

O0100

N10 ...

N20 ...

N

Chapitre 3 :

Programmation des

Machines-Outils à

Commande Numérique

Chapitre 3 : Programmation des Machines-Outils à Commande Numérique

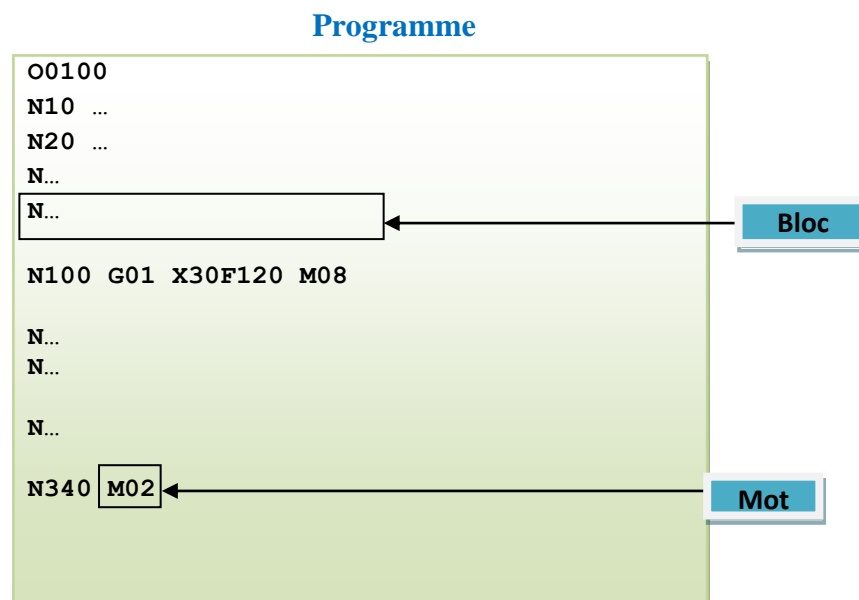
Introduction

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.

I- Structure d'un programme

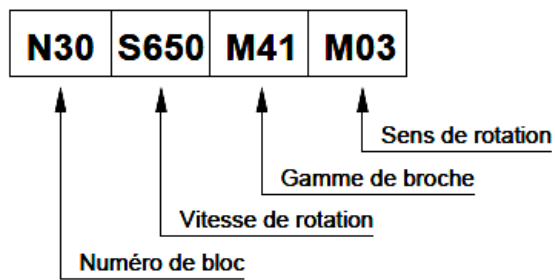
La programmation s'effectue suivant le code **ISO**. Un programme est constitué de lignes appelées "**blocs**". Un bloc correspond aux instructions relatives à une séquence d'usinage. Chaque bloc est constitué d'un groupe de **mots**. Un mot est un ensemble de caractères composé d'une **adresse** suivie de chiffre constituant une information.



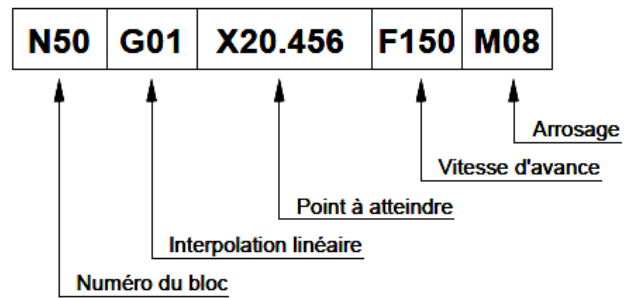
⊕ **Bloc** : groupe de *mots* correspondant aux instructions relatives à une séquence d'usinage. La numérotation des blocs s'effectue de 5 en 5 ou de 10 en 10 pour permettre une insertion éventuelle de blocs.

☉ Exemples de blocs :

Ecriture d'un bloc définissant la mise en rotation de broche.



Ecriture d'un bloc définissant une trajectoire.



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

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

☉ Principales 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.

☉ 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
	N29 G00 X100 Z100
	(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



Structure d'une opération :

Structure	Exemple
Opération précédente	(Opération : centrage)
↓	
Appel de l'outil	N30 T0505 M06 (Foret à centrer)
↓	
Approcher l'outil en rapide	N40 G00 X0 Z100
↓	
Adapter les conditions de coupe	N45 G97 G95 S2500 F0.05 M03 M08
↓	
Réaliser l'opération d'usinage	N50 G01 Z40
↓	
Dégager l'outil en rapide	N60 G00 Z100
↓	
Opération suivante	

II- Les fonctions préparatoires G

1- Classification des fonctions préparatoires G



Types de fonctions G : On distingue :

- ⊕ Les fonctions G modales,
- ⊕ Les fonctions G non modales.

⊕ Fonctions G modales

Une fonction est dite "modale" lorsqu'elle reste active (méorisée) 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.

⊕ Fonctions G non modales

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

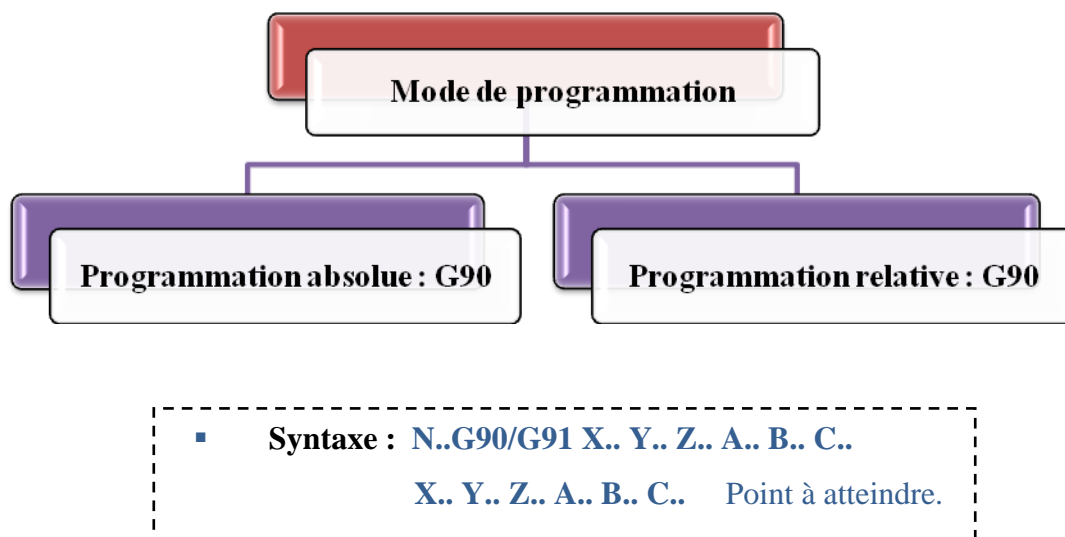
2- Choix du mode de programmation

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.

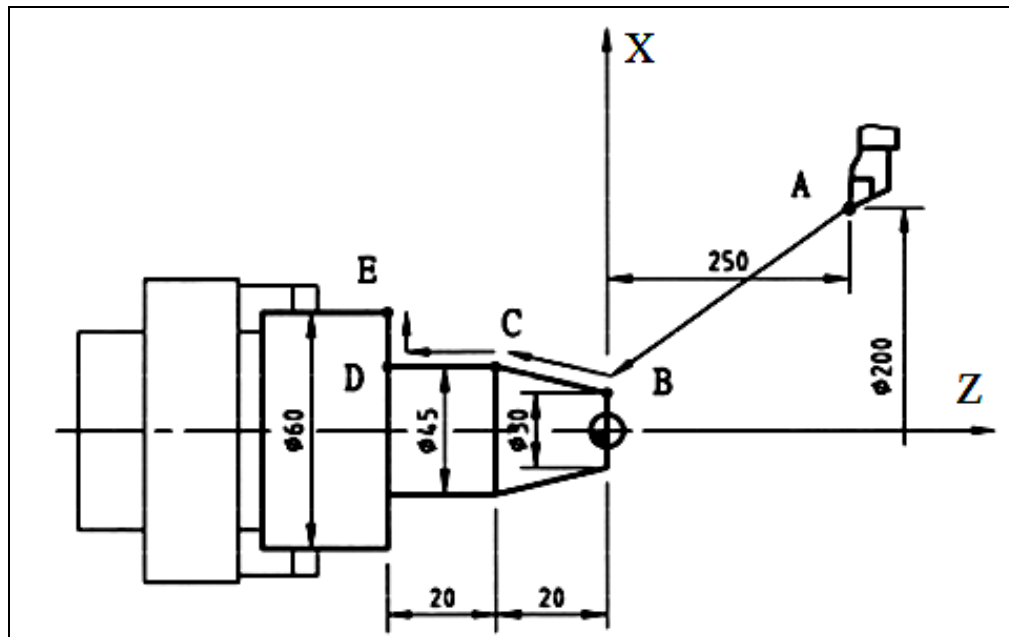


- **Propriétés des fonctions :** Les fonctions G90 et G91 sont modales. La fonction G90 est initialisée à la mise sous tension.
- **Révocation :** Les fonctions G90 et G91 se révoquent mutuellement.

⊕ Exemples de tournage :

▪ Exemple 1

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	Réglage du système de coordonnées.
G00 X30 Z0	Déplacez l'outil du point A au point B.
G01 X45 Z-20 F0.2	Coupe d'outil du point B au point C.
Z-40	Coupe d'outil du point C au point D.
X60	Coupe d'outil du point D au point E.

◆ Programme de positionnement incrémentiel ou relatif

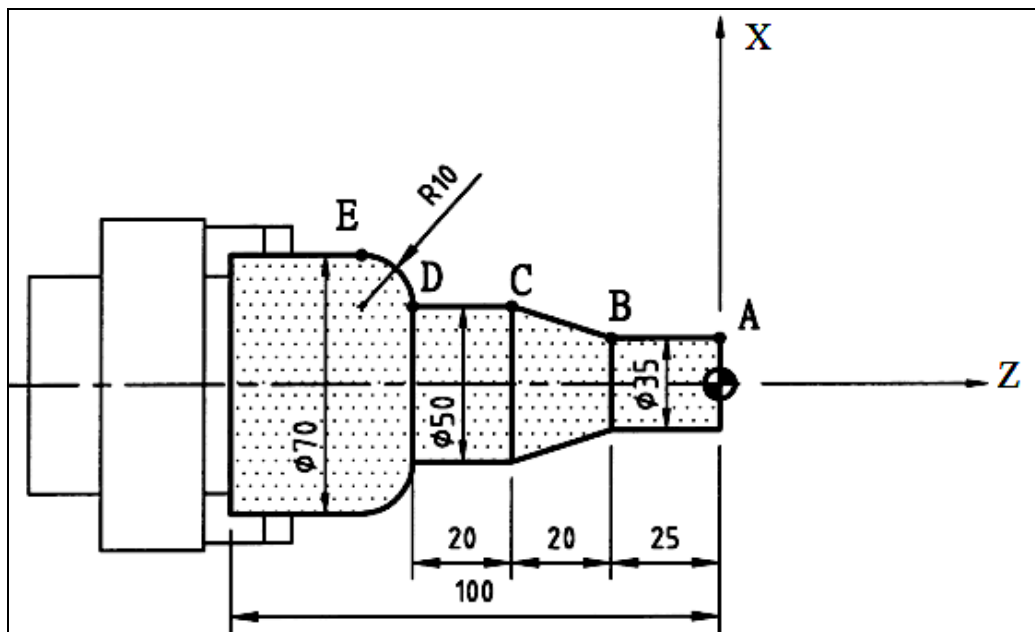
G54 X200 Z250	Réglage du système de coordonnées.
G00 U-170 W-250	Coupe d'outil du point A au point B.
G01 U15 W-20 F0.2	Coupe d'outil du point B au point C.
W-20 U15	Coupe d'outil du point C au point D.
U15	Coupe d'outil du point D au point E.

▪ Exemple 2 :

Soit la pièce définie par le dessin ci-dessous :

Remplir le tableau suivant :

Point	Programmation absolue G90		Programmation relative G91	
	Coordonnées en X	Coordonnées en Z	Coordonnées en X	Coordonnées en Z
A				
B				
C				
D				
E				



☉ Exemples de fraisage :

- Exemple 1 : Usinages en programmation absolue (G90)

O0020

...

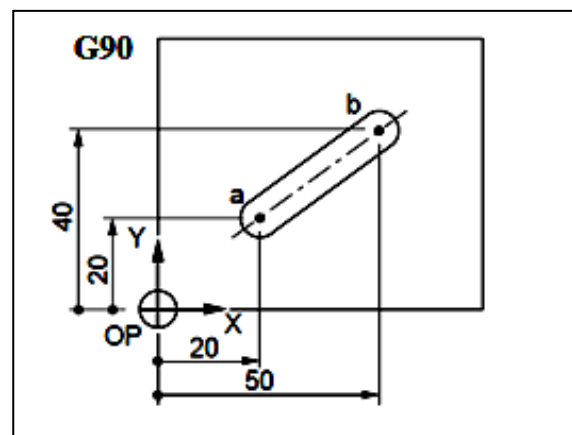
N30 S600 M03

N40 G00 X20 Y20 Z2 **Point a, approche**

N50 G01 Z-1.5 F50 **Plongée sur Z**

N60 X50 Y40 F120 **Point b**

N..



- Exemple 2 : Usinages en programmation relative (G91)

O0025

...

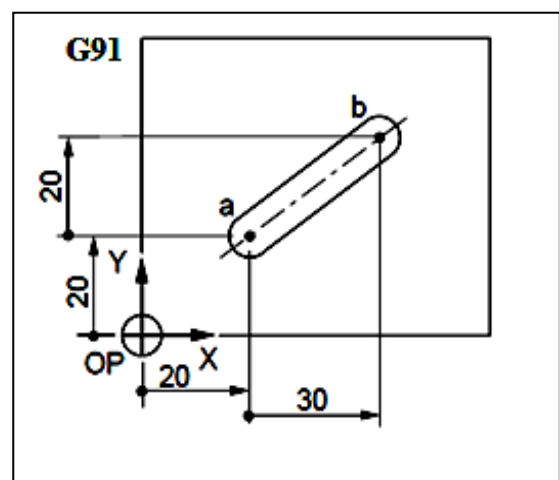
N30 S600 M40 M03

N40 G00 X20 Y20 Z2 **Point a, approche**

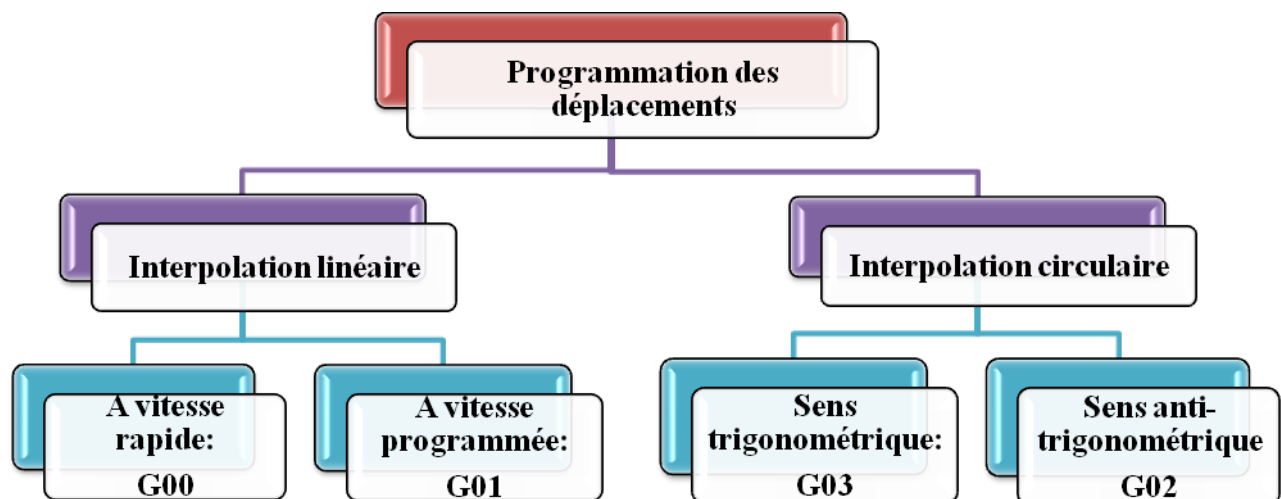
N50 G91 G01 Z-3.5 F50 **Plongée sur Z**

N60 X30 Y20 F120 **Point b**

N70 ...



3- Programmation des déplacements

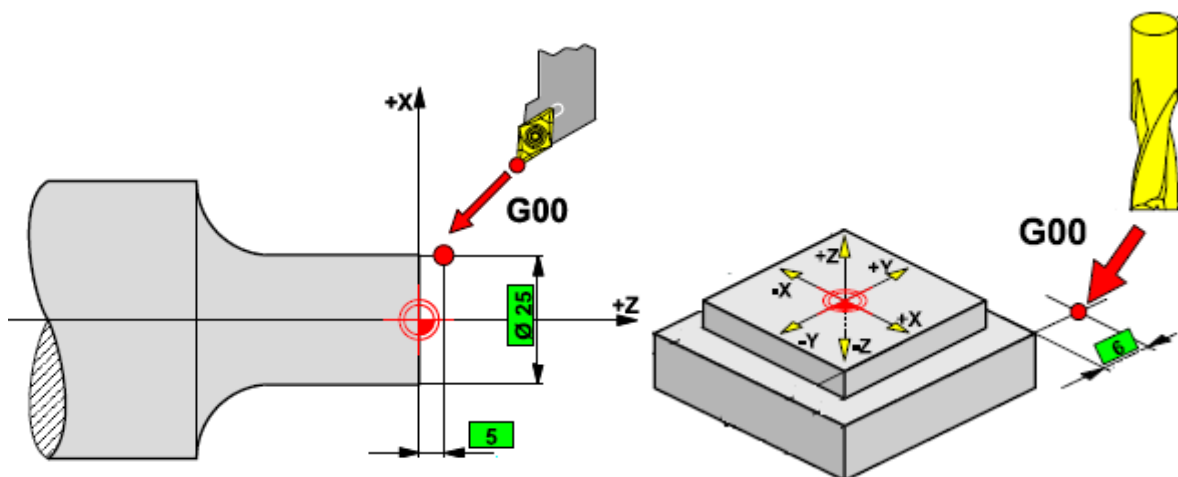


a- Interpolation linéaire à vitesse rapide G00

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.

▪ **Syntaxe** : `N..G00 X.. Y.. Z..`
`X.. Y.. Z..` Point à atteindre

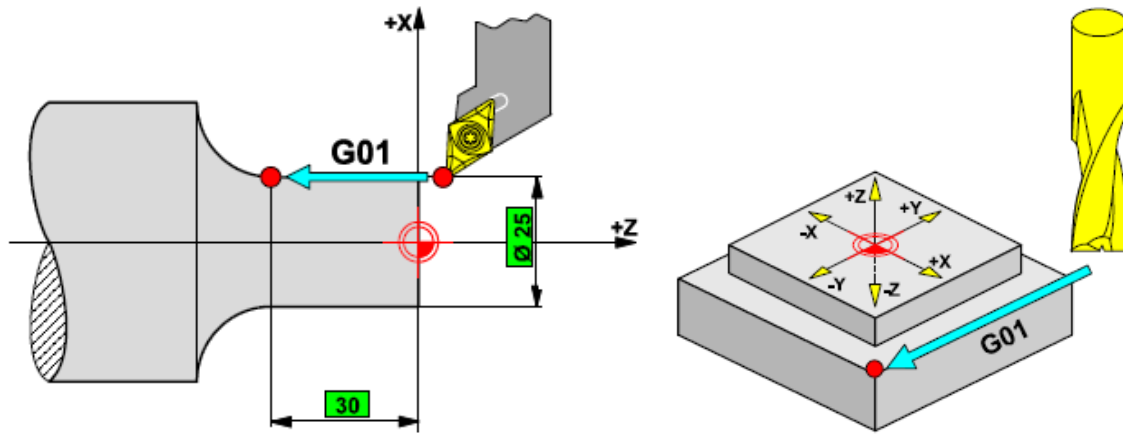
- **Propriété de la fonction** : La fonction G00 est modale.
- **Révocation** : La fonction G00 est révoquée par l'une des fonctions G01, G02 ou G03.



b- 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.



- **Syntaxe :** `N..G01 X.. Y.. Z.. [F..]`
G01 : Interpolation linéaire à vitesse d'avance programmée.
X.. Y.. Z.. Point à atteindre :
F.. : Vitesse d'avance.

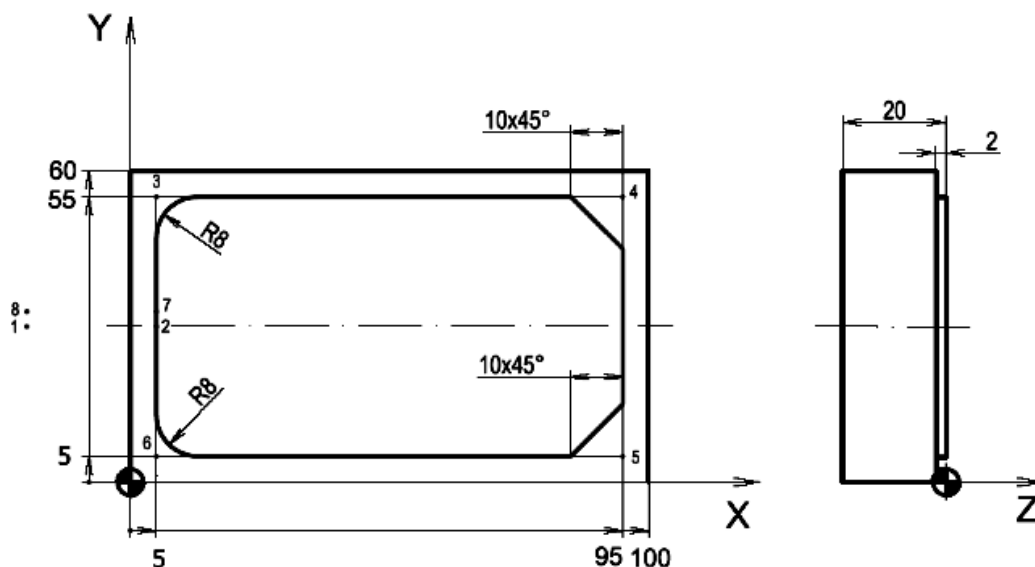
- **Propriétés de la fonction :** La fonction G01 est modale et initialisée à la mise sous tension.
- **Révocation :** La fonction G01 est révoquée par l'une des fonctions G00, G02 ou G03.

c- 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.

- **Syntaxe :**
G01 X... Y... C... F... ; (chanfrein de 45°)
G01 X.... Y... R... F... ; (Rayon de l'arc)

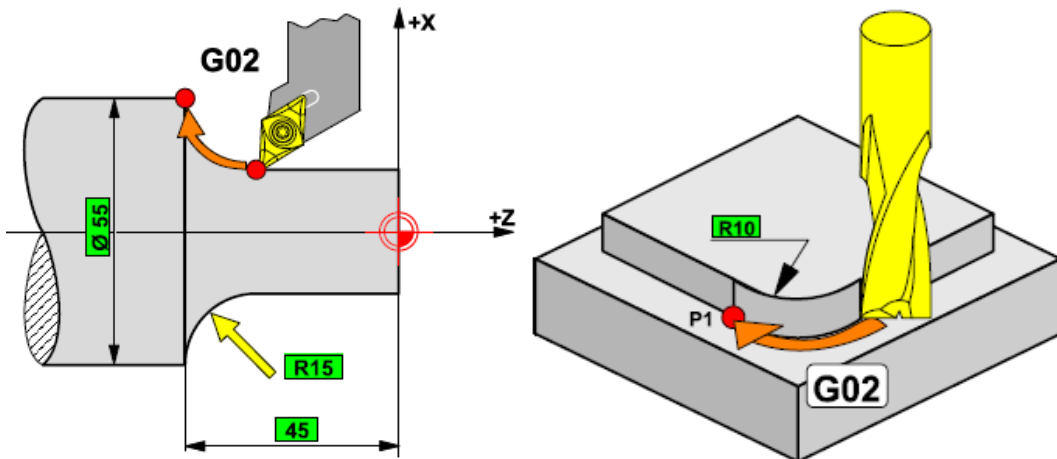
- **Application :**



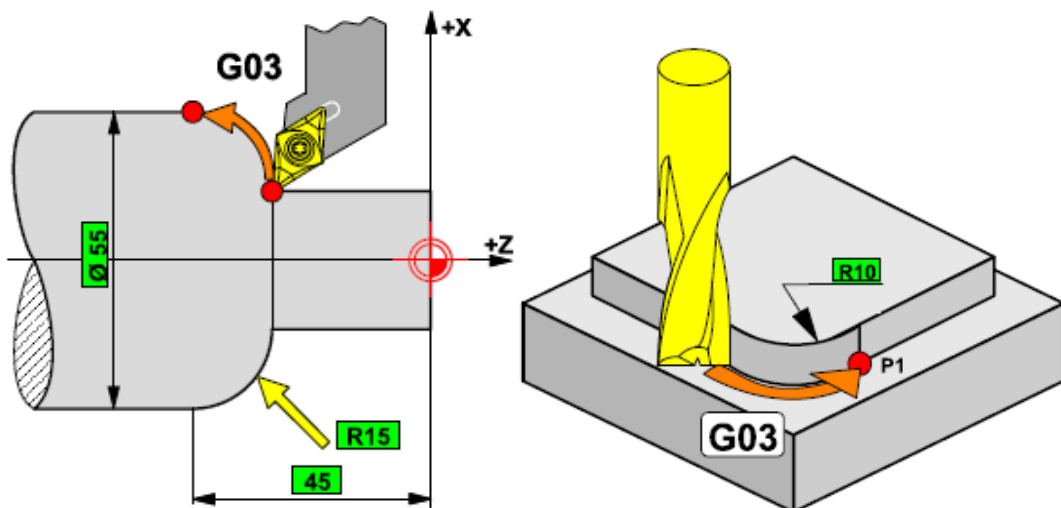
.....	
N20 G00 X-22 Y30 Z1	
N25 G01 Z-2	(Point 1)
N30 G41	
N35 G01 X5	(Point 2)
N40 G01 Y55 R8	(Point 3)
N45 G01 X95 C10	(Point 4)
N50 G01 Y5 C10	(Point 5)
N55 G01 X5 R8	(Point 6)
N60 G01 Y32	(Point 7)
N65 G01 X-22 G40	(Point 8)
N70 G00 Z50	
.....	

d- Interpolation circulaire

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

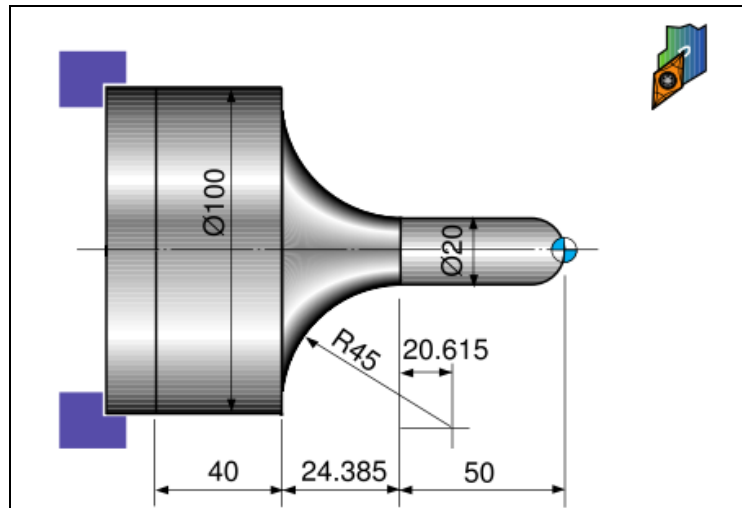


G03 : Interpolation circulaire sens trigonométrique à vitesse d'avance programmée.



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

▪ **Application :**



```

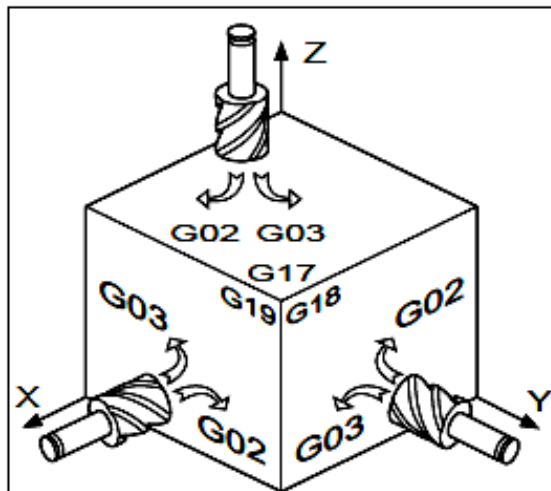
....
N20 T0303
G96 S200 M03
G00 X0 Z3 M08
G42 G01 Z0 F0.2
G03 X20 Z-10 R10
G01 Z-50
G02 X100 Z-74.385 I40 K20.615 : ou (G02 X100.0 Z-74.385
R45)
G01 Z-125
G40 U2 W1
G00 X200 Z200 M09
M30

```

e- 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.

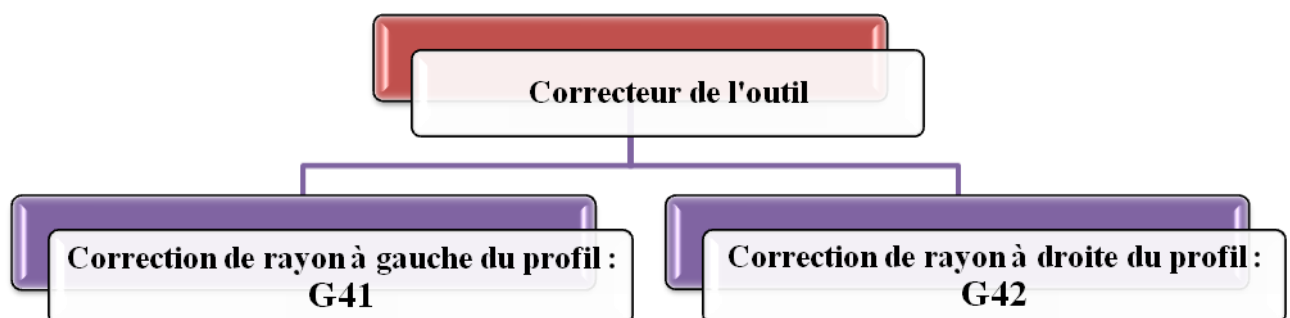
Syntaxes en fonction du plan choisi G17/G18/G19 (Fraisage uniquement) :

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.

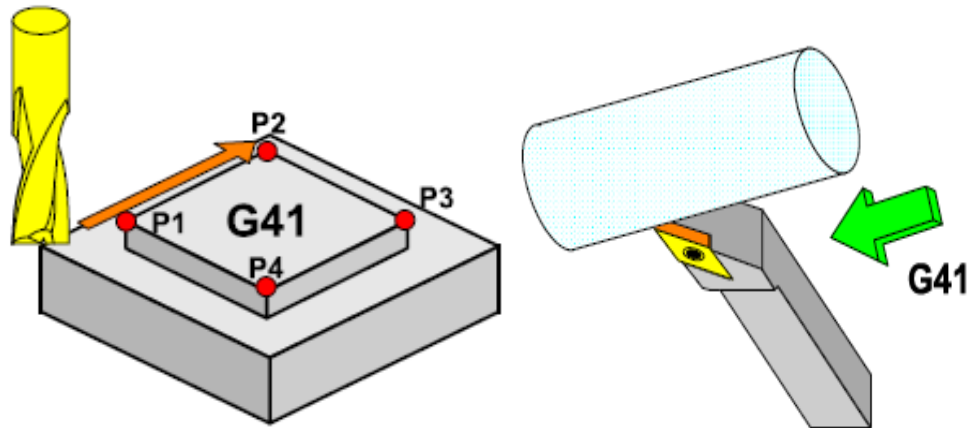
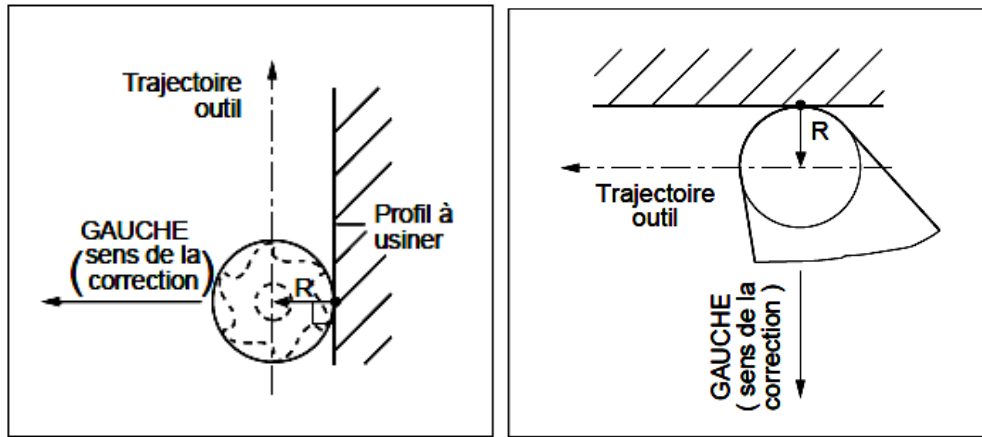
f- Positionnement de l'outil par rapport à la pièce

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.



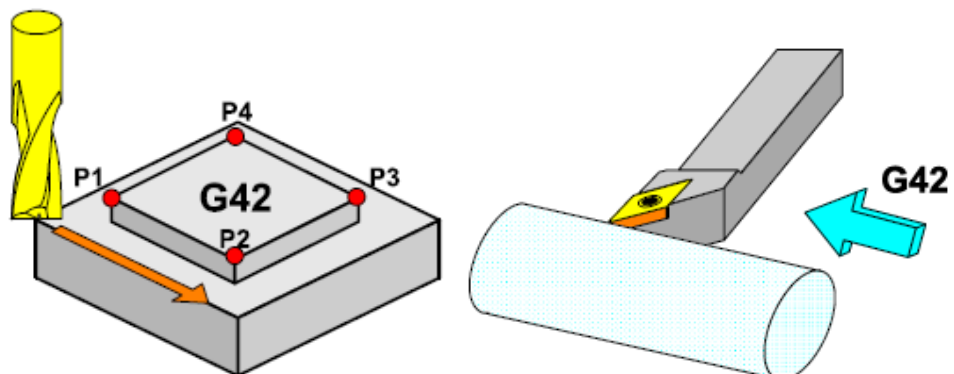
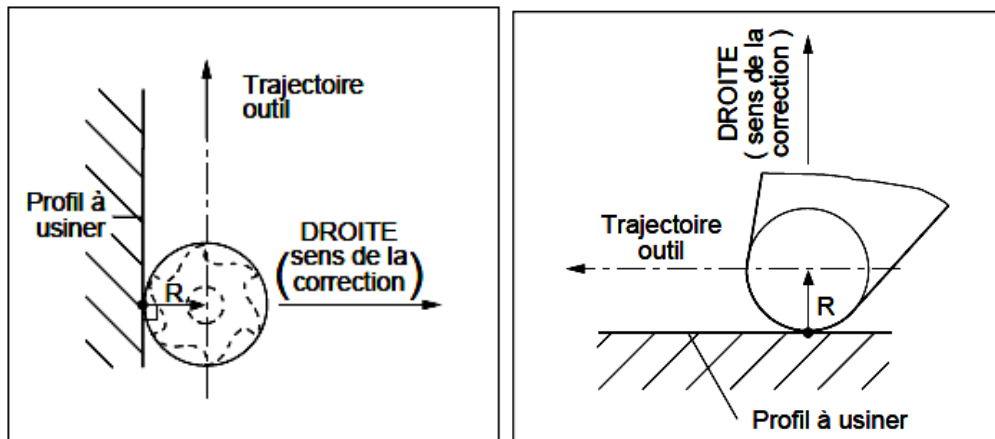
- **Correction de rayon à gauche du profil à usiner G41**

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.

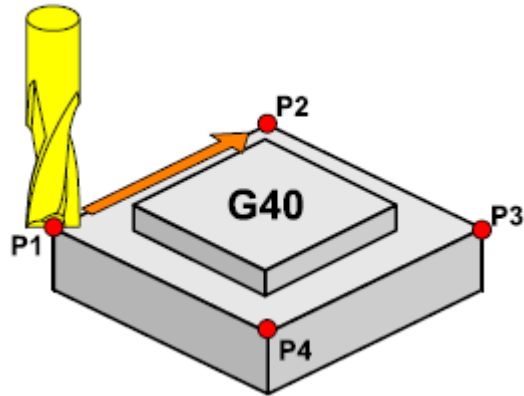
Les trajectoires outil programmées sont corrigées (décalées à droite) d'une valeur égale au rayon d'outil (R).



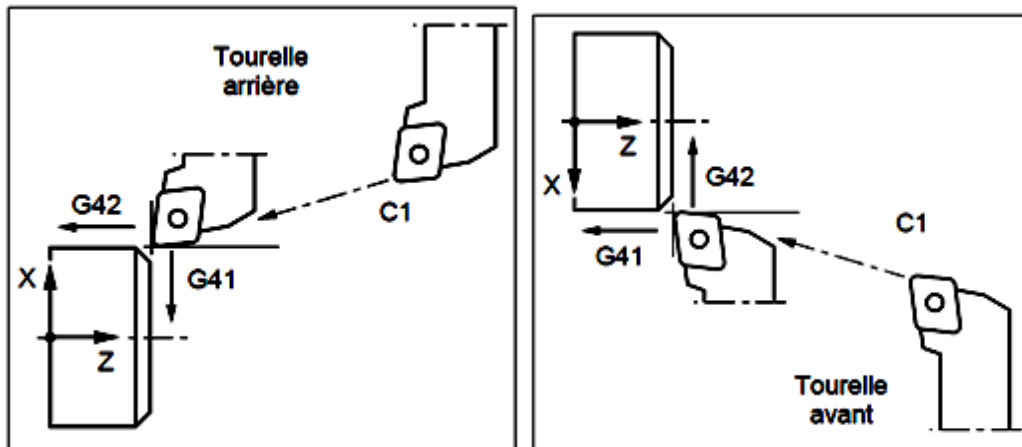
▪ Syntaxe: N...G41/G42 X...Z...

▪ **Annulation de correction de rayon G40.**

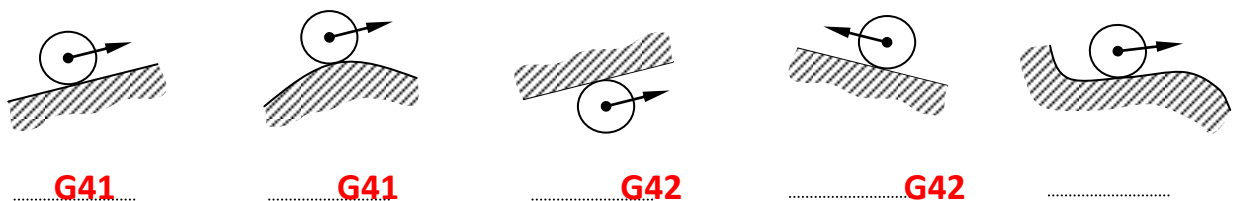
Pilotage du centre de l'outil : les trajectoires programmées sont appliquées au centre de l'outil.



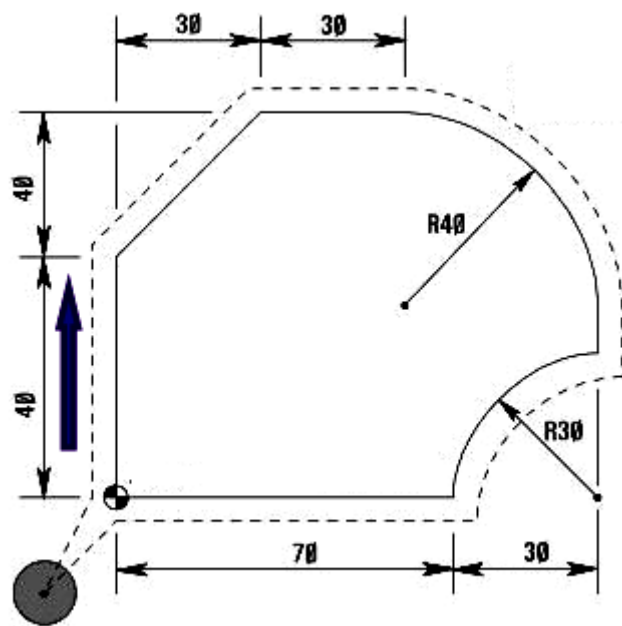
- **Propriétés des fonctions :** Les fonctions G40, G41 et G42 sont modales. La fonction G40 est initialisée à la mise sous tension.
- **Révocation :** Les fonctions G41 et G42 se révoquent mutuellement. La fonction G40 révoque les fonctions G41 et G42.
- **Exemple en tournage : Correction de rayon suivant la position de la tourelle :**



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



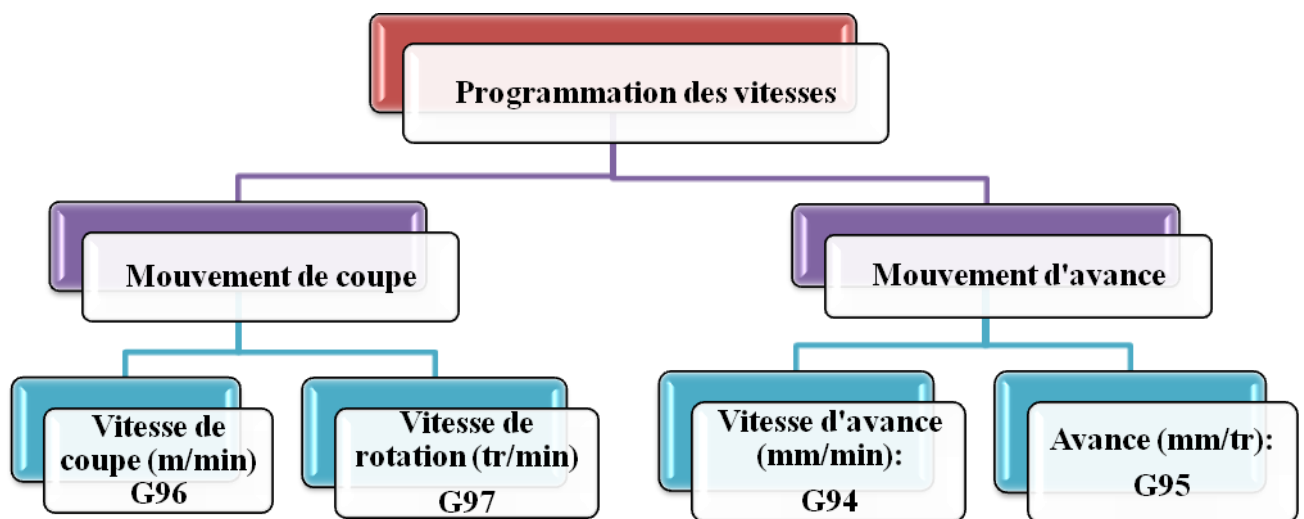
▪ Application :



```

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
.....
    
```

4- Programmation des vitesses :



❖ 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 :

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

- ❖ **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..
```

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.

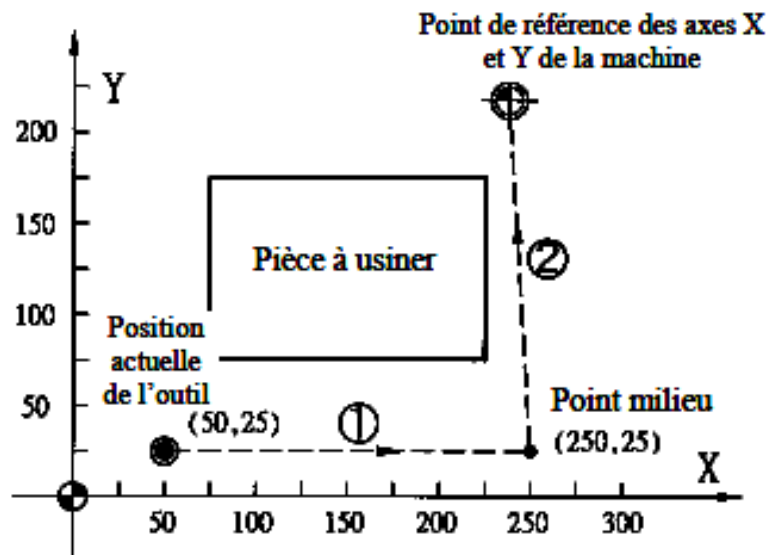
- **Syntaxe :**

G90 G28 X... Y... Z... ; (mode de coordonnées absolues)

G91 G28 X... Y... Z... ; (mode de coordonnées relatives)

- **Exemple 1 :**

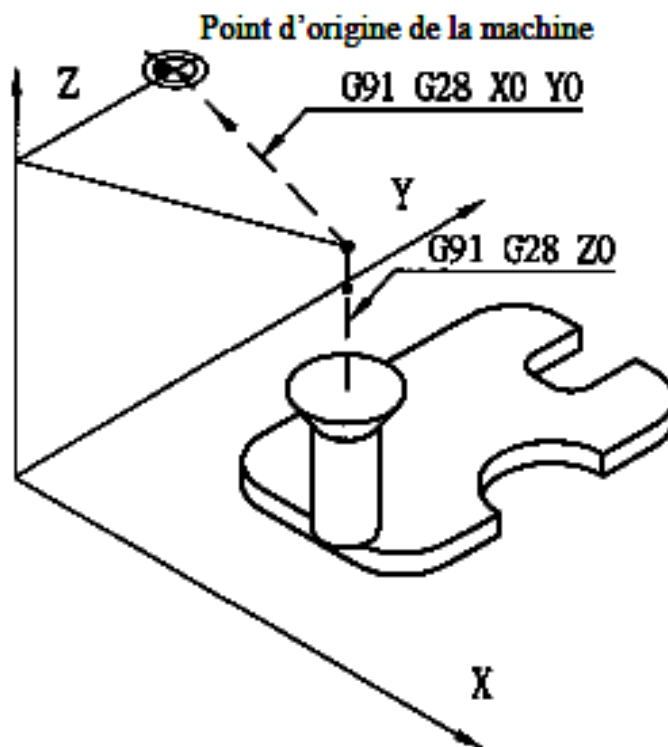
La position actuelle de l'outil est à (50, 25). Retour au point d'origine de la machine par un point intermédiaire (250, 25) pour éviter tout impact sur la pièce.



▪ 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.

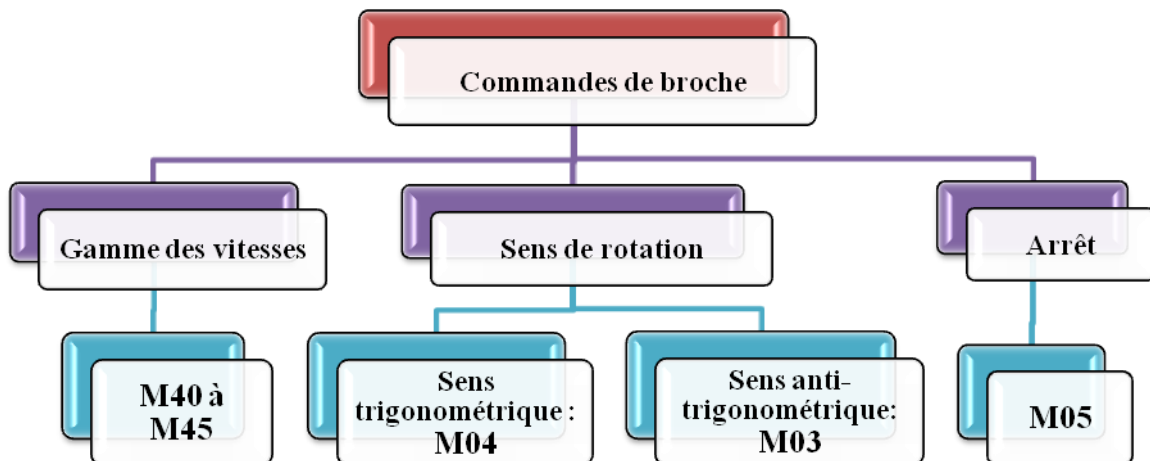


Les principales fonctions préparatoires et auxiliaires (FANUC 21i tournage) sont classées dans le tableau suivant :

FANUC 21i 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 2 ^{ème} , 3 ^{ème} , 4 ^{ème} point de référence
G50	00	Limitation de la vitesse maximum de broche
G52		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	00	Cycle de finition d'un profil
G71		Cycle d'ébauche axial
G72		Cycle d'ébauche radial
G73		Cycle d'ébauche par copiage
G76		Cycle de filetage
G80		Annulation de cycle de perçage
G83	00	Cycle de perçage déburrage frontal
G84		Cycle de taraudage frontal
G87		Cycle de perçage latéral
G88		Cycle de taraudage latéral
G92		01
G94	02	Vitesse d'avance (mm/min)
G95		Vitesse en mm par tour (mm/tr)
G96		Vitesse de coupe constante (vitesse de surface constante)
G97		Vitesse de rotation en tours par minute

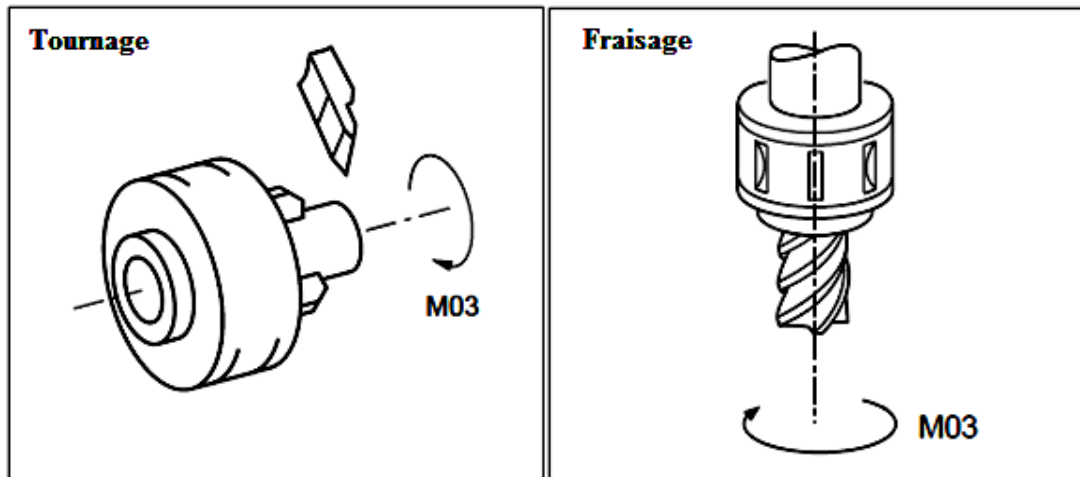
III- Les fonctions auxiliaires M

1- Commandes de broche

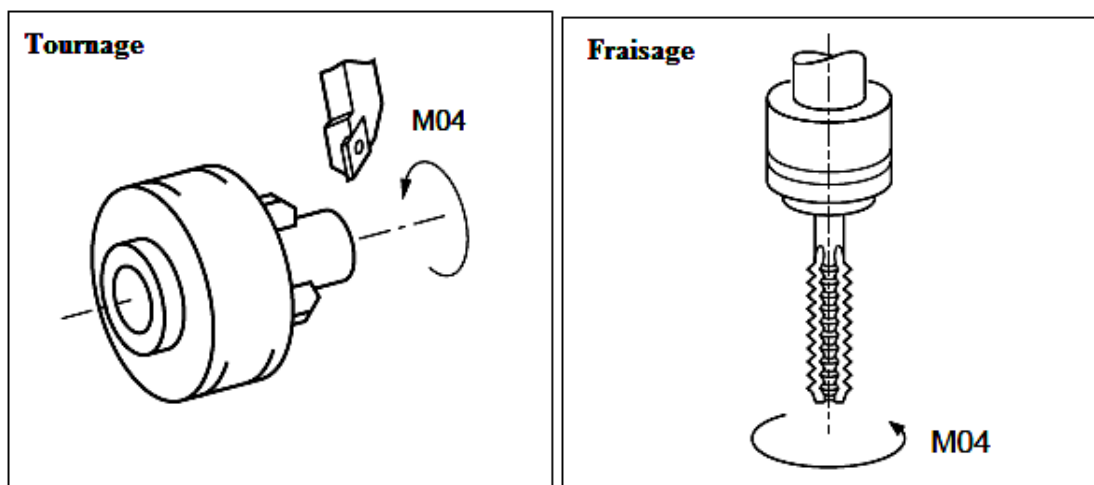


- Commande du sens de rotation M03- M04

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.



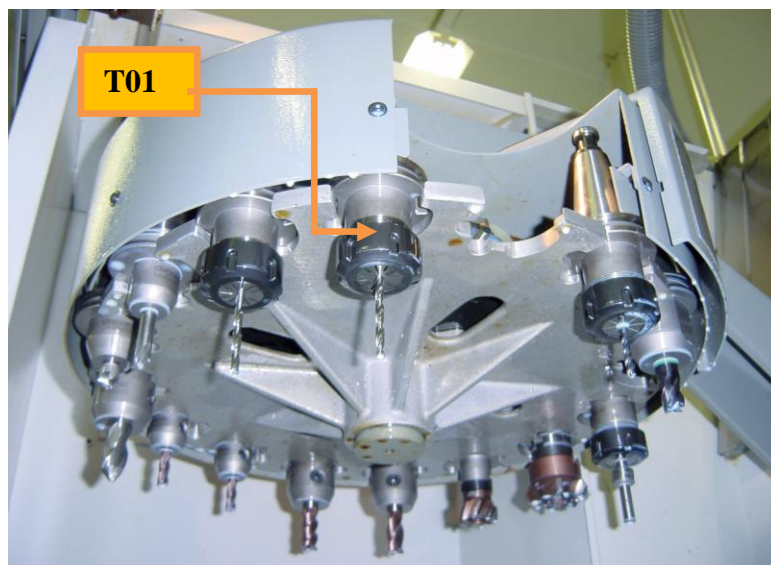
M05 : Arrêt de broche. La commande arrête la rotation de la broche.

- Syntaxe : N..M03/M04/M05

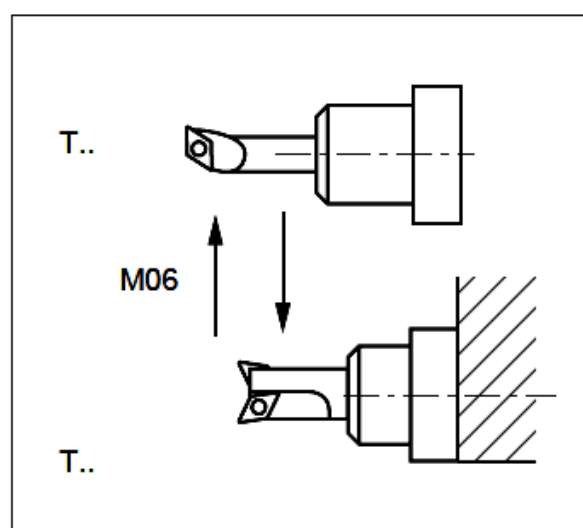
- **Propriétés des fonctions :** Les fonctions M03 et M04 sont des fonctions modales «avant» décodées. La fonction M05 est une fonction modale «après» décodée initialisée à la mise sous tension.
- **Révocation :** Les fonctions M03, M04 et M05 se révoquent mutuellement. Les fonctions M00, M19 et M01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

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

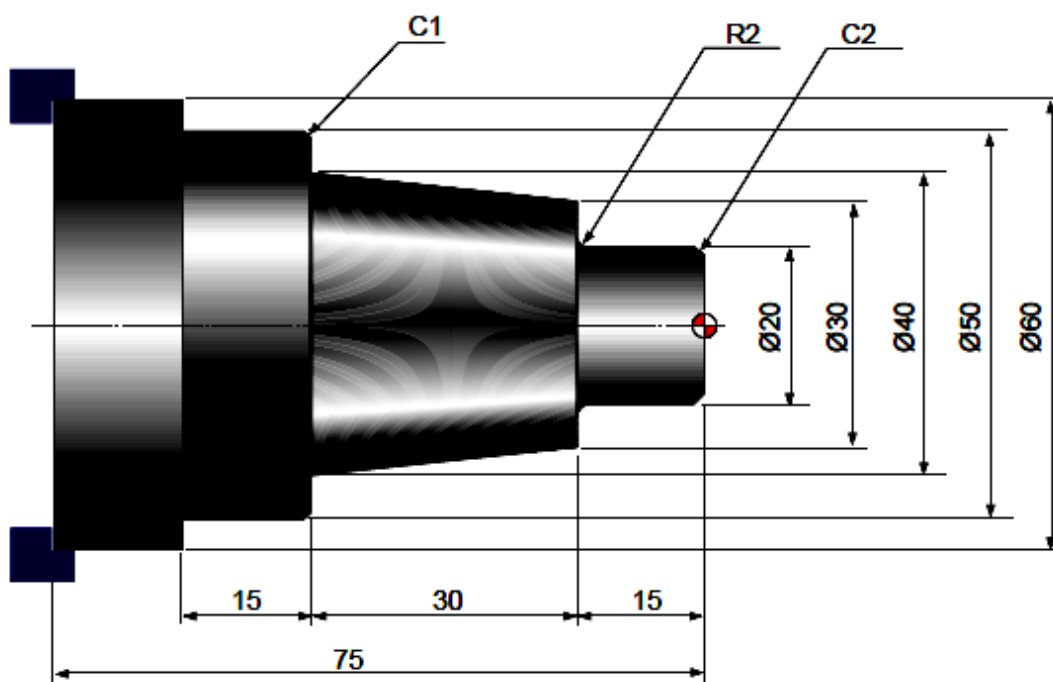
Fanuc 21i Tournage. Tableau des codes M usuels		
Type	Signification	Fonction
M00	Arrêt programmé	Après
M01	Arrêt optionnel	Après
M02	Fin de programme (identique à M30)	Après
M03	Rotation broche sens horaire	Avant
M04	Rotation broche sens trigonométrique (ou anti-horaire)	Avant
M05	Arrêt rotation broche	Après
M06	Changement outil	Après
M07	Marche second arrosage	Avant
M08	Marche arrosage principal	Avant
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 : $V_c = 150$ m/min ; $f = 0.1$ mm/tr.



▪ **Tableau des fonctions préparatoires G usuelles en fraisage:**

Fanuc 21i 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	00	Retour à la position d'origine
G30		Retour au 2 ^{ème} , 3 ^{ème} , 4 ^{ème} 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
G51.1		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
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.. ;

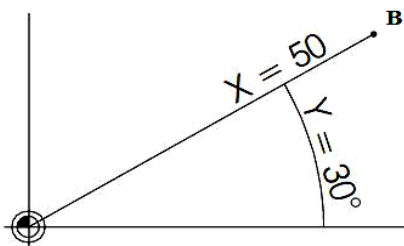
.....

G15 ;

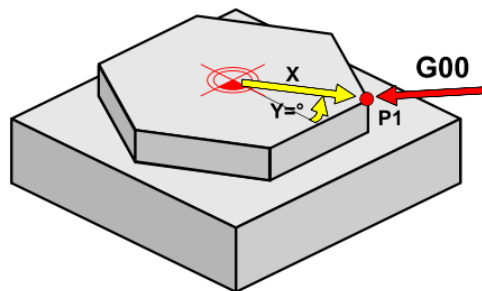
G16 : activation du mode de coordonnées polaires

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.

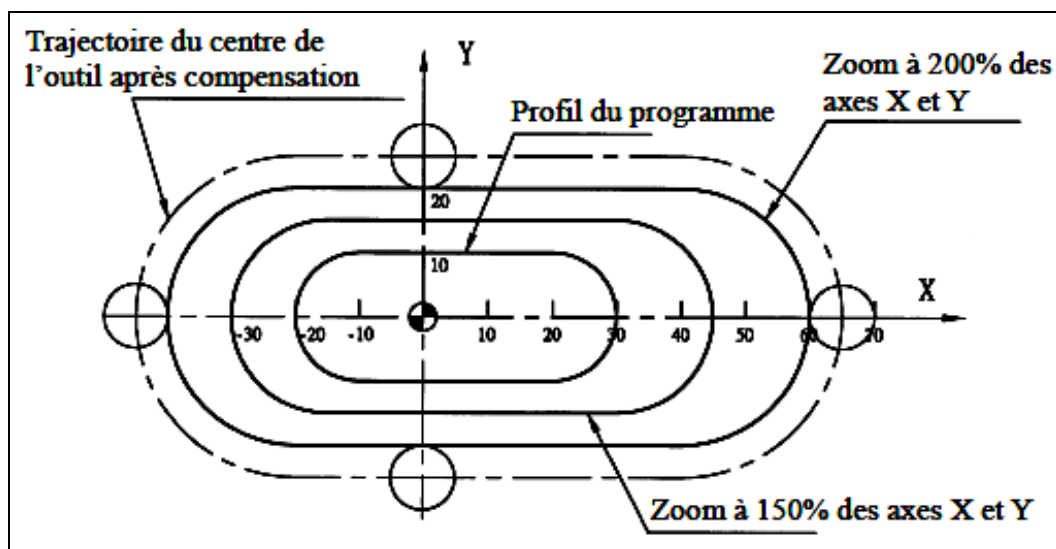
P... : Proportion de mise à l'échelle avec une fourchette de 0,111 ~ 999,999 avec saisie minimale d'unité de 0,001.

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 contournees, 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

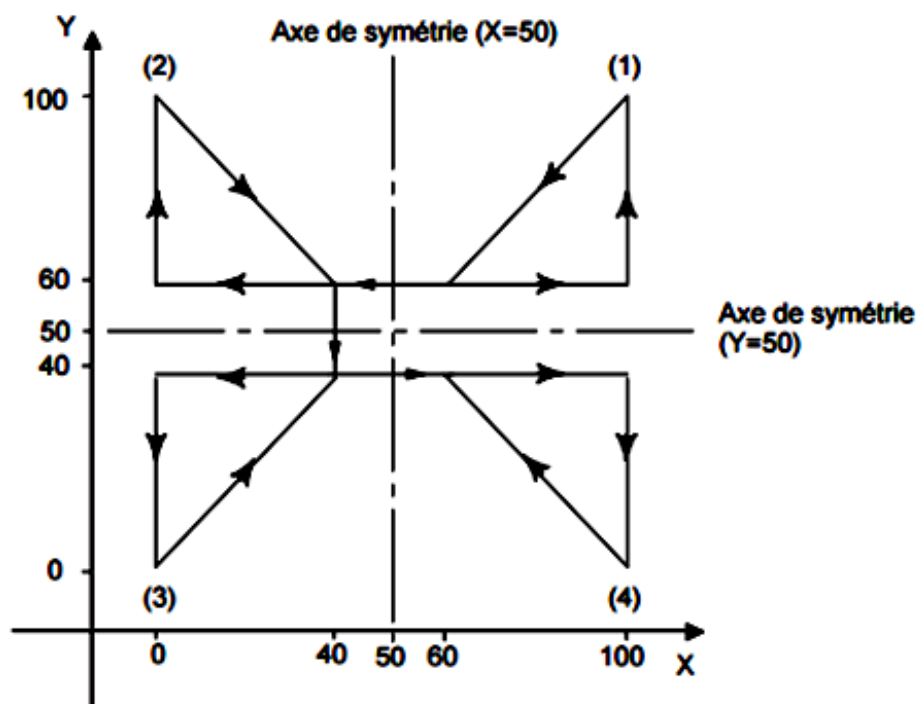
G90 G54 G00 X0 Y-40
G43 Z-3 H01
S900 M03
G00 Z-8 M08

(Fraise à queue Ø10).

<p>G51 X0 Y0 P2000 G90 G01 G42 X0 Y-10 F150</p> <p>G91 X20 G03 Y20 R10 G01 X-30 G03 Y-20 R10 G01 X10 G50 G40 X0 Y0</p> <p>G91 G28 Z0 M05 G49 M30</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 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. <ul style="list-style-type: none"> ▪ 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.
--	--

❖ 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.

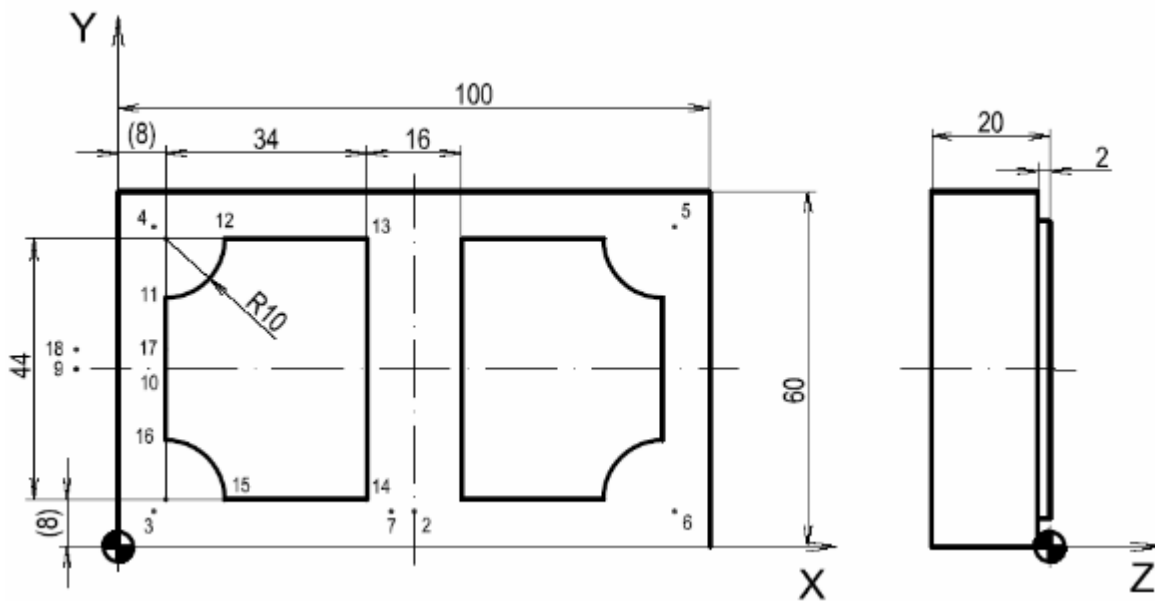


- (1) Image d'origine des commandes programmées,
- (2) Image symétrique par rapport à une ligne parallèle à l'axe Y et coupant l'axe X à 50,
- (3) Image symétrique par rapport au point (50,50),
- (4) Image symétrique par rapport à une ligne parallèle à l'axe X et coupant l'axe Y à 50.

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 :



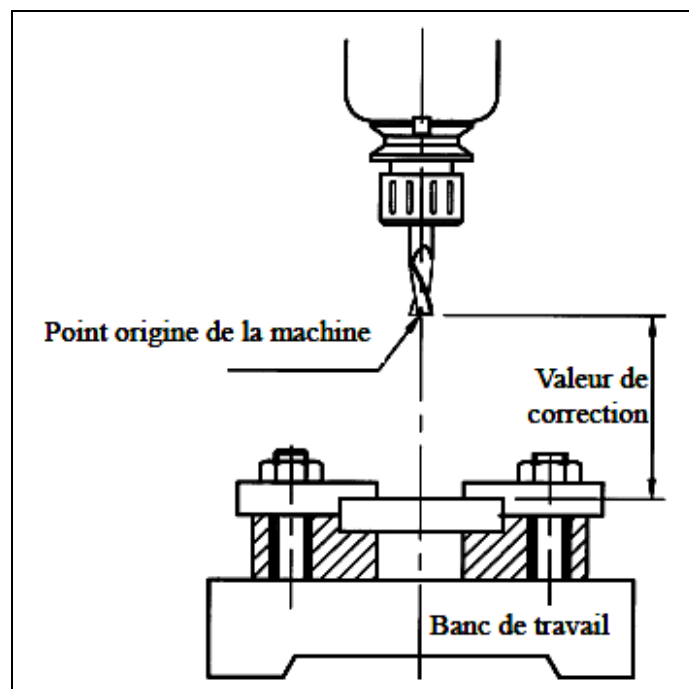
O0006	N110 G01 X42
N5 T01 M06	N115 G01 Y8
N15 M03 S1800	N120 G01 X18
N20 G00 X50 Y-22 Z2	N125 G03 X8 Y18 R10
N25 G00 Z-2	N130 G01 Y32
N30 G01 Y6 G41 F200	N135 G01 X-6 G40
N35 G01 X6 C10 F400	G51.1 X50 Y0 Z0 I-1000
N40 G01 Y54 C10	G00 X-6 Y0 Z0
N45 G01 X94 C10	G00 Z-2
N50 G01 Y6 C10	G01 X8 G41 H12 F200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

- **Corrections d'outils**

Fanuc 21i - 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 :

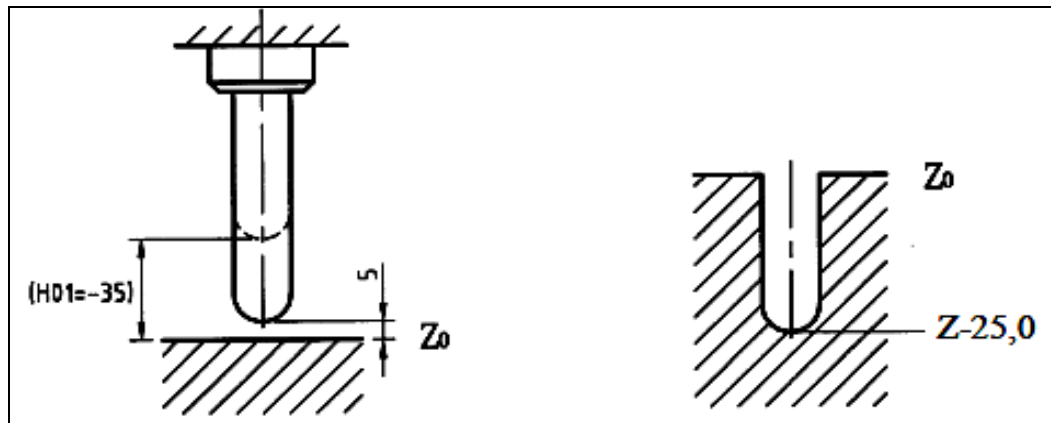
Le programme, décrit ci-dessous, donne une illustration de l'utilisation de la commande de correction de longueur G43. Voir le déplacement de l'outil sur l'axe Z, comme montré à la figure suivante, avec une valeur de correction donnée $H01 = 35,0$.

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

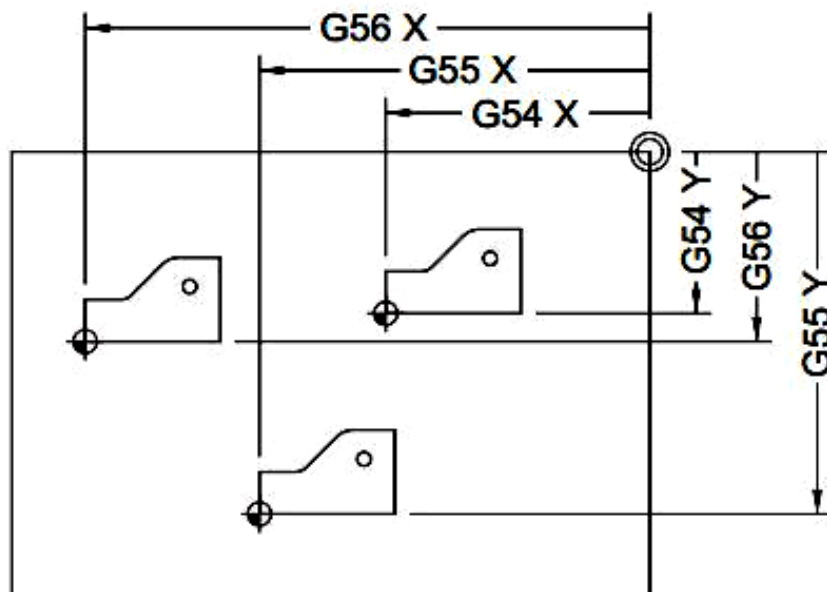
Fanuc 21i - Tableau des Origines pièces	
Type	Signification
G52	Décalage du système de coordonnées programmable
G53	Sélection temporaire du système de coordonnées machine (fonction non modale)
EXT	Système de coordonnées servant à décaler TOUTES les origines ci-dessous
G54	Sélection du système de coordonnées 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.

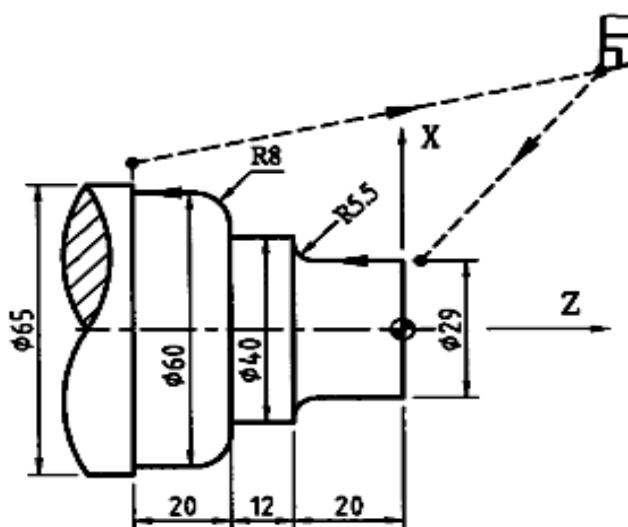
Un système de coordonnées (relatif), propre à chaque pièce et décalé du système de coordonnées machine (absolu). Le système de coordonnées permet dans le cas de pièces multiples mais semblables, de créer en décalant ses origines, le système de coordonnées de chaque pièce, le programme restant le même.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



Exercice 1 :

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

- Outil T0101
- $V_c = 180 \text{ m/min}$; $f = 0,15 \text{ mm/tr}$. La vitesse limite de rotation de la broche est 2500 tr/min .



O 0450	Numéro de programme
N10 G90 G92 S2500	Programmation absolue, limitation de la vitesse de rotation à 2 500t/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.

Exercice 2 :

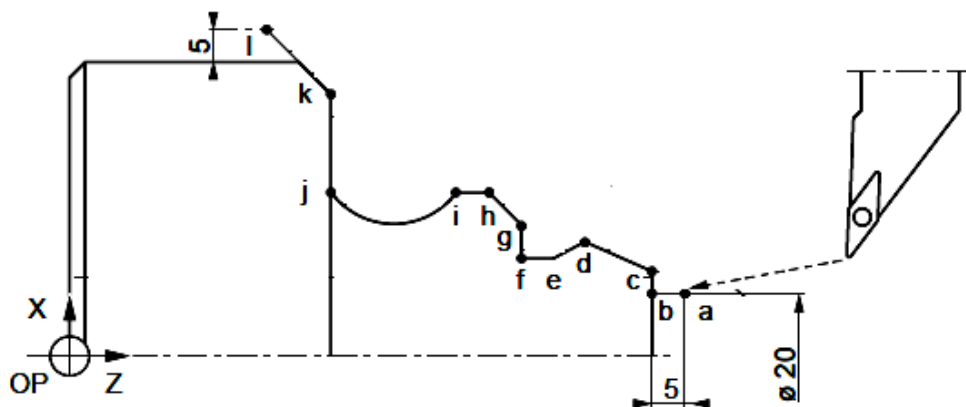
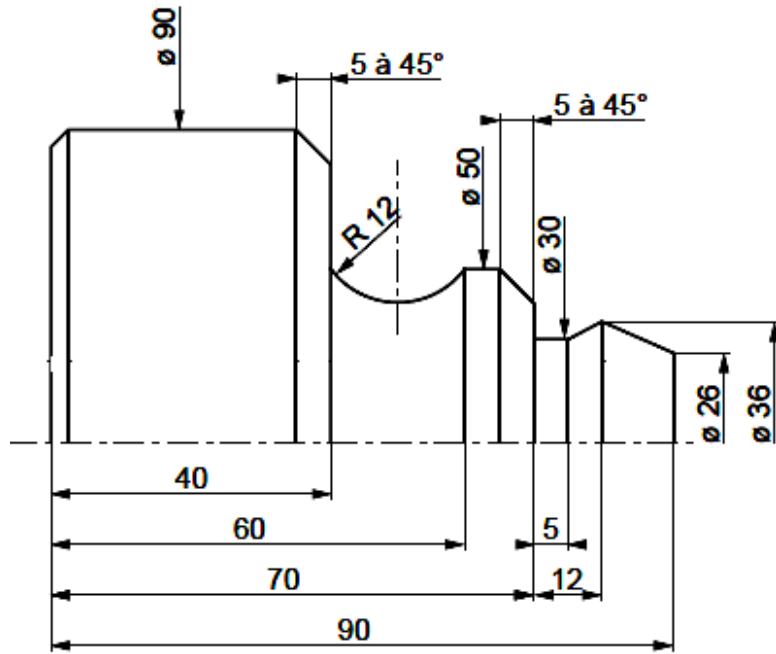
On désire réaliser le contournage en finition de la pièce dont le dessin de définition est donné par la figure suivante.

- **Contournage en finition** : Outil T0101
- $V_c = 120\text{m/min}$; $f = 0,15\text{ mm/tr}$. La vitesse limite de la broche est 3000 tr/min.

1- Relever les coordonnées de tous les points à piloter dans le programme pour l'usinage de cette pièce.

Point	a	b	c	d	e	f	g	h	i
X									
Z									
Point	j	k	l						
X									
Z									

2- Proposer un programme en code FANUC permettant l'usinage cette pièce sur un tour à commande numérique.



Exercice 3:

Proposer un programme en code FANUC permettant l'usinage cette pièce sur un tour à commande numérique.

