

11/82

U.S.T.H.B.

Université des Sciences et de la Technologie
Houari Boumediène

E.N.P.A.

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER
Département de Génie - Mécanique

1
ex

ECOLE
THESE DE FIN D'ETUDE
الرسالة

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHÈQUE

**USINAGE DES BOUTS DE CYLINDRE
SIDERURGIQUE SUR MACHINE-OUTIL
A COMMANDE NUMERIQUE**

2 PLANS

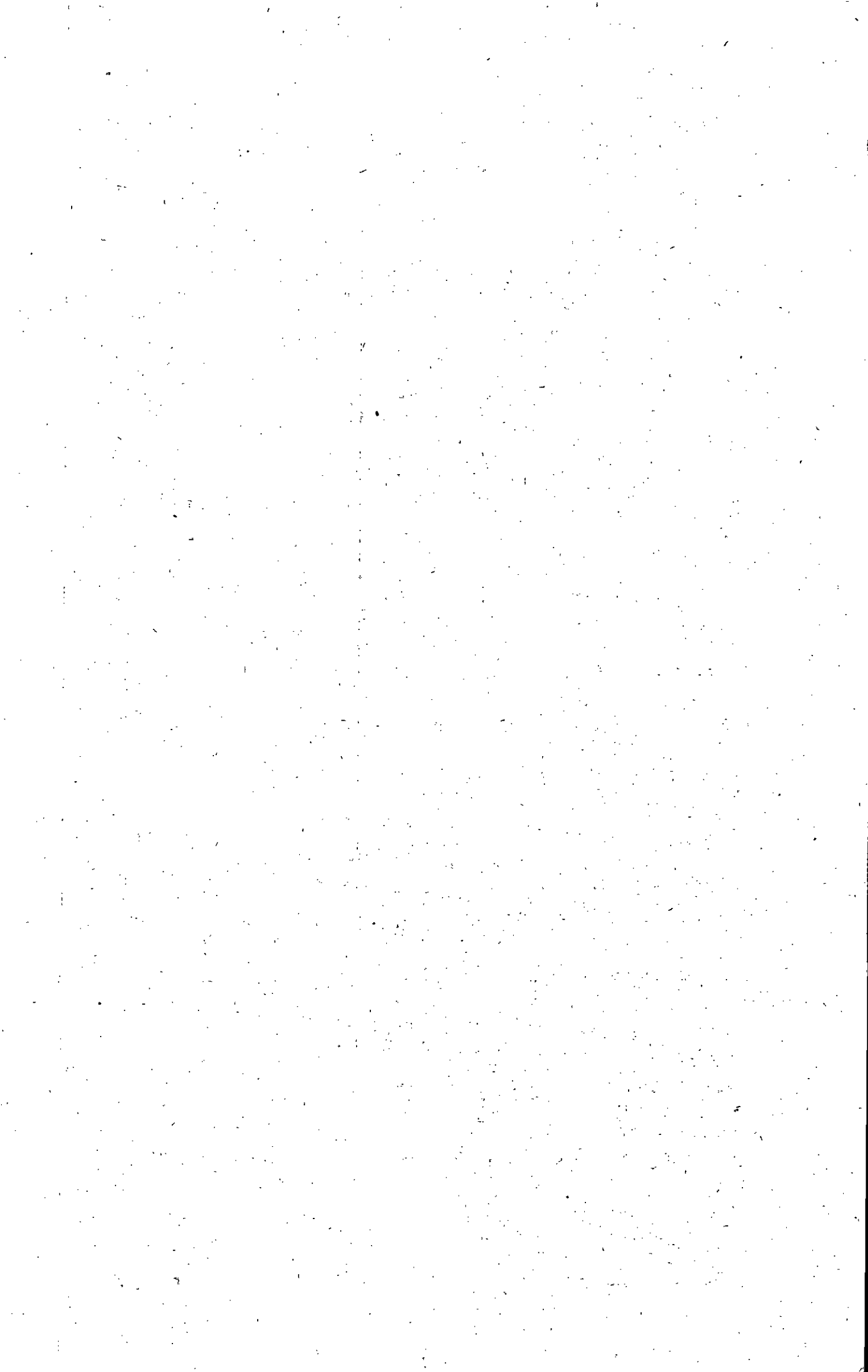
PROPOSE PAR :

LE DOCTEUR INGENIEUR
MAREK BALAZINSKI

ETUDIE PAR :

K.E. CHENITI

PROMOTION JUIN 1982



U.S.T.H.B.

Université des Sciences et de la Technologie
Houari Boumediène

E.N.P.A.

ECOLE NATIONAL POLYTECHNIQUE D'ALGER
Département de Génie - Mécanique

THESE DE FIN D'ETUDE

**USINAGE DES BOUTS DE CYLINDRE
SIDERURGIQUE SUR MACHINE-OUTIL
A COMMANDE NUMERIQUE**

PROPOSE PAR :

LE DOCTEUR INGENIEUR
MAREK BALAZINSKI

ETUDIE PAR :

K. E. CHENITI

PROMOTION JUIN 1982

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِنَا عَلِيكَ تَوَكَّلْنَا
وَإِلَيْكَ أُنَبِّئُكَ وَاللَّهُ الْمُبِينُ

وَأَنْ هَذَا صِرَاطٌ مُسْتَقِيمٌ
فَاتَّبِعُوهُ وَلَا تَتَّبِعُوا السُّبُلَ
فَتَفَرَّقَ بِكُمْ عَنْ سَبِيلِهِ
ذَلِكَ وَمِمَّا أُرْسِلْتُمْ لَعَلَّكُمْ تَتَّقُونَ

الانعام ٥٥

مَدِينَةُ الْبَنَاءِ الْعَظِيمِ

DEDICACES

- A mes tres chers parents qui se sont sacrifiés avec abnegation et dévoué pour me voir atteindre ce but
- A mon oncle Mohamed Bachir qui a beaucoup consenti pour moi
- A tous les membres de ma famille

Qu'ils trouvent ici ma profonde reconnaissance

- Au frère MESSAOUD. H qui a fait preuve d'un attachement inlassable.
- a AIT MEHDI H je tiens à lui dédier en particulier
Ce travail et lui souhaiter un bon succès dans son examen

A tous cela Je dédie Ce modeste travail.

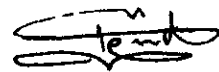
K.E CHENITI



REMERCIEMENTS

- Je saisis cette occasion pour remercier vivement Monsieur.
MAREK BALAZINSKI docteur ingénieur, maître assistant
à l'école nationale polytechnique pour m'avoir suivi dans
cette étude et pour ses précieux conseils basés sur
une bonne expérience dans le domaine de la commande
numérique et qui m'ont été d'une grande utilité.
- J'exprime ma vive gratitude à l'ensemble des enseignants
qui ont contribué à ma formation d'ingénieur.
- Mes remerciements vont également à tous ceux qui ont
contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce projet
en particulier :
 - OMAR. B
 - ABDERAHMANE. G

K.E. CHENITI



SOMMAIRE

O INTRODUCTION	1
CH I GENERALITES	2
- historique	2
- interets de la Commande numerique	5
- domaine d'application de la Commande numerique	7
CH II SYSTEMES DE COMMANDE NUMERIQUE	9
- definition	9
- description	9
- classifications.	10
CH III TRAITEMENT DES INFORMATIONS.	17
- trait ^{ent} externe des informations	17
- " interne et introduction des informations.	27
CH IV PARTICULARITES DE LA COMMANDE NUMERIQUE	34
- interpolation	35
- Commande numerique et machine outil	38
- planing à mettre en oeuvre pour usiner une piece en Commande numerique	40
CH V PROGRAMME D'USINAGE DES EXTREMITES DE CYLINDRE SIDERURGIQUE	43
- Caracteristique du systeme SINUMERIK 77	43
- acheminement et fixation de la piece	50
- interpolation	52
- outils de travail et Conditions de Coupe	54
- verification de la puissance de Coupe	59
- Listing de Programmation	61
- remarques sur le Listing.	73
CONCLUSION.	74
BIBLIOGRAPHIE	
PLANCHE CS.03.00.00	
PLANCHE CS.03.00.02	

0-INTRODUCTION

Le present sujet a pour but d'etudier le procede technologique d'usinage des bouts de cylindre siderurgique sur machine outil a commande numerique.

La commande numerique des machines outils s'impose de plus en plus dans la fabrication des pieces en moyenne serie avec des avantages evidents: les produits ainsi fabriques sont d'une qualite constante a haut niveau, les temps de fabrication et de preparation sont reduits et la productivite est plus que doublee par rapport aux machines classiques.

Nous avons divise le travail en deux parties distinctes:

une premiere partie theorique dans laquelle nous exposons les notions de base d'une technologie avancee et en pleine evolution en vue de maitriser et bien comprendre

le fonctionnement des machines outils a commande numerique.

Une deuxieme partie pratique sera consacree a l'etablissement du programme d'usinage (Listing) des bouts de cylindre siderurgique sur un tours parallele (D.1000 de la Compagnie HOECH) equipe d'un systeme de commande numerique (SINUMERIK 7T de la Compagnie allemande SIEMENS).

Le cylindre siderurgique en question sert a la fabrication de toles minces (laminoires) il est fabrique actuellement a l'usine de Bouchek en Silesie (Pologne)

CH1 GENERALITES

I historique

Parmi tous les grands événements qui ont jalonné l'évolution de la mécanique, l'apparition de la Commande numérique sera certainement considéré comme l'un des plus importants.

Cette apparition se situe autour de l'année 1942 aux Etats-Unis au moment où les spécialistes de la "Bendix Corporation" étaient confrontés au problème d'usinage des Comes tridimensionnelles de pompes d'injection de moteurs d'avions dont le profil (très difficile) était presque irréalisable au moyen de machine conduites manuellement.

La difficulté du problème consistait dans la nécessité de combiner les mouvements d'un outil selon plusieurs axes de coordonnées simultanément de façon à lui faire parcourir la trajectoire bien définie réalisant l'usinage du profil désiré.

Or il est impossible de demander à un opérateur de coordonner avec précision plusieurs mouvements, seul un dispositif de Commande Numérique les pilotant simultanément en synchronisme selon un programme déterminé préalablement apporte une solution industrielle valable.

Les efforts importants qui étaient employés dans ce sens ont aboutit à la construction d'une fraiseuse à Commande Numérique réalisant le profil désiré.

C'est donc sous son aspect le plus élaboré, celui de la Commande Continue de fraiseuse à plusieurs axes que la Commande Numérique

a fait sa première apparition.

ayant pu donc mettre au point le fraisage de profil en Commande numérique Continue, Les Américains se sont trouvés en mesure d'appliquer aisément leur savoir faire aux problèmes plus simple posés par l'automatisation des machines à mouvement discontinus.

Ainsi l'évolution des machines à Commande Numérique se divise en 3 périodes distinctes:

- 1) (1942 à 1945): apparition des premières machines à fraiser, Contourner de dimensions petites ou moyennes.
- 2) (1950 à 1960): apparition et développement des perceuses-aléseuses de toutes dimensions travaillant "de point à point"
- 3) (au delà de 1960) développement simultané des machines travaillant "de point à point" et les machines de Contournage les premières restent néanmoins largement majoritaires.

Des détails d'ordre statistique donnant la Quantité de Machine. outils à Commande Numérique produites et la Quantité mise en service aux Etats. Unis (fig 1 et 2) donnent un large aperçu sur l'évolution de Ces types de machines.

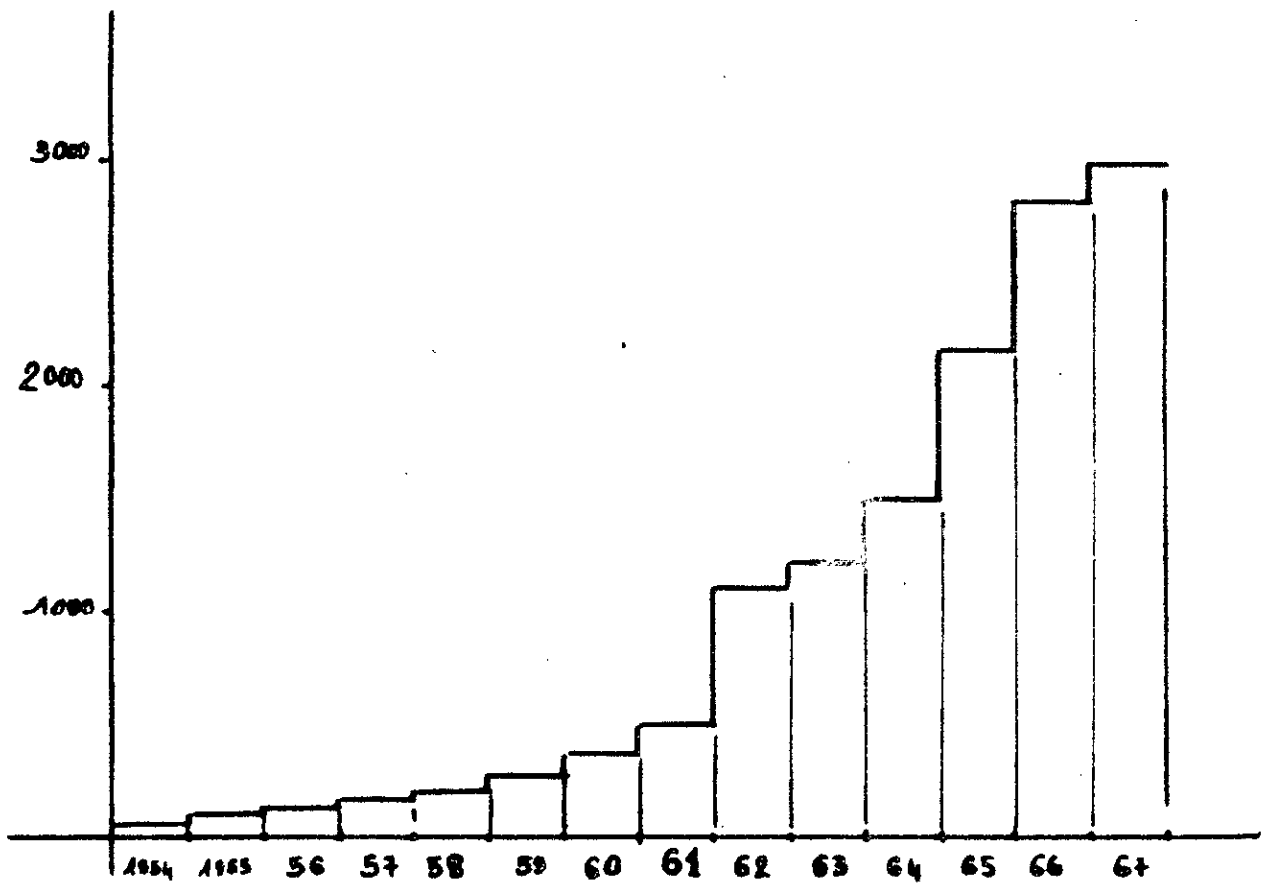


fig 1 - Quantité de M.O.C.N. Produites annuellement aux U.S.A.

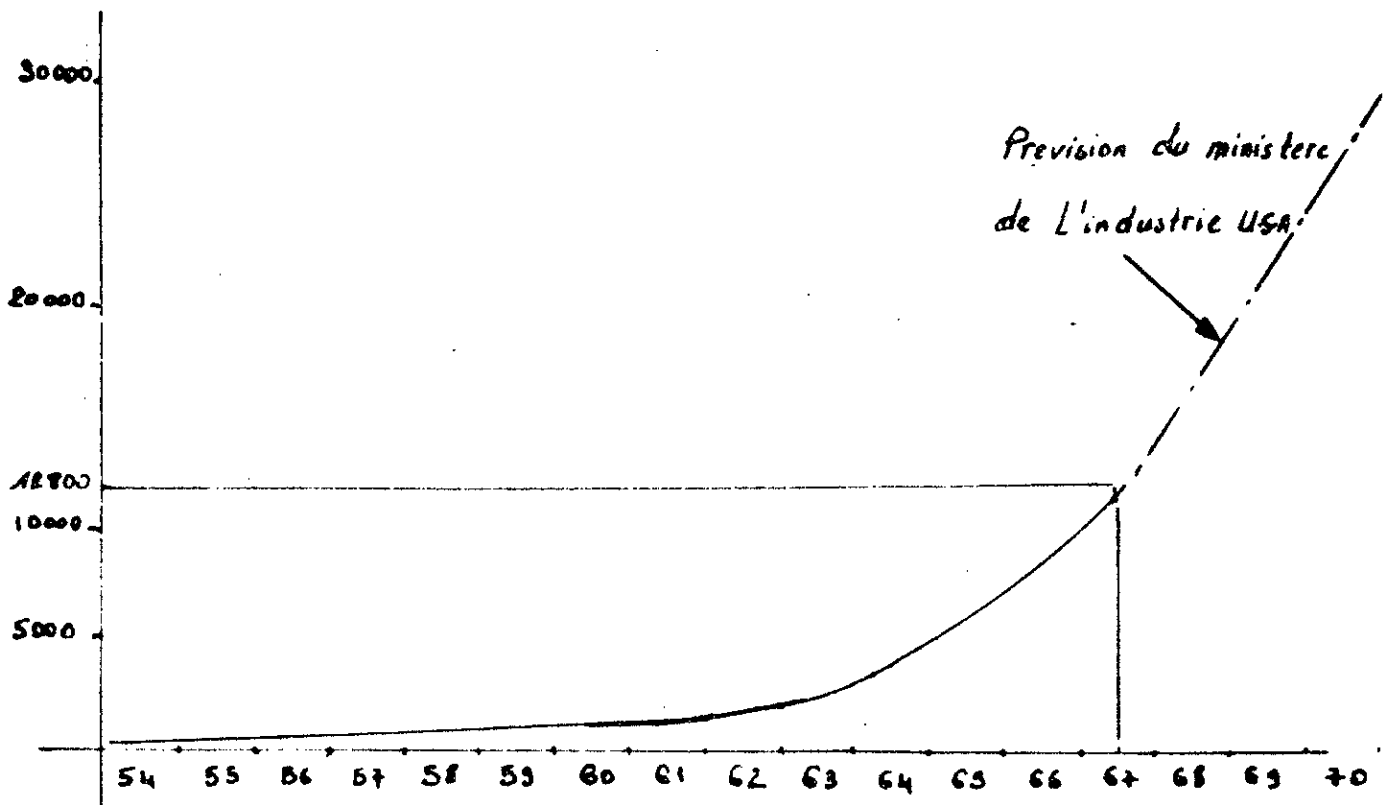


fig 2 - Quantité totale de Machines à Commande Numérique en Service aux Etats-Unis.

II INTERETS DE LA COMMANDE NUMERIQUE

On reconnaît à la Commande numérique un certain nombre d'avantages tant sur le plan technique que dans le domaine économique.

II.1 interets techniques

- a) Sur les machines-outils à Commande numérique les opérations d'usinage s'enchaînent sans que l'opérateur ait à intervenir pour assurer des changements d'outils, des Contrôles de Côtes etc... toutes ces interventions qui affectent le rapport temps de Coupe sur temps d'utilisation de la machine sont supprimés.
- b) Les montages d'oblocage étant généralement simplifiés par rapport à ceux des machines-outils classiques.
- c) une plus grande rapidité dans l'exécution du travail (il est admis que le temps de Coupe peut atteindre 80% du temps d'occupation machine, contre 30% sur machines conduites manuellement)
- d) il n'y a plus nécessité de Concevoir, dessiner, réaliser, manipuler, stocker et entretenir des gabarits et montages d'usinage souvent complexes. Car les opérations de guidages des outils et les gabarits de montages d'usinage sont supprimés en grande partie dans la Commande numérique des machines-outils
il est à noter également que l'opération de traçage réalisée pour guider l'exécutant en cours d'usinage est supprimée.
- e) Les pièces mécaniques font souvent l'objet au cours de leurs production de modifications de formes (surtout lors qu'elles se trouvent au stade de leurs mise au point), la Commande numérique permet de procéder facilement à ces modifications

Car il est beaucoup plus simple et moins coûteux de modifier un programme qu'un outillage. Cet avantage est particulièrement marquant lors de l'exécution des prototypes.

1) Le travail en Contournage permet l'usinage de pièces très complexes irréalisables jusqu'à lors. il devient possible et rentable de tailler des pièces directement dans la masse, ce qui supprime bien souvent de longs et coûteux travaux d'assemblage et ce qui procure surtout une plus grande liberté de conception des pièces (formes compliquées).

I 2-interets économiques

1) diminution considérable des temps morts par l'absence de réglage préalable.

2) diminution des rebus par le fait que l'opérateur humain n'intervient plus dans la constance du résultat obtenu.

3) diminution appréciable des coûts de contrôle, car la fréquence des vérifications est très réduite.

pendant il est à remarquer que c'est tout à fait normale que le prix d'achat des machines-outils à commande numérique soit nettement plus élevé que celui des machines-outils conventionnelles (50 à 75% de plus).

les frais d'entretien sont élevés car cela nécessite des techniciens spécialisés en maintenance des machines-outils à commande numérique.

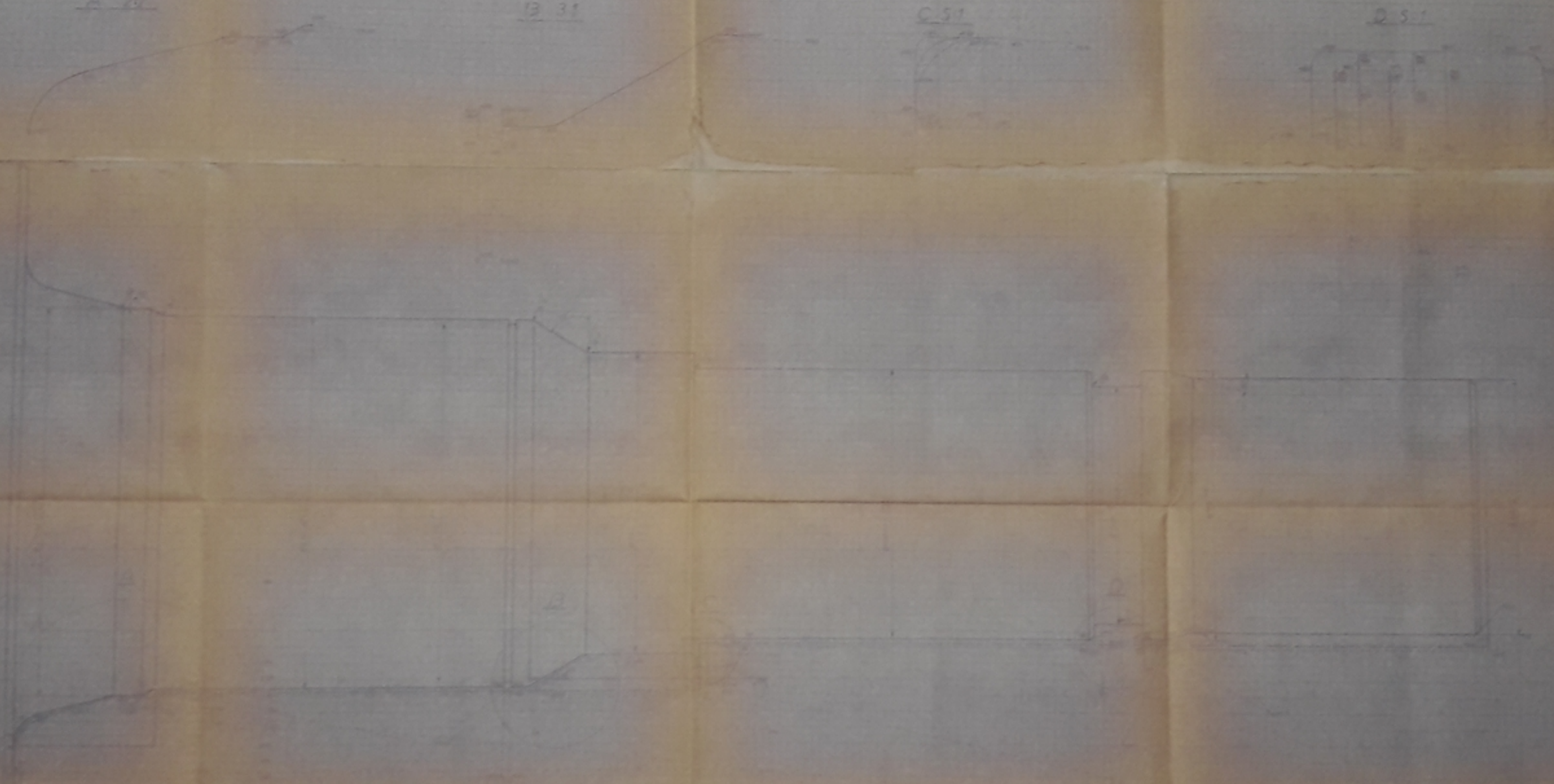
cette énumération des avantages est encore loin d'être complète mais elle donne déjà quelques aperçus remarquables sur l'importance de ce sujet.

A 27

B 31

C 51

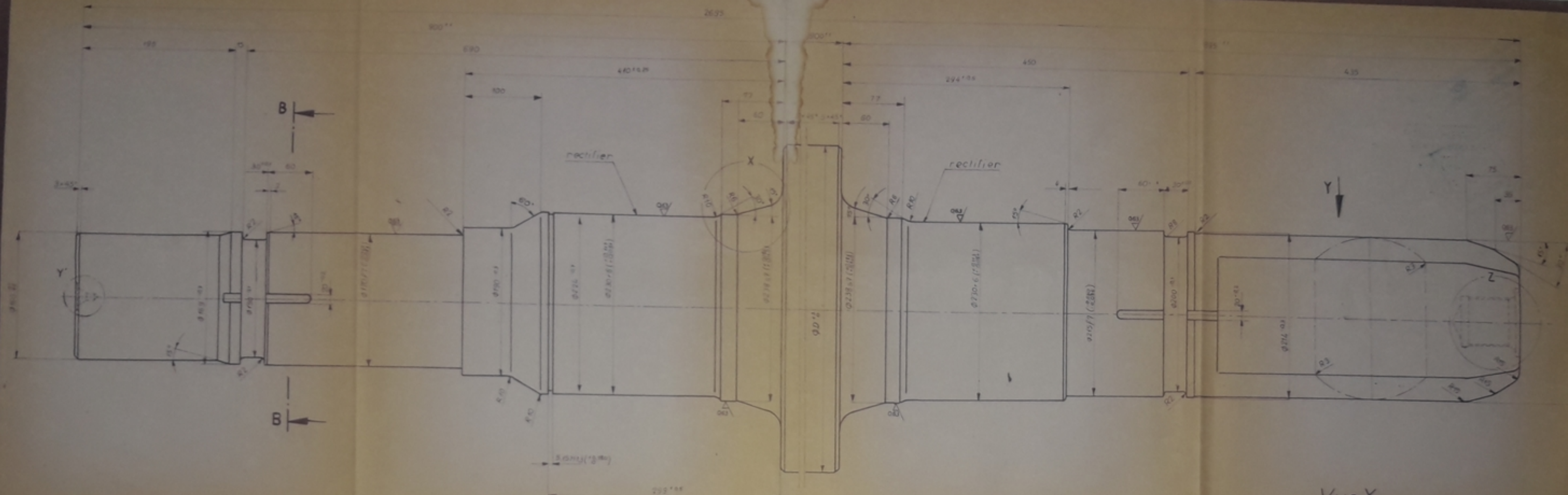
D 51



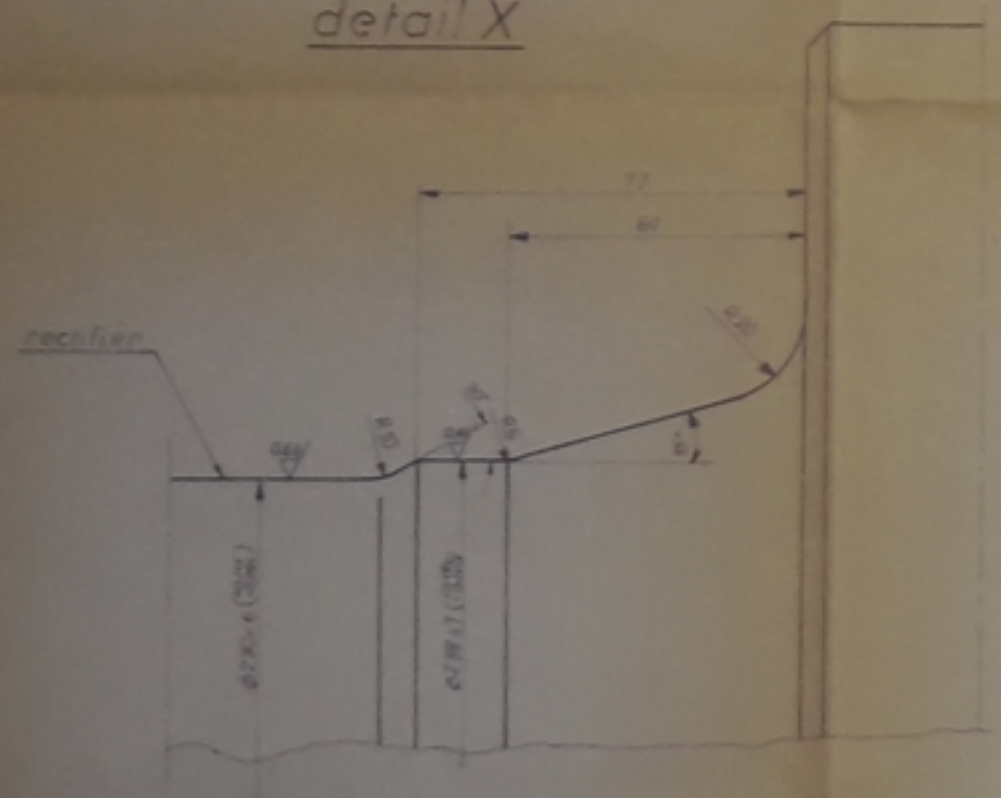
30 - 200 T01
 770 - 1000 T05
 1080 - 500 T03
 1520 - 1000 T08

P1000/82
 Page 7 of 6 (1)

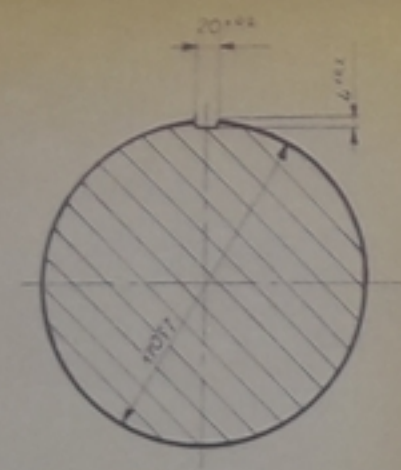
P1000/82 Page 7 of 6 (1)	1000 1000 1000 1000	1000 1000 1000 1000	1000 1000 1000 1000
-----------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------



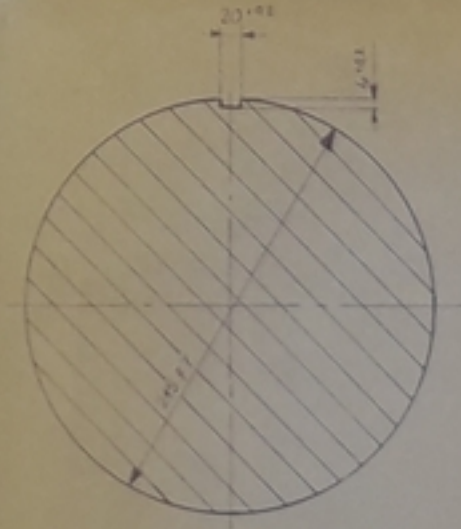
detail X



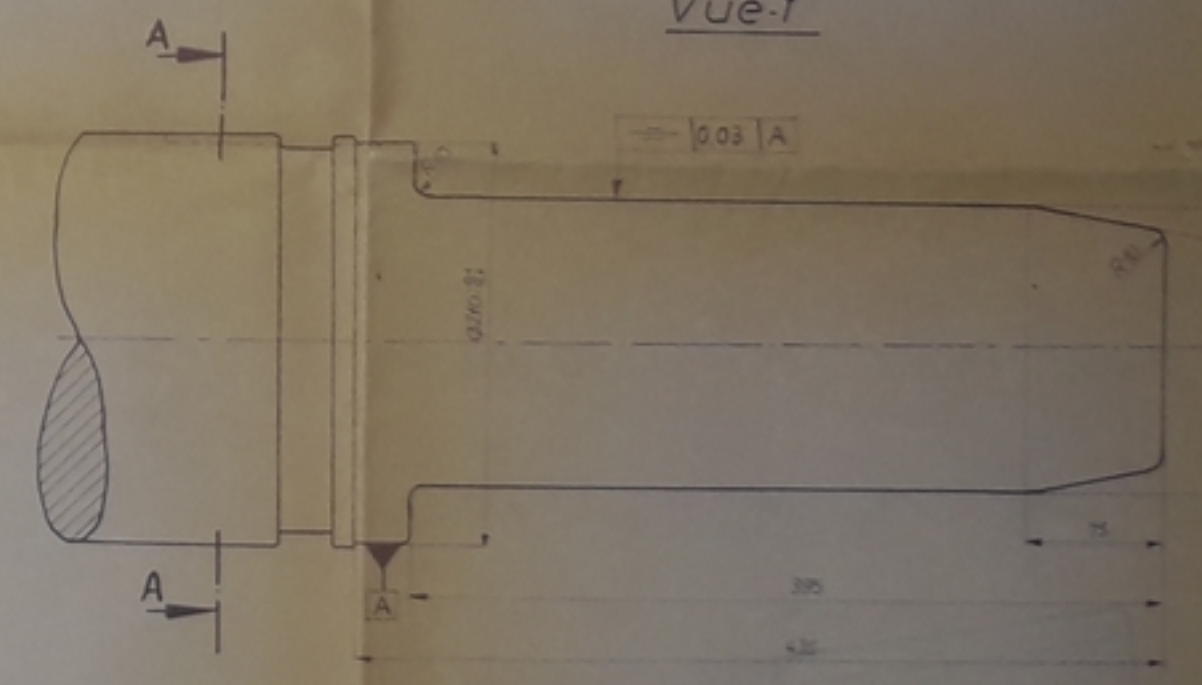
Section B-B



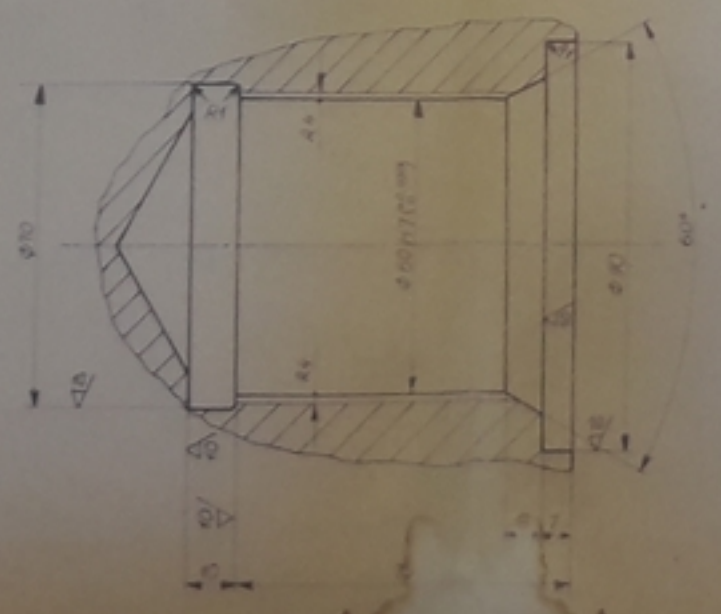
Section A-A



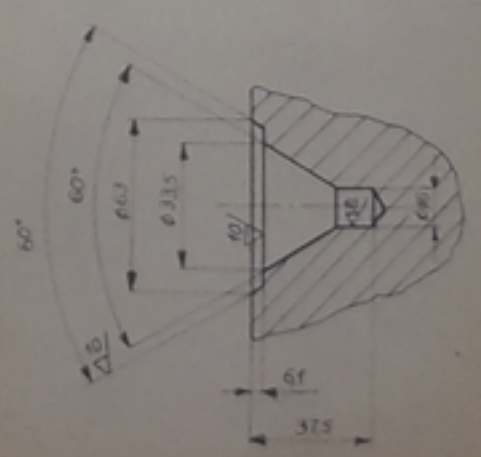
Vue-Y



detail Z



detail Y'



PMOM/82
Après p. 6(2)

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHÈQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE			
Echelle	Niveau	⊕ ⊗	Cylindre
5/2			Siderurgique
Élusion	Classe		ENPA
Promoteur	Objet		des MÉCANIQUES
Travailleur			
Char. des			CS0300

III-DOMAINE D'APPLICATION DE LA COMMANDE NUMERIQUE

Pour faire apparaître le domaine d'application économique de la commande numérique nous allons nous appuyer sur des courbes tracées à la base de données statistiques de la firme "Cincinnati Milling & Grinding machine INC".

Ces courbes expriment la relation générale entre les quantités annuelles à fabriquer et le coût main-d'œuvre et outillage.

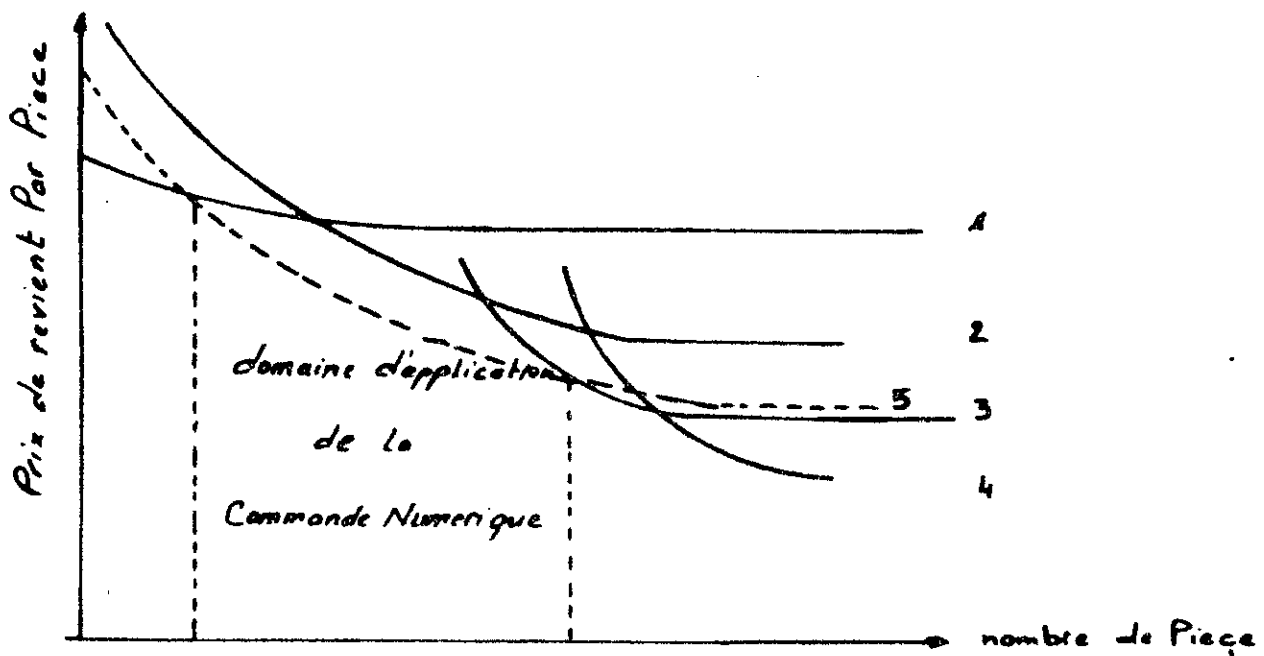


fig 3. domaine de la Commande numérique

1. machine Conventionnelle sans outillage Speciale
2. machine Conventionnelle avec outillage speciale
3. machine Speciale
4. machine Transfert
5. machine-outil à Commande numérique

La courbe 1 montre l'emploi d'une machine standard sans outillage spéciale, les prix de revient sont élevés et ne varient que très peu avec le nombre de pièce.

Une même machine équipée d'un outillage spéciale permet de réaliser quelques gains et de déplacer la Courbe 2 vers des Quantités un peu plus importantes.

Une machine spécialement équipée pour une pièce ou une famille de pièce permet l'abaissement du coût direct sauf pour les petites séries (Courbe 3).

La machine transfert (Courbe 4) s'adresse aux grandes séries et conduit à un prix de revient minimum quand les séries sont importantes (Plus de 50000 Pièces).

La machine outil à commande numérique (Courbe 5) permet des séries petites à des prix inférieurs à toutes les machines précédentes, sauf dans le cas de la fabrication de quelques pièces unitaires ou de prototypes.

Mais en général c'est aux petites et moyennes séries que s'attaque la commande numérique.

CH2 SYSTEMES DE COMMANDE NUMERIQUE

I DEFINITION

On désigne d'une manière générale sous le nom de Commande numérique tout système de positionnement dans lequel les ordres relatifs aux déplacements du mobile à positionner sont élaborés par processus entièrement automatique à partir d'informations numériques définies soit manuellement soit par l'intermédiaire d'un programme.

II DESCRIPTION

Un système à commande numérique comporte une machine-outil associée à un directeur de commande.

Le directeur de commande est chargé de traiter les informations codées ; c'est un ensemble électronique qui procède à la lecture des informations et envoie des ordres à une logique de commande des mouvements, il a pour fonction principale de conduire les organes mobiles à une destination définie par un nombre.

Les informations numériques sont transmises à la machine-outil soit par introduction manuelle soit par introduction automatique ce dernier cas nécessite un support matériel d'information (généralement une bande perforée, parfois une bande magnétique ou une carte perforée.)

Un programme complet d'instructions de travail codées permet d'assurer :

- les combinaisons des mouvements nécessaires à la réalisation d'une pièce.

La mise en œuvre des fonctions annexes (choix des vitesses de Coupe et des vitesses d'avance, changement d'outils, mise en route de l'arrosage, ralentissement d'organes mobiles, blocage en position d'un chariot etc....)

La représentation générale d'une Commande Numérique se présentera comme suit.

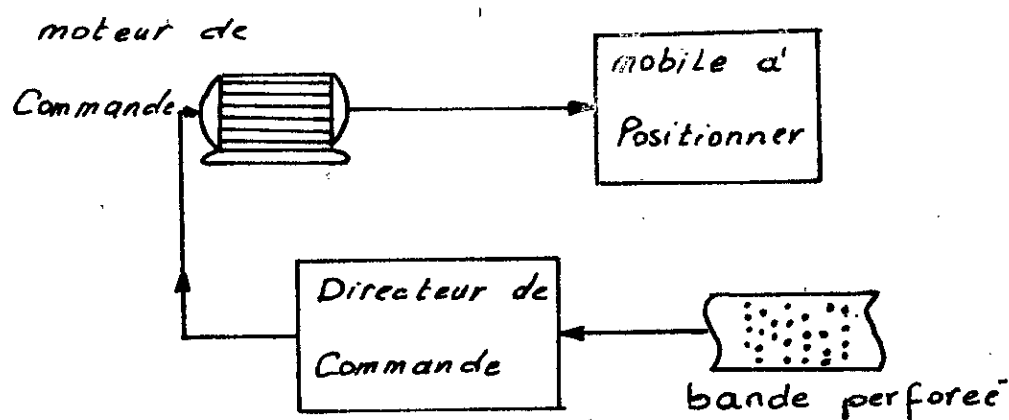


fig 4 - représentation schématique d'une commande numérique

III CLASSIFICATIONS

Pour les machines-outils à commande numérique il existe plusieurs classifications selon le point de vue auquel on se rapporte.

II-1 classement selon utilisation

Comme on l'a cité dans l'introduction on distingue généralement 2 types différents de commande numérique des machines-outils du point de vue de l'utilisation.

- machine "point à point" ou commande discontinu
- machine à commande continue

III-1-1 commande point a point

Dans ces systèmes l'outil se déplace jusqu'au point dont la position est précisée par le programme, lorsque cette position est atteinte et à

Ce moment là seulement intervient la phase d'usinage.

Quand cette dernière est terminée l'outil est déplacé vers une nouvelle position, le processus se renouvelant de proche en proche jusqu'à l'achèvement du programme.

Il y a donc alternance entre les phases de positionnement et les phases d'usinage, c'est le cas notamment des perceuses, aloseuses et pointeuses à commande numérique.

On remarquera que pour ce mode de commande numérique le nombre d'informations à programmer reste toujours très limité, outre les coordonnées des différents positions prescrites elles comprennent les données technologiques et certaines fonctions auxiliaires.

III-1-2 commande continue

Les machines à commande continue sont des machines dans lesquelles l'outil est assujéti à suivre une trajectoire prédéterminée, son déplacement est contrôlé et commandé continuellement car ses positions successives doivent correspondre à tout moment à la trajectoire voulue.

Les opérations de positionnement de l'outil et d'usinage deviennent alors simultanées, l'outil enlevant de la matière en même temps qu'il se déplace; ce cas est celui de la commande dite de contourage (fraiseuses) ou de commande paraxiale (tours).

On remarquera que pour ce mode de commande le nombre d'informations à élaborer est considérablement plus élevé qu'en commande "point à point" compte tenu de la précision demandée ce qui conduit à définir un très grand nombre de points dont la juxtaposition permet à la limite de reconstituer le profil demandé, aussi cherche-t-on

chaque fois que c'est possible à remplacer le contour à usiner par un contour approché.

III 2 classement selon l' technique de fonctionnement

Ici on distingue les systèmes à programmation absolue et les systèmes à programmation relative

- Les systèmes à programmation absolue des ordres sont ceux auxquels on délivre les ordres de mise en position sous forme de coordonnées (dans un système d'axes fixes par rapport à la pièce) des points qui représentent les destinations successives du mobile.

- Les systèmes à programmation relative sont ceux auxquels on délivre les ordres de mise en position sous forme des composantes du déplacement à opérer à partir d'une position occupée pour gagner la suivante.

Pour illustrer ces 2 systèmes nous prenons l'exemple de la pièce donnée dans la figure 5

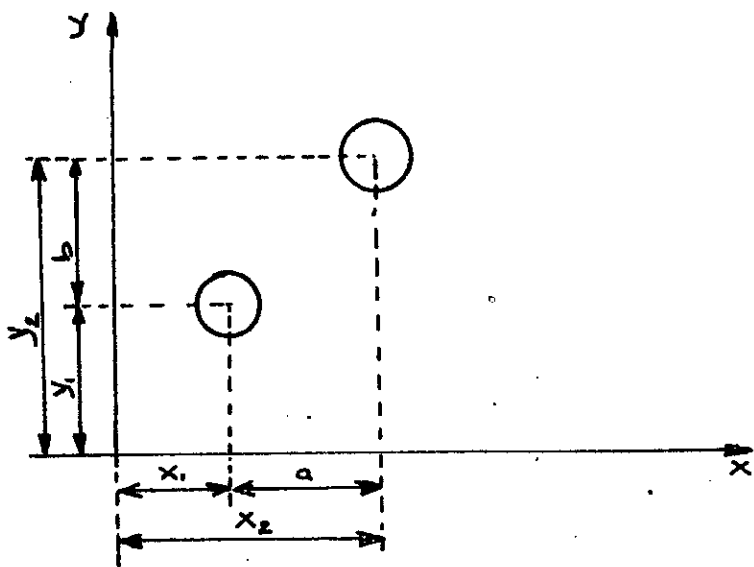


fig 5 - exemple de programmation absolue et relative.

en programmation absolue on positionne le trou 1 par x_1 et y_1 et le trou 2 par x_2 et y_2 , mais en programmation relative on positionne le trou 1 par x_1 et y_1 toujours mais le trou 2 par a et b

$$a = x_2 - x_1 \quad b = y_2 - y_1$$

III 2 1 systeme a programmation absolue des ordres

a l'interieure même de cette famille on distingue 2 sous classes de systemes :

- Les systemes a lecture absolue de la position
- Les systemes a lecture relative de la position par integration des déplacements.

III 2 1 1 systeme a programmation absolue et lecture absolue de la position

Ce sous groupe se divise a nouveau en 2 classes :

- Systemes analogiques
- Systemes numeriques

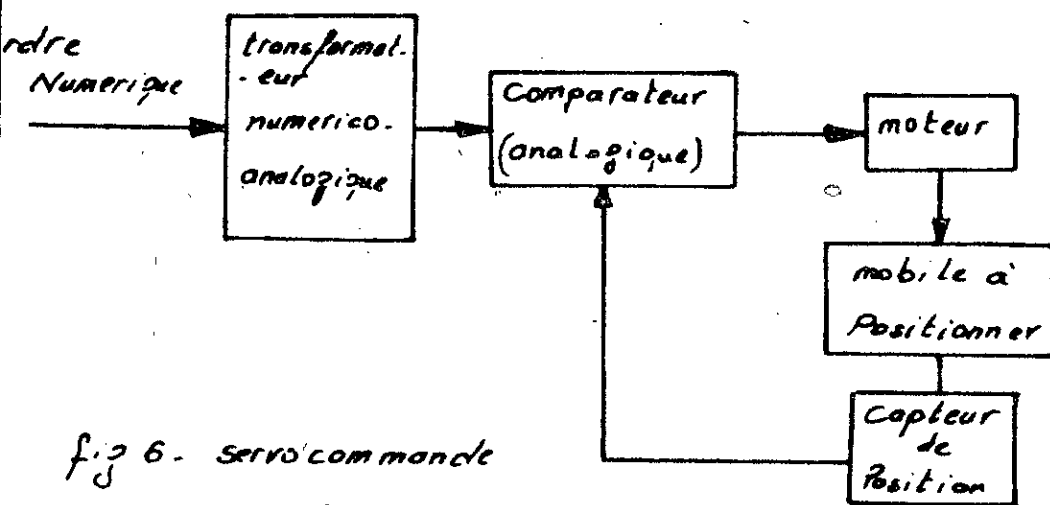


fig 6. servo commande analogique

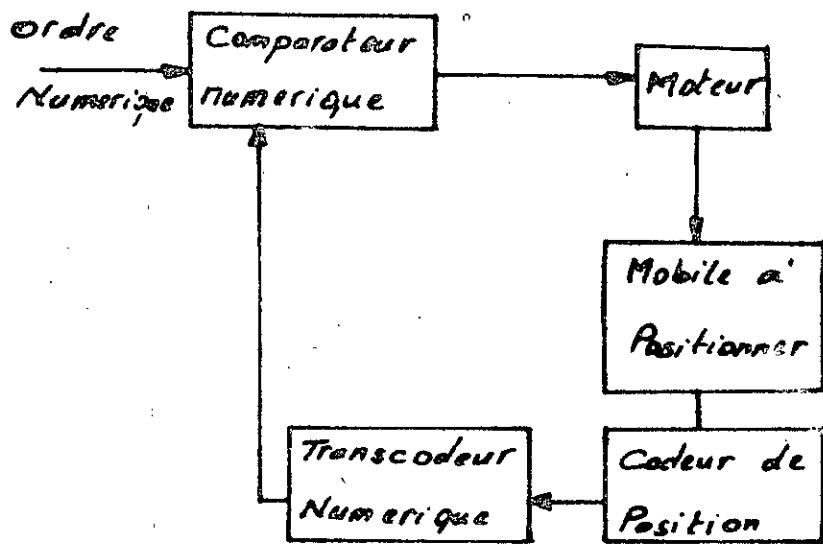


fig 7 - Servocommande numérique.

il faut remarquer que le transcodeur n'est utilisé que lorsque le Code élaboré par le Codeur est différent de celui utilisé pour les signaux d'ordre sur la bande programme, de façon à rétablir l'identité des langages au niveau du comparateur.

III 212 système à programmation absolue et lecture relative de la position

Au lieu de mesurer le déplacement du mobile, on reconstitue ce déplacement en intégrant dans le temps les déplacements qu'il a effectués.

Pour réaliser cela, les constructeurs munissent les mobiles de "capteur incrémental" de déplacement qui délivre une impulsion électrique chaque fois que le mobile effectue un déplacement élémentaire, la chaîne d'une telle servocommande n'est plus munie d'un comparateur mais d'un compteur qui compte les incréments de déplacement délivrés par le capteur incrémental.

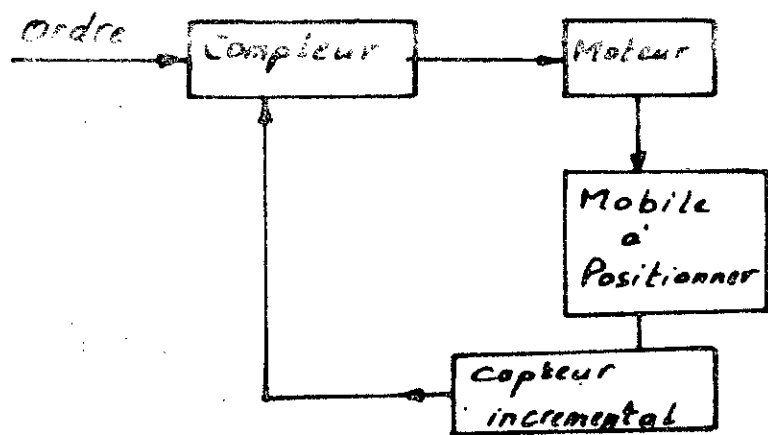


fig 8 Servocommande à lecture relatif de la position

III 22 système à programmation relative des ordres

Dans cette classe de servo commande on distingue :

- Les systèmes en boucle fermée à lecture relative de la position
- Les systèmes en boucle ouverte à moteur pas à pas.

Toutes les servocommandes décrites jusqu'à là fonctionnent en boucle fermée.

En boucle fermée les ordres de déplacement donnés aux moteurs d'entraînement dépendent des instructions de travail numériques codées par la bande et des informations données par un dispositif qui mesure de façon continue la position des organes mobiles.

En boucle ouverte les ordres de déplacement donnés aux moteurs d'entraînement des organes mobiles dépendent uniquement des instructions de travail numérique codées portées par la bande, il n'y a pas de système de mesure.

il n'y a pas de capteur pour assurer un contrôle entre l'exécution de l'ordre de déplacement donné par la bande et la position effective de l'organe mobile. Aucune information de retour

du moteur vers le directeur de Commande n'a lieu.

III 221 système en boucle fermée à lecture relative de la position

La schématisation d'une telle servo commande est celle de la figure 8 mais au lieu de prédéterminer le compteur par la position à atteindre on le fait par le déplacement à effectuer.

Cependant il est à remarquer que ces compteurs sont munis de systèmes de remise à zéro automatique avant chaque déplacement.

222 système en boucle ouverte à moteur pas à pas

On utilise des moteurs dits "Pas à Pas" dont le rotor (très spéciale) effectue une rotation angulaire à chaque fois que leurs bobinages sont excités par une impulsion électrique. Un compteur prédéterminé par l'ordre de déplacement programmé sur la bande compte ou décompte (suivant le principe utilisé) les impulsions envoyées.

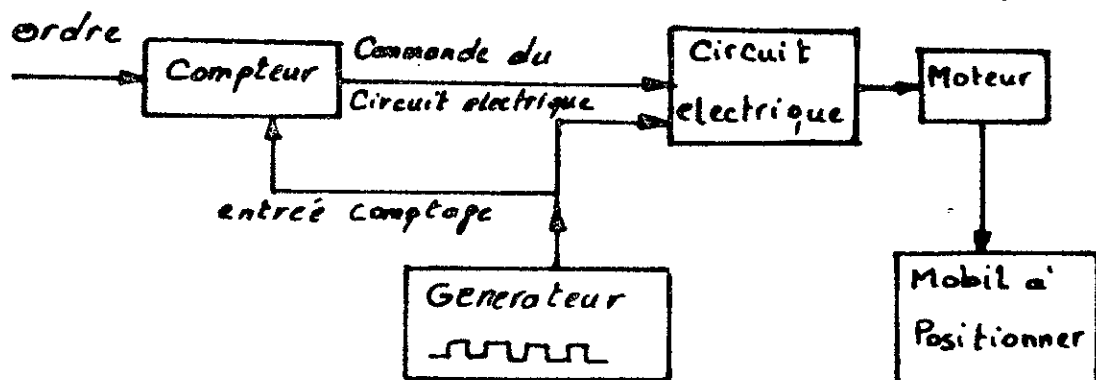


fig 9. Servo commande en boucle ouverte à moteur Pas à Pas

En remarque nous dirons que cette méthode est simple, économique mais pas rigoureuse, surtout que la précision des déplacements peut être perturbée par la présence d'impulsions parasites générées par induction lors de la coupure de contacteurs placés dans le voisinage de la machine. La servocommande à programmation absolue constitue le système le plus satisfaisant pour l'esprit c'est aussi le plus coûteux.

CH3 TRAITEMENT DES INFORMATIONS

Le traitement des informations se divise en 2 parties :

- Le traitement externes des informations
- Le traitement internes des informations.

I TRAITEMENT EXTERNE DES INFORMATIONS

Le traitement externe des informations consiste à rassembler toutes les données nécessaires à l'établissement du programme, en vue de son codage sur un support d'information et son introduction dans le directeur de commande numérique pour réaliser les séquences de l'usinage prévu.

Parmi ces données il y a :

- données de formes : C'est les données qui permettent de décrire la géométrie de la pièce et comporte les informations relatives aux déplacements des organes mobiles suivant les axes des mouvements de la machine.
- données technologiques : C'est l'ensemble des informations relatives aux vitesses d'avances, de déplacement des organes mobiles, de rotation de la broche, de la mise en route de l'arrosage etc.... l'ensemble de ces données constituent ce qui est appelé communément fonctions auxiliaires.

Après avoir rassemblé ces éléments on commence la programmation, elle consiste à écrire en un langage spécial accessible à l'homme et interprétable par la machine toutes les instructions nécessaires à un usinage déterminé.

Le document obtenu porte le nom de Listing de programmation. Le Listing indique toutes les positions que doivent occuper les organes mobiles et précise également les fonctions auxiliaires en tenant compte de leur ordre d'exécution.

Il existe deux types de programmation :

- programmation manuelle
- programmation automatique.

I 1 programmation manuelle

La programmation manuelle ou manuscrite interesse les pièces relativement nous compliqués Car le programmeur en assure seul la mise en œuvre. Le programmeur assure la transcription des instructions en un langage machine.

L'ensemble des informations se rapportant à une même phase d'usinage sont portées sur un même bloc et sont interprétées par le système de commande au cours d'une même séquence.

Les informations qui figurent dans un bloc se rapportent généralement aux éléments suivants.

- Numéro de bloc (Phase d'usinage)
- fonctions préparatoires (en cas de mouvement d'axe)
- Coordonnées prescrites à l'outil
- Centre de la trajectoire Circulaire (en cas de Contournage avec interpolation Circulaire)
- Vitesse d'avance d'outil
- Vitesse de broche
- ordre de changement d'outil
- Correction d'usure de l'outil.

- fonction auxiliaire
- fin de bloc

Chacune de ces informations est symbolisée par une lettre (Par exemple N pour numéro de bloc; G pour fonction préparatoire etc...)
Grâce à ces symboles les informations de travail occupent moins de surface mais sont malgré cela toujours facile à contrôler par l'opérateur

I 2 programmation automatique

Elle est utilisée pour les pièces de formes compliquées mais de plus en plus elle tend à gagner du terrain sur la programmation manuscrite, en fait l'un des aspects les plus remarquables de notre temps est l'avènement du traitement automatique des informations.

C'est ce qui est appliqué dans ce mode de programmation.

Tous les calculs nécessaires sont élaborés par ordinateur (qui reçoit les informations primaires rédigées par le programmeur dans un langage spécial), après analyse et calcul l'ordinateur traduit les instructions fournies par le programme en commande numérique.

Pour définir la géométrie de la pièce, la trajectoire et les conditions de déplacement de l'outil, le programmeur utilise un langage symbolique.

il existe différents langages utilisés en programmation automatique on peut en citer:

- L'A.P.T qui est le père de la plus grande partie des langages universels utilisés actuellement, il est le plus employé

il a été conçu aux Etats-Unis.

- L'I.F.A.P.T : Langage très souvent utilisé en France il est la version Française de L'A.P.T
- L'E.X.A.P.T : qui ne partage pas la même philosophie que les autres et est d'un emploi peu fréquent.

La programmation automatique est utilisée pour des usinages de pièces complexes et nécessitant de nombreux calculs.

L'ordinateur qui prend en compte les calculs est en mesure de fournir directement la bande codée.

I3 support des instructions de travail

Les instructions de travail sont mémorisées sous forme codée par l'intermédiaire de 3 types de support :

- Cartes perforées
- bandes perforées
- bandes magnétiques.

Les cartes perforées et les bandes magnétiques sont peu utilisées, c'est les bandes perforées qui sont largement utilisées.

La bande perforée est faite presque toujours d'un ruban de papier ou quelquefois de matière plastique, d'une largeur normalisée à 1 inch (25,4 mm). Sur la largeur de la bande sont reportés neuf pistes ou canaux numérotés et matérialisés écartés l'un de l'autre de 0,1 inch (2,54 mm).

Dans le sens longitudinal voir (fig 10) sont disposées les lignes de lecture également écartées de 0,1 inch (2,54 mm) chaque ligne est susceptible de recevoir neuf perforations.

2 structures différentes de bloc sont possibles et sont définies par leurs formats : format fixe et format variable.

a) format fixe :

Dans ce format la signification d'un mot est liée à sa position dans le bloc il y a donc nécessité de répéter dans chaque bloc tous les mots même si ceux-ci restent constants dans plusieurs blocs consécutifs mais il est possible d'éviter la répétition systématique des mots qui ne varient pas d'un bloc aux suivants par l'utilisation du caractère "Tabulation" (TAB)

b) format variable :

L'utilisation des adresses permet d'éviter les répétitions le format variable simplifié (c'est-à-dire utilisant le caractère TAB) est dit universel car c'est le format le plus complet et le plus utilisé.

I4 principe du codage des perforations

Il existe plusieurs codes de perforations. C'est lorsque les Américains ont éprouvé le besoin d'une normalisation que l'Electronic Industries Association (EIA) a proposé un code connu sous le nom de code 8b lequel a été normalisé aux États-Unis jusqu'en 1961.

La nécessité d'assurer une compatibilité de plus en plus grande avec les systèmes de télécommunication et du traitement de l'information a obligé les Américains à normaliser un autre code connu sous le nom :

de Code A.S.C.I.I (American standard Code for information interchange).

Donc le Code EIA est appelé à disparaître au profit de ce nouveau Code (A.S.C.I.I) qui a servi de référence à la normalisation d'un Code Européen le Code ISO. Le Code ISO est en fait la version européenne de l'A.S.C.I.I. nous donnons ci après (fig 11) Les tableaux de Conversion en Code numérique des Codes EIA ou 8b, A.S.C.I.I et I.S.O.

Le Codage des Caractéristiques selon le 8b se fait sur six pistes seulement (1, 2, 4, 8, 0 K), la septième piste F est réservée au caractère Fin de bloc.

Ce Code utilise des abréviations dont voici l'explication:

BNLK : espace (BLINK)

BS : Saut arrière (Back space)

TAB : Tabulation (Tabulate)

LC : Minuscule (Lower case)

UC : Majuscule (Upper case)

DEL : effacement (Delete)

CE/EOD : retour chariot / Fin de bloc

				0	0	0	0	1	1	1	1
				0	0	1	1	0	0	1	1
				0	1	0	1	0	1	0	1
8	4	2	1								
0	0	0	0	NUL	0						
0	0	0	1	1	/	J	a				
0	0	1	0	2	S	K	b				
0	0	1	1	3	t	L	c				
0	1	0	0	4	u	m	d				
0	1	0	1	5	v	n	e				
0	1	1	0	6	w	o	f				
0	1	1	1	7	x	p	q				
1	0	0	0	8	y	r	h				
1	0	0	1	9	z	r	i				
1	0	1	0		BS		Lc				
1	0	1	1	ER							
1	1	0	0				UC				
1	1	1	0		TAB						
1	1	1	1		TAB						
							DEL				

Code EIA (BB)

exemple d'écriture: la lettre w = 0110100
 la perforation sera: ● ● ●

				0	0	0	0	1	1	1	1
				0	0	1	1	0	0	1	1
				0	1	0	1	0	1	0	1
4	3	2	1								
0	0	0	0	NUL	DLE	SP	0		P		P
0	0	0	1	SOH	DC1	1	1	A	Q	a	q
0	0	1	0	STX	DC2	2	2	B	R	b	r
0	0	1	1	ETX	DC3	3	3	C	S	c	s
0	1	0	0	EOF	DC4	4	4	D	T	d	t
0	1	0	1	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0	1	1	0	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0	1	1	1	DEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1	0	0	0	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1	0	0	1	TAB	EM	)	9	I	Y	i	y
1	0	1	0	LF	BS	*	:	J	Z	j	z
1	0	1	1	VT	ESC	+	:	K	[	k	(
1	1	0	0	FF	FS	,	<	L	~	l	~
1	1	0	1	SY	OS	-	=	M	]	m)
1	1	1	0	SO	RS	.	>	N	^	n	^
1	1	1	1	SI	US	/	?	O	-	o	DEL

Code ASCII

exemple d'écriture: 6 = 0110110
 la perforation: ● ● ● ●

				0	0	0	0	1	1	1	1
				0	0	1	1	0	0	1	1
				0	1	0	1	0	1	0	1
4	3	2	1								
0	0	0	0	NUL		SP	0		P		
0	0	0	1				1	A	Q		
0	0	1	0				2	B	R		
0	0	1	1				3	C	S		
0	1	0	0				4	D	T		
0	1	0	1			%	5	E	U		
0	1	1	0				6	F	V		
0	1	1	1				7	G	W		
1	0	0	0	BS	(	8	H	X			
1	0	0	1	HT	)	9	I	Y			
1	0	1	0	LF		:	J	Z			
1	0	1	1		+		K				
1	1	0	0				L				
1	1	0	1	CR	-		M				
1	1	1	0				N				
1	1	1	1		/		O				DEL

Code ISO

exemple d'écriture: 7 = 0110111
 la perforation: ● ● ● ● ●

fig 11. Tableaux de Conversion en Code Numérique des Codes EIA, ASCII et ISO

Pistes Caractères	8	7	6	5	4	3	2	1
0			•	•				
1	•		•	•				•
2	•		•	•			•	
3			•	•			•	•
4	•		•	•		•		
5			•	•		•		•
6			•	•		•	•	
7	•		•	•		•	•	•
8	•		•	•	•			
9			•	•	•			•
A		•						•
B		•					•	
C	•	•					•	•
D		•				•		
E	•	•				•		•
F	•	•				•	•	
G		•				•	•	•
H		•			•			
I	•	•			•			•
J	•	•			•		•	
K		•			•		•	•
L	•	•			•	•		
M		•			•	•		•
N		•			•	•	•	
O	•	•			•	•	•	•
P		•		•				
Q	•	•		•				•
R	•	•		•			•	
S		•		•			•	•
T	•	•		•		•		
U		•		•		•		•
V		•		•		•	•	
W	•	•		•		•	•	•
X	•	•		•	•			
Y		•		•	•			•
Z		•		•	•		•	
NUL								
BS	•				•			
HT					•			•
LF					•		•	
CR	•				•	•		•
SP	•		•					
%	•		•			•		•
(•	•	•			
)	•		•	•	•			•
+			•	•	•		•	•
-			•	•	•	•		•
/	•		•	•	•	•	•	•
:			•	•	•		•	•
DEL	•	•	•	•	•	•	•	•

fig 12 - Perforation d'après le Code ISO.

exemple le chiffre 7: 0110111

(de gauche à droite)

• • • • •

Les abréviations utilisées dans le Code ISO sont :

- NUL : nul (Nul)
- B.S : retour arrière (Back Space)
- HT : tabulation horizontal
- LF : interligne (LINE Feach)
- CR : retour du chariot (Carriage return)
- SP : Espace (Space)
- DEL : effacement (Delete)
- NL : retour à la ligne : (New ligne)

Il faut remarquer que la 8^e piste est une piste de parité, son rôle est de permettre le contrôle d'erreur on ajoute ou on évite d'ajouter une perforation de façon que le nombre de perforations de la combinaison de l'ensemble des anneaux soit un nombre pair.

Tout en prenant note des informations qu'elle reçoit de la bande programme, la machine s'assure de ce que chaque ligne de bande comporte un nombre impair de trous; si ce n'est pas le cas c'est qu'un trou a été accidentellement omis ou ajouté il y a donc erreur.

On remarquera que ce système de contrôle n'est pas rigoureux car il se peut qu'il existe une double erreur qui sera compensée au niveau du canal de contrôle; mais il existe d'autres procédés plus élaborés que celui cité.

On remarquera également qu'il existe plusieurs codes mais le programmeur n'a pas à s'en préoccuper au cours de la programmation

C'est l'armoire de commande qui exige le codage des instructions de travail suivant le Code pour lequel elle est conçue.

Une perforatrice analogue à une machine à écrire réalise automatiquement les perforations dans le Code voulu.

II INTRODUCTION ET TRAITEMENT INTERNE DES INFORMATIONS

Les instructions de travail sont fournies à la machine, soit de façon temporaire soit de façon permanente, ce qui correspond respectivement à une introduction manuelle et une introduction automatique.

Lorsqu'il s'agit d'une introduction manuelle l'opérateur inscrit les informations manuellement sur des Codrâns ou Commutateurs décimaux; ce mode d'introduction est très peu utilisé, il s'agit surtout de l'introduction automatique qui est généralisée sur les machines-outils à commande numérique car c'est la raison d'être de ces machines.

Les informations sont fournies au directeur de commande numérique par la bande perforée, un lecteur de bande généralement incorporé au directeur de commande, dépouille ces informations et fournit à la machine les données de commande.

L'introduction des données (informations de travail) ne nécessite aucune intervention humaine.

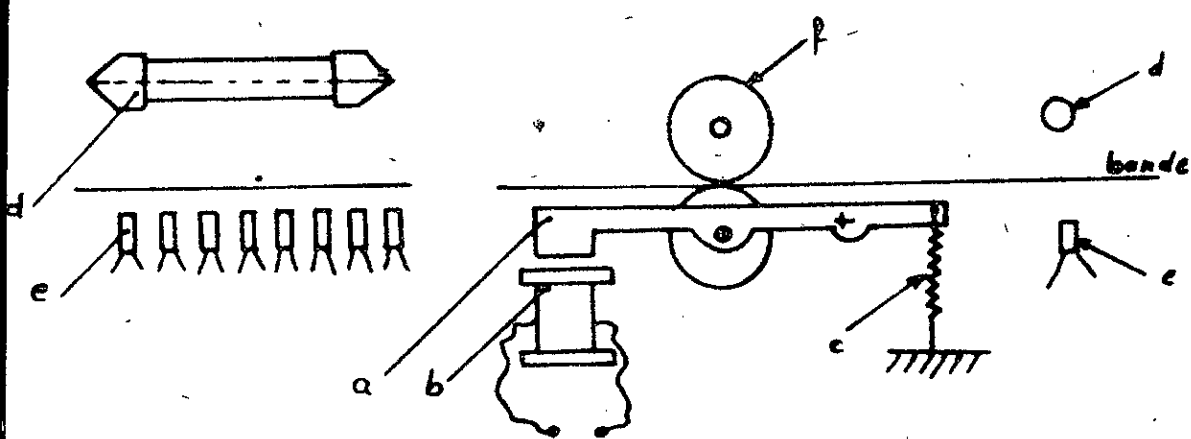
Le lecteur de bande assure non seulement l'exploration des Contacteurs réservés à l'information mais assure également l'entraînement de la bande par galets de pression ou par engrenement avec les petites perforations prévues pour le

roulement de la bande.

Il existe 2 catégories de lecteurs :

les lecteurs mécaniques et les lecteurs photo-électriques. Ces derniers sont néanmoins largement utilisés à cause de leur bonne fiabilité. C'est pour quoi nous allons exposer brièvement le mode de fonctionnement des lecteurs photo-électriques.

II.1 fonctionnement d'un lecteur photo-électrique



- a = levier porte galet
- b = électro-aimant de rappel de galet
- c = ressort assurant l'appui du galet.
- d = ampoule d'éclairage.
- e = photo-diodes.
- f = Tambour d'entraînement

Fig 13 schématisation d'un lecteur photo-électrique

de part et d'autre de la bande (entraînée par friction avec un tambour et un galet) sont disposés respectivement une ampoule d'éclairage et des éléments sensibles à la lumière (photo-diodes ou photo-transistors). Lorsque les perforations laissent passer le flux lumineux donné par l'ampoule d'éclairage, les éléments sensibles à la lumière sont excités et recueillent ainsi les signaux d'information.

Les vitesses de lecture de ces types de lectures peuvent être grandes.

en rapport avec celles des lecteurs mécaniques;

100 ÷ 1200 Caractères par seconde pour les lecteurs photo-électriques.

Après dépouillement des instructions le directeur de Commande numérique Commence l'opération de Commande de la machine pour réaliser toutes les séquences prévues pour l'usinage.

Pendant l'exécution de la Commande il y a des mesures qui seront exécutées par des organes de mesures spéciaux. Dans ce paragraphe nous allons les présenter sans trop s'attarder sur les bases théoriques de leurs principes de fonctionnement.

II2 mesure des déplacements

Comme on l'a cité dans la classification il existe 2 systèmes de mesurage :

- Les systèmes à mesure numérique (digital)
- Les systèmes à mesure analogique.

II21 système à mesure numérique

Pour ce système on utilise souvent 2 méthodes.

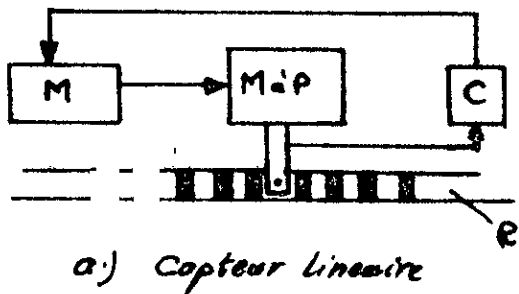
- mesure par comptage d'impulsions
- mesure par codage.

II211 mesure par comptage

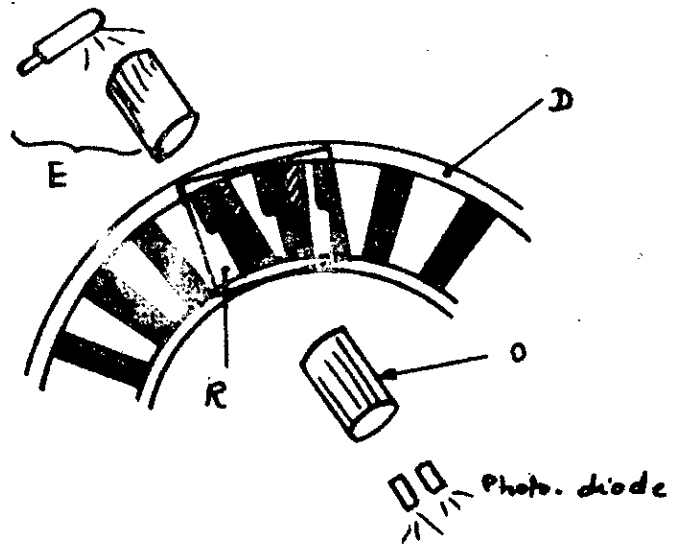
Les mesures par comptage d'impulsions peuvent être réalisées soit par capteurs linéaires soit par capteur rotatif;

Selon le cas le dispositif comporte une règle ou un disque sur lesquels chaque déplacement élémentaire ou incrément est représenté par un espace blanc suivi d'un espace noir et un lecteur photo-électrique. Les impulsions sont produites lorsque l'organe mobile passe d'un incrément à un autre (voir fig 14)

Les impulsions seront enregistrées par un compteur électronique qui les décompte du nombre d'impulsions correspondant à la Côte requise. Lorsque le compteur arrive à zéro il envoie un ordre d'arrêt au moteur d'entraînement du mobile.



C = Compteur électronique
 M = moteur d'entraînement
 MaP = mobile à positionner
 R = règle graduée



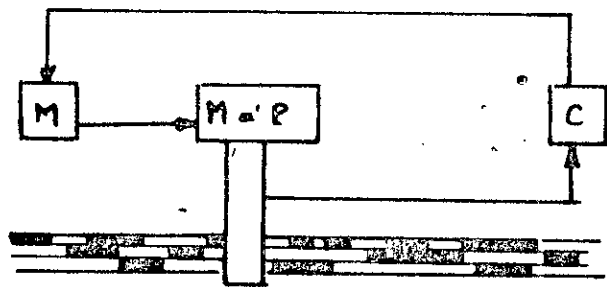
E = appareil d'éclairage
 D = disque à impulsions
 R = niveau de balayage
 O = objectif

fig. 14 Schematisation d'un système de mesure par comptage.

II 212 mesure par codage

Dans ce système on utilise des codes de repérage (surtout le code binaire) pour mesurer les déplacements.

La position à atteindre est mise en mémoire sur une règle codée pour les capteurs linéaires ou sur un disque codé pour les capteurs rotatifs. un comparateur compare en permanence la position du mobile et celle codée; une fois l'identité établie entre les 2 positions un ordre d'arrêt est délivré au moteur d'entraînement du mobile. (voir fig 15)



R : Règle codée
 C : Comparateur
 M : moteur d'entraînement
 M.P.s mobile à positionner.

Fig 15 Schematisation d'un système de mesure par codage.

nous donnons ci après un tableau récapitulatif des systèmes de mesure numérique :

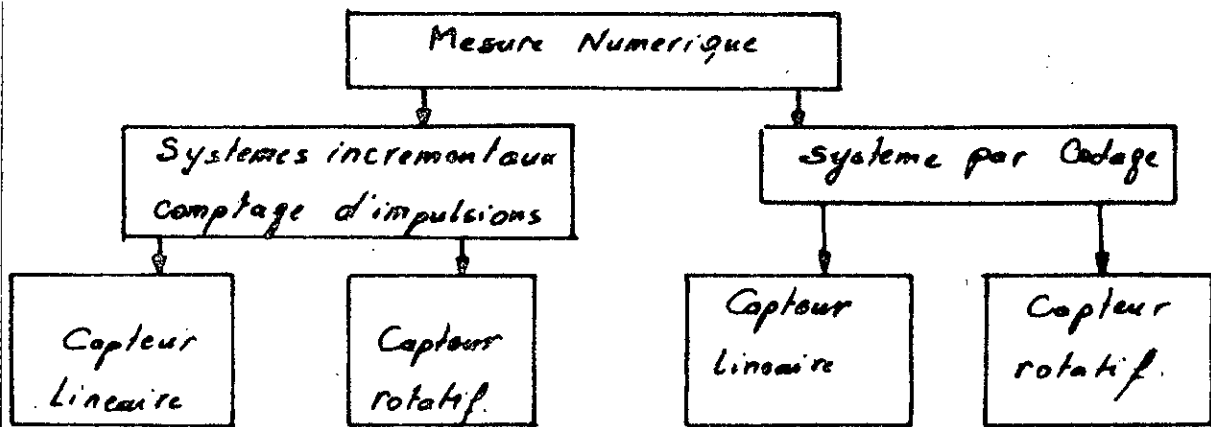


Fig 16 Tableau récapitulatif des systèmes de mesure numérique

II 22 mesure analogique

Le déplacement de l'organe mobile est repéré par une grandeur physique (généralement une tension électrique) qui varie proportionnellement et de façon continue du point de départ au point d'arrivée.

il faut remarquer que pour ce système de mesure les ordres numériques provenant du ruban perforé doivent être transformés en signaux analogiques dès leur entrée au D.C.N ce qui nécessite un convertisseur numérique - analogique.

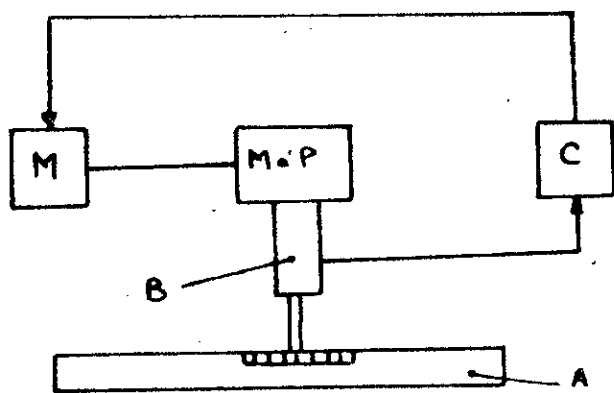
Les mesures analogiques peuvent être réalisées par deux moyens :

- Les résolveurs

- Les règles inductosyn.

I 221 les resolvers

Les resolvers sont des petits transducteurs tournants généralement composés d'un stator à 2 enroulements primaires à axes orthogonaux et d'un stator à 2 enroulements secondaires orthogonaux. Le rotor est entraîné par l'élément mobile de la machine. On a correspondance entre l'angle du rotor et la position du mobile à repérer; Cependant, il faut noter que l'emploi des Transcodeurs tournants présente 2 difficultés: D'abord la nécessité de passer par une transformation mécanique du mouvement de translation du mobile en mouvement de rotation (nécessité d'employer une crémaillère) ensuite la nécessité de n'utiliser qu'un angle de rotation restreint ce qui découle de la construction des transducteurs.



- A = Crémaillère
- B = resolver
- C = Comparateur
- M = Moteur
- M+P = Mobile à positionner

Fig 17. Schematisation d'une mesure analogique avec resolver monté sur Crémaillère.

II 222 les règles inductosyn

Ces règles sont d'un emploi très fréquent.

La règle est en verre ou en acier aimantique sur laquelle sont collés des circuits imprimés constituant un bobinage linéaire. Le circuit imprimé est gravé en forme de spires en créneaux au pas de 2 mm. La règle est montée au long du banc de la machine.

(Ce qui représente le stator du système), le long de cette règle se déplace un curseur (jouant le rôle de rotor) lié au chariot de la machine; ce curseur possède 2 enroulements au même pas que celui de la règle mais présentant un décalage l'un par rapport à l'autre d'un quart de pas.

Le curseur est alimenté par les signaux de commande analogiques provenant du convertisseur numérique-analogique.

On remarquera que ce procédé ne permet de mesurer que de faibles déplacements ce qui a amené les constructeurs à utiliser des procédés complémentaires; le plus utilisé de ces procédés est le système inductosyn tripli.

On notera enfin qu'il existe également des systèmes à inductosyn Circulaire montés en bout de vis de commande réalisant un capteur rotatif mais cette solution n'est que rarement utilisée.



fig 18 schématisation d'une mesure analogique avec règle inductosyn.

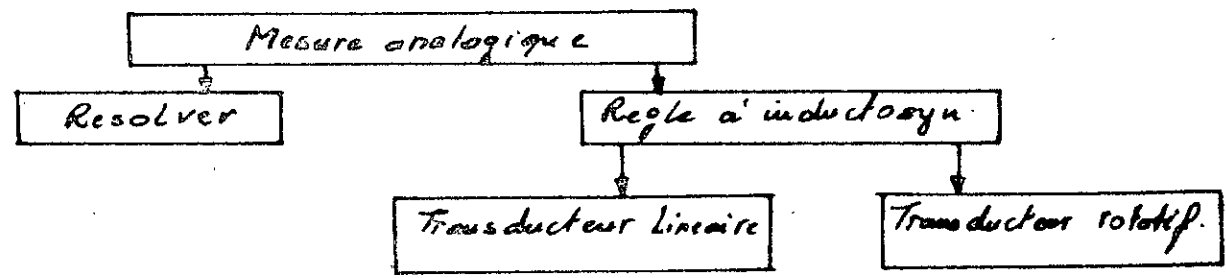


fig 19 Tableau récapitulatif des systèmes de mesure analogique

II 3 remarques générales sur les systèmes de mesure

Les méthodes de mesures analogiques sont généralement caractérisées par une plus grande simplicité et un coût plus réduit que les méthodes numériques elles ont par ailleurs l'avantage de fournir des indications continues; ils nécessitent cependant des convertisseurs qui viennent limiter leurs possibilités car ces dispositifs sont coûteux si on leur demande une grande précision; mais ceci n'empêche qu'elles soient souvent utilisées pour la mesure des déplacements surtout sur les machines de précision.

Les méthodes de mesure numériques ne permettent pas de poursuivre le programme en cas de panne de courant; ce qui est réalisable sur les systèmes de mesure analogiques.

La précision de mesure des systèmes numériques est moins bonne que celle des systèmes analogiques.

Le seul intérêt des méthodes numériques se présente en 2 points:

- possibilité d'utilisation directe de la valeur de mesure dans un système numérique de traitement d'information ce qui n'occasionnerait pas une chute de la précision de mesure.
- diminution du coût global du fait de l'absence de toute transformation de forme de la mesure.

CH4 PARTICULARITES DE LA COMMANDE NUMERIQUE

I-INTERPOLATION

Le processus d'interpolation n'est rencontré qu'en commande continue; plusieurs étapes différentes composent le processus d'interpolation. Après avoir établi le manuscrit l'opérateur (Programmeur) procède au calcul de la trajectoire et enregistrement des résultats du calcul, à ce stade deux possibilités peuvent se présenter suivant que ce calcul est effectué manuellement ou automatiquement.

I1 - calcul manuel

Il est appliqué au cas des trajectoires simples, il consiste à déterminer la trajectoire devant être suivie par le Centre de l'outil Compte tenu de son rayon.

Le calcul est effectué à l'aide d'un petit calculateur de bureau les points remarquables occupés successivement par le Centre de l'outil sont consignés sur une feuille d'opérations en même temps que les instructions relatives aux conditions de travail et aux fonctions auxiliaires.

I2 - calcul automatique

Il est appliqué au cas des trajectoires complexes. Les calculs seront alors établis par un calculateur universel.

La commande du calculateur universel est faite à partir de Cartes perforées qui sont introduites dans un lecteur de Carte incorporé au calculateur. Sur les Cartes perforées on porte les informations consignées dans le manuscrit.

Le Calculateur fournit alors à partir de ces consignes les coordonnées

des différents points de la trajectoire de finissant ainsi le nombre minimale de cordes ou arcs de cercle compatible avec la tolérance imposée et le fini désiré. dans d'autres cas le calculateur aura à tenir compte également de l'usure de l'outil et d'autres facteurs influençant la coupe.

Après le calcul de la trajectoire le programmeur procède au calcul d'interpolation, il utilise à cet effet un calculateur d'interpolation dit souvent interpolateur.

Les informations fournies par l'interpolateur se présentent habituellement sous la forme de plusieurs trains d'impulsions incrementales élaborés simultanément, chaque train correspond à un axe différent et comportant pendant un intervalle de temps donné autant d'impulsions que le déplacement dans la direction considérée comporte de pas élémentaires.

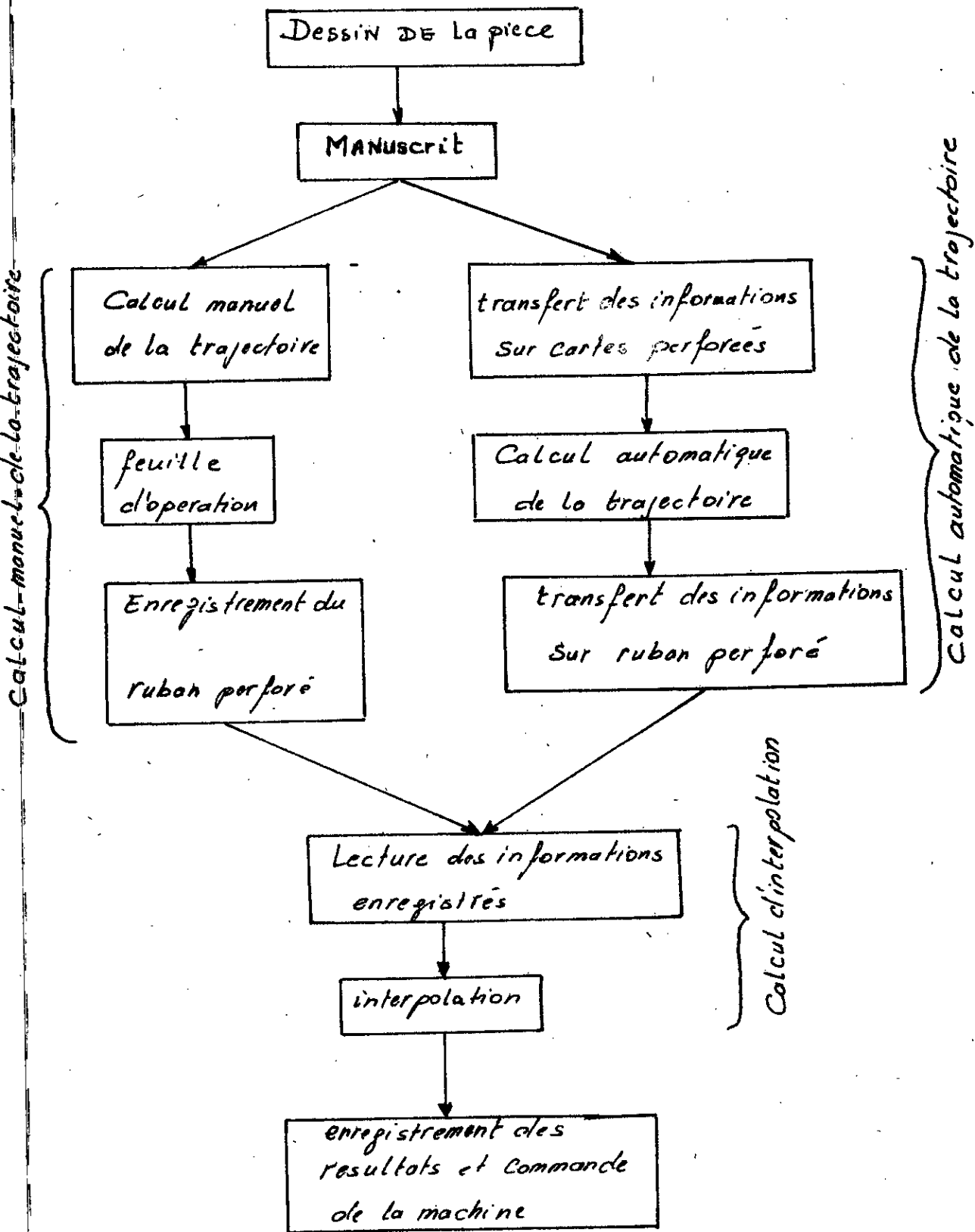


fig 20 - schematisation du processus d'interpolation.

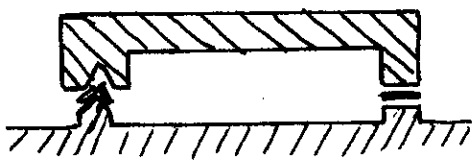
II COMMANDE NUMERIQUE ET MACHINE-OUTIL

Si on demande aux machines-outils un grand rendement et une haute précision elles doivent être particulièrement robustes et puissamment construites pour être assez peu sujettes à l'usure. de nombreuses qualités sont exigées de ces types de machine il faut minimiser les frottements, éviter les jeux qui auraient pour conséquence de fausser les mesures, éviter les déformations élastiques, les vibrations et les températures excessives de fonctionnement.

Pour les machines-outils à commande numérique, les ordres donnés par le D.C.N doivent s'exécuter sans défaillance elles doivent permettre également des accostages de chariots précis quelque soit le sens des déplacements, des états de surfaces des pièces usinées répondant à des spécifications métrologiques serrées et des avancements de chariots réalisés avec douceur et sans saccade.

Pour atteindre les objectifs cités les M.O.C.N sont équipées d'éléments de machine spéciaux.

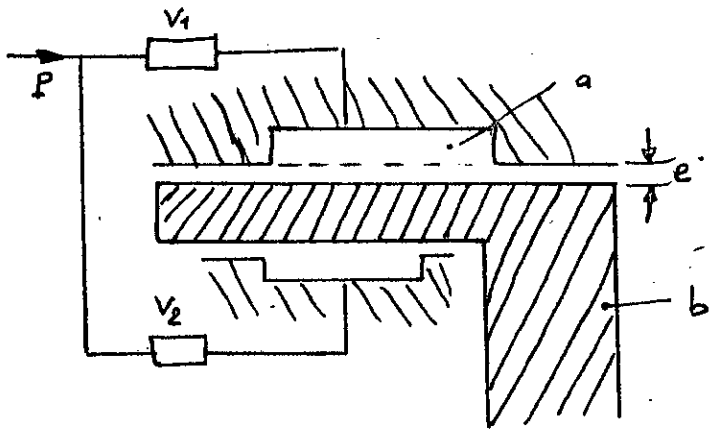
II-1 glissière La première solution est celle qui consiste à substituer au frottement de glissement un frottement de roulement en interposant des roulements à aiguilles entre les 2 surfaces en contact.



il y a la 2^{ème} solution qui consiste à utiliser des glissières hydrostatiques ou aérostatiques

fig 21 - glissière à galets

Pour cette solution: le contact metal - metal est supprimé
 On interpose cette fois un film d'huile ou d'air entre les 2 surfaces
 Le débit d'huile ou d'air est asservi par une pompe à la pression
 voulue (ce qui correspond à une épaisseur constante du film)



a = chambre d'huile
 b = partie du banc de Machine
 e = épaisseur du film
 V_1, V_2 = Vannes de réduction
 P = pression d'alimentation

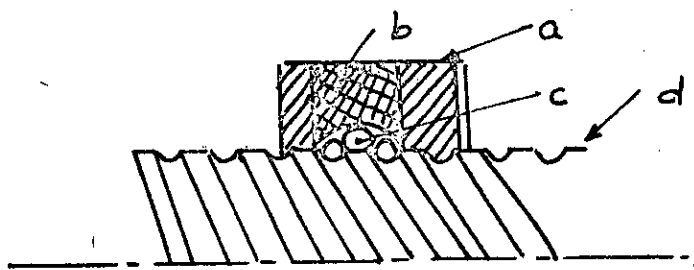
Fig 22. glissière hydrostatique.

II2 CHARIOT La commande des chariots est assurée par dispositif

Vis. ECROU à rattrapage de jeu

On utilise notamment les Vis à billes, les Vis à rouleaux.

Satellites planétaires etc -



a: écrou
 b: rainures assurant le transfert des billes
 c: bille
 d: Vis

Fig 23 - Vis à bille.

La Circulation des billes est réalisée en circuit fermé

II3 BATIS Les Batis des M.O.C.N sont largement dimension

nés et fortement nervurés, les matériaux utilisés doivent assurer un bon coefficient d'amortissement interne et une excellente rigidité à la torsion et à la flexion.

on remarquera enfin que les organes mobiles soumis à l'échauffement sont refroidis par circulation d'huile et que les dilatactions sont dans la mesure du possible évitées ou compensées.

III PLANING A METTRE EN OEUVRE POUR REALISER L'USINAGE EN COMMANDE NUMERIQUE

Le dessin de la pièce permet de mettre en évidence les spécifications à respecter (dimensions, formes, position et rugosités) dans le cas général il faut consulter la gamme d'usinage mise au point par le bureau de méthode pour :

- rechercher les opérations pouvant être réalisées en C.N.
- choisir la machine-outil
- faire une étude de rentabilité
- transformer les cotes du dessin suivant le type de machine en coordonnées rectangulaires ou polaires.

après ces 2 phases intervient la phase de conception du programme qui est constituée par les étapes suivantes :

- + déterminer l'implantation de la pièce sur la table de la Machine-outil
- + concevoir les montages de prise de pièce (si nécessaire)
- + établir la liste de toutes les opérations nécessaires à l'usinage en respectant un ordre chronologique
- + calculer les coordonnées des points à atteindre
- + prévoir tous les déplacements des organes mobiles et les changements d'outil.
- + choisir les vitesses de rotations des broches et les vitesses de déplacement des organes mobiles.

indiquer les instructions relatives aux fonctions
auxiliaires T.9, arrosage, blocage en position d'un organe etc...
reporter en utilisant un langage machine toutes les instructions
ci-dessus sur une feuille de préparation

après la phase de programmation intervient la phase
de codage des instructions de travail et la perforation
sur la bande (quand il s'agit de bande perforée).

une cinquième phase s'avère nécessaire est celle du contrôle
du programme. il y a des compagnies qui conseillent
de mettre en exécution le programme sur la machine-outil
à vide (sans pièce) et ceci malgré que le programme ait été
contrôlé auparavant (au poste du codage et de vérification
du ruban perforé).

La dernière phase étant celle de l'exécution réelle du
programme qui consiste à installer sur la machine-outil la pièce sur
la machine-outil et mettre le programme en route.

CH5 PROGRAMME D'USINAGE DES BOUTS DE CYLINDRE SIDERURGIQUE

I CARACTERISTIQUES DU SYSTEME DE COMMANDE NUMERIQUE UTILISE

Avant de commencer à travailler sur le système de commande numérique SINUMERIK 7T, nous avons jugé utile d'en donner brièvement les caractéristiques.

Nous avons deux axes pilotés en contourage (X, Z) avec interpolation linéaire et circulaire.

Les données sont introduites par bande perforée et lues par un lecteur photoélectrique de capacité 250 caractères/s à 50 Hz en marche avant. La bande perforée a 8 pistes en code ISO ou EIA, il y a reconnaissance automatique du code après lecture du premier signe de fin de bloc.

Le contenu de la bande perforée est contrôlé au cours de la lecture :

- nombre pair (ISO) ou impair (EIA) de perforations (Contrôle de parité de caractères) ce contrôle donne une sécurité à 100% sur les défauts simples de la bande perforée
- nombre pair de caractères par bloc (Contrôle de syntaxe, parité de bloc)

Lorsqu'un défaut est détecté, le lecteur s'arrête, et le défaut est signalé, on peut également introduire les données manuellement par le clavier

Les informations sont enregistrées bloc par bloc à l'aide de la touche d'introduction. Des programmes déjà enregistrés peuvent être corrigés selon le même principe.

Le clavier sert également à introduire les corrections d'outils, les paramètres machine etc...

On dispose d'une mémoire d'une capacité de 320 mètres de bande perforée correspondant à environ 12800 caractères pour emmagasiner des programmes d'usinages, Ces derniers sont appelés par des ordres internes et exécutés.

Les programmes d'usinage existant en mémoire sont introduites dans des mémoires à bulles magnétiques (ce qui les protège contre les coupures de la tension d'alimentation)

On peut visualiser sur un écran le contenu de la mémoire, même au cours d'un usinage.

On dispose d'un système de correction de programme qui permet de modifier ou de corriger directement en mémoire des programmes d'usinage présentant des défauts au moyen du clavier du Tableau d'utilisation; en correction de programme on peut:

- remplacer, effacer ou insérer un mot.
- insérer ou effacer une partie de programme.
- effacer un programme complet.

grâce à la Commutation métrique/pouce du système d'introduction de données, la Commande numérique peut s'adapter à une machine en version métrique ou en version Cotes anglosaxonnes. Dans ce cas les machines sont définies (entraînements d'avance et système de mesure) pour le système

métrique ou pour le système en pouce indépendamment de l'exécution de la machine dans un des systèmes précités, le programme peut être écrit dans chacun des systèmes d'introduction. L'adaptation s'effectue en appelant les fonctions préparatoires G71 (métrique) G72 (anglosaxonnes) en tête du programme.

Les fonctions préparatoires (fonctions G) sont programmées suivant le code de programmation. Elles font partie des informations de parcours et doivent impérativement figurer devant celles-ci. Elles sont réparties en plusieurs groupes, dans un bloc de programme, on peut programmer une fonction préparatoire de chaque groupe.

Pour simplifier la programmation, il y a des fonctions qui sont placées automatiquement dans une position préférentielle (Position d'effacement) avant le début du programme, elles n'ont pas besoin d'être programmées; La position préférentielle est annulée si l'on programme une autre fonction préparatoire du même groupe.

En interpolation, les axes programmés sont commandés de telle sorte que le point de référence de l'outil se déplace sur une droite (interpol. linéaire) ou sur un arc de cercle (interpol. circulaire) (fig 24)

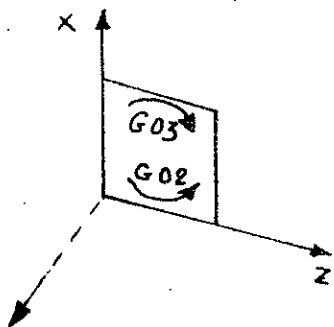


fig 24 - interpolation Circulaire

Pour l'interpolation circulaire les paramètres I et K doivent être précisés, ils représentent la distance du point de départ du Cercle KA (voir fig 25) au centre de celui-ci (KM) et déterminent ainsi son rayon ils sont écrits en incrementale

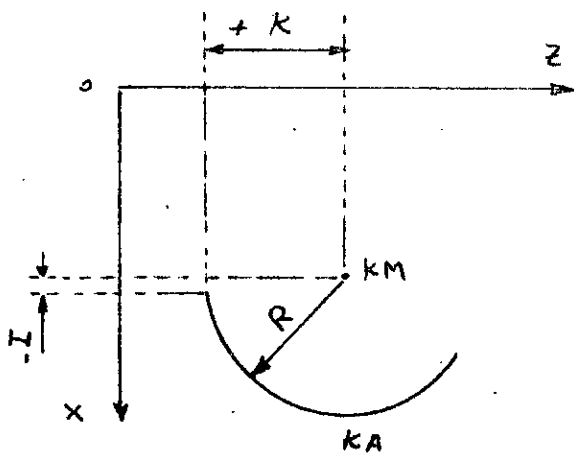


fig 25. Paramètres I et K pour l'interpolation circulaire

Pour obtenir un arrêt défini des entraînements d'avance (Par exemple pour finir une coupe), on peut programmer la temporisation avec la fonction préparatoire $G04$ par bloc sous les adresses X ou P en unités de (milliseconde)

Les Cotes absolues dans l'axe x sont données en valeurs de diamètre et non de rayon; Celles dans l'axe Z sont données en longueur réelle.

Pour un déroulement optimal du fonctionnement il est nécessaire d'adapter les données programmées aux conditions existantes au niveau de la machine-outil. Pour cela on fait appel à des corrections. Les corrections d'usure d'outil (ou compensation du rayon de plaquette) sont introduites manuellement à l'aide du clavier. Les valeurs des corrections sont sélectionnées par 2 décades qui suivent le numéro d'outil, on peut associer une valeur de correction à n'importe quel outil

Le sens de la Correction du rayon de plaquette est donné par les fonctions technologiques G42, G41 respectivement. Compensation à droite et Compensation à gauche.

Le numéro d'outil (fonction T) est programmé en 2 décades et délivré à la commande d'adaptation. deux (02) décades supplémentaires à la fin du mot T servent à la sélection du Correcteur d'outil.

Nous donnons ci après Quelques fonctions du Code de programmation du système SINUMERIK 77.

1 fonctions technologiques (G)

- G00 : avance rapide
- G01 : interpolation lineaire
- G02 : interpolation circulaire dans le sens horaire.
- G03 : = = = = antihoraire
- G04 : temporisation.
- G33 : filetage
- G40 : annulation de la Compensation du rayon de la plaquette R
- G41 : Compensation de R a gauche
- G42 : = = = a droite
- G53 : annuler les fonctions G54 et G55
- G54 : changement d'origine des axes suivant l'axe des X
- G55 : = = = = = = = = Z
- G71 : travail en systeme metrique
- G72 : = = = anglosaxon
- G90 : introduction des cotes en absolues
- G91 : = = = = incremental
- G92 : positionnement de la memoire des valeurs reelles.
- G09 : diminution automatique de la vitesse d'avance au voisinage du point programme.
- G94 : avance par minute mm/mn
- G95 : avance par tours mm/tours
- G64 : déplacement des outils guidés pendant le passage d'un bloc a l'autre.

G96 : vitesse de travail Constante.

2 fonctions auxiliaires(M)

Pour la position du porte-outil il existe 3 plages différentes:

Position du Porte-outil	distance entre cette Position et la precedente	intervalles d'avance d'usinage	fonction auxiliaires.
0	0	$T60 = T70$	M60 - M70
1	80	$T61 = T71 (405-715)$	M61 - M71
2	190	$T62 = T72 (295-665)$	M62 - M72
3	300	$T63 = T73 (185-555)$	M63 - M73

M20 : annuler M21 et M22

M21 : Symetrie suivant x

M22 : Symetrie suivant z

M06 : changement d'outil

M30 : fin de programme avec rem bobinage de la bande

M03 : rotation de la broche a droite

M04 : = = = = gauche

M05 : arrêt de la broche

M00 : = programmé absolu

M01 : = = Conditionnel

M02 : fin de programme, effacer toutes les fonctions G, X, Z, I, K, ...

M37 : diminution automatique de l'avance de $\frac{1}{100}$ de la valeur

M36 : annuler M37 (avance normale)

M41 : 1^{er} plage de vitesse de rotation de la broche $1 \div 12,5$ tours/min

M42 : 2^{em} = = = = = $2,5 \div 31,5$ =

M43 : 3^{em} = = = = = $6,3 \div 80$ =

M44 : 4^{em} = = = = = $16 \div 200$ =

II ACHÈMINEMENT ET FIXATION DE LA PIÈCE

La pièce brute arrivant de l'atelier de forge présente des caractéristiques dont nous n'avons pas été informés, nous savons seulement qu'elle doit subir un préusinage sur un vieux tour de grandes capacités avant de passer au tour commandé numériquement. La pièce préusinée présente les caractéristiques données par la (fig 26)

Bien sûr il va de soit que l'atelier doit être muni d'un système de manutention pouvant soulever des charges importantes pour assurer l'acheminement de la pièce brute et préusinée

Il faut éviter toute déformation (surtout la flexion) de la pièce lors de son acheminement d'un poste à l'autre et ceci en choisissant les élingues et les systèmes de prise de pièce qui conviennent le mieux pour cette pièce très lourde

(Poids évalué environ à 2 Tonnes) et dont la masse peut être considérée concentrée dans son centre (Partie active).

Une fois la pièce arrivée il faudrait prévoir sa fixation sur le tour; nous recommandons la fixation entre poupées (poupée mobile et pointe de la poupée fixe) voir fig 27

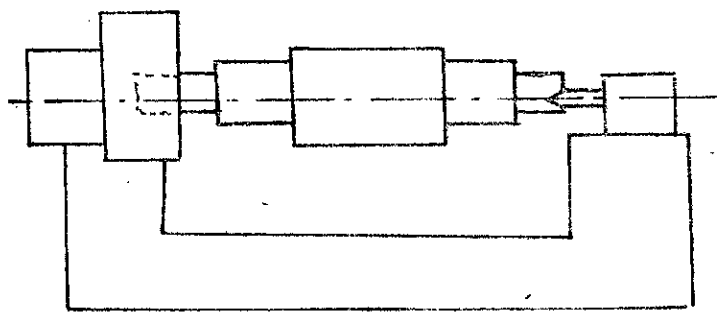


fig 27 - fixation de la pièce sur le tour

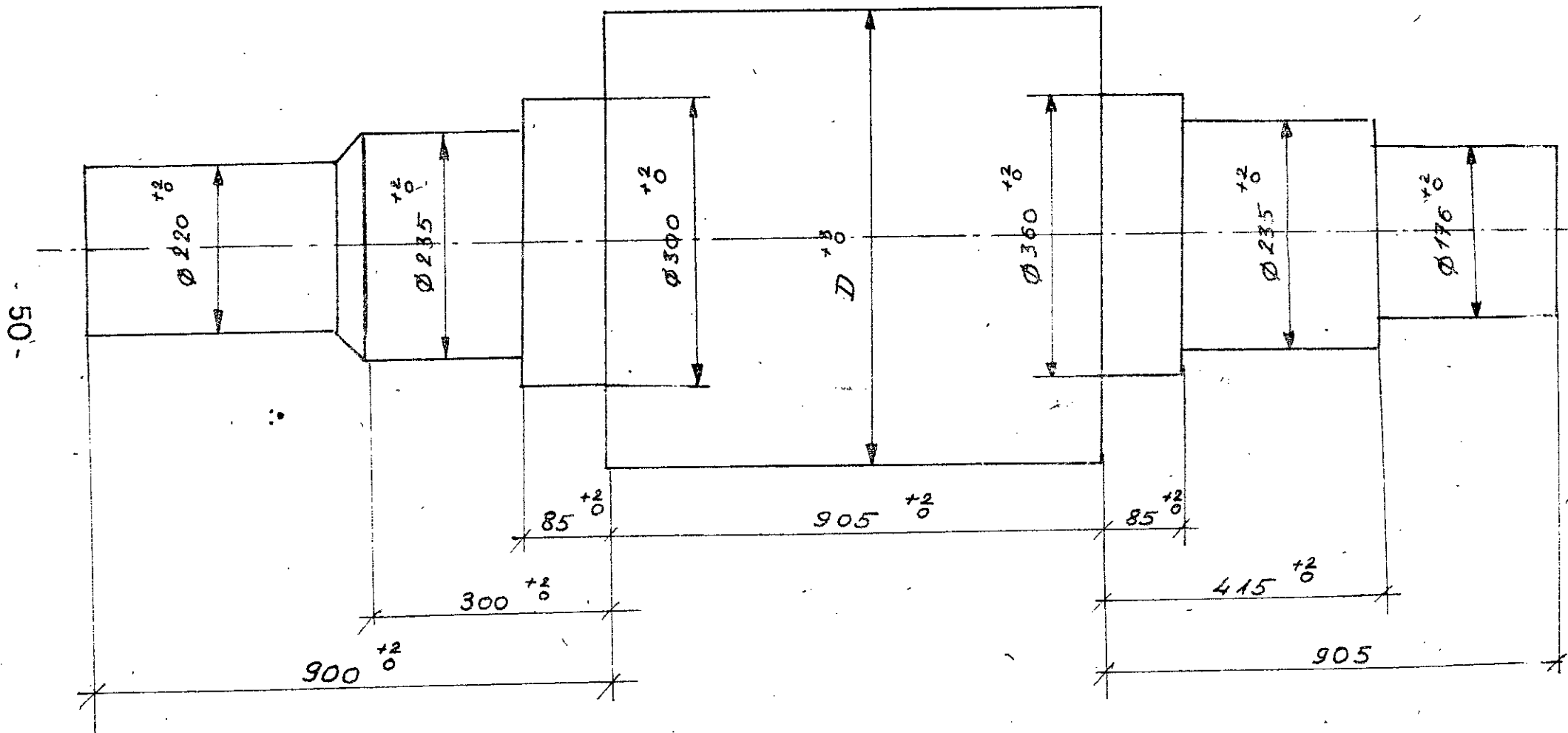


fig 26. CYLINDRE $\varnothing 420 \times 900$

II INTERPOLATION

L'usinage des conges et arrondis est realise en programmant la fonction interpolation circulaire dans le sens horaire ou anti. horaire (G02, G03) selon le cas.

Pour pouvoir programmer la fonction interpolation circulaire il faut avant tout determiner les parametres d'interpolation I et K. Cette determination s'avere relativement facile lorsque l'arrondi (ou conge) est execute entre 2 arretes formant un angle droit exemple de la figure 27(a)

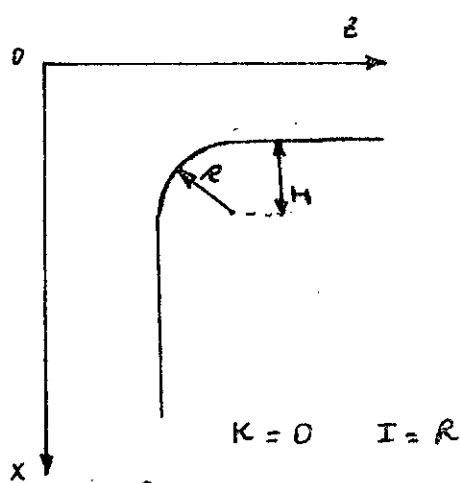


fig 27 (a)

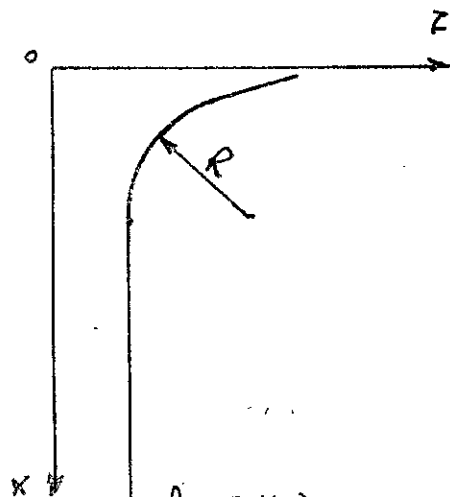


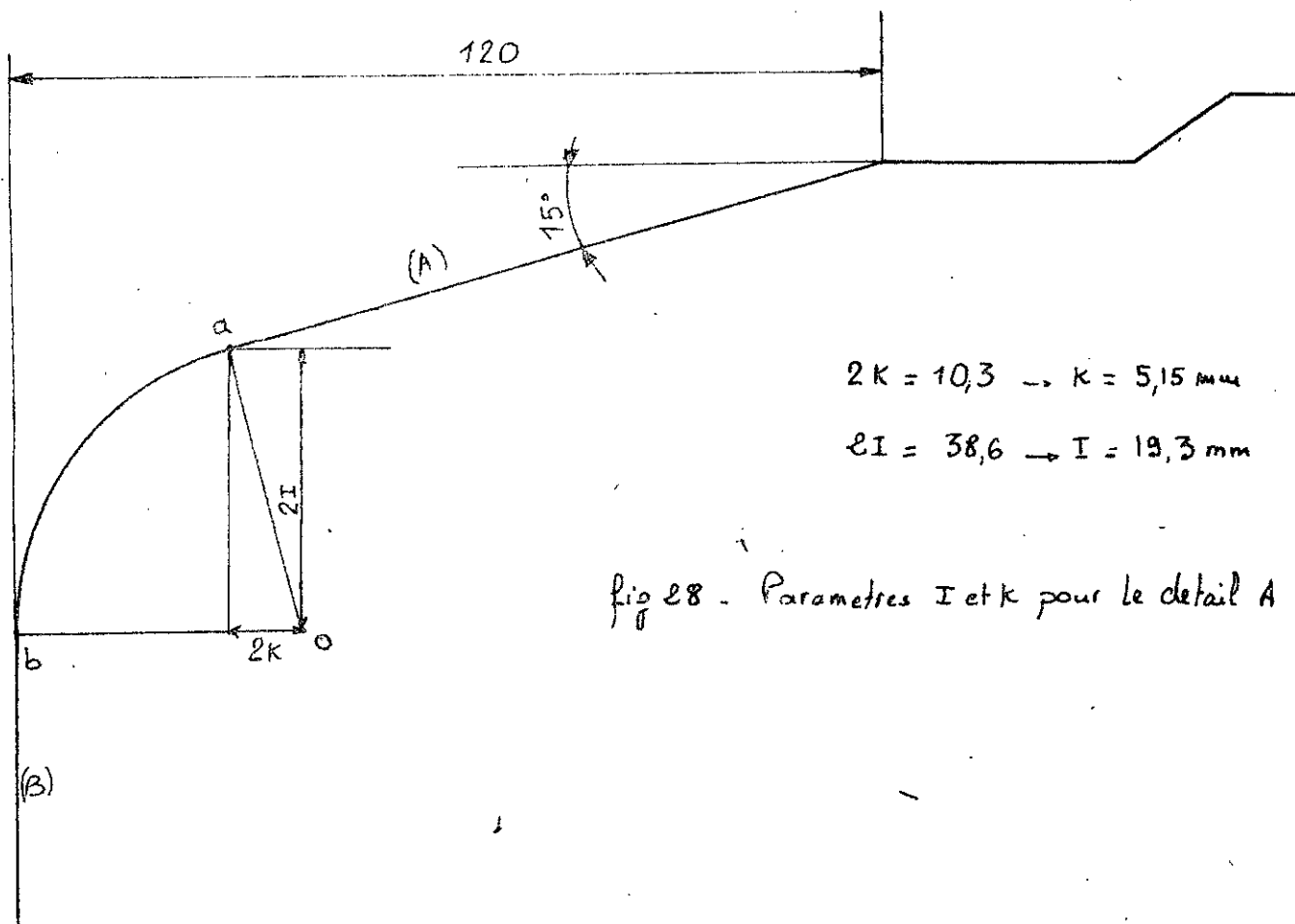
fig 27 (b)

(nous rappelons que les parametres I et K representent la distance du point de depart du Cercle au Centre de celui-ci).

Mais la tache devient plus difficile (surtout lorsqu'il s'agit d'une grande precision) Quand l'arrondi est execute entre 2 arretes concourantes a un angle different de 90°

C'est le cas notamment des interpolations contenues dans les details agrandis A et B de la planche C.5.03.00.02

Nous donnons ci apres la maniere avec laquelle nous avons determine les parametres I et K pour le detail A. voir (fig 28)



On commence par tracer une perpendiculaire aO de $R \text{ mm}$ à la droite (A) au point de commencement a , du point O on mène la perpendiculaire Ob à la droite (B) on vérifie que la cote $aO = Ob = R$. Si ce n'est pas vérifié on corrige la construction en déplaçant la perpendiculaire aO vers la droite ou la gauche (selon le cas) de façon à : rétablir l'identité $Oa = Ob = R$ (ce qui revient à jouer sur le point de commencement du cercle).

Une fois la construction terminée, le centre O et le point de commencement (a ou b) sont déterminés; il ne reste plus qu'à faire la mesure des côtes I et k (pour notre cas I et k car le dessin du détail est à l'échelle 2-1)

C'est là qu'intervient la difficulté, c'est à dire au niveau de la mesure, car ces mesures sont faites avec des règles qui ne peuvent donner des significations au delà du dixième de millimètre alors que pour notre cas il est question de 3 chiffres après la virgule.

pour notre construction nous avons mesuré $2K = 10,3 \rightarrow K = 5,15 \text{ mm}$
et $2I = 38,6 \rightarrow I = 19,3$

Les valeurs qui correspondent au contour réel calculées et nous mesurées à l'aide de calculateurs de bureaux à l'usine de Buezek en Silésie nous ont été communiquées par le promoteur $I = 19,319$ $K = 5,176$

III OUTILS DE TRAVAIL ET CONDITIONS DE COUPE

Les conditions de coupe varient en fonction de nombreux paramètres liés à la machine, à la pièce et à l'outil lui-même. Seuls des essais peuvent permettre de déterminer les conditions de coupe optimales.

Néanmoins il existe des tableaux et des aboques dans des livres de référence telles que les tableaux qui existent dans le guide du Technicien en Fabrication mécanique Par Chevalier qui donnent les conditions de coupe, selon la matière de la pièce à usiner, la puissance de la machine et la section de l'outil.

Pour notre cas, la machine est très puissante $\approx 50 \text{ kW}$ les outils que nous utiliserons pour l'exécution de la pièce sont des outils à plaquette de carbure (2) et 1 outil en acier rapide (outil à saigner)

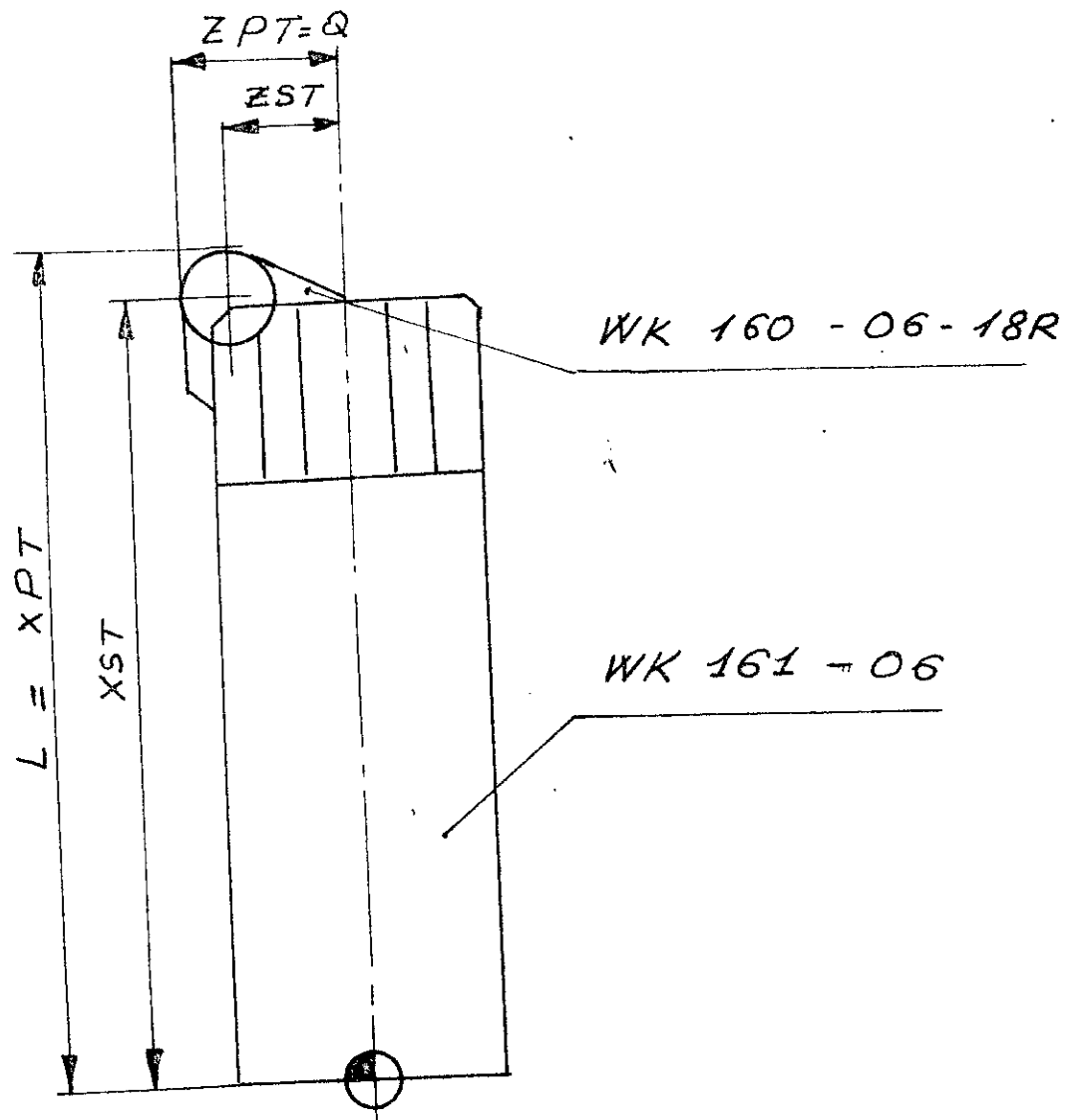
L'outil T01 à plaquette ronde présente une bonne section de coupe et peut ainsi réaliser de grandes passes (surtout avec la grande puissance de la machine et l'acier mi dur de la pièce brute) C'est pour cela que nous l'utiliserons pour ébaucher une grande partie de la pièce.

Les outils à saigner T05 et T08 sont utilisés pour l'usinage des 2 gorges, par contre l'outil T03 à plaquette de carbure est utilisé pour la finition

Pour les vitesses d'avance et de rotation de la broche ; nous avons programmés les vitesses optimales qui ont été déterminées expérimentalement (par plusieurs essais) à l'usine de Buczek ils sont légèrement différents de ceux qu'on avait prévus à la base des Tableaux donnés par Chevrolier

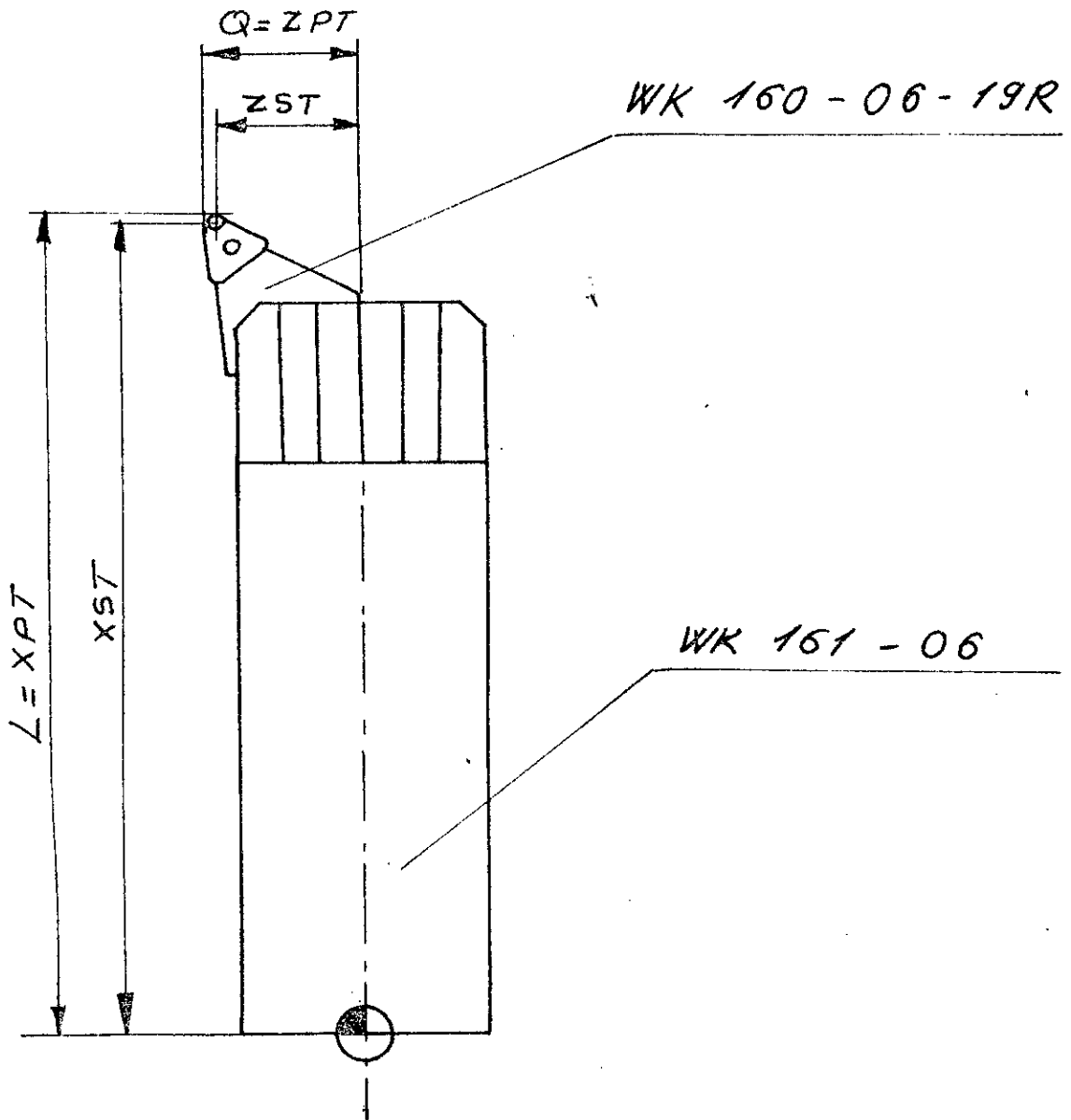
Matiere	Profondeur de passe (mm)	avance (mm/tour)	vitesse de Coupe (m/min)	Nuance abrégé V.D.V.C	Section d'outil (mm ²)	Puissance machine (Kw)
acier au Carbone XC 32 XC 80	0,2 à 1	0,1 à 0,2	65 à 60	6-5-2	12 x 12	< 1
	1 à 4	0,2 à 0,4	60 à 45	6-5-2	16 x 16	1 à 4
	4 à 8	0,4 à 0,8	45 à 30	6-5-2	25 x 25	4 à 10
	8 à 12	0,8 à 1,2	30 à 25	6-5-2	32 x 32	10 à 15

OUTIL TO1



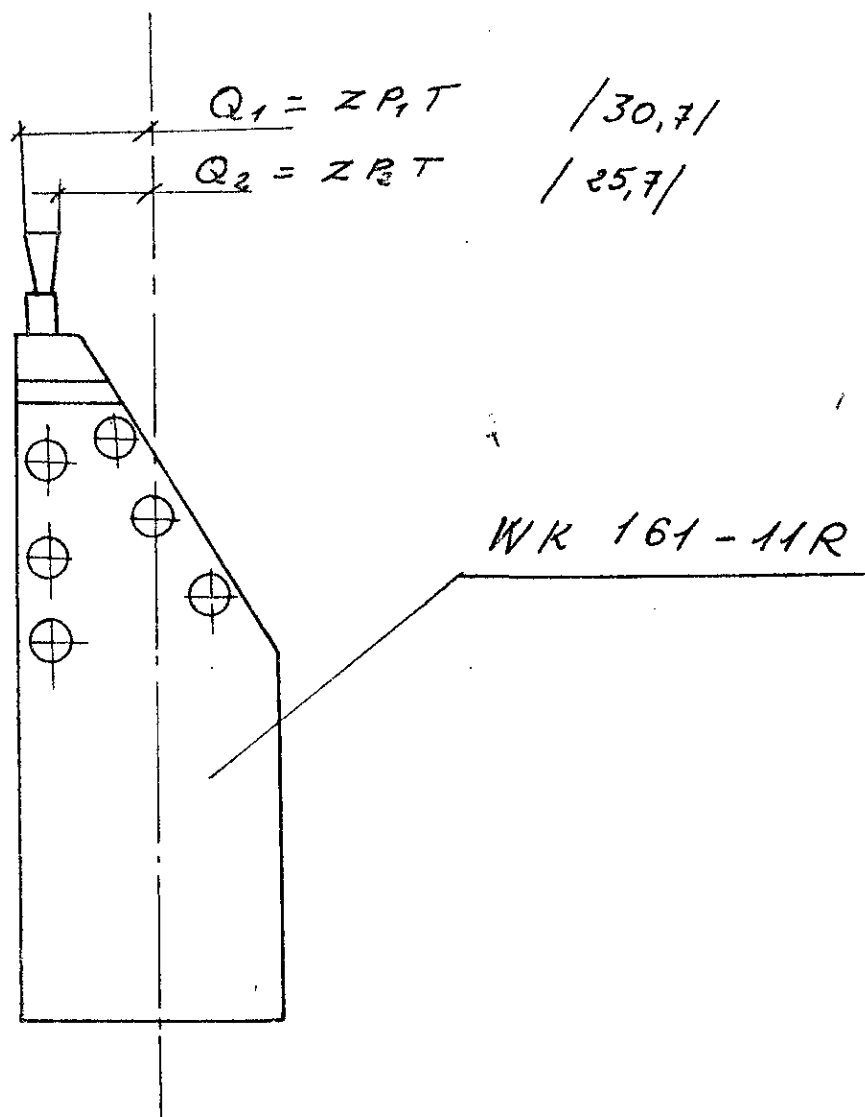
$$L = XPT = 222$$
$$Q = ZPT = 42.4$$

OUTIL T03



$$L = XPT = 232$$

$$Q = ZPT = 42.4$$



OUTIL T08

L'outil T05 est le même que l'outil T08

V VERIFICATION DE LA PUISSANCE DE COUPE

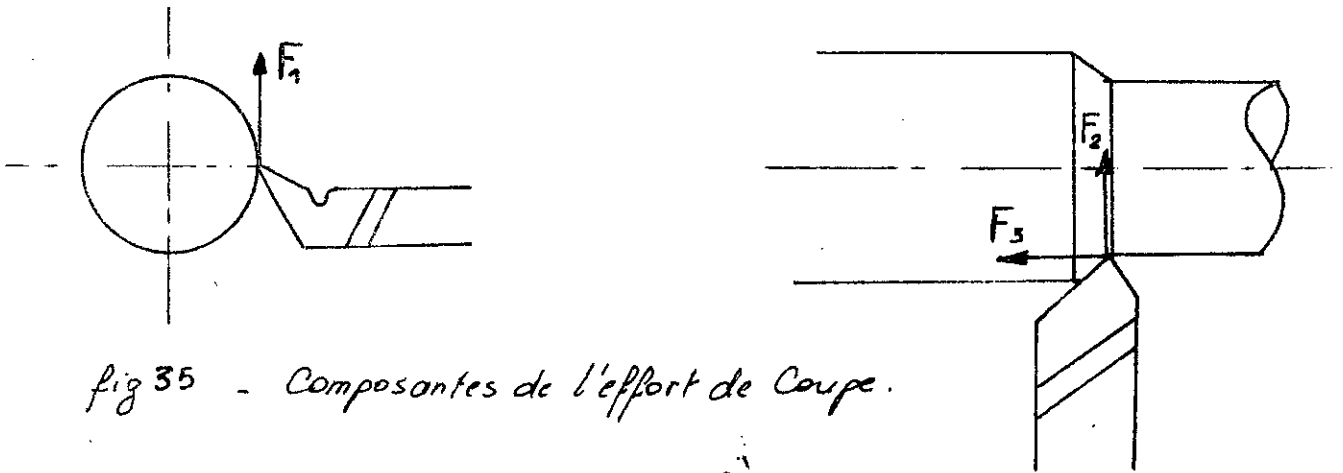


fig 35 - Composantes de l'effort de Coupe.

F_1 = force de coupe
 F_2 = force de penetration
 F_3 = force d'avance

} Composantes de l'effort de Coupe

Pour le calcul de la puissance nécessaire à la coupe on prendra en considération la force F_1 (elle est la plus importante) les autres forces sont à l'origine des déformations de la pièce et de l'outil (Pour notre cas la pièce et les outils sont rigides il n'est pas question de déformation)

$$F_1 = K_a \cdot a \cdot p$$

a = avance par tour mm/tour

p = profondeur de passe en mm

K_a = pression spécifique de coupe en N/mm^2

V = vitesse de coupe en m/min

P = puissance en W

$$P = F_1 \cdot a \cdot V$$

$$P = \frac{K_a \cdot a \cdot p \cdot V}{60}$$

on vérifiera la puissance P pour le cas où on a programmé la plus grande profondeur de passe $p = 8 \text{ mm}$.

la pression spécifique de coupe K_a dépend du matériau à usiner et l'avance programmé $a = 0,5 \text{ mm/tour}$

sur le tableau de la figure 36 sont données quelques valeurs de K_a pour 3 types d'acier et 4 avances.

Matiere		Ka (daN/mm ²)			
		avance mm/tour			
		0,1	0,2	0,4	0,8
Acier	E36	400	290	210	150
	A60	420	300	220	160
	A70	440	315	230	165

fig 36 - Quelques valeurs de Ka.

$$a = 0,5 \text{ mm/tour}$$

$$p = 8 \text{ mm}$$

$$V = 30 \text{ m/mn}$$

$$K_a = 2300 \text{ N/mm}^2$$

$$P = \frac{2300 \times 0,5 \times 8 \times 30}{60} = 4600 \text{ w}$$

Si le rendement de la machine est de 0,8 nous aurons une puissance absorbée par la machine de :

$$P_2 = \frac{P}{\eta} = \frac{4600}{0,8} = 5750 \text{ w} = 5,75 \text{ kw}.$$

donc avec tels paramètres de coupe il faut une puissance d'environ 6 kw, alors que notre machine fait 50 kw Ce qui nous procure une bonne marge de sécurité.

- 61 -

E.N.P.A <i>dep. mecanique</i>		listing de programmation						de Programme			
Pice : CYLINDRE SIDERURGIQUE		N° CS.03.00.02		machine.outil Tour D1000		Durée programmé 4 heures		fait par: K.E CHENITI		Page 1/12	
N	G			M	X	Z	I	K	F	S	T
%											
10	G40	G64	G71	43							
20				60							
30				72							
40				06							0102
50			G92				110110	0			
60		G00	G91			0					
70			G90	00	360 000						
(DEPART D'USINAGE "REPÈRE")											
80			G96	03						300	
90			G92		180 000	20 000					
100					450 000						
110	G41				450 000	0					

120		G01		36	325000				1000		
130	G40	G00			340000	110000					
140	G42				286000	107000			500		
150		G01				0					
160					355000						
170		G00				120000					
180					270000						
190		G01				2000					
200		G00			326000						
210						120000					
220					254000						
230		G01				35000					
240					278000	2000					
250		G00			330000						
260	G40			00		110000					
(mesurer La Côte 254 mm Correcteur 02)											
270	G42			03	240000	107000					

280		G01			60000					
290				264066	14882					
300		G02		300770	800	18352	4917			
310		G01		332000						
320		G00			450000					
330				220000						
331		G01			319753					
332				230684	310500					
340					84276			1000		
350				245000	71879					
360	G40	G00		420000	925000					
370				73						
380			G92			220000	0			
<i>(changement de position du porte-outil I = 220 mm)</i>										
390	G42			03	159850	925000			500	
400		G01				721610				
410					180000	685030				

420	G40	G00			810 000					
430	G42			123 800	815 000					
440		G01		162 000	895 300					
441		G00		172 300	890 750					
450					708 000					
460		G01			670 000					
470	G40	G00		230 000	665 000					
480	G42			200 000	690 000					
481		G01		170 317						
490					430 000					
500				205 000						
510					332 743					
520				228 952	312 000					
530		G00		282 000						
540					457 000					
550				189 850						
560		G01			345 864					

- 65 -

570				214518	324500					
580		G00		243000						
600	G40			240000	420000					
610	G41			224000	420000					
620		G01		170317						
630				170617	445000					
640	G40	G00		230000	430000					
650	G41			224000	410200					
660		G01		170317						
670				170617	435000					
680	G40	G00		230000	430000					
690				340000	670000					
700			05							
(Changement d'outil T0505)										
710			06							0505
720			03	174000	663000				300	
730		G01		154760				250		

750		G04		2000				
751	G00			174 000				
760					670 000			
770	G01			154 760				
780		G04		2000				
790	G00			174 000				
800					677 000			
810	G01			154 760				
820		G04		2 000				
830	G01				664 000			
840	G00			200 000				
850			00		710 000			
(mesurer la Cote 155mm Correcteurs 04 05)								
860			03		673 000			
870				174 000				
880				160 000	673 000			
890	G01			150 100				

900			G04		2000						
910			G00		160000						
920						666000					
930			G01		150100						
940				G04	2000						
950			G00		180000						
960	G42				172000	690050					0504
970			G01		153990				200		
980			G02		149990	688050	0	-2000			
990			G01			685000					
1000	G40		G00		180000						
1010	G41				172000	659950					0505
1020			G01		153990						
1030			G03		149990	661950	0	2000			
1040			G01			677000					
1050	G40		G00		300000						
1060				05							

68

<i>(Changement d'outil T0303)</i>									
1070				06					0303
1080	G42			03	177300	705000			
1090		G01			171300				
1100						687000			
1110	G40	G00		00	260000	770000			
<i>(mesurer La Cote 171,3 mm Correcteur 03)</i>									
1120	G42			03	164000	729500			
1130		G01			162000	728000			
1140					159800	721612			
1150					168700	705000			
1160						688500			
1170		G00			166702	662950			
1180		G01			170721	655450			
1190		G00			180000	650000			
1200						440000			
1210					172000	430000			

1220	G01		170317	419000					
1230	G02		188317	410000	9000	0			
1240	G01		193000	411000					
1252	G00			422000					
1254			170450						
1255	G01		170317	415500					
1256	G02		181317	410000	5500	0			
1257	G01		191000						
1258	G00			418500					
1259			170450						
1260	G01		169917	412000					
1261	G02		173917	410000	2000	0			
1262	G01		195000						
1263	G00			370000					
1270			192000	362000					
1280	G01		189700	347653					
1300	G02		192379	342654	10000	0			

1310		G01			227405	312320					
1320		G03			230084	307321	-8660	-5000			
1330		G01			232000	298000					
1340	G40	G00			250000	300000					
1350				72							
1360				G92			110110	0			
(changement de position du porte-outil I = 110 mm)											
1370	G42			03	240000	115000					
1380					232000	100000					
1390		G01			230084	86651					
1410		G02			232763	81652	10000	0			
1420		G01			238140	77000					
1430					238740	76000					
1440						70000					
1450					238140	60790					
1460		G02			238539	59237	6000	0			
1470		G01			262350	14824					

1480	G02			300987	0	19319	5176			
1490	G01			425000						
1500	G40	G00		470000	300000					
1510				05						
<i>(changement d'outil T0811 largeur maxi de l'outil 5,000 mm)</i>										
1520				06						0811
1530				03	236000	299500			300	
1540	G01			228000				200		
1550		G04		2000						
1560	G00			00	340000					
<i>(mesurer la cote 228 mm Correcteurs 1011)</i>										
1570				03						0811
1580					236000	299500				
1590	G01			223500						
1600		G04		2000						
1610	G00			240000						
1620										0810

1630				236000	294350					
1640	G01			223500						
1650		G04		2000						
1660	G01				294500					
1670	G00			340000						
1680	G00	G40		500000	450000					
1690			00							0000

VI REMARQUES SUR LE LISTING

- En programmant la fonction G96 (vitesse de Coupe Constante), on a automatiquement des avances par tours (mm/tours) et des vitesses de coupe tangentielles (m/mn.)
- en fonction de la vitesse de Coupe programmée, la SINUMERIK détermine la vitesse de la broche Correspondante à chaque diamètre en Cours d'usinage. La relation entre le diamètre, la vitesse de broche et l'avance permet d'obtenir une adaptation optimale du programme par rapport à la machine, le matériau usiné et l'outil
- la fonction préparatoire G04 a été programmée sous l'adresse X en milliseconde dans le détail D pour obtenir un arrêt défini des entraînements d'avance (et Ceci pour bien finir la Coupe).
- Les coordonnées programmées pour l'opération de finition (côtes de finition) sont établies selon la tolérance exigée, on a programmé les côtes qui correspondent à la moitié de l'intervalle de Tolérance
- Pour la qualité de l'état de surface il est exigé des écarts moyens arithmétiques par rapport à la ligne moyenne de: $\sqrt{2.5}$ / $\sqrt{10}$ / $\sqrt{0.63}$
les 2 premiers peuvent être réalisés sur le tour lui-même car en tournage ordinaire on peut aller jusqu'à $\sqrt{1.6}$,
mais le 3^{ème} écart moyen doit être obtenu par rectification cylindrique, ainsi pour les surfaces où l'on exige un écart $\sqrt{0.63}$, on a prévu une surepaisseur de rectification d'environ 0,4 mm par rapport à la Côte Correspondante à la moitié de l'intervalle de Tolérance dimensionnelle.

CONCLUSION

- Au terme de cette étude qui demeure toutefois une entrée d'un domaine très vaste, malgré que son apparition soit très récente.
- nous avons éprouvé des difficultés Certes! et ceci est dû au fait que la Commande numérique était complètement étrangère par rapport aux étudiants du département de mécanique de l'E.N.P Car pendant tout le cycle de formation qu'on a reçu il n'a jamais été fait allusion à la technique de commande numérique des machines-outils donc on ne peut que suggérer l'insertion de cette partie importante de technologie de fabrication mécanique dans les cours de technologie d'exécution qui sont assurés au département.
 - Mais nous pensons avoir introduit par le biais de ce projet (1^{er} projet du type) cette nouvelle technique de pilotage des machines-outils qui est celle de la commande numérique au département de mécanique de l'école nationale polytechnique.
 - Je ne saurais terminer sans souhaiter la continuation de ce projet au cours des semestres à venir par des élèves ingénieurs qui s'occuperont de la partie active et de l'autre bout du cylindre sidérurgique, surtout que les responsables de notre atelier ont passé commande dernièrement pour l'acquisition de certaines machines-outils à commande numérique.

BIBLIOGRAPHIE

- "Commande numerique des machines-outils" par WILHELM SIMON
Biblio de l'ecole 62.52.SIM (EYROLLES)
- "theorie et pratique des systemes et langages de Commande numerique des machines-outils" H. Scubies-Comy (Radio)
- "Commande des machines-outils automatisees"
R. Touilliez, M. CHAPUIS, J.P. CROS (DELAGRAVE)
- "guide du Technicien en Fabrications mecaniques"
A. Chevalier / J. Bohan (HACHETTE TECHNIQUE)
- "ZASADY PROGRAMOWANIA OBRABIAREK STEROWANYCH NUMERYCZNIE" Par Centrum Badauczo-KONSTRUKCYJNE OBRABIAREK
- Catalogue de Programmation NC15 et NC5 de la firme allemande SIEMENS:
 - SINUMERIK GT pour Tour
 - SINUMERIK FM pour fraiseuse
- documentation technique sur les machines-outils a Commande numerique H. ERNAULT, SOMUA et OLIVETI

