

II. Programmation des Machines-Outils à Commande Numérique

II. 1. Introduction

La programmation consiste à décrire les opérations d'usinage dans un langage codé (appelé code G) assimilable par le calculateur de la machine. C'est le langage de programmation des MOCN. Ce langage est normalisé (norme ISO 1056) où certains codes utilisés ont les mêmes fonctionnalités pour différents contrôleurs de machines-outils (NUM, FANUC, SIEMENS,...).

Les autres codes peuvent avoir une interprétation différente d'un contrôleur à un autre. Le langage de programmation des MOCN possède les caractéristiques suivantes :

- La chronologie des actions,
- L'appel des outils,
- La sélection des vitesses de coupe et d'avance,
- La formulation des trajectoires,
- La définition des coordonnées de fin de trajectoire,
- Les mises en ou hors fonction d'organes de la machine.

La programmation est le travail de préparation qui consiste à transposer la gamme d'usinage de la pièce en un ensemble ordonné d'instructions comprises et exécutées par la CN en vue de réaliser son usinage. Ce travail peut être effectué manuellement ou avec l'assistance d'un ordinateur utilisant un langage de programmation évolué. À titre indicatif, la figure ... classe différentes méthodes de programmation en fonction des compétences du programmeur et de la complexité des machines à piloter, (Figure II.1).

La création d'un programme est soumise à des règles de structure, syntaxe ou format.

Les instructions programmées doivent contenir toutes les données nécessaires à la commande et au séquençement des opérations à réaliser pour assurer l'usinage de la pièce sur la machine. Elles regroupent :

- Les données géométriques, qui permettent à la CN de calculer les positions successives de l'outil par rapport à la pièce pendant les diverses phases de l'usinage. Les positions sont définies par rapport à une origine connue.
- Les instructions indiquant le mode d'interpolation, le choix du mode de cotation, absolue ou relative, le choix du cycle d'usinage, le choix de l'outil, etc. ;
- Les données technologiques qui précisent les conditions de coupe optimales dans lesquelles pourra s'effectuer l'usinage. Elles concernent principalement la vitesse de rotation de la broche, les vitesses d'avance et la commande de l'arrosage.

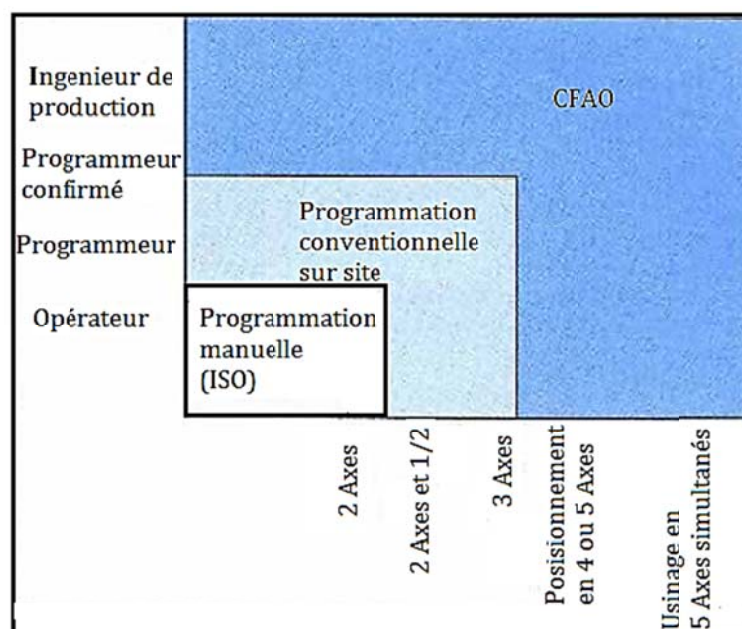


Figure II.1. Méthodes comparées de programmation.

II. 2. Création d'un programme CN

Avant toute programmation proprement dite, il est important de planifier et de préparer méticuleusement les opérations d'usinage. Plus votre préparation aura été précise quant à la structure de votre programme CN, plus la programmation proprement dite sera simple et rapide et moins vous aurez d'erreurs dans le programme terminé.

II. 2. 1. Préparer le dessin de la pièce

- Définir l'origine de la pièce
- Indiquer le système de coordonnées
- Eventuellement calculer les coordonnées manquantes.

II. 2. 2. Définir le déroulement des opérations d'usinage

- Quels sont les outils à mettre en œuvre, à quel moment et pour le traitement de quel contour ?
- Dans quel ordre les différents éléments de la pièce devront-ils être usinés ?
- Quels sont les éléments qui se répètent et qui devraient figurer dans un sous-programme ?
- Est-ce que d'autres programmes pièce ou sous-programmes contiennent des contours susceptibles d'être utilisés pour la pièce actuelle ?

II. 2. 3. Définir la gamme de fabrication

Définir pas à pas toutes les phases d'opération de la machine, par exemple :

- Déplacements à vitesse rapide pour le positionnement;
- Changement d'outil;
- Définition du plan d'usinage;
- Dégagement pour les mesures;
- Mise en marche / arrêt de la broche, de l'arrosage;
- Appel des données d'outil;
- Approche de l'outil;
- Correction de trajectoire;
- Accostage du contour;
- Retrait de l'outil.

II. 2. 4. Traduire les opérations dans le langage de programmation

- Transcrire chaque opération sous la forme d'un bloc CN (ou de blocs CN).

II. 2. 5. Regrouper toutes les opérations en un programme

Le regroupement des opérations doit obéir aux règles de programmation.

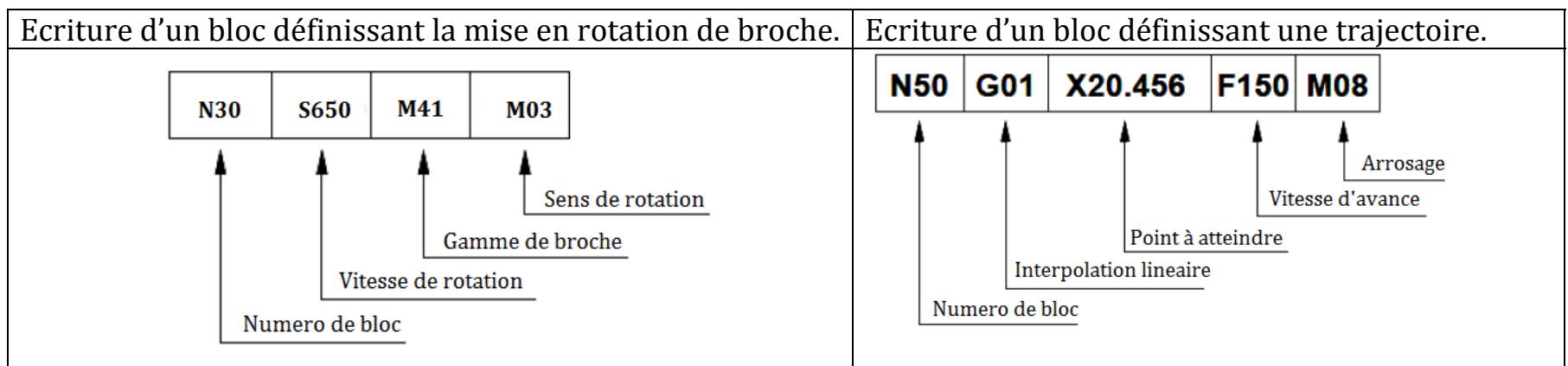
II. 3. Structure d'un programme

La programmation s'effectue suivant le code **ISO**. Un programme est constitué de lignes appelées "**blocs**". Un bloc correspond aux instructions relatives à une séquence d'usinage.

Chaque bloc est constitué d'un groupe de **mots**. Un mot est un ensemble de caractères composé d'une **adresse** suivie de chiffre constituant une information.

- **Bloc** : groupe de mots correspondant aux instructions relatives à une séquence d'usinage. La numérotation des blocs s'effectue de 5 en 5 ou de 10 en 10 pour permettre une insertion éventuelle de blocs.

- **Exemples de blocs :**



- **Mot** : ensemble de caractères comportant une *adresse suivie de chiffres* constituant une information.
- **Exemple de mot** : X 10.850.

- **Adresse** : lettre débutant un mot d'un langage machine, qui précise la fonction générale commandée.

II. 3. 1. Principale adresses

N... : numéro de ligne : repérage chronologique en début de ligne.

G... : fonctions préparatoires définissant la forme et les conditions de déplacement.

M... : fonctions auxiliaires donnant les changements d'état de la machine.

X..., Y..., Z... : axes principaux désignant les coordonnées des points d'arrivée.

I..., J..., K... : paramètres définissant les trajectoires circulaires (rayons).

R... : paramètres définissant les trajectoires circulaires.

F... : précise l'avance ou la vitesse d'avance.

S... : précise la vitesse de coupe ou la vitesse de rotation de la broche.

T... : symbole du numéro d'outil.

II. 3. 2. Structure d'un programme

Un programme est la transaction, dans un langage compréhensible par le directeur de commande numérique d'une machine. Des opérations d'usinage à effectuer sur une pièce.

Les différentes manières de programmer sont :

- La programmation manuelle,
- La programmation assistée : soit conventionnelle par le DNC, soit avec un logiciel de FAO.

Les documents suivants sont nécessaires :

- Le dessin de définition,
- Le contrat de phase avec l'isostatisme et les paramètres de coupe,
- Le dossier de la machine.

Pour réaliser les différentes opérations nécessaires à l'usinage d'une pièce, un programme CN peut être écrit de différentes manières.

Selon la nature de la pièce à usiner et sa complexité, les différentes structures de programme CN peuvent être proposées :

- Un programme principal,
- Un programme principal contenant des appels de séquences internes,
- Un programme principal et des sous programmes.

Pour l'usinage d'une pièce simple ne nécessite pas de cycles d'ébauche, un programme CN peut être structuré de la manière suivante :

Structure	Exemple
	O4723 (Tour SMI) (Ph 10)
	N28 G40 G80
	(Opération : centrage) N30 T0505 M06 (Foret à centrer) N40 G00 X0 Z52 N45 G95 G97 S2500 F0.05 M03 M08 N50 G01 Z40 N60 G00 Z52
	N70 G00 G00 X100 Z100 M09

	(Opération : finition profil) N240 T0303 M06 (Outil de finition) N250 G92 S4000 N260 G00 X4 Z52 F0.05 M8 N270 G01 G42 X5 Z46 N280 G96 S250 N290 G01 X15.961 Z46 N300 X24 Z31 N310 Z26 N320 X26 N330 G03 X34 Z22 I26 K22 N340 G01 Z18
	N370 G40 G00 X100 Z100 M05 M09
	N710 M02

II. 3. 3. Structure d'une opération

Structure	Exemple
	(Opération : centrage)
	N30 T0505 M06 (Foret à centrer)
	N40 G00 X0 Z100
	N45 G97 G95 S2500 F0.05 M03 M08
	N50 G01 Z40
	N60 G00 Z100

II. 4. Les fonctions préparatoires "G"

II. 4. 1. Classification des fonctions préparatoires "G"

On distingue deux types des fonctions "G": Les fonctions "G" modales et les fonctions "G" non modales.

II. 4.1.1. Fonctions "G" modales

Une fonction est dite "modale" lorsqu'elle reste active (mémorisée) après le bloc où elle est écrite jusqu'à sa révocation.

Ces fonctions appartenant à une famille de fonctions G se révoquant mutuellement.

Certaines familles de fonctions G comportent une fonction initialisée à la mise sous tension du système. La validité de ces fonctions est maintenue jusqu'à ce qu'une fonction de même famille révoque leur validité.

❖ Exemple :

N.. G00 X... Y... Interpolation linéaire à vitesse rapide.

N.. G01 Z... L'interpolation linéaire à vitesse d'usinage, révoque G00.

II. 4.1.2. Fonctions "G" non modales

Fonctions uniquement valide dans le bloc ou elles sont programmées (révoquée en fin de bloc).

II. 4. 2. Choix du mode de programmation

Il existe deux types de commandes de déplacements de l'outil : les commandes absolues et les commandes incrémentielles (relatives).

G90 : Programmation absolue par rapport à l'origine programme. La valeur programmée sur un axe est repérée par rapport à l'origine programme (OP).

G91 : Programmation relative par rapport au point de départ du bloc. La valeur programmée sur un axe est repérée par rapport à la dernière position programmée.

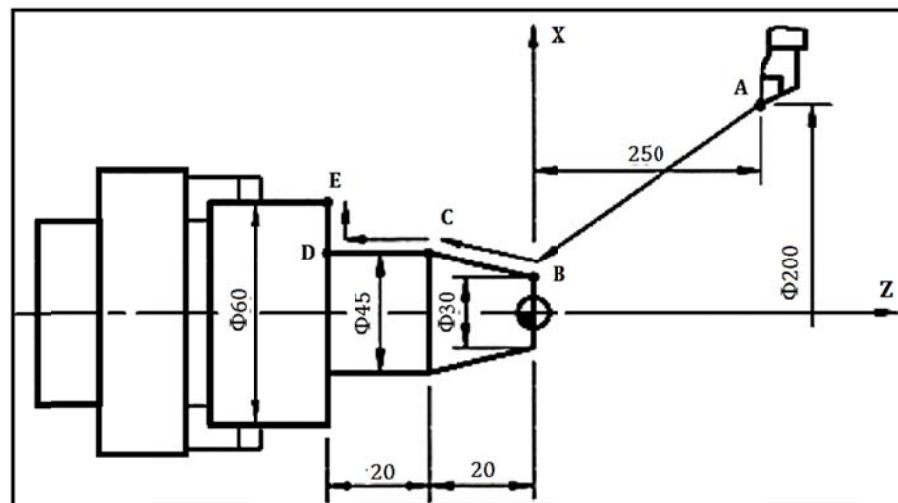
Pour assurer l'usinage d'une pièce sur machine-outil commandée numériquement, le programmeur peut recevoir le dessin de produit fini coté suivant deux modes.

❖ **Propriétés des fonctions** : Les fonctions G90 et G91 sont modales. La fonction G90 est initialisée à la mise sous tension.

❖ **Révocation** : Les fonctions G90 et G91 se révoquent mutuellement.

II. 4. 2. 1. Exemple de tournage :

Veillez indiquer l'itinéraire de mouvement de l'outil ci-dessous par des méthodes de positionnement absolu et positionnement relatif.



❖ Programme de positionnement absolu

G54 X200 Z250

G00 X30 Z0

G01 X45 Z-20 F0.2

Z-40

X60

Réglage du système de coordonnées.

Déplacez l'outil du point A au point B.

Coupe d'outil du point B au point C.

Coupe d'outil du point C au point D.

Coupe d'outil du point D au point E.

❖ Programme de positionnement incrémentiel ou relatif

G54 X200 Z250	Réglage du système de coordonnées.
G00 U-170 W-250	Coupe d'outil du point A au point B.
G01 U15 W-20 F0.2	Coupe d'outil du point B au point C.
W-20 U15	Coupe d'outil du point C au point D.
U15	Coupe d'outil du point D au point E.

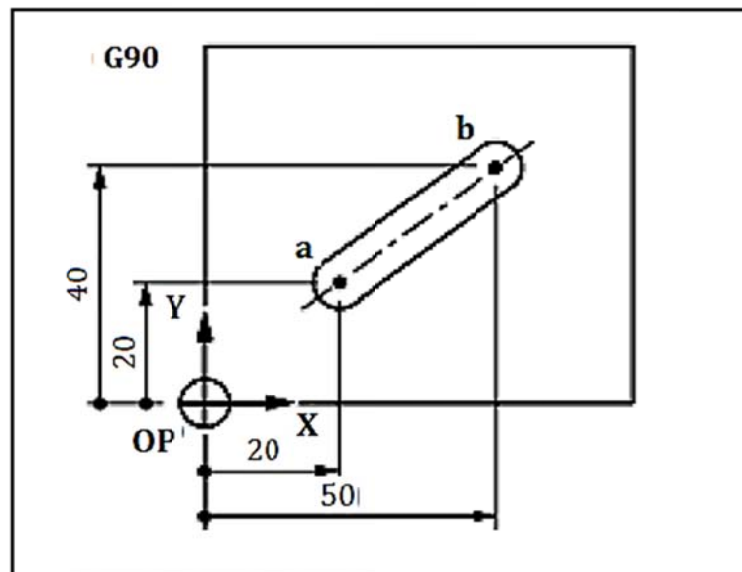
II. 4. 2. 2. Exemples de fraisage

1- Usinages en programmation absolue (G90)

```

00020
...
N30 S600 M03
N40 G00 X20 Y20 Z2
N50 G01 Z-1.5 F50
N60 X50 Y40 F120
N..
    
```

Point a, approche
Plongée sur Z
Point b

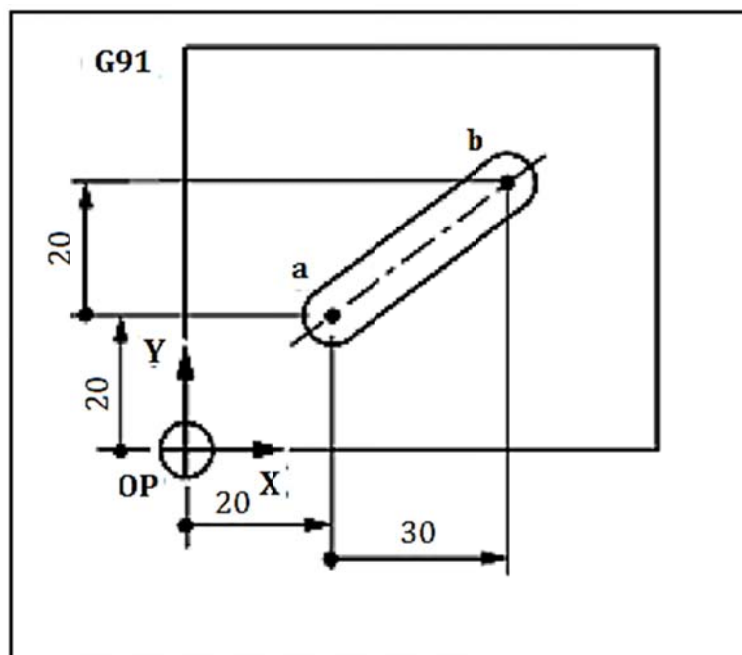


2- Usinages en programmation relative (G91)

```

00025
...
N30 S600 M40 M03
N40 G00 X20 Y20 Z2
N50 G91 G01 Z-3.5 F50
N60 X30 Y20 F120
N70 ...
    
```

Point a, approche
Plongée sur Z
Point b

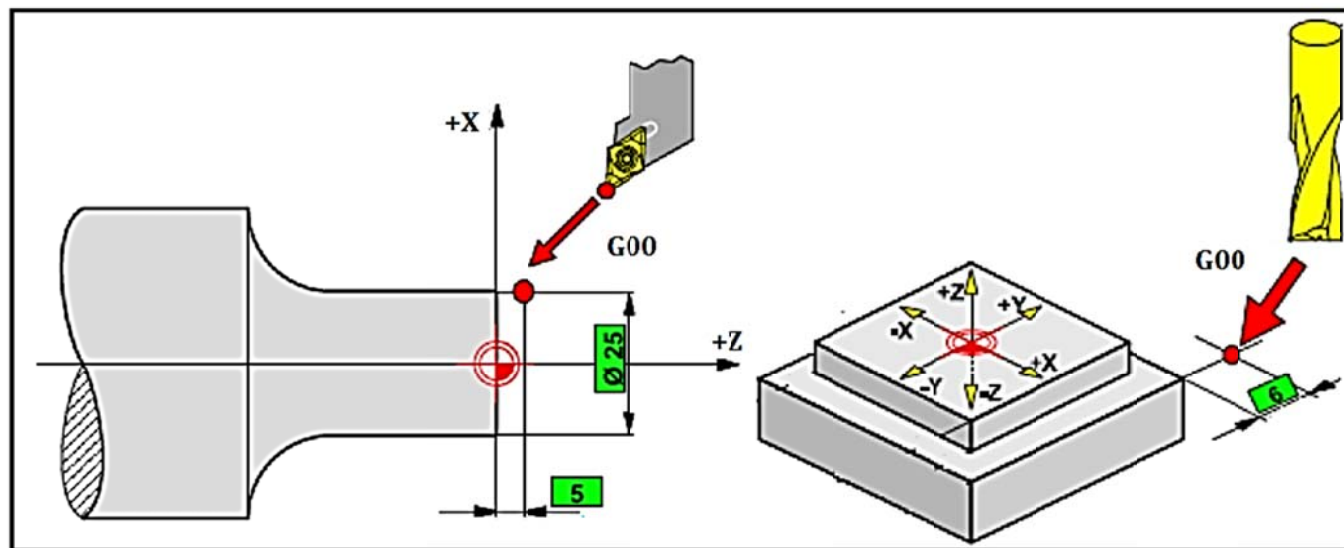


II. 4. 3. Programmation des déplacements

II. 4. 3. 1. Interpolation linéaire à vitesse rapide G00

G00 : Interpolation linéaire à vitesse rapide. Le point programmé est atteint en effectuant une trajectoire linéaire à vitesse rapide. La trajectoire est la résultante de tous les déplacements d'axes programmés dans le bloc.

- ❖ **Propriété de la fonction** : La fonction G00 est modale.
- ❖ **Révocation** : La fonction G00 est révoquée par l'une des fonctions G01, G02 ou G03.

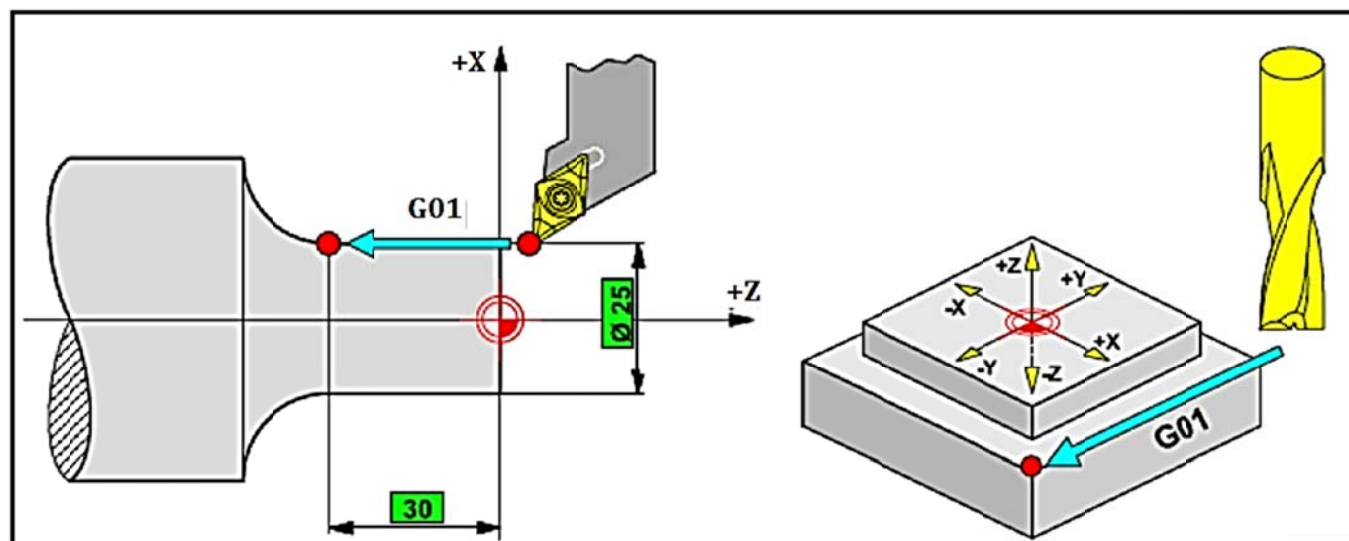


II. 4. 3. 2. Interpolation linéaire à vitesse d'avance programmée G01

Le point programmé est atteint en effectuant une trajectoire linéaire à vitesse d'avance programmée.

La trajectoire est la résultante de tous les déplacements des axes programmés dans le bloc.

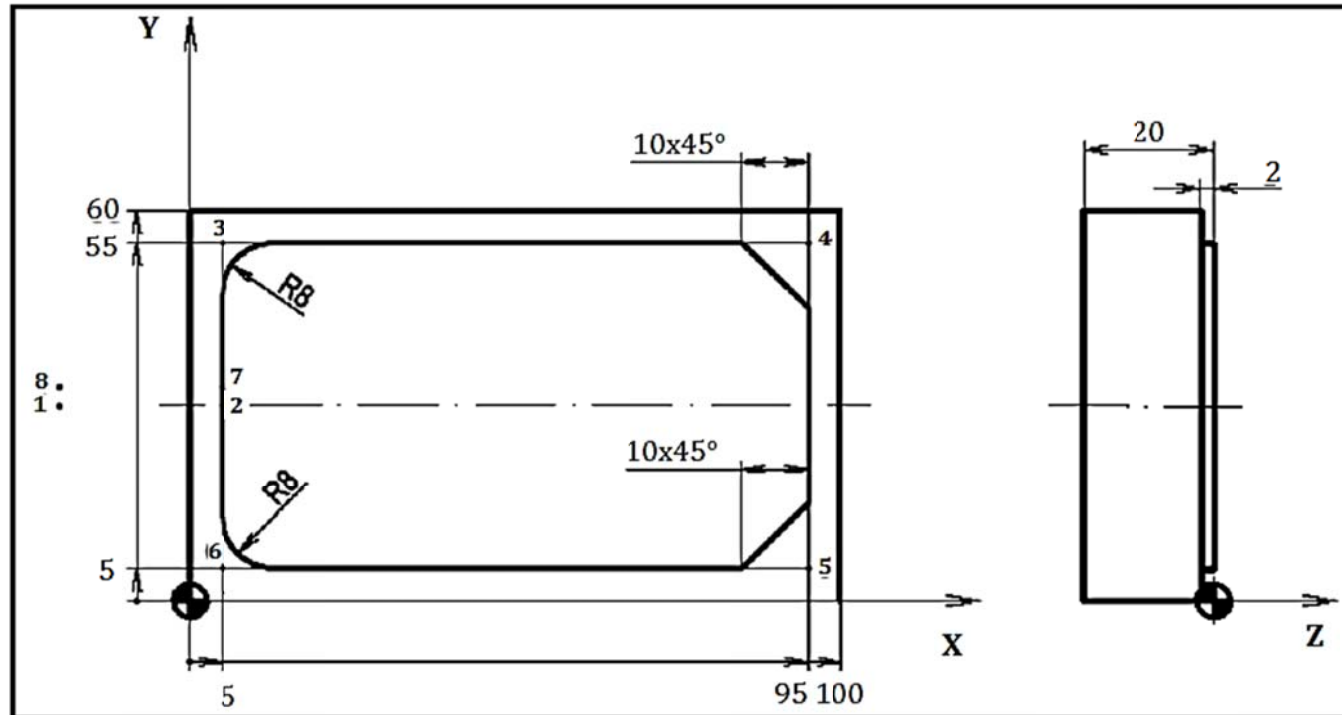
- ❖ **Propriétés de la fonction** : La fonction G01 est modale et initialisée à la mise sous tension.
- ❖ **Révocation** : La fonction G01 est révoquée par l'une des fonctions G00, G02 ou G03.



II. 4. 3. 3. Fonction pour le chanfrein et pour l'angle de l'arc

Cette fonction est utilisée pour simplifier le codage du programme pour une section à angle droit de la pièce de travail ayant un chanfrein de 45° ou des angles d'arcs tangentiels dans le plan X-Y. La commande pour le chanfrein et pour l'angle de l'arc nécessite la commande de déplacement G01 avec une valeur de déplacement supérieure à l'angle du chanfrein ou à la valeur du rayon en amont.

❖ Application

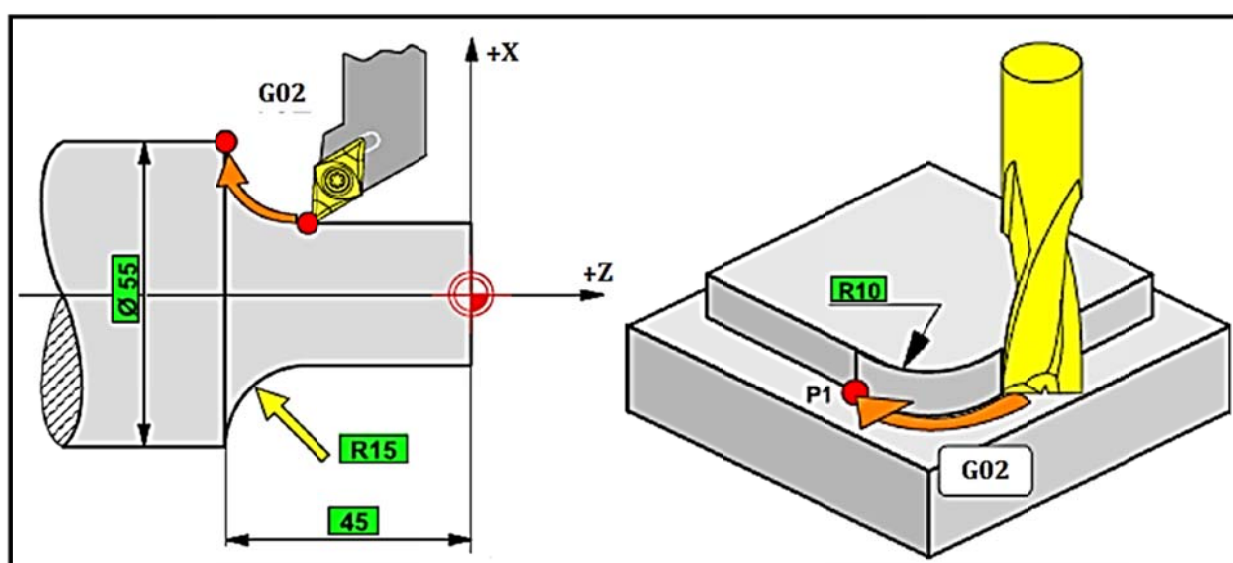


```

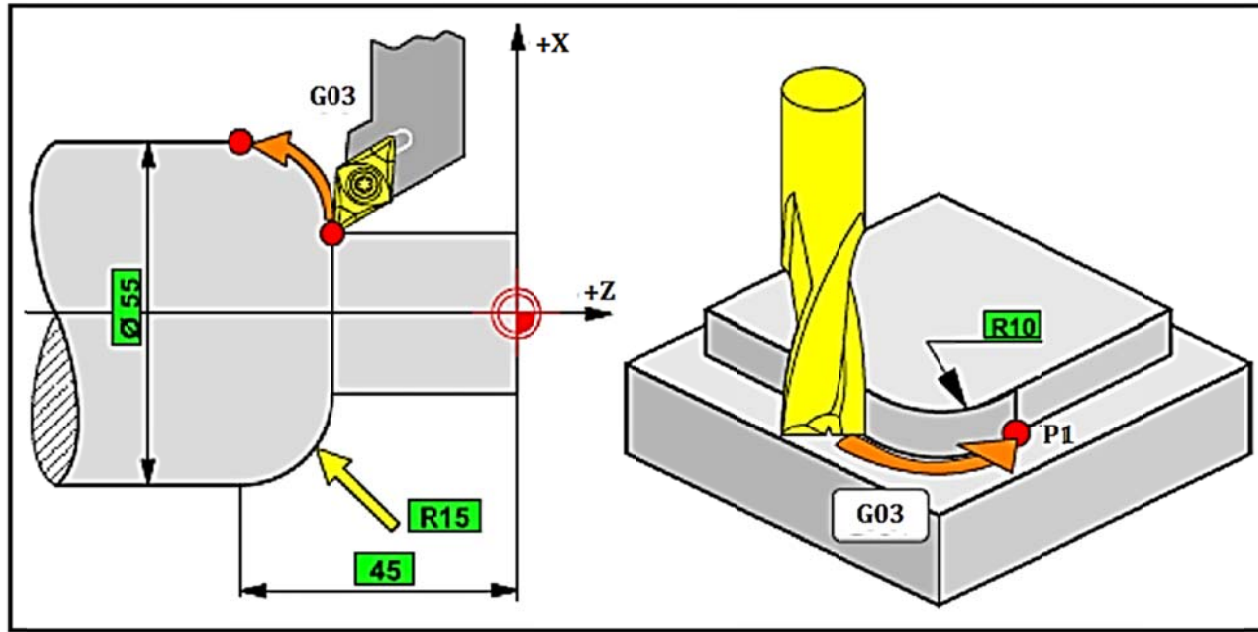
.....
N20 G00 X-22 Y30
Z1
N25 G01 Z-2          (Point 1)
N30 G41
N35 G01 X5           (Point 2)
N40 G01 Y55 R8       (Point 3)
N45 G01 X95 C10      (Point 4)
N50 G01 Y5 C10       (Point 5)
N55 G01 X5 R8        (Point 6)
N60 G01 Y32          (Point 7)
N65 G01 X-22 G40     (Point 8)
N70 G00 Z50
.....
    
```

II. 4. 3. 4. Interpolation circulaire

G02 : Interpolation circulaire sens anti-trigonometrique à vitesse d'avance programmée.

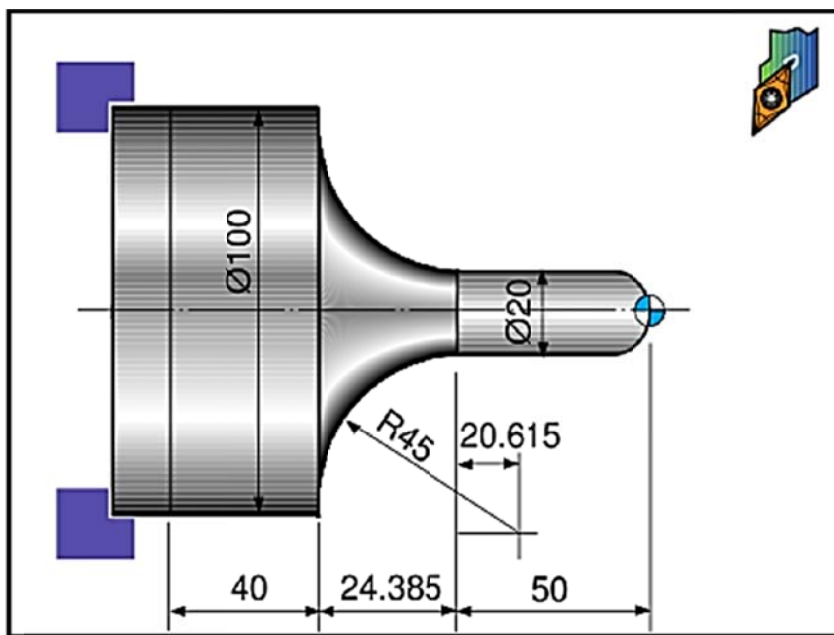


G03 : Interpolation circulaire sens trigonometrique à vitesse d'avance programmée.



La position du point programmé est atteinte en décrivant une trajectoire circulaire.

❖ Application



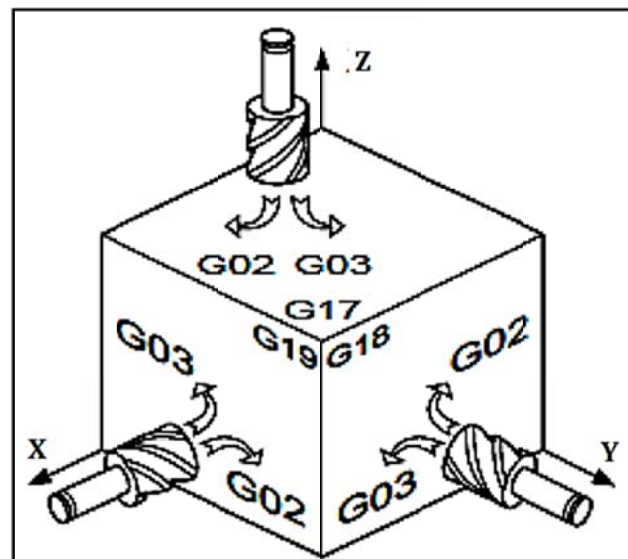
```

....
N20 T0303
G96 S200 M03
G00 X0 Z3 M08
G42 G01 Z0 F0.2
G03 X20 Z-10 R10
G01 Z-50
G02 X100 Z-74.385 I40 K20.615 : ou (G02 X100.0 Z-
74.385
R45)
G01 Z-125
G40 U2 W1
G00 X200 Z200 M09
M30
    
```

II. 4. 3. 5. Choix du plan d'interpolation

Deux axes linéaires pilotés dépendant du choix du plan d'interpolation (Fraisage uniquement) :

- axes X (ou U) et Y (ou V) en G17,
- axes Z (ou W) et X (ou U) en G18,
- axes Y (ou V) et Z (ou W) en G19.



- **Syntaxe (Plan XY) :** `N... [G17] G02/G03 X...Y...I...J... / R... [F...]`
G17 Choix du plan XY.
X...Y... Point à atteindre :
I...J... Position du centre de l'interpolation dans le plan XY(I suivant X, J suivant Y).

R... Rayon du cercle à interpoler.
 F... Vitesse d'avance.

Syntaxes en fonction du plan choisi G17/G18/G19 (Fraisage uniquement) :

Plan principal d'interpolation	Fonction	Interpolation	Syntaxe
XY	G17	G02/G03	X...Y...I...J... ou R...
ZX	G18	G02/G03	X...Y...I...J... ou R...
YZ	G19	G02/G03	X...Y...I...J... ou R...

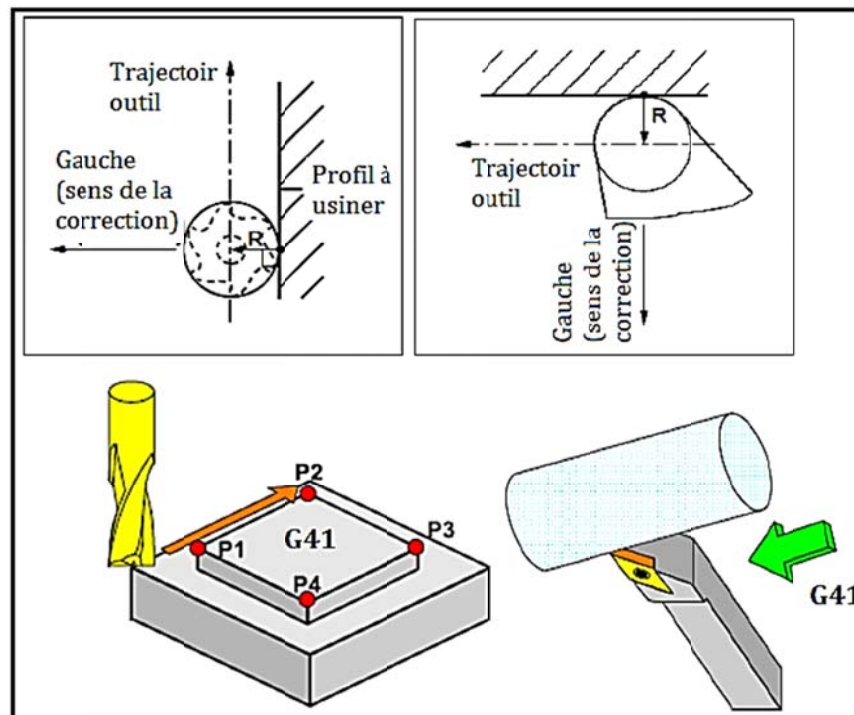
- ❖ **Propriétés des fonctions :** Les fonctions G02 et G03 sont modales.
- ❖ **Révocation :** La fonction G02 est révoquée par les fonctions G00, G01 ou G03.
 La fonction G03 est révoquée par les fonctions G00, G01 ou G02.

II. 4. 3. 6. Positionnement de l'outil par rapport à la pièce

Comme l'outil à un rayon, le centre de la trajectoire de cet outil est décalé de la valeur de son rayon par rapport au profil de la pièce. Si les rayons des outils sont mémorisés dans la CNC, l'outil utilisé peut être décalé par rapport la pièce de la valeur de son rayon. Cette fonction est appelée fonction compensation de rayon de l'outil.

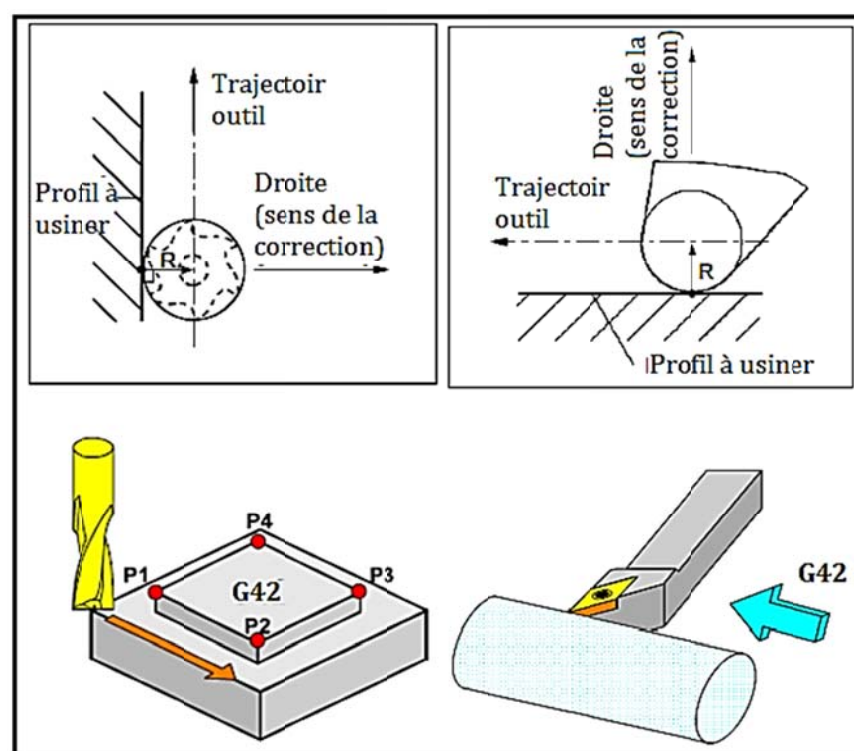
❖ **Correction de rayon à gauche du profil à usiner G41**

Les trajectoires outil programmées sont corrigées (décalées à gauche) d'une valeur égale au rayon d'outil (R) déclaré par le correcteur D.



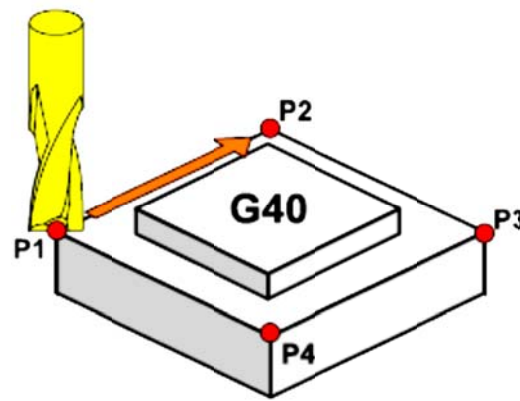
❖ **Correction de rayon à droite du profil à usiner G42.**

Les trajectoires outil programmées sont corrigées (décalées à droite) d'une valeur égale au rayon d'outil (R).



❖ **Annulation de correction de rayon G40.**

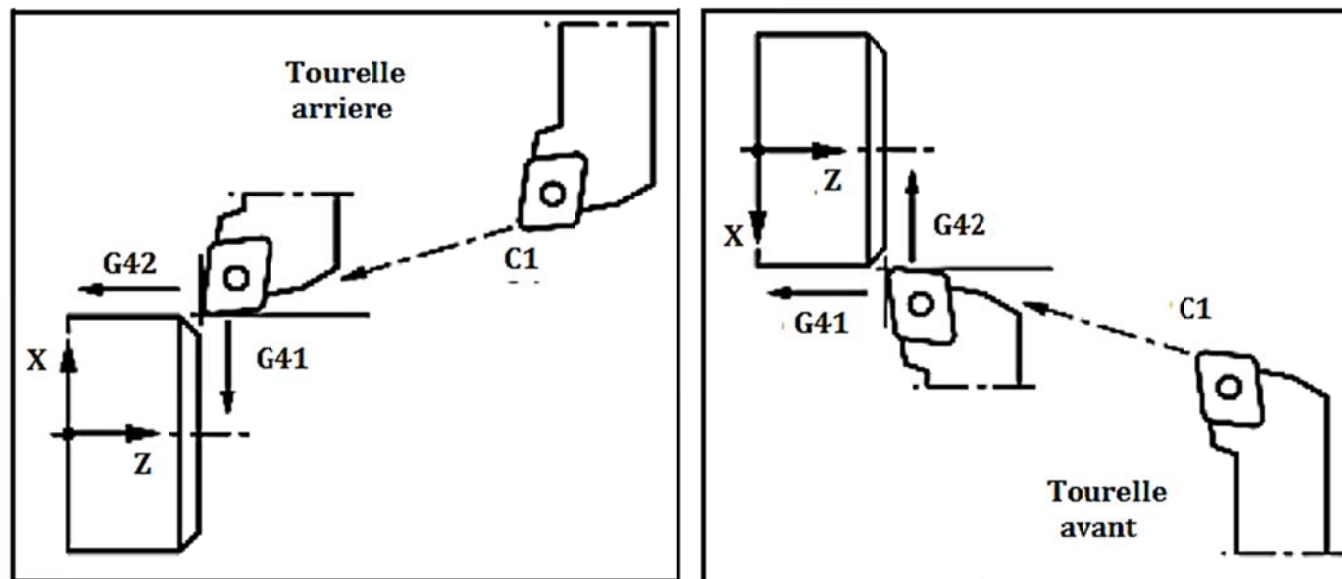
Pilotage du centre de l'outil : les trajectoires programmées sont appliquées au centre de l'outil.



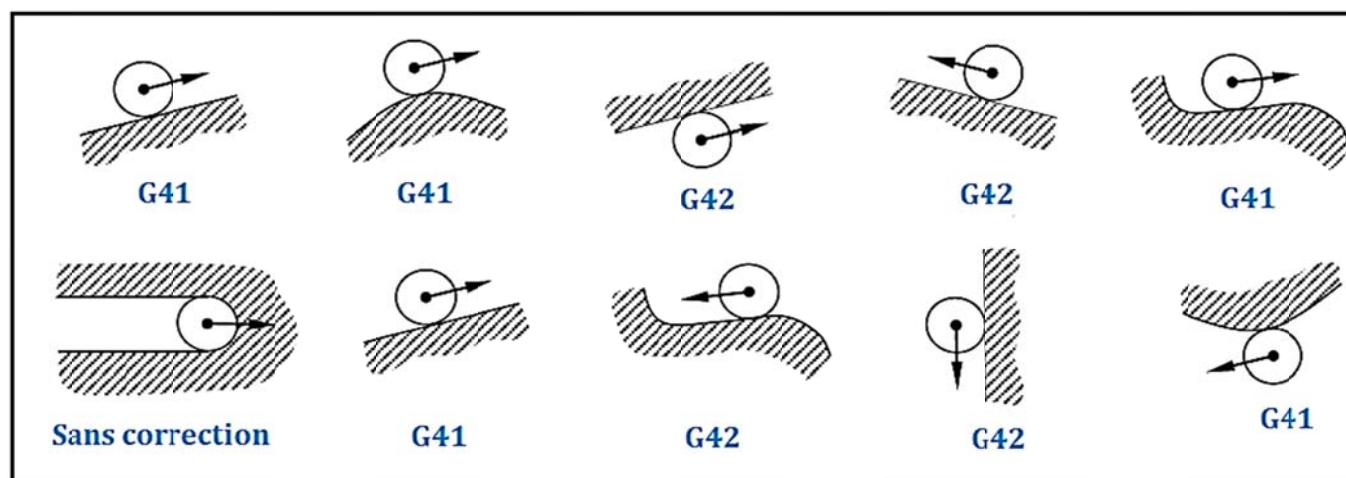
❖ **Propriétés des fonctions :** Les fonctions G40, G41 et G42 sont modales. La fonction G40 est initialisée à la mise sous tension.

❖ **Révocation :** Les fonctions G41 et G42 se révoquent mutuellement. La fonction G40 révoque les fonctions G41 et G42.

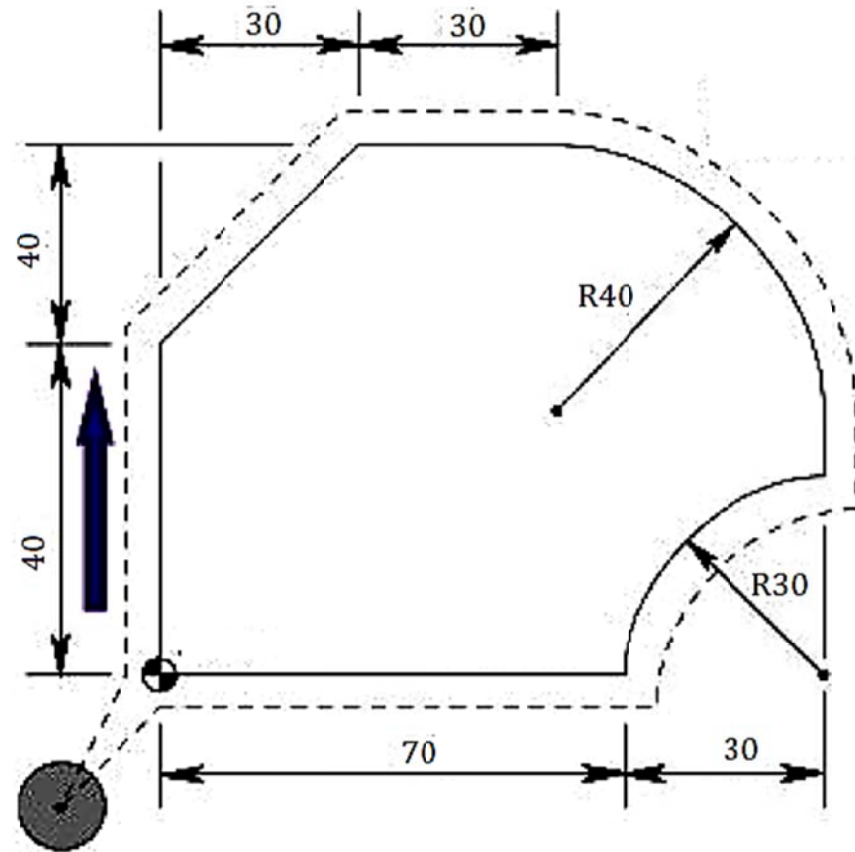
❖ **Exemple en tournage :** Correction de rayon suivant la position de la tourelle



❖ **Exemples en fraisage :** correction de rayon en fraisage



❖ Application:



```

O0010
.....
N10 G00 X-15 Y-15
N20 G41 G01 X0 Y0 F100
N30 Y40
N40 X30 Y80
N50 X60
N60 G02 X100 Y40 R40
N70 G01 Y30
N80 G03 X70 Y0 R30
N90 G01 X0
N100 X-15 Y-15
N110 G40
.....
    
```

II. 4. 4. Programmation des vitesses

La programmation des vitesses peut être faite en deux modes

- Vitesses de coupe en mode linéaire ou rotatif (G96 et 97)
- Vitesses d'avance en mode linéaire ou rotatif (G94 et G95)

II. 4. 4. 1. Mouvement de coupe

- **Syntaxe :**
N..G97 S... [M03/M04]
N.. G96 [X.] S... [M03/M04]
G97 : Vitesse de broche exprimée en tr/mn.
G96 : Vitesse de coupe constante exprimée en m/mn.
S : Argument obligatoire lié à la fonction et définissant la vitesse programmée.

- ❖ **Propriétés :**
 La fonction G97 est une fonction modale initialisée à la mise sous tension.
 La fonction G96 est une fonction modale.

- ❖ **Révocation :**
 La fonction G97 est révoquée par G96 S... .
 La fonction G96 est révoquée par G97 S... .

❖ **Exemple :**

N...
 N100 G97 S900 M04 (Rotation de broche à 900 tr/mn).
 N110 ... X50 Z70 (Positionnement du nez de l'outil sur diamètre 50).
 N120 G96 S200 (Initialisation de la V.C.C sur X=50).
 N... G97 S900 (Annulation de V.C.C).

❖ **Remarque :**

Concernant l'usinage en tournage avec vitesse de coupe constante et pendant une opération de dressage, le diamètre tend vers zéro. Alors il faut penser à limiter la vitesse de rotation maximale avec la fonction **G92**.

- **Syntaxe :** N... G92 S...;

-

❖ **Propriétés :**

La fonction G92 est modale.

❖ **Révocation :**

La limite de la vitesse est annulée par :

- 1- La fonction d'annulation G92 S0.
- 2- La fonction G92 S... affectée d'une vitesse limite différente.
- 3- La fonction de fin de programme M02.
- 4- Une remise à l'état initial (RAZ).

II. 4. 4. 2. Mouvement d'avance

Le mouvement de l'outil à une vitesse spécifiée pour l'usinage d'une pièce est appelé avance. Les vitesses d'avance peuvent être spécifiées à l'aide de chiffres réels. Par exemple pour déplacer l'outil à une avance de 150 mm/mn il faut programmer ce qui suit: F150.0.

La fonction qui permet de définir l'avance est appelée fonction avance.

- **Syntaxe :**

N.. G95 F.. G01/G02/G03 X..Z..

N.. G94 F.. G01/G02/G03 X..Y../X..Z..

❖ **Propriétés :**

La fonction G94 est une fonction modale initialisée à la mise sous tension.

La fonction G95 est une fonction modale.

❖ **Révocation :**

Les fonctions G94 et G95 se révoquent mutuellement.

❖ **Exemple 1 : (fraisage)**

N...
 N50 G00 X..Y..
 N60 G94 F200 (Vitesse d'avance en mm/min).
 N70 G01 X..Y..
 N..

❖ **Exemple 2 : (tournage)**

N..
 N50 G00 X..Z..
 N60 G95 F0.3 (Vitesse d'avance en mm/tr)
 N70 G01 X..Z..
 N..

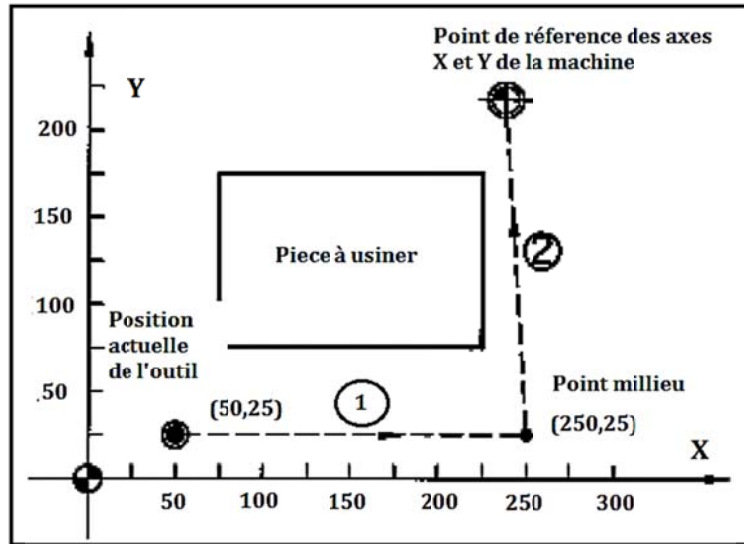
II. 4. 5. Retour aux origines (G28)

La commande G28 retourne rapidement l'outil de sa position actuelle vers le point d'origine machine, en passant par un point intermédiaire. X, Y et Z, sont les valeurs des coordonnées du point intermédiaire qui servent de mécanisme de sécurité pour empêcher les outils de percuter n'importe quelle pièce, accessoire et appareillage sur son retour à sa position d'origine.

- **Syntaxe :**
G90 G28 X... Y... Z... ; (mode de coordonnées absolues)
G91 G28 X... Y... Z... ; (mode de coordonnées relatives)

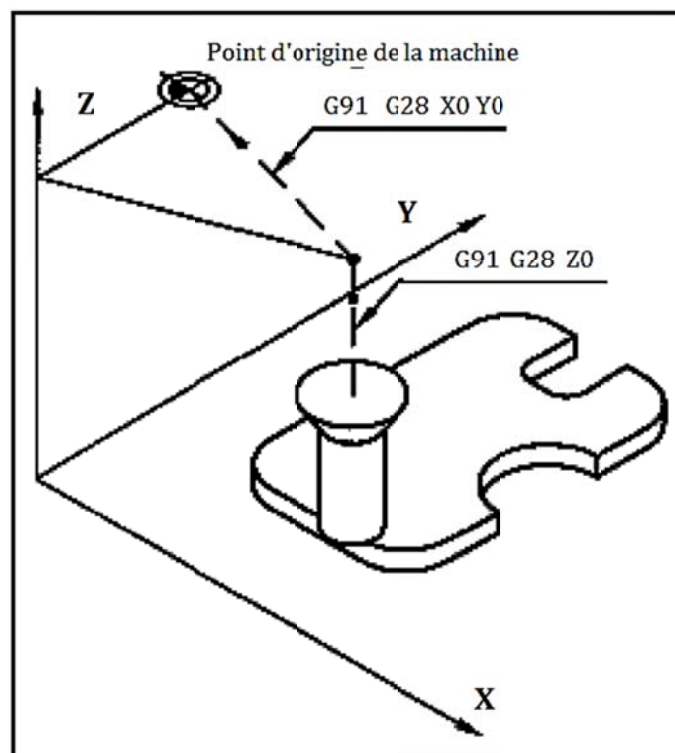
❖ **Exemple 1 :**

La position actuelle de l'outil est à (50, 25). Retour au point d'origine de la machine par un point intermédiaire (250, 25) pour éviter tout impact sur la pièce.



❖ **Exemple 2 :**

G91 G28 Z0 ;Retour sur l'axe Z au point d'origine de la machine
 G91 G28 X0 Y0 ;Retour sur l'axe X et sur l'axe Y au point d'origine de la machine.



Les principales fonctions préparatoires et auxiliaires (tournage) sont classées dans le tableau suivant :

tournage : Tableau des fonctions préparatoires G usuelles en tournage		
Type	Groupe	Signification
G00	01	Déplacement rapide
G01		Interpolation linéaire
G02		Interpolation circulaire (sens horaire)
G03		Interpolation circulaire (sens anti-horaire)
G04	00	Temporisation et ouverture carter (pour nettoyer) (temporisation - suivi de l'argument F ou X en secondes)
G10		Entrée de données programmable
G11		Annulation du mode entrée de données programmable
G17	16	Sélection du plan X-Y
G18		Sélection du plan X-Z (par défaut)

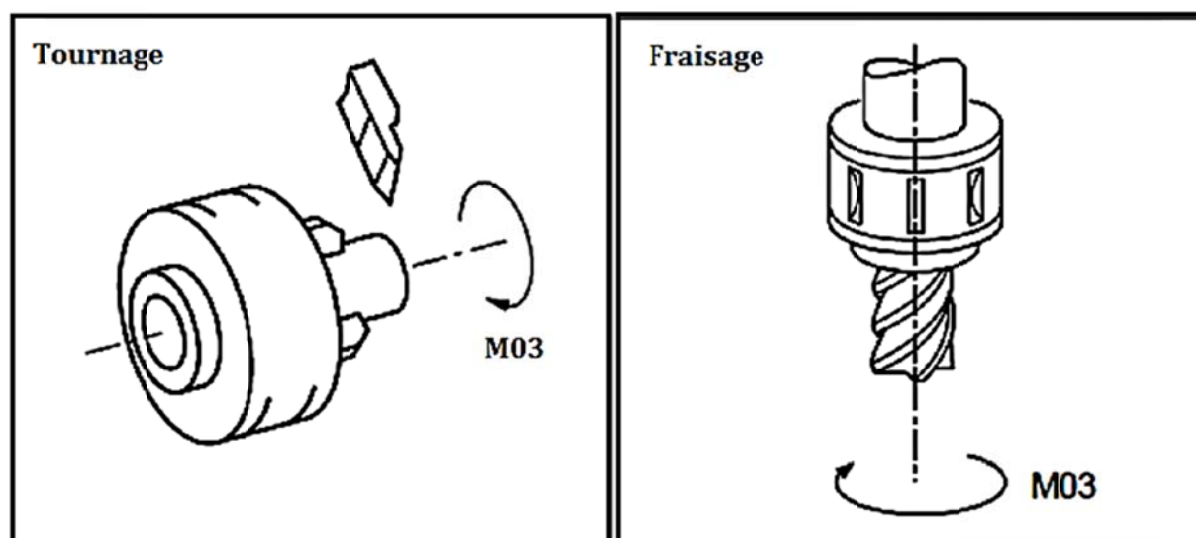
G19		Sélection du plan Y-Z
G20	06	Programmation en pouces
G21		Programmation en mm
G28	00	Retour à la position d'origine
G30		Retour au 2ème, 3ème, 4ème point de référence
G50		Limitation de la vitesse maximum de broche
G52	00	Décalage de l'origine pièce programmable
G53		Programmation par rapport à l'origine machine
G65	00	Appel de macro client
G66	12	Appel modal de macro client
G67		Annulation de l'appel modal de macro client
G70		Cycle de finition d'un profil
G71		Cycle d'ébauche axial
G72	00	Cycle d'ébauche radial
G73		Cycle d'ébauche par copiage
G76		Cycle de filetage
G80		Annulation de cycle de perçage
G83		Cycle de perçage déburrage frontal
G84	00	Cycle de taraudage frontal
G87		Cycle de perçage latéral
G88		Cycle de taraudage latéral
G92	01	Cycle de filetage simple
G94		Vitesse d'avance (mm/min)
G95		Vitesse en mm par tour (mm/tr)
G96	02	Vitesse de coupe constante (vitesse de surface constante)
G97		Vitesse de rotation en tours par minute

II. 5. Les fonctions auxiliaires "M"

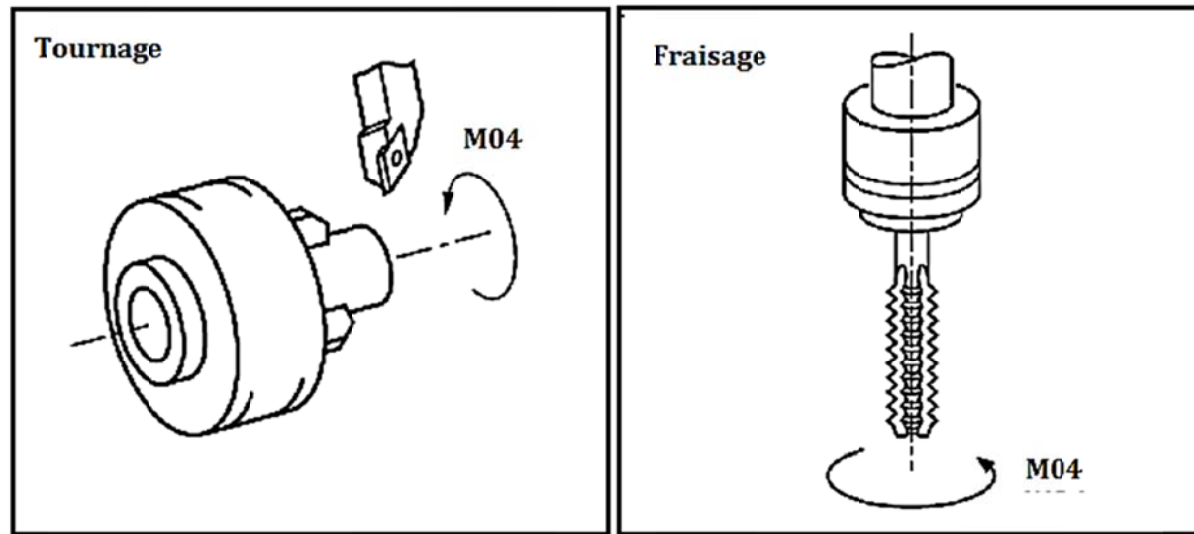
II. 5.1. Commandes de broche

Commande du sens de rotation M03- M04

- ❖ **M03** : Rotation de broche dans le sens anti-trigonométrique. La commande permet la mise en rotation de la broche à la vitesse programmée.



- ❖ **M04** : Rotation de broche dans le sens trigonométrique. La commande permet la mise en rotation de la broche à la vitesse programmée.

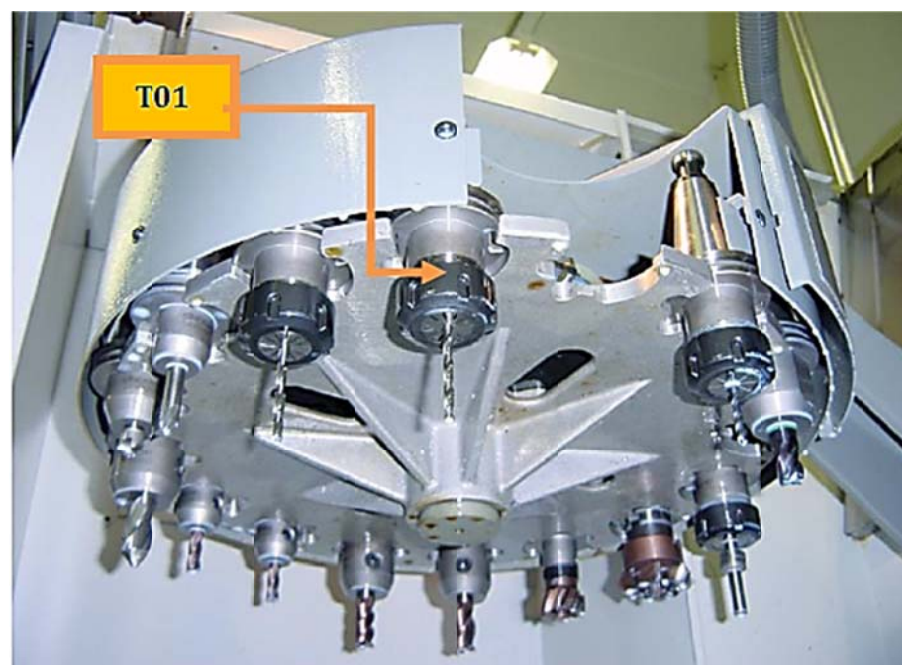


- ❖ **M05** : Arrêt de broche. La commande arrête la rotation de la broche.
 - **Syntaxe** : N..M03/M04/M05

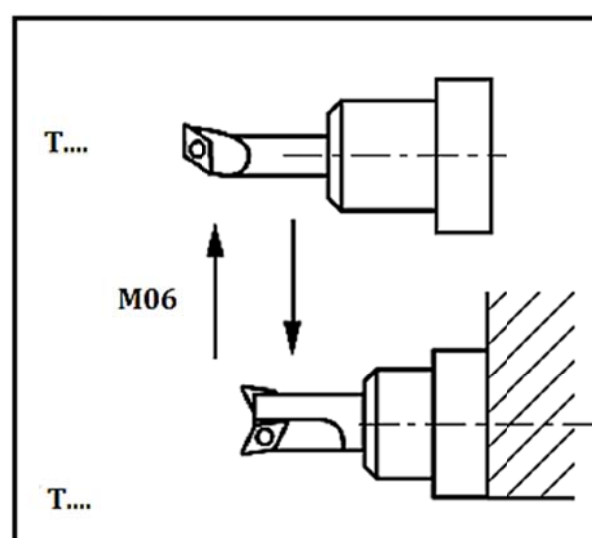
- ❖ **Propriétés des fonctions** : Les fonctions M03 et M04 sont des fonctions modales «avant» décodées. La fonction M05 est une fonction modale «après» décodée initialisée à la mise sous tension.
- ❖ **Révocation** : Les fonctions M03, M04 et M05 se révoquent mutuellement. Les fonctions M00, M19 et M01 (validé) révoquent les états M03 ou M04.

II. 5.2. Appel de l'outil

Lorsque des perçages, des taraudages, des alésages, des fraisages et autres opérations d'usinage doivent être effectuées, il est nécessaire de sélectionner un outil adéquat. Lorsqu'un numéro est attribué à chaque outil et que le numéro est spécifié dans le programme, l'outil correspondant est sélectionné.



- ❖ **M06** : Appel ou changement d'outil. La fonction permet l'appel d'un outil et le positionnement de celui-ci à son poste d'usinage.



- **Syntaxe** : N.. T.. M06 : T.. La fonction «T» affectée d'un numéro sélectionne l'outil.

- ❖ Propriété de la fonction : La fonction M06 est une fonction non modale «après».
- ❖ Tableau des codes "M" usuels

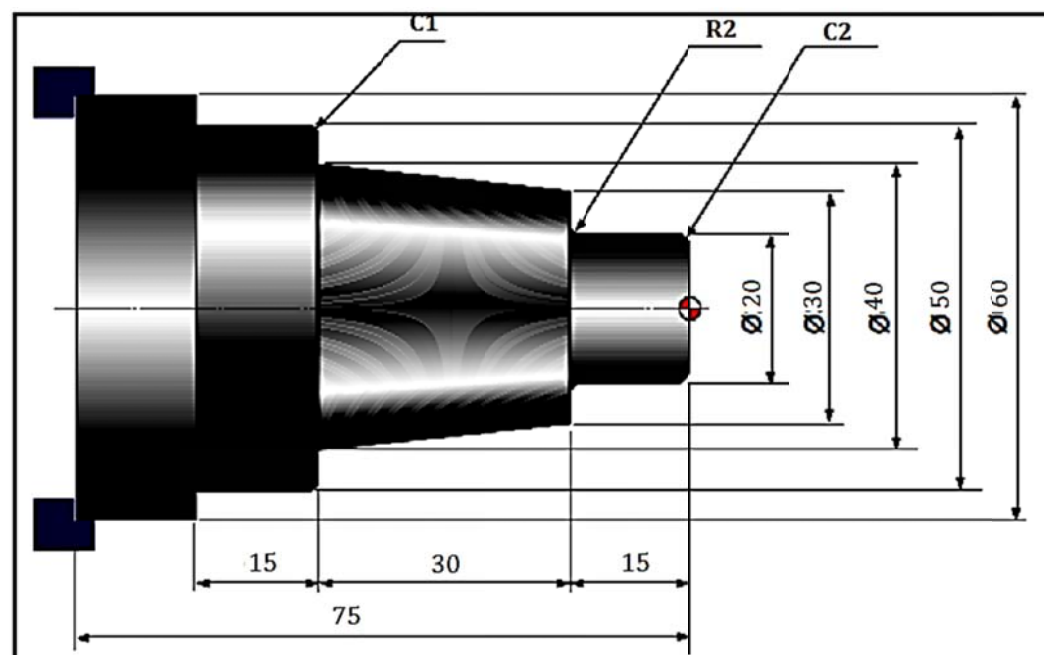
Tournage. Tableau des codes M usuels		
Type	Signification	Fonction
M00	Arrêt programmé	Après
M01	Arrêt optionnel	Après
M02	Fin de programme (identique à M30)	Après
M03	Rotation broche sens horaire	Après
M04	Rotation broche sens trigonométrique (ou anti-horaire)	Après
M05	Arrêt rotation broche	Après
M06	Changement outil	Après
M07	Marche second arrosage	Après
M08	Marche arrosage principal	Après
M09	Arrêt arrosage	Après
M19	Orientation broche	Après
M30	Fin de programme (identique à M02)	Après
M98	Appel de sous-programme	--
M99	Retour de sous-programme	Après

❖ Application

Ecrivez le programme CN (FANUC) pour l'usinage **en finition** de la pièce suivante.

L'outil utilisé : Outil à charioter dresser finition : T0101 ;

Les conditions de coupe : $V_c = 150 \text{ m/min}$; $f = 0.1 \text{ mm/tr}$.



❖ Tableau des fonctions préparatoires G usuelles en fraisage:

FRAISAGE. Tableau des fonctions préparatoires G usuelles		
Type	Groupe	Signification
G00	01	Déplacement rapide
G01		Interpolation linéaire
G02		Interpolation circulaire (sens horaire)
G03		Interpolation circulaire (sens anti-horaire)
G04	00	Temporisation et ouverture carter (pour nettoyer) (temporisation - suivi de l'argument F ou X en secondes)
G09		Arrêt précis
G10		Entrée de données programmable
G11		Annulation du mode entrée de données programmable
G15	17	Annulation de la programmation en coordonnées polaires
G16		Programmation en coordonnées polaires (optionnel)
G17	02	Sélection du plan X-Y (par défaut)
G18		Sélection du plan X-Z
G19		Sélection du plan Y-Z
G20	06	Programmation en pouces
G21		Programmation en mm
G28		Retour à la position d'origine

G30	00	Retour au 2ème, 3ème, 4ème point de référence
G50	11	Annulation de la mise à l'échelle
G51		Mise à l'échelle
G50-1	22	Annulation de l'image miroir programmable
G50-2		Image miroir programmable
G52	00	Décalage de l'origine pièce programmable
G53		Programmation par rapport aux zéro machines
G65		Appel de macro client
G66	12	Appel modal de macro client
G67		Annulation de l'appel modal de macro client
G68	16	Rotation du système de coordonnées
G69		Annulation de rotation du système de coordonnées
G73	09	Cycle de perçage brise-copeaux
G74		Cycle de taraudage à gauche
G76		Cycle d'alésage au grain
G80		Annulation de cycle
G81		Cycle de perçage simple
G82		Cycle de perçage lamage (avec temporisation)
G83		Cycle de perçage déburrage
G84		Cycle de taraudage à droite
G90	03	Déplacements en coordonnées absolues
G91		Déplacements en coordonnées relatives
G94	05	Avances en millimètres/minute
G95		Avances en millimètres/tour
G96	13	Vitesse de coupe constante en mètres/minute
G97		Vitesse de rotation constante en tours/minute
G98	10	Retour au plan Z (lors de cycle)
G99		Retour au plan R (lors de cycle)

❖ **Commande de coordonnées polaires (G15, G16)**

Les coordonnées du centre de machine CNC peuvent être définies par des coordonnées cartésiennes ou par un système de coordonnées polaires (G16). Ce dernier donne les valeurs de coordonnées en unité de rayon et en angle. Vous pouvez utiliser la commande G15 pour annuler l'effet de G16. Le sens plus de l'angle est le sens antihoraire du sens plus (+) du premier axe du plan sélectionné, et le sens moins (-) est le sens horaire. L'angle et le rayon peuvent être programmés dans les deux modes, absolu et relatif (G90, G91).

• **Syntaxe :**

G17 G16 X..Y..;

G18 G16 Z..X..;

G19 G16 Y..Z..;

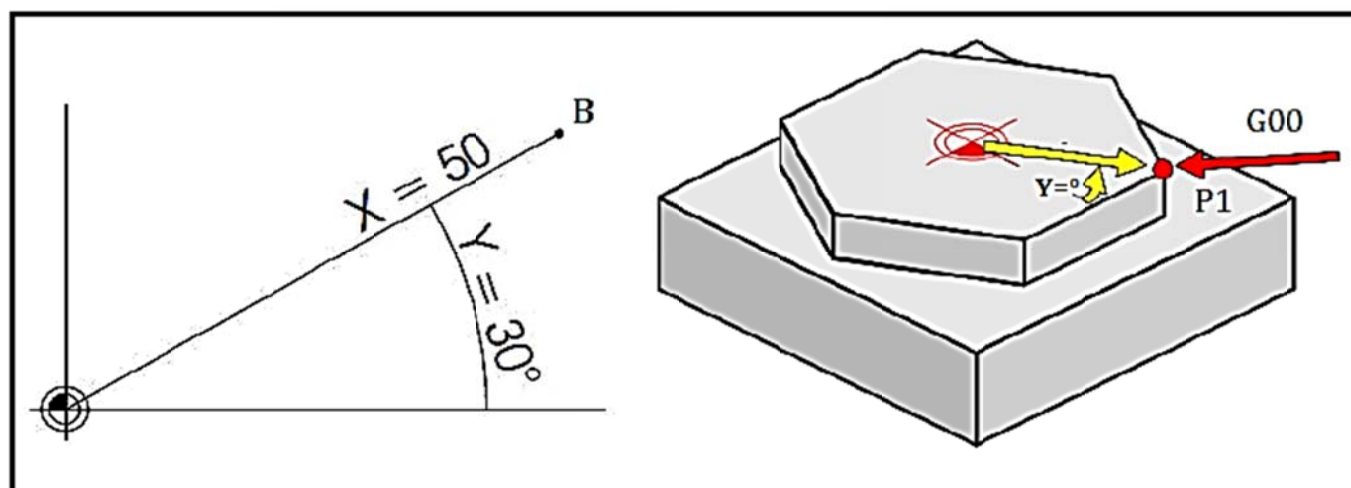
.....

G15;

G16 : activation du mode de coordonnées polaires

G15 : Annulation du mode de coordonnées polaires.

• **Exemple :**



```
N75 G16
N80 G17G01 X50 Y30 (Point B)
N85 G15.
```


❖ **Mise à l'échelle (G50, G51)**

La commande G51 est conçue pour augmenter ou pour réduire la trajectoire du programme d'usinage, en référence au point P donné par le programme. Cela permet au même programme de gérer des produits de taille différente.

• **Syntaxe :**

G51 X... Y... Z... P.... ;

G50 ;

G51 ; **Fonction de mise à l'échelle.**

G50 ; **Annuler la fonction de mise à l'échelle.**

X... : **Coordonnées de l'axe X du centre de la mise à l'échelle.**

Y... : **Coordonnées de l'axe Y du centre de la mise à l'échelle.**

Z... : **Coordonnées de l'axe Z du centre de la mise à l'échelle.**

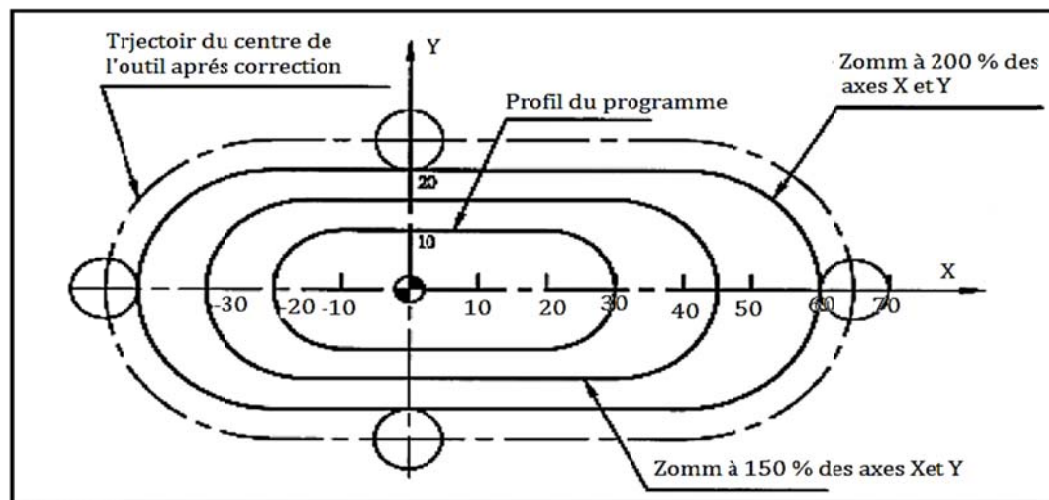
P... : **Proportion de mise à l'échelle avec une fourchette de 0,111 ~ 999,999 avec saisie minimale d'unité de 0,001.**

P1200 indique qu'il faut augmenter de 120%. P800 qu'il faut réduire de 80%.

Dans le cas où les coordonnées (X... Y... Z...) sont contournées, le centre de la mise à l'échelle est au point de commande du G51.

• **Exemple :**

Codifier un programme avec la commande de mise à l'échelle pour augmenter l'échelle d'une pièce d'usinage avec les axes X, Y à 200%, comme le montre la figure ci-dessous.



O6124
G40 G49 G80 G17 G21
N1 T01 M06
G91 G30 Z0
G90 G54 G00 X0 Y-40
G43 Z-3 H01
S900 M03
G00 Z-8 M08

Avec une Fraise à queue Ø10.

G51 X0 Y0 P2000
G90 G01 G42 X0 Y-10 F150

Mise à l'échelle simultanée de l'axe X et l'axe Y à 200%
Exécuter le programme d'augmentation de fraisage, insérez la compensation du rayon vers la droite pour l'outil G42.

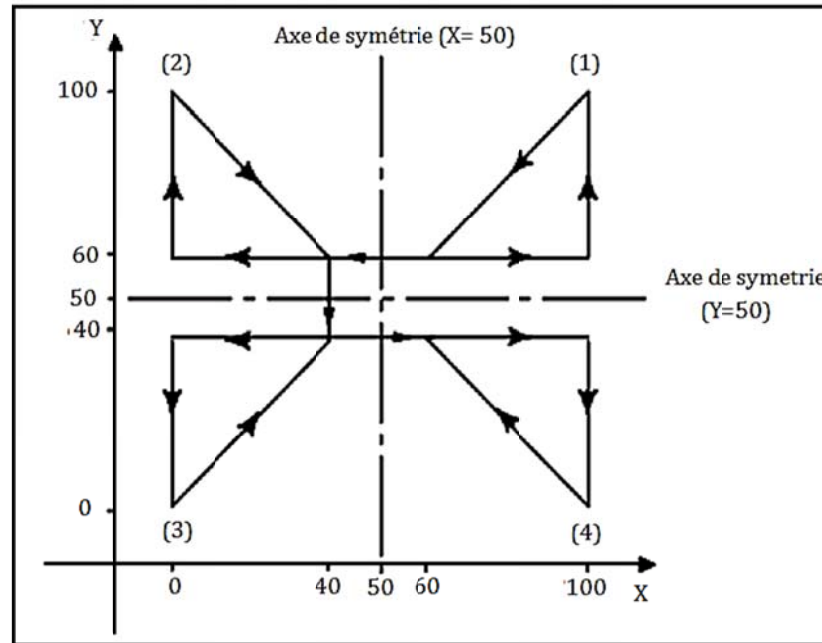
G91 X20
G03 Y20 R10
G01 X-30
G03 Y-20 R10
G01 X10
G50
G40 X0 Y0

Fin du programme d'usinage de mise à l'échelle.
Révoquer la fonction de mise à l'échelle.
Révoquer la compensation de rayon, et remettre à zéro l'outil au point d'origine.

G91 G28 Z0 M05
G49
M30.

❖ **Image miroir programmable (G50.1, G51.1)**

La commande de coupe en miroir est conçue pour usiner les pièces à géométrie symétrique. Il permet d'éditer un programme initial et le refléter avec la commande de coupe en miroir, pour usiner une pièce à l'envers, ou avec la gauche et la droite inversées, afin d'économiser les efforts de programmation.



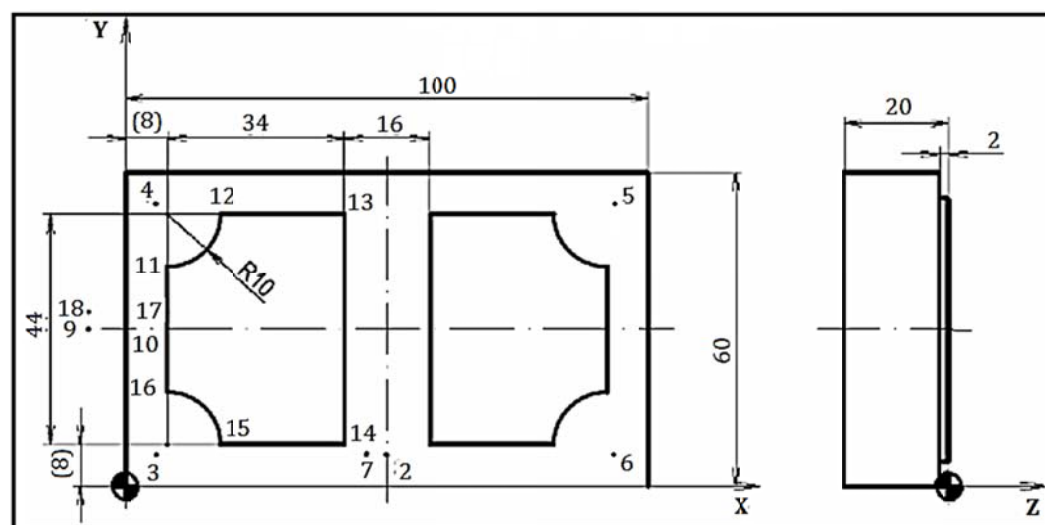
• **Demarche**

- (1) Image d'origine des commandes programmées,
- (2) Image symétrique par rapport à une ligne parallèle à l'axe Y et coupant l'axe X à 50,
- (3) Image symétrique par rapport au point (50,50),
- (4) Image symétrique par rapport à une ligne parallèle à l'axe X et coupant l'axe Y à 50.

L'utilisation d'une image miroir avec un des axes dans un plan déterminé change les commandes ci-dessous comme suit :

Commande	Explication
Commandes circulaires	Les commandes G02 et G03 sont inversées. G02 devient G03 et G03 devient G02.
Commandes de compensation	Les commandes G41 et G42 sont inversées. G41 devient G42 et G42 devient G41.
Rotation des coordonnées	Le sens de rotation est inversé. SH devient SAH et SAH devient SH.

• **Exemple :**



```

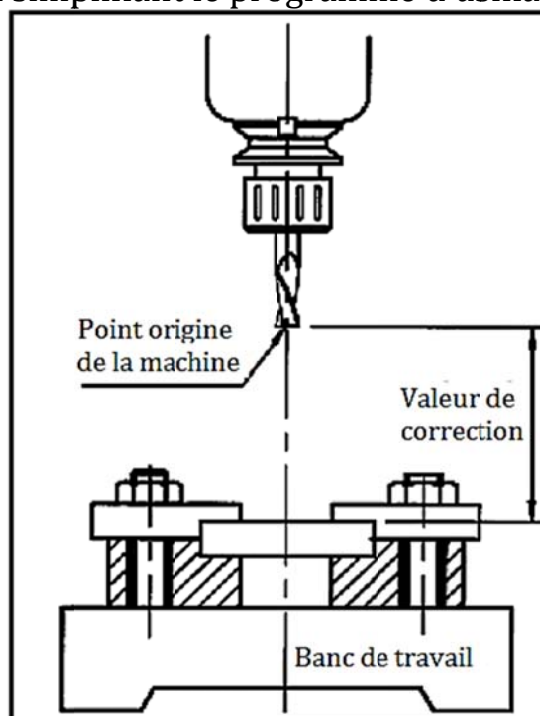
O0006          N80 M03 S2500          G01 X8 G41 H12 F200
N5 T01 M06     N85 G00 X-6 Y0 Z0     G01 Y42 F400
N15 M03 S1800  N90 G00 Z-2           G03 X18 Y52 R10
N20 G00 X50 Y-22 Z2  N95 G01 X8 G41 H12 F200  G01 X42
N25 G00 Z-2      N100 G01 Y42 F400   G01 Y8
N30 G01 Y6 G41 F200 N105 G03 X18 Y52 R10   G01 X18
N35 G01 X6 C10 F400 N110 G01 X42     G03 X8 Y18 R10
N40 G01 Y54 C10   N115 G01 Y8       G01 Y32
N45 G01 X94 C10  N120 G01 X18     G01 X-6 G40
N50 G01 Y6 C10   N125 G03 X8 Y18 R10 G50.1
N55 G01 X48      N130 G01 Y32     M30
N60 G01 Y-22 G40 N135 G01 X-6 G40
N65 G00 Z50      G51.1 X50 Y0 Z0 I-1000
N70 T02 M06      G00 X-6 Y0 Z0
                  G00 Z-2
    
```

• **Corrections d'outils**

Tableau des corrections d'outil	
Type	Signification
G40	Annulation de la compensation de rayon d'outil
G41	Compensation de rayon d'outil à gauche
G42	Compensation de rayon d'outil à droite
G43	Compensation de la longueur d'outil dans le sens + (fraisage uniquement)
G44	Compensation de la longueur d'outil dans le sens - (fraisage uniquement)
G49	Annulation de la longueur d'outil (fraisage uniquement)

❖ **Correction de la longueur de l'outil**

La fonction correction de longueur d'outil traite la différence de longueur d'outil, en compensant la longueur, après changement de l'outil au point origine de la machine. C'est pratiquement une correction automatique d'outil sur l'axe Z pour un usinage en profondeur rapide et facile de l'axe Z, cela en résolvant le problème de la différence de longueur d'outil et en simplifiant le programme d'usinage comme la montre la figure ci-dessous.



• **Syntaxe :**

G43 G00/G01 Z... H...; (corriger la longueur d'outil dans un sens positif)

G44 G00/G01 Z... H... ; (corriger la longueur d'outil dans un sens négatif)

G49 ; (Annuler la correction de longueur d'outil)

Z... est la valeur des coordonnées de l'outil sur l'axe Z

H... est le numéro de registre (00 ~ 99) où est sauvegardée la valeur de correction. En exécutant la correction de longueur d'outil, une commande G00 ou G01 est nécessaire pour le mouvement sur l'axe Z de l'outil. G00 (positionnement rapide) est le meilleur choix dans la plupart des cas.

• **Exemple :**

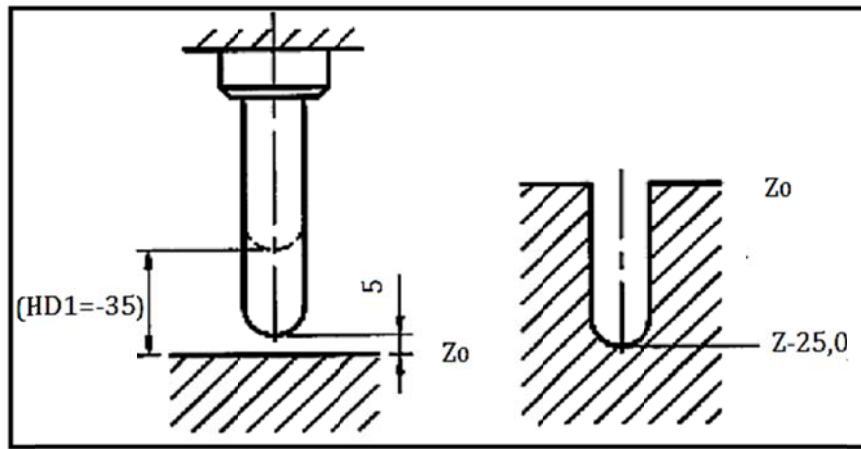
Le programme, décrit ci-dessous, donne une illustration de l'utilisation de la commande de correction de longueur G43. Voir le déplacement de l'outil sur l'axe Z, comme montré à la figure suivante, avec une valeur de correction donnée H01 = 35,0.

Position de l'axe Z

```
N01 X0 Y0 Z0 ; 35,00
```

```
N02 G90 G00 X50. Y40. ; 35,00
```

N03 G43 Z5. H01 ; (H01= -35.) 5,00
 N04 G01 Z-25. F100 ; 25,00
 N05 G00 G49 Z0 ; 35,00



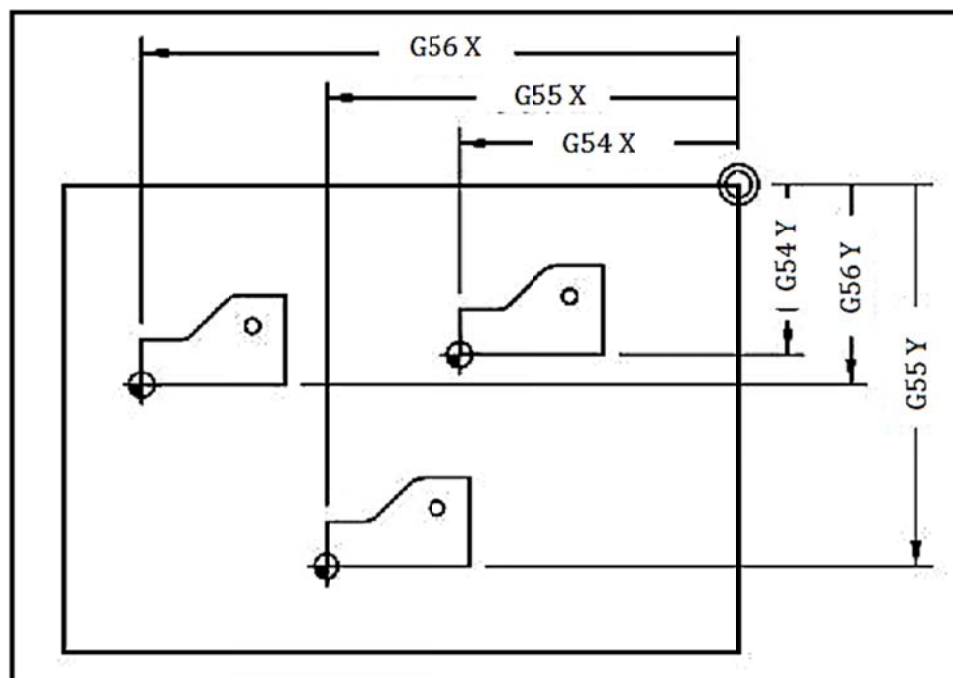
• Les systèmes de coordonnées

Tableau des Origines pièces	
Type	Signification
G52	Décalage du système de coordonnées programmable
G53	Sélection temporaire du système de coordonnées machine (fonction non modale)
EXT	Système de coordonnées servant à décaler TOUTES les origines ci-dessous
G54	Sélection du système de coordonnées numéro 1
G55	Sélection du système de coordonnées numéro 2
G56	Sélection du système de coordonnées numéro 3
G57	Sélection du système de coordonnées numéro 4
G58	Sélection du système de coordonnées numéro 5
G59	Sélection du système de coordonnées numéro 6

❖ Les systèmes de coordonnées

Il existe six systèmes de coordonnées pièces prédéfinis. Les systèmes de coordonnées sont prédéfinis par l'utilisateur, et peuvent être appelés dans le programme à tout moment. Chaque origine pièce représente un décalage de l'origine machine A la mise sous tension de la machine, le système de coordonnées pièce G54 est actif.

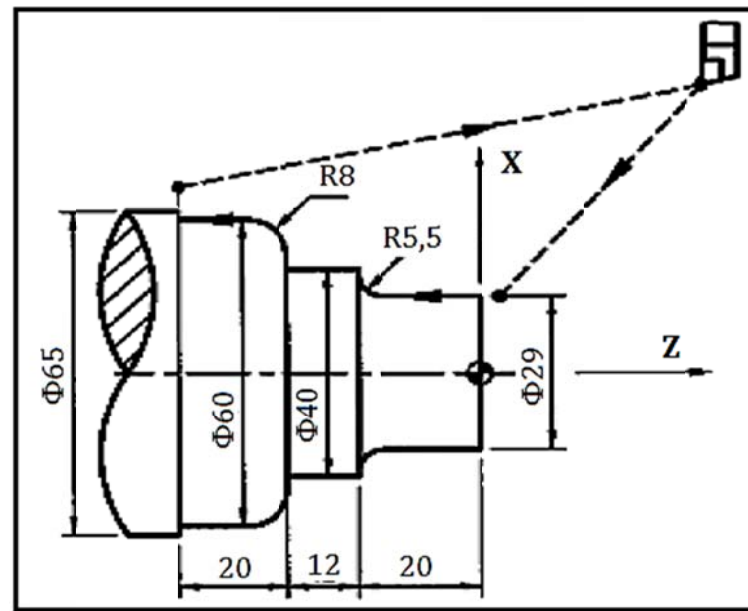
Un système de coordonnées (relatif), propre à chaque pièce et décalé du système de coordonnées machine (absolu). Le système de coordonnées permet dans le cas de pièces multiples mais semblables, de créer en décalant ses origines, le système de coordonnées de chaque pièce, le programme restant le même. Un cas typique d'utilisation de cette fonctionnalité, pour usiner trois îlots identiques sur la même pièce, est illustré sur la figure ci-dessous.



❖ Exercice :

Ecrire le programme d'usinage de la pièce ci-dessous afin que l'outil effectue la découpe le long du contour fini.

- Outil T0101
- Vc= 180m/min ; f = 0,15 mm/tr. La vitesse limite de rotation de la broche est 2500 tr/min.



❖ Programme

O 0450	Numéro de programme
N10 G90 G92 S2500	Programmation absolue, limitation de la vitesse de rotation à 2 500tr/min.
N20G96S180G95 F0.15 M03	Régler la vitesse de découpe à 180m/min et de l'avance à 0,15mm/tr, mise de la broche en rotation dans le sens horaire.
N30 T0101	Sélection de l'outil 01.
N40 G00 X29 Z2	Interpolation rapide, déplacer l'outil vers le point de départ du tournage (point d'approche).
N50 G01 Z-14,5	Interpolation linéaire à vitesse d'avance programmée jusqu'au point de coordonnées (X29, Z-14,5).
N60 G02 X40 Z-20 R5,5	Interpolation circulaire dans le sens horaire jusqu'au point de coordonnées (X40, Z-20).
N70 G01 Z-32	Interpolation linéaire à vitesse d'avance programmée jusqu'au point de coordonnées (X40, Z-32).
N80 X44	
N90 G03 X60 Z-40 R8	Interpolation circulaire dans le sens horaire jusqu'au point de Coordonnées (X60, Z-40).
N100 G01 Z-52	
N110 X67	
N120 G28 U0 W0 M05	Retour automatique au point de référence et arrêt broche.
N130 M30	Fin programme.

II.6. Programmation manuelle

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

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

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

Pour un opérateur qualifié, la programmation manuelle peut être un moyen efficace d'effectuer des opérations simples. Mais lorsque les pièces deviennent compliquées et qu'elles nécessitent un grand nombre de mouvements, cette méthode devient vite fastidieuse avec des risques d'erreur importants.

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

II.6. 1. Aides à la programmation manuelle

❖ Programmation géométrique de profil (PGP)

Le logiciel PGP permet de programmer des profils à l'aide d'éléments géométriques simples (segments de droite et arcs de cercle), en laissant le soin à la CN de calculer les points de raccordement entre ces éléments. Dans ce but, le langage machine est enrichi d'informations spécifiques qui précisent les positions relatives entre les éléments consécutifs (ES pour élément sécant, ET pour élément tangent, EA pour l'angle par rapport à un axe de référence). Des signes (+) ou (-) sont utilisés pour lever les indéterminations possibles, (figure II.2).

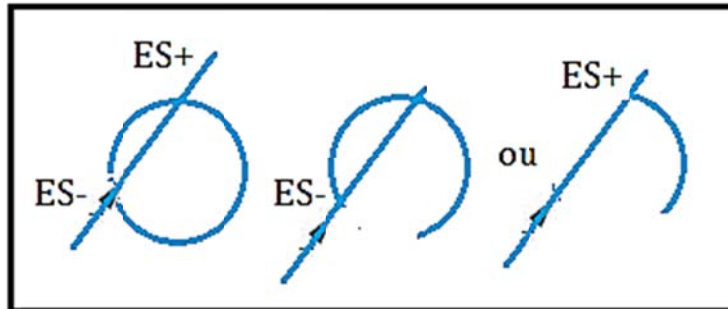


Figure II.2. Définition d'éléments sécants en PGP : intersection d'un cercle par une droite.

❖ Module de définition graphique des contours (PROFIL)

Le logiciel PROFIL s'utilise exclusivement dans la phase de définition des contours géométriques de tournage et de fraisage en 2D.

Il guide l'opérateur en permanence par une visualisation instantanée et dynamique des profils en cours de création et lui propose une aide à la décision dans le cas de solutions multiples. L'utilisateur peut ainsi se concentrer uniquement sur le dessin de sa pièce sans se préoccuper ni de la codification ISO (codes *G* et *M*), ni de la méthode à mettre en œuvre pour réaliser son usinage (figure II.3).

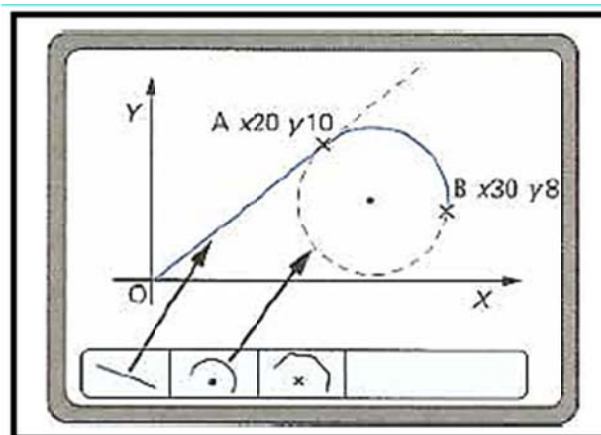


Figure II.3. Module de définition géométrique des contours PROFIL.

❖ Programmation conversationnelle

Le but de la programmation conversationnelle est de permettre à un opérateur de créer un programme pièce directement au pied de sa machine, sans avoir recours au langage machine codé en ISO. Dans ce mode, l'élaboration de la géométrie de la pièce et la génération des trajectoires d'outils font essentiellement appel à des fonctions graphiques et à des menus déroulants.

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

Ces pages d'écran peuvent être :

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

Toutes ces pages font largement appel aux possibilités graphiques étendues des CN pour faire apparaître des zones de saisie, des croquis ou des images animées d'outils en cours de travail.

À titre d'exemple, le logiciel de programmation interactive PROCAM de NUM apporte une assistance graphique permanente aux différentes étapes de la programmation, de la mise au point et de l'usinage, (figure II.4).

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

Il convient enfin de souligner que la CN convertit en langage ISO toutes les informations qui ont été programmées en mode conversationnel. Le programme correspondant, même s'il est transparent pour l'utilisateur, est donc récupérable à tout instant en vue d'une modification rapide ou du stockage sur une mémoire périphérique.

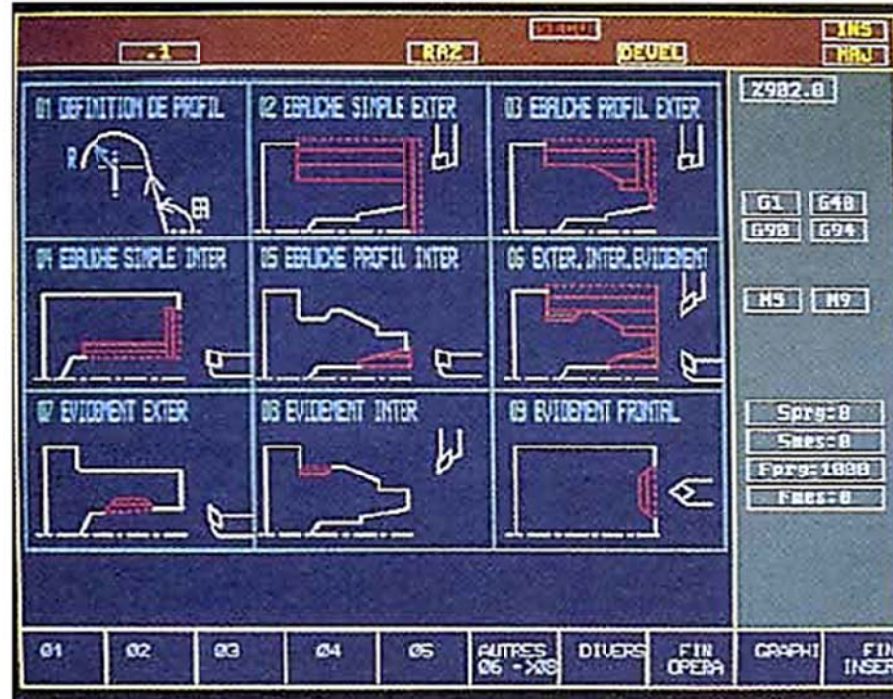


Figure II.4. Programmation conversationnelle PROCAM (doc. NUM) page d'appel des sous-programmes.

II.6. 2. Cycles d'usinage

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

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

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

- cycles d'ébauche, de dressage, de perçage, d'usinage de gorges, d'usinage avec outil tournant, de filetage et de palpage sur les machines de tournage ;
- cycles de perçage (exemple donné en figure XI.5), de taraudage, d'alésage, de surfaçage, de rainurage, de contournage, d'usinage de poches, de filetage au grain et de palpage sur les machines de fraisage ;
- cycles de plongée, de balayage, d'épaulement, de profilage et de diamantage des meules sur les machines de rectification.

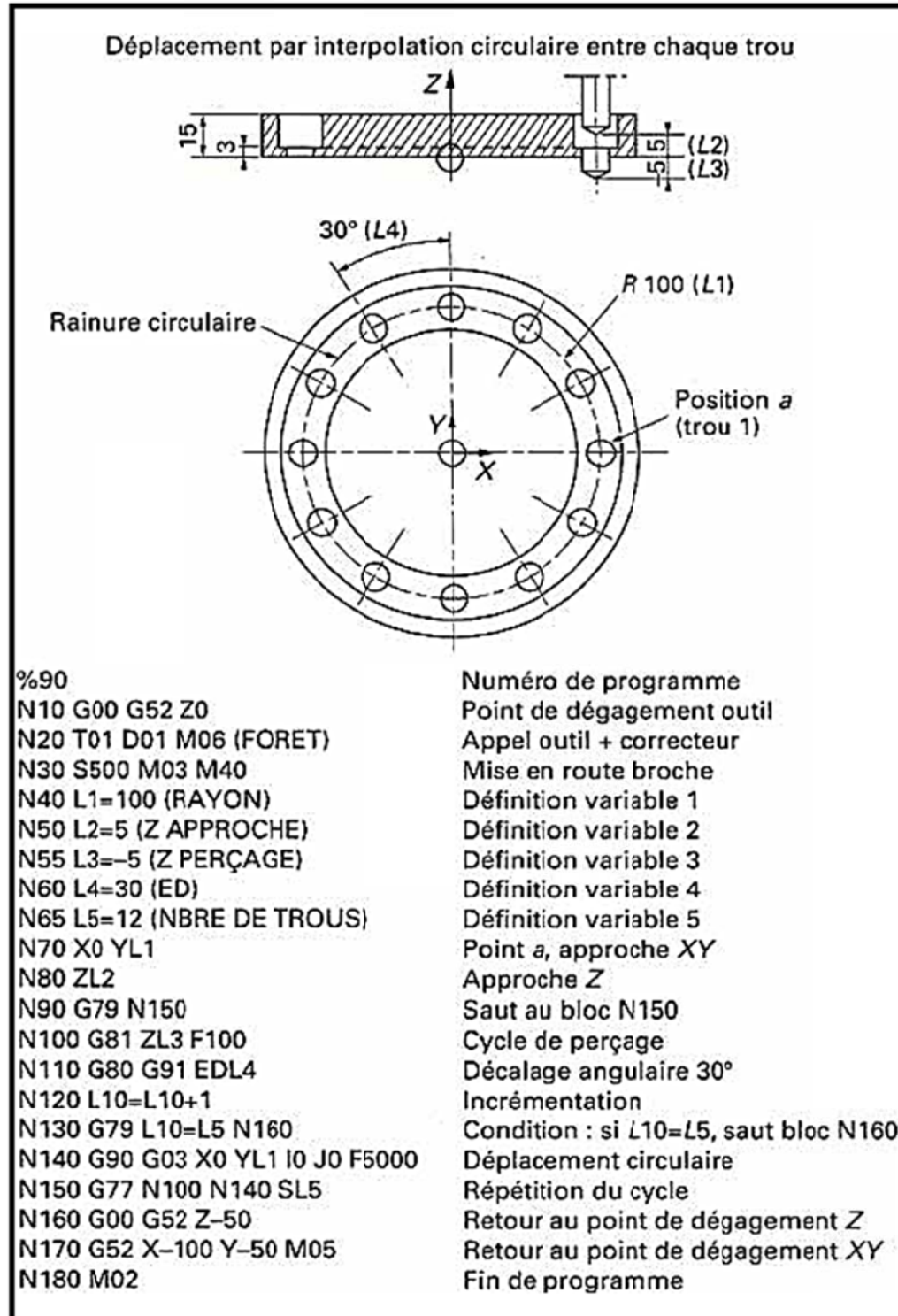


Figure. XI.5.Exemple de programmation paramétrée : perçage en cycle de 12 trous décalés angulairement dans le plan XY (G17).

II.7. Programmation automatique (ou assistée)

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

- La première phase, appelée **programme processeur**, permet de calculer les coordonnées de tous les points définissant la forme de la pièce puis, en tenant compte de certaines données technologiques d'usinage (vitesse, avance, profondeur de passe en fonction des matières usinées et des outils utilisés, état de surface exigé, etc.), de décrire les diverses trajectoires suivies par l'outil pour parvenir à la pièce finie. Le traitement par calculateur de cette phase conduit à un fichier image des positions successives des outils ou CLFILE (*Cutter Location File*), indépendant de la machine et de la CN.
- Une seconde phase, dite **programme post-processeur**, personnalise ces données en langage ISO en tenant compte des caractéristiques de la machine (courses, limitations) et de celles de la CN utilisée (format, fonctions particulières, etc.). Ce post-processeur permet de compenser les différences d'écriture qui existent entre des matériels de provenance diverse, un programme écrit pour une machine donnée étant rarement opérationnel sur une autre machine sans quelques aménagements préalables.

Le langage de programmation assistée le plus universel est le **langage APT** (*Automatically Programmed Tools*) du Massachusetts Institute of Technology. Très souple, ce langage autorise l'écriture de programmes d'usinage de géométries tridimensionnelles complexes, y compris sur les machines conçues pour travailler en cinq axes simultanés. L'utilisation d'APT réclame cependant des systèmes informatiques très puissants, ce qui explique l'apparition de nombreux langages dérivés plus simples (IFAPT, MINIAPT, EXAPT, etc.) exploitables directement sur des micro-ordinateurs.

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

II.8. Programmation des formes complexes

La plupart des formes que l'on rencontre actuellement sur des pièces mécaniques peuvent être usinées dans un plan. Les machines concernées doivent disposer d'un minimum de fonctions de base pour permettre le travail en **2D** ou en **2D1/2**. Parmi ces fonctions, on citera le contournage (mode dans lequel l'outil reste positionné à une profondeur constante pendant qu'il décrit, dans le plan, une série de droites et de courbes), le perçage et ses opérations connexes, et l'usinage des poches.

Cependant, lorsque les courbes et les surfaces deviennent beaucoup plus complexes, comme c'est très souvent le cas dans les industries de fabrication des moules, de l'automobile et de l'aéronautique, il est indispensable de pouvoir déplacer l'outil suivant **3 axes** simultanément, voire même en **4 axes** avec des configurations de machines à plateau rotatif ou à tête pivotante, ou en **5 axes** avec une tête pivotante sur 2 axes (tête *twist*), un plateau rotatif et inclinable, ou une combinaison des deux. Si la technologie actuelle des machines et des CN permet d'envisager des trajectoires d'outils quasiment quelconques, pour les formes planes comme pour les surfaces gauches non mathématisables, la définition de ces formes avec un degré de précision satisfaisant fait appel à des méthodes de programmation pour lesquelles l'ordinateur joue un rôle fondamental.

II.8. 1. Définition des surfaces complexes

La représentation géométrique des surfaces complexes fait appel à la description de courbes spéciales appelées courbes à pôles.

Les méthodes de représentation les plus courantes sont, à l'heure actuelle :

- **les courbes de Bézier**, qui sont définies par des polynômes. Une surface de Bézier se compose d'un ensemble de carreaux formant un maillage. Chaque carreau est lui-même constitué d'une suite de points appelés *pôles* ;
- **les courbes B-spline**, qui sont définies par des ensembles de points formant des carreaux de surface dans un réseau.

Ces deux types de courbes ne permettent cependant pas la description exacte de certaines configurations de courbes usuelles comme les coniques (arcs de cercles, ellipses, paraboles, etc.), d'où l'apparition d'un autre type de courbes dites *rationnelles* parce que la représentation des coniques est engendrée par un quotient de polynômes et non par une équation paramétrique polynomiale intégrale.

Les courbes rationnelles les plus courantes sont les **courbes de Bézier rationnelles** et les **NURBS** (*Non-Uniform Rational B-Spline*) qui sont les plus utilisées actuellement en CFAO, car elles regroupent les caractéristiques des *B-spline* et des Bézier rationnelles.

II.8. 2. Aides à la programmation des formes complexes

❖ NUMAFORM

Développé par NUM, NUMAFORM est un logiciel de description et d'usinage de formes tridimensionnelles concaves ou convexes (exemple donné sur la figure II.6). Son implantation directe dans la CN permet une vérification rapide du programme et une prise en compte en temps réel des dimensions d'outils, qu'ils soient de forme sphérique (fraise-boule) ou torique.

NUMAFORM se compose de trois sous-programmes d'usinage qui permettent, après avoir défini les variables caractéristiques de la courbe, de réaliser :

- l'usinage de surfaces de révolution d'axe quelconque ;
- l'usinage de formes définies par l'association de surfaces élémentaires (plan incliné, cône, disque, cylindre, sphère, tore, etc.) ;
- l'usinage de surfaces gauches obtenues par lissage de courbes dont les extrémités sont situées sur deux courbes guides.

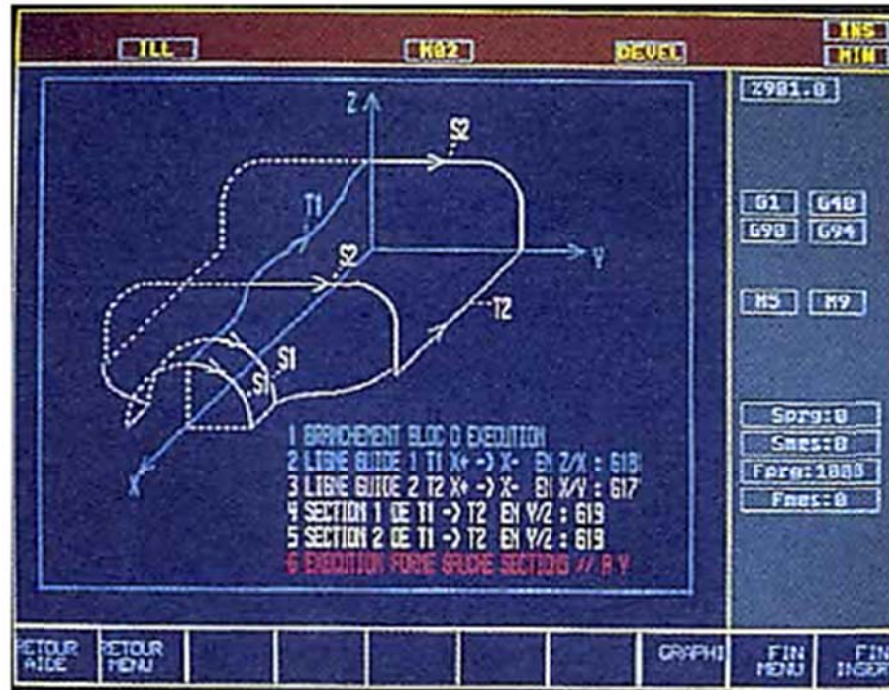


Figure II.6. Vue sur écran du logiciel d'aide à la programmation des formes complexes NUMAFORM.

❖ Fonction pôles-Unisurf

À partir des pôles de la surface gauche à usiner générés par la CFAO, cette fonction pôles-Unisurf :

- assure le traitement des cycles d'usinage par balayage en 3D ;
- prend en compte la correction d'outil dans l'espace ;
- permet de travailler sur un volume de programme réduit par rapport à celui que délivre habituellement la CFAO.

❖ Spline

Les courbes *spline* sont des courbes à allure continue qui relient une série de points fixes spécifiés. L'interpolation *spline* est une méthode mathématique de lissage de ces courbes conçue pour assurer la continuité de la tangence et la constance de l'accélération en chacun des points spécifiés sur les trajectoires programmées.

❖ Changement de référentiel

La fonction changement de référentiel consiste à effectuer des transformations de coordonnées par utilisation d'une matrice carrée.

Cette fonction permet notamment d'usiner une pièce dans un plan incliné en la programmant dans un plan du trièdre de base.

❖ Fonction RTCP

La fonction RTCP (*Rotation around Tool Center Point*) commande l'orientation continue d'un outil hémisphérique par rapport à la pièce en le faisant pivoter autour de son centre. Dans la pratique, la CN compense en permanence les références des axes cartésiens X , Y et Z en fonction des axes rotatifs appliqués à l'outil. Cette méthode, très répandue en usinage cinq axes, évite la coupe au centre de l'outil de manière à assurer les meilleures conditions de coupe possibles (figure II.7), y compris lors de l'usinage de parois verticales ou de faces en dépouille.

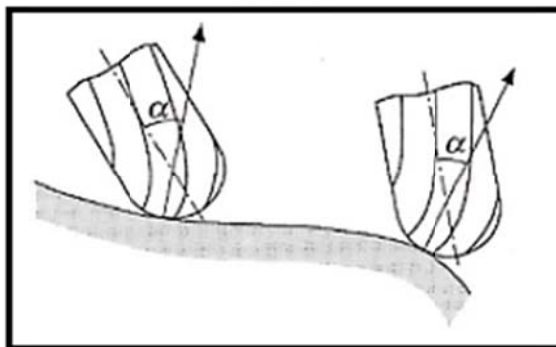


Figure II.7. Usinage sur fraiseuse en mode RTCP.

II.9. Autres modes de programmation

II.9.1 Programmation polaire

La programmation polaire facilite la définition de trajectoires ou de positionnements lorsque la cotation de la pièce comporte essentiellement des valeurs angulaires.

II.9. 2 Programmation paramétrée

La programmation paramétrée permet d'affecter des variables L aux adresses à la place des valeurs numériques (figure. II.5). Elle est principalement utilisée :

- pour réaliser des opérations arithmétiques, trigonométriques ou logiques ;
- pour effectuer des incréments ou des décréments ;
- pour assurer des sauts conditionnels après comparaison à une expression.

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

II.9. 3 Programmation structurée

Pour faciliter l'écriture et améliorer la lisibilité des programmes complexes, le système offre la possibilité de programmer des sauts et des boucles sous une forme structurée.

La programmation structurée comprend quatre jeux d'instructions principaux qui permettent à la fois d'isoler les tâches, de les hiérarchiser et de proposer plusieurs possibilités pour les procédures de tests :

- conditions d'exécution d'instructions : *if... then... else... end...* ;
- boucles répéter jusqu'à : *repeat... until* ;
- boucles répéter tant que : *while... do... end* ;
- boucles avec variable de contrôle : *for... to... by... do... end*.

II.9. 4. Digitalisation

La majorité des techniques de programmation connues ont pour principe de définir des instructions d'usinage codées en langage CN à partir des données figurant sur le plan coté d'une pièce.

La digitalisation consiste, quant à elle, à parcourir et à analyser la surface d'un modèle existant avec un palpeur monté dans la broche de travail de la machine (figure. II.8). Les données géométriques recueillies sont transmises sous forme analogique à un ordinateur qui les convertit automatiquement en programme d'usinage exploitable par la CN.

L'opérateur de la machine peut ensuite enrichir ce programme par des données technologiques et, au besoin, y apporter des transformations géométriques telles qu'un facteur d'échelle ou une fonction miroir.

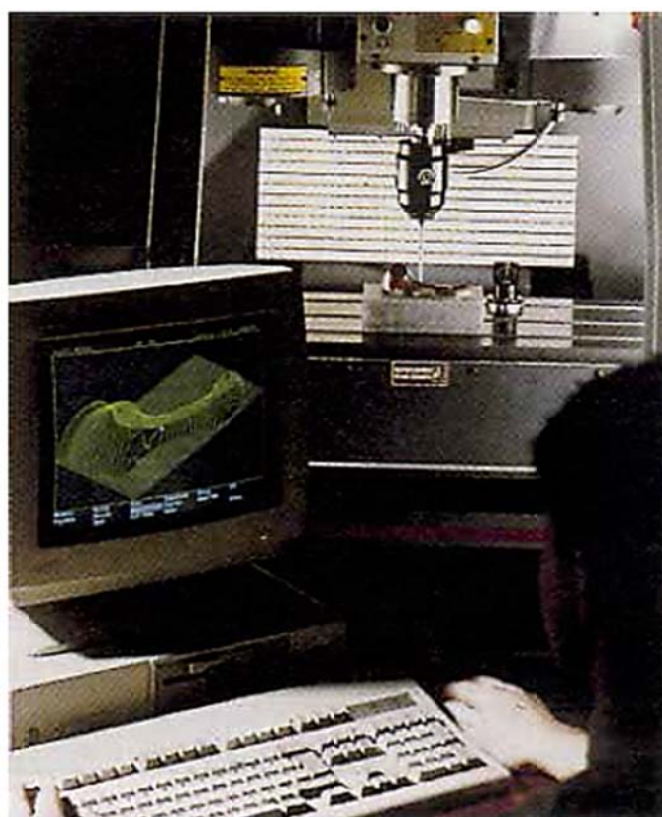
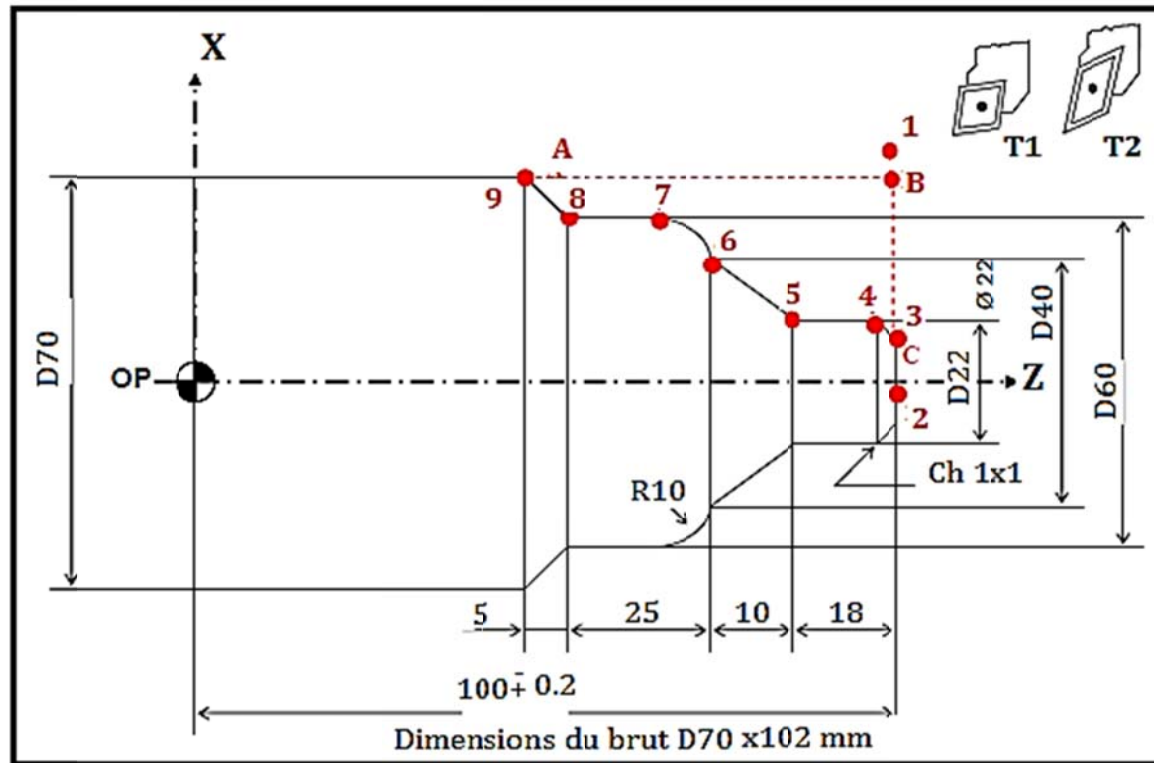


Figure II.8. Logiciel de digitalisation DIGINUM.

II.10. Exemples de programmation

II.10.1. Exemple de tournage



❖ Paramètres d'usinage

Opérations	Vc	Avance	
Dressage	120 m/min	0.2 mm/tr	
Contournage Ebauche	120 m/min	0.2 mm/tr	Passe : 1mm
Contournage Finition	160 m/min	0.1 mm/tr	

❖ Désignation des points de programmation

Point	X	Z	Point	X	Z
Dressage 1	71	100	Profil 7	60	62
Dressage 2	-2	100	Profil 8	60	47
Profil 3	20	100	Profil 9	70	42
Profil 4	22	99	Brut A	70	42
Profil 5	22	82	Brut B	70	100
Profil 6	40	72	Brut C	20	100

Programme

```

%500
N10 G40 G80 G95
N20 G0 G52 X0 Z0 (initialisation)
(DRESSAGE)
N30 T1 D1 M6
N40 G97 S1000 M41 M3 M8
N50 G92 S3000
N60 G0 X72 Z100 (Approche)
N70 G96 S120 G95 F0.2
N80 G1 X71 Z100 (pt1)
N90 G1 X-2 (pt2)
N100 G0 Z102 (dégagement)
N110 G79 N190
N120 G1 X20 Z100 (pt3)
N130 X22 Z99 (pt4)
N140 Z82 (pt5)
N150 X40 Z72 (pt6) Profil fini
N160 G2 X60 Z62 R10 (pt7)
N170 Z47 (pt8)
N180 X70 Z42 (pt9)
(CONTOURNAGE EBAUCHE)
    
```

```

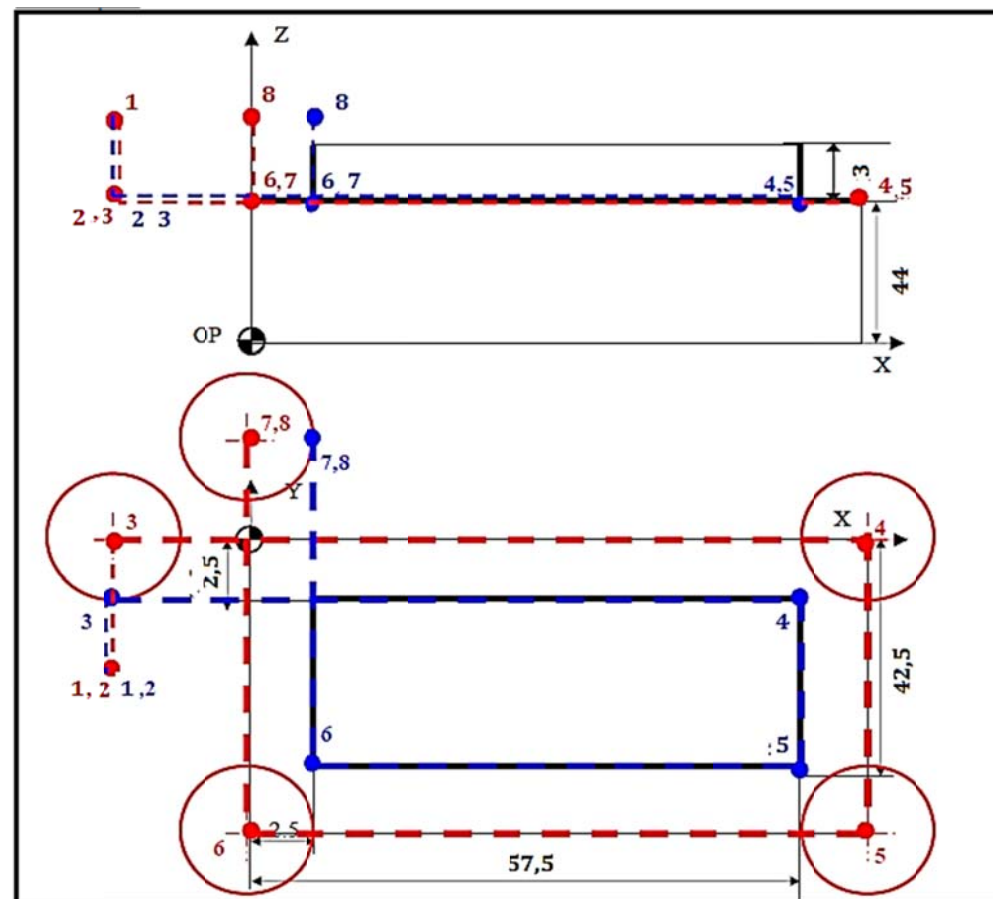
N190 G96 S120 G95 F0.2
N200 G0 X71 Z101
N210 G64 N180 N120 I0.2 K0.1 P1
N220 X70 Z42
N230 Z100
N240 X20
N250 G80 G0 G52 X0 Z0
(CONTOURNAGE FINITION)
N260 T2 D2 M6
N270 G0 X21 Z103
N280 G96 S160 G95 F0.1
N290 G1 G42 X20 Z102
N300 G77 N120 N180
N310 G1 X72 Z42
N320 G40 G0 G52 X0 Z0 M5 M9
N330 M2.
    
```

(Approche)
(ébauche paraxiale)

(Approche)
(dégagement en usinage)

II.10.2. Exemple de fraisage

" centre fraise "



❖ Programmation centre fraise

Points	X	Y	Z
1	-10	-10	50
2	-10	-10	44
3	-10	0	44
4	60	0	44
5	60	-45	44
6	0	-45	44
7	0	10	44
8	0	10	50

Programme en "G" Code

```

%2002 (Nom du programme)
N10 G0 G52 X0 Y0 Z0 (Retour à l'origine mesure en vitesse rapide)
N20 M6 T1 D1 (Appel de l'outil n°1 et du correcteur 1 fraise de 5)
N30 X-10 Y-10 Z50 (Déplacement a u point P1)
N40 M3 M41 S1591 M8 (Rotation broche + arrosage)
    
```

N50 Z44 (Déplacement au point P2)
 N60 G1 Y0 F239 (Déplacement en vitesse travail au point P3)
 N70 X60 (Déplacement en vitesse travail au point P4)
 N80 Y-45 (Déplacement en vitesse travail au point P5)
 N90 X0 (Déplacement en vitesse travail au point P6)
 N100 Y10 (Déplacement en vitesse travail au point P7)
 N110 G0 Z50 M5 M9 (Déplacement en vitesse rapide au point 8 + arrêt broche et arrêt arrosage)
 N120 G52 X0 Y0 Z0 (Retour à l'origine mesure en rapide)
 N130 M2 (Fin de programme)

❖ **Programmation avec correction de rayon G41**

Points	X	Y	Z
1	-10	-10	50
2	-10	-10	44
3	-10	-2,5	44
4	57,5	-2,5	44
5	57,5	-42,5	44
6	2,5	-42,5	44
7	2,5	10	44
8	2,5	10	50

❖ **Programme en "G" Code**

%2002 (Nom du programme)
 N10 G0 G52 X0 Y0 Z0 (Retour à l'origine mesure en vitesse rapide)
 N20 M6 T1 D1 (Appel de l'outil n°1 et du correcteur 1 fraise 5)
 N30 X-10 Y-10 Z50 (Déplacement a u point P1)
 N40 M3 M41 S1591 M8 (Rotation broche + arrosage)
 N50 Z44 (Déplacement au point P2)
 N60 G1 G41 Y-2.5 F239 (Déplacement en vitesse travail au point P3 avec correction de rayon)
 N70 X57.5 (Déplacement en vitesse travail au point P4)
 N80 Y-42.5 (Déplacement en vitesse travail au point P5)
 N90 X2.5 (Déplacement en vitesse travail au point P6)
 N100 Y10 (Déplacement en vitesse travail au point P7)
 N110 G0 G40 Z50 M5 M9 (Déplacement en vitesse rapide au point 8 + arrêt broche et arrêt arrosage)
 N120 G52 X0 Y0Z0 (Retour à l'origine mesure en rapide)
 N130 M2 (Fin de programme).