

U. S. T. H. B.

Université des Sciences et de la Technologie

Houari Boumediène

E. N. P. A.

Ecole Nationale Polytechnique d'Alger

Département de Génie - Mécanique



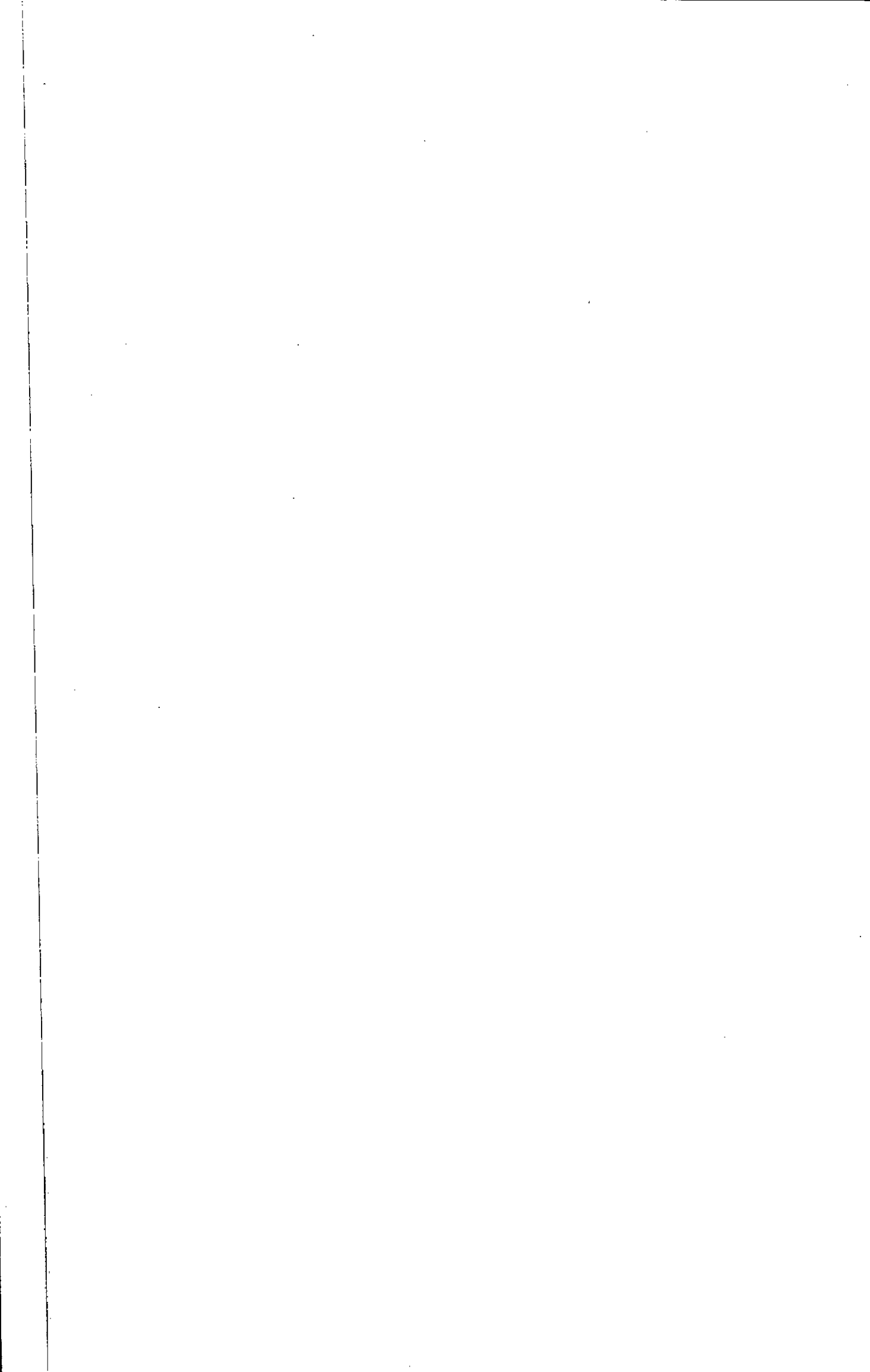
## PROJET DE FIN D'ETUDES

USINAGE PAR SYSTEME SINUMERIK SPRINT 8 M  
SUR MACHINE-OUTIL A COMMANDE NUMERIQUE

# 3 PLANCHES

Proposé et Dirigé par :  
Le Docteur Ingénieur  
MAREK BALAZINSKI

Etudié par  
SID-ALI BETROUNI



U. S. T. H. B.

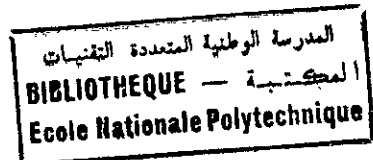
Université des Sciences et de la Technologie

Houari Boumediène

E. N. P. A.

Ecole Nationale Polytechnique d'Alger

Département de Génie - Mécanique



## PROJET DE FIN D'ETUDES

**USINAGE PAR SYSTEME SINUMERIK SPRINT 8 M  
SUR MACHINE-OUTIL A COMMANDE NUMERIQUE**

Proposé et Dirigé par :

Le Docteur Ingénieur  
MAREK BALAZINSKI

Etudié par

SID-ALI BETROUNI

Je tiens à remercier M. MAREK BALAZINSKI,  
maître-assistant à l'E.N.P.A. pour m'avoir  
aidé par son savoir et son expérience.

Je remercie aussi tous les professeurs qui  
ont contribué à ma formation, en particulier  
ceux du département de Génie-Mécanique.

Je tiens également à remercier tous ceux qui  
ont participé à l'élaboration de ce projet.

## CHAPITRE 1 - GENERALITES SUR LA COMMANDE NUMERIQUE

### 1.1. Historique

Les premières machines-outils à commande numérique sont apparues aux U.S.A vers 1942. C'est à ce moment-là que la "Bendix Corporation" avait à résoudre un problème posé par la fabrication d'une came tridimensionnelle de régulateur de pompe d'injection. Les conditions à remplir étaient si nombreuses qu'on résolut de confier les calculs à une machine automatique et d'utiliser les résultats pour commander directement les mouvements d'une machine spéciale. A peu près au même moment des études relatives à ces machines ont été faites au "Massachusetts Institute of Technology" de Cambridge, en collaboration avec "I.B.M" et la Cincinnati Milling Co".

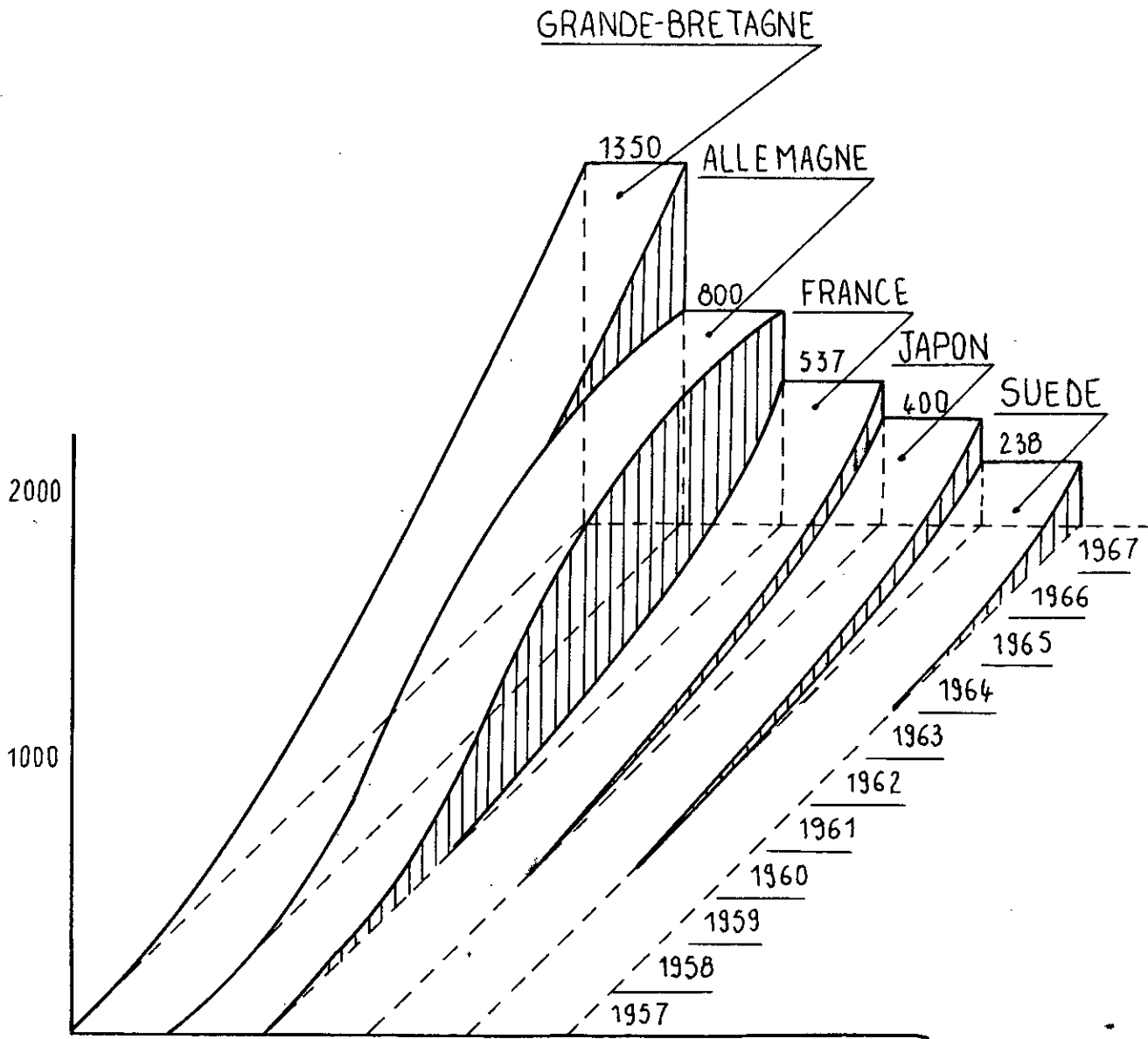
Les études réalisées par le "Massachusetts Institute of Technology" intéressaient des machines-outils destinées à effectuer des usinages difficilement réalisables sur machines-outils conventionnelles; ces usinages étant exécutés sur des pièces aux formes particulièrement complexes destinées à l'industrie aéronautique.

Le domaine d'utilisation de la commande numérique des machines-outils restait très réduit, car elle s'appliquait à des pièces ayant des formes très compliquées et dont le prix de revient était fort élevé. Mais le gouvernement fédéral américain à qui l'intérêt économique et stratégique de cette technique n'avait pu échapper, fit construire deux cents (200) machines qu'il mit à la disposition des industries du secteur public et de certains de leurs fournisseurs. Le développement de cette technique a été dès ce moment-là rapide.

L'évolution des machines-outils à commande numérique peut se résumer comme suit:

- de 1942 à 1945 : apparitions des premières machines à fraiser, contourner, de dimensions petites ou moyennes.
- de 1950 à 1960 : apparition et développement des perceuses-aléseuses de toutes dimensions travaillant "de point à point".
- au-delà de 1960: développement simultané des machines travaillant "de point à point" et des machines de contournage, les premières restant néanmoins largement majoritaires.

On peut remarquer que le très difficile problème du contournage a été résolu avant celui du travail "de point à point" qui est bien plus simple. Mais ceci s'explique par le fait que le premier problème se posait en période d'hostilités et que le prix de revient n'avait guère d'importance en face de la précision et du délai.



Quantité totale de machines à C.N en service dans divers pays

## 1.2. Intérêts de la commande numérique des machines-outils

La commande numérique des machines-outils présente un certain nombre d'intérêts sur le plan technique aussi bien que financier.

### 1.2.1 Temps d'usinage:

La commande numérique diminue les temps morts nécessaires à la machine pour passer d'un point à un autre, et pour parfaire sa mise en position. Les opérateurs sont dispensés de certains travaux que ceux des machines classiques sont obligés d'accomplir avant de commencer l'usinage (étudier les plans de la pièce, choisir et préparer les outils...). Ainsi, on peut conclure que la proportion entre le temps de coupe et le temps de travail, qui varie entre 10 et 20 % pour les machines classiques, atteint 75 à 80 % pour des machines à commande numérique si l'organisation est bien adaptée à leurs possibilités. On remarque donc qu'une machine à commande numérique peut en remplacer quatre ou cinq du type classique.

### 1.2.2 Réduction des frais d'outillage:

Avant l'apparition de la commande numérique, pour réaliser une pièce quelque peu précise, il fallait soit utiliser des machines de haute précision, aléscuses ou pointeuses, soit des perceuses complétées par des outillages portant des "carrons". Donc la commande numérique peut compter à son crédit l'économie du prix de l'outillage, ainsi que celle des dépenses liées à son stockage, son entretien, sa vérification,...

### 1.2.3 Rebuts: *brak, wykrawak, odpad*

On a pu constater que le taux de rebuts des machines outils à commande numérique était bien plus bas par rapport à celui des machines classiques. Ce fait est très important surtout lorsque l'on fabrique des pièces chères et précises.

### 1.2.4 Interchangeabilité:

Lorsque des prototypes et des matériels sont fabriqués en petite série, sur des machines classiques, ils ne bénéficient d'aucune interchangeabilité, à moins qu'ils n'aient été entières.



rement usinés sur une machine à pointer. La commande numérique rend ce point négligeable du fait de l'interchangeabilité des pièces fabriquées sur des machines-outils à commande numérique.

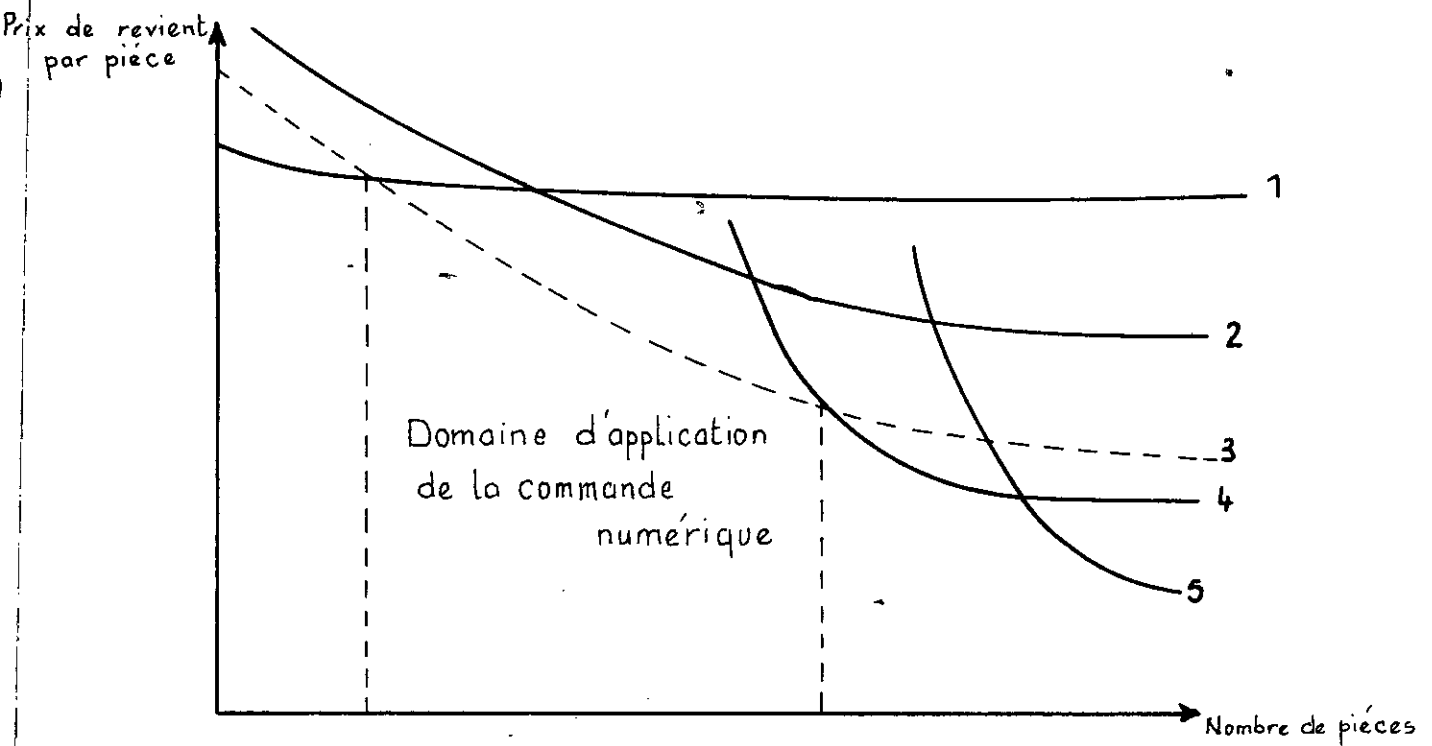
#### 1.2.5 Modifications dans la conception:

Des programmes numériques peuvent être modifiés plus facilement et plus rapidement que des organes mécaniques complets et des jeux d'engrenages.

#### 1.2.6 Main-d'oeuvre:

D'une manière relativement facile, un opérateur professionnel peut surveiller un plus grand nombre de machines ou plusieurs travaux simultanés de différentes gammes.

Cette énumération des avantages est encore loin d'être complète. Néanmoins elle donne déjà quelques aperçus remarquables sur le domaine d'application de la commande numérique grâce au graphe suivant:



- 1- Machine conventionnelle sans outillage spécial
- 2- " " avec " "
- 3- Machine-outil à commande numérique
- 4- " spéciale
- 5- " transfert

Les statistiques montrent que plus de 80 % des pièces mécaniques réalisées dans le monde font l'objet de lancements de séries de moins de 20 pièces ; or, c'est là le domaine privilégié de la commande numérique. Il est donc certain que beaucoup d'entreprises se trouvent concernées. Cet état de fait explique l'accroissement considérable des ventes de machines-outils à commande numérique, phénomène qui ne peut aller qu'en s'amplifiant au cours des prochaines années.

## CHAPITRE 2 - CLASSIFICATION DES MACHINES-OUTILS

### 2.1. Classification selon le mode de travail

Il est possible de classer les machines-outils à commande numérique en deux grandes catégories du point de vue de leur travail. En effet, nous pouvons citer le mode "point à point" et le mode "contournage". Pour le premier nous pouvons encore le diviser en deux sous-modes:

a) lorsque l'outil ne travaille pas pendant les déplacements.

C'est ce qu'on appelle en réalité le mode "point à point".

b) lorsque l'outil travaille pendant les déplacements, ceux-ci restant parallèles aux axes principaux de la machine. C'est ce qu'on appelle le mode "paraxial".

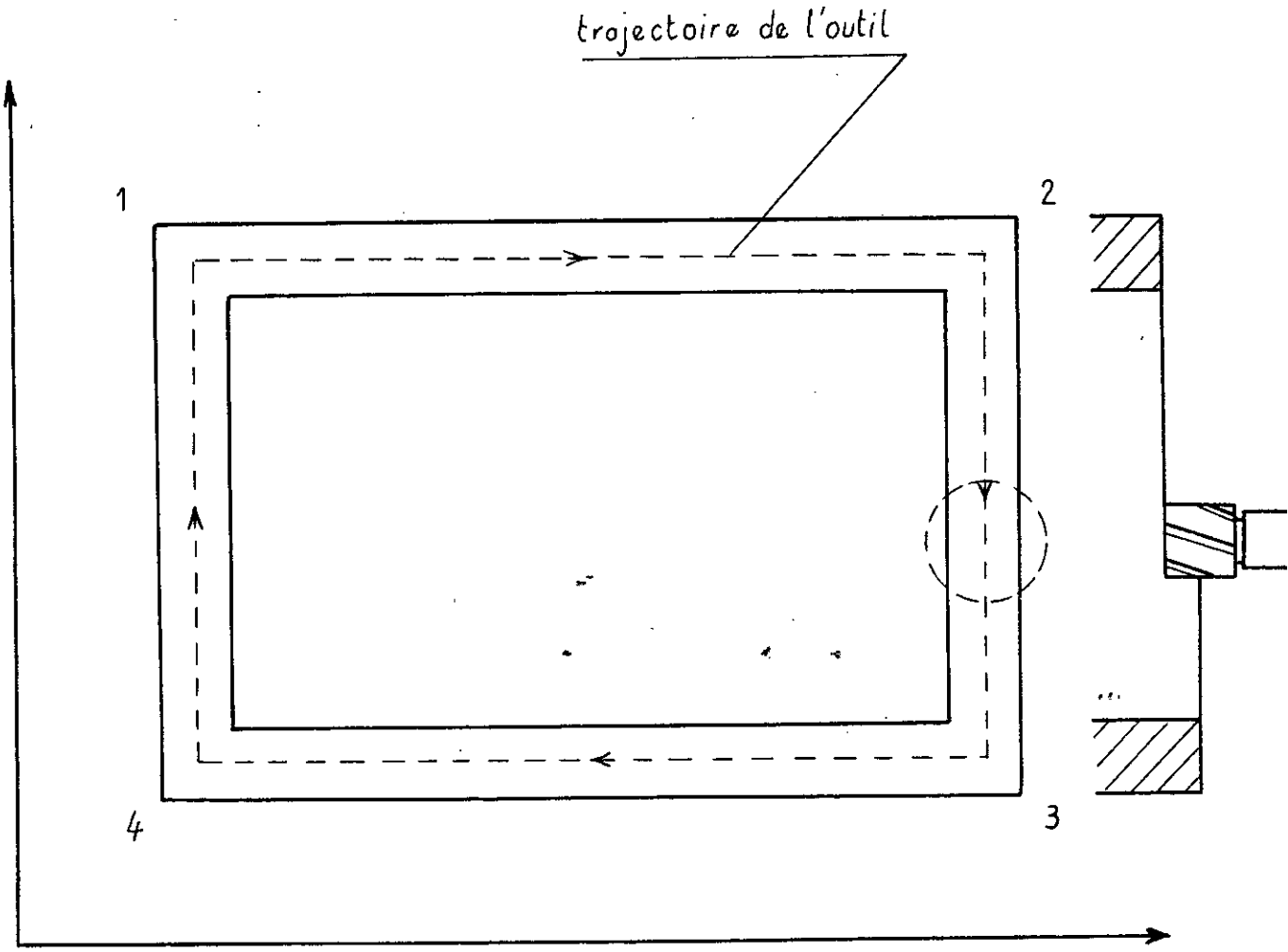
#### 2.1.1 Mode "point à point"

Comme on l'a déjà dit l'outil ne travaille jamais pendant les déplacements. Pour passer d'un point à un autre, il peut suivre une trajectoire quelconque, ce qui fait qu'il n'existe pas de coordination des mouvements par rapport aux axes principaux. Lorsque l'outil atteint la position d'usinage, la mise en route est déclenchée. Pour ce mode de travail on utilise souvent des moteurs pas à pas, car ils sont à la fois organe moteur et système de mesure. Ce mode de travail est surtout rencontré en perçage, pointage, lamage et taraudage.

#### 2.1.2 Mode "paraxial"

Pour ce mode de travail, le déplacement de l'outil est contrôlé sur un axe, les autres restant bloqués. Pendant le déplacement du chariot l'outil est en prise avec la pièce (il y a usinage) et les chariots se déplacent les uns après les autres.

Le domaine d'application de cette méthode est le fraisage en deux axes et le tournage en deux axes.



Fraisage en commande paraxiale

### 2.1.3 Mode "contournage"

C'est la forme la plus évoluée de la commande numérique. En assignant à une machine un grand nombre de buts/successifs, le mouvement relatif de l'outil par rapport à la pièce est composé de segments de droites de très faible largeur qui constituent une trajectoire qu'on peut pratiquement confondre avec une courbe continue. 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.

Sur les machines les plus simples il n'y a que deux déplacements simultanés, mais certains systèmes perfectionnés peuvent en commander six à la fois, les uns étant des translations et les autres des rotations.

Si nous nous limitons seulement à une trajectoire plane, pour chaque point il faudra fournir ses deux coordonnées ( $x_i$  et  $y_i$ ), ainsi que la vitesse de déplacement en ce point ( $\frac{dx_i}{dt}$  et  $\frac{dy_i}{dt}$ ) de façon à ce que la vitesse résultante  $v$  soit:

$$v = \sqrt{\left(\frac{dx_i}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy_i}{dt}\right)^2}$$

Il faudra donc calculer des dizaines de milliers de points et, pour chaque point, quatre données numériques sont nécessaires avec en ~~la~~ moyenne 6 chiffres. L'utilisation d'une bande perforée pour introduire ces valeurs devient tout à fait impossible, compte tenu de la faible densité des informations sur ce support. Il est alors nécessaire d'utiliser une bande magnétique, mais ce procédé reste encore limité. La solution généralement adoptée utilise un interpolateur intégré (véritable ordinateur) dont le rôle est de calculer tous les points intermédiaires à partir d'un nombre limité de points appelés "points nodaux". Différents modes d'interpolation sont possibles, tels l'interpolation linéaire, l'interpolation circulaire et parfois même l'interpolation parabolique. La programmation se trouve alors bien simplifiée.

Le fraisage est le mode d'usinage qui utilise le plus le contournage (fraiseuses, centres d'usinage). Le tournage fait aussi de

plus en plus appel à cette méthode. Les moules, les matrices, les surfaces courbes et nombreuses pièces de l'aviation sont le domaine privilégié de l'usinage en contournage.

## 2.2. Classification selon le mode de fonctionnement

Il existe trois types de fonctionnement des machines-outils à commande numérique

### 2.2.1 Fonctionnement semi-automatique

Cette méthode est employée lorsque le travail ne comporte pas un grand nombre d'opérations et lorsque le nombre de pièces à réaliser est très faible. Les données sont inscrites soit à la main, soit à l'aide d'une imprimante, sur un bordereau qu'on remet à l'opérateur. Ce dernier, phase par phase, les transmet à la machine après avoir consulté la fiche d'instructions qu'on lui a remis avec les plans de la pièce à exécuter et des renseignements complémentaires concernant les points d'appui et de bridage, la spécification des outils,...

Pour la programmation, l'opérateur dispose d'un pupitre de commande portant des commutateurs et des cadrans décimaux à l'aide desquels il inscrit les données.

### 2.2.2 Fonctionnement automatique

Lorsqu'un travail comporte un grand nombre d'opérations semblables et dont chacune a une certaine durée, ou lorsque le nombre des opérations est important, ou encore lorsque la série atteint quelques pièces, l'introduction automatique des données devient nécessaire. Les informations sont transmises soit par cartes perforées, bandes perforées, soit par bandes magnétiques.

#### 2.2.2.1. Cartes perforées

C'est un système qui n'est utilisé que pour commander les machines qui assemblent des constituants électroniques sur des circuits imprimés. L'exécution du programme est commandée par un paquet de cartes dont chacune correspond à une opération particulière. L'avantage de ce système réside dans le fait qu'on peut ajouter ou retrancher facilement une ou plusieurs opérations à la gamme d'usinage. Mais il faut veiller à ce que les cartes soient bien

classées dans l'ordre numérique des opérations, ce qu'un système automatique est chargé de contrôler. Donc, après toute modification, on doit perforer un nouveau paquet de cartes et les numéroter selon la nouvelle séquence.

#### 2.2.2.2. Bandes perforées

C'est le système le plus répandu. Le support est un ruban large de 1 pouce (25,4 mm) comportant 8 pistes capables de recevoir des perforations et une neuvième piste qui sert à l'entraînement par le lecteur. Le pas des perforations est de 2,54 mm (0,1 pouce) et chaque ligne transversale correspond à un caractère. La correspondance entre les perforations et le signe qu'elles représentent est normalisée. Le code ISO a succédé au code EIA.RS.244.

Les bandes qui ne sont pas utilisées fréquemment sont en papier fort. Celles qui sont très utilisées sont en matière plastique ou même en sandwich plastique / aluminium.

La vitesse de lecture de la bande varie selon le moyen de lecture (mécanique, pneumatique ou optique) entre 10 et 1.000 caractères par seconde.

#### 2.2.2.3. Bandes magnétiques

Comme les travaux de contournage demandent, en général, une très grande quantité d'informations, et comme la vitesse des lecteurs de bandes perforées peut limiter le débit du système, certains constructeurs ont utilisé des bandes magnétiques dont la densité d'information est presque cent fois plus grandes que celle des bandes perforées et dont la vitesse de lecture est également beaucoup plus élevée.

L'inconvénient des bandes magnétiques est que le revêtement magnétique attire les poussières ferreuses qui peuvent, d'une part, altérer les signaux et, d'autre part, endommager le revêtement lors du passage sous la tête de lecture. Il y a aussi le fait que si une bande magnétique a subi une modification superficielle qui a altéré les indications qu'elle porte, on ne peut guère s'en apercevoir par un simple examen visuel, mais seulement lorsqu'une erreur se produit dans le fonctionnement de la machine.



Les bandes magnétiques sont moins souvent utilisées que les bandes perforées mais on a fait, depuis 1965 environ, de gros efforts pour en répandre l'emploi. En particulier, on a créé des chargeurs étanches qui les protègent contre les poussières.

### 2.2.3 Fonctionnement mixte

Certaines données ne sont pas connues au moment où l'on élabore le programme de travail, comme par exemple: la largeur d'un outil, le diamètre d'une fraise, la position exacte d'un outil de tour par rapport à son chariot,...

Dans ce cas là, le programme élaboré par le service de préparation est transcrit sur bande perforée ou magnétique et les données qui ne seront connues qu'au moment de l'exécution du travail seront transmises à la machine par l'opérateur à l'aide de commutateurs situés sur le pupitre de commande.

0) Quel est role 4-me axe par rapport au système  
1) Si vous connaissez les différences entre ces systèmes  
2) Si seulement application de ces systèmes

## CHAPITRE 3 - LE SYSTEME SINUMERIK SPRINT 8 M

### 3.1. Caractéristiques techniques principales

Le système Sinumerik Sprint 8M est un système de commande de contour-nage CNC à microprocesseur et PC intégré pour alésouses et fraiseuses programmables manuellement.

#### 3.1.1 Nombre d'axes

Dans notre système nous pouvons programmer le déplacement de l'outil suivant 4 axes (X, Y, Z et le 4me axe parallèle à l'un d'eux). Le 4me axe est choisi parmi les adresses suivantes: A, B, C, E, Q, U, V et W. Nous pouvons effectuer des interpolations linéaires (3 axes parmi 4), circulaires (2 axes parmi 4) ou hélicoïdales (3 axes parmi 4).

#### 3.1.2 Introduction des données

L'introduction des données peut être soit manuelle à l'aide du clavier qui se trouve sur le tableau de commande, soit par bande perforée qui passe par un lecteur de bande.

#### 3.1.3 Corrections

Différentes corrections sont prévues pour notre système:

- corrections des outils (99 blocs de correction pour la géométrie et l'usure des outils),
- correction du rayon de fraise sur le contour par la méthode d'intersection,
- compensation de l'erreur du pas de la vis d'avance,
- compensation des jeux,
- on dispose aussi d'un système de correction de programme qui permet de corriger ou de modifier directement en mémoire des programmes d'usinage.

#### 3.1.4 Technologies

Le système Sinumerik Sprint 8 M possède une technologie assez avancée par rapport à d'autres systèmes. Les principaux points sont:

- Avance 0,01 mm/mn à 15.000 mm/mn
- 0,001 mm/mn à 50 mm/mn

On peut avoir une avance rapide jusqu'à 15m/mn

- Fonctions de conversion et auxiliaires:

- T (avec 4 décades)

- M (avec 2 décades)

- N (avec 6 décades)

- S (avec 4 décades)

- Commande complète de la broche, sortie de vitesse analogique
- Arrêt orienté de la broche 0 à 359°
- Vitesse de coupe constante
- Surveillances de vitesse programmables
- Filetage aux pas de 0,001 mm/tr à 50 mm/tr jusqu'à 10.000 tr/mm
- Limitation programmable de l'aire de travail
- Un (1) décalage d'origine programmable par axe
- Deux (2) manivelles électroniques pour déplacement manuel simultané.

### 3.1.5 Fonctions de sécurité

Notre commande numérique possède des systèmes de surveillance interne qui sont continuellement actifs pour la détection des défauts qui peuvent se produire au sein de l'ensemble de l'installation.

En cas de défaut, un message d'alarme est envoyé à l'écran de visualisation de données et le fonctionnement de la commande numérique est interrompu si nécessaire.

## 3.2. Caractéristiques de programmation

### 3.2.1 Code de la bande perforée

Les codes utilisés pour la perforation sont soit DIN 66025 (ISO), soit EIA-RS 244-A. La commande numérique reconnaît automatiquement le bon code après lecture du premier signe (sauf les signes NUL et DEL). Le contenu de la bande perforée est contrôlé au cours de la lecture:

nombre de trous toujours pair (code ISO)

" " " impair (code EIA)

Ce critère est utilisé pour un contrôle simple du programme à partir du second signe.

## 3.2.2 Signes utilisés

La commande numérique lit chaque signe présenté dans le code de la bande perforée. Cependant, on ne peut utiliser que certains signes bien définis pendant la formulation des instructions de programme.

Code ISO

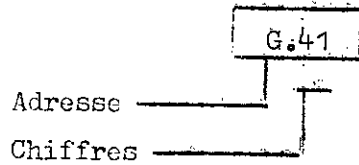
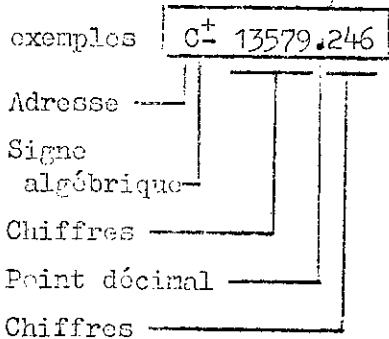
Lettres d'adresses	A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K,L,M,N,P,Q,R,S,T,U, V,W,X,Y,Z
Chiffres	0,1,2,3,4,5,6,7,8,9
Signes spéciaux imprimables	%, (, ), +, -, /, :, .,
Signes spéciaux non imprimables	HT : Tabulateur SP : Espace (space) DEL: Erreur (Delete) CR : Retour chariot (Carriage Return) LF : Fin de bloc (Line Feed)

INTRODUCTION Les signes suivants sont mémorisés mais non traités	SORTIE IMPRIMANTE/PERFORATION Les signes suivants sont générés
HT	
SP (sauf à l'intérieur de commentaires)	SP (après chaque mot sauf à l'intérieur de commentaires)
DEL	
CR (l'ordre CRLF est libre)	CR répété 2 fois après LF

LF est indiqué par <sup>⋈</sup> sur l'écran de visualisation.

### 3.2.3 Constitution d'un mot

Un mot est formé par une lettre d'adresse suivie d'une série de chiffres avec ou sans point décimal et avec ou sans signe algébrique.



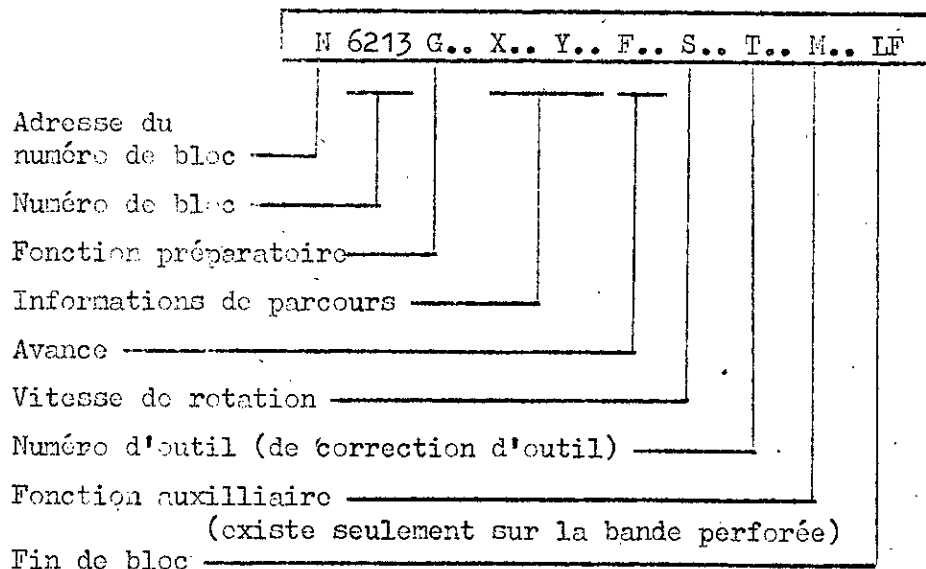
### 3.2.4 Constitution d'un bloc

Un bloc est formé par plusieurs mots et le signe LF (fin de bloc). Chaque bloc peut comporter au maximum 120 signes. On distingue deux (2) sortes de blocs:

- un bloc principal, et éventuellement les blocs qui le suivent, qui comporte tous les mots nécessaires au démarrage de l'usinage défini par la partie de programme qui débute par ce bloc principal.
- des blocs secondaires qui comportent les fonctions qui peuvent éventuellement changer.

L'ordre des numéros de blocs peut comporter des sauts. Ainsi on peut, par exemple, repérer des blocs modifiés ou nouveaux en les faisant précéder d'un chiffre différent dans la colonne des milliers. Des parties de programme qui ne sont pas à exécuter pour chaque pièce d'une série, par exemple un dégagement pour effectuer une mesure, peuvent être repérées à l'aide d'une barre oblique et exécutées ou ignorées en fonction de la position du commutateur "Skip" (bloc optionnel).

Exemple d'un bloc

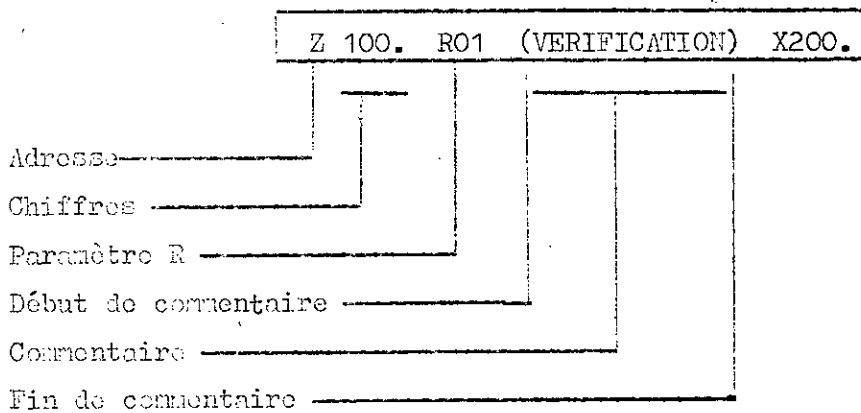


### 3.2.5 Texte préliminaire et commentaires

On utilise un texte préliminaire pour permettre l'identification des différentes bandes perforées. Ce texte préliminaire est ignoré par la commande numérique et il n'est pas mis en mémoire. Il peut comporter n'importe quel signe sauf LF (fin de bloc) et % (début de programme).

L'utilisation de commentaires permet à l'opérateur d'avoir des instructions au moyen de l'écran de visualisation. Un commentaire est limité à 117 signes. Il ne doit cependant comporter ni le signe %, ni le signe LF. Un commentaire ne peut pas figurer entre une adresse et les chiffres qui lui sont associés ou entre un mot et les paramètres correspondants.

Exemple de commentaire



### 3.2.6 Programmes et sous programmes d'usinage

Un programme d'usinage décrit le processus de réalisation d'une pièce et comporte le programme d'usinage proprement dit et les éventuels sous-programmes auxquels il fait appel et/ou des cycles d'usinage (les cycles d'usinage sont des sous-programmes que le constructeur de la machine a mémorisé dans une zone mémoire protégée). La mémoire de programme peut contenir jusqu'à 99 programmes d'usinage de pièces. Si le programme est introduit à l'aide du tableau d'utilisation, les numéros de bloc sont automatiquement générés au pas de cinq (5). Pour introduire un numéro différent, on efface le numéro généré au moyen de la touche "clear".

Les sous-programmes sont utilisés lorsque certaines séquences se présentent plusieurs fois. Les sous-programmes sont appelés soit dans le programme d'usinage, soit en introduction manuelle (MDI). Un sous-programme est caractérisé par son numéro de sous-programme à 2 ou 3 décades suivi de 2 zéros. La mémoire de programme peut contenir jusqu'à 99 sous-programmes à la fois. Un sous-programme est appelé à partir du programme d'usinage ou d'un autre sous-programme sous l'adresse L. A partir du programme pièce, les sous-programmes peuvent être imbriqués 3 fois. Dans les blocs comportant M02, M30 ou M17, il ne faut pas faire appel aux sous-programmes. Les sous-programmes L80 à L99 et L900 à L999 peuvent être protégés au moyen d'un signal de la commande d'adaptation contre l'effacement et contre la sortie sur imprimante ou perforatrice.

### 3.3. Code de programmation

Il serait trop long de donner toutes les fonctions existantes dans notre code de programmation. Ce qui va suivre n'est que les principales fonctions nécessaires surtout pour la compréhension du programme qu'on va établir pour l'usinage de notre pièce.

#### 3.3.1 Fonctions préparatoires

Les fonctions préparatoires décrivent le type de déplacements de la table, le genre d'interpolation, le type de cotation, l'influence du temps et elles activent certains états de fonctionnement de la commande numérique. Elles se divisent en 14 groupes (G1 à G14). Il ne doit y avoir qu'une seule fonction préparatoire de chacun des 14 groupes dans un même bloc de programme, sinon c'est la dernière fonction programmée de chaque groupe qui devient efficace. Les fonctions préparatoires automaintenues ne peuvent être effacées que par des fonctions du même groupe.

Les 14 groupes des fonctions préparatoires sont:

- G1 qui comprend les fonctions suivantes:

- G00 = avance rapide: Le parcours sera effectué à la vitesse de déplacement la plus rapide possible, le long d'une droite. Cette fonction provoque automatiquement un arrêt précis (G09).
- G01 = interpolation linéaire: l'outil se déplace à la vitesse d'avance le long d'une droite vers la position programmée.
- G02 = interpolation circulaire dans le sens horaire: l'outil se déplace en rotation par rapport à la pièce dans le sens horaire.
- G03 = interpolation circulaire dans le sens antihoraire: l'outil se déplace en rotation par rapport à la pièce dans le sens antihoraire.
- G10 = programmation en coordonnées polaires, rapide: il y a interpolation linéaire **en** rapide.
- G11 = programmation en coordonnées polaires, vitesse d'avance: il y a interpolation linéaire **en** vitesse d'avance.



- G33 = filetage: pour le filetage on ne programme pas de vitesse d'avance. La vitesse de l'avance de l'axe est déterminée par un capteur d'impulsions placé sur la broche. On obtient ainsi un synchronisme parfait entre la rotation de la broche et l'avance de l'axe du filet.
- G2 qui comprend la fonction suivante:
  - G04 = temporisation: la temporisation est utilisée pour terminer une coupe (annulation de l'écart de poursuite) et éventuellement pour changer de vitesse de rotation et pour des fonctions machine. Un bloc avec G04 ne doit comporter aucune autre fonction préparatoire, ni aucune information de parcours. Sont admis: vitesse de broche (S), outil (T), et fonction auxiliaire (M). La durée de temporisation s'indique sous l'adresse F ou sous X.
- G3 qui comprend la fonction suivante:
  - G09 = réduction de vitesse: cette fonction permet d'accoster avec précision une destination. La vitesse d'avance est progressivement réduite jusqu'à zéro. L'écart de poursuite actuel est annulé.
- G4 qui comprend les fonctions suivantes:
  - G17 )
  - G18 ) = sélection de plans: ces fonctions nous permettent de
  - G19 ) sélectionner le plan dans lequel la correction du rayon de fraise sera efficace. Si par contre on n'a sélectionné aucun plan, au début du programme, c'est G17 (position d'effacement) qui est automatiquement sélectionnée.
- G5 qui comprend les fonctions suivantes:
  - G25 = limitation programmable de la plage de travail, limite mini: cette fonction permet de protéger la machine en cas d'erreur de programme ou de manipulation. Lorsque la limite de la plage est atteinte, la consigne de déplacement est interrompue (arrêt de

programme et alarme). La limitation de la plage de travail est rapportée à l'origine. Cette fonction n'est efficace qu'en mode de fonctionnement automatique.

- G26 = limitation programmable de la plage de travail, limite maxi: même fonction que G25, sauf qu'elle s'applique pour la limite maxi de la plage.

- G6 qui comprend les fonctions suivantes:

- G40 = pas de correction de rayon de fraise en contournage

- G41 = outil à gauche de la pièce,

- G42 = outil à droite de la pièce) correction de rayon

de fraise en contournage:

la correction du rayon de fraise se fait dans le plan sélectionné (G17 à G19). Quant à la longueur de fraise, la correction se fait toujours normalement au plan sélectionné, donc selon le troisième axe.

- G7 qui comprend la fonction suivante:

- G53 = annulation du décalage d'origine: cette fonction provoque pour le bloc considéré l'annulation des décalages d'origine dans les axes programmés. Les décalages d'origine ne sont donc plus pris en compte pour le calcul de la destination.

On appelle décalage d'origine, la distance entre l'origine de la pièce (point auquel se réfèrent les cotes pièce) et l'origine de la machine.

- G8 qui comprend les fonctions suivantes:

- G54 = décalage d'origine N° 1 )

- G55 = " " N° 2 )

- G56 = " " N° 3 )

- G57 = " " N° 4 )

: ces fonctions nous permettent de sélectionner quatre (4) décalages d'origine réglables pour chaque axe (par exemple, pour l'usinage alterné de deux pièces identiques sur deux fixations).

- G9 qui comprend la fonction suivante:
  - \* G59 = décalage d'origine additif programmable: cette fonction permet de programmer sous les adresses X,Y,Z, 4<sup>me</sup> axe, un décalage d'origine supplémentaire. Lors de la prise en compte, les valeurs programmées sont additionnées à celles du décalage d'origine réglable.
- G10 qui comprend les fonctions suivantes:
  - \* G60 = arrêt précis: même fonction que G09. Cette fonction G60 est automatiquement et s'annule par G64.
  - \* G63 = taraudage avec fourreau compensé: cette fonction s'utilise pour les filetages à l'aide d'un taraud monté dans un fourreau compensé. La vitesse d'avance n'est pas liée fonctionnellement à la vitesse de rotation de la broche. On programme sous l'adresse S la vitesse de broche et sous l'adresse F une vitesse d'avance convenable. Cette fonction ne s'emploie que dans des blocs comportant G01. Elle est annulée par G60.
  - \* G64 = fonctionnement en contournage: cette fonction s'utilise lorsqu'il n'est pas nécessaire d'annuler l'écart de poursuite lors du passage d'un bloc à un autre. D'autre part, elle adoucit les transitions en cas de changement de direction des tangentes.
- G11 qui comprend les fonctions suivantes:
  - \* G70 = système d'introduction en pouce)
  - \* G71 = système d'introduction métrique): les valeurs inscrites dans le programme d'usinage sont données selon notre choix, dans le système métrique ou dans le système anglosaxon (en pouce).

- G12 qui comprend les fonctions suivantes:

- \* G90 = introduction en absolu: lorsqu'on travaille en absolu, toutes les cotes sont rapportées à l'origine pièce définie. Aussi on pourra facilement entrer ou sortir d'un programme.
- \* G91 = introduction en incrémental: en introduction en incrémental, la valeur programmée correspond au parcours à effectuer. L'introduction en incrémental est surtout utilisée pour les sous-programmes.

- G13 qui comprend la fonction suivante:

- \* G92 = positionnement des mémoires de valeur réelle de position: cette fonction permet de rapporter le point d'origine de la commande numérique au point d'origine de la pièce. Elle est réservée à des applications particulières, comme par exemple pour les productions de masse de pièces à temps d'usinage courts. Pour les cas standard, il est recommandé d'utiliser les fonctions G54 à G57 et/ou G59.

- G14 qui comprend les fonctions suivantes:

- \* G94 = vitesse d'avance sous l'adresse F en mm/min,
- \* G95 = " " " " F en mm/tr): en programme ces fonctions lorsque la vitesse de coupe n'est pas constante (par exemple pour une spirale plane, il n'est pas possible d'obtenir une vitesse de contournage constante, la vitesse sur la trajectoire change constamment en fonction de la valeur du diamètre à l'usinage).
- \* G96 = vitesse d'avance sous l'adresse F en mm/tr et vitesse de coupe constante (S en m/min): cette fonction est programmée lorsque la vitesse de coupe, indiquée sous l'adresse S, est constante.

- \* G97 = annulation de la fonction G96: la fonction G97 supprime le fonctionnement à vitesse de coupe constante et mémorise la dernière vitesse de rotation de broche obtenue dans ce fonctionnement.

### 3.3.2 Fonctions de commutation et auxiliaires S,H,T,M:

Les fonctions de commutation et les fonctions auxiliaires sont émises dans le bloc dans lequel elles ont été programmées. On peut mettre au maximum 3M, 1S, 1T et 1H dans un bloc. Leur émission par la commande numérique se fait de la façon suivante:

- émission simultanée de toutes les fonctions programmées sauf le cas échéant de la 2<sup>me</sup> et de la 3<sup>me</sup> fonction M,
- émission de la deuxième fonction M introduite,
- émission de la troisième fonction M introduite.

#### 3.3.2.1. - Mot S:

On peut utiliser le mot S, au choix, pour..

- la vitesse de rotation de la broche sous forme codée
- " " " en tr/mn ou en 0,1 tr/mn (à définir à la mise en service)
- la vitesse de coupe en m/mn ou 0,1 m/mn (à définir à la mise en service)

#### 3.3.2.2. - Fonctions complémentaires H:

Pour des fonctions de commutation sur la machine ou pour des mouvements non numériquement contrôlés (par exemple plateau diviseur), on dispose avec l'adresse H d'une fonction complémentaire par bloc pouvant contenir au maximum 6 décades. La signification exacte de chacune des fonctions H figure dans le manuel de programmation du constructeur de la machine.

#### 3.3.2.3. - Numéro d'outil T:

Le numéro d'outil définit l'outil nécessaire pour la séquence d'usinage qui suit. Le numéro d'outil est affecté de 4 décades.

### 3.3.2.4. - Fonctions auxiliaires M

Les fonctions auxiliaires se divisent en cinq (5) groupes, M1 à M5.

- M1 qui comprend les fonctions suivantes:

\* MOO = arrêt programmé, absolu: l'arrêt absolu permet d'interrompre le programme pour effectuer des opérations non automatiques telles que des mesures. Une fois ces opérations terminées, on peut poursuivre le programme en appuyant sur la touche de démarrage "cycle". L'écriture "MO" ou simplement "M" est autorisée.

\* MO1 = arrêt programmé, conditionnel: cette fonction auxiliaire agit comme MOO mais n'est efficace que si la touche "arrêts optionnels actifs" est enclenchée. MOO et MO1 ont les mêmes fonctions que le "bloc à bloc". L'écriture "M1" est valable aussi.

- M2 qui comprend les fonctions suivantes:

\* MO2 = fin de programme: cette fonction qui comporte le retour au début du programme, doit s'écrire dans le dernier bloc du programme. Elle peut y figurer avec d'autres fonctions ou seule. L'écriture "M2" est autorisée.

\* M17 = fin du sous-programme: cette fonction peut s'inscrire seule ou avec d'autres fonctions dans le dernier bloc d'un sous-programme. L'appel d'un sous-programme et de M17 dans un même bloc n'est pas licite.

\* M30 = fin de programme avec rembobinage: cette fonction a le même effet que MO2 mais elle commande en plus le rembobinage du lecteur jusqu'au signal de fin de rembobinage "%".

- M3 qui comprend les fonctions suivantes:

- \* MO3 = rotation de la broche à droite)
  - \* MO4 = " " " à gauche)
  - \* MO5 = arrêt de la broche )
  - \* M19 = " orienté de la broche )
- ): ces fonctions ne sont  
utilisées que si la commande numérique comporte la sortie analogique de vitesse de broche.

Si on programme M19 avec S suivi de 2 décades (ex: M19S12), l'angle de positionnement sera celui inscrit sous l'adresse S (en degré); sinon (M19 sans S), c'est la valeur angulaire précédemment mémorisée qui est réutilisée. M19 n'annule pas MO3 ou MO4. L'écriture "M3", "M4", et "M5" est autorisée.

- M4 qui comprend les fonctions suivantes:

- \* M36 = vitesse d'avance programmée comme sous F
  - \* M37 = " " " divisée par cent (100))
- ): la valeur de  
leur de  
la vitesse d'avance programmée sous l'adresse F en mm/tr peut, soit garder sa valeur programmée (M36), soit être réduite dans le rapport de  $\frac{1}{100}$  (M37).

- M5 qui comprend toutes les fonctions complémentaires, librement disponibles (M00 à M99), sauf les fonctions des groupes M1 à M4. Toutes ces fonctions peuvent être utilisées à volonté pour des commandes diverses de la machine. Le code de ces fonctions disponibles figure dans le manuel de programmation de la machine outil elle-même.

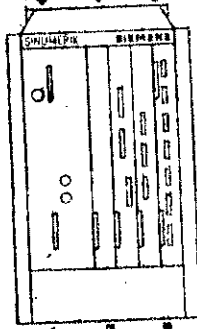
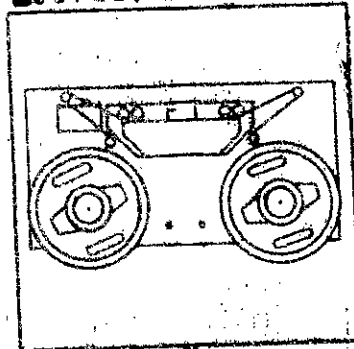
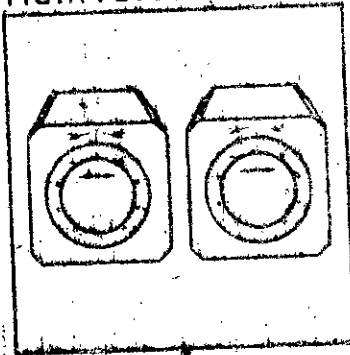
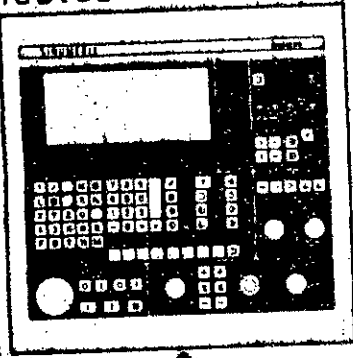
### 3.3.3 Paramètres

Dans les programmes d'usinage de pièces, des valeurs numériques peuvent être remplacés par les paramètres R00 à R99 (le constructeur de la machine peut verrouiller des paramètres R50 à R.99) pour toutes les adresses. On définira dans le programme pièce ou en sous programme une valeur numérique pour ce paramètre. La dimension des paramètres R est fonction de l'adresse à laquelle ils sont affectés. Ces paramètres R comportent toujours deux (2) décades. On peut programmer au maximum 10 paramètres dans un même bloc.

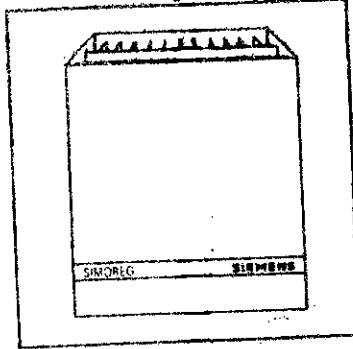
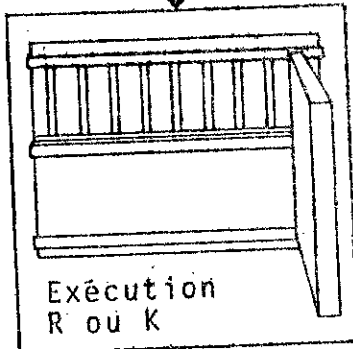
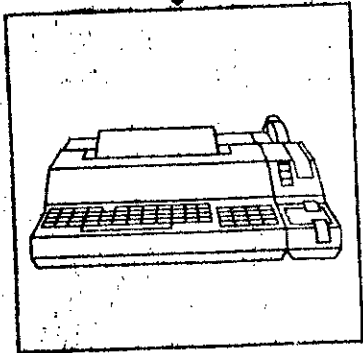
Tableau de service

Manivelles

Lecteur de bandes



Logique centrale



Imprimante

Groupe Entrées Sorties

Entraînements

Modules constitutifs de la SINUMERIK SPRINT 8M



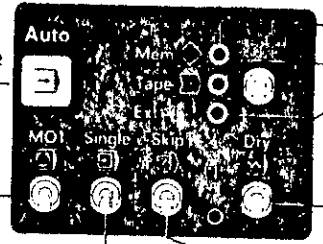


tableau de service

FICHAGES

- réglage
- interruption de l'automatique
- automatique
- programmée en cours
- position pas encore atteinte (machine se déplace)
- arrêt des avances
- arrêt de la broche
- temporisation
- arrêt programmé
- absence autorisation lecture
- alarme
- défaut

MODE DE FONCTIONNEMENT - AUTOMATIQUE



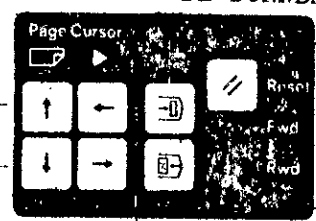
- données de: mémoire
- données de: bande
- données de: externe
- marche d'essai

- arrêts optionnels actifs
- bloc à bloc
- blocs optionnels sautés

DE FONCTIONNEMENT -

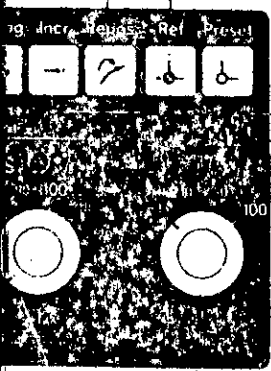
- reprise du contour
- accostage
- point de référence
- pos. mémoires de valeur réelle
- avance incrémentale
- avance/rapide
- pagination en arrière
- pagination en avant

RECHERCHE DE DONNEES



- avancement du programme
- retour du programme
- retour sur début de programme

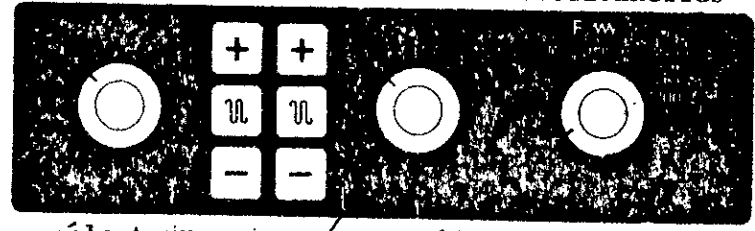
- index de correction vers la droite
- index de correction vers la gauche



- mutateur correction la vitesse broche
- commutateur de correction du rapide

ELEMENTS D'UTILISATION EN REGLAGE

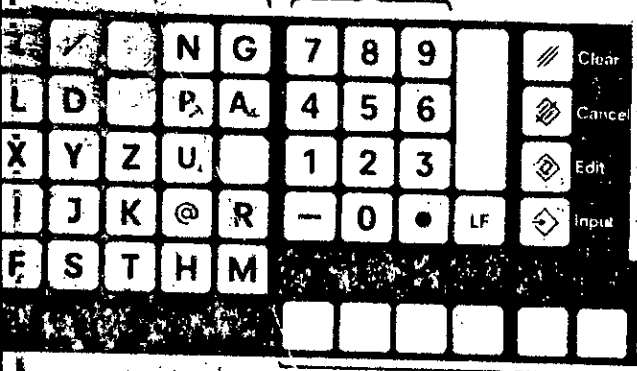
touches directionnelles



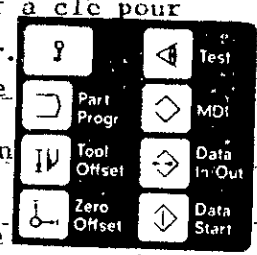
- sélecteur d'axes
- superposition du rapide
- sélecteur d'axes
- commutateur de correction de l'avance

PRODUCTION/EDITION DE DONNEES, REALISATIONS

- touches des adresses
- clavier numérique avec touche LF (fin de bloc)



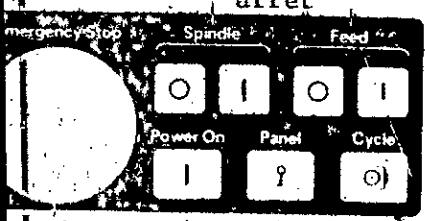
- effacement introduction de l'intr.
- effacement mot
- modificat. mot
- introduction mot
- interrupteur à clé pour verrouill. programme
- correction d'outil
- décalage d'origine
- test
- introd. manuelle de données
- transfert de données start
- transfert de données



DE MISE SOUS TENSION

- Broche arrêt
- Avance
- marche
- arrêt

- touches libres
- automatique avec introduction manuelle



- arrêt d'urgence
- start
- interrupteur à clé pour verrouillage de l'utilisation CN sous tension

## CHAPITRE 4 - PROGRAMMATION

### 4.1. Définition des cycles de perçage

Un cycle de perçage (cycle d'usinage) est une suite bien définie de déplacements machine élémentaires pour percer, aléser, tarauder,.... Les cycles d'usinage sont réalisés sous forme de sous-programmes L suivi de deux décades. Les sous-programmes sont mis en mémoire dans la commande numérique. Dans les sous-programmes, on utilise les paramètres R00 à R 11 pour les valeurs variables dans le déroulement du cycle (plans de référence; profondeur de perçage, avance de perçage, temporisation,....). Dans ce cas, le cycle de perçage considéré devra être rappelé pour chaque nouvelle position de perçage. Une fois le cycle d'usinage exécuté, la commande numérique ramène la machine dans la position de dégagement.

#### 4.1.1 Explication des paramètres

- R00 : temporisation au point de départ (pour dégager les copeaux)
- R01 : première profondeur de perçage (incrémentale) à introduire sans signe
- R02 : plan de référence - plan de retrait (absolu)
- R03 : profondeur de perçage
- R04 : temporisation au fond du perçage (cassage de copeaux)
- R05 : valeur de dégression, à introduire sans signe
- R06 : inversion du sens de rotation de la broche
- R07 : retour au sens de rotation de broche du programme principal (après R06 ou M05)
- R08 : progression de profondeur (incrémentale)
- R09 : modification de la progression de profondeur ou pas de vis.  
Numéro de sous-programme ou nombre de répétitions de sous programmes pour les positions de perçages.
- R10 : plan de retrait
- R11 : axe de perçage (pour l'axe Z, on écrit: R11 90.)

#### 4.1.2 Conditions d'utilisation des cycles de perçage

La condition préalable pour tous les cycles de perçage est que le positionnement dans le plan X-Y de l'axe de perçage ait été réalisé par le programme principal.

L'avance correcte, la vitesse de broche et son sens de rotation

sont à inscrire dans le programme principal. Les cycles de perçage sont en cotation absolue. Après l'exécution d'un tel cycle, il faut le cas échéant, rappeler G91 pour une cotation incrémentale.

#### 4.1.3 Définition des sous-programmes utilisés

##### 4.1.3.1. - Sous-programme L81: (perçage, centrage)

Il faut définir les paramètres suivants:

R02 : plan de référence = plan de retrait

R03 : profondeur de perçage

R11 : axe de perçage

Exemple: plan de référence = plan de retrait = 50 mm      R02 50.  
           profondeur de perçage                                = 5 mm      R03 5.  
           axe de perçage (ici Z)                                R11 90.

Appel du cycle de perçage: N50 R02 50. R03 5. R11 90. L81 LF

##### 4.1.3.2. - Sous programme L83: (perçage profond)

Il faut définir les paramètres suivants:

R00 : temporisation au point de départ (pour dégager les copeaux)

R01 : première profondeur de perçage (incrémentale) à introduire  
       sans signe

R02 : plan de référence = plan de retrait

R03 : profondeur de perçage finale

R04 : temporisation au fond du perçage (cassage de copeaux)

R05 : valeur de dégression, à introduire sans signe

R11 : axe de perçage

A chaque coup de perçage, la profondeur restant à percer est diminuée de la valeur constante de la dégression jusqu'à ce que la profondeur finale de perçage soit atteinte.

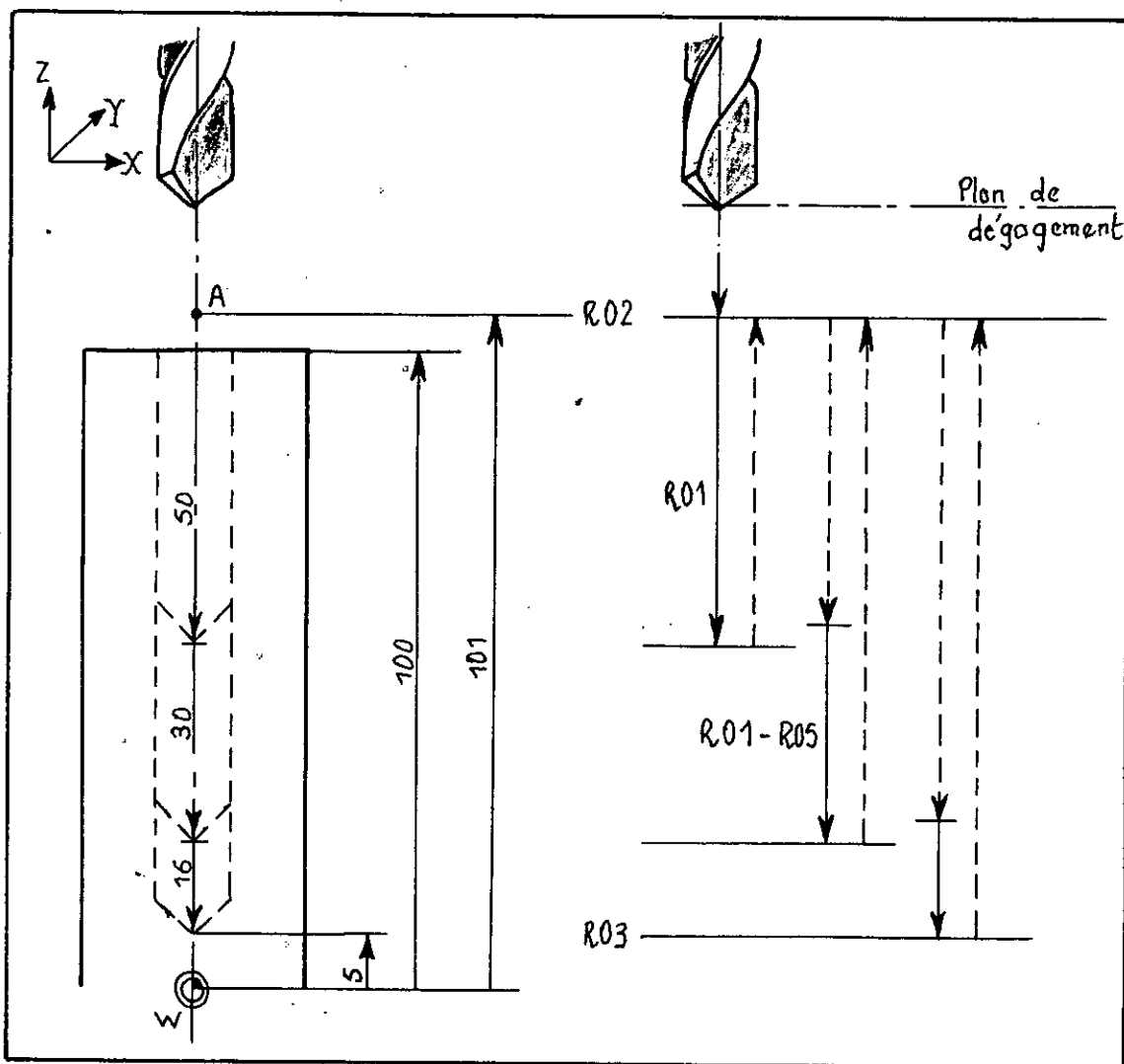
Si le calcul montre que la profondeur de perçage en cours est inférieure à la valeur de dégression, la commande numérique la maintient constante à la valeur de celle-ci. A la fin du cycle, la pointe du foret revient au point de démarrage.

## Exemple:

Temporisation au point de démarrage	= 5 s	R00 5.
Première profondeur de perçage	= 50 mm	R01 50.
Plan de référence = plan de retrait	= 101 mm	R02 101.
Profondeur de perçage finale	= 5 mm	R03 5.
Temporisation au fond du perçage	= 1 s	R04 1.
Valeur de dégression	= 20 mm	R05 20.
Axe de perçage (ici c'est l'axe Z)		R11 90.

## Appel du cycle de perçage:

N40 R00 5. R01 50. R02 101. R03 5. R04 1. R05 20. R11 90. L83 LF



A: point de départ

w: point origine

--- : déplacement rapide

— : déplacement selon la vitesse d'avance programmée

#### 4.1.3.3. - Sous-programme L84: ( taraudage pour machine avec capteur)

Il faut définir les paramètres suivants:

R02 : plan de référence = plan de retrait

R03 : profondeur de perçage

R06 : inversion du sens de rotation de la broche

R07 : retour à l'ancien sens de rotation de la broche

R09 : pas de la vis

R11 : axe de perçage

Exemple:

Plan de référence = plan de retrait	= 50 mm	R02 50.
Profondeur de perçage	= 5 mm	R03 5.
Inversion du sens de rotation de la broche		R06
Retour à l'ancien sens de rotation de la broche		R07
Pas de la vis	= 1 mm	R09 1.
Axe de perçage (axe Z)		R11 90.

Appel du cycle de perçage:

N23 R02 50. R03 5. R06 R07 R09 1. R11 90. L84 LF

#### 4.1.3.4. - Sous-programme L85: (alésage)

Il faut définir les paramètres suivants:

R02 : plan de référence

R03 : profondeur de perçage

R10 : plan de retrait

R11 : axe de perçage

Exemple:

Plan de référence	= 50 mm	R02 50.
Profondeur de perçage	= 5 mm	R03 5.
Plan de retrait	= 51 mm	R10 51.
Axe de perçage (c'est l'axe Z)		R11 90.

Appel du cycle de perçage:

N34 R02 50. R03 5. R10 51. R11 90. L85 LF

#### 4.2. Acheminement et fixation de la pièce

Avant d'acheminer la pièce brute (parallélépipède) vers notre machine à commande numérique, elle est d'abord dirigée vers une

fraiseuse pour l'usinage des 6 faces. Ensuite la pièce sera fixée sur une perceuse pour effectuer l'alésage de  $\varnothing$  40 mm. Ce n'est qu'après ces opérations que l'on va utiliser notre machine-outil à commande numérique. Donc, après le perçage, notre pièce est amenée vers notre machine et est fixée dessus (pour la fixation voir figure suivante).

La pièce étant en position et bien maintenue sur notre machine, on va amener un gabarit ( $\varnothing$  40 mm) fixé à la broche juste au-dessus de l'alésage déjà effectué sur la pièce et on va pénétrer tout doucement. Quand notre gabarit sera bien centré, on va le retirer et le tangenter superficiellement avec la pièce. Ce point de tangence sera considéré comme notre origine (W (0,0,0)) pendant tout le travail.



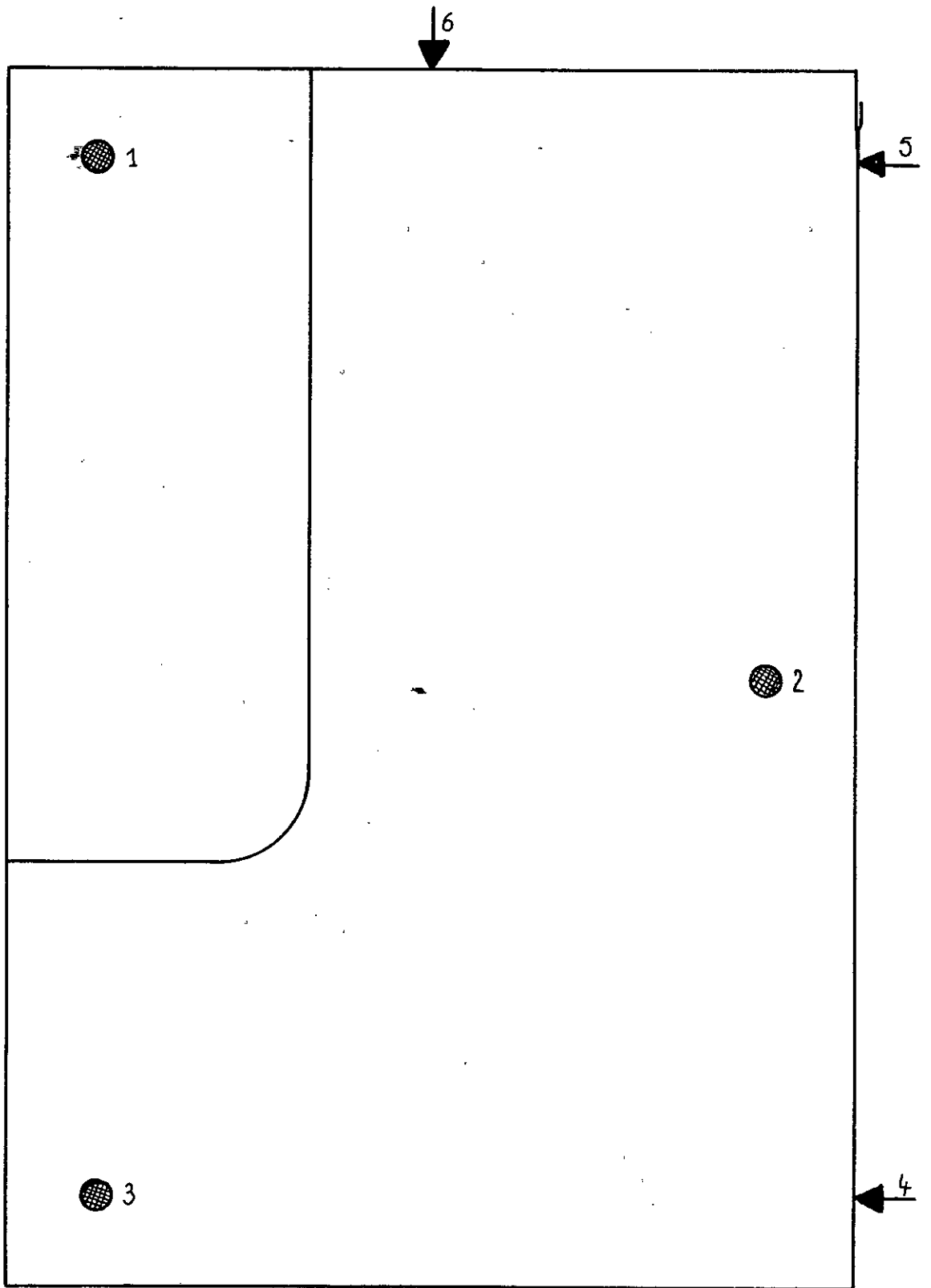


Schéma de fixation

#### 4.3. Interpolation circulaire avec paramètre d'interpolation

L'interpolation circulaire qu'on a utilisé dans le programme d'usinage de notre pièce, est une interpolation circulaire qui nécessite la définition des paramètres d'interpolation I et J (K étant parallèle à l'axe Z n'est pas utilisé). Ainsi cette interpolation est programmable comme suit:

- Le début de l'axe ou du cercle est défini par le bloc précédent
- Le point d'aboutissement est donné par les valeurs d'axes
- Le centre du cercle est déterminé par les paramètres d'interpolation correspondants.

Exemple: (voir figure suivante)

Introduction en absolu

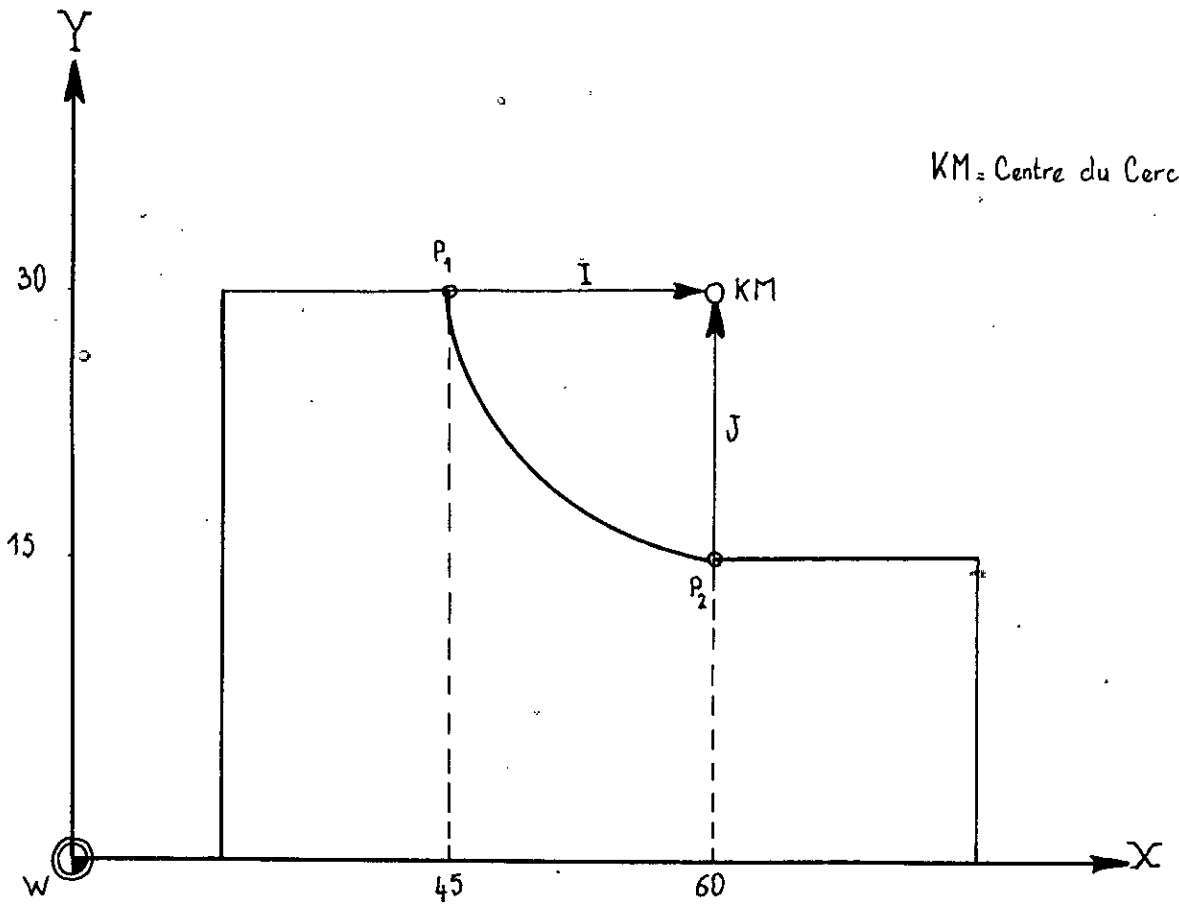
N11 G03 G90 X45. Y30. I0. J15. LF - L'outil se déplace de P<sub>2</sub> en P<sub>1</sub>

N12 G02 X60. Y15. J0. I15. LF - " " P<sub>1</sub> en P<sub>2</sub>

Introduction en incrémental

N11 G02 G91 X-15. Y15. I0. J15. LF - L'outil se déplace de P<sub>2</sub> en P<sub>1</sub>

N12 G03 X-15. Y-15. I15. J0. LF - " " P<sub>1</sub> en P<sub>2</sub>.

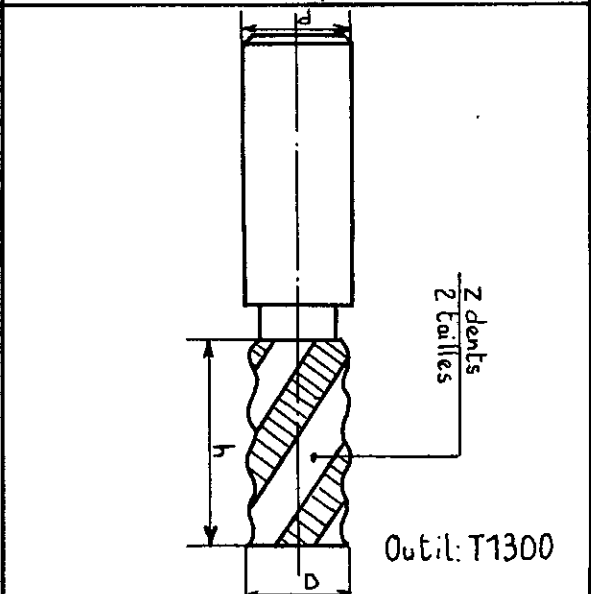
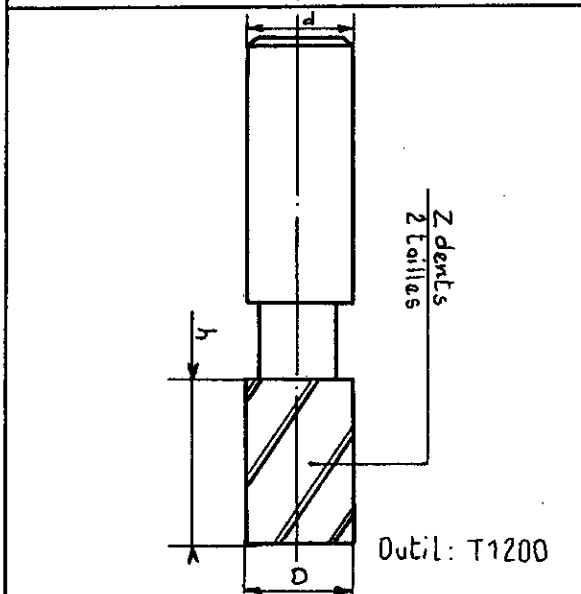
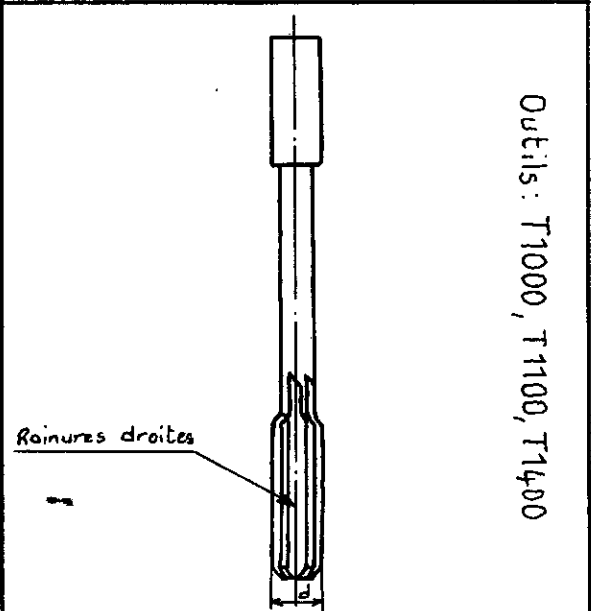
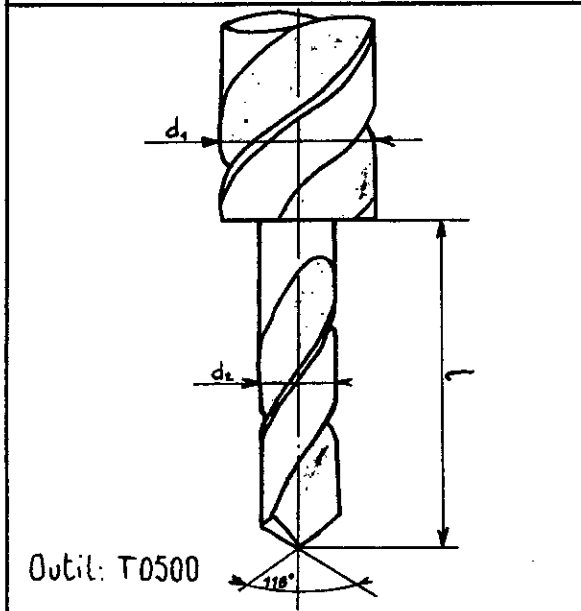
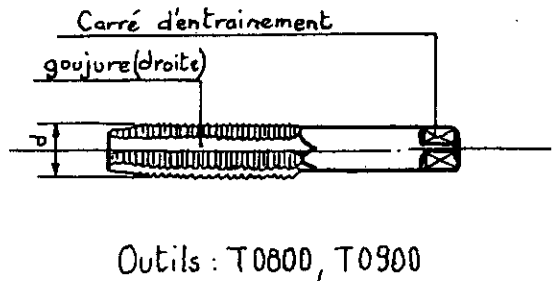
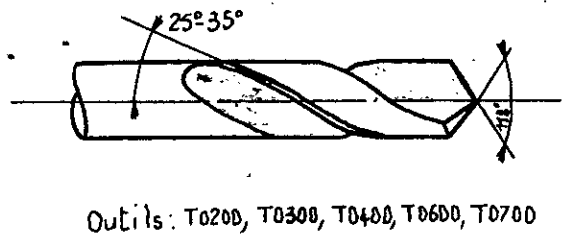
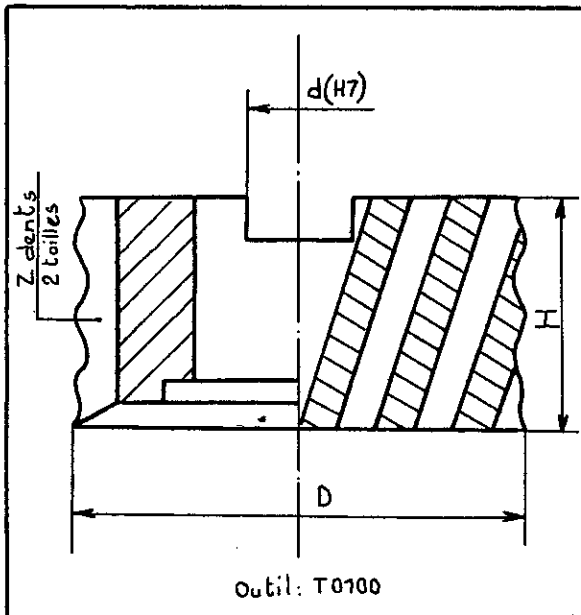


KM = Centre du Cercle

#### 4.4. Outil 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.

Pour chaque outil, il correspond des conditions de coupe bien spécifiées dans des abaques ou des tables. Pour notre cas, on s'est référé aux tables se trouvant dans le "guide du technicien en fabrication mécanique" par A. CHEVALIER et J. BOHAN. Les outils utilisés dans notre travail ont été aussi pris dans ces mêmes tables.



#### 4.4.1 Désignation des outils utilisés

- Outil T0100 : Fraise cylindrique 2 tailles, denture brise-copeaux, profil rond, entraînement par tenons, 30
- Outil T0200 : Foret série courte, à queue cylindrique, de  $\varnothing$  4, NFE 66-067
- Outil T0300 : Foret série normale, de  $\varnothing$  9,5, NFE 66-071
- Outil T0400 : Foret série normale, de  $\varnothing$  8, NFE 66-071
- Outil T0500 : Foret étagé,  $\varnothing$  8 -  $\varnothing$  20
- Outil T0600 : Foret série normale, de  $\varnothing$  6, NFE 66-071
- Outil T0700 : Foret série normale, de  $\varnothing$  11,5, NFE 66-071
- Outil T0800 : Taraud M8 -pas 1- goujures droites -entrée "gun", DIN 376
- Outil T0900 : Taraud M10 -pas 1- goujures droites -entrée "gun", DIN 376
- Outil T1000 : Alésoir à machine de 10, NFE 66-014
- Outil T1100 : Alésoir à machine de 12, NFE 66-014
- Outil T1200 : Fraise 2 tailles, queue lisse 10 x 10
- Outil T1300 : Fraise 2 tailles, denture brise-copeaux, profil rond, queue cylindrique 16 x 16
- Outil T1400 : Alésoir à machine de 16, NFE 66-014

#### 4.5. Efforts de coupe et puissance absorbée

Nous allons donner quelques détails sur la vérification des efforts de coupe et de la puissance absorbée pour les opérations de perçage et de la puissance absorbée pour les opérations de fraisage.

##### 4.5.1 Efforts de coupe et puissance absorbée au perçage

La résultante des efforts de coupe s'exerçant sur une arrête admet trois composantes:

→  
-  $f_c$  (effort tangentiel de coupe)

→  
-  $f_a$  (effort d'avance)

→  
-  $f_p$  (effort de pénétration)

Si le foret est parfaitement affûté et si le matériau de la pièce est homogène, on a :

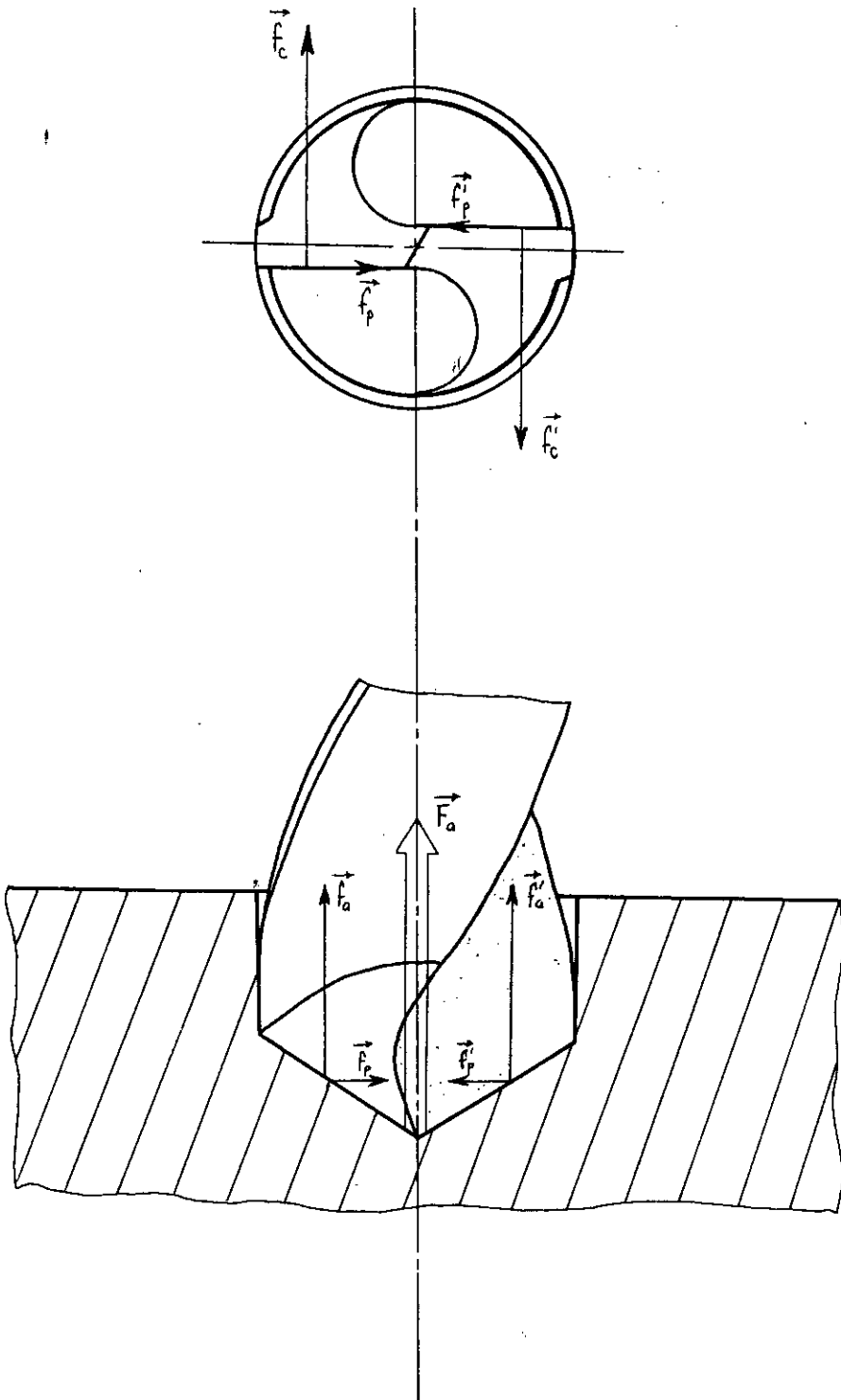
$$\begin{aligned} & \vec{f}_c = \vec{f}'_c \\ ; & \vec{f}_a = \vec{f}'_a \\ & \vec{f}_p = \vec{f}'_p \end{aligned}$$

Les composantes  $\vec{f}_p$  et  $\vec{f}'_p$  égales et pratiquement opposées s'annulent

La résultante des efforts d'avance  $\vec{F}_a = 2 \vec{f}_a$  est portée par l'axe du foret.

Les forces  $\vec{f}_c$  et  $\vec{f}'_c$  constituent le couple résistant au forage

(voir figure suivante).





Ainsi on a les résultats expérimentaux suivants:

Effort d'avance:  $F_a \approx k.a.d.$

avec,  $F_a$ : effort d'avance en Newtons

$a$  : avance en mm/tr

$d$  : diamètre du foret en mm

$k$  : coefficient déterminé expérimentalement

Remarque: l'amincissement de l'âme du foret réduit notablement l'effort de pénétration:

- 75 % environ pour les aciers

- 50 % environ pour les alliages légers

Puissance nécessaire à la coupe:

$$P \approx K.a.d.v$$

avec,  $P$  : puissance nécessaire à la coupe  
en Watts

$a$  : avance en mm/tr

$d$  : diamètre du foret en mm

$v$  : vitesse de coupe en m/mn

$K$  : coefficient déterminé expérimentalement

Puissance absorbée par la machine:

$$P_a = \frac{P}{\eta}$$

avec,  $P_a$  : puissance absorbée par la machine  
en Watts

$P$  : puissance nécessaire à la coupe  
en Watts

$\eta$  : rendement de la machine  
(de 0,65 à 0,85)

Nous pouvons donc vérifier si les efforts de coupe et la puissance absorbée sont acceptables, dans le cas le plus défavorable, c'est à-dire lorsqu'on a le plus gros foret (foret étagé  $\varnothing 8 - \varnothing 20$ , et on prend en considération le  $\varnothing 20$  mm) et en même temps la plus grande avance (0,29 mm/tr). La vitesse de coupe a été gardée constante

pour toutes les opérations de perçage ( $v = 25$  m/mn).

Notre pièce étant une pièce en XC32 ( $R \approx 55$  daN /mm<sup>2</sup>), nous avons:

$- k \approx 1000$  )  
 $- K \approx 11$  ) Ces valeurs des coefficients  $k$  et  $K$  ont été relevées  
 sur le tableau donné par le "guide du technicien  
 en fabrication mécanique" par A. CHEVALIER et J. BOHAN.

Les calculs nous donnent:

Effort d'avance:  $F_a \approx k.a.d$

$$F_a \approx 1000 \times 0,29 \times 20$$

$$F_a \approx 5800 \text{ N}$$

Puissance nécessaire à la coupe:  $P \approx K.a.d.v$

$$P \approx 11 \times 0,29 \times 20 \times 25$$

$$P \approx 1595 \text{ W}$$

Puissance absorbée par la machine:  $P_a \approx \frac{P}{\eta}$

Une bonne machine pourrait nous  
 donner un rendement d'environ 80 %.

$$\text{Donc: } P_a \approx \frac{1595}{0,8} \approx 1993,75 \text{ W}$$

#### 4.5.2 Puissance absorbée au fraisage

Puissance nécessaire à la coupe: la puissance nécessaire à la coupe  
 est sensiblement proportionnelle au débit de matière enlevée:

$$P \approx K' \cdot Q$$

avec,  $P$  : puissance nécessaire à la coupe en Watts

$Q$  : débit en cm<sup>3</sup>/mn

$K'$  : coefficient déterminé expérimentalement

Suivant les données pour le calcul du débit, on a les expressions suivantes:

$$P \approx K' \cdot l \cdot p \cdot a \cdot z \cdot N$$

$$P \approx \frac{K' \cdot l \cdot p \cdot a \cdot z \cdot v \cdot 10^3}{\pi \cdot d}$$

$$P \approx K' \cdot l \cdot p \cdot A$$

avec, P : puissance nécessaire à la coupe en  
Watts

K' : coefficient déterminé expérimentalement

l : largeur de coupe en mm

p : profondeur de passe en mm

a : avance en mm/dent

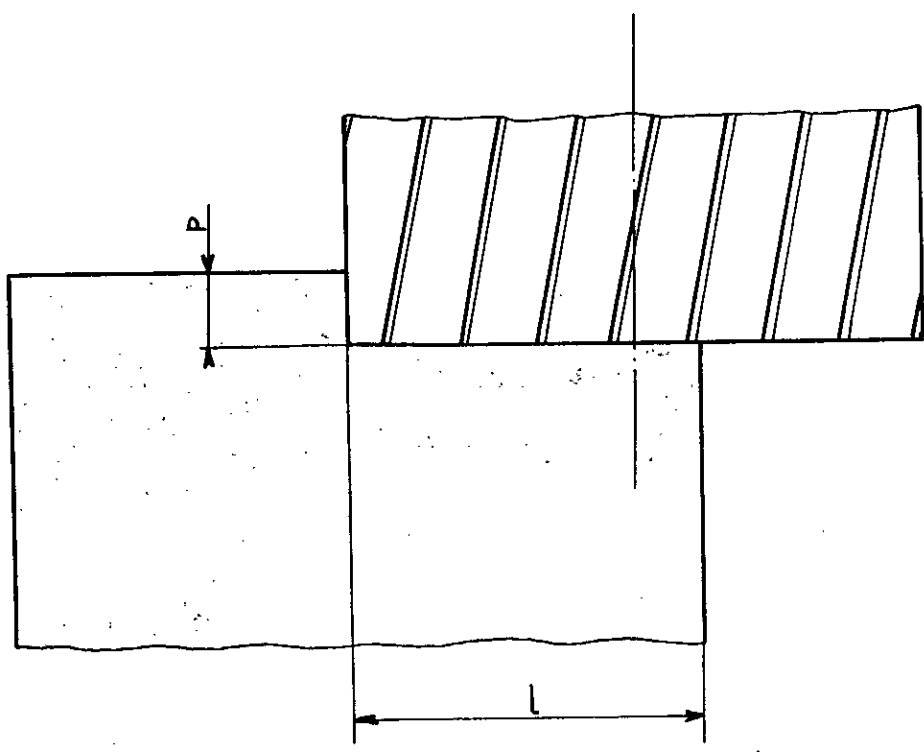
z : nombre de dents

N : fréquence de rotation en tr/mn

v : vitesse de coupe en m/mn

d : diamètre de la fraise en mm

A : avance en mm/mn (A = a.z.N)



Puissance absorbée par la machine:

$$P_a = \frac{P}{\eta}$$

avec,  $P_a$  : puissance absorbée par la machine en  
Watts

$P$  : puissance nécessaire à la coupe en  
Watts

$\eta$  : rendement de la machine  
(de 0,65 à 0,85 environ)

Remarque : Un outil usé consomme environ 25 % de puissance en plus qu'un outil neuf

• Lorsque la puissance calculée est supérieure à la puissance disponible, on peut réduire la vitesse de coupe et l'avance (car ces valeurs sont prises à partir des tableaux et donc, ne sont données qu'à titre de première estimation).

Toutefois, afin de conserver une bonne formation du copeau, il vaut mieux abaisser la vitesse de coupe que l'avance.

Ainsi, on pourra vérifier si la puissance absorbée est acceptable, dans le cas le plus défavorable, c'est-à-dire pour la plus grosse fraise ( $\varnothing 30$  mm).

Dans ce cas nous avons les valeurs suivantes:

• largeur de coupe	$L = 20$ mm
• profondeur de passe	$p = 4$ mm
• avance	$a = 0,064$ mm/dent
• fraise 2 tailles	$\varnothing d = 30$ mm
• nombre de dents	$z = 5$
• vitesse de coupe	$v = 32$ m/mn
• coefficient $K'$	$K' = 0,05$

La valeur de  $K'$  est tirée du tableau donné par le "guide du technicien en fabrication mécanique" par A. CHEVALIER et J. BOHAN.

• rendement  $\eta = 0,8$

Les calculs nous donnent:

$$\text{Puissance nécessaire à la coupe: } P = \frac{K' \cdot L \cdot p \cdot a \cdot z \cdot v \cdot 10^3}{\eta \cdot d}$$

$$P \approx \frac{0,05 \times 20 \times 4 \times 0,064 \times 5 \times 32 \times 10^3}{\pi \times 30}$$

$$P \approx 434,82 \text{ W}$$

Puissance absorbée par la machine:  $P_a \approx \frac{P}{\eta}$

$$P_a \approx \frac{434,82}{0,8}$$

$$P_a \approx 542,9 \text{ W}$$

Vu les résultats des puissances absorbées par la machine lors du perçage et du fraisage, il nous est facile de conclure qu'une machine ayant une puissance de plus de 2 KW est bien adaptée à ce genre de pièce.

On pourrait donc citer comme exemple de machine, le centre d'usinage à CNC "DUFOUR" type CH 300, qui a une puissance de 6 KW et dont le chargeur d'outils a une capacité de 24 outils.

#### 4.6. Données se rapportant au listing de programmation

DO1 = 15,000 mm)

DO2 = 5,000 mm) Valeurs des numéros de correction d'outil

DO3 = 8,000 mm)

MO6 : démarrage de la lubrification

MO7 : arrêt de la lubrification

## CONCLUSION

Cette étude que je viens de terminer m'a permis d'apprendre beaucoup de choses dans le domaine de la commande numérique des machines-outils, car pendant tout le cycle de ma formation je n'ai pas eu l'avantage d'étudier cette technique qui est assez récente.

J'ai rencontré des difficultés tout le long de mon travail, mais heureusement, j'ai toujours trouvé une aide précieuse chez mon promoteur qui m'a bien guidé dans ma recherche. Je dirais aussi que la documentation était un peu réduite, ce qui ne m'a pas permis de rentrer dans les détails.

J'espère que ce projet (1er en fraisage-perçage) servira aux étudiants qui voudront faire leur thèse dans le domaine de la commande numérique des machines-outils.

Pour terminer, je souhaite qu'on intègre dans le programme étudié au département de mécanique, cette technique qui promet beaucoup.

## BIBLIOGRAPHIE

- "Commande numérique des machines-outils"  
par WILHELM SIMON (EYROLLES) \*
- "Commande des machines-outils automatisées"  
par R. TOUILLIEZ, M. CHAPUIS,  
J.P. CROS (DELAGRAVE)
- "Guide du technicien en fabrication mécanique"  
par A. CHEVALIER, J. BOHAN \*  
(HACHETTE TECHNIQUE)
- "Emploi des machines à commande numérique"  
par P. BEZIER  
(MASSON et CIE EYROLLES)
- "La commande numérique des machines-outils"  
par A. LEYNAUD (DUNOD-BORDAS)
- "Manuel de programmation pour SINUMERIK 8MC/SPRINT 8M"  
et "catalogue de description technique  
pour SINUMERIK SPRINT 8M"(SIEMENS)
- "Usinage des bouts de cylindre sidérurgique sur  
machine-outil à commande numérique" ? (la même chose?)  
thèse de fin d'étude de K.E. CHENITI



## TABLES DES FIGURES

Pages

- Quantité totale de machines à commande numérique en service dans divers pays	3
- Domaine d'application de la commande numérique	6
- Fraisage en commande paraxiale	9
- Sinumérik Sprint 8 M: vue d'ensemble	28
- Sinumérik Sprint 8 M: tableau de service	29 et 30
- Schéma de fixation de la pièce	37
- Différents outils utilisés	41
- Représentation des efforts de coupe en perçage	44

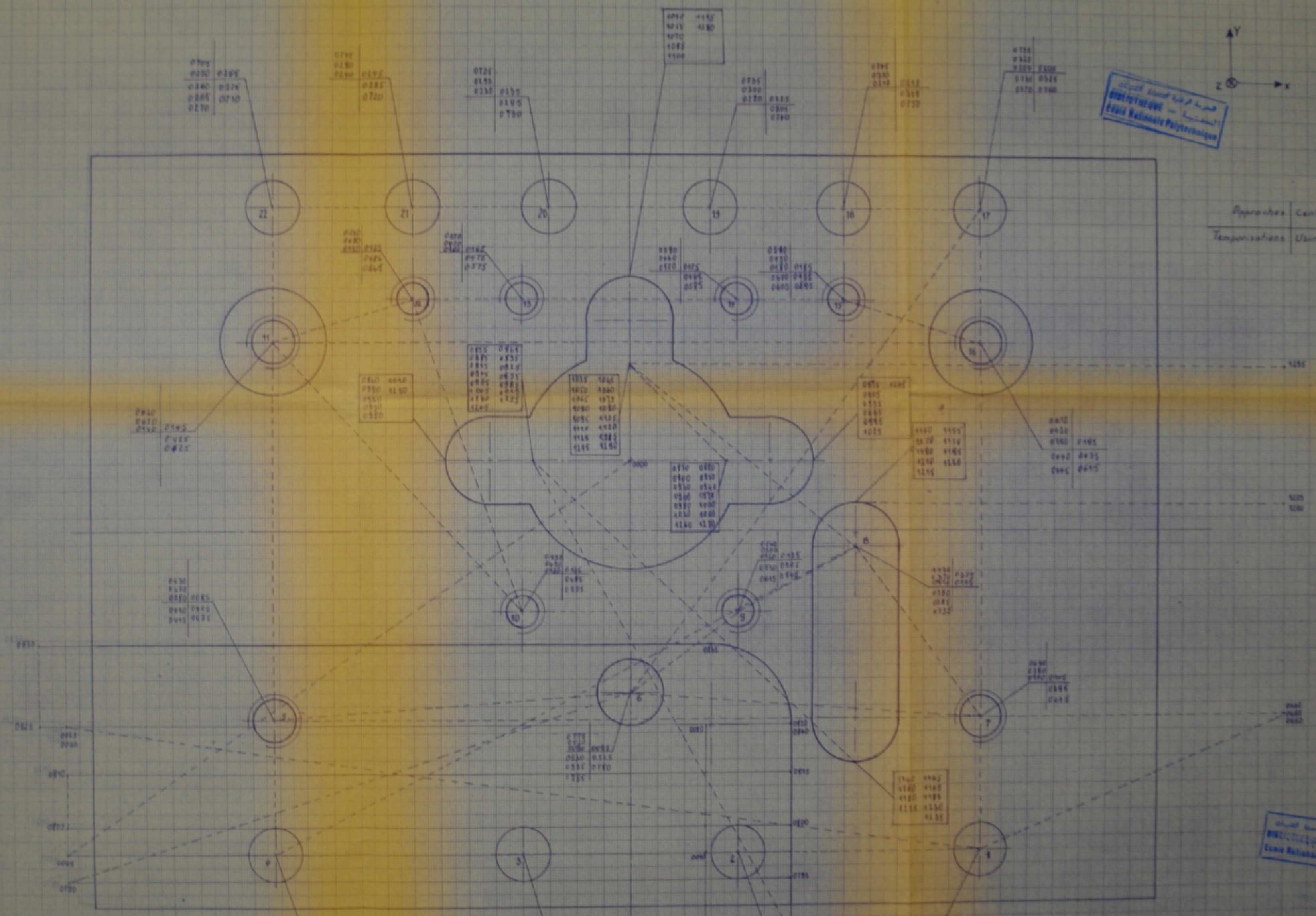
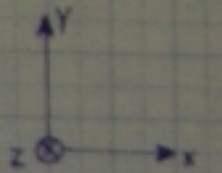
## SOMMAIRE

	Pages
CHAPITRE 1 - GENERALITES SUR LA COMMANDE NUMERIQUE	1
1.1. Historique	1
1.2. Intérêts de la commande numérique des machines-outils	4
1.2.1. Temps d'usinage	4
1.2.2. Réduction des frais d'outillage	4
1.2.3. Rebuts	4
1.2.4. Interchangeabilité	4
1.2.5. Modifications dans la conception	5
1.2.6. Main-d'oeuvre	5
CHAPITRE 2 - CLASSIFICATION DES MACHINES-OUTILS A COMMANDE NUMERIQUE	8
2.1. Classification selon le mode de travail	8
2.1.1. Mode "point à point"	8
2.1.2. Mode "paraxial"	8
2.1.3. Mode "contournage"	10
2.2. Classification selon le mode de fonctionnement	11
2.2.1. Fonctionnement semi automatique	11
2.2.2. Fonctionnement automatique	11
2.2.2.1. Cartes perforées	11
2.2.2.2. Bandes perforées	12
2.2.2.3. Bandes magnétiques	12
2.2.3. Fonctionnement mixte	13
CHAPITRE 3 - LE SYSTEME SINUMERIK SPRINT 8M	14
3.1. Caractéristiques techniques principales	14
3.1.1. Nombre d'axes	14
3.1.2. Introduction des données	14
3.1.3. Corrections	14
3.1.4. Technologies	14
3.1.5. Fonction de sécurité	15

	Pages
3.2. Caractéristiques de programmation	15
3.2.1. Code de la bande perforée	15
3.2.2. Signes utilisés	16
3.2.3. Constitution d'un mot	17
3.2.4. Constitution d'un bloc	17
3.2.5. Texte préliminaire et commentaires	18
3.2.6. Programmes et sous-programmes d'usinage	19
3.3. Code de programmation	20
3.3.1. Fonctions préparatoires	20
3.3.2. Fonctions de commutation et auxiliaires S,H,T,M	25
3.3.2.1. Mot S	25
3.3.2.2. Fonctions complémentaires H	25
3.3.2.3. Numéro d'outil T	25
3.3.2.4. Fonctions auxiliaires M	26
3.3.3. Paramètres	27
CHAPITRE 4 - PROGRAMMATION	31
4.1. Définition des cycles de perçage	31
4.1.1. Explication des paramètres	31
4.1.2. Conditions d'utilisation des cycles de perçage	31
4.1.3. Définitions des sous-programmes utilisés	32
4.1.3.1. Sous-programme L81 (perçage, centrage)	32
4.1.3.2. Sous-programme L83 (perçage profond)	32
4.1.3.3. Sous-programme L84 (taraudage pour machine avec capteur)	35
4.1.3.4. Sous-programme L85 (alésage)	35
4.2. Acheminement et fixation de la pièce	35
4.3. Interpolation circulaire avec paramètre d'interpolation	38

	Pages
4.4. Outils de travail et conditions de coupe	40
4.4. . Désignation des outils utilisés	42
4.5. Efforts de coupe et puissance absorbée	42
4.5.1. Effort de coupe et puissance absorbée au perçage	42
4.5.2. Puissance absorbée au fraisage	46
4.6. Données se rapportant au listing de programmation	50
CONCLUSION	51
BIBLIOGRAPHIE	52
TABLES DES FIGURES	53

الجمهورية العربية السورية  
الهندسة المعمارية  
الجامعة الوطنية للهندسة  
Ecole Nationale Polytechnique



الجمهورية العربية السورية  
الهندسة المعمارية  
الجامعة الوطنية للهندسة  
Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Echelle Mesure 2

PLATEAU ENPA

Direction des Etudes  
Bureau des Dessins

Dep. Mécanique

PL.02.00.00

PM011 83

- 1 -



