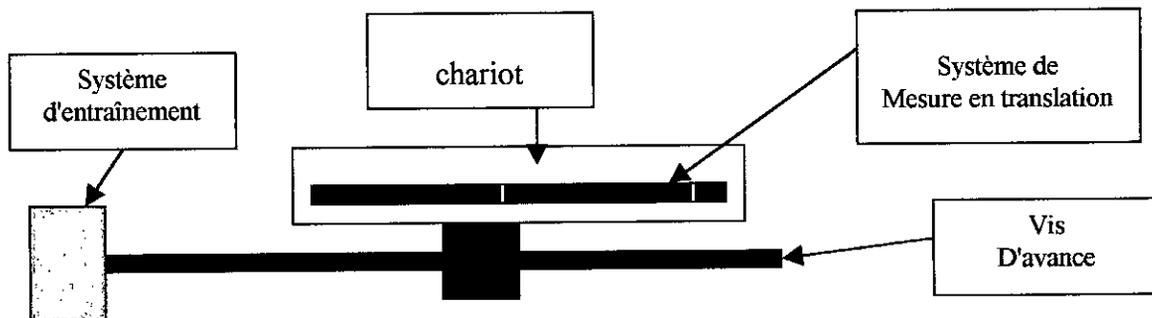


FIG IV.3. mesure de position d'un chariot (système linéaire)

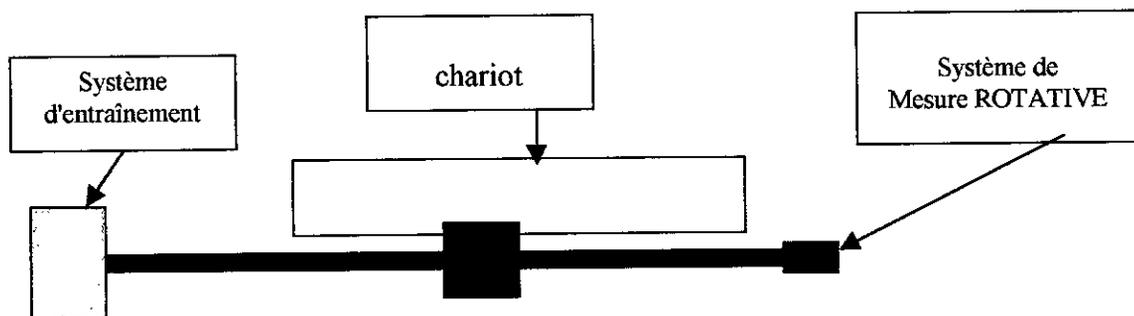


FIG IV.4. mesure de position sur vis d'avance

IV.4. INTERPOLATEURS INTERNES :

On a vu dans le cas de la commande numérique de trajectoires , qu'il faut maintenir une relation de fonctionnement entre les déplacements sur toutes les directions prévues de la machine , cela nécessite un organe de calcul de trajectoire qu'on appelle interpolateur ; ces interpolateurs dit internes doivent avoir la possibilité de fonctionner en temps réel .

IV.4.1. interpolation parabolique :

* Dans le cas d'une interpolation parabolique, les fonctions $X= P_1(t)$ et $Y= P_2(t)$ prennent la forme de lois mathématiques de construction de formes géométriques, et à l'aide des convertisseurs et des systèmes de régulation, on donne aux chariots les vitesses d'avance nécessaires pour effectuer les trajectoires voulues, plus notre système d'asservissement de mouvement est précis et sensible ,c'est-à-dire , le degré d'interpolation le plus élevé possible plus notre profil à usiner est proche du profil théorique ; pour cela on dispose de moyens électroniques , qui sont les convertisseur et les régulateurs de systèmes asservis.

Donc pour usiner une forme parabolique il faut asservir les deux mouvements en X et Y , l'interpolateur calcul les vitesses d'avances des chariots x et y en fonction de (t) , et envoie le signal vers les chariots .

En réalité, l'interpolateur interne qui est appelé aussi générateur de courbes, effectue un calcul de trajectoire dans les directions prévues, dans ce type d'interpolation il fait de sorte à ce que les chariots (x) et (y) avancent suivant l'équation interpolante les points définis par le programme d'entrée.

Selon la figure IV.5 les chariots x et y effectuent simultanément le trajet décrit par la courbe .

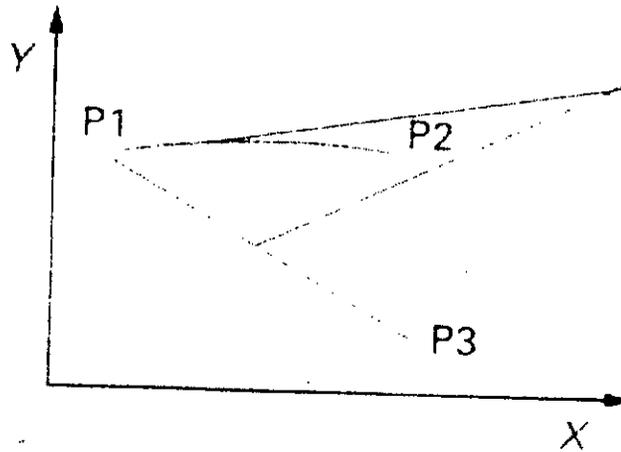


FIG IV.5. trajectoire parabolique .

IV.4.2. interpolation linéaire :

dans ce cas la trajectoire est effectuée en suivant un profil linéaire , comme décrit par la figure IV.6 , les chariots reçoivent l'ordre à la sortie de l'interpolateur qui fait le calcul de trajectoire en se basant sur les coordonnées entrées dans le programme .

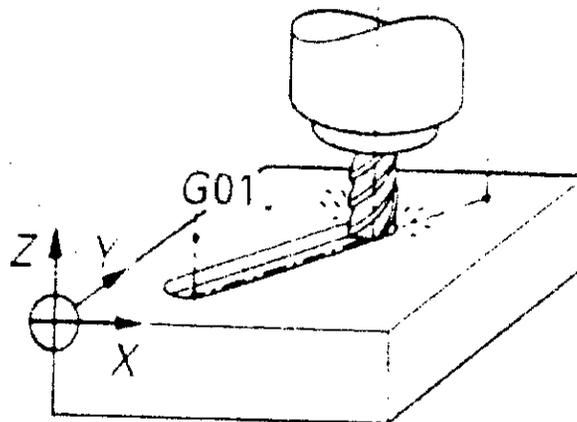


FIG IV.6. trajectoire linéaire .

IV.4.3. interpolation circulaire :

dans ce type d'interpolation les chariots suivent une trajectoire circulaire proprement dit , comme nous le montre la figure IV.7 , quand l'interpolateur rencontre l'instruction d'interpolation circulaire , il asservi les deux mouvements de sorte que les chariots réalise cette trajectoire .

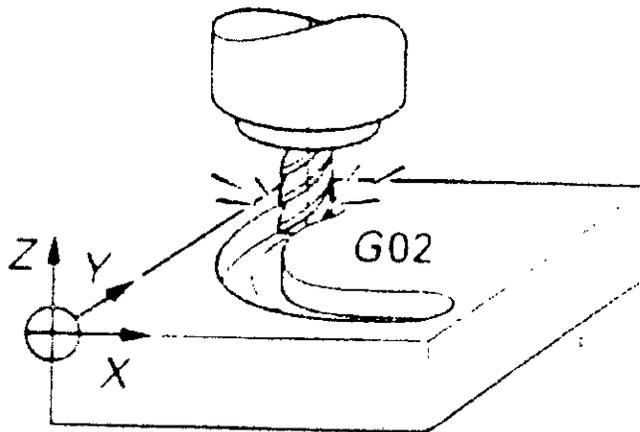


FIG IV.7. trajectoire circulaire .

IV.4.4. interpolation polynomiales :

ce type d'interpolation est décrit par un polynôme, qui traduit la trajectoire de l'outil ou de la pièce, ou d'une manière général l'organe mobile, c.a.d , si dans le programme l'opération à effectuer est décrite par un polynôme , l'interpolateur va générer la trajectoire de l'organe , en donnant des ordre aux moteurs des chariots

Comme on le voit sur la figure IV.8

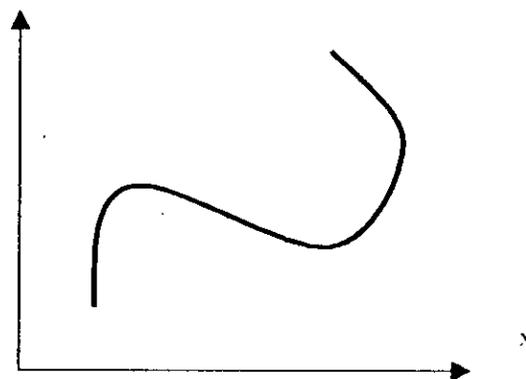


FIG IV.8. Trajectoire quelconque.

IV.4.5. interpolation hélicoïdale :

Dans ce type d'interpolation on combine un mouvement circulaire dans un plan avec un Mouvement de translation perpendiculaire à ce plan comme le montre la figure IV.9.

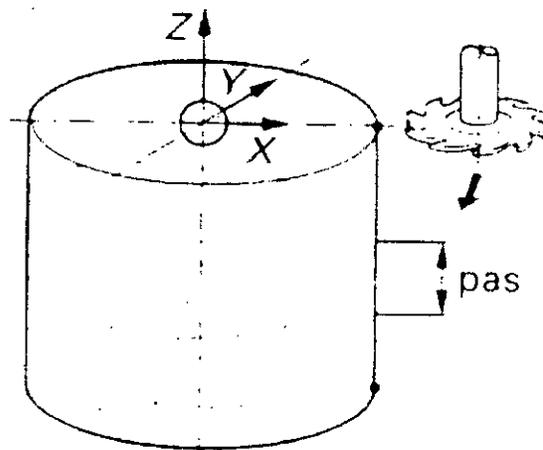


FIG IV.9. *trajectoire hélicoïdale .*

IV.5. PRINCIPE D'ASSERVISSEMENT D'UN ORGANE MOBILE :

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

Chaque axe de déplacement est donc assujéti à un asservissement en boucle fermé, dont le principe consiste à mesurer continuellement la position réelle du mobile et la comparer à une grandeur d'entrée dite position consigne que délivre la CN pour atteindre la nouvelle position programmée , dès que l'écart entre les deux mesure s'annule , le mobile s'arrête .

Les commandes numérique modernes permettent de contrôler simultanément plusieurs axes , et permettent aussi l'interpolation entre eux , afin de suivre avec précision une trajectoire quelconque dans l'espace .

- Le schéma de la figure IV.10 montre le principe de cet asservissement.

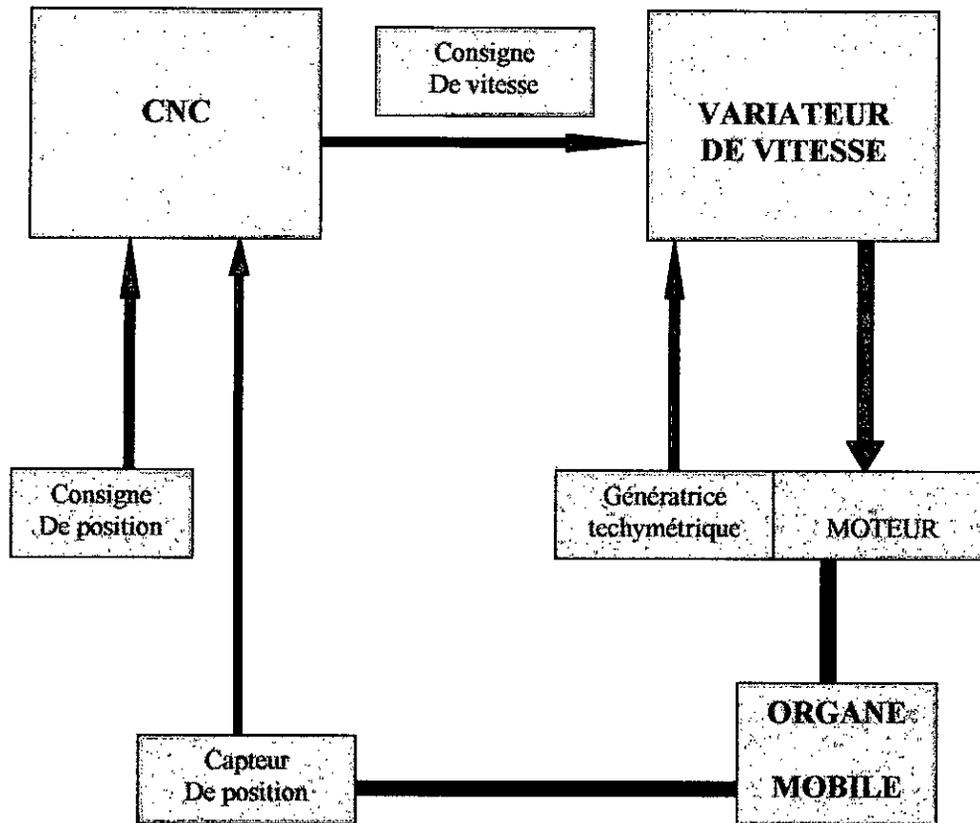


FIG IV.10. principe d'asservissement d'un organe mobile.

De récentes avancées effectuées dans les techniques de traitement de signal conduisent les asservissements analogiques classiques à disparaître au profit d'asservissements entièrement numériques, dans cette nouvelle architecture, les boucles de vitesses et de position sont traitées directement dans la CN, le variateur étant, de ce fait, réduit au rôle de d'amplificateur de courant chargé d'alimenter en puissance le moteur d'axe (voir figure IV.11).

Par rapport aux solutions analogiques, les asservissements numériques apportent des avantages très significatifs, à la fois aux utilisateurs et aux constructeurs de MOCN, ces avantages sont :

- l'élévation des performances en rapidité comme en précision.
- Raccordement simplifié et plus fiable par un bus de terrain à haut débit sur fibre optique.

- Outils de réglage et de diagnostic ergonomique facile à mettre en œuvre ,'optimisation des paramètres étant assurée par un logiciel d'intégration sur PC incluant au besoin une fonction oscilloscope .

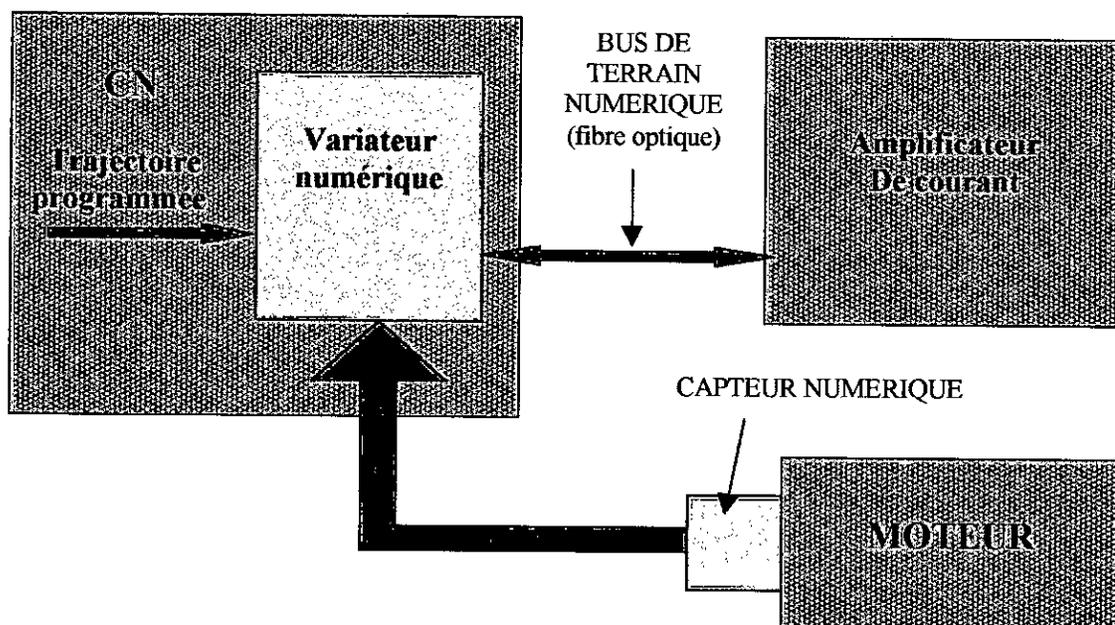


FIG IV.11. ASSERVISSEMENT NUMERIQUE D'UN AXE DE MOTEUR

CHAPITRE

V

*Le directeur
De
Commande numérique*

- La diversité des DCN est telle qu'il n'est pas possible de faire une analyse détaillée sans se focaliser sur une machine particulière. Le présent chapitre a cependant pour objet de fournir un cadre général d'étude des DCN de robots et de MOCN en mettant en exergue les éléments permanents qu'on retrouve dans tous les cas et en signalant les points qui peuvent être spécifiques.

V.1. FONCTIONS GNERALES D'UN DCN :

V.1.1 Définition générale :

Un directeur de commande numérique (DCN) est un système de commande capable de gérer la machine (robot ou machine-outil) et de mettre en œuvre des opérations, en fonction d'un programme. Cette mise en œuvre se fait en liaison avec un environnement, sous la conduite d'un Opérateur, éventuellement sous la dépendance d'un calculateur ; dans ce dernier cas on parle de DNC. (*Direct Numerical Control*)

Un DCN est une machine informatique qui présente, dans son fonctionnement comme dans son utilisation, deux aspects fondamentaux bien connus : calculateur et automate.

V.1.2. Fonctions principales d'un DCN

Pour un utilisateur, on peut classer comme suit les grandes fonctions d'un DCN :

1. gestion et commande de l'effecteur.
2. commande des axes de la machine.
3. prise en compte et commande de l'environnement automatisé.
4. exécution d'un programme.
5. gestion des programmes.
6. gestion des anomalies et demande d'intervention de l'opérateur.
7. visualisation.
8. Insertion dans un système informatique général.

V.2 GESTION ET COMMANDE DE L'EFFECTEUR :

Dans un robot ou une machine-outil, la tâche est réalisée par l'outil porté par l'effecteur qui le met en œuvre. Cette mise en œuvre peut avoir lieu :

- Suite à des positionnements ; tâche effectuée en « point à point »,
- au cours de déplacement en interaction avec la matière d'œuvre (tâche effectuée en « interpolation »).

V.2.1 Gestion des outils :

Cette fonction existe quand les outils (et l'effecteur éventuellement) sont interchangeables. Elle entraîne les fonctions particulières suivantes :

- choix de l'outil programmé (ou de l'effecteur sur une machine où celui-ci est interchangeable),
- changement de l'outil (ou de l'effecteur),
- prise en compte des paramètres propres à l'outil (ou à l'effecteur),
- Gestion des outils stockés (cas d'un magasin d'outils automatisé).

On peut citer quelques exemples tels que la pince interchangeable d'un robot de manipulation, les outils interchangeables d'une MOCN, les têtes porte-broche interchangeables de certains centres d'usinage.

V.2.2. Nature des commandes :

Les commandes portent essentiellement sur les paramètres de réglage de l'effecteur et sur sa mise en œuvre proprement dite. Par exemple, dans le cas d'un soudage à l'arc sous flux de gaz neutre on trouve les commandes suivantes : tension électrique imposée par le générateur, vitesse de déroulement du fil de métal d'apport, débit de gaz. Les commandes de l'effecteur sont directement liées au processus mis en jeu. On rencontre des cas très divers (peinture, soudure, électroérosion, usinage à l'outil, etc.).

V.2.3. Cas d'une machine-outil:

Prenons une fraiseuse à titre d'exemple ; la commande de l'effecteur par le DCN porte sur les paramètres suivants :

- vitesse de rotation de la broche,
- mise en marche dans la broche dans un sens déterminé,
- arrêt de la broche,
- présence ou arrêt de l'arrosage, éventuellement son type,
- Indexation angulaire de la broche (éventuellement).

V.3. COMMANDE DES AXES D'UNE MACHINE

V.3.1. Généralités :

La structure mécanique possède un certain nombre d'axes bien définis par leur nature et leur agencement spatial. Le DCN qui permet de commander les axes de la machine, utilise des identificateurs qui sont en fait les adresses des ports de communication correspondants ; ces adresses sont accessibles à l'utilisateur. Les ports de communication permettent de faire transiter des valeurs jusqu'aux actionneurs des axes correspondants. Les axes peuvent être identifiés par :

- un numéro (assez fréquent sur les robots),
- Un identificateur alphanumérique (X, Y, Z, A, B, ...) ; ce type d'identificateur a été normalisé pour les MOCN.

La figure V.1 fournit un schéma synoptique de ces identificateurs et de leur rôle.

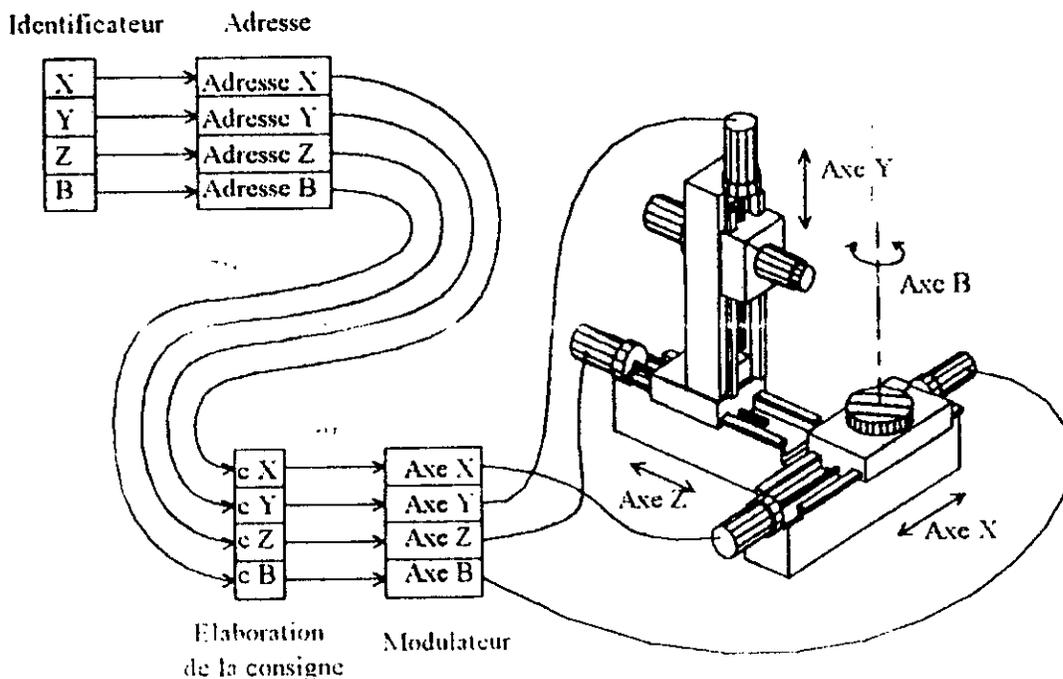


FIG V.1. Adresses informatiques et identificateurs d'axes

V.3.2. Nature de commandes:

La commande des axes de structure mécanique (robot ou MCON) s'effectue au niveau de ses articulations ; précisément, ce sont les coordonnées mesures qui sont imposées. Le DCN réalise toujours la commande des axes à ce niveau :

- soit de façon indépendante pour chaque axe
- Soit d'une façon coordonnée, avec proportionnalité des déplacements dans l'espace articulaire ; il s'agit d'une interpolation proportionnelle dans l'espace articulaire.
- Soit d'une façon coordonnée dans l'espace de la tâche. Il s'agit d'une *interpolation géométrique* dans cet espace. Cette interpolation peut être, pour un point de l'effecteur, soit linéaire, soit circulaire, soit encore suivant une courbe.

Rappelons que la trajectoire est toujours celle d'un solide et non d'un point et qu'on sous-entend toujours une règle d'évolution des *orientations* du repère de l'effecteur par rapport au repère de la tâche.

V.3.3. Mode de commande.

Un DCN permet de commander les axes numériques de deux façons :

- manuellement, pour les opérations de réglage et de mise au point,
- à partir d'une instruction de déplacement.

V.3.3.1. Commande manuelle:

1) Nature de la commande manuelle :

La commande manuelle des axes est généralement effectuée dans l'espace articulaire, souvent axe par axe, parfois sur plusieurs axes simultanément lorsqu'on dispose :

- soit d'une boîte à boutons multiples (deux boutons + et - par axe),
- soit d'un « manche à balai » agissant sur deux ou trois axes à la fois.

La commande dans cet espace peut se faire :

- Soit de façon continue, par action maintenue ou à l'aide d'un dispositif analogique ; cette commande est généralement appelée «déplacement à vue »,
- Soit d'une valeur prédéterminée (100 mm, 10mm...0.001 mm, etc.).

REMARQUE – bien que la commande manuelle se fasse presque toujours dans l'espace articulaire, certains DCN de robots permettent un déplacement manuel défini dans l'espace de la tâche.

2) Remarque sur l'Initialisation :

Dans la cas d'une machine dotée de capteurs incrémentaux la commande manuelle peut être utilisée avant ou après l'Initialisation.

Avant l'Initialisation des axes, les valeurs contenues dans les compteurs d'axes n'ont pas de signification particulière ; seul un déplacement à vue peut être effectué.

On rappelle que l'Initialisation consiste à transférer une valeur prédéterminée dans le compteur de l'axe lorsque le mobile atteint une position bien définie par rapport au segment précédent. Ce transfert se fait à partir d'une butée électrique et d'une information du codeur ; elle requiert l'accostage de la butée dans un *sens bien défini* sur chaque axe.

L'Initialisation peut, suivant le DCN considéré, se faire :

- de façon manuelle, axe par axe, après avoir sélectionné le mode convenable ; il faut, au préalable, avoir placé le mobile de façon à ce qu'il puisse atteindre la butée d'index dans le sens voulu.
- de façon automatique si un programme d'Initialisation existe dans le DCN. Il faut alors veiller à la configuration de départ afin que tous les axes puissent se déplacer vers la butée d'index, dans le sens convenable.

V.3.3.2 Commande à partir d'une instruction de déplacement :

L'exécution d'un déplacement, à partir d'une instruction, est identique quel que soit le *mode d'introduction* de cette instruction :

- Introduction manuelle de l'instruction (sur les machines-outils, ce mode est en général appelé IMD : « Introduction manuelle des données »),
- Instruction contenue dans un programme.

En mode IMD, le processus est le suivant :

- introduction de l'instruction à partir du clavier,
- interprétation de l'instruction par le *programme interpréteur* du DCN,
- Exécution de l'instruction, ce qui provoque le déplacement.

Dans un mode «exécution de programme », le DCN effectue successivement :

- la lecture de l'instruction à partir du programme (elle est codée dans un « langage » donné),⁶
- interprétation de l'instruction par le *programme interpréteur* du DCN,
- exécution de l'instruction (qui provoque le déplacement).

On constate que, du point de vue informatique, les deux modes sont très voisins.

V.3.3.3. Elaboration de la commande à partir d'instruction de déplacement :

On a mis en évidence le fait que le DCN, au niveau de la commande de chaque axe élaborait une consigne de position traité « a bas niveau » par la carte d'axe. C'est de cette élaboration dont il s'agit ici. Le mode d'élaboration est très différent suivant qu'il s'agit :

- d'une instruction de déplacement dans l'espace articulaire,
- d'une instruction de déplacement dans l'espace de la tâche, en point à point,,
- d'une instruction de déplacement dans l'espace de la tâche, en trajectoire.

REMARQUE IMPORTANTE – les points qui suivent sont capitaux pour comprendre comment fonctionne un DCN et comment il commande les déplacements de la structure mécanique.

V.4. PRISE EN COMPTE DES DIMENSIONS D'OUTILS :

1) Nature du problème.

Les instructions de déplacement dans l'espace de la tâche concernent le repère lié à l'effecteur. Les modèles géométrique ou différentiel tiennent compte de ce repère défini lors du paramétrage. Or les machines sont dotées d'outils interchangeables, parfois d'effecteur interchangeables. Il faut piloter ces différents éléments tenant compte de leurs dimensions. On est donc conduit à tenir compte des coordonnées de la partie active de l'outil dans le repère de l'effecteur (ou de l'attachement de l'effecteur). Pour ce faire, le DCN doit prendre en compte l'Opérateur de changement de repère ($R_E | R_T$) et les *dimensions intrinsèques* de l'outil. on appelle (R_E) le repère de l'effecteur et (R_T) le repère de la partie active de l'outil.

2) Définition de l'outil dans le cas général.

L'outil présente une partie active correspondant au processus mis en œuvre. A cette partie active est associé le repère (R_T) C'est la position de la trajectoire de (R_T) dans (R_0) qui définit la tâche. Cette partie active présente elle-même des paramètres intrinsèques (exemple : diamètre d'une fraise).

Dans la pratique de MCON, on appelle « *jauge outil* » l'ensemble des paramètres scalaires qui définissent :

- les coordonnées ($R_E | R_T$),
- les paramètres intrinsèques de la partie active de l'outil.

Dans la pratique en général, une jauge d'outil peut comporter :

- les six paramètres qui caractérisent $(R_E | R_T)$,
- les paramètres nécessaires à la caractérisation de la partie active de l'outil.

3) Prise en compte des dimensions d'outil dans les cas général:

La réalisation de la tâche implique que la partie active de l'outil, donc (R_T) , occupe une position donnée dans (R_0) si la tâche est de type point à point ou qu'elle suive une trajectoire donnée si la tâche est de type interpolation. Il faut, dans les deux cas, tenir compte des paramètres intrinsèques de l'outil.

Il n'est pas commode, lors de la programmation, de tenir compte des dimensions de l'outil, qui ne sont en général pas connues à ce stade, tout au moins de façon exacte. Or l'instruction définit la position ou la trajectoire de la partie active de l'outil dans $(R_0 | R_T)$.

L'exécution de cette instruction se fait alors comme suit :

- calcul de l'expression :

$$(R_0 | R_E) = (R_0 | R_T) * (R_E | R_T)^{-1}$$

- inversion de coordonnées,
- calcul des coordonnées mesure,
- élaboration de la consigne relative à chaque axe.

4) Prise en compte dans un exemple simple : le fraisage :

Considérons une machine à fraiser dont le *dernier axe* soit une glissière parallèle à l'axe de la broche (z_E). La prise en compte du déplacement $(R_E | R_T)$ se traduit par une simple addition du paramètre L à la coordonnée mesure correspondante. Par contre, pour réaliser un usinage suivant un *profil donné*, en interpolation géométrique, il faut définir la trajectoire du point O_T situé sur l'axe de l'outil.

Le processus est alors le suivant :

- prise en compte systématique de la jauge de longueur L dans la coordonnée mesure Z_m .
- calcul de la nouvelle trajectoire $A'B'$ du point O_T à partir de l'instruction qui définit la trajectoire AB . Cette nouvelle trajectoire tient compte du rayon R de l'outil (voir figure V.2),
- exécution de l'instruction qui effectue ensuite le processus habituel.

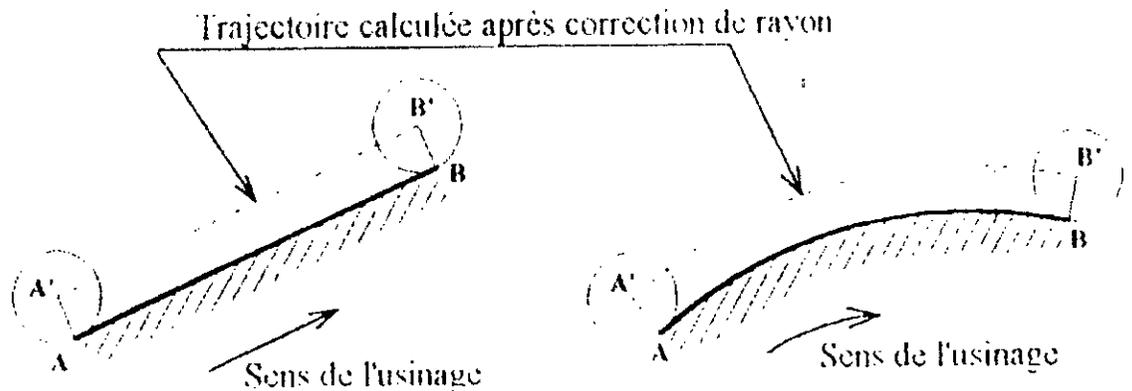


FIG V.2. prise en compte du rayon de l'outil.

V.5. PRISE EN COMPTE DE L'ENVIRONNEMENT AUTOMATISE

Nature de l'environnement :

Cette prise en compte se fait par l'intermédiaire de la « fonction automate » du DCN. L'environnement de la machine proprement dite (structure mécanique articulée) peut s'étendre à des ensembles plus ou moins larges :

- pour une MOCN classique, l'environnement est en général limité aux éléments accessoires de la machine (changeur d'outils, capots mobiles de protection, etc.) ;
- pour une MOCN intégré, dans une cellule automatisée de production, l'environnement est beaucoup plus large et s'étend à l'ensemble des éléments concernés par les programmes qu'elle met en œuvre. La machine-outil se trouve, le plus souvent, sous la dépendance d'un ordinateur, pilote de l'ensemble de la cellule, les informations transitant alors par la liaison DNC et par les entrées/sorties automate.

Dans tous les cas, l'environnement inclut les dispositifs de sécurité tels que boutons d'arrêt d'urgence, barrières optiques de sécurité, etc.

V.6. EXECUTION D'UN PROGRAMME :

1) Instructions:

Un programme est toujours écrit dans un langage donné. On appelle « instruction » le plus petit élément d'un programme susceptible de donner lieu à une modification :

- de l'état physique de la machine commandée,
- de son état logique.

.2) Variables utilisées dans un programme :

On peut classer comme suit les variables utilisées dans le programme de commande d'un robot ou d'une MOCN :

- Variables liées aux commandes de déplacement. Elles sont relatives à :
 - l'espace mesure,
 - l'espace de la tâche,
 - la vitesse de déplacement ;
 - variables liées à la mise en œuvre de l'effecteur ; ce sont les « paramètres de mise mesure » .
- variables internes ; ce sont :
 - soit des registres particuliers affectés de façon définitive, tels que des paramètres machines,
 - soit des variables à disposition de l'utilisateur, déclarées par lui, quand ce type de gestion est disponible sur le DCN. Il s'agit de la « programmation paramétrée » ;
- variables externes ; entrée automates ; sortie automates .

V.7. GESTION DES ANOMALIES ET INTERVENTIONS DE L'OPERATEUR.

Sur ce point on est tributaire de la diversité des DCN et il n'est pas possible d'entrer dans le détail de chaque cas. On va cependant chercher à classer, *par nature*, les différentes sortes d'anomalies qui peuvent intervenir de façon à fournir un cadre qui doit permettre de bien analyser le « manuel de référence » d'une machine.

Nature des anomalies:

On rencontre plusieurs sortes d'anomalies lors de la mise en œuvre d'un DCN :

- anomalies de type informatique,
- anomalies détectées par fonction automate,
- anomalies résultant du processus.

V.8. MODIFICATION DES PARAMETRES :

Le pupitre du DCN peut posséder des dispositifs physiques (potentiomètres par exemple) qui permettent la modification de certains paramètres de réglage ou de mise en œuvre de l'effecteur pendant le déroulement d'un programme. C'est le cas de la valeur des vitesses d'avance sur les machines-outils et sur certains robots et de la vitesse de broche d'une machine-outil. En général, on réduit, dans un pourcentage donné, les valeurs programmées. Bien noter que cette modification ne s'inscrit pas dans le programme.

CHAPITRE

VI

*La
Commande numérique
En F.A.O*

VI.1. LA F.A.O ET L'INFORMATIQUE:

Dans le cadre de la fabrication assistée par ordinateur les moyens informatiques ont les tâches habituelles qui incombent aux ordinateurs, en particulier le dialogue avec l'extérieure, la gestion des données et leurs traitements.

La caractéristique essentielle des ordinateurs est qu'ils doivent communiquer avec l'extérieur de manière différente suivant les cas:

- Dialogue avec l'utilisateur (programmeur de CN).
- Dialogue avec d'autres ordinateurs ou avec les moyens de fabrication. (réseau)

Le passage d'informations entre les moyens informatiques et les moyens de fabrication nécessitent donc la mise en œuvre d'un certain nombre de matériels d'interfaces de commandes ou de contrôles, on cite par exemple :

VI.1.1) Les convertisseurs:

1) **numérique vers analogique:** les moyens informatiques travaillent en numérique, donc pour commander des opérations dont les variables sont de type analogique, on doit convertir les informations de type numérique en type analogique.

2) **analogique vers numérique:** ils effectuent l'opération inverse du premier type de convertisseur.

VI.1.2) Les capteurs :

Leur rôle est de mesurer la valeur d'une quantité physique, ils peuvent être de type analogique ou numérique.

VI.1.3) LES UNITÉS DE CONTRÔLE :

ils peuvent s'agir de l'unité contrôlant une machine outil, elles peuvent être basées sur des automates programmables ou des micro-ordinateurs.

VI.2. LA COMMANDE NUMÉRIQUE:

La commande numérique des machines est l'utilisation d'ordinateurs numériques pour commander et contrôler ces machines. Cette commande et ce contrôle sont effectués à l'aide de programmes, qui peuvent être étendus ou mis au point en fonction de l'évolution des moyens de production.

La commande numérique est appliquée dans plusieurs domaines, et le principal est le domaine de la mécanique.

Un système de commande numérique est composé de:

1).moyen informatiques:

des matériels : l'unité de commande

des logiciels: programme pour l'unité de commande

2).machine qui peut être commandée:

l'unité de commande doit interpréter les programmes pour convertir en ordres et donc en actions pour la machine . Cette unité de commande doit aussi être muni d'un moyen de contrôle pour vérifier que les commandes sont bien exécutées .

Ces machine constituent la partie opérative de la machine à commande numérique.

VI.3.PROCEDURES DE PROGRAMMATION:

Comme tout procédé assistée par ordinateur à l'aide des techniques de l'informatique actuelles (algorithmes, et programmation) , il est nécessaire, avant d'écrire tout programme, de formaliser le processus qu'on veut décrire. Dans le cas de la commande numérique cette formalisation doit être faite par l'élaboration de gammes.

A partir de ces gammes ,le programmeur de CN peut écrire un programme en s'appuyant sur ces connaissances des machines à commander et sur le langage de programmation de CN.

VI.3.1.)Les bases de programmation de CN:

La base de programmation de la CN peuvent se résumer de la manière suivante:

-1)élaboration de des gammes opératoires :

c'est la phase de la formalisation du processus de fabrication Par CN, une feuille de travail devra être mise au point , cette dernière devra contenir toute les informations concernant le travail à préparer avant d'entamer l'élaboration du programme , cette gamme contient en générale ,le dessin de la pièce ,les paramètres d'usinage, l'ordre chronologique des opération à effectuer .

-2)programmation:

c'est l'écriture du programme qui est la traduction de la gamme opératoire en langage machine .

-3)fabrication:

à partir du résultat de programmation ,il s'agit de fabriquer effectivement la pièce rien qu'en injectant le programme dans la machine.

VI.3.2.) Les aides de l'ordinateur:

La programmation aboutit à un codage de l'information de commande des machines, ces codes sont normalisés et se présente sous forme de bloc qui contient des codes

Simple à retenir tel que :

Les fonctions préparatoires (G)

Les fonctions auxiliaires (M)

Les fonctions broches (S)

Les fonctions d'avance (F)

La fonction block (N)

Et autres commande dont on va parler plus tard dans le chapitre concernant la Programmation des MOCN .

Les ordinateurs interviennent en gérant ,car ils ont la faculté de stocker plusieurs informations ,qu'elles soient en séries ou en parallèles , il permettent de créer un système de contrôle qui va gérer les opérations à effectuer ,et en plus de leurs rapidité d'exécution ,ils fournissent une sécurité à l'utilisateur ; la CFAO nécessite la présence d'ordinateurs qui seront le support matériel de celle-ci .

VI.4.LA COMMANDE NUMERIQUE PAR CALCULATEUR INTEGRE(CNC):

Dans ce paragraphe nous aborderons la commande numérique dans un contexte FAO ,c'est à dire fonction de l'utilisation des moyens informatiques.

La plupart des machines à commande numérique modernes ont des systèmes de commandes basés sur des calculateurs (MICRO PROCESSEUR) , contrairement aux machines traditionnelles ,les programmes peuvent être chargés dans la mémoire du processeur de commande intégré .

un tel système peut apporter un certain nombre d'avantages, parmi les quels:

1)gestion des programmes:

le système CNC peut comporter des commutateurs de formats .des mémoires facilitent la correction et la mise à jour des programmes

2) mémorisation de données de la machine

3) contrôle de la machine :

le système peut comparer les valeurs de déplacements à chaque instant du temps machine. Ainsi , dans le cas d'un dépassement de paramètres de sécurité ,le programme s'interrompt , et donne l'ordre d'arrêter le système.

4) compensation :

les erreurs dues aux fonctions mécaniques, sont compensés par le système d'une manière automatique.

5) extension de fonctionnalité:

les fonctions d'interpolations .

6) programmation plus facile:

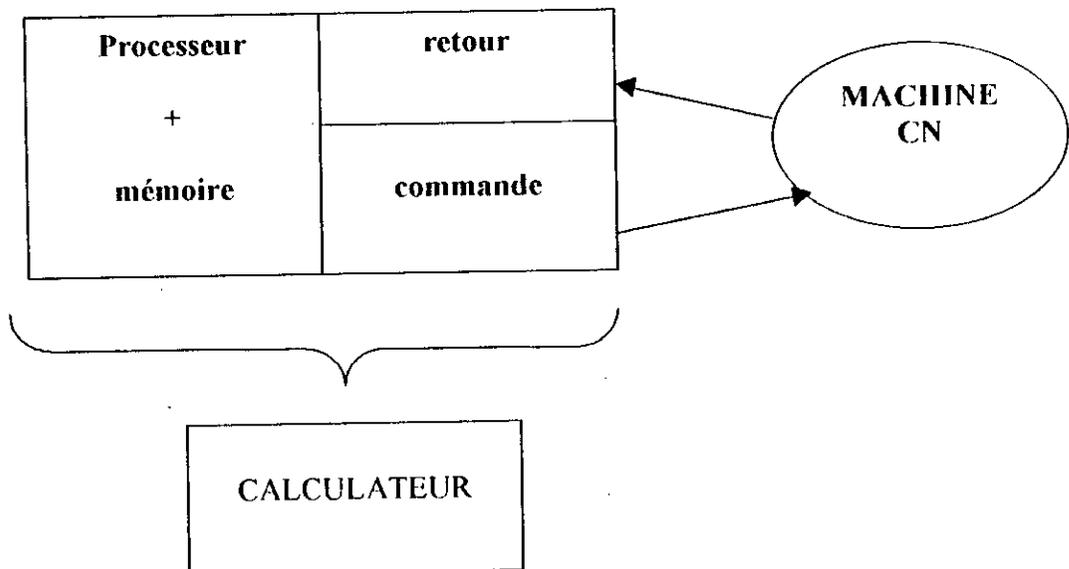
le système comporte plusieurs séquences d'usinages fixes.

7) aide au suivi et à l'entretien

8) fiabilité:

les systèmes intégrés sont composés d'organe électroniques donc ils sont fiables.

pour l'illustration on se référer au schéma suivants:

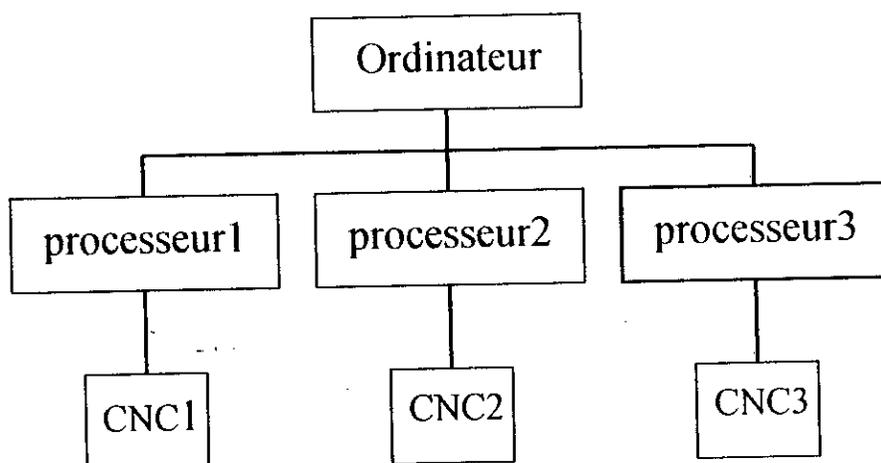


FIGVI.1. Commande numérique par ordinateur intégré

VI.5. LA COMMANDE NUMERIQUE DIRECTE (DNC):

Une liaison DNC est un système de transmission destiné à piloter un ou Plusieurs machine à commande numérique , à partir d'un calculateur centrale , qui a accès à tout les registres internes de la CN , ce calculateur peut être Un simple PC.

La commande numérique directe peut se faire avec des machines ordinaires ou des machine avec calculateur intégré , C'est à dire un ordinateur centrale qui gère les CNC. Voir la figure ci-dessous:



FIGVI.2. *commande numerique directe*

VI.6. LES ETAPES EN CFAO:

La CFAO a un intérêt vis-à-vis de la programmation des machine à commande numérique, car ce système offre des possibilités de programmation ,sans passer par les calculs intermédiaires des profil à usiner ,et dans cette description on verra à quel point la CFAO intervient dans les procédés utilisant la commande numérique .

VI.6.1. conception:

La conception démarre au moment ou on dessine la pièce en 3D/2D ,cette étape Fournit à la base de données les renseignements qui concerne la pièce. Donc après cette Etape le système de CFAO est en possession de toutes les dimensions de la pièce.

VI.6.2. déclaration des profils :

La déclaration des profils permet de prévoir la trajectoire de l'outil de coupe ,et cette trajectoire est automatiquement calculée grâce à la première étape ,à partir du moment qu'on choisit un profil quelconque , le système revient à la base de données créée. Précédemment, donc on voit déjà un avantage de la CFAO , qui permet de créer des bases de données pour l'étape de la fabrication.

VI.6.3. déclaration de l'origine:

Cette étape est très importante car ,c'est par rapport à ce point d'origine que le programme généré fonctionnera .

VI.6.4. introduction de la gamme d'usinage:

Dans cette étape on choisit les procédés d'usinage en fonction de la gamme c'est à dire le choix des cycles ,bien sur ces cycles se trouve dans la bibliothèque du système ,et il y a la possibilité d'introduire une bibliothèque nouvelle selon les besoins . et dans cette phase on introduit tout les paramètres d'usinage tel que:

La vitesse de coupe , les vitesses d'avance, la pénétration de l'outil , le plan de sécurité, Le choix de l'outil , les matériaux etc.....

VI.6.5. sauvegarder la gamme dans un fichier et vérification par simulation d'usinage :

Après avoir établi la gamme , l'étape suivante est la commande numérique, mais par soucis de sécurité et économie on cherche à voir le résultat de cette gamme sans l'intervention de la machine , donc la CFAO est aussi un système de simulation qui nous Permet d'observer la trajectoire de l'outil .

VI.6.6. génération du programme en code numérique (codage ISO) :

Les logiciels de CFAO ont une liaison directe avec la commande numérique , il suffit que :

Le système CFAO contiennent l'interface qui lui permet d'être en liaison avec la machine C'est ce qu'on appelle le fichier post-processeur , c'est le sous programme qui transmet les Informations conçues dans le système de CFAO vers la machine donc le directeur de commande numérique.

VI.6.7. envoi du programme vers la MOCN :

Dans cette étape le programme étant généré par le logiciel de CFAO, est prêt à être Envoyé vers la machine qui excitera le programme mot par mot et bloc par bloc.

Pour résumer tout ça on dresse l'organigramme suivant, qui décrit les étapes essentielles de l'utilisation de la CFAO

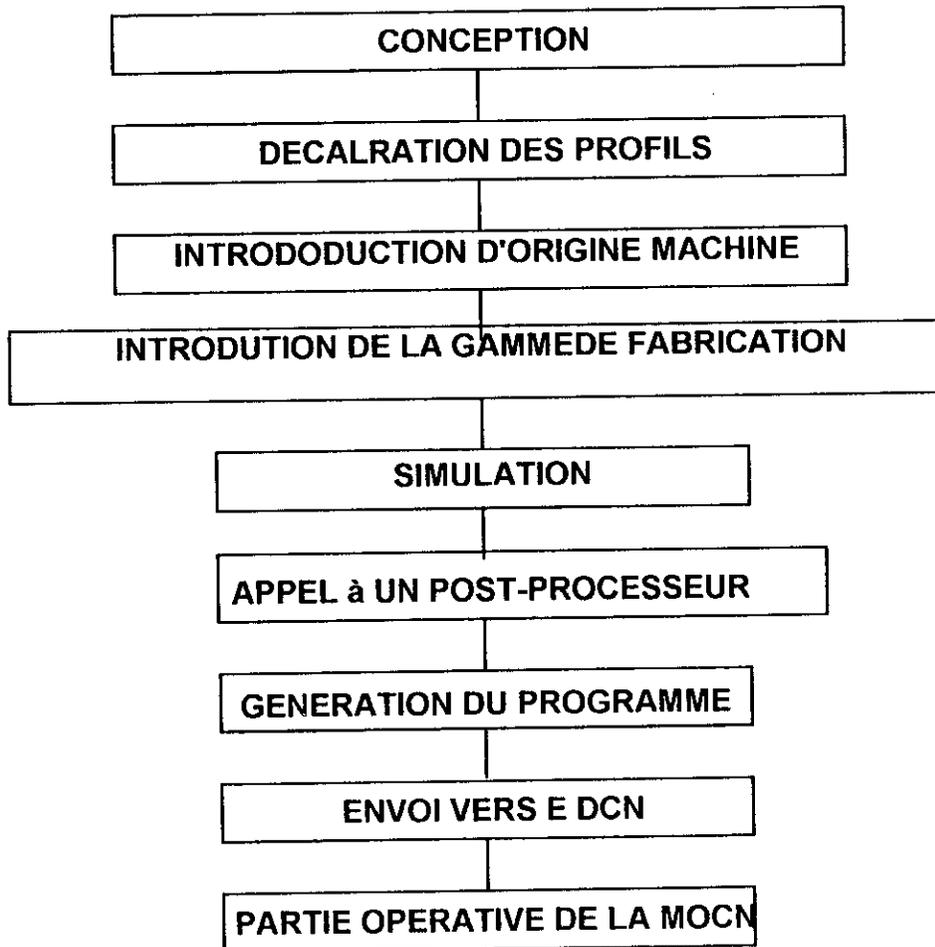


FIG VI .3.ORGANIGRAMME DES ETAPES EN CFAO

VI.7. LES ATELIERS FLEXIBLES:

VI.7.1. définition:

Les ateliers flexibles ou plus généralement les systèmes de productions flexibles ,ont pour objectif d'être flexible c'est-à-dire ,de s'adapter à tout changement de production.

Un atelier flexible automatisé est un atelier piloté en temps réel par un ordinateur , Son objectif est d'optimiser l'utilisation des machines , un système de production flexible est Composé de :

- 1) Groupe de fabrication (machine à commande numérique, centre d'usinage..)
- 2) systèmes automatisés de transport
- 3) un ensemble informatique qui est chargé de la gestion de l'atelier

exmple de systeme de base

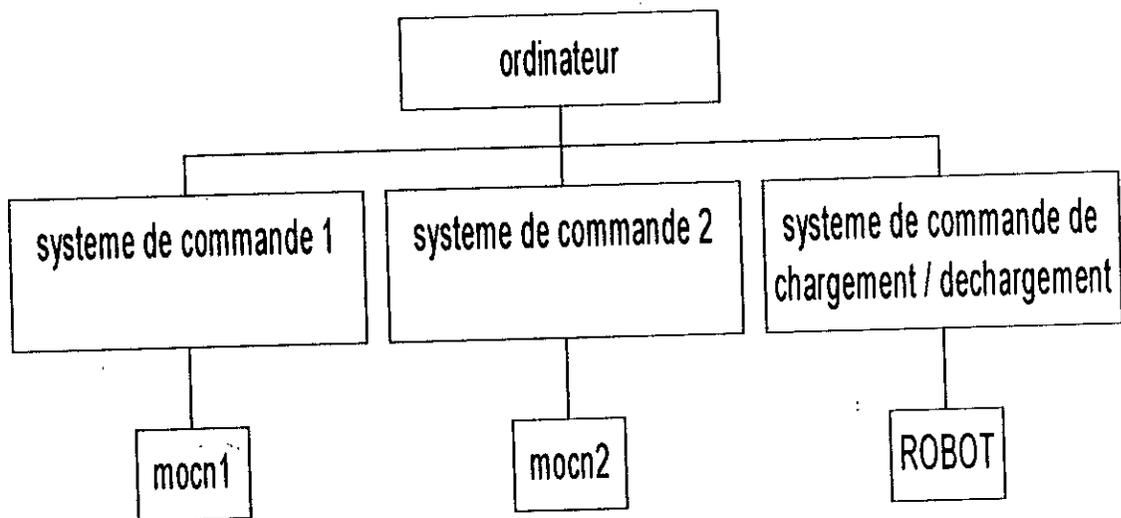


FIG VI.4. EXEMPLE DE SYSTEME DE BASE

VI.7.2. cellule d'atelier flexible :

Les ateliers flexibles reprennent les composants qu'on a cité auparavant :

- machines à commande numérique
- robots.

C'est leurs niveau de complexité et leur organisation à l'aide des moyens informatiques qui caractérisera leur insertion dans un système de production flexible.

Une cellule d'atelier flexible peut être représentée par la figure VI.5 .

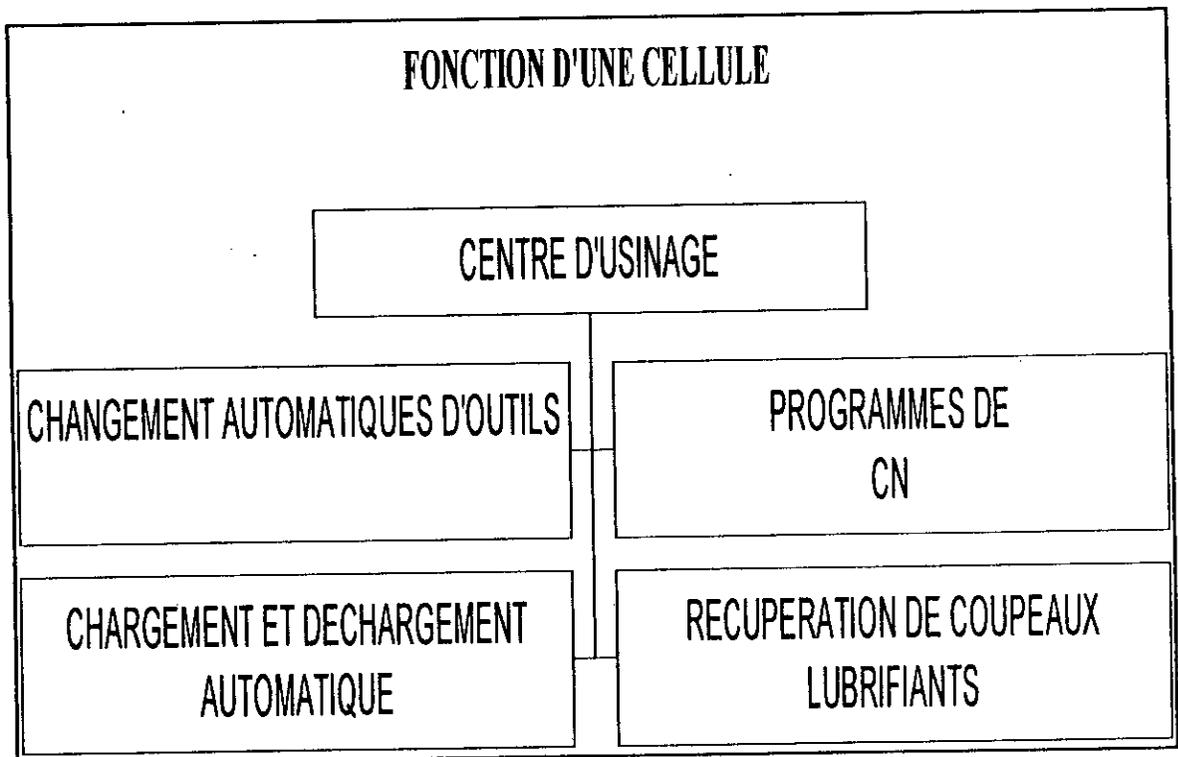


FIG VI.5. fonction d'une cellule .

A partir des composants matériels de base ,c'est à l'ensemble informatique d'assurer le fonctionnement et la flexibilité de l'atelier; pour réaliser ces fonctions on disposera de plusieurs ordinateurs et microprocesseurs répartis qui devront effectuer les tâches suivantes :

- Commande des flux de pièces: contrôle et commande en fonction des plans de Production , régulation des flux entre les centres de fabrication , les commandes sont faites en général par zone de travail.
- Commande des centres de fabrications , cette tâche réparti et commande en général par DNC les différentes machines .
- Contrôle des moyens de fabrications (durée de vie des outil , synchronisation avec le système de **chargement- déchargement** , la coordination avec Les opérations des groupes de fabrication.

VI.8. PROGRAMMATION ASSISTEE :

Lorsque la définition de l'usinage devient trop complexe , ou lorsque le Volume de programmation est tel qu'il exclu 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 contient deux phases:

1) **Programme - processeur:** permet de calculer les coordonnées de tout les points Définissant la forme à usiner , en tenant compte de certaines données technologiques D'usinage (vitesse, avance, profondeur de passe, état de surface, etc.....) Le traitement par ordinateur de cette phase nous conduit à un fichier image des Position successives des outils ou CLFILE , indépendant de la CN.

2) **Programme post-processeur :** les données créées en phase (1) sont personnalisées en langage ISO en tenant compte des caractéristiques de la machine (limitation ,course..), et de celles de la commande numérique (format, fonctions particulières,...) ce post-processeur permet de compenser les différences d'écriture qui existent entre les matériels de provenances différentes ,un programme écrit pour une machine à commande numérique donnée étant rarement opérationnel sur une autre machine sans quelque aménagements préalables.

Les systèmes de FAO suivent un processus similaire , en plus ils permettent la reprise Automatique des données de définition de profils de contourage, ou de surfaces Evolutives générées par des logiciels de CAO.

La communication entre les différents logiciel fait l'objet de standard d'échange.

La programmation assistée par ordinateur dispose donc d'un langage de programmation Et d'aide du système informatique tout particulièrement de :

- **l'éditeur :** permet au programmeur d'entrer et de modifier ses programmes il peut être plus au moins évolué , allant jusqu'à des aides graphiques .
- **l'interpréteur :** il est chargé de transformer le programme écrit par le programmeur en une forme indépendante (CL-DATA) des machines , après avoir effectuer tout les calculs .
- **les post - processeurs :** transforment le résultats de l'interpréteurs en un format adapté à une machine outil donnée . Le résultats d'un post - processeur donné est adapté à une machine et il est directement utilisable pour commander cette machine (ce résultat peut être un ruban perforé).

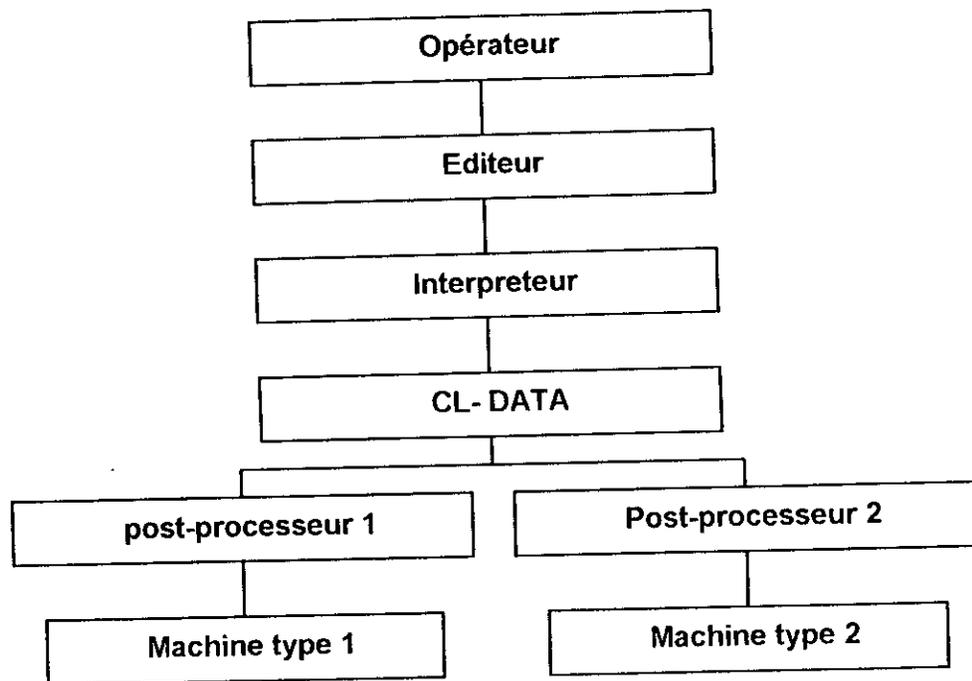


FIG VI.6. SCHEMA DE COMMANDE NUMERIQUE

pour mieux voir les applications de la CFAO on verra en annexe I un exemple qui illustre les démarches à suivre dans ce genre de systèmes .

CHAPITRE VII

*Programmation
Des
MOCN*

VII.1. INSTRUCTION PROGRAMMEES ET LEUR SUPPORT :

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 commande numérique , en vue de réaliser son usinage .

VII.1.1. nature des instructions programmées :

Les instructions programmées doivent tenir compte de toute les données nécessaires à la commande et au séquençements des opérations à réaliser pour assurer l'usinage de la pièce sur la machine à piloter .

ces instruction programmées regroupent :

1) **les données géométriques** : elles indiquent la forme de la pièce à usiner et permettent à la CN de calculer les positions successives de l'outil par rapport à la pièce pendant les divers phases de l'usinage , les positions sont définies par rapport à une origine connue .

certaines instructions viennent compléter les données géométriques , en indiquant la nature du traitement numérique qu'elles doivent subir ;

- mode d'interpolation
- le choix du mode de cotation
- choix du cycle d'usinage
- choix de l'outil

2) **les données technologiques** : elles précisent compte tenu des caractéristiques et des performances de la machine (puissance , performances des organes mobiles) les conditions de coupe optimales dans lesquelles pourra s'effectuer l'usinage ; elle concerne principalement :

- la vitesse de rotation de la broche.
- Les vitesses d'avances .
- La commande d'arrosage .

VII.1.2. codification des instructions : [8]

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

* Ce langage utilisé pour décrire les opérations d'usinages sur MOCN comporte un certain nombre de lignes d'écriture appelées : **BLOCS D'INFORMATIONS** .

* Chaque ligne correspondant à une étape particulière du processus d'usinage contient plusieurs **MOTS**

* ces mots sont la combinaison de lettres d'identification appelées **ADRESSE** et de chiffres accompagnés de signes (-) / (+) .

la plus des machines actuelles acceptent des blocs à format variable dans lesquelles ne figurent que les seules instructions nécessaires à leurs exécutions . celles déjà fournies et encore actives n'ont pas à être répétées

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

à titre d'exemple les lettres - adresses usuelles retenues par NUM sont indiquées sur la figure VIII.1 :

* **N** : numéro du bloc figure obligatoirement au début de chaque bloc , il est suivi de 3 à 5 chiffres . un numéro de bloc précédé de (/) permet de sauter le bloc correspondant s'il l'opérateur le désire .

* **G** : les mots fonction préparatoires , suivi 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'appel de cycles d'usinage spécifiques etc..... ,

les fonctions (G) peuvent être modales , cad , automaintenues tant qu'elles ne sont pas révoquées par une fonction contradictoire , ou non modales , lorsqu'elles ne sont actives que dans le bloc ou elles sont programmées .

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

- **les mots de dimensions :**

les mots de dimension ou d'ordres de déplacements , composées d'une adresse accompagnée de sa valeur formatée . ces mots sont :

- **X , Y , Z** : pour les mouvements principaux .
- **U , V , W** : pour les mouvement secondaires .
- **I , J , K** : pour les paramètres d'interpolations

- **A , B , C** : pour les coordonnées angulaires .

Les mots correspondants aux fonctions diverses sont :

- * **S** : fonction broche , suivie d'une valeur ou d'un entier , donnent la vitesse de Rotation de la broche .
- * **F** : fonction d'avance , suivie d'une valeur réel , donnent la vitesse d'avance d'un chariot .
- * **T** : fonction outil
- * **D** : pour le numéro du correcteur
- * **R** : pour la programmation d'un cercle par son rayon en interpolation circulaire
- * **M** : fonction auxiliaire .



N100 G90 G02 X100 Y150 I75 J125 S1000 F150 T1 D1 M3 M8

FIG VII .1. *structure d'un programme d'usinage*

VII.1.3. supports d'information :

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

- 1) **la bande perforée** représente le mode de chargement 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 leurs 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 défaillance ; dès l'arrivée de la CN à calculateur, on n'effectue 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 .

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

3) disquette : de plus en plus répandue , elle se présente sous forme d'un disque flexible sur lequel peuvent être enregistrées des informations magnétiques sur une ou deux faces ; facilement transportable et de faible dimension , elle dispose d'une capacité de mémoire élevée équivalant à une longueur de ruban perforé de l'ordre de 500 à 3000 m .

en plus des supports physiques , énoncés précédemment , l'information peut être introduite manuellement au pupitre de commande ; 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 parvenir d'un micro - ordinateur de type PC ou même d'un calculateur central par une liaison directe de type DNC .

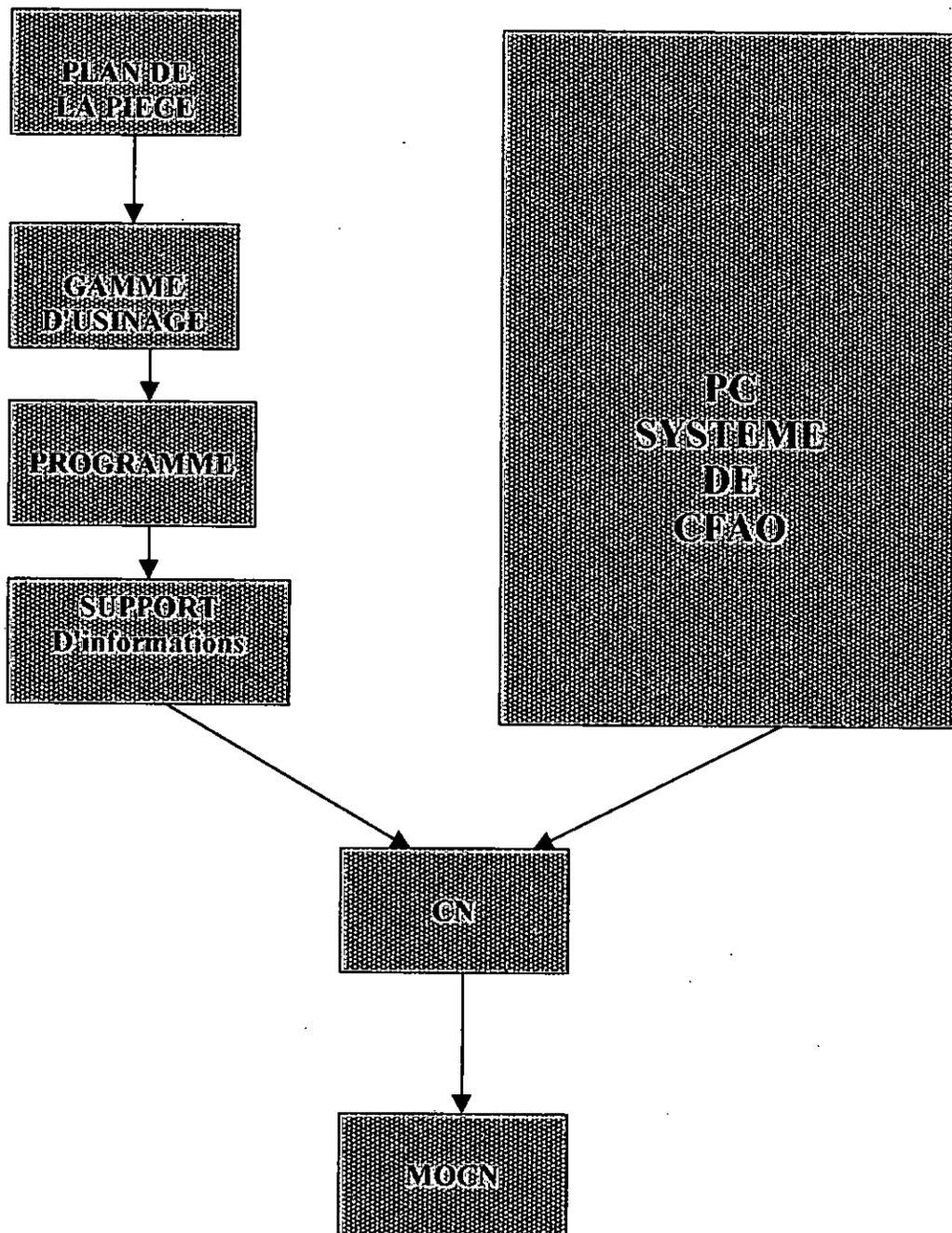


FIG VII. 2. ELABORATION DES PROGRAMMES D'USINAGES.

VII.1.4. nature des déplacements :

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

1) positionnement rapide (G00):

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 machines modernes.

2) interpolation linéaire (G01):

elle permet d'atteindre le point programmé en parcourant une trajectoire linéaire à la vitesse d'avance programmée sous l'adresse F.

3) interpolation circulaire (G02, G03, G23) :

elle a pour fonction de décrire un cercle complet ou des arcs à partir de certaines éléments géométriques caractéristiques, qui les définissent comme les coordonnées du centre et celles des points extrêmes et ceci se fait en prenant en considération le centre du cercle ou l'arc de cercle par rapport à un repère orthogonale dont l'origine passant est à la position de l'outil.

4) interpolation hélicoïdale :

elle combine un mouvement circulaire dans un plan avec un mouvement de translation perpendiculaire à ce plan.

5) interpolation parabolique :

dans le plan, ou 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.

6) interpolation polynomiale :

elle permet de définir la trajectoire à partir de polynômes, qui est utilisé pour le lissage des courbes de type spline.

VII.2 . SYSTEME DE REFERENCE : [7]

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

Conformément à ces normes :

- 1) **axes des déplacements principaux** : désignés par **X , Y , Z** .
- 2) **axes des mouvements secondaires** : désignés par **U , V , W** .
- 3) **les axes rotatives** : désignés par **A , B , C** .
- 4) l'orientation positive d'un axe rotative correspond à la rotation d'une vis avec pas à droite avançant dans le sens positif de l'axe associé .

un exemple de définition des axes sur une typologie de machine classique est représenté dans la figure VII.3

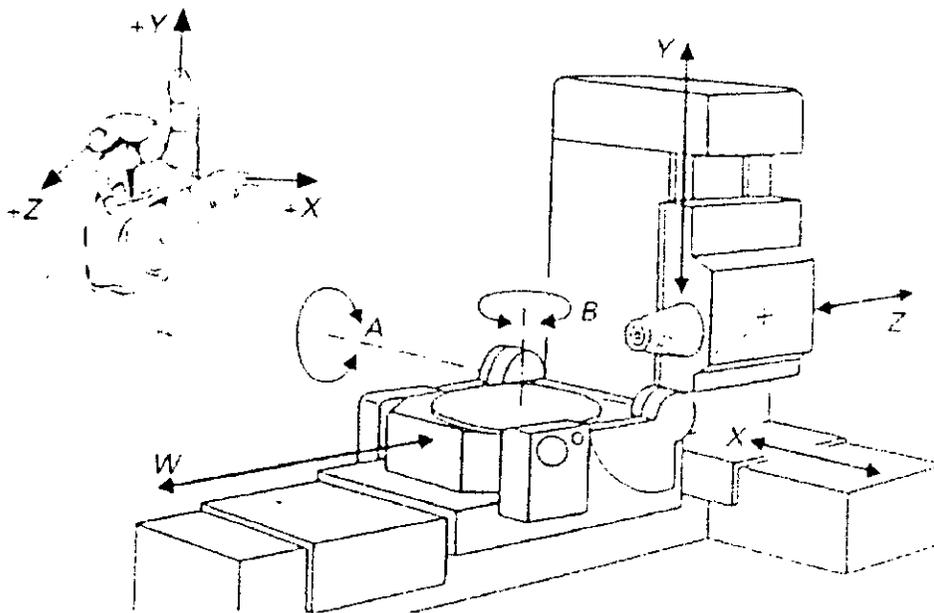


FIG VII.3. axes de déplacement d'un centre d'usinage à broche horizontale.

VII. 3. PROGRAMMATION MANUELLE :

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

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

Ce mode de programmation requiert une profonde connaissance du langage ISO Des mathématiques , et des techniques d'usinage . 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'erreurs Importants . c'est pourquoi les CN modernes disposent de logiciels intégrés d'aide A la programmation et des cycles fixes d'usinages .

Pour être plus efficace dans ce type de programmation on dispose de plusieurs aides sur Le pupitre de la machine , on peut citer :

1) programmation géométrique de profil(PGP):

le logiciel PGP permet de programmer des profils à l'aide d'éléments géométriques simples en laissant le soin à la CN de calculer les points de raccordements , entre ces éléments ; dans ce but le langage machine est enrichi d'information spécifiques qui précisent les positions relatives entre les éléments consécutifs .

2) module de définition graphique des contours (PROFIL):

le logiciel profil s'utilise exclusivement dans la phase de définition de contours géométriques de tournage et de fraisage en 2D ; il guide l'opérateur en permanence par une visualisation instantanée et dynamique des profils en cours de création et lui propose une aide à la décision dans le cas de solutions multiples , l'utilisateur peut donc se concentrer sur son dessin sans se préoccuper de la codification , ou de la méthode à mettre en oeuvre pour réaliser son usinage .

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

dans ce contexte l'opérateur est assisté par une succession de pages d'écran dites (interactives) , ces pages peuvent être :

- pages informatives apportant une explication , mise en garde , précision ...
- pages de menus proposant un ensemble d'options .
- pages d'introduction des données
- pages de contrôle qui permettent à l'opérateur de visualiser et de simuler le programmes.

Toute ces pages font largement appel aux possibilités graphiques étendues des CN pour faire apparaître des zones de saisie , des croquis ou des images animées ...

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

VII.4. PROGRAMMATION AUTOMATIQUE:

Lorsque la définition de l'usinage devient trop complexe , ou lorsque le volume de programmation est tel qu'il exclu 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 contient deux phases:

1)**Programme - processeur:** permet de calculer les coordonnées de tout les points définissant la forme à usiner , en tenant compte de certaines données technologiques d'usinage (vitesse, avance, profondeur de passe, état de surface etc.....) .

Le traitement par ordinateur de cette phase nous conduit à un fichier image des position successives des outils ou CLFILE , indépendant de la CN.

2) Programme post-processeur : les données créées en phase (1) sont personnalisées en langage ISO en tenant compte des caractéristiques de la machine (limitation ,course..) et de celles de la commande numérique (format, fonctions particulières,...) ce post-processeur permet de compenser les différences d'écriture qui existent entre les matériels de provenances différentes ,un programme écrit pour une machine à commande numérique donnée étant rarement opérationnel sur une autre machine sans quelque aménagements préalables.

Le langage APT est le langage de programmation assisté le plus universel . très souple , ce langage permet l'écriture de programme d'usinage de géométrie très complexe, y compris pour les machines conçues pour travailler sur cinq axes , l'utilisation de l' ATP réclame des systèmes informatique très puissants , c'est ce qui explique l'apparition ; de nombreux langage dérivé (IFAPT. MINIAPT.EXATP....) exploitables directement sur des micro-ordinateurs .

Le langage APT est le langage générique pour les langages de programmation de CN les systèmes développées à partir des concepts de APT sont divers . ils peuvent être utilisés suivant le cas , en point par point , 2 axes de contourages , 3 à 5 axes de contourage nous proposons maintenant de décrire la structure générale de APT :

APT peut être considéré comme un véritable langage de programmation il comprend les commandes suivantes:

- **fonctions de la machine outil :**
permettent de décrire les fonctions de la machine outil nécessaires pour le post-processeur
- **géométrie de la pièce :**
permet de décrire la géométrie de la pièce à traiter (points ,lignes ,surface,....) .
- **trajectoire de l'outil:**
permet de définir la trajectoire de l'outil , en s'appuyant sur des surfaces.
- **Boucles , sous - programmes , macro**
- **Calcul et logique de programme .**
- **Instructions auxiliaires:**
Taille de l'outil identification de la pièce

*De nombreux langage de programmation sont dérivés de APT ; ils ont été développés pour des problèmes d'insuffisance de mémoire , gain en place de mémoire , amélioration diverses ; parmi ces langages :

EXAPT : il s'agit d'un sous - ensemble géométrique de APT , à partir des données technologiques ,il est capable de déterminer des séquences d'opérations de choisir l'outil dans un fichier d'outils , de calculer des mouvements , des paramètres de coupes et des passes . il utilise des mots de APT avec les mêmes règles de syntaxe .

c'est à dire qu'un interprète transforme le programme en fichier neutre qui est ensuite interprété par des post - processeur en fonction de la machine utilisée .

- **ADAPT** : adaption de APT développé par IBM ce langage utilise un peu plus de 150 mots de APT moins puissant que APT , son objectif est de fonctionner sur des petites machines , il peut fonctionner sur des ordinateurs de 32 KO

- **MINIAPT**

- **IFAPT**

- **PROGRAMMAT**

- **COMPACT II** : permet de contrôler des applications jusqu'à 5 axes , le traitement est Effectué en une seul opération , cad , le post - processeur n'est pas Nécessaire c'est l'un des langage les plus utilisée , ces mots sont Différents de ceux de APT .

- **GTL**

- **PROMO**

- **MITURN**

- **AUTOPROGRAMER** : conçu pour l'alésage , fraisage , tournage , ..

Plus de 1000 post - processeur

Pour terminer ce sous chapitres on parlera de la CFAO et en particulier les systèmes De FAO qui assurent les mêmes fonctions que la programmation automatique , en plus de La facilitée de manipulation et d'introductions des données ,on ne va pas s'attarder Sur ces systèmes car les chapitres qui suivent mettront en évidences tout cela .

VII.5. PROGRAMMATION DES FORMES COMPLEXES :

La plupart des formes que l'on peut rencontrer sur des pièces mécaniques, sont usinées dans un plan, les machines concernées doivent disposer d'un minimum de fonctions de bases pour permettre le travail en 2D ou en 2D 1/2 ; parmi ces fonctions on citera le contournage, le perçage, le pochage.

Cependant, lorsque les courbes et les surfaces, deviennent plus complexes, et comme c'est toujours le cas, il est indispensable de pouvoir déplacer l'outil suivant trois axes, voir même quatre axes, et selon le type de la machine et son usage.

La représentation géométrique des surfaces complexes fait appel à la description des courbes spéciales appelées courbes à pôle ; les méthodes de représentation les plus courantes sont:

Courbes de Bézier : elles sont définies par des polynômes, une surface de Bézier se compose d'un ensemble de carreaux formant un maillage, chaque carreau est lui-même constitué d'une suite de points appelé pôles.

Courbes B-spline : définies par un ensemble de points formants des carreaux, de surfaces dans un réseau.

Ces deux types de courbes ne permettant pas des descriptions exactes de certaines courbes usuelles (parabole, ellipse, arc de cercle, ...), d'où l'apparition des courbes rationnelles.

Les courbes rationnelles les plus courantes sont les courbes de Bézier rationnelles, et les NURBS (nom - uniform rational B-spline) ; qui sont les plus utilisées en CFAO car elles regroupent les caractéristiques des B-spline et des Bézier rationnelles.

Certain logiciels ont été développés dans le but de contribuer à la programmation des formes complexes on citera à titre d'exemple :

NUMFORM :

Qui est un logiciel de description et d'usinage de formes tridimensionnelles concaves ou convexes, son implantation directe sur la CN permet de vérifier rapidement le programme, et aussi une prise en compte en temps réel des dimensions de l'outil.

ce logiciel se compose de trois sous-programmes qui permettent :

- l'usinage de surfaces de révolutions d'axe quelconque.
- l'usinage de formes définies par l'association de surfaces élémentaires
- l'usinage de surfaces gauches obtenue par lissage de courbes

fonction pôles-unisurf :

A partir des pôles de la surface gauche à usiner générée par la CFAO cette fonction :

- assure le traitement des cycles d'usinage par balayage en 3D .
- prend en compte la correction de l'outil dans l'espace
- permet de travailler sur un volume de programme réduit .

Spline :

Les courbes spline sont des courbes à allure continues qui relie une série de points fixes et spécifiques , l'interpolation spline est une méthode mathématique de lissage de ces courbes conçu pour assurer la continuité de la tangence et la constance de l'accélération en chacun des points spécifié sur les trajectoires programmées .

Fonction RTCP:

RTCP(rotation around tool center point) , elle commande l'orientation continue D'un outil hémisphérique par rapport à la pièce en le faisant pivoter autour de son Centre , dans la pratique la CN compense en permanence les références des axes .

VII.6. AUTRES MODES PROGRAMMATION :

1)La programmation polaire :facilite la définition de trajectoires ou de positionnements Lorsque la cotation de la pièce comporte essentiellement des valeurs angulaires .

2)La programmation paramètres: cette programmation permet d'affecter des variables (L) aux adresses à la place des valeurs numériques elle est principalement utilisée: Pour réaliser des opérations arithmétiques , trigonométriques , logiques .

- pour effectuer des incréments ou des décréments .
- pour assurer des sauts conditionnels après comparaison à une expression .

cette méthode nous donne une grande souplesse à la programmation notamment à la création de sous- programmes comportants des opérations répétitives , ou pour l'usinage de familles de pièces de même forme mais de dimensions différentes , elle offre également à l'utilisateur une aide précieuse pour le traitement des cycles d'usinage (surfaçage, pochage ...) , le palpage , et le changement d'outil .

3)programmation structurées : pour faciliter l'écriture et améliorer la lisibilité des programmes complexes , le système offre la possibilité de programmer des sauts et boucles sous une forme structurée ; la programmation structurée comprend quatre jeu d'instructions principaux qui permettent à la fois d'isoler les tâches , de les hiérarchisées et de proposer plusieurs possibilités pour les procédures de tests :

- boucle répété (**repeat until.....**)
- boucle répété tant que (**while.... Do..... end**)
- boucle avec variable de contrôle (**for..... to by do..... end**)
- condition d'exécution d'instruction (**if.....then..... else..... end**)

4)Digitalisation : la majorité des techniques de programmation connues ont pour principe de définir des instructions d'usinages codées en langage CN à partir des données figurant sur le plan d'une pièce .

la digitalisation consiste à parcourir et à analyser la surface d'un modèle existant avec un palpeur monté dans la broche de travail de la machine ; les données géométriques recueillies sont transmises sous forme analogique à un ordinateur qui les converties automatiquement en programme d'usinage exploitable par la CN .

l'opérateur peut ensuite enrichir ce programme par des données technologiques et y apporter des transformations telles qu'un facteur d'échelle ou d'une fonction miroir .

VII.7. PROGRAMMATION PAR CAO:

La CAO, notamment celle qui utilise une modélisation solide, permet :

- le stockage des informations géométriques qui caractérisent le robot, la tâche à réaliser, l'environnement dans lequel elle doit être effectuée et l'outil qui la réalise,
- une visualisation « réaliste » de l'ensemble.

La tâche peut ainsi être exécuté de façon virtuelle, l'Opérateur vérifiant le résultat obtenu, les risques de collision, etc.

L'exécution virtuelle de la tâche est enregistrée dans le système informatique. Toute modification de cet enregistrement est possible jusqu'à l'obtention d'un résultat correct. Le système de programmation permet alors la transformation de ces données en un programme de commande du robot.

Comme dans le cas d'une programmation par langage, la programmation par CAO (qui est en fait une programmation assistée) suppose une bonne identification géométrique de la machine et de l'espace de la tâche.

La programmation par CAO des MOCN a été largement développée, notamment pour la réalisation des surfaces complexes de type paramétrique mais aussi des surfaces simples dans le cas des pièces de première catégorie.¹³ Dans la suite de l'ouvrage on va montrer, pour ces dernières, comment concevoir une approche structurée de la programmation par le langage.

En conclusion, on cherchera comment faire la part entre ces deux modes de programmation des MCON.

VII.8. DIALOGUE HOMME - MACHINE :

L'ergonomie d'une CN constitue l'un des facteurs dominants de son acceptation dans les ateliers, c'est pourquoi toutes les CN modernes disposent de fonctions matérielles, c'est ce qu'on appelle l'I.H.M (l'interface homme - machine), ces matériels qui sont regroupés sur le pupitre opérateur à partir duquel s'effectue l'exploitation de la CN .

VII.8.1. décalages d'origine:

- la CN traite les déplacements demandés dans le programme d'usinage à partir d'un point fixe qui définit le référentiel de la machine, ce point appelé origine mesure (**Om**), est déterminé par le constructeur sur chacun des axes, c'est le point de coordonnées absolues (0.0.0).
- L'initialisation des axes est une opération préliminaire, elle doit être effectuée par l'opérateur à l'aide d'une procédure d'origine machine .
- l'origine pièce (**Op**) est un point de la pièce qui permet de la situer dans le référentiel de la machine .
- l'origine programme (**OP**) est le point de la pièce choisi par l'opérateur pour établir son cotation ; elle est indépendante du système de mesure de la machine .

donc il convient, en premier lieu de :

- situer l'origine mesure (Om)
- mémoriser pour chacun des axes .
- préciser la différence entre l'origine pièce (Op) et l'origine programme (OP) .

pour cela on dresse le schéma de figure VII.4 . qui montre le principe du décalage d'origine .

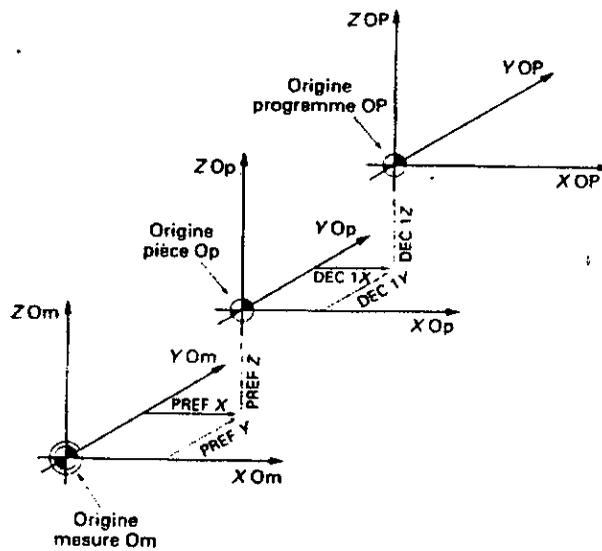


FIG VII.4. décalage de l'origine.

VII .8.2. mode de programmation:

Le programmeur peut choisir entre deux modes de programmation .

- 1) programmation absolue (G90) : la plus répandue lorsque les points à atteindre sont cotés par rapport à l'origine programme .
- 2) programmation relative : (G91) : lorsque chacun des points à atteindre est coté par rapport au point programmé dans le bloc précédent .

pour mieux voir ces deux modes de programmation on se réfère à la figure VII.5

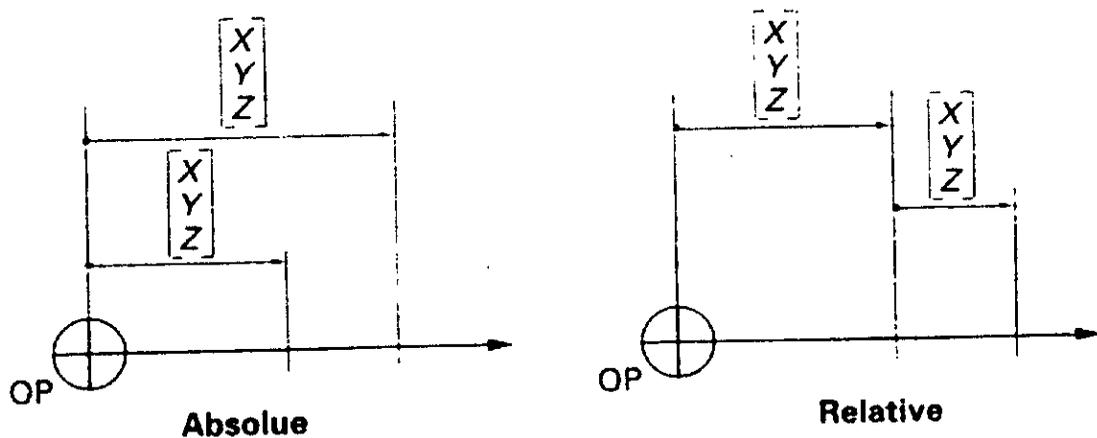


FIG VII.5. programmation absolue et relative .

VII .8.3. correction dynamique des outils:

- L'opérateur a la possibilité à tout moment d'introduire des corrections dynamique d'outils lorsqu'ils constate sur une pièce un écart entre les côtes programmées et les côtes réellement obtenues , ces corrections positives ou négatives ont pour objet de compenser de légères variations de dimensions de l'outils ou de la pièce (usures , dilatation ,etc..) ,applicables sur les longueurs ou sur les diamètres , elles modifient dans la CN les valeurs initialement introduites dans les tables de dimensions d'outils voir figure VII.6 .
- On peut aussi parler de l'intervention programmée , qui est prévue à l'intérieur du programme , celle-ci demande une action de l'opérateur telle que :
- arrêt d'usinage systématique (M00) ou optionnel (M01) permettant à l'opérateur de réaliser une intervention prévue (mesure, par exemple) et de relancer l'exécution par la touche de départ de cycle .
- forçage d'une interruption (M12) .
- attente de compte rendu, lorsque certaines opérations demandent des interventions manuelles (chargement d'outils ,..)

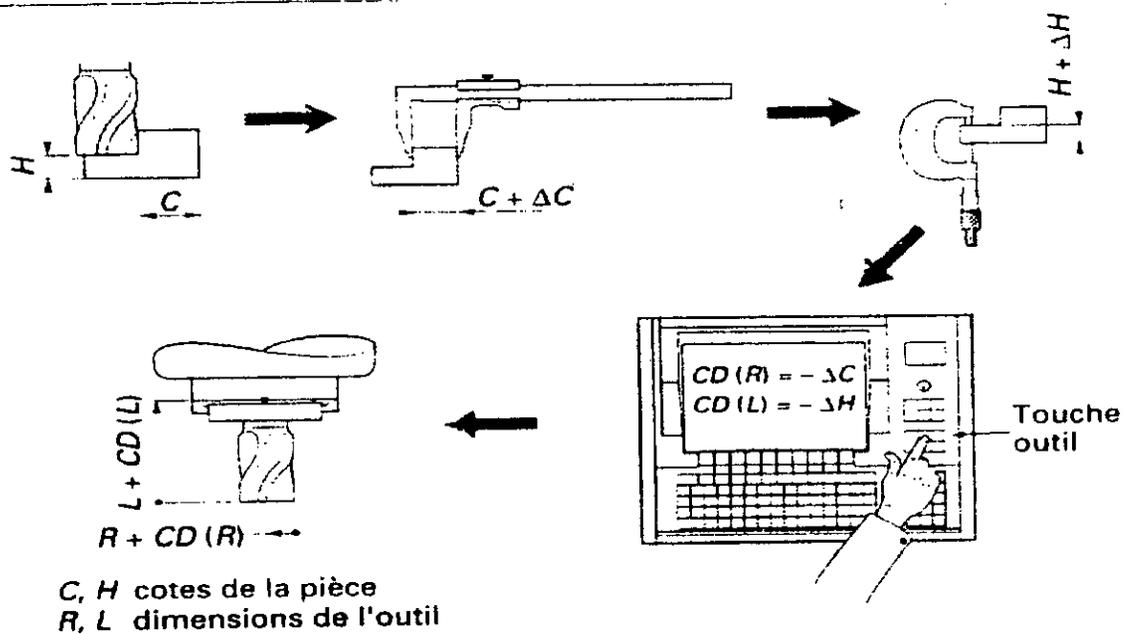


FIG VII.6. correction dynamique des outils.

CHAPITRE VIII

*Remise en marche
de la MOCN
MU 200 CNC TERCO*

la MU 200 est une machine - outil polyvalente conçue pour effectuer les fonctions :
tournage , fraisage , alésage , perçage .

cette machine fonctionne suivant deux versions : tournage et fraisage

la MU 200 est composée ,comme toute les machine à commande numérique , de deux parties essentielles :

- Partie opérative (mécanique) .
- Partie commande .

VIII.1. PARTIE OPERATIVE :

La MU 200 est une machine qui contient :

Deux degrés de liberté en version tour (X,Z) .

Trois degrés de liberté en version fraiseuse (X,Y,Z) .

Encombrement : 1200 * 1050 * 900 .

Poids : 270 kg .

Moteur de la broche : 180 kW

Table : 350 *150 mm

Course longitudinale : 190 mm

Course transversale : 80 mm

Course verticale : 40 mm

VIII.1.1. système d'entraînement (avance) :

Chaque axes (degrés de liberté) correspond à un moteur d'entraînement , qui est un Moteur pas à pas , qui reçoit des impulsions du directeur de commande numérique , puis Le rotor de ce dernier transmet le mouvement de rotation à la vis à la quelle il est lié , A son tour cette vis transmet le mouvement au chariot concerné par le biais d'un système Vis-écrou .

Dans notre cas la fraiseuse contient trois degrés de liberté ce qui donne trois moteurs pas à pas , liés au directeur de commande numérique .

en ce qui concerne le moteur de la broche , on dispose d'un moteur asynchrone , qui assure le mouvement de rotation .

Pour le changement de vitesse , un jeu de trois courroies qui permettent d'avoir trois vitesses de rotation , et un sélecteur qui prend deux positions cela dit , il y a six vitesse de rotations .

position harnais : 160 - 250 - 400 tr/min.

position volet : 630 - 1000 - 1600 tr/min.

VIII.1.2. système de guidage :

Le chariot (X) est lié directement au bâti par l'intermédiaire d'une glissière .

Le chariot (Y) est lié au chariot (X) par l'intermédiaire d'une glissière à queue d'aronde .

Le chariot (Z) coulisse sur la colonne qui est à son tour lié au bâti de la machine .

Remarque :

- Au niveau du système (Z) il existe une tête qui a la possibilité d'effectuer des rotations (par pas d'un degré) , autour de l'axe (Y) ce qui permet de donner un angle de déviation pour l'axe de la broche (usinage d'un plan incliné) .

VIII.1.3. limitation des courses et sécurité :

Au niveau de chaque axe il existe des fins de courses , qui sont des contacteurs liés au directeur de commande numérique , lorsqu'il sont enclenchés le système s'arrête automatiquement , se système est muni de buté pour régler la course du chariot en question.

Pour la sécurité , il y a les fins de courses dont on a parlé , et aussi un bouton d'arrêt D'urgence accessible à l'avant de la machine , le couvercle de la boite à vitesse est aussi lié au système de sécurité , lorsque ce dernier est ouvert tout les sont à l'arrêt .

VIII.1.4. passage de la version fraiseuse en tour :

Pour convertir la MU 200 CNC en tour horizontale , il est recommander de suivre les étapes suivantes :

- faire tourner la tête d'un angle de 90° de sorte à ce que l'axe de la broche soit horizontale , cela en desserrant les quatre vis de (6 pans) .
- à partir du directeur de commande numérique , dans la partie commande manuelle , on utilise la touche (-Z) pour descendre le chariot (Z) jusqu'à l'extrémité inférieure .
- fixer le chariot (Z) à l'aide de vis sur le bâti d'une manière à l'immobiliser .
- automatiquement un contacteur va s'enclencher , et permettra de :
 - convertir (X) en (Z) .
 - convertir (Y) en (X) .
 - suppression de l'axe (y) .

ces modification sont nécessaires pour le respect de l'orientation des axes selon les normes ISO de l'orientation des axes d'une machine à commande numérique , citées auparavant .

VIII.2. PARTIE COMMANDE :

- la machine est reliée à un directeur de commande numérique ,qui est le CNC 4000 ,par des câbles flexibles étiquetés (X,Y,Z) , et un câble d'alimentation ,car la machine ne peut pas être mise sous tension sans le DCN .
- le DCN est mis sous tension au moyen d'un interrupteur à clé .

le directeur de commande numérique est composé de trois parties essentielles :

VIII.2.1. commande du système:

Tableau 1 :

| Commande | Commentaire |
|-------------------------|--|
| STOP | Arrêt du programme |
| MARCHE | Démarrage du programme après introduction du N° de bloc |
| PROGRAMME | Programmation manuelle |
| TEST | Tester le bloc après avoir introduit son numéro |
| CHARGEMENT DE PROGRAMME | Chargement de programme d'une bande perforée , bande magnétique . |
| DECHARGEMENT DE MEMOIRE | Enregistrer un programme sur une bande perforée , bande magnétique . |
| BLOC à BLOC | Exécution du programme bloc à bloc . |
| RETOUR ORIGINE | La broche s'arrête et la machine revient au point (0) |

VIII.2.2. commande de la programmation :

Tableau 2

| Commande | Commentaire |
|--------------------|---|
| RAZ | Remise à zéro du système |
| Intro point de ref | Introduire le point de référence . |
| LECTURE | Affichage des coordonnées |
| MODIF | Pour changer les données d'un bloc |
| Inser. Bloc . | Insérer un bloc |
| FIN DE BLOC | Utilisé chaque fin de bloc d'un programme |
| FIN DE PG | Utilisée à la fin du programme |

VIII.2.3. autres commandes:

- 1) **commande manuelle:** les touches servent à déplacer les chariots avec une vitesse d'avance réglable en continue ou par pas de : (10 , 1 , 0.1 , 0.01) mm .
- 2) **valeurs :** affichage de la course désirée (5 chiffres , avec un signe (-) si il est nécessaire) .
- 3) **modulation d'avance(%):** la vitesse programmée peut modifier manuellement soit multiplier par un coefficient .
- 4) **adresse:** X , Y, Z pour l'interpolation linéaire . I , J, K pour l'interpolation circulaire .
- 5) **les fonctions :** N-G-F-S-T-M

N : numéro de bloc .

G : fonction préparatoire .

F : fonction d'avance .

S: fonction broche .

T: fonction outil .

M: fonction auxiliaire .

Pour plus d'information sur le DCN CNC 4000 consulter l'annexe et la documentation de la machine .

VIII.3. PROCEDURE DE PROGRAMMATION :

avant d'entamer la programmation de la MU 200 CNC , on commence par la fixation de la pièce , ceci se fait , grâce à des brides qu'on a fabriqué au niveau de l'atelier .

après avoir fait le dessin de la pièce et fait la cotation absolu de notre pièce , et après avoir positionner l'outil en un point qu'on appel l'origine programme , c'est-à-dire , le point par lequel démarre le programme d'usinage , on introduit le programme d'usinage de deux manières :

VIII.3.1. manuellement à partir du directeur de commande numérique :

écrire le programme en utilisant les touches du DCN , c'est-à-dire , introduire le programme bloc par bloc . et cela ce fait de la manière suivante :

- 1- taper (programme manuel) .
- 2- introduire la lettre fonction et adresse (N-G-F-T-S-M) . (X-Y-Z-I-J-K) en mm .
- 3- suivre la fonction d'une valeur .
- 4- à la fin de chaque bloc taper (fin de bloc) .

- 5- après chaque fin de bloc , le nouveau bloc s'inscrit automatiquement .
- 6- arrivé à la fin du programme taper (fin de programme) .

***cas de la correction du rayon de l'outil :**

on rencontre ce cas , lors de l'utilisation de sous-programme de fraisage (G12-G13)
la correction du rayon de l'outil ce fait par l'ajout d'un programme de correction sous la
forme :

N901(1: numéro de l'outil dans le programme) . numéro du bloc

I suivie du diamètre de l'outil

Ex: N901 I+01000 / correction de 5 mm sur l'outil T1

VIII.3.2. chargement à partir d'une bande perforée :

- 1- saisir le lecteur de bande .
- 2- raccorder le DCN et le lecteur .
- 3- appuyer la touche (reader) un voyant s'allumera .
- 4- appuyer sur la touche (chargement de programme)
- 5- afficher (2) sur la zone de saisie des valeurs .
- 6- le lecteur se mettra à lire les information transcrite sur la bande ,et les enverra vers le DCN .
- 7- éteindre le lecteur .
- 8- le programme maintenant est chargé dans le directeur de commande et prés à être exécuté .

VIII.3.3. programmation élémentaire :

Les systèmes à commande numérique disposent de trois types de commandes, comme on a vu , commande point par point , paraxiale , trajectoire .

Pour cela , le DCN dispose de fonctions (G) qui préparent la machine dans le but d'effectuer des opérations bien déterminées .

- 1) commande point par point : cette commande nécessite l'introduction de la fonction G00 , suivie des coordonnées du point à atteindre dans le système de référence sélectionné à l'avance .par exemple
N001 G00 X01000 Y02000 . atteindre le point (10 , 20) à vitesse rapide .
- 2) interpolation linéaire : cette opération est définie par la fonction G01, suivie de :
 - vitesse d'avance (F) en mm/min.
 - coordonnées du point à atteindre .

dans cette commande , l'outil atteint le point programmé , en suivant le segment droit entre le point de départ et le point d'arrivé .

ex: N005 G01 F085 X01000 Y02000 . atteindre le point (10 , 20) en mm avec une vitesse de 85 mm/min.

3) interpolation circulaire : dans cette fonction on utilise les fonctions G02 ou G03 , selon le sens qu'on choisit , horaire ou anti-horaire respectivement . pour programmer cette opération on introduit l'une des fonction G02 ou G03 , suivie de :

- coordonnées du point à atteindre .
- vitesse d'avance si elle n'est pas sélectionnée auparavant ,ou si on désire la modifier .
- coordonnées du centre de l'arc de cercle à parcourir dans le repère lié à la position de l'outil dans le bloc précédent

ex : N001G02 F085 X01000 Y02000 I+01000 J-01000 .

atteindre le point (10,20) en suivant un arc de cercle de rayon $\sqrt{I^2 + J^2}$, dans le sens horaire avec les coordonnées du centre par rapport à l'outil (10 , -10) en mm , et avec une vitesse de 85 mm/ min.

si on remplace G02 par G03 on atteint ce point dans le sens inverse de rotation .

c'était quelque programmes élémentaires , pour plus de connaissances , consulter le manuel en annexe ou , le catalogue du DCN MATLABO .

4) décalage d'origine : (G58) , cette fonction nous permet de décaler l'origine programme , et elle est intéressante dans le cas ou on utilise la fonction de retour à un bloc et le répéter plusieurs fois, (G25) ex:

N001 G...X... Y.....

N002

.....

.....

N019 G58 X01000 Y02000

N020 G25 I(n° de bloc) J(nbr de répétition) .

.....

N... M02

Ce type de programmation nous permet de répéter une partie ou tout le programme plusieurs fois .

VIII.4. SAUVEGARDE DU PROGRAMME :

Dans le but de réutiliser le programme , on enregistre ce dernier sur une bande perforé qu'utilisera pour introduire le programme dans le directeur de commande numérique comme on a vu ci-dessus ; cela se fait de la manière qui suit :

- 9- le programme est dans la mémoire du DCN .
- 10- allumer le lecteur de bande dans ce cas on l'appellera perforatrice de bande .
- 11- mettre la perforatrice en position d'enregistrement .
- 12- appuyer la (punch) .
- 13- appuyer sur la touche (décharge mémoire) sur le DCN.
- 14- afficher (2) dans la zone de saisi de valeur .
- 15- le programme s'enregistrera sur la bande sous forme de trous .
- 16- découper la partie perforée de la bande .
- 17- éteindre la perforatrice .
- 18- accompagner la bande perforée avec le listing du programme et le dessin de la pièce qui lui correspond .

VIII.5. INTRODUCTION DE L'ORIGINE PROGRAMME :

19- pour introduire une origine programme , il suffit de faire manœuvrer les chariots à la position voulue , et appuyer sur la touche (**intro point référence**) , ensuite la touche (**RAZ**) ; après cela , le programme prendra en considération le nouveau point de référence .

VIII.6. EXECUTION DU PROGRAMME SUR MACHINE :

20- Après avoir introduit le programme d'usinage dans le directeur de commande numérique , et suivie les instructions citées ci-dessus , on peut passer à l'exécution du programme ; il est recommander de tester ce dernier bloc par bloc en utilisant la touche (**TEST**) , est le bloc sélectionné apparaîtra sur la visu du DCN .

Il y a deux façons d'exécuter le programme , soit l'exécution bloc par bloc , soit son exécution continue(saut d'un bloc à un autre automatiquement) .

1) L'exécution bloc par bloc se fait en utilisant la touche (**BLOC à BLOC**) ensuite la touche (**MARCHE**) .

Après qu'un bloc est exécuté on appui de nouveau sur la touche (**MARCHE**) , alors le bloc suivant s'exécute et ainsi de suite jusqu'à la fin du programme .

2) l'exécution continue du programme , s'effectue en appuyant sur la touche (**MARCHE**) , ensuite introduire le numéro du bloc à exécuter , alors le directeur de commande se met à envoyer les instructions au partie concernées de la machine , et à chaque fin de bloc il passe au bloc suivant automatiquement , jusqu'à la fin du programme .

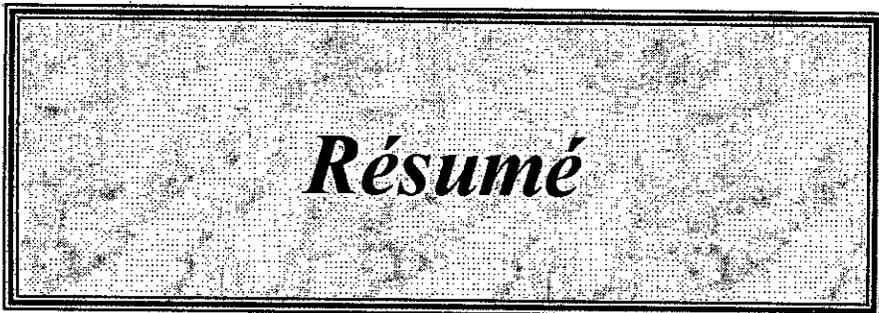
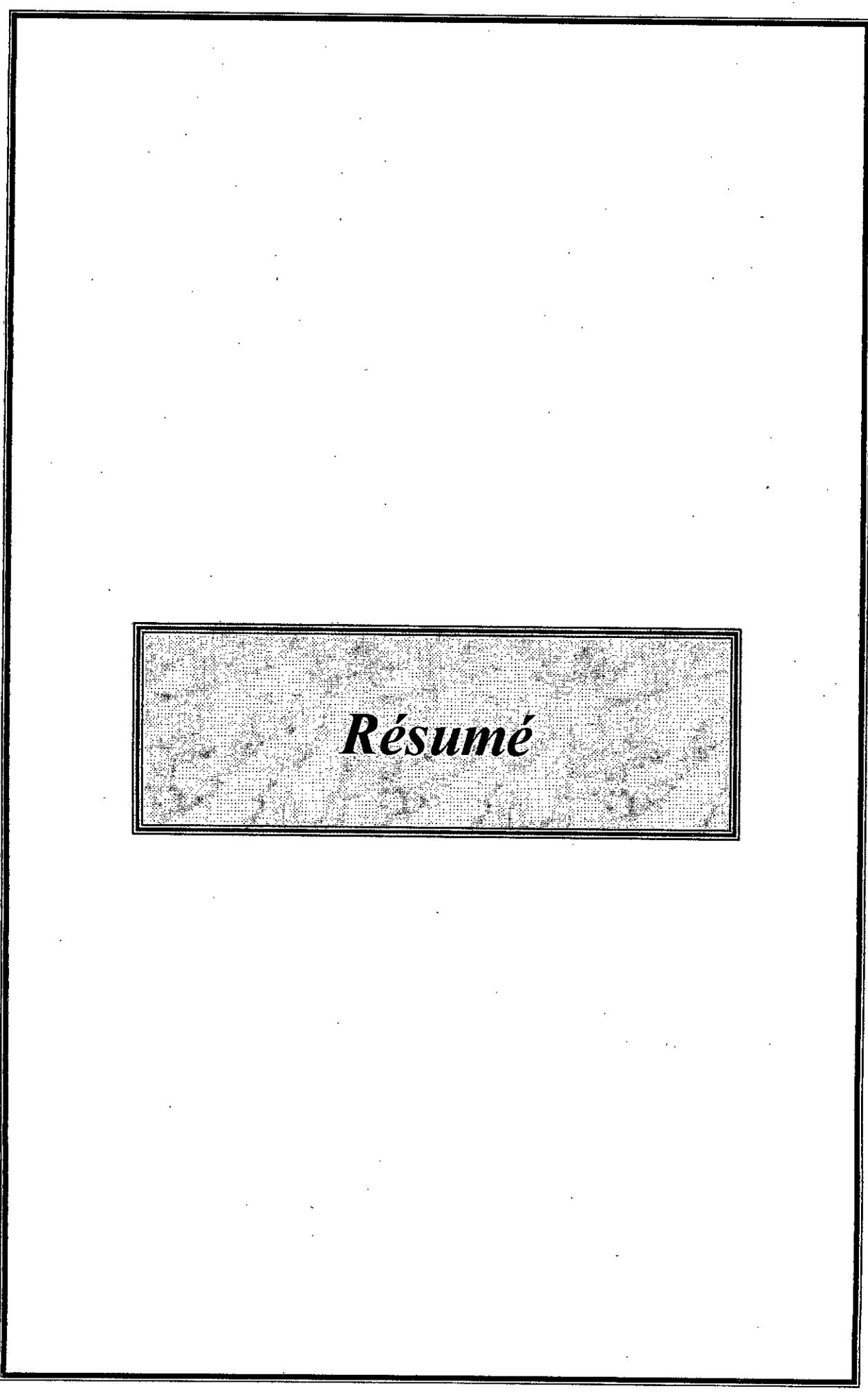
VIII.7.REMARQUES IMPORTANTES :

- 1- le directeur de commande , possède une mémoire morte , c'est-à-dire , le faite d'éteindre ce directeur décharge sa mémoire , donc il est recommandé , de ne pas éteindre le directeur de commande , en cas de nécessité il faut utiliser le bouton d'arrêt d'urgence , cela pour éviter de recharger le programme .
- 2- on peut régler l'avance manuellement en utilisant le potentiomètre qui permet de multiplier la vitesse d'avance par des coefficients allant de [0 , 200]% par pas de 20 c'est ce qui est appelé (**MODULATION D'AVANCE**) . et cela peut se faire pendant que le programme se déroule .
- 3- la fonction (S) n'est pas une instruction qui s'exécute réellement , car notre machine n'est pas équipée d'un dispositif de changement de vitesse automatique , et aussi la même chose pour certaines fonctions qui nécessite des accessoires sur la machine (partie opérative) , alors si on remarque dans le programme les commandes (S) , (T) c'est seulement dans le but d'écrire un programme pour machine à commande numérique d'une manière convenable .
- 4- pour utiliser la commande (M10) et (M11) il faut accorder au DCN un étaiu automatique.
- 5- Pour utiliser la commande (M60) on doit raccorder au DCN un bras manipulateur qui recevra ces ordre du directeur de commande .

Donc les seuls fonctions qui marchent réellement sont :

- 1) (G) .
- 2) les adresses (X. Y.Z. I. J. K) .
- 3) les fonctions auxiliaires (M) .
- 4) la fonction bloc (N) .
- 5) la fonction d'avance (F) .
- 6) la fonction outil (T)

- 6- pendant les essais on a constaté des vibrations , qui sont dues à l'absence d'un véritable support pour cette machine , qui va la stabiliser , pour cela , il est nécessaire d'en fabriquer un , et ça pourrait faire l'objet d'un mini - projet ou un séminaire .
et comme solution temporaire , après les essais , on a pu travailler avec cette machine en prenant des profondeurs de passes inférieure à 3/10 mm .
- 7- on a constaté aussi , pendant l'utilisation de l'interpolation circulaire , que la limite de vitesse d'avance est au maximum de 250 mm/min. au de la de cette valeur , on observer un mauvais asservissement des mouvements suivants les axes X et Y .



Résumé

Si on résume ce qu'on a vu le long des chapitres étudiés on en conclut que :

- concernant les chapitres étudiés précédemment , on a vu sept chapitres :
 - 1) concerne les généralités sur ce type de machine cad , une vue globale sur ce type de machine .
 - 2) concerne le concept de CFAO car il fallait donner une idée sur ces systèmes .
 - 3) concerne surtout la partie opérative de la machine , avec un aperçu sur l'interface partie opérative - partie commande .
 - 4) concerne le traitement des informations au sens propre du terme , c'est-à-dire , le passage de l'information du programme au organes mobiles de la machine .
 - 5) dans ce chapitre on insister sur la fonction du directeur de commande numérique DCN .
 - 6) dans ce chapitre on a vu la liaison entre la FAO et la CN , et on a constaté que les systèmes de CFAO sont orientés vers la CN .
 - 7) ce chapitre concerne la programmation de ces machines proprement dit ,c'est-à-dire les types de programmation et les procédés qui existent .
 - 8) dans ce chapitre on s'est proposé de faire une description bref de la machine TERCO MU 200 CNC . dans le but de la remettre en marche , et de l'utiliser en version fraiseuse . et on a incorporé les méthodes de programmation qu'on utilise sur cette machine . et il est nécessaire d'insister sur la construction d'un bâti pour cette machine , qui va permettre d'éliminer les vibrations .

dans tout les chapitres cités ci-dessus, on peut tirer les conclusions suivantes :

- les machines outils à commande numérique sont des machines outils incorporées dans des structures de communication , qui est la partie commande et interface de la machine .
- les systèmes de CFAO permet de récupérer les fichiers de données concernant la trajectoire de l'outils ou du mobile .
- la précision d'une MOCN va dépendre de la qualité des organes qui la constitue , et de la résolution des systèmes de mesures .
- la fiabilité d'une MOCN est liée la fiabilité de ces composants (mécaniques et électronique) .

les machines - outils à commande numérique présentent aussi quelques avantages qui peuvent se résumer comme suit :

- 1) il devient immédiatement possible de supprimer tous les guides de perçage et d'avance tels que les cames, les coulisses et les dispositifs à palpeurs, ce qui élimine les dispositifs auxiliaires et restreint l'encombrement des ateliers et des magasins de pièces de rechange.
- 2) Des programmes numériques peuvent être modifiés plus facilement que des organes mécaniques.
- 3) Suppression des erreurs de réglages et des effets de fatigues de l'opérateur humain.
- 4) Contrôle de la production à partir d'un poste central.
- 5) Usinage de formes et de profils complexes.

et autres avantages de cette technique .

- dans le cadre de l'usage des systèmes de CFAO, comme on a précisé dans le chapitre II et les chapitres VI et VII ; qu'on doit suivre une certaine démarche afin de pouvoir profiter des avantages de la CFAO, ces démarches se résument comme suit :

- dessin de la pièce en 3D ou 2D donc génération du fichier de points appartenant à la pièce .
- déclaration des profils brutes et finis en les dessinant dans le même Environnement de CFAO .
- élaboration de la gamme d'usinage (ordre chronologique des opérations, et paramètres d'usinages) .
- à chaque cycle d'usinage visualiser la simulation, pour mieux voir le déroulement de l'opération).
- Créer un fichier qui va assembler toutes les opérations qui se font sur la même machine .
- Appeler un post - processeur qui va traduire les informations en code ISO .
- Génération du programme en code ISO .
- Envoi du programme vers la CN .

REMARQUE :

- avant de commencer à usiner il faut s'assurer de la position de l'origine machine .
- dans le choix du post - processeur il faut vérifier dans la documentation de la machine le type de processeur qui est installé dans cette dernière.

pour illustrer ce qu'on vient de dire on propose en annexe II un exemple d'application de CFAO .

- Ce travail nous a permis de parfaire nos connaissances dans :
 - les composants essentiels que comporte une machine-outil à commande numérique , c'est-à-dire , ce qu'on peut trouver dans toutes les machines .
 - la programmation des MOCN .

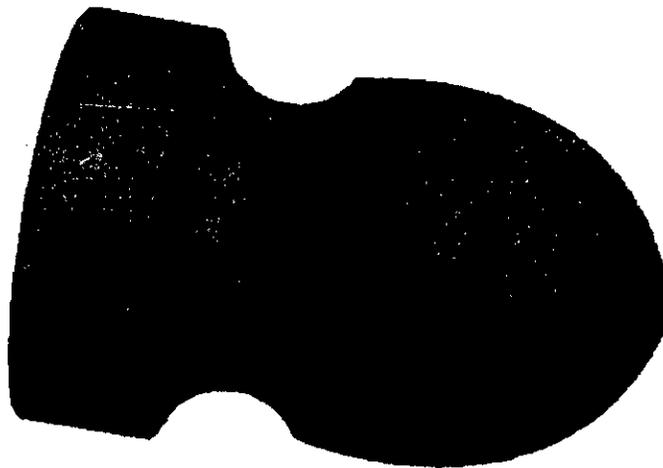
 - L'introduction de la CFAO nous a permis de voir à quelle point cette dernière contribue à la programmation des MOCN (facilité de programmation et précision)
 - La remise ne marche de la machine qui existe au niveau du département de génie mécanique (ENP) , nous a permis de s'initier à la maintenance et de la récupérer afin de l'utiliser en vu d'un TP .
 - Pendant la période des essais on a observé des vibrations ,qui étaient dues à l'absence d'un support réel pour la machine , pour cela on propose pour un travail ultérieure , la conception d'un support pour cette machine .
 - En ce qui concerne l'optimisation de la programmation , c'est-à-dire , l'utilisation de la CFAO , c'est un autre projet , qui peut se faire mais en collaboration avec d'autres département .
- Ce projet consiste à adapter la machine à un PC , pour cela il faut :
- conception d'une interface électroniques . entre le directeur de commande et le PC .
 - établir un programme qui va permettre le transfert ,des résultats de calculs au niveau du PC , vers le DCN .
- et on espère qu'il y ai une suite à ce travail .

annexe 1

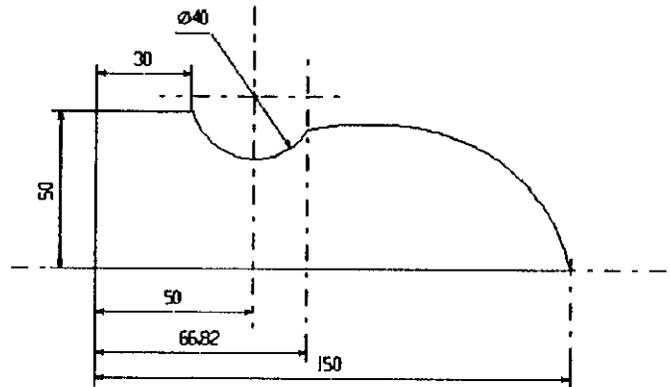
afin d'illustrer ce qui a été cité dans les chapitres VI et VII , qui concernent le lien entre la commande numérique et les systèmes de CFAO , on se propose une manipulations en tournage . car on verra des programmes en fraisage dans l'annexe II qui est un manuelle de travaux pratiques .

- dans ces exemples on verra la facilité de programmation qu'offre ce genre de système, et bien entendu on procédera de la façon décrite , dans le chapitre VI cad :
 - 1) conception de la pièce à usiner (dessin) .
 - 2) déclaration des profils(brute , fini) .
 - 3) introduction du repère .
 - 4) introduction de la gamme d'usinage .
 - 5) création d'un fichier pour tout le procédé d'usinage .
 - 6) génération du programme en code ISO .

pour commencer visionnons la vue globale de la forme à usiner (voir figure ci-dessous) :



il s'agit d'une forme aérodynamique avec une gorge circulaire . pour avoir plus de détail la figure suivante donne la vue de face en demi-coupe .



- Le volume représenté dans la première figure , peut être généré en effectuant une rotation autour de l'axe centrale de la pièce du profil représenté ci-dessous .

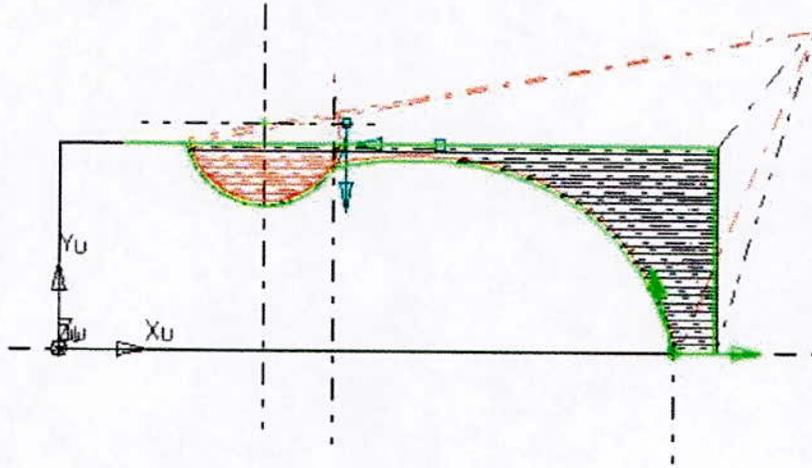
Définition de profils d'usinages et introduction de la gamme :

Pour définir les profils d'usinage il suffit de les sélectionner graphiquement .

L'introduction de la gamme d'usinage se fait aussi graphiquement ,c'est-à-dire , il suffit de choisir le cycle d'usinage convenable à la situation dans laquelle on est puis introduire les données technologiques de l'usinage (choix de l'outil de coupe , vitesse de coupe , vitesse d'avance ,etc....) .

Après cette étape , on procède à une simulation d'usinage de chaque cycle , s'il y en a plusieurs , pour voir si notre gamme est satisfaisante . Après tout ça on obtient un aperçu de notre travail , et le schéma de la figure ci-dessous le montre .

- Les profils brute et fini sont représentés en vert .
- Les passes de l'outils sont représentées en gris .
- En rouge on voit l'engagement et le dégagement de l'outil .



Choix du post - processeur :

C'est à partir de cette étape qu'on passe de la CFAO vers la CN , cette opération consiste à traduire les données géométriques et technologiques , en code ISO , ce post-processeur peut être arbitraire mais dans le cas générale il est choisit en fonction processeur de la machine à commande numérique .

Génération du programme d'usinage :

A partir de l'étape précédente , on affiche le programme en code ISO , dans le but de le visionner seulement , et le modifier si on le souhaite .

Pour usiner la pièce représentée , il suffit d'envoyer le programme ci-dessous vers le directeur de commande numérique , qui va se charger de décoder toute les instructions et les envoyer aux organes mobiles de la machine .

| | |
|--|-----------------------|
| %1 | N470 G01 X64 |
| N10 G90 G95 G80 G40 T0 D0 | N480 Z131.456 |
| N20 G00 X200 Z200 | N490 G00 X66 Z132.456 |
| N30 T1 D1 M6 | N500 Z161 |
| N40 G97 G94 S1000 F80 M41 M4 (Ebauche tournage) | N510 X64 |
| N50 G00 X160 Z185 | N520 G01 X60 |
| N60 X100 Z161 | N530 Z133.678 |
| N70 G01 X96 | N540 G00 X62 Z134.678 |
| N80 Z31.693 | N550 Z161 |
| N90 G00 X98 Z32.693 | N560 X60 |
| N100 Z161 | N570 G01 X56 |
| N110 X96 | N580 Z135.666 |
| N120 G01 X92 | N590 G00 X58 Z136.666 |
| N130 Z97.266 | N600 Z161 |
| N140 G00 X94 Z98.266 | N610 X56 |
| N150 Z161 | N620 G01 X52 |
| N160 X92 | N630 Z137.464 |
| N170 G01 X88 | N640 G00 X54 Z138.464 |
| N180 Z107.899 | N650 Z161 |
| N190 G00 X90 Z108.899 | N660 X52 |
| N200 Z161 | N670 G01 X48 |
| N210 X88 | N680 Z139.101 |
| N220 G01 X84 | N690 G00 X50 Z140.101 |
| N230 Z114.21 | N700 Z161 |
| N240 G00 X86 Z115.21 | N710 X48 |
| N250 Z161 | N720 G01 X44 |
| N260 X84 | N730 Z140.578 |
| N270 G01 X80 | N740 G00 X46 Z141.578 |
| N280 Z118.975 | N750 Z161 |
| N290 G00 X82 Z119.975 | N760 X44 |
| N300 Z161 | N770 G01 X40 |
| N310 X80 | N780 Z141.928 |
| N320 G01 X76 | N790 G00 X42 Z142.928 |
| N330 Z122.837 | N800 Z161 |
| N340 G00 X78 Z123.837 | N810 X40 |
| N350 Z161 | N820 G01 X36 |
| N360 X76 | N830 Z143.166 |
| N370 G01 X72 | N840 G00 X38 Z144.166 |
| N380 Z126.123 | N850 Z161 |
| N390 G00 X74 Z127.123 | N860 X36 |
| N400 Z161 | N870 G01 X32 |
| N410 X72 | N880 Z144.297 |
| N420 G01 X68 | N890 G00 X34 Z145.297 |
| N430 Z128.958 | N900 Z161 |
| N440 G00 X70 Z129.958 | N910 X32 |
| N450 Z161 | N920 G01 X28 |
| N460 X68 | N930 Z145.331 |
| | N940 G00 X30 Z146.331 |
| | N950 Z161 |

| | |
|--|--|
| N960 X28 | N1430 G00 Z66.664 |
| N970 G01 X24 | N1440 G01 X96 Z67.664 |
| N980 Z146.274 | N1450 G02 X92 Z66.733 I110 K50 |
| N990 G00 X26 Z147.274 | N1460 G01 Z33.267 |
| N1000 Z161 | N1470 X94 Z34.267 |
| N1010 X24 | N1480 G00 Z65.733 |
| N1020 G01 X20 | N1490 G01 X92 Z66.733 |
| N1030 Z147.135 | N1500 G02 X88 Z65.492 I110 K50 |
| N1040 G00 X22 Z148.135 | N1510 G01 Z34.508 |
| N1050 Z161 | N1520 X90 Z35.508 |
| N1060 X20 | N1530 G00 Z64.492 |
| N1070 G01 X16 | N1540 G01 X88 Z65.492 |
| N1080 Z147.922 | N1550 G02 X84 Z63.856 I110 K50 |
| N1090 G00 X18 Z148.922 | N1560 G01 Z36.144 |
| N1100 Z161 | N1570 X86 Z37.144 |
| N1110 X16 | N1580 G00 Z62.856 |
| N1120 G01 X12 | N1590 G01 X84 Z63.856 |
| N1130 Z148.638 | N1600 G02 X80 Z61.662 I110 K50 |
| N1140 G00 X14 Z149.638 | N1610 G01 Z38.338 |
| N1150 Z161 | N1620 X82 Z39.338 |
| N1160 X12 | N1630 G00 Z60.662 |
| N1170 G01 X8 | N1640 G01 X80 Z61.662 |
| N1180 Z149.289 | N1650 G02 X76 Z58.485 I110 K50 |
| N1190 G00 X10 Z150.289 | N1660 G01 Z41.515 |
| N1200 Z161 | N1670 X78 Z42.515 |
| N1210 X8 | N1680 G00 Z57.485 |
| N1220 G01 X4 | N1690 G01 X76 Z58.485 |
| N1230 Z149.879 | N1700 G02 X76 Z41.515 I110 K50 |
| N1240 G00 X6 Z150.879 | N1710 G02 X80 Z38.338 I110 K50 |
| N1250 Z161 | N1720 G02 X84 Z36.144 I110 K50 |
| N1260 X4 | N1730 G02 X88 Z34.508 I110 K50 |
| N1270 G01 X0 | N1740 G02 X92 Z33.267 I110 K50 |
| N1280 Z150.386 | N1750 G02 X96 Z32.336 I110 K50 |
| N1290 G00 X2 Z151.386 | N1760 G02 X100 Z31.67 I110 K50 |
| N1300 Z161 | N1770 G00 X156 Z184 |
| N1310 X160 Z185 | N1780 (Temps de l'usinage : 2.95 min.) |
| N1320 (Temps de l'usinage : 10.00 min) | N1790 (Temps total : 12.95 min.) |
| N1330 (Temps total : 10.00 min) | N1800 M5 |
| N1340 M5 | N1810 G00 X200 Z200 |
| N1350 G00 X200 Z200 | N1820 T12 D12 M6 |
| N1360 T16 D16 M6 | N1830 G97 G94 S1600 F80 M41 M4 |
| N1370 G97 G94 S1000 F80 M41 M4 | (ContourF tournage) |
| (Gorge tournage) | N1840 G00 X156 Z184 |
| N1380 G00 X133.478 Z66.819 | N1850 X-1.415 Z151.224 |
| N1390 X100 Z68.33 | N1860 G01 X0.517 Z150.966 |
| N1400 G02 X96 Z67.664 I110 K50 | N1870 X4.546 Z150.427 |
| N1410 G01 Z32.336 | N1880 X8.6 Z149.826 |
| N1420 X98 Z33.336 | N1890 X12.641 Z149.164 |

| | | | |
|-------|------------------|-------|--|
| N1900 | X16.661 Z148.44 | N2380 | X94.161 Z81.633 |
| N1910 | X20.648 Z147.652 | N2390 | X93.976 Z80.079 |
| N1920 | X24.594 Z146.799 | N2400 | X93.748 Z78.553 |
| N1930 | X28.488 Z145.88 | N2410 | X93.48 Z77.058 |
| N1940 | X32.324 Z144.894 | N2420 | X93.174 Z75.595 |
| N1950 | X36.091 Z143.84 | N2430 | X92.467 Z72.794 |
| N1960 | X39.782 Z142.718 | N2440 | X91.655 Z70.165 |
| N1970 | X43.386 Z141.53 | N2450 | X90.772 Z67.743 |
| N1980 | X46.036 Z140.592 | N2460 | X90.314 Z66.619 |
| N1990 | X48.63 Z139.617 | N2470 | G03 X89.436 Z65.978 I88.354 K66.819 |
| N2000 | X51.166 Z138.604 | N2480 | G02 X100.5 Z31.603 I110 K50 |
| N2010 | X53.644 Z137.554 | N2490 | G01 X102.436 Z31.353 |
| N2020 | X56.061 Z136.467 | N2500 | G00 X156 Z184 |
| N2030 | X58.413 Z135.343 | N2510 | (Temps de l'usinage : 1.94 min.) |
| N2040 | X60.7 Z134.182 | N2520 | (Temps total : 14.88 min.) |
| N2050 | X62.919 Z132.987 | N2530 | M5 |
| N2060 | X65.069 Z131.756 | N2540 | G00 G52 X0 Z0 |
| N2070 | X67.148 Z130.491 | N2550 | M2 |
| N2080 | X69.153 Z129.193 | | |
| N2090 | X71.085 Z127.863 | | |
| N2100 | X72.941 Z126.501 | | |
| N2110 | X74.721 Z125.108 | | |
| N2120 | X76.423 Z123.687 | | |
| N2130 | X78.048 Z122.237 | | |
| N2140 | X79.594 Z120.76 | | |
| N2150 | X81.061 Z119.258 | | |
| N2160 | X82.448 Z117.732 | | |
| N2170 | X83.756 Z116.183 | | |
| N2180 | X84.985 Z114.612 | | |
| N2190 | X86.134 Z113.022 | | |
| N2200 | X87.205 Z111.414 | | |
| N2210 | X88.196 Z109.79 | | |
| N2220 | X89.11 Z108.151 | | |
| N2230 | X89.947 Z106.499 | | |
| N2240 | X90.707 Z104.837 | | |
| N2250 | X91.392 Z103.165 | | |
| N2260 | X92.003 Z101.487 | | |
| N2270 | X92.541 Z99.804 | | |
| N2280 | X93.008 Z98.118 | | |
| N2290 | X93.404 Z96.432 | | |
| N2300 | X93.733 Z94.747 | | |
| N2310 | X93.996 Z93.067 | | |
| N2320 | X94.194 Z91.393 | | |
| N2330 | X94.33 Z89.729 | | |
| N2340 | X94.406 Z88.076 | | |
| N2350 | X94.424 Z86.437 | | |
| N2360 | X94.388 Z84.815 | | |
| N2370 | X94.299 Z83.213 | | |

annexe 2

1) but du travail :

ce travail consiste à proposer un manuel de travaux pratiques traitant trois exemples de manipulations de bases correspondants aux procédés suivants:

- le contournage . (exemple 1)
- le pochage . (exemple 2)
- le perçage . (exemple 3)

les programmes décrivant chaque manipulation sont élaborés en mode de programmation automatique (CFAO chapitre VI et VII) .

ce manuel a pour objectif principale de :

- 1/ familiariser l'étudiant à la MOCN .
- 2/ savoir programmer la machine .
- 3/ parfaire les connaissances théoriques de l'étudiant .

2) généralités :

la MOCN CN200 , est constituée de deux parties essentielles :

- 1) partie opérative : organe d'entraînements , organes de transmission de mouvement, bâti etc....
- 2) partie commande : elle est représentée par le directeur de commande numérique CNC4000 , son rôle est de recevoir les informations codées et les transformer en impulsions électriques (ordres) qui iront aux différents moteurs d'entraînements des organes mobiles .

3) accessoires :

- 1) perforatrice CNC 4423 . (ainsi que lecteur de bande) .
- 2) enregistreur CNC 4437 .
- 3) imprimante CNC 4445 .
- 4) table traçante CNC 4444 .
- 5) station de programmation CNC 4426 .

dans ce manuel , seul la perforatrice sera utilisée pour :

- a) sauvegarder le programme introduit directement dans le DCN . en utilisant la touche décharge mémoire suivie du chiffre (2) .
- b) charger le programme dans le DCN à partir de la bande perforée , en utilisant la touche charge programme suivie du chiffre (2) .

4) programmation :**A- recommandations :**

pour programmer la machine il suffit de suivre les recommandations suivantes :

- 1) faire le dessin de la pièce .
- 2) choisir un repère absolu .
- 3) procéder à une cotation absolue dans ce repère .
- 4) déterminer les points de singularité de la forme à usiner et les paramètres des formes à exécuter .(ex : centre d'un arc de cercle et son ouverture) .
- 5) déduire la trajectoire de l'outil en prenant en considération les dimensions de l'outil en premier temps , puis utiliser la correction automatique de l'outil pendant la programmation .
- 6) utiliser les sous programmes que fournit le DCN (G00 - G01-G02-G03-....).

B- mode opératoire :

- 1) appuyer la touche (programme manuel) .
- 2) introduire le premier bloc (N.. G..X..Y...) .
- 3) appuyer la touche (fin de bloc) , le bloc suivant s'affiche automatiquement et ainsi de suite jusqu'à l'avant dernier bloc du programme .
- 4) après avoir introduit le dernier bloc , appuyer la touche (fin de programme) .
ceci est la méthode à suivre pour programmer la machine .

pour tester votre programme , il est recommandé d'utiliser l'option bloc à bloc ; c'est-à-dire , appuyer sur la touche (bloc à bloc) en suite (marche) votre programme s'exécutera bloc par bloc .

après avoir fini d'enregistrer votre programme sur la bande perforée , réutiliser sans le retaper . (car le fait d'éteindre le DCN décharge sa mémoire) .

NOTE : pour avoir des informations sur les codes du DCN CNC 4000 , consulter la documentation de ce dernier (MATLABO) , et l'annexe 3 .

5) sauvegarde du programme :

- 1) mettre en tension le directeur de commande et la perforatrice .
- 2) s'assurer que les deux sont connectés .
- 3) mettre la perforatrice en position d'enregistrement .
- 4) appuyer sur la touche (punch) un voyant s'allumera sur la perforatrice .
- 5) appuyer sur la touche (décharge mémoire) .

- 6) afficher (2) sur la visu .
- 7) le programme s'enregistrera sous forme de trous sur la bande .
- 8) éteindre la perforatrice .
- 9) récupérer la bande perforée et la lier aux dessin qui lui correspond .

6) chargement du programme :

- mettre en tension le directeur de commande et la perforatrice .
 - 1) s'assurer que les deux sont connectés .
 - 2) utiliser la partie lecteur de la perforatrice .
 - 3) appuyer sur la touche (read) un voyant s'allumera sur la perforatrice .
 - 4) appuyer sur la touche (charge programme) .
 - 5) afficher (2) sur la visu .
 - 6) le lecteur va interpréter les informations sur la bande et les enverra vers le DCN
 - 7) éteindre la perforatrice .
 - 8) maintenant vous pouvez exécuter votre programme .

REMARQUE /

- le DCN ne possède pas de mémoire lorsqu'il est hors tension (se décharge après chaque arrêt) .
- on peut changer l'origine machine en procédant avec la commande manuelle des chariots , après appuyer sur la touche (intro . point .référence) , alors le programme s'exécutera dans ce nouveau repère .
- en cas d'anomalie , on dispose de boutons d'arrêt d'urgence .

dans ce manuel on propose des manipulations qui illustrent :

- la commande de trajectoire .
- interpolation linéaire et circulaire .
- commande point par point .

pour cela on utilise des plaques d'aluminium de dimension (180 *140 *4) .

- une fraise de diamètre 8 mm .
- choix de la vitesse de coupe (2 ème étage)

on choisit ces paramètres au début , car il ne sont pas pris en compte par le DCN .

7)MANIPULATION:

on positionne la fraise à 30 mm de la pièce en (Z) . pour le plan (XY) on choisit un point qui est l'origine pièce .

cette origine est visible dans les dessins , car la cotation qu'on a fait est absolue .

on usinera sur une profondeur de 3/10 mm .

7.1. contournage:

dans cette manipulation , on verra l'interpolation circulaire des deux type (en sens horaire et anti-horaire) , la trajectoire est désignée en rouge cad l'axe de la fraise .

après avoir fait le dessin , et pris en considération le rayon de l'outil on obtient le programme suivant :

| N | G | F | S | T | M | X | Y | Z | I | J | K |
|-----|----|-----|---|---|----|-------|-------|--------|--------|--------|---|
| 001 | 00 | | | | | 06000 | 01500 | | | | |
| 002 | 00 | | | | | | | -02500 | | | |
| 003 | 01 | 060 | 1 | | 03 | | | -03030 | | | |
| 004 | 02 | | | | | 10500 | 06000 | | | 04500 | |
| 005 | 03 | | | | | 12500 | 08000 | | 02000 | | |
| 006 | 02 | | | | | 12500 | 10000 | | | 01000 | |
| 007 | 02 | | | | | 08500 | 06000 | | | -04000 | |
| 008 | 03 | | | | | 06000 | 03500 | | -02500 | | |
| 009 | 02 | | | | | 06000 | 01500 | | | -01000 | |
| 010 | 00 | | | | | | | 00000 | | | |
| 011 | | | | | 02 | | | | | | |

7.2. poche :

dans cette manipulation on verra l'usinage d'une poche , comme représentée par le dessin de la page suivante , le but est d'enlever la matière suivant le profil mais vers l'intérieure , et isoler les quatre cylindres de la matière .

la trajectoire de l'outil est représentée en pointillé . le programme est le suivant :

| N | G | F | S | T | M | X | Y | Z | I | J | K |
|-----|----|-----|---|---|----|-------|-------|--------|--------|--------|---|
| 001 | 00 | | | 1 | | 06000 | 06000 | | | | |
| 002 | 00 | | | | | | | -02900 | | | |
| 003 | 01 | 090 | 1 | | 03 | | | -03030 | | | |
| 004 | 02 | | | | | 06000 | 06000 | | 02000 | | |
| 005 | 01 | | | | | 05200 | 06000 | | | | |
| 006 | 02 | | | | | 05200 | 06000 | | 02800 | | |
| 007 | 01 | | | | | 04400 | 06000 | | | | |
| 008 | 02 | | | | | 04866 | 07772 | | 03600 | | |
| 009 | 03 | | | | | 06228 | 09934 | | 00306 | 01056 | |
| 010 | 02 | | | | | 09772 | 09134 | | 01772 | -03134 | |
| 011 | 03 | | | | | 11134 | 07772 | | 01056 | -00306 | |
| 012 | 02 | | | | | 11134 | 04228 | | -03134 | -01772 | |
| 013 | 03 | | | | | 09772 | 02866 | | -00306 | -01056 | |
| 014 | 02 | | | | | 06228 | 02866 | | -01772 | 03134 | |
| 015 | 03 | | | | | 04866 | 04228 | | -01056 | 00306 | |
| 016 | 02 | | | | | 04400 | 06000 | | 03134 | 01772 | |
| 017 | | 125 | | | | 04866 | 07772 | | 03600 | | |
| 018 | | 090 | | | | 06228 | 09934 | | 00306 | 01056 | |
| 019 | | 125 | | | | 09772 | 09134 | | 01772 | -03134 | |
| 020 | | 090 | | | | 11134 | 07772 | | 01056 | -00306 | |
| 021 | | 125 | | | | 11134 | 04228 | | -03134 | -01772 | |
| 022 | | 090 | | | | 09772 | 02866 | | -00306 | -01056 | |
| 023 | | 125 | | | | 06228 | 02866 | | -01772 | 03134 | |
| 024 | | 090 | | | | 04866 | 04228 | | -01056 | 00306 | |
| 025 | 00 | | | | | | | 00000 | | | |
| 026 | | | | | 02 | | | | | | |

7.3. perçage :

dans cette manipulation de percer des trous de 3/10 mm , de profondeur disposés comme le montre le dessin de la page suivante , pour cela on propose le programme suivant :

| N | G | F | S | T | M | X | Y | Z | I | J | K |
|-----|----|-----|---|---|----|-------|-------|--------|-------|-------|---|
| 001 | 00 | | | | | 06000 | 06000 | | | | |
| 002 | 00 | | | | | | | -02500 | | | |
| 003 | 01 | 060 | 1 | | 03 | | | -03030 | | | |
| 004 | 00 | | | | | | | -02500 | | | |
| 005 | 01 | 120 | | | | 09536 | 09536 | | | | |
| 006 | | 060 | | | | | | -03030 | | | |
| 007 | 00 | | | | | | | -02500 | | | |
| 008 | 01 | 120 | | | | 11000 | 06000 | | | | |
| 009 | | 060 | | | | | | -03030 | | | |
| 010 | 00 | | | | | | | -02500 | | | |
| 011 | 01 | 120 | | | | 09536 | 02464 | | | | |
| 012 | | 060 | | | | | | -03030 | | | |
| 013 | 00 | | | | | | | -02500 | | | |
| 014 | 01 | 120 | | | | 06000 | 01000 | | | | |
| 015 | | 060 | | | | | | -03030 | | | |
| 016 | 00 | | | | | | | -02500 | | | |
| 017 | 01 | 120 | | | | 02464 | 02464 | | | | |
| 018 | | 060 | | | | | | -03030 | | | |
| 019 | 00 | | | | | | | -02500 | | | |
| 020 | 01 | 120 | | | | 01000 | 06000 | | | | |
| 021 | | 060 | | | | | | -03030 | | | |
| 022 | 00 | | | | | | | -02500 | | | |
| 023 | 01 | 120 | | | | 02464 | 09536 | | | | |
| 024 | | 060 | | | | | | -03030 | | | |
| 025 | 00 | | | | | | | -02500 | | | |
| 026 | 01 | 120 | | | | 06000 | 11000 | | | | |
| 027 | | 060 | | | | | | -03030 | | | |
| 028 | 00 | | | | | | | -02530 | | | |
| 029 | 00 | | | | | 06000 | 06000 | | | | |
| 030 | 58 | | | | | | | -02530 | | | |
| 031 | 25 | | | | | | | | 00003 | 00003 | |
| 032 | 58 | | | | | 06000 | 06000 | -02620 | | | |
| 033 | 00 | | | | | | | 00000 | | | |
| 034 | | | | | 02 | | | | | | |

annexe 3

1. FONCTIONS BLOC :

- elle est symbolisée par la lettre (N) suivie de trois chiffres , allant de :
N000 - N999 .

Les blocs de 901-909 sont réservés à la correction d'outils .

2. FONCTIONS PREPARATOIRES :

- ces fonctions sont symbolisées par la lettre (G) suivie de deux chiffres allant de 0 à 99

| Fonction G | Commentaire |
|-----------------------|---|
| 00 | Positionnement à vitesse rapide (500 mm/min.) |
| 01 | Interpolation linéaire suivant deux axes |
| 02 | Interpolation circulaire en sens horaire . |
| 03 | Interpolation circulaire en sens anti-horaire |
| 04 | Temporisation de (J) seconde |
| 12 | Sous programme de fraisage , alésage en sens horaire |
| 13 | Sous programme de fraisage , alésage en sens anti-horaire |
| 17 | Sélection du plan XY |
| 18 | Sélection du plan XZ |
| 19 | Sélection du plan YZ |
| 25 | Répéter à du bloc (I) (J) fois |
| 40 | Annulation de la correction d'outil |
| 41 | Correction de rayon d'outil à gauche du profil |
| 42 | Correction de rayon d'outil à droite du profil |
| 53 | Annulation du décalage de l'origine programmée |
| 58 | Décalage d'origine programmée |
| 73 | Cycle de perçage avec brise-copeaux , avance par palier de j mm et remonter de 1 mm . |
| 81 | Cycle de perçage centrage , perçage avec arrêt de J secondes . |
| 82 | Cycle de perçage déburrage |

3. FONCTIONS D'AVANCE :

- allant de 0-250 mm/min. vitesse d'avance programmable .

4. FONCTIONS BROCHE :

- vitesse de broche programmable , mais dans notre cas elle n'est fonctionnelle réellement car le moteur de la broche n'est pas doté de système de régulation de vitesse .

| Fonction | Commentaire |
|-----------------|--------------------|
| S | |
| 1 | 500 tr/min. |
| 2 | 750 tr/min. |
| 3 | 1000 tr/min. |
| 4 | 1250 tr/min. |
| 5 | 1500 tr/min. |
| 6 | 1750 tr/min. |
| 7 | 2000 tr/min. |
| 8 | 2250 tr/min. |
| 9 | 2500 tr/min. |

5. FONCTIONS OUTIL :

- elle est symbolisée par la lettre (T) suivie d'un nombre qui est l'adresse de l'outil dans le magasin , cette fonction est utile pendant la correction de l'outil , car la correction se fait en identifiant le N° de l'outil .dans notre cas T est suivie d'un nombre allant de 1-9.

6. ADRESSES :

X - Y - Z : course programmable .en interpolation linéaire , et position

I - J - K : positionnement du centre du cercle par rapport au point de départ lors de l'interpolation circulaire .

7. FONCTIONS AUXILIAIRES :

| Fonction M | Commentaire |
|-----------------------|--|
| 02 | Fin de programme et retour au début du programme . |
| 03 | Rotation de la broche en sens horaire . |
| 04 | Rotation de la broche en sens anti-horaire . |
| 05 | Arrêt de la broche |
| 06 | Changement d'outil . |
| 10 | Blocage programmé (étau , bride ..) |
| 11 | Débloccage programmé |
| 60 | Commande de changement de pièce (robot) |
| 96 | Usinage par rayon de raccordement |
| 97 | Usinage par trajectoire linéaire . |

BIBLIOGRAPHIE

- [1]- la commande numérique des machines-outils . (WILHELM SIMON .)
- [2]- La commande numérique par ordinateur (p. GONZLEZ) .
- [3]- La commande numérique des machines-outils automatiques .(C.HAZARD)
- [4]- commande numérique des systèmes (MASSON).
- [5]- La commande des machines automatiques (R. TOULEZ).
- [6]- La CFAO (IVON GARDEN) .
- [7]- Machines à commande numérique (BERNARD MERRY) .
- [8]- commande numérique des machines - outils (technique de l'ingénieur)
- [9]- les moteurs pas-à-pas (technique de l'ingénieur)

Thèses :

- élaboration d'un logiciel conversationnel pour la programmation du tour à commande numérique - GAZENEUVE HBCNC 3 - (OGAB ALI -1986) - ENP .
- conception d'un logiciel éducatif conversationnel pour la programmation manuelle de la fraiseuse à commande numérique TERCO .(B.OUZIA-1987)- ENP.
- conception d'un logiciel éducatif conversationnel pour la programmation manuelle de la machine-outil à commande numérique TERCO .version tour (AKROUN -1988)- ENP.