

18/83

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ DES SCIENCES ET DE LA
TECHNOLOGIE HOUARI BOUMÉDINE

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

DÉPARTEMENT GÉNIE MÉCANIQUE

3ex

Projet de Fin d'Étude



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

Proposé par

Le Docteur Ingénieur
MAREK BALAZINSKI

Étudié par

N- CHARIKHI

Promotion Janvier 1983

Remerciements

Je tiens à remercier l'ensemble des enseignants qui ont contribué à ma formation et en particulier à M^r MAREK BALAZINSKI pour les judicieux conseils et son suivi lors de mon travail.

Mes remerciements vont également à tous qui ont contribué à l'élaboration de ce projet et en particulier à M^r OUZZINE Abderahmane et M^r Mohamed OUAGAGUI qui ont fait preuve d'un attachement inlassable.

Dédicaces

A

Mes parents, je dédie ce modeste travail

N. Charikhi

Introduction :

Le présent sujet a pour but l'étude et la réalisation du programme d'usinage d'un élément de machine dans le système de commande SINUMERIK 7T.

L'élément de machine en question est un cylindre de laminoir sidérurgique utilisé pour la fabrication de tôles planes dont les épaisseurs peuvent varier entre 2 et 5 mm.

L'utilisation de la commande numérique pour l'usinage de cette pièce se justifie par la précision exigée, la souplesse dans la fabrication (possibilité de modification de la pièce en agissant uniquement sur le programme) et l'économie du temps de fabrication. Signalons enfin que la fabrication des cylindres se situe dans le domaine des moyennes séries.

Dans une première partie du travail nous avons présenté de manière générale le système de commande SINUMERIK 7T avec les différentes fonctions utilisées dans le programme, une deuxième partie a été consacrée à la présentation de la méthode entreprise pour la réalisation du programme moyennant du dessin de définition de la pièce conçu dans le bureau d'études.

Le choix de l'outillage et des conditions de coupe a été fait en prenant les recommandations de COROMANT comme point de départ.

GENERALITES SUR LA COMMANDE NUMERIQUE

I.1. HISTORIQUE:

Les premières machines à commande numérique ont été créées en 1943 et furent commercialisées en 1958.

Leur développement fut très rapide à partir de cette date. Elles étaient destinées à faire des usinages difficilement réalisables sur les machines conventionnelles, mais ce n'est que quelques années plus tard qu'on a recherché à réduire le temps de préparation et d'usinage afin d'améliorer leur productivité.

La difficulté pour les premières machines résidait au niveau de la combinaison du mouvement de l'outil par rapport à la pièce de manière à donner à l'outil une trajectoire définie au préalable.

Les déplacements des organes mobiles se font automatiquement et simultanément sur plusieurs axes de la machine (longitudinale et transversale et verticale). L'usinage ainsi réalisé est dit travail en contourage.

Les déplacements des organes mobiles sont souvent réalisés parallèlement aux axes principaux de la machine.

I.2. DEFINITION:

La commande numérique d'une machine outil est l'automatisation des déplacements de l'outil sur plusieurs directives de l'espace à partir d'instructions numériques codées. Un système à commande numérique est constitué essentiellement d'une machine outil associée à un directeur de commande.

La fonction du directeur de commande est le traitement des informations codées.

- a. Dérouler la bande d'une longueur déterminée
- b. Analyser les informations contenues dans le programme et détecter éventuellement les erreurs dans ce programmation qui peuvent se produire.

I.3. PRINCIPES D'UNE COMMANDE NUMERIQUE.

Les machines à commande numériques sont bien souvent multifonctionnelles et regroupent les possibilités des machines outils classiques telles que les perceuses, taraudeuses, aléseuses etc... Leur automatisme est souple, adaptatif et variable. Les mouvements relatifs des outils et des pièces ne sont pas figés dans le temps, mais peuvent s'adapter aux problèmes d'usinage très divers qui se présentent.

Elles diffèrent des machines transferts, des machines à commandes programmées et des machines à programmation numériques.

Ce qui constitue le caractère fondamental de la commande numérique c'est l'automatisme ou le semi-automatisme de l'exécution des instructions et non pas seulement la forme numérique ou symbolique sans laquelle on les exprimes.

Enfin, on envisage une optimisation plus complète encore des machines, dans lesquelles interviendraient les fréquences et les amplitudes des vibrations de certains organes, les contraintes ou les déformations, la température des arêtes de coupe etc.....

I.4. EVOLUTION DES M.O.C.N

L'apparition de la commande numérique est bien plus qu'un événement technique; elle a apportée une transformation complète dans les méthodes de travail des constructions de petites séries. Pour mesurer son expansion, les statistiques ne donnent que des informations peu précises; certaines administrations ont attendu plusieurs années avant de distinguer les machines traditionnelles de celles qui sont équipées d'une commande numérique.

L'évolution des machines à commande numérique est partagée en trois périodes marquées par le développement en matière de programmation et de l'informatique.

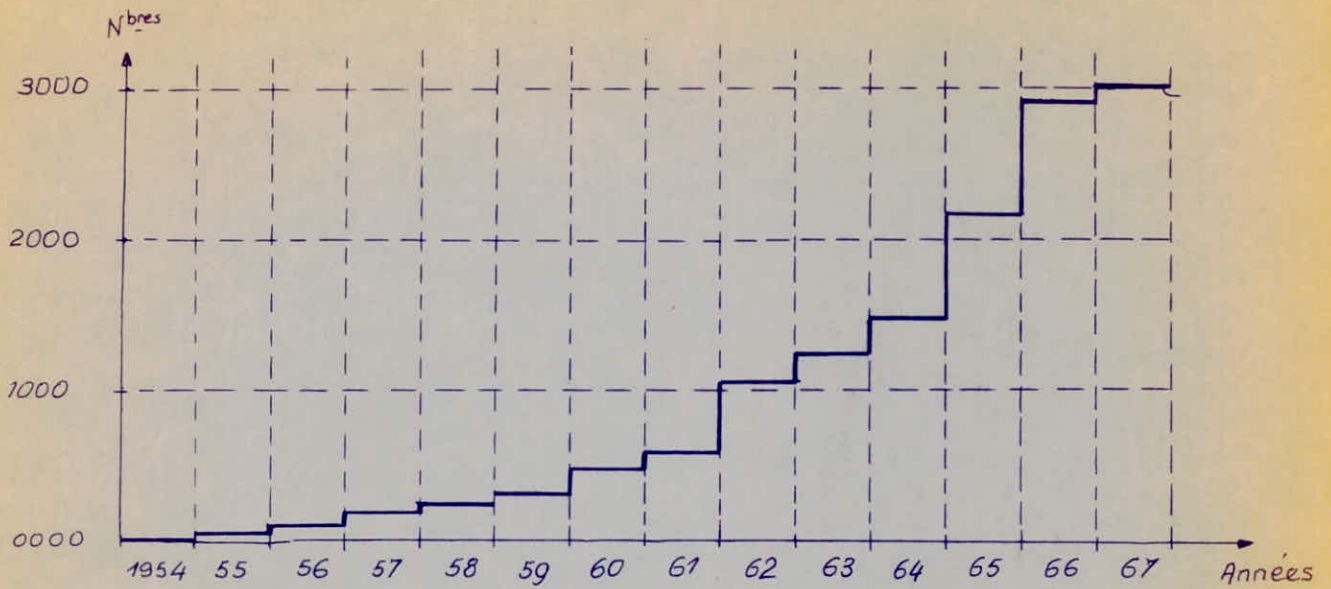
1) Apparition des fraises à commande numérique entre 1943 et 1945. Ces machines étaient destinées pour les pièces de petites et moyennes dimensions

2) Apparition des perceuses alésoise de toutes dimensions travaillant "de point à point" entre l'année 1950 et 1960.

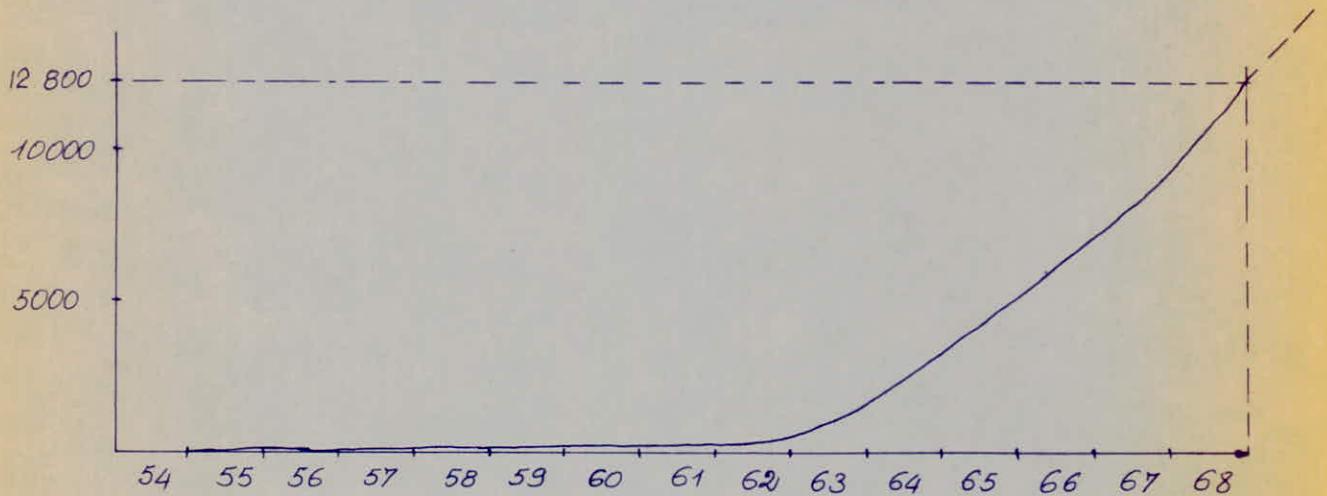
3) Développement des machines travaillant en contournage et des machines "point à point" à partir de l'année 1960.

Enfin de donner une idée globale sur l'évolution de M.O.C.N. nous donnons quelques graphiques résumant l'utilisation et la production de ces machines dans divers pays.

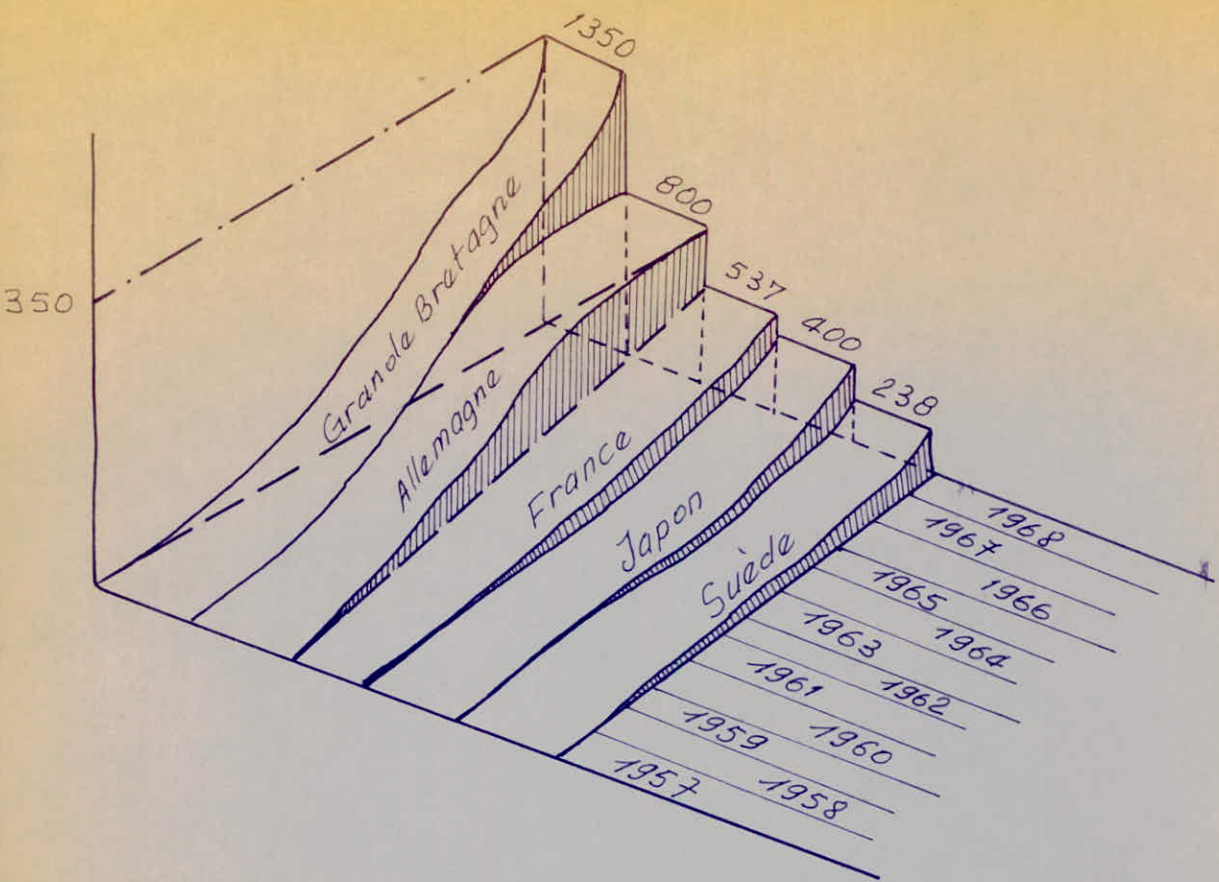
On trouvera dans les graphiques suivants quelques renseignements caractérisant l'évolution de la commande numérique dans les principaux pays occidentaux.



- Quantité de machines à Commande numérique produites annuellement aux U.S.A.



- Quantité totale de machines à commande numérique en service aux U.S.A.



- Quantité totale de machines à commande numérique en service dans divers pays.

CHAPITRE II

STRUCTURE GENERALE D'UNE COMMANDE NUMERIQUE

Un équipement complet de commande numérique comprend:

- Une machine outil avec support de pièce et support d'outil.
- Des moteurs destinés à l'entraînement des organes mobile (table et porte pièce ou support d'outil).
- Un directeur de commande qui après lecture des instructions de travail, agit sur les moteurs d'entraînements des organes mobiles et assure la mise en œuvre des fonctions la mise en œuvre des fonctions annexes (Vitesse d'avances, vitesse de broches, Changements d'outils etc....).

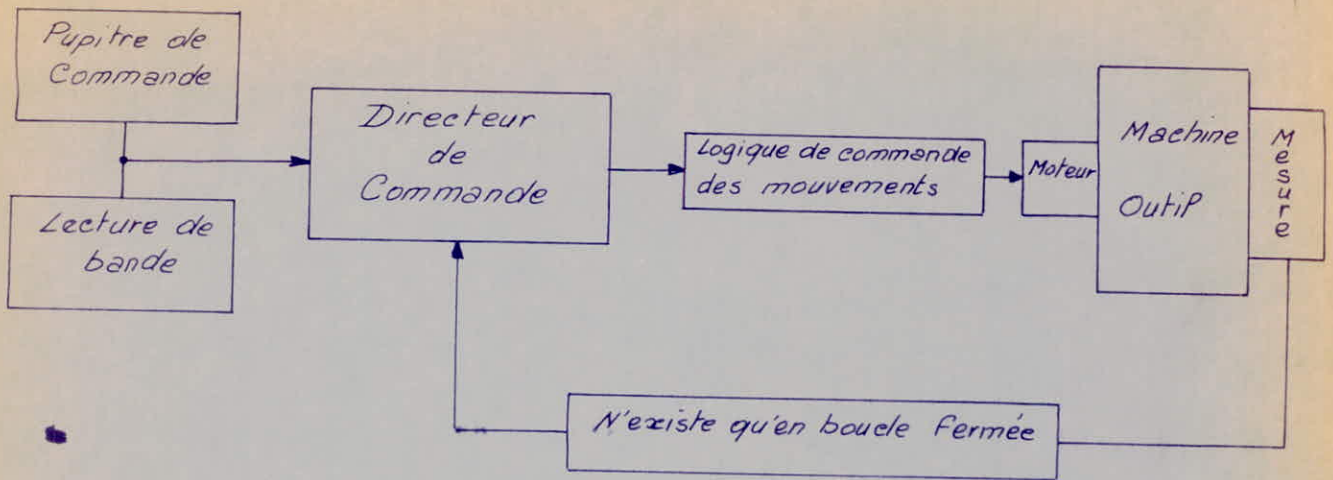
2.1- FONCTION DU DIRECTEUR de commande.

Le directeur de commande procède dans un premier temps à la lecture des informations de travail et à leur mise en mémoire. Dans un deuxième temps il délivre des ordres qui assureront le pilotage des organes mobiles et la mise en œuvre des fonctions annexes.

On distingue deux grandes catégories de machines outils à commande numérique; celles travaillant en "boucle ouverte" et celles travaillant en "boucles fermées".

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

Le schéma donne une représentation générale d'une commande numérique.

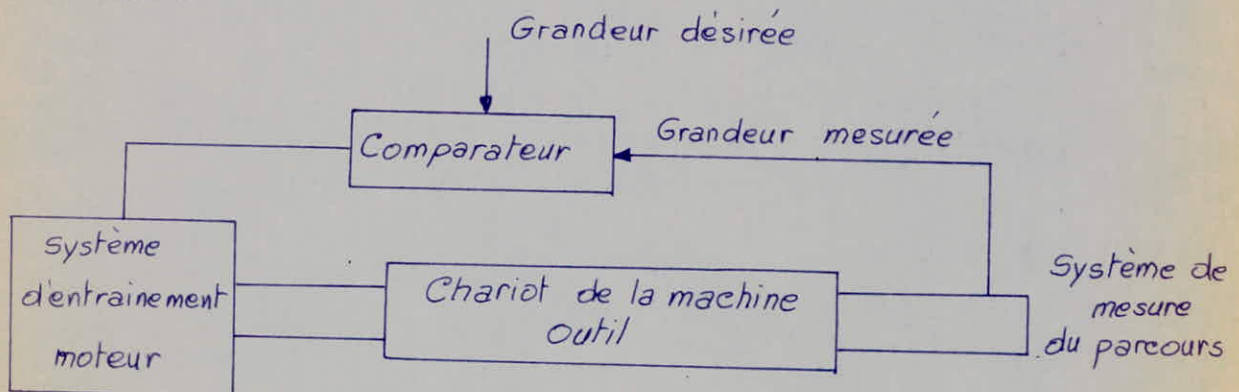


2.2. EXECUTION ET CONTROLE DE TRAVAIL EN BOUCLE FERMEE

Dans cette méthode, il y a contrôle du déplacement ou de la position des organes mobiles.

La chaîne de commande comporte par rapport à celle de la boucle ouverte deux éléments supplémentaires.

1. Le système de mesure du parcours ou de la position qui est fixée sur la machine.
2. Un comparateur qui établit une comparaison entre les informations d'entrées et la grandeur mesurée par le système de mesure.



S'il y a une différence entre l'information d'entrée et la grandeur mesurée, un signal d'erreur est envoyé au moteur d'entraînement. Celui-ci entre en fonctionnement jusqu'à ce qu'il y ait coïncidence entre les deux grandeurs précitées.

- Les ordres ne sont pas reçus par la bande perforée, mais du directeur de commande qui assure la mise en forme de ceux-ci.
- La boucle fermée équipe la majorité des machines à commande numérique. Elle est satisfaisante quant à la précision obtenue, mais elle reste coûteuse du fait de la complexité du système.

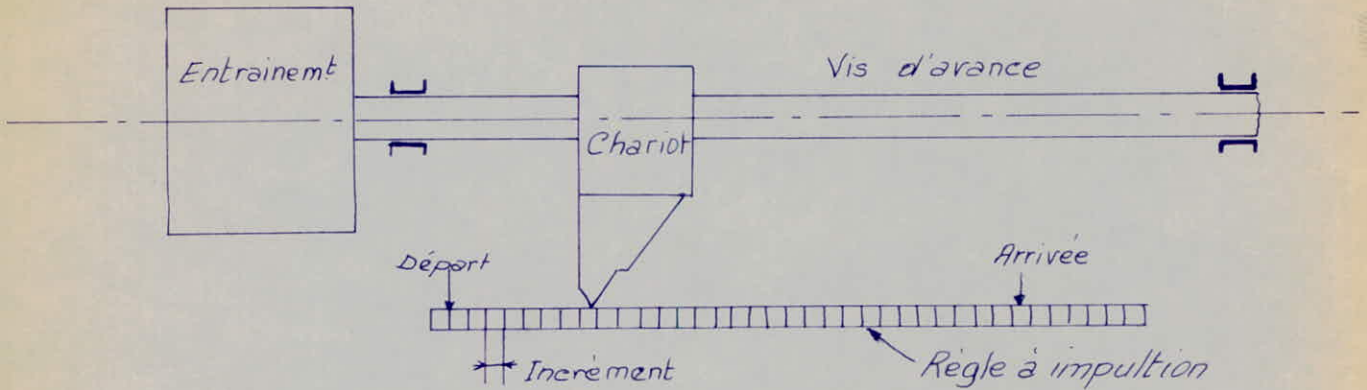
2.3- CONTROLE DES DEPLACEMENTS:

2.3-1- Mesures des déplacements en boucle fermée. Les dispositifs de mesure dont sont équipés les machines outils à commande numérique sont de deux types.

- a) Mesure digitale ou numérique
- b) Mesure analogique.

2.3-1.1. Mesure par captage d'impulsions en mesure digitale incrémentale. Le déplacement de l'organe porte pièce d'un point vers un autre est décomposé en un certain nombre de déplacements élémentaires juxtaposés appelés incréments (0,01 à 0,02 mm) suivant les machines outils. Le nombre de déplacements élémentaires est compté entre les points de départ et d'arrivée, une impulsion électrique est émise chaque fois que l'organe mobile se déplace d'un incrément. Les impulsions sont enregistrées par un compteur qui les décompte du nombre d'impulsions correspondant à la cote à obtenir. Lorsque le compteur arrive à zéro, il y a arrêt de l'organe mobile.

On utilise des compteurs linéaires avec règles à impulsions fixés directement sur le bâti de la machine et des capteurs rotatifs d'impulsions montés en bout des vis d'entraînement des organes mobiles.



2.3.1.2. *Mesure analogique*: La mesure analogique des déplacements des organes mobiles est représentée par une grandeur physique (tension électrique) qui varie proportionnellement et de façon continue d'un point de départ au point d'arrivée. Les signaux sont transmis par des courants et non par des impulsions. Les ordres numériques provenant du ruban perforé doivent être transformés en signaux analogiques. Ces transformations sont assurées par un convertisseur numérique analogique.

Le système à mesure analogique permet la poursuite d'un programme après une panne de courant ou une interruption, la précision et la fiabilité sont excellentes. Ces dispositifs sont simples de mise en œuvre, peu coûteux en eux-mêmes et précis. Ils nécessitent cependant des convertisseurs qui viennent limiter leurs possibilités.

Ces convertisseurs sont des dispositifs coûteux s'ils sont précis. Il en résulte que ces capteurs ne sont utilisés que sur les machines de précision.

2.4. ORGANES D'ENTRAÎNEMENT DES CHARIOTS.

Le déplacement des organes mobiles est assuré par moteurs. Ces derniers, dans le cas le plus général, entraînent en rotation une vis assure les déplacements en translation des chariots.

Il est demandé à ces moteurs les performances suivantes :

- Couple d'entraînement important, même à faible vitesse.
- Inertie très faible pour répondre rapidement aux ordres de commande (l'accélération et la décélération étant gérées par le D.C.N).
- Vitesse très stable vis à vis des variations de couples.

Les principaux moteurs employés sont :

- Vérins hydrauliques.
- Moteurs hydrauliques rotatifs.
- Moteurs électriques à courant continu.
- Moteurs à impulsions dits pas à pas montés directement en bout de vis, ou entraînant des amplificateurs de couples hydrauliques.

2.4.1. Vérins hydrauliques.

Ils sont utilisés sur machines outiles à effort de couple stable. Ils sont souvent montés sur perceuses et unités d'usinage.

On les rencontre beaucoup moins en fraisage. Le débit est directement transformé en un mouvement de translation. Peu employés, leur utilisation est limitée aux petites machines.

2.4.2. Moteurs hydrauliques rotatifs:

Ce sont des moteurs volumétriques utilisés lorsque le couple d'entraînement à fournir est important. Ils peuvent se monter directement en bout de vis. La commande du moteur est souvent assurée par servovalve. Les moteurs hydrauliques peuvent être à pistons radiaux ou à pistons axiaux.

2.4.3. Moteurs électriques à courant continu:

Ils sont employés généralement sur machines outils ne nécessitant qu'un faible couple d'entraînement pour les vitesses de travail ou de mise en position (tours, perceuses légères).

Des modifications importantes ont été apportées à ces moteurs, dans le but:

- D'autoriser une diminution des moments d'inertie.
- De permettre des vitesses lentes.
- D'obtenir un couple de démarrage important.

2.4.4. Moteurs pas à pas:

Ils sont principalement utilisés sur machines à commandes numériques travaillant par comptage d'impulsions et ayant un faible couple d'entraînement à fournir.

Pour chaque impulsion reçue le moteur "pas à pas" tourne d'une valeur fixe, le passage d'un pas au suivant se traduit par le déplacement de l'organe mobile en "saccade", il peut y avoir incidence de ce phénomène sur l'état de surface obtenu. Ils assurent la vitesse de travail ou de mise en position.

Dans le but d'obtenir des déplacements rapides, ils sont parfois associés à des moteurs asynchrones; le moteur

pas à pas assure alors la seule fonction de positionnement précis. On les trouve encore associés à un moteur hydraulique, pour obtenir une augmentation du couple d'entraînement.

Le développement des moteurs pas à pas est important.

CHAPITRE III

CLASSIFICATION DES MACHINES OUTILS A COMMANDE NUMERIQUE

Il est possible de classer les machines outils à commande numérique en deux grandes catégories :

- Machines sur lesquelles aucune coordination entre les déplacements des organes mobiles n'est assuré; seul un positionnement d'outil ou de pièce est recherché (Commande numérique point à point).

- Machines sur lesquelles une coordination entre les déplacements des organes mobiles est assurée; un contrôle continu de la trajectoire de la pièce par rapport à l'outil est recherchée. (Commande numérique de contournage).

Les machines du premier groupe comporte deux classes :

a) Machines sur lesquelles l'outil ne traverse jamais pendant les déplacements.

b) Machines sur lesquelles l'outil travaille pendant les déplacements: ceux-ci restent parallèles aux axes principaux de la machine. (Commande numérique paraxiale).

Enfinement on a trois types de commande numériques :

- Commande numérique point à point

- Commande numérique paraxiale

- Commande numérique de contournage.

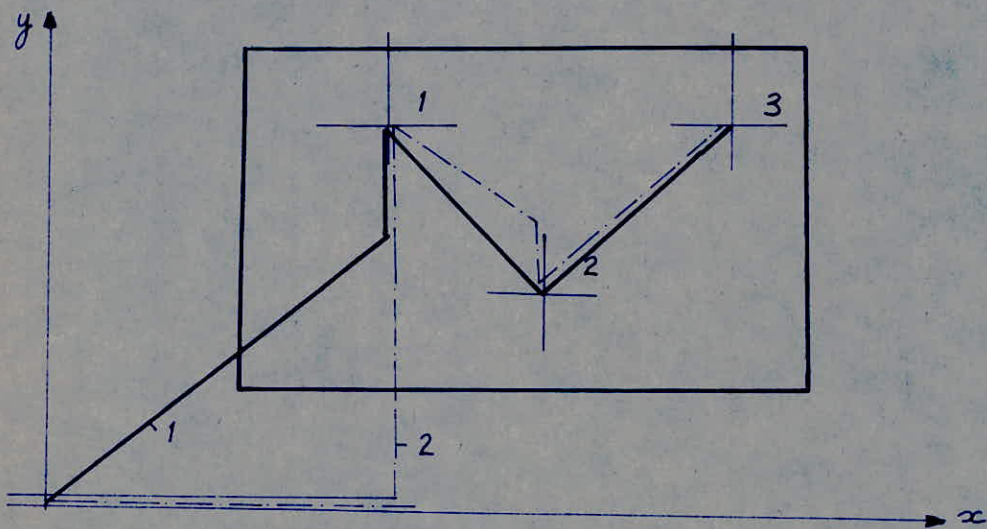
3-1 COMMANDE NUMERIQUE POINT A POINT.

Dans le mode de commande, l'outil est commandé uniquement pour sa mise en position sans qu'il y ait usinage.

La mise en route de l'usinage n'a lieu que lorsque l'organe mobile est atteint sa position.

La commande point à point est surtout utilisée en :

- Perçage.
- Pointage.
- Alésage.
- Taraudage.



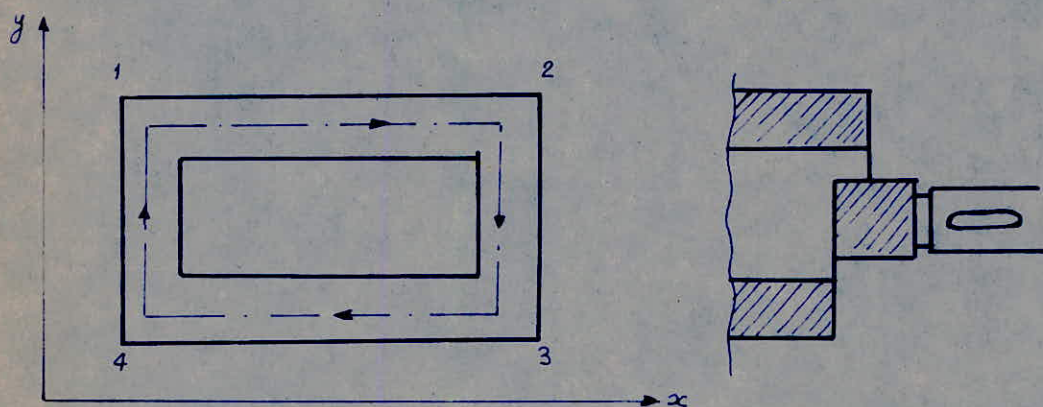
La trajectoire de l'outil aller d'un point à un autre est quelconque. Seul le point d'arrivée est pris en considération.

3.2. COMMANDE NUMERIQUE PARAXIALE

Ce type de commande dérive du point à point, sa particularité est due au fait que le déplacement de l'organe mobile soit contrôlé suivant un axe, les autres étant bloqués.

Contrairement à la commande point à point, ce mode permet l'usinage pendant le déplacement de l'outil d'une position à un autre de l'axe.

Certains machines ont la possibilité d'assurer des usinages suivant les droites inclinées à 45° par déplacement synchronisé des deux chariots.



3.3 COMMANDE NUMERIQUE DE CONTOURNAGE.

Cette forme est la plus évoluée de la commande numérique, elle permet d'obtenir des déplacements coordonnés et simultanés des organes mobiles sur plusieurs axes.

Suivant la nature du directeur de commande, on distingue deux types de commande.

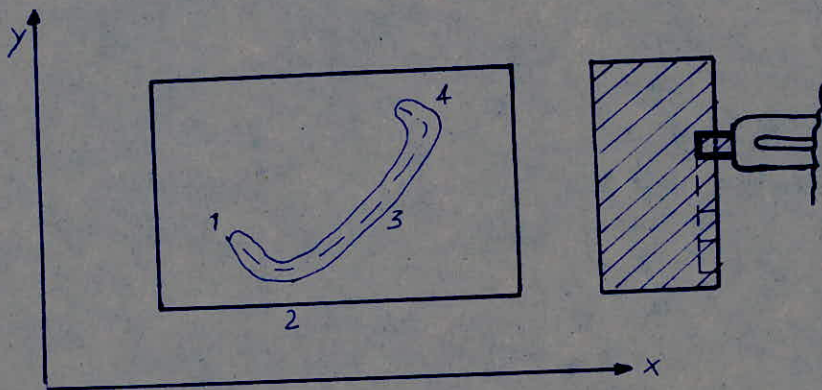
3.3.1. SANS INTERPOLATEUR.

Tous les déplacements élémentaires sont calculés avant l'entrée

dans le D.C.N. Dans ce cas, on utilise la bande magnétique comme support de l'information ; une grande densité d'information est en effet nécessaire.

3.2.2. AVEC INTERPOLATEUR.

La trajectoire est décomposée en segments de droite. On introduit les caractéristiques des segments, et le D.C.N. calcule tous les points intermédiaires ceci dans le cas d'un interpolateur linéaire.



L'outil peut suivre une courbe quelconque. La vitesse le long de cette dernière est sous contrôlée.

CHAPITRE 4

COMMANDE NUMERIQUE ET MACHINE-OUTIL

4.1. SOLUTIONS MECANQUES ADOPTÉES SUR MACHINES-OUTILS

A COMMANDE NUMERIQUE.

De nombreuses qualités sont exigées des machines-outils à commande numérique.

Ces exigences intéressent à la fois l'électronique et la mécanique.

Le soin apporté à la réalisation de la partie mécanique intervient d'une façon prépondérante quant à la qualité des résultats.

Il est nécessaire d'obtenir :

- Des machines puissantes, robustes, résistantes à l'usure et conservant leurs qualités dans le temps.
 - Des déplacements précis et rapides avec accélérations et décélérations importantes.
 - Des organes mécaniques offrant des possibilités de rattrapage de jeu aisé.
 - Un comportement sûr et fiable; les ordres donnés doivent s'exécuter sans défaillance.
 - Une faible inertie des organes mobiles.
 - Des avancements des chariots réalisés avec douceur et sans saccades.
 - Des accortages de chariots précis quelque soit le sens des déplacements.
 - Des surfaces usinées répondant à des spécifications métrologiques serrées.
- Il faudra pour se faire réduire à une valeur minimale.
- Les frottements.

- Les jeux.
- Les déformations élastiques.
- Les vibrations.
- Les températures de fonctionnement.

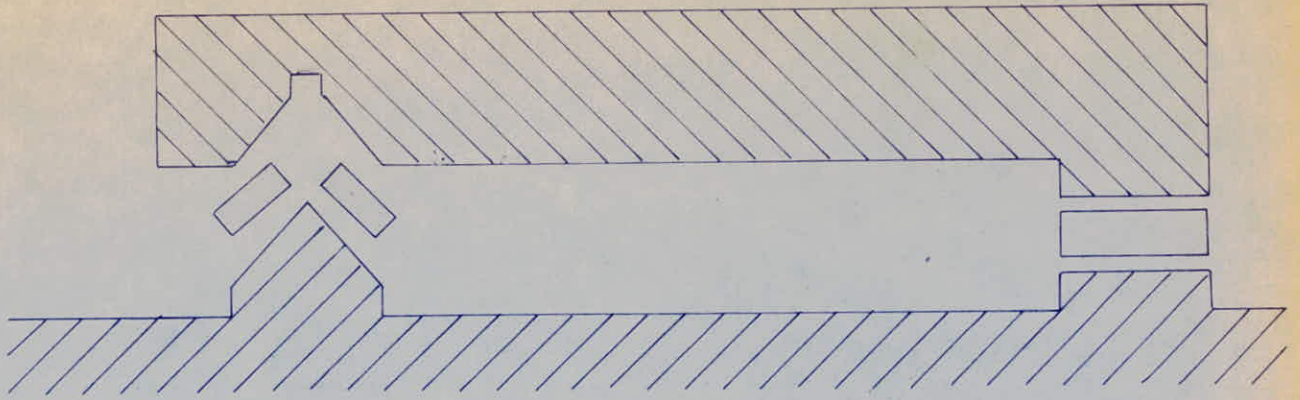
Les solutions indiquées ci-après permettent d'atteindre en partie ces objectifs.

4.2. GLISSIÈRES :

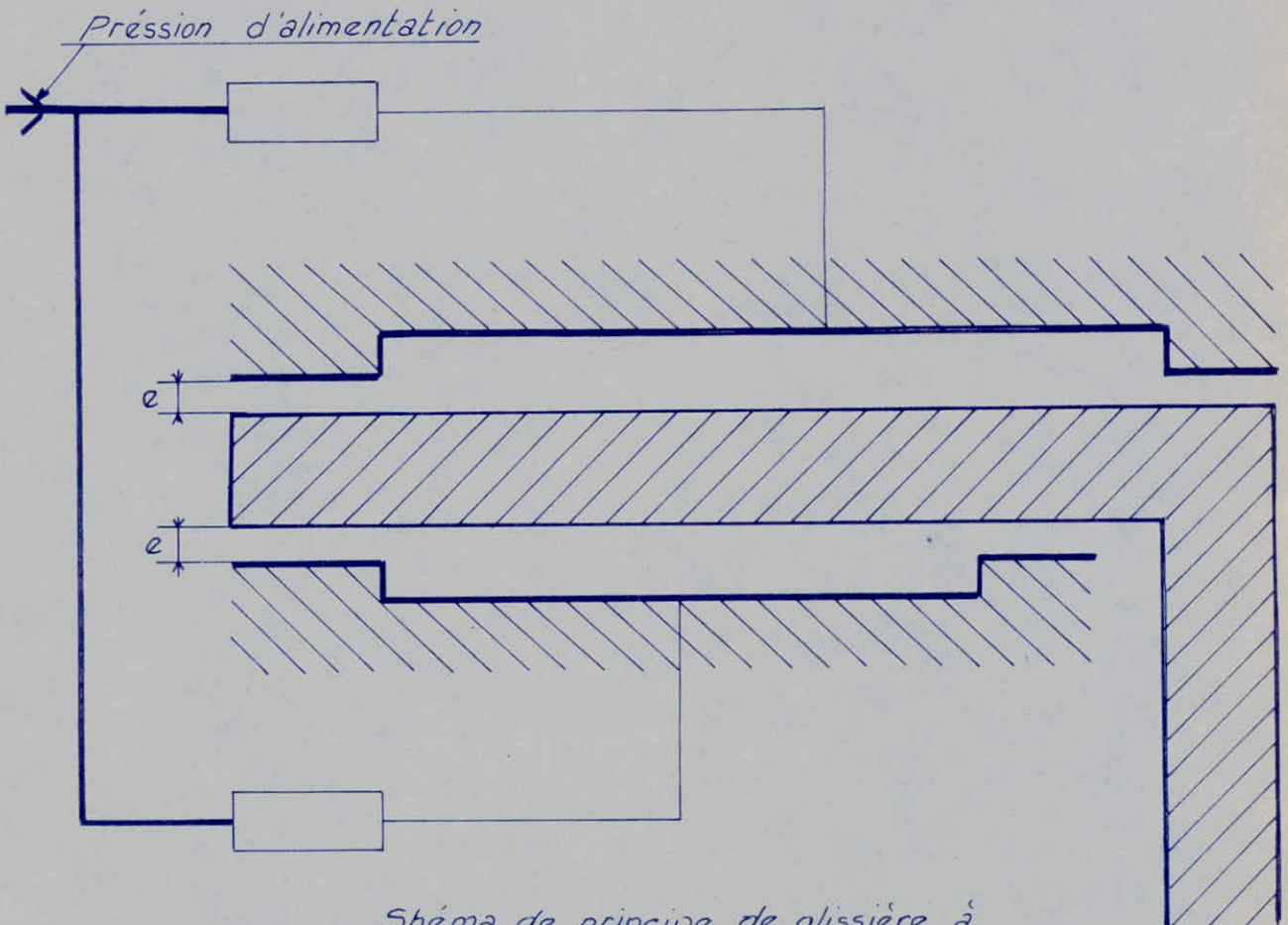
Les glissières traditionnelles (avec frottement solide) sont parfois remplacées par des glissières à galets, hydrostatiques, aéro-statiques.

Ces solutions permettent de réduire le phénomène de «Stick-Slip» (avancement d'un chariot par saccades).

Les bandes de guidage sont souvent en acier traité rapportées et rectifiées. Des garnitures rapportées en divers matériaux à faible coefficient de frottement (matière plastique) sont aussi parfois utilisées.



Glissière à galets



Shéma de principe de glissière à hydrostatique.

e = épaisseur du film d'huile

L'adoption de ces solutions permet une réduction notable des frottements et il en résulte d'une façon générale.

- Une résistance à l'usure accrue.
- Des échauffements moindres
- Une précision supérieure
- Des efforts d'entraînement des chariots réduits.

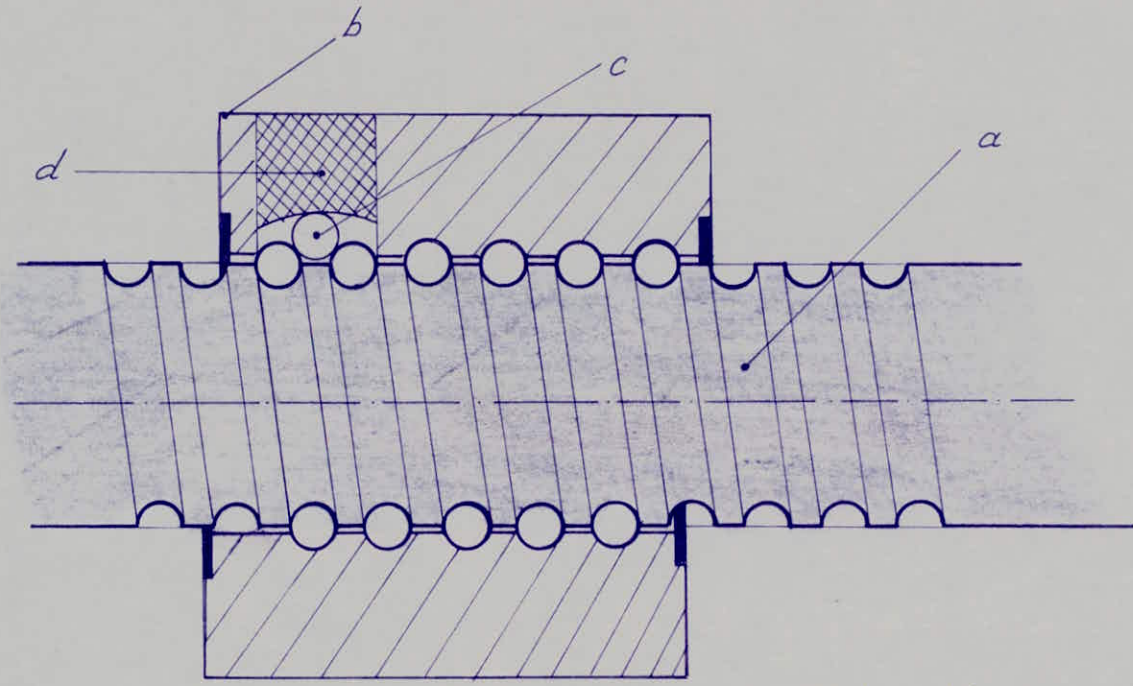
4.3. COMMANDE DES CHARIOTS:

La commande des chariots est assurée par dispositif vis et écrou à rattrapage de jeu.

Les vis à bille sont très utilisées sur machines-outils à commande numérique.

On substitue une résistance au roulements à une résistance au frottement grâce à des billes placées dans les rainures hélicoïdale de la vis et de l'écrou.

La précision, la fidélité et le rendement de ces vis sont très intéressants.



A l'intérieur de l'écrou (b) on trouve des rainures (d) qui assurent le transfert des billes (c) ces dernières circulent constamment en circuit fermé.

5. INTERET DE LA COMMANDE NUMERIQUE.

5.1. ASPECT ECONOMIQUE DE LA FABRICATION EN COMMANDE NUMERIQUE

5.1.1. Augmentation de la productivité:

Sur les machines à commande numérique les opérations s'enchaînent sans que l'opérateur ait à intervenir pour assurer:

- Les mises en position manuelles d'outils ou de chariots portes-pièces.
- Les contrôles ayant trait aux surfaces engendrées.
- Les blocages d'organes mobiles

Ces interventions qui affectent le rapport temps de coupe sur temps machine, sont supprimées.

Les montages d'ablocage étant généralement simples, le temps de chargement et de déchargement des pièces se trouve réduit par rapport aux machines outils classiques.

Le choix des conditions de coupe et de l'enchaînement des opérations d'usinage étant fait d'une façon rigoureuse, il en résulte une diminution non négligeable des temps copaux.

L'équipement et la préparation des machines en vue d'une fabrication donnée étant réalisée presque entièrement en dehors de la machine, elles ne se trouvent pas de ce fait immobilisées, et il en résulte un accroissement très sensible de leur productivité.

Il est admis que le temps de coupe peut atteindre 80% du temps d'occupation machine, contre 30% sur machine conventionnelles.

5.1.2. REDUCTION DES FRAIS D'OUTILLAGE.

Il y'a toujours lieu en commande numérique, d'abloquer, de mettre en position et de dégauchir les pièces à usiner, mais cette forme d'automatisme dispense d'une grande partie des outillages

destinées au montage des pièces et au guidage des outils.

Il n'y a plus nécessité de concevoir, de dessiner, réaliser, manipuler, stocker et entretenir des gabarits et montages d'usinage souvent complexés.

Ces possibilités autorisent, en plus d'économie importantes, le démarrage rapide d'une nouvelle production, le temps qui s'écoule entre la conception d'un produit et sa mise en vente sur le marché se trouve fortement réduit.

5.1.3. UNIVERSALITE DES MACHINES A COMMANDE NUMERIQUE.

Les machines outils à commande numérique sont souvent multifonctionnelles, ce qui permet de regrouper sur une même machine un grand nombre d'opération d'usinage.

Cet universalité permet de réduire les manutentions, le nombre de montages, les reprises de pièces, le nombre de phases d'usinages, et diminue également le nombre de machines outils à utiliser ainsi que la surface au sol qu'elles occupent.

5.1.4. COUT DES CONTROLES :

Si la programmation est correcte, l'usure des outils normale, il suffira dans des nombreux cas de vérifier la première pièce seulement. La fidélité de la machine permettra tout au moins de réduire notablement la fréquence des vérifications. Les frais de contrôle en seront diminués d'autant.

5.2. FABRICATION :

5.2.1. REBUTS :

De nombreux rebuts proviennent d'erreurs faites par l'opérateur; la commande numérique élimine totalement cet inconvénient. La répétabilité de l'usinage facilite l'interchangeabilité

de la pièce. Ce phénomène est particulièrement marqué pour les pièces complexes, délicates à contrôler et nécessitant une attention soutenue de la part de l'opérateur.

5.2.2. SOUPLESSE D'EXECUTION :

Les pièces mécaniques sont souvent l'objet, au cours de leur production, de modification de forme (surtout lorsqu'elles se trouvent au stade de leur mise au point).

La commande numérique que permet de procéder facilement à ces modifications, car il est beaucoup plus simple de modifier un programme qu'un outillage. Cet avantage est particulièrement marquant lors de l'exécution des prototypes.

5.2.3. LIBERTE DE CONCEPTION DES PIECES :

Le travail en contournage permet l'usinage de pièces très complexes irréaliables jusqu'alors. Il devient possible et rentable de tailler des pièces directement dans la masse, ce qui supprime bien souvent de long et coûteux travaux d'assemblage.

Le bureau d'étude peut trouver ainsi une grande liberté quant à la conception de la pièce.

5.2.4. PRIX D'ACHAT DES M.O.C.N. :

Les machines outils à commande numériques sont plus coûteuses à l'achat que les machines outils conventionnelles (50 ÷ 75% de plus).

Leur installation dans un atelier entraîne un accroissement très important des investissements.

5.2.4. FRAIS D'ENTRETIEN :

Les frais d'entretien sont élevés. Il y a lieu de s'assurer le concours de techniciens spécialistes en électronique et en

hydraulique. Un entretien préventif très sérieux semble indispensable.

5-3-COMMANDE NUMERIQUE ET ENVIRONNEMENT:

Pour apprécier pleinement les avantages de la commande numérique, il faut lui assurer un environnement adéquat qui portera sur:

- Le service de programmation avec des programmeurs compétents et un équipement adapté (calculatrices de bureau, perforatrice, ordinateur). Le service de programmation est souvent adjoint au bureau des méthodes, et c'est habituellement lui qui modifie la cotation conventionnelle des dessins pour l'adapter à la commande numérique utilisée.

- Le service des outils coupants qui procédera au choix des outils, à la mise au point d'un standart et au préréglage des outils. Le préréglage des outils permet une amélioration de la productivité.

5.4. CONDUITE DES MOCN:

Les machines outils à commande numérique n'exigent pas, pour leur conduite, un personnel de haut niveau professionnel.

L'opérateur se voit confier un matériel extrêmement coûteux qu'il devra surveiller avec une attention soutenue. L'habileté manuelle n'est pas exigée de lui mais ses qualités intellectuelles sont prépondérantes.

5.5. REMARQUES GENERALES:

Pour optimiser la rentabilité d'une machine à commande numérique, on peut:

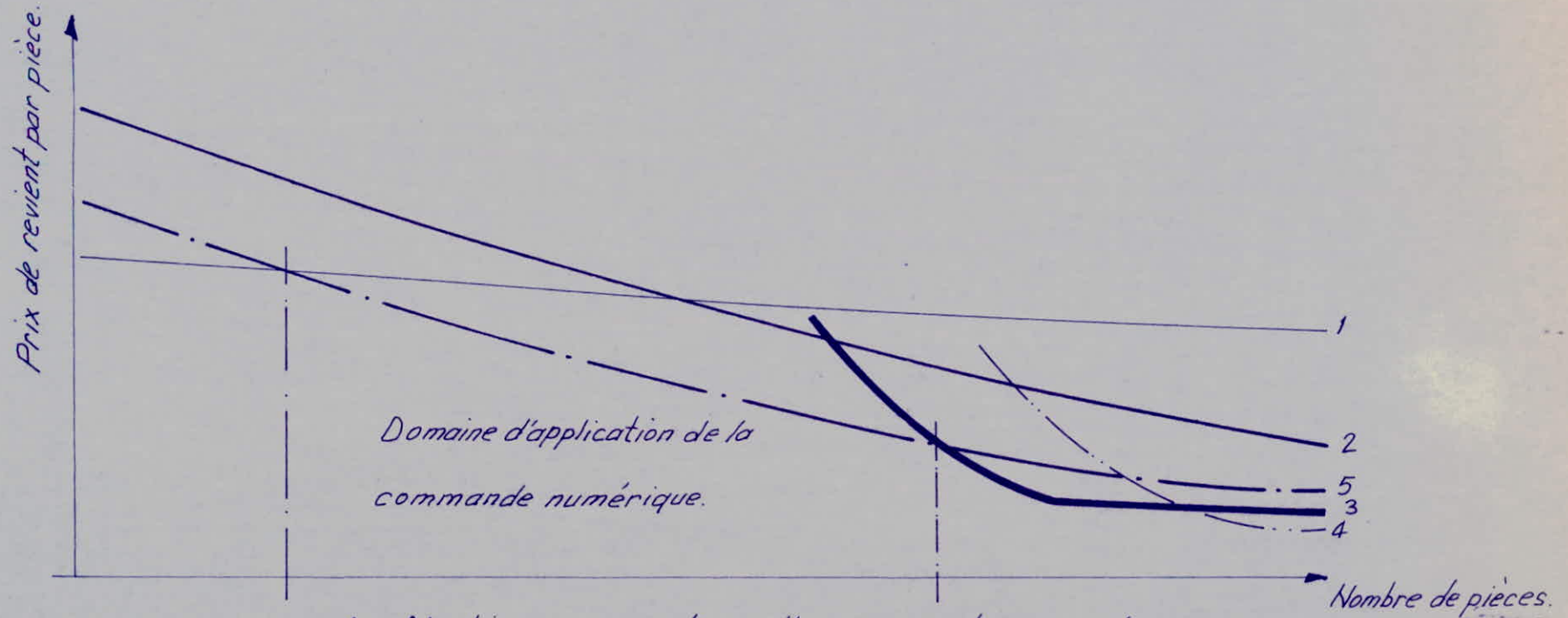
- Faire conduire plusieurs machines par un même opérateur.
- Travailler en pendulaire; la machine comporte deux postes d'usinage et l'opérateur procède au chargement d'un poste pendant qu'une pièce est usinée sur l'autre.
- Utiliser la machine d'une façon intensive en travaillant avec deux ou trois équipes.

5.6. DOMAINE D'APPLICATION DE LA COMMANDE NUMERIQUE

Le domaine d'application des machines outils à commande numérique est déterminé essentiellement à partir de deux paramètres:

- Le nombre de pièce à réaliser dans une série et la répétition de la fabrication pendant une année.
- L'importance et la complexité de la pièce à réaliser.

Des données statistiques permettent de tracer des courbes donnant le prix de revient par pièce en fonction de l'importance de la série.



- 1 - Machines conventionnelles sans outillage spécial.
- 2 - Machines conventionnelles avec outillage spécial.
- 3 - Machines spéciales.
- 4 - Machines transferts.
- 5 - Machines-outils à commande numérique.

CHAPITRE 5

CARACTERISTIQUES DU SYSTEME DE COMMANDE «SINUMERIK 7T»

Le système de commande permet le contournage suivant deux axes de coordonnées : X et Z.

— L'axe Z coïncide avec l'axe de rotation de la broche.

— L'axe X forme un angle de 90° avec l'axe Z dans le plan horizontal.

Les valeurs des coordonnées pour Z augmentent de façon positive suivant le sens qui va du mandrin vers l'outil.

L'origine de l'axe X est en pratique située sur l'axe de rotation, ceci est une obligation avec la vitesse de coupe constante.

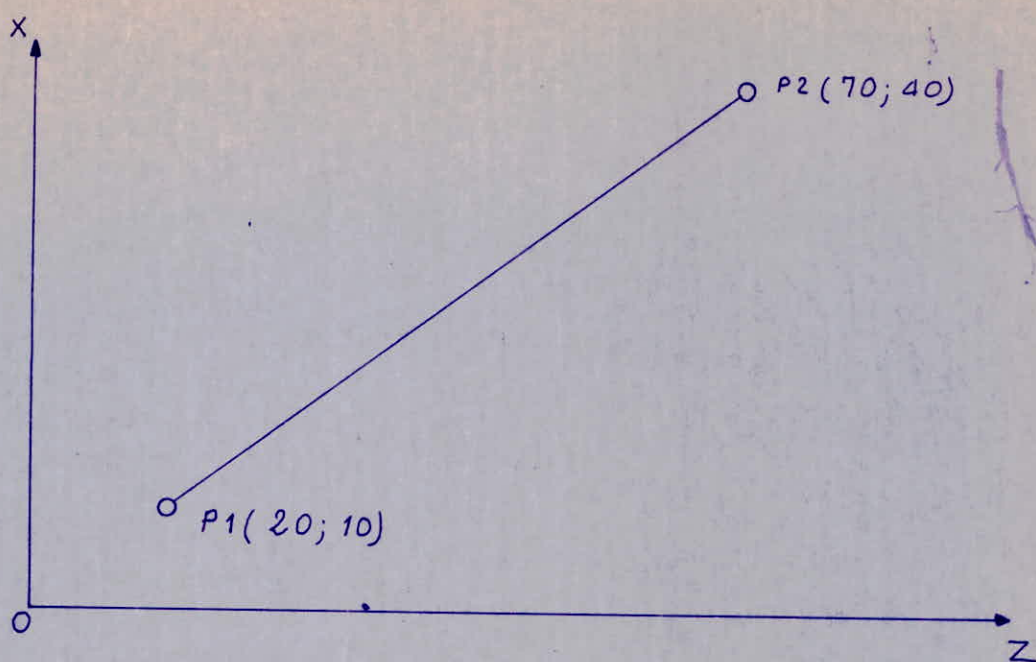
A une augmentation positive des valeurs de coordonnées correspond donc un accroissement du diamètre.

L'origine des coordonnées est située dans le mandrin.

Le système de commande "Sinumérisk 7T" comprend des fonctions préparatoires désignées par la lettre G, et des fonctions auxiliaires désignées par la lettre M permettant l'arrosage, l'arrêt de la machine, la mise en rotation de la broche etc.....

5_1. INTERPOLATION LINEAIRE : G01

Cette fonction permet le déplacement, sous l'avance programmée, de l'outil dans une direction quelconque du plan formé par l'axe X et l'axe Z.



Exemple de programmation pour le déplacement de l'outil à partir de la position $P_1(20; 10)$ à la position $P_2(70; 40)$ en cotation absolue.

`N18 G01 X 40000 Z 70000`

Les valeurs des coordonnées sont exprimées en mm.

5-2- INTERPOLATION CIRCULAIRE: G02 et G03.

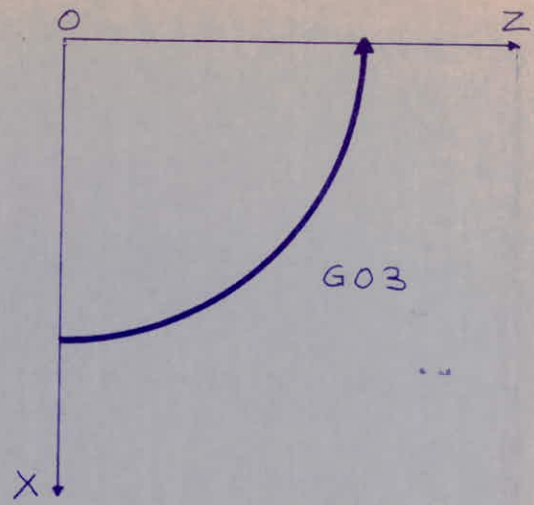
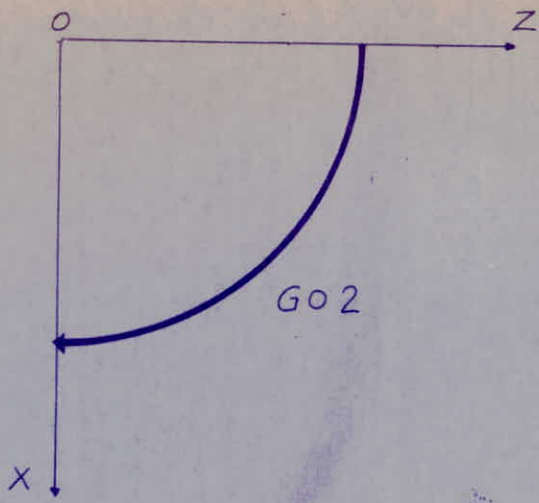
Cette fonction permet le déplacement de l'outil suivant une trajectoire circulaire.

On distingue deux cas pour cette fonction.

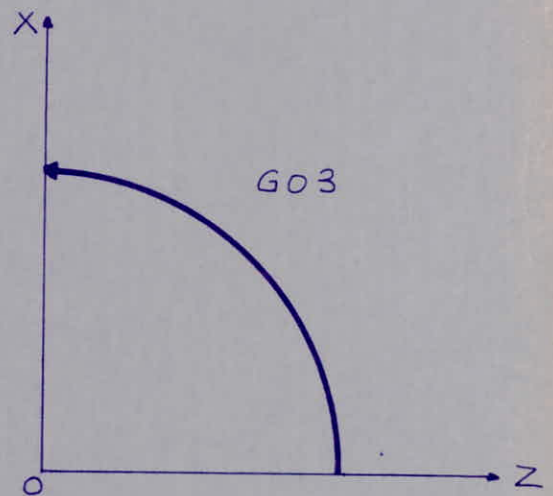
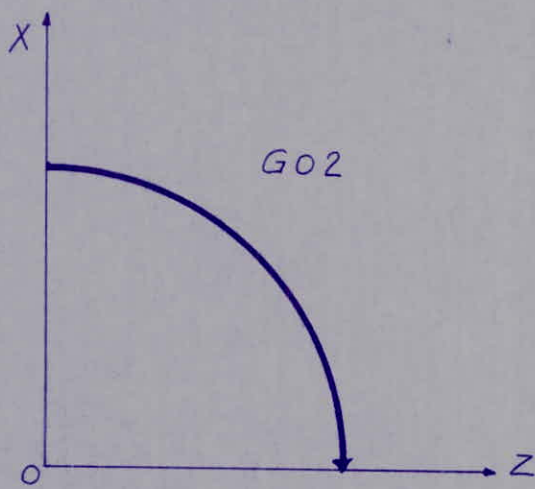
— Interpolation circulaire dans le sens horaire G02.

— Interpolation circulaire dans le sens antihoraire G03.

Suivant la position de travail relative à l'axe de rotation on distingue deux modes de programmation pour l'interpolation circulaire.



Ces cas de figure montrent la fonction préparatoire à utiliser dans le cas d'un système droit et pour une plage de travail située devant l'axe de rotation.



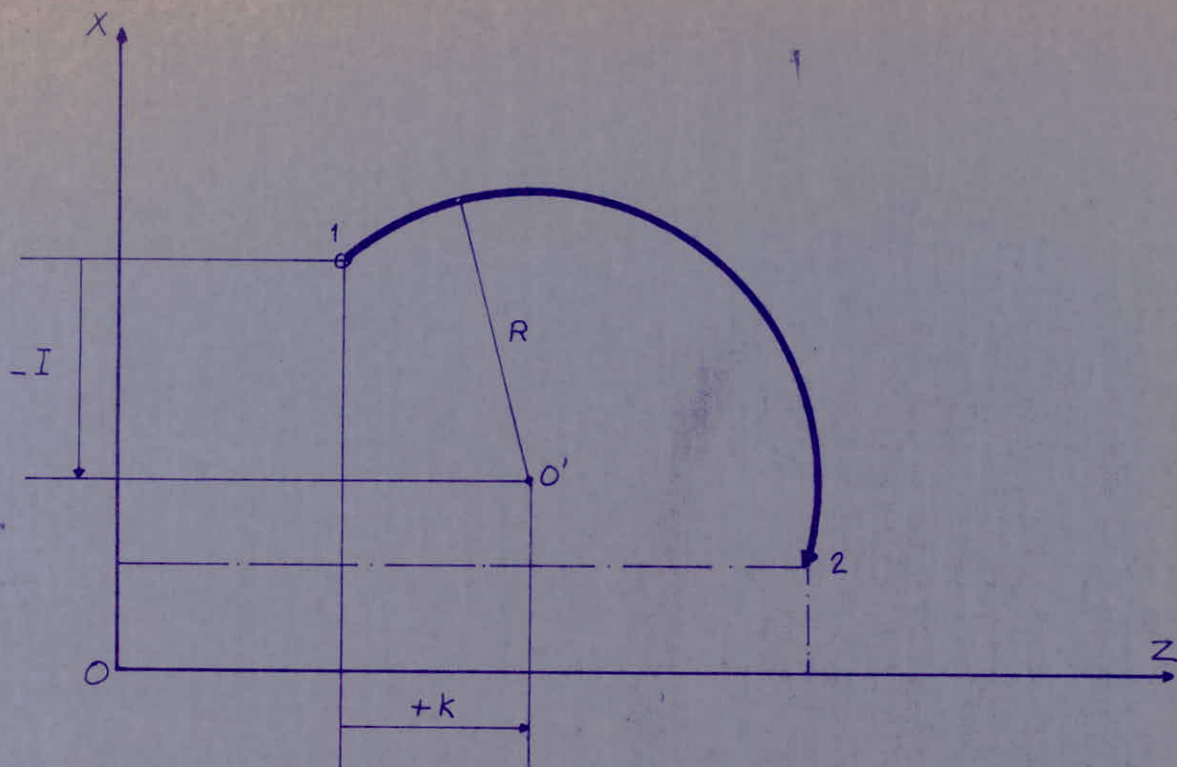
Sens de rotation dans le cas d'un système droit et pour une plage de travail située derrière l'axe de rotation.

5-3 PARAMETRES D'INTERPOLATION:

En interpolation circulaire, il faut en plus des ordres d'axes x et y , inscrire les paramètres d'interpolation sous les ordres I et K .

I étant parallèle à l'axe x ,

K étant parallèle à l'axe z .



Les paramètres I et k peuvent être soit positifs, soit négatifs selon la position initiale de l'outil relativement au centre de la trajectoire.

Signalons enfin que les paramètres I et k doivent être toujours être programmés, même si l'une des valeurs est nulle.

5.4. CALCUL DE COORDONNÉES:

La détermination des paramètres I et k peut se faire de deux manières différentes:

- Graphiquement
- Par calcul.

La première méthode à représenter le dessin à une grande échelle, afin d'augmenter la précision, et relever graphiquement les paramètres I et k . Parfois cette méthode ne peut être utilisée à cause des spécifications métrologiques, serrées exigées sur le dessin.

Dans ce dernier cas, on utilise la méthode par calcul à la base des données suivantes:

R : Rayon de la trajectoire de l'outil.

$(Z_1 \ X_1)$: Coordonnées du point de départ de l'outil.

$(Z_2 \ X_2)$: Coordonnées de la fin de la trajectoire circulaire.

Le calcul consiste à déterminer le centre O' de la trajectoire.

La figure montre qu'on peut établir aisément un système d'équation relatif aux coordonnées de O' (Z_0', X_0').

$$\begin{cases} (Z_1 - Z_0')^2 + (X_1 - X_0')^2 = R^2 \\ (Z_2 - Z_0')^2 + (X_2 - X_0')^2 = R^2 \end{cases}$$

La résolution de ce système se fait généralement, à l'aide de calculatrice de bureau, à un micron près.

Finalement les paramètres d'interpolation I et K seront:

$$I = X_1 - X_0' \quad ; \quad K = Z_1 - Z_0'$$

Les signes de I et K sont déterminés à partir de la position du point de départ par rapport au centre O' .

fonctions auxillières et de commutation S, T, M

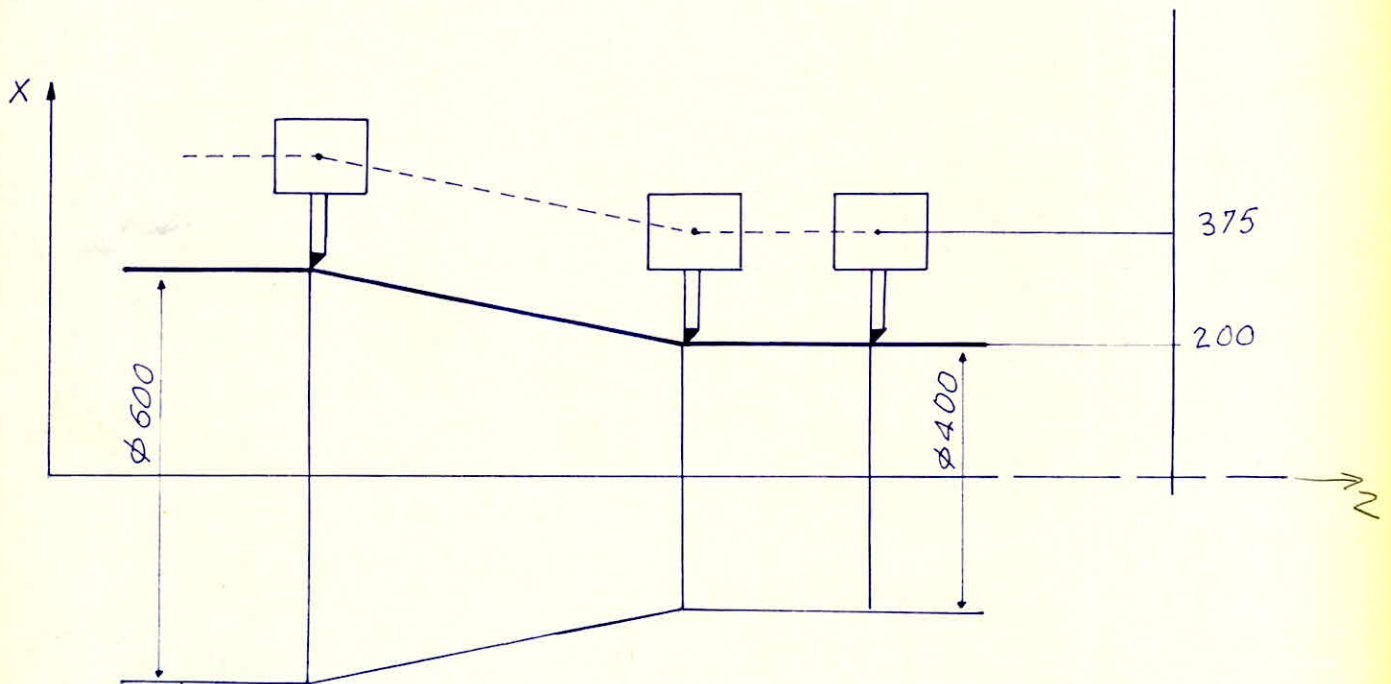
Ces fonctions concernent la mise en route de la machine en précisant :

- La vitesse de broche (mot S).
- Le numéro et la correction des outils (mot T).
- Les fonctions auxillières (mot M) pour l'arrêt absolu, afin de programmer arrêt facultatif.

1- Mot S: Le mot s permet la programmation de la vitesse de la broche, celle-ci peut être constante ou variable.

La vitesse de la broche variable est programmée dans le cas ou on désire obtenir une vitesse de coupe constante. Le système de commande détermine la vitesse de broche correspondant à chaque diamètre en cours d'usinage après avoir calculer la valeur réelle de la correction d'outil.

Cette fonction est généralement utilisée pour réaliser des formes coniques, sphériques, (arrondis ou gorgés).



Exemple de programmation après une suite d'opérations en cotation absolue.

N11 X 200 Z 1050 (Positionnements).

N12 G92 S3000 (Limitation vitesse de broche).

N13 G96 S 200 (vitesse de coupe constante 200m/mm).

N 14 G 01

Z 700 F 1000 (Tournage avec largeur du copeau 1mm/t).

N 15 X 600

Z 400

N 16

Z

La vitesse de broche est calculée à partir de la vitesse de coupe constante d'après la relation:

$$N = \frac{1000 V_c}{\pi D}$$

- N : Vitesse de broche (tr./mn).
- V_c : Vitesse de coupe (m/mn).
- D : Diamètre en cours d'usinage (mm).

2. Mot T : Ce mot permet de désigner l'outil à mettre en service et sa correction.

Il est structuré de la manière suivante:

T 1 1

T 11 1

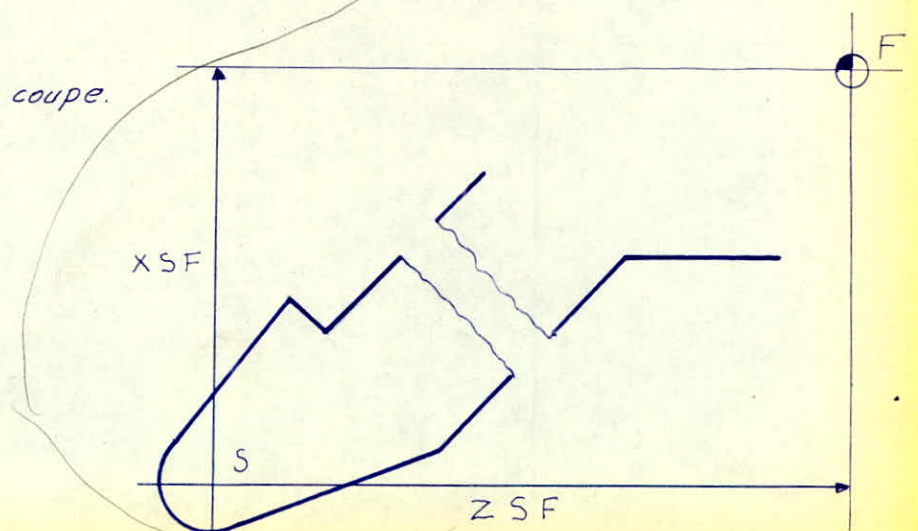
T 11 11

Correction d'outil

Numéro d'outil

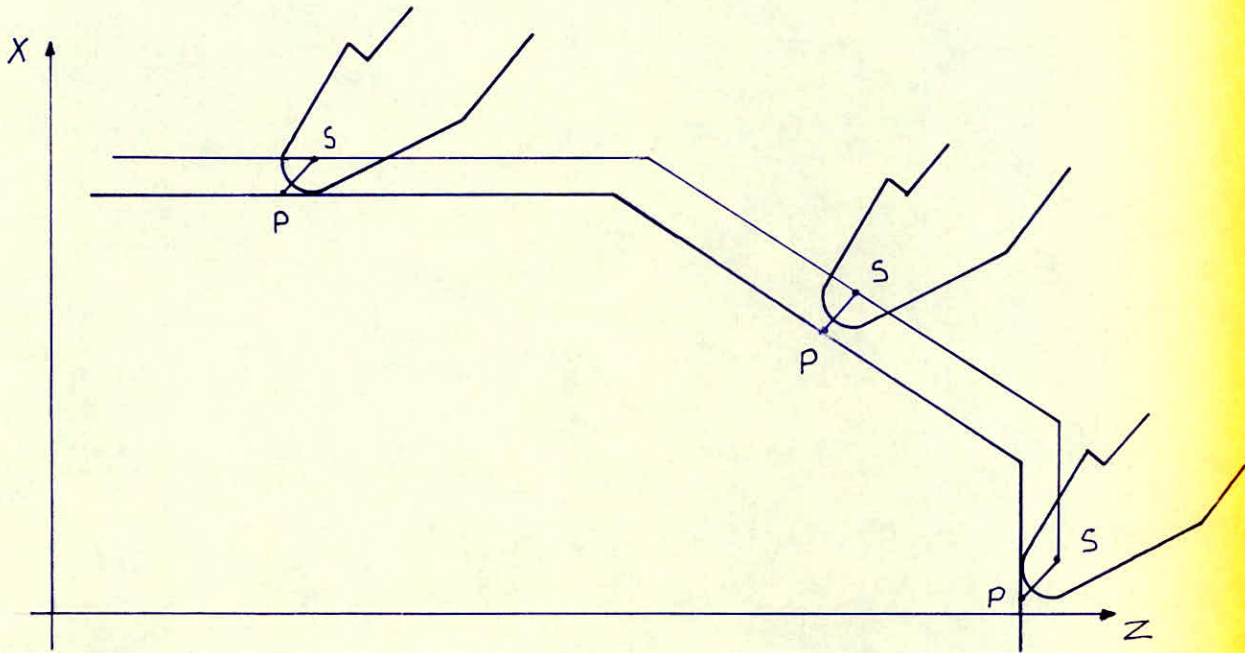
Une correction d'outil se compose de:

1. Valeur de correction de longueur pour l'axe X : XPF.
2. Valeur de correction de longueur pour l'axe Z : ZPF.
3. Rayon de plaquette.
4. Position du point de coupe.



La correction de longueur est toujours donnée par rapport au centre du rayon de plaquette.

En cours d'usinage le point de coupe proprement dit de l'outil varie constamment, il en résulte un excédent de matière si on ne procède pas à une correction de la position du point de coupe.



Si on programme le contour de la pièce sans tenir compte du rayon de plaquette, il en résulte une erreur sur le contour comme représenté ci dessus.

Pour un rayon de 2mm, l'erreur serait :

$$e = 2\sqrt{2} - 2 = 0,828 \text{ mm.}$$

5.3- Mot M: La fonction auxillière M est programmée afin d'obtenir:

- Un arrêt obligatoire (absolu).
- Un arrêt facultatif.
- Une commande de la broche.
- Une division de l'avance.

D'autres fonctions auxillières peuvent être programmées en se reportant au code de programmation spécifique à la machine.

En général ces fonctions sont fixées par la norme D.I.N 66025

5-3-1. Arrêt obligatoire (absolu).

La M00 permet d'interrompre le programme, pour effectuer une mesure par exemple, l'usinage peut être poursuivi après action sur la touche "Start". Les informations précédemment introduites restent mémorisées.

5-3-2. Arrêt facultatif:

La fonction arrêt facultatif (M01) agit de la même façon que la fonction M00, cependant elle n'est efficace qu'après action sur la touche à accrochage "arrêt facultatif".

Signalons enfin que M00 et M01 agissent de façon identique au mode de fonctionnement "bloc à bloc".

5-3-3. Commande de la broche :

La broche est commandée à partir de trois fonctions auxiliaires M.

M03 Sens de rotation de la broche vers la droite.

M04 Sens de rotation de la broche vers la gauche.

M05 Arrêt de la broche.

5-3-4. Division de l'avance :

La vitesse à laquelle les mouvements de la machine sont effectués, est programmée sous l'adresse par la fonction auxiliaire M03. La décomposition en vecteurs vitesse pour les deux axes est réalisée dans la commande.

De plus la fonction M37 permet de diviser l'avance programmée dans le rapport 1:100

- Introduction des données:

Les données du programme sont introduites à l'aide d'une bande perforée. Cette dernière est lue par un lecteur de bande dont la capacité est de 250 caractères par seconde.

La bande perforée possède 8 pistes et une piste centrale permettant son déroulement.

Après lecture, il y'a reconnaissance automatique du code utilisé pour le programme I.S.O ou E.I.A, le contenu de la bande est contrôlé au cours de la lecture :

- Pour le code I.S.O le nombre de perforations est pair.

- Pour le code E.I.A le nombre de perforations est impair.

Ce dernier contrôle est nommé contrôle de syntaxe ou contrôle.

Le parité de bloc. Lorsqu'un défaut est détecté le lecteur s'arrête et l'erreur est signalée sur le tableau de commande.

CHAPITRE 6

6. I. PREPARATION DU TRAVAIL

6.1.1. *gamme*: L'introduction de la C.N n'a pas apporté de modification fondamentale dans le rôle du service de préparation.

Cependant il est indispensable, dans ce cas, de procéder à une étude très approfondie de la gamme et de chacune des opérations. En effet, si une erreur est commise, en ne s'en aperçoit guère que lorsque le travail est en cours et à ce moment une modification cause une sérieuse perte de temps et une perturbation dans le plan général du travail. L'adoption de la commande numérique se traduit donc, de façon inévitable par un allourdissement du travail de préparation, compensé d'ailleurs par un allègement de celui de la maîtrise et des professionnels d'atelier.

6.1.2. *programme*: La gamme étant établie, il reste à rédiger les instructions dans l'ordinateur à besoin pour effectuer toutes les opérations, logiques ou arithmétiques, nécessaires à l'élaboration complète des ordres qui seront transmis à la machine.

Pour des raisons de simplicité et d'économie, le travail de l'ordinateur est divisé en deux phases:

- Exécution de tous les calculs liés à la géométrie de la pièce et aux conditions théoriques d'exécution.
- Adaptation des résultats à la machine particulière désignée pour l'exécution du travail.

6.1.3. *Colonnes*: Les résultats des calculs sont, en général, exprimés avec 8 chiffres exacts. Cette valeur doit être arrondie selon la précision de la machine.

Si de plus la longueur des nombres ou la place de la virgule sont imposées, il faut ajouter des zéros devant et (ou derrière les chiffres significatifs).

On peut aussi avoir à faire une conversion d'unités, pouces en millimètres, degrés en grades ou en tours, minutes et secondes sexagésimales en dix millièmes de degré etc....

6-1-4- Vérification : Un système doit être automatiquement protéger contre certaines erreurs : par exemple s'il y'a en substitution de lettre, l'ordinateur se bloque en rencontrant un mot qui ne figure pas dans son vocabulaire. Il faut alors corriger la faute et reprendre les calculs, ce qui entraîne une dépense et un retard supplémentaire. Au contraire si l'on a commis une erreur sur un chiffre, le programme se déroule sans encombre mais le résultats est faussé. Cela peut entraîner des conséquences graves : Blessures de l'opérateur, détérioration de la machine, rebut d'une pièce.

2. PROGRAMMATION DES MACHINES OUTILS A COMMANDE NUMERIQUE :

Traitement externe de l'information :

Le traitement externe de l'information, appelé encore programmation consiste à rassembler et à l'élaborer toutes les informations nécessaires à la mise en route d'une fabrication.

Le programme de la pièce doit être assimilable par la machine outil. Ces informations sont ensuite fixés sur un support matériel (bande perforée ou cartes perforées).

Les supports doivent parvenir entièrement préparés à la machine outil.

Suivant la plus au moins grande complexité du problème d'usinage à résoudre, il y'a deux possibilités de programmation :

- Programmation manuelle.
- Programmation automatique.

2. 1. Programmation manuelle :

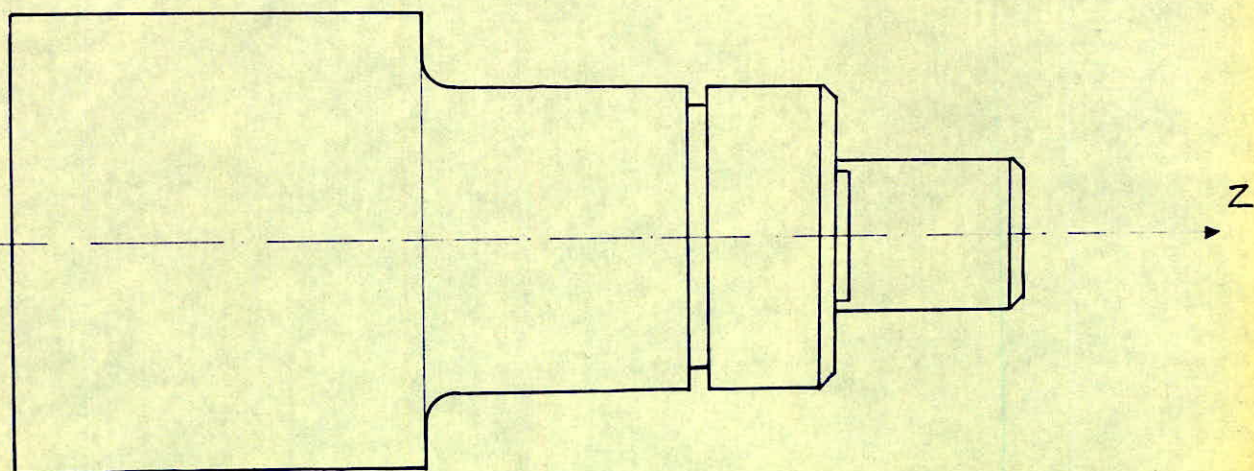
Ce type de programmation comporte six phases successives :

1. Étude du plan de la pièce.
2. Mise en place de la gamme d'usinage.
3. Implantation de la pièce sur la table.
4. Programmation proprement dite.
5. Fonctions auxiliaires
6. Perforation de la bande.

6. 2. 1. Étude du plan de la pièce : Sans cette phase on doit préciser :

- La désignation de la pièce.
- Le nombre de pièces à réaliser.
- Les spécifications métrologiques.

Les dimensions sont souvent à redefinir en coordonnées rectangulaires ou polaires.



6-2-1-2. Mise en place de la gamme d'usinage :

Dans cette phase on indique :

- L'ordonnancement des phases d'usinage.
- Le choix des outils et des conditions de coupe.
- Le choix de la machine.
- La conception du montage de prise de la machine.
- Implantation de la pièce sur la machine.

Dans cette phase on doit préciser le mode d'ablocage de la pièce sur la machine. (Mandrier, entre-pointe, montage d'usinage, etc...).

6-2-3. programmation: Elle est réalisée sur feuille de programme après l'étude du plan de la pièce, de la gamme d'usinage et du plan d'implantation. Les différentes étapes du programme sont transcrites sur la feuille de programme.

L'ordre suivant lequel les différents mots d'un bloc sont ordonnés, est déterminé par D.I.N 66025. Le code de programmation est structuré de la façon suivante:

N : numéro du bloc.

G : fonctions préparatoires, groupe 1 à 14

X : ordre de déplacement suivant X.

Z : ordre de déplacement suivant Z.

I : paramètre d'interpolation suivant X.

K : paramètre d'interpolation suivant Z.

F : avance.

S : vitesse de broche.

T : numéro d'outil, numéro de correction.

L : sous programme.

M: fonctions auxiliaires.

R: paramètres pour sous programme.

Constitution d'un bloc: Le programme d'usage se compose d'un certain nombre de blocs. Chaque bloc comprend lui même plusieurs mots qui sont formés de lettres (adresses), de signes et de chiffres. Un bloc comprend les instructions nécessaires pour le déroulement du programme et pour l'usage.

Ces instructions sont données sous une forme compatible suivant des règles déterminées. Exemple d'écriture d'un bloc:

NO10 X 25860 Z 15240 S 11 T 01

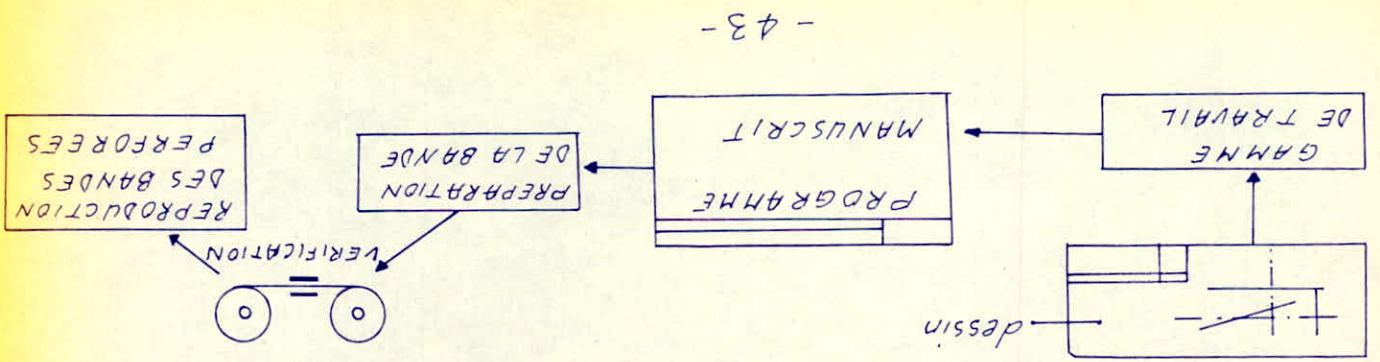
6.2.1.4-perforation de la bande:

Les perforations sont obtenues sur une perforatrice couplée à une machine à écrire, plusieurs bandes sont généralement réalisées, elles sont destinées aux ateliers et aux archives.

- Contrôle de la bande:

Il consiste à faire passer la bande perforée dans la perforatrice, celle-ci est capable de reproduire un clair les informations codées sur la bande perforée. Il suffit de comparer le document ainsi obtenu au listing de programmation.

Les principes étapes de la programmation manuelle sont résumées sur la figure:



6-2-2- programmation automatique:

La mise au point des données de forme (calcul des coordonnées de travail) exige bien une transposition complète de la cotation de la pièce par rapport au système d'axe de référence choisi. Cette transposition se traduit, lorsque les pièces à usiner sont complexes, par de nombreux calculs. L'utilisation d'aide de la programmation manuelle (calculatrices de bureaux) limite dans une certaine mesure les risques d'erreurs qui peuvent se produire au moment où ces calculs sont faits.

A cette préparation vient s'ajouter la mise en place des données, technologiques, l'ensemble de ce travail extrêmement précis détaillé et rigoureux, est long et parfois fastidieux.

Cet état de fait est à l'origine de l'utilisation de la programmation automatique sur l'ordinateur.

Celui-ci est chargé d'exécuter:

- Les calculs relatifs au déplacement de l'organe mobile.
- Les changements de systèmes de références.
- La transcription des informations.
- La génération du langage machine.
- La perforation de la bande de programme.

La programmation automatique met à la disposition du programme un langage symbolique composé d'abréviations de mots courants. Ces abréviations (dérivées parfois de la langue anglaise) lui permettent:

- De définir la géométrie de la pièce.
- De préciser la trajectoire des organes mobiles.
- D'indiquer les conditions de mise en mouvement des outils.
- De décrire très simplement les usinages qui se succèdent en un même de la pièce.

Il existe plusieurs langages symboliques :

EXAPT 1 : adopté au perçage suivant deux dimensions avec introduction des données technologiques.

ADAPT 1 : pour travaux de contournage.

EXAPT 2 : pour usinage sur tour à commande paraxiale et contournage à deux dimensions.

Les étapes de la programmation automatique :

- 1) Etude du dessin (forme, dimensions et spécifications métrologiques)
- 2) Rédaction de la feuille de programmation : elle comporte les informations exprimées dans le langage symbolique choisi.
- 3) transposition de la feuille de programmation sur cartes perforées.
- 4) passage des cartes perforées en ordinateur : il achève la programmation et réalise la bande perforée destinée à la machine outil.
- 5) Mise en place de la bande perforée sur le directeur de commande.
- 6) Réalisation de la pièce par introduction automatique des informations.

CHAPITRE 7

Plan de travail pour la programmation manuelle :

1) Etude du plan de la pièce :

- a) Désignation de la pièce : B 3202194/H
- b) Le nombre de pièce à réaliser (série de 500 pièces).
- c) Spécifications métrologiques et dimensions (dessins).

2) Gamme d'usinage :

- a) Différentes phases d'usinage.
- b) Choix des outils et des conditions de coupe.
- c) Conception du montage de prise de la pièce.

3) Implantation de la pièce sur la table de la machine outil :

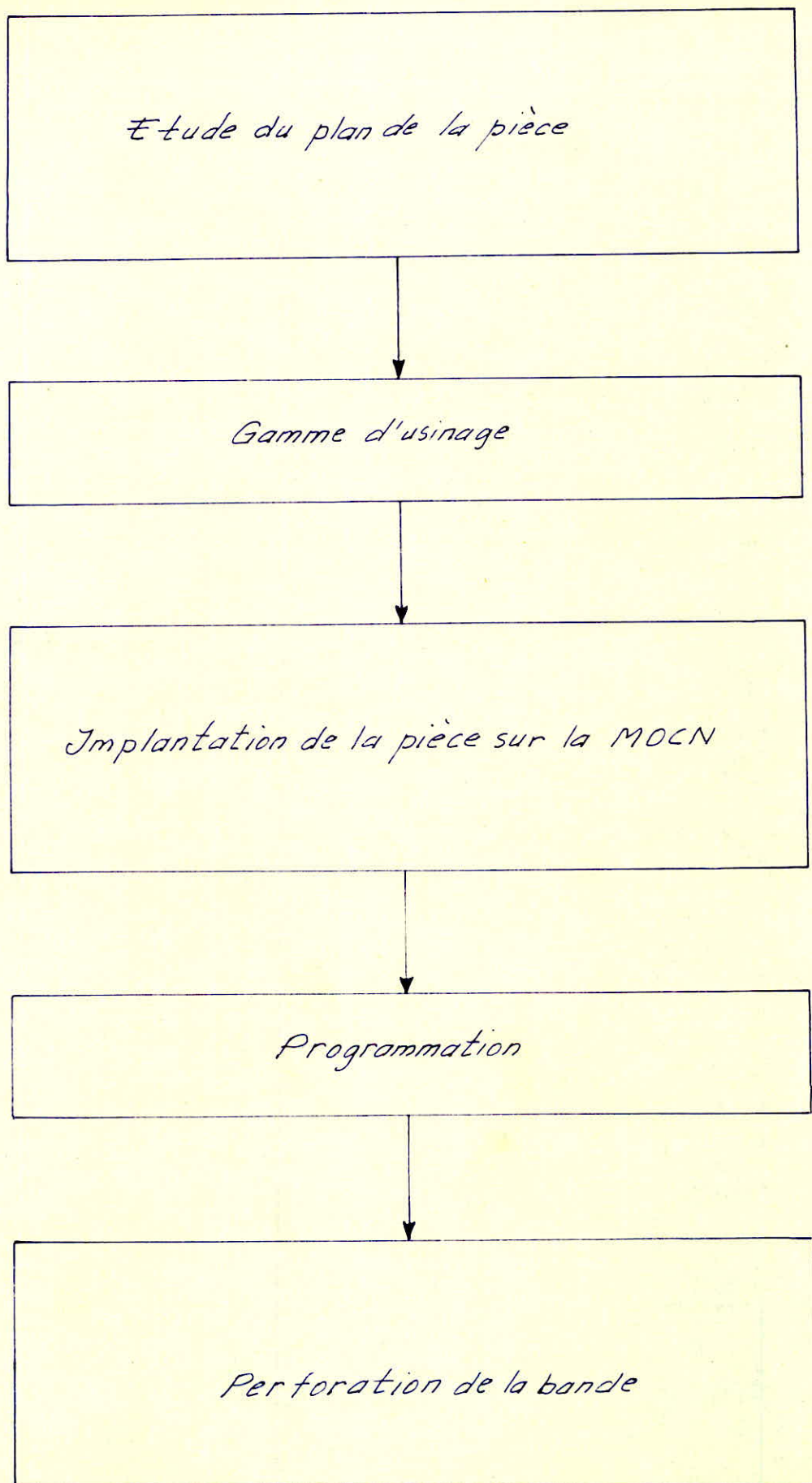
- a) Mandrin contre pointe.
- b) Entre pointe.

4) Programmation :

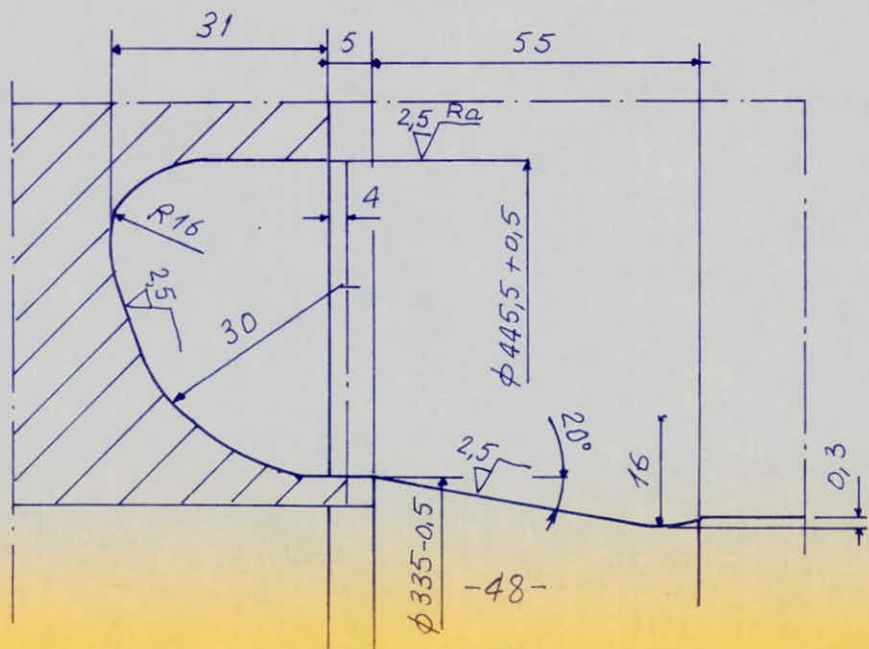
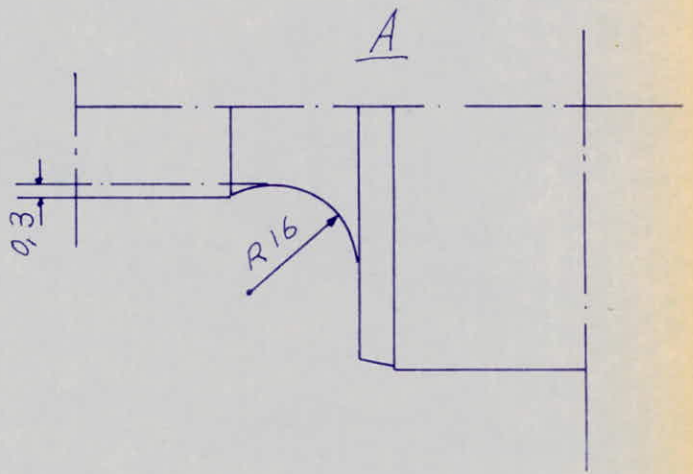
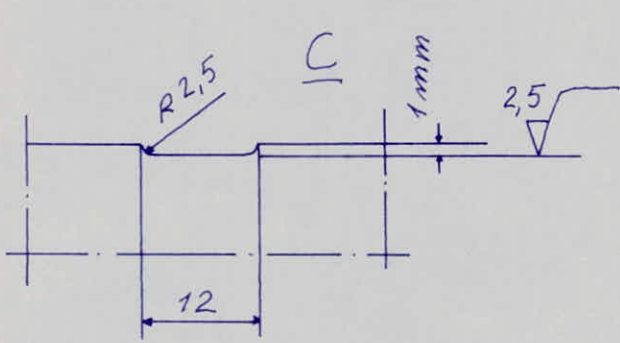
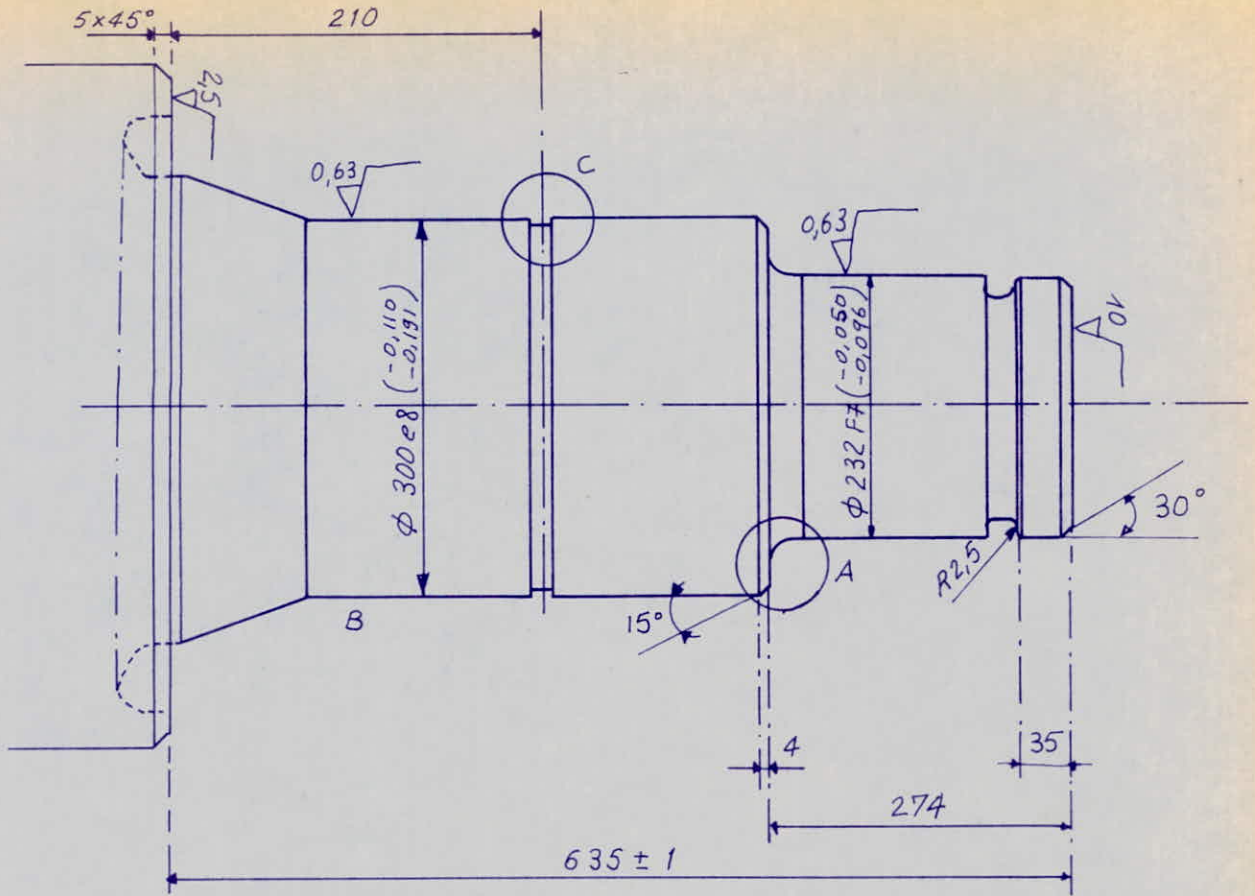
Réalisation sur feuille de programme, en numérotant les différents blocs d'information.

5) Perforation de la bande :

- a) Inscire toutes les informations sur une bande.
- b) Contrôle de la bande.



1. Etude du plan de la pièce :



c) Spécifications métrologiques :

Le cylindre présente un état de surface général dont la rugosité est $Ra = 0,63$ pour les surfaces cylindriques et $Ra = 2,5$ pour les formes intérieures (rainures, saignées et gorges).

Le bout de cylindre présente 3 formes essentielles :

- Partie conique de 20° qui réduit un diamètre 335 à 300 sur une longueur de 55
- Partie centrale cylindrique de $\phi 300 \pm 8$ de longueur 301 avec une saignée de 12 mm de largeur.
- Partie cylindrique de $\phi 232$ de longueur 274 terminée par un chanfrin de 30° - à 35 mm de l'extrémité, on a une saignée de $\phi 212$ sur une longueur de 25

L'autre bout du cylindre est relié à la partie active du cylindre par une forme intérieure un "toru".

Les détails A, B et C donnent une bonne interprétation des formes intermédiaires.

Enfin le bout de cylindre présente deux autres formes qui ne seront pas exécutées sur le tour (elles ne sont pas présentées sur le dessin)

- Forme conique intérieure pour la contre pointe.
- Rainure pour clavette.

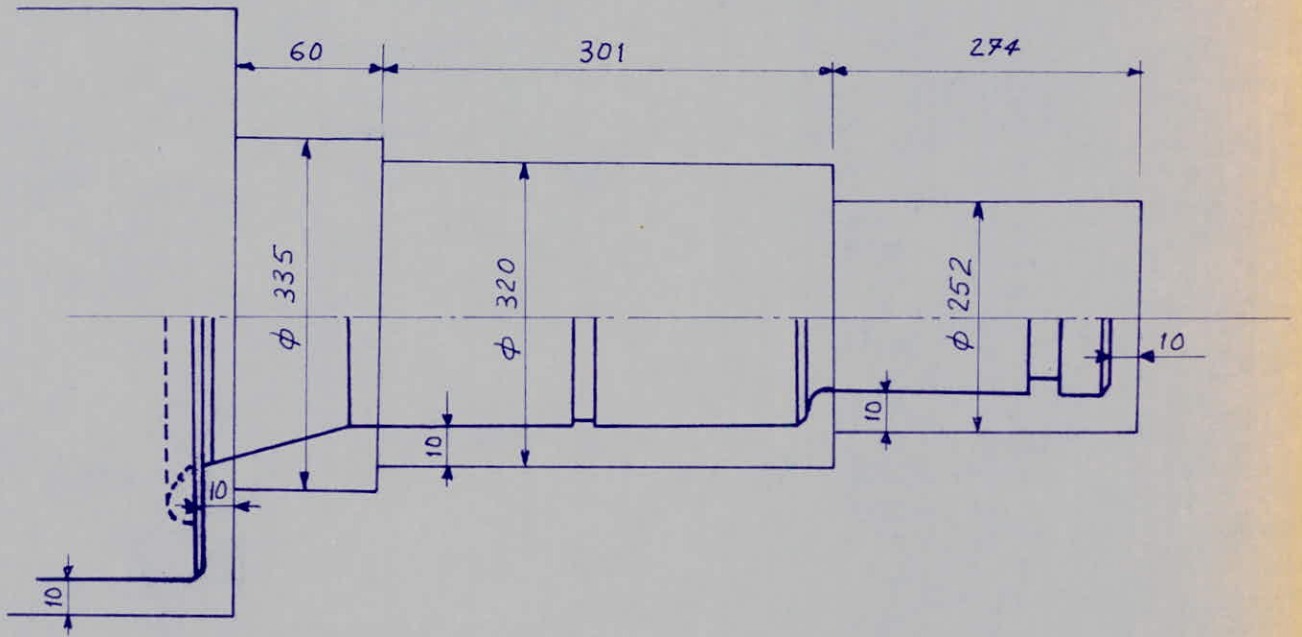
2) Gamme d'usinage :

a) Les phases d'usinage :

La pièce brute présente une surépaisseur générale de 10 mm.

Cette pièce a été d'abord forgée et ensuite elle a subi un préusinage sur un tour conventionnel. Ce préusinage permet une première ébauche et confère un centrage pour le cylindre.

Ainsi la pièce arrive au tour commandé numériquement avec la forme et les dimensions représentées sur la (figure).



Remarque:

En demi vue est représentée la pièce finie sur le tour à CN.

b) Choix des outils et des conditions de coupe:

Les conditions de coupe sont liées essentiellement à trois paramètres:

- Puissance de la machine.
- Nature de l'outil.
- Matière à usiner.

Elles sont déterminées à partir d'essais obtenus en faisant varier un seul de ces trois paramètres. De cette manière on arrive à optimiser et déterminer les conditions de coupe pour un usinage donné.

Généralement les fabricants d'outils établissent des abaques permettant à l'utilisateur d'adopter ses conditions de coupe.

Les outils utilisés pour l'usinage des extrémités de cylindres sidérurgiques sont des outils à plaquettes de carbure métallique pour les opérations d'ébauche et de finition (T01 et T03).

Enfin on utilisera un outil à saigner en acier rapide (T08).

L'outil T01 présente une section de coupe importante qui permet de réaliser une profondeur de passe de 10 mm.

L'outil T03 sera utilisé pour la mise en forme définitive de la pièce, la profondeur de passe utilisée dans cette phase est de $\frac{1}{10}$ à $\frac{2}{10}$ mm.

Les vitesses de coupe, de rotation de la broche et de l'avance sont déterminées expérimentalement à partir d'essais effectués à l'usine de BUCZECK, elles diffèrent sensiblement des valeurs données par les fabricants d'outils.

A titre indicatif nous donnons un tableau de vitesse de coupe utilisées généralement pour les petites et moyennes séries pour les aciers au carbone.

Profondeur de passe (mm).	Avance (mm/tr.).	Section d'outil (mm ²).	Nuance W.O.W.C	Puissance (KW).	Vitesse de coupe (m/mn).
0,2 ÷ 1	0,1 ÷ 0,2	12 x 12	6-5-2	< 1 kw	65 ÷ 60
1 ÷ 4	0,2 ÷ 0,4	16 x 16	"	1 ÷ 4	60 ÷ 45
4 ÷ 8	0,4 ÷ 0,8	25 x 25	"	4 ÷ 10	45 ÷ 30
8 ÷ 12	0,8 ÷ 1,2	32 x 32	"	10 ÷ 15	30 ÷ 25

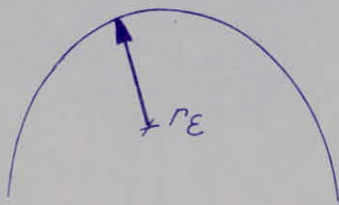
Choix du rayon de bec d'une plaquette carbure:

Ce choix se fait en fonction de l'opération à effectuer: ébauche ou finition.

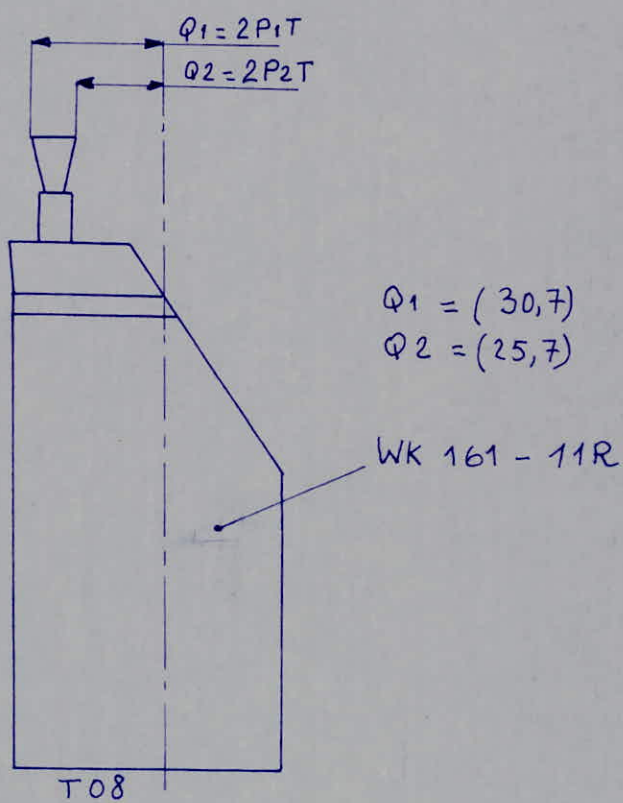
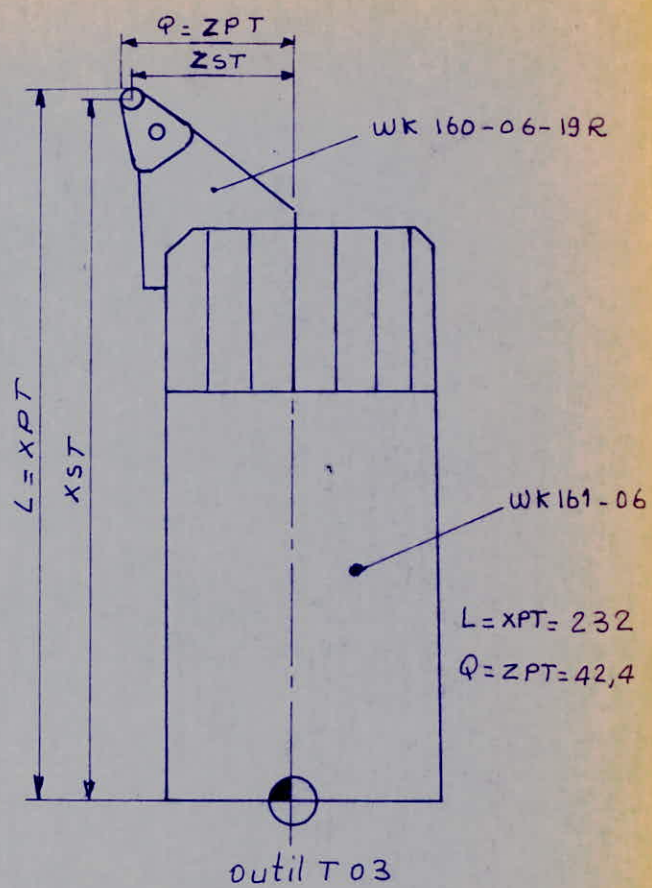
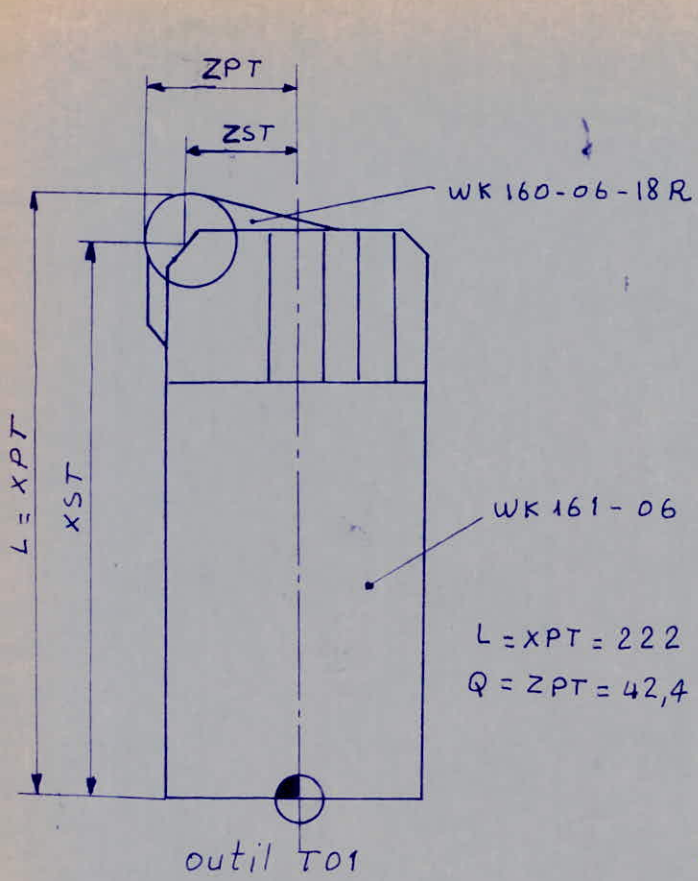
- Pour l'ébauche on choisit un rayon de bec le plus grand possible qui permet la plus grande profondeur de passe possible, dans notre cas: $r = 20\text{mm}$ (plaquette ronde).

- Pour la finition, le choix du rayon de bec se fait à partir des exigences sur l'état de surface et les tolérances à obtenir pour des conditions de coupes convenables, le tableau ci-contre recommande le rayon de bec à choisir pour un état de surface donné et une avance déterminée.

Etat de Surface		Rayon r_E									
RA	R	0,4	0,8	1,2	1,6	2,4	10	12	16	20	25
(μm)	(μm)										
0,6	1,6	0,07	0,1	0,12	0,14	0,17	0,25	0,28	0,32	0,36	0,40
1,6	4	0,11	0,15	0,19	0,22	0,26	0,40	0,44	0,51	0,57	0,63
3,2	10	0,17	0,24	0,29	0,34	0,42	0,63	0,69	0,80	0,89	1,00
6,3	16	0,22	0,30	0,37	0,44	0,53	0,80	0,88	1,01	1,13	1,26
8	25	0,27	0,38	0,47	0,54	0,66	1,00	1,10	1,26	1,42	1,41
32	100	-	-	-	1,08	1,32	2,00	2,20	2,14	2,94	3,33



Remarque: L'état de surface peut être amélioré avec une augmentation de la vitesse de coupe et une géométrie de coupe positive.



Les outils T08 et T03 sont identiques

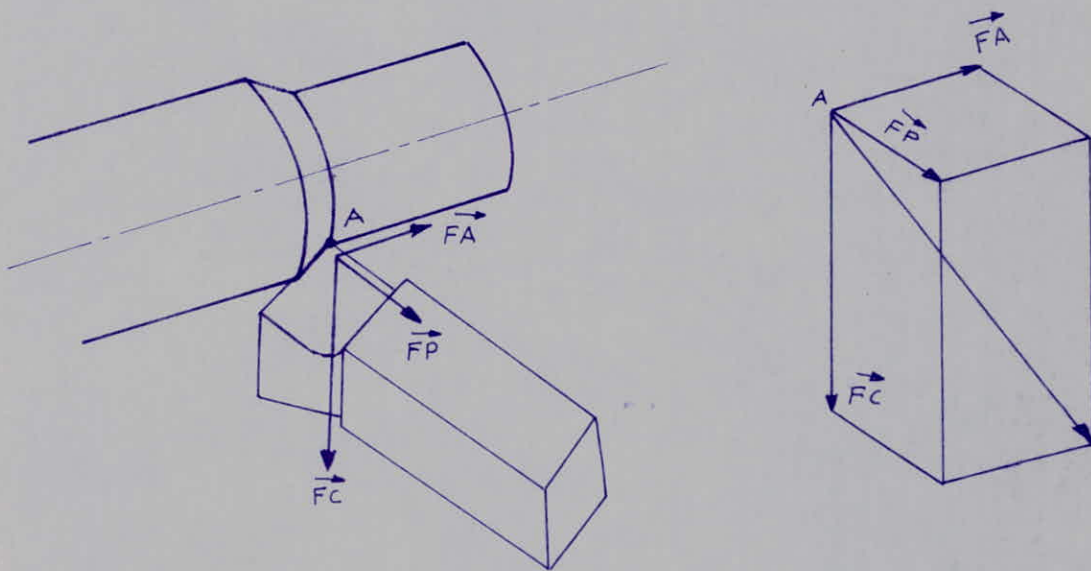
* Vitesse de coupe des outils à plaquette de carbure :

La vitesse de coupe est déterminée à partir de trois paramètres :

- Matière à usiner : xc 38 (35% de carbone).
- Rayon de bec de l'outil : 20mm pour l'outil à ébauche.
- Nuance carbure : G.C. 1025

En tenant compte de ces trois paramètres et pour une durée de vie de l'arrêt de coupe de 15mn, la vitesse de coupe recommandée par SANDVIK Coromant est : $V_c = 140 \text{ m/mn}$.

* Effort de coupe :



L'action de la pièce sur l'outil admet trois composantes

- F_x : effort axial,
- F_p : effort radial
- F_c : effort de coupe

Généralement l'effort de coupe F_c est la force de la plus importante des autres composantes : $F_c \approx k_a \cdot S$

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

S : Section du copeau en mm^2 : $s = a \cdot p$

Les conditions de coupe les plus sévères pour l'usinage des extrémités du cylindre sont les suivantes :

$$a = 1 \text{ mm/tr} ; p = 8 \text{ mm} ; K_a = 125 \text{ daN/mm}^2$$

$$\text{d'où : } F_c = 1 \times 8 \times 125 = 1000 \text{ daN} \quad F_c = 1000 \text{ daN}$$

* Vérification de la puissance de la machine :

La puissance absorbée par la coupe est donnée par la relation :

$$P = F \times V = F_a \cdot V_a + F_c \cdot V_c + F_p \cdot V_p$$

$V_p = 0$; V_a est négligeable devant V_c , on a finalement :

$$P = F_c \cdot V_c = 1000 \times 140 \times \frac{10}{60} = 23,3 \cdot 10^3 \text{ W} \quad p = 23,3 \text{ kW}$$

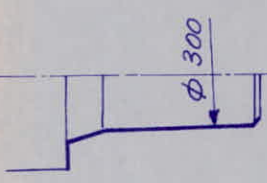
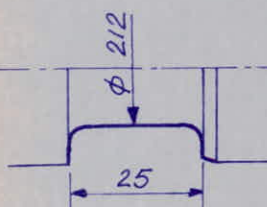
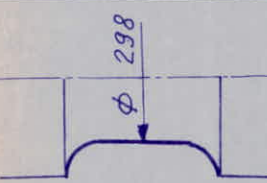
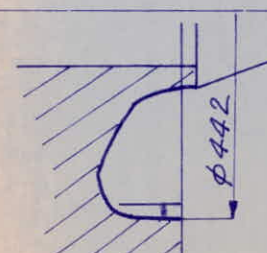
La puissance du tour "D1000" est de 65 kW ; ceci nous procure une marge de sécurité acceptable pour les opérations de demi-finition et de finition.






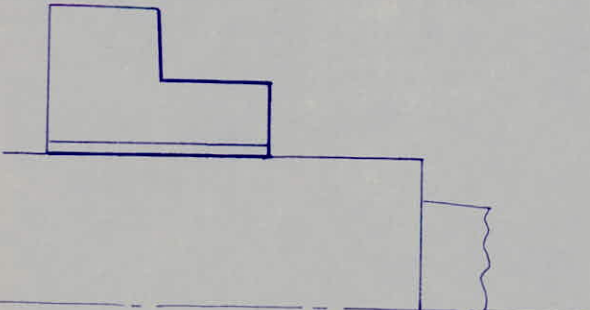
* Gamme d'usinage :

La gamme d'usinage a été établie en tenant compte des facteurs :

- Conditions de coupe recommandées par Sandvik COROMANT.
- Puissance de la machine.
- Outils utilisés au préalable.

Sur les schémas qui vont suivre, on ne fait figurer que la forme de la pièce obtenue après une suite d'opérations effectuées avec le même outil. La trajectoire de l'outil est mentionnée par bloc de programme sur le dessin définition en annexe.

Phases	outils	avances	Vitesse de coupe	Observations
	T 01 plaquette C.M. forme circulaire ϕ plaquette 22	F 1250 F 1000 $a_1 = 1,25 \text{ mm/tr.}$ $a_2 = 1 \text{ mm/tr.}$	S 300 S 500 $V_c = 30 \text{ m/mn.}$ $V_c = 50 \text{ m/mn.}$	
	T 05 Acier rapide Largeur 8 mm	F 350 F 200 $a_1 = 0,35 \text{ mm/tr.}$ $a_2 = 0,2 \text{ mm/tr.}$	S 400 $V_c = 40 \text{ m/mn.}$	Vitesse de coupe constante
	T 08 Acier rapide Largeur 5 mm	F 200 $a = 0,2 \text{ mm/tr.}$	S 450 $V_c = 45 \text{ m/mn.}$	Vitesse de coupe constante
	T 07 plaquette C.M. forme circulaire T 06 plaquette C.M. forme triangulaire	F 300 F 500 $a_1 = 0,3 \text{ mm/tr.}$ $a_2 = 0,5 \text{ mm/tr.}$	S 300 S 500 $V_c = 30 \text{ m/mn.}$ $V_c = 50 \text{ m/mn.}$	

E.N.P.A Dept MECANIQUE		Fiche de réglage pour tours C.N.C		Programme n° 0002
Type de machine		D 1000		n° dessin: B3202194/H
Type de commande		SINUMERIK 7T		n° ident: 260119R
Durée du programme		4 h		Matière: XC 38
Gamme vitesses rot.		9 - 2240 tr/mn.		Dressage
Modification avance		0 - 200 %		Chariotage
Mors		Mors doux spéciaux		Chanfreinage
Diamètres de serrage		580		Remonté de Face
Pressions de serrage		20 kp/cm ²		
Outils	Plaque	r	Qualité	Suite des opérations
T0102	C.M.	22	2,5 	Surf. ϕ fini 300 avec chanfrin 5x45°
T05			2,5 	Surf. ϕ fini 212 avec chanfrin 5x45°
T08			2,5 	Surf. ϕ fini 298
T07	C.M.	2,5	2,5 	Aleser ϕ 336
T06	C.M.	10	2,5 	Aleser ϕ 442
Schéma de serrage			Observations	
			<ul style="list-style-type: none"> - Vérifier ϕ 300 après la première Ebauche. - Correction manuelle de la longueur de l'outil T01 	

Remarques générales sur le listing :

La difficulté principale rencontrée lors de l'élaboration du programme se situe au niveau du choix des outils s'adaptant à la fois au programme et à la forme intérieure de la pièce (congé intérieur B). La forme assez complexée de la partie B nous a obligé d'adopter un outil à plaquette circulaire permettant un point de coupe variable.

La section B présente deux arcs de cercle tangents à une même droite inclinée par rapport à l'axe X; nous avons utilisé trois interpolations pour obtenir cette forme :

- Deux interpolations circulaires : G02
- Une interpolation linéaire : G01

De plus nous avons fait appel à la fonction G04 afin de marquer une pause de deux secondes pour l'outil au cours de l'usinage des trois gorges : B, C et K.

La fonction G96 permet de garder une vitesse de coupe constante lors de l'usinage d'une forme non cylindrique (cône, congé et autre contour). A un accroissement du diamètre correspond une diminution de la vitesse de rotation de la broche; cette vitesse étant calculée automatiquement dans le directeur de commande. La qualité de l'état de surface, ainsi obtenue, reste constante sur toute la surface usinée.

Enfin, nous avons utilisé les fonctions préparatoires G40, G41 et G42 et G92 pour la correction du rayon de plaquette en contour-nage à gauche et à droite, et la correction de la longueur de l'outil supplémentaire.

Fonctions technologiques:

Les principales fonctions préparatoires utilisées dans le programme d'usinage sont les suivantes:

G00 : Avance rapide.

G01 : Interpolation linéaire.

G02 : Interpolation circulaire dans le sens horaire.

G03 : Interpolation circulaire dans le sens anti-horaire.

G04 : Temporisation définie numériquement sous les adresses X ou F en ms.

G40 : Annulation de la correction en contournage du rayon de plaquette.

G41 : Correction du rayon de plaquette en contournage à gauche.

G42 : Correction du rayon de plaquette en contournage à droite.

G64 : Fonctionnement du contournage, passages continus.

G71 : Système métrique.

G90 : Correction absolue.

G92 : Décalage d'origine programmable.

G96 : Avance sous l'adresse F en mm/tr. et vitesse de coupe sous S en $0,1 \text{ m/mn}$.

La fonction G04 permet de maintenir l'outil dans une position déterminée durant un certain temps défini sous l'adresse X, cette fonction est le plus souvent utilisée pour l'usinage de gorge ou saignées. Dans ce cas il est impératif de programmer la fonction G04 afin d'éviter d'usiner une forme hélicoïdale au lieu d'une forme circulaire.

La forme hélicoïdale est obtenue lorsque l'outil passe à l'opération qui suit sans marquer un temps de pause nécessaire à la pièce d'effectuer un tour complet au moins.

Fonctions auxiliaires:

Les fonctions auxiliaires permettent de réaliser les fonctions complémentaires aux fonctions préparatoires. Elles contiennent toutes les fonctions qui sont équipées par la machine (arrosage, mésurage, arrêt de la machine etc...).

M00: Arrêt absolu du programme.

M03: Sens de rotation de la broche à droite.

M05: Arrêt de la broche.

M06: Changement de l'outil.

F: Avance en $\mu\text{m}/\text{tr}$.

S: Vitesse de coupe constante en $0,1\text{m}/\text{mn}$.

T: Numéro de l'outil et de sa correction.

X: Information de parcours suivant l'axe X.

Z: Information de parcours suivant l'axe Z.

I: Paramètre d'interpolation circulaire pour l'axe X.

K: Paramètre d'interpolation circulaire pour l'axe Z.

Conclusion :

En achevant cette étude dans la fabrication sur MOCN, et en particulier sur le système de commande SINUMERIK 7T, il est indispensable de dégager un certain nombre d'avantages quant à leur utilisation.

Certes, la préparation du travail exige une étude détaillée, mais cela ne prouve rien en faveur de leur mérite.

La réduction du prix de revient reste encore faible, mais elle devrait croître au fur et à mesure d'une meilleure exploitation de la commande. D'autre part les rebuts sont moins nombreux et la qualité beaucoup plus fiable.

Toutefois il est à signaler la possibilité d'usiner des pièces difficiles ou impossibles à réaliser.

Je ne saurais terminer sans mentionner le fait que ce projet m'a permis d'acquérir des connaissances sur le système de commande SINUMERIK 7T.

Enfin, je voudrais exprimer mon souhait de voir se développer l'enseignement de cette nouvelle technologie de fabrication au niveau de notre département.

BIBLIOGRAPHIE.

- *Commande des machines outils automatisées*
H. SOUBIES - CAMY (RADIO).
- *Commande numérique des machines outils.*
WILHELM-SIMON (EYROLLES) *
- *Guide du technicien en fabrication mécanique*
A - CHEVALIER / J BOHAN (HACHETTE TECHNIQUE) *
- *Usinage automatique (tome I)*
R - TOUILLIEZ (DELAGRAYE)
- *Manuel de programmation*
SINUMERIK 7T (SIEMENS)
- *Documentation technique*
H. ERNAULT - SOMUA

