

Chapitre 6 – Programmation des MOCN (1ère partie)

6.1- Introduction

La machine-outil à commande numérique a besoin de recevoir des instructions pour réaliser les mouvements nécessaires à l'usinage d'une pièce. Ces instructions nécessitent un travail de préparation appelé "Programmation". Cette étape est réalisée au moyen d'un langage permettant de composer, sous forme de texte les informations de pilotage de la MOCN. Pour établir le programme, il est fondamental de définir un système de coordonnées sur la MOCN afin de déterminer les mouvements nécessaires à l'usinage de la pièce.

6.2- Repérage, définitions et implantations des axes

6.2.1 Repérage des axes

Défini par la norme (NF ISO 841), le système de coordonnées est montré sur la figure 1. Le système de coordonnées est un trièdre trirectangle de sens direct, lié à la pièce. Afin de placer convenablement les X, Y et Z avec leur sens positif ou négatif, on utilise aussi la règle des trois doigts de la main droite.

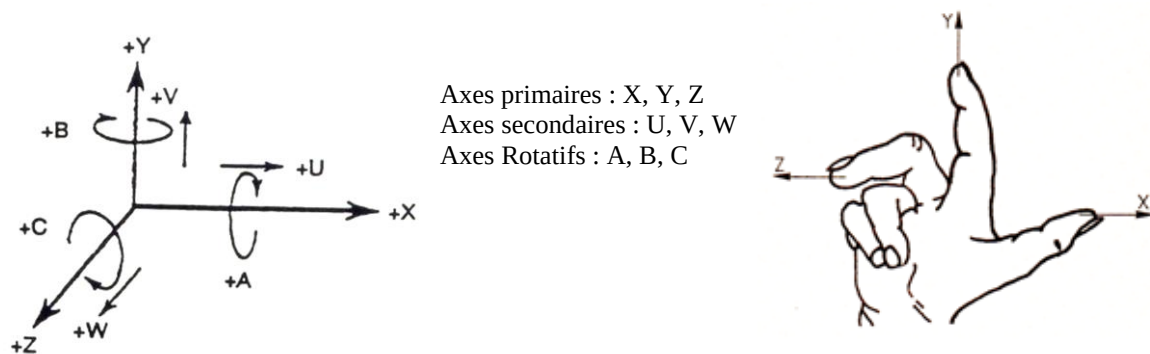


Figure 1. Système de coordonnées normalisé

6.2.2 Définitions et implantation des axes

✚ Axe Z :

L'axe Z Correspond à l'axe de la broche, le sens positif correspond à un accroissement de la distance entre la pièce et l'outil (dégagement de l'outil).

✚ Axe X :

L'axe X perpendiculaire à l'axe Z, correspond à l'axe ayant le plus grand déplacement, le sens est positif lorsqu'il y'a un accroissement de la distance entre la pièce et l'outil.

✚ Axe Y :

L'axe Y forme avec les deux autres un trièdre trirectangle de sens direct.

✚ Les axes de rotation (A, B et C) correspondent au sens trigonométrique :

A autour de X ; B autour de Y ; C autour de Z



Les axes de translation secondaires (U, V et W) :

U parallèle à l'axe X ; V parallèle à l'axe Y ; W parallèle à l'axe Z

Selon la norme (NF Z 68-020), on considère sur les MOCN que le trièdre direct de référence est lié à la pièce fixe et que l'outil possède tous les degrés de liberté (voir figure 2).

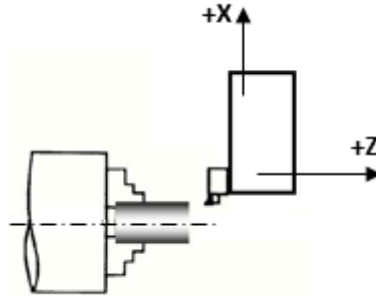
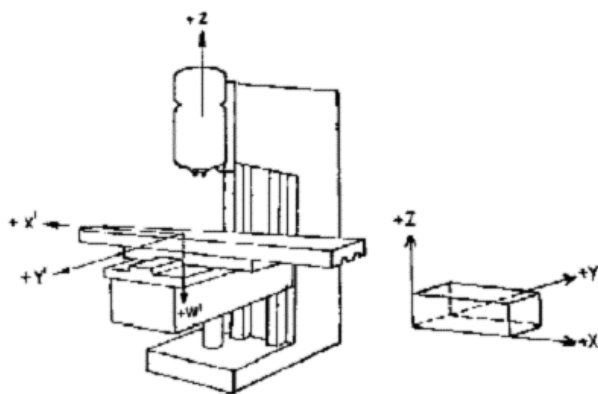


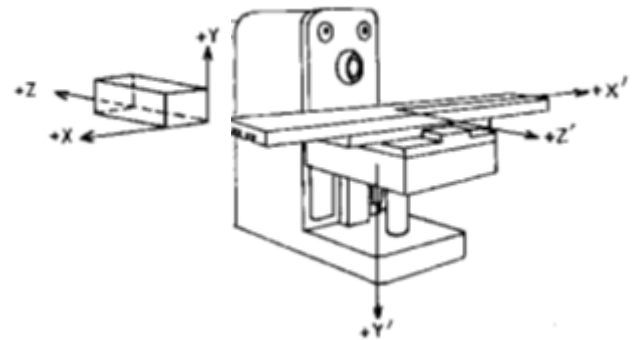
Figure 2. Repérage des axes (pièce/outil)

Exemples d'implantation des axes sur machines-outils :

a) Repérage sur fraiseuses : **figure 2.**

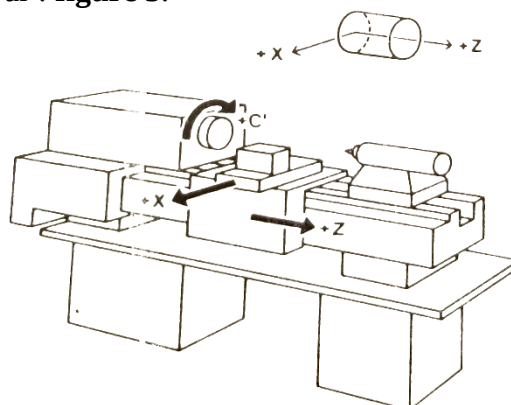


Fraiseuse verticale



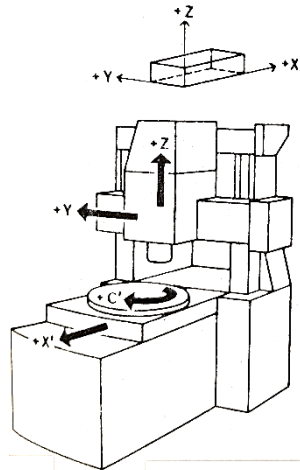
Fraiseuse horizontale

b) Repérage sur tour : **figure 3.**

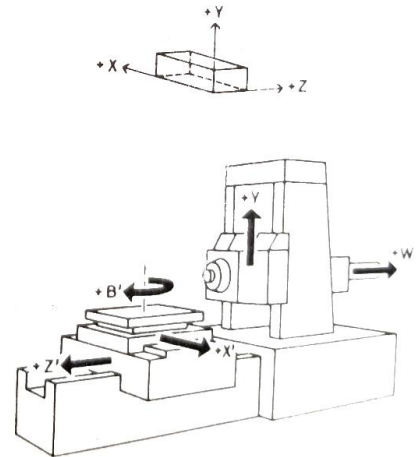


Cas du tour avec tourelle à l'avant

c) Repérage sur centre d'usinage : **figure 4.**



Cas d'un centre d'usinage à 5 axes
à broche verticale



Cas d'un centre d'usinage à 5 axes
à broche horizontale

6.3- Origines et références

Le traitement des cotes s'effectue par rapport à certaines origines que le programmeur utilise pour l'élaboration du programme pièce et sa réalisation sur machine-outil.

✚ Origine Mesure ou Zéro Machine "**OM**"

Les systèmes de commande numérique traitent toujours les cotes par rapport à l'origine mesure.

- Dans le cas du système de mesure absolue, l'origine mesure est définie par la position mécanique du capteur absolu sur la machine, elle est en dehors des courses maximales de la machine.
- Dans le cas du système de mesure semi-absolue, l'OM est un point préférentiel défini sur chaque axe au moyen d'une entrée (il est pris généralement à l'intérieur des courses machines) ; il représente ainsi l'origine absolue de la machine.

✚ Origine pièce "**Op**"

L'origine pièce est définie par un point de la pièce qui sert de positionnement. Elle est indépendante du système de mesure, elle permet le repérage des cotes de la pièce.

✚ Origine programme "**OP**"

L'origine programme représente l'origine du trièdre de référence qui permet au programmeur d'élaborer le programme pièce. L'OP est indépendante du système de mesure, son choix est laissé à l'appréciation du programmeur.

Remarque : l'origine programme et l'origine pièce, sont dans certains cas confondues.

✚ Origine porte outil (figure 5).

C'est un point défini par le constructeur sur la tourelle, toutes les mesures des cotes ainsi que des outils sont repérés par rapport à ce point.

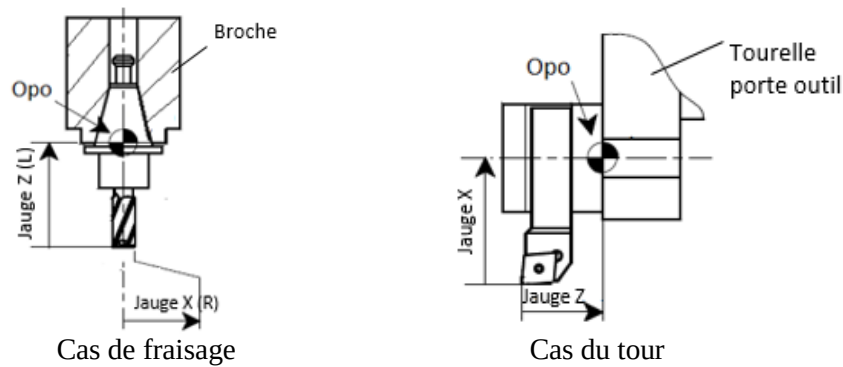


Figure 5. Référentiels outil

✚ Références et décalage

a) PREF (point de référence) (figure 6)

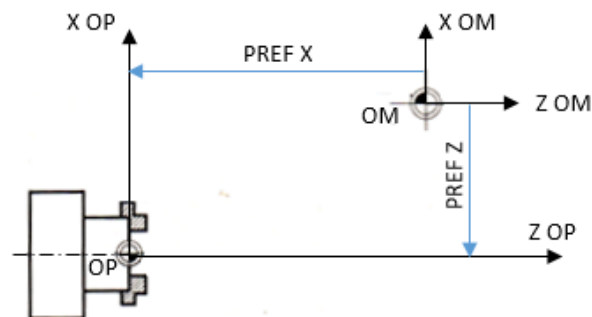


Figure 6. Réglage du point de référence PREF

Par rapport à l'origine mesure "OM", le PREF est défini par positionnement de l'outil sur un point repère de la pièce Op. Il est introduit en mode PREF dans le système de CN de la machine. L'origine programme sera définie conformément à la bande programme établie pour la pièce.

b) DEC1

Le réglage de la machine permet de définir la relation de changement de repère entre le repère du porte pièce et le repère pièce ou de programmation (distance entre l'origine pièce et l'origine programme. Sur les commandes numériques NUM, cette fonction est assurée par l'indication DEC, (voir ex : figure 7).

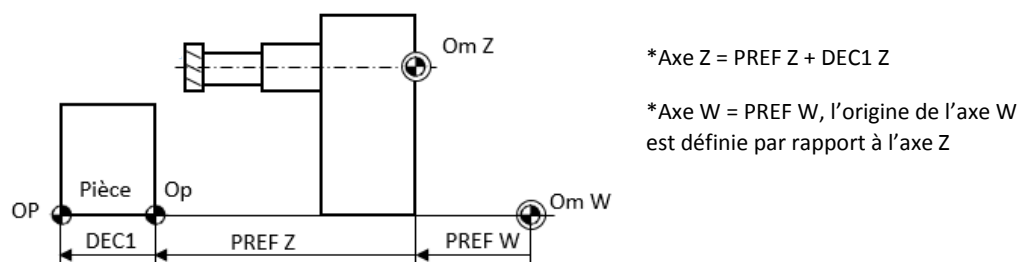


Figure 7. Représentation de décalage sur l'axe Z

DEC1 ou Premier décalage doit être pris en compte pour définir l'écart entre l'origine pièce "Op" et l'origine programme "OP". Il est obtenu par la différence entre le point du PREF et l'origine programme OP fixé par le programmeur. Il est introduit par clavier et pris en compte systématiquement par la CNC en mode PREF/DEC1.

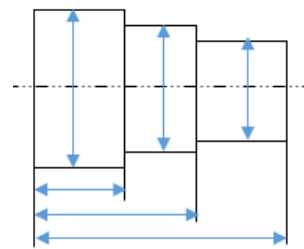
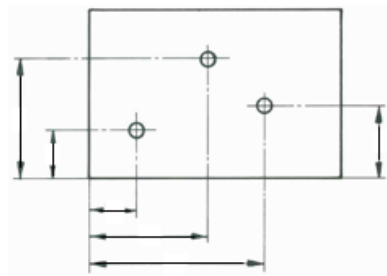
Dans le cas des SIEMENS 840D, le décalage entre le repère porte pièce et le repère pièce est défini par programmation au moyen des fonctions G54 à G59.

6.4- Mode de cotation des pièces (figure 8)

Trois modes de cotation de la pièce sur le dessin peuvent se présenter, le programmeur doit en tenir compte pour réaliser le programme pièce.

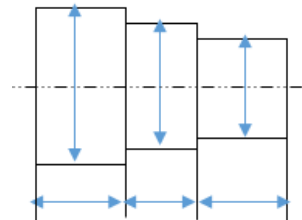
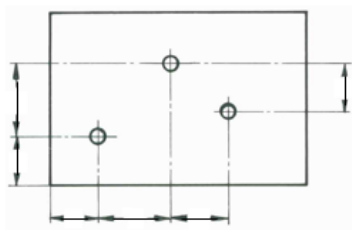
a) Cotation absolue :

L'ensemble des cotes utilise la même origine (origine fixe)



b) Cotation relative ou incrémentale

Chacune des cotes admet pour origine le point précédent, la cotation est cumulative.



c) Cotation mixte

Ce type de cotation représente la combinaison des deux précédents, il résulte généralement d'une cotation fonctionnelle.

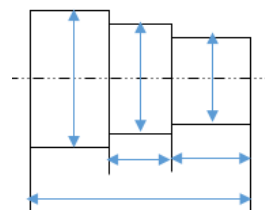
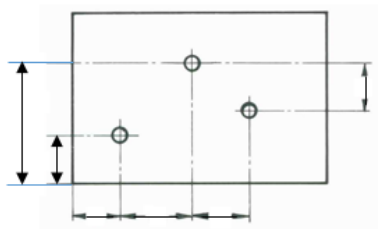


Figure 8. Mode de Cotation de dessin

6.5- Programmation

Un programme est une succession d'instructions (ou blocs) établies dans un langage codé (ISO). Il existe trois modes de programmation :

- La programmation manuelle, utilisant le langage machine alphanumérique (code G);
- La programmation Automatique, utilisant un langage évolué du type (APT, IFAPT,...) ;
- La programmation assistée : Soit conversationnelle par le DCN ou avec un logiciel de F.A.O (fabrication assistée par ordinateur).

L'élaboration du programme pièce nécessite les documents suivants :

- Le dessin de définition de la pièce à réaliser
- Le contrat de phase (isostatisme) et les paramètres de coupe
- Le dossier de la machine utilisé

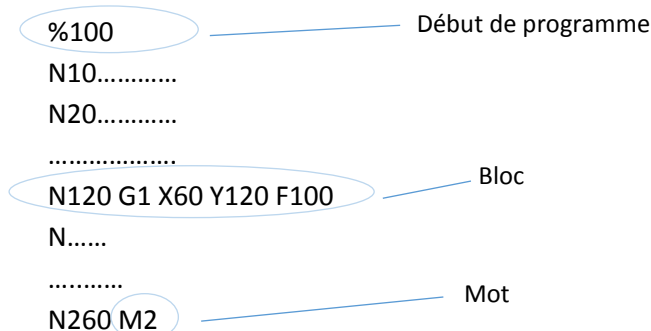
La préparation du programme est réalisée conformément aux étapes suivantes :

- Choix de l'origine programme "OP" en fonction de la cotation de la pièce présentée sur le dessin de définition. L'OP doit être fixée de manière à faciliter les calculs des coordonnées des points repères.
- Fixer les points repères du cycle d'usinage (points de changement de direction selon le dessin de définition), sur chaque axe.
- Calculer les coordonnées des points repères à partir de l'origine programme à l'aide des cotes nominales. A noter que, dans le cas du tournage, les coordonnées sur l'axe X sont données au diamètre.

6.5.1- Définition d'un programme

La programmation consiste à écrire un texte de phrases (blocs) composées de mots qui sont constitués de caractères alpha numériques (lettres de A à Z ; chiffres de 0 à 9 ; signes +, -,).

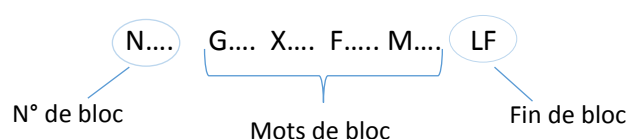
• Structure d'un programme :



Le programme est composé d'une succession de blocs ordonnés décrivant la suite chronologique des opérations à effectuer sur la pièce.

• Blocs :

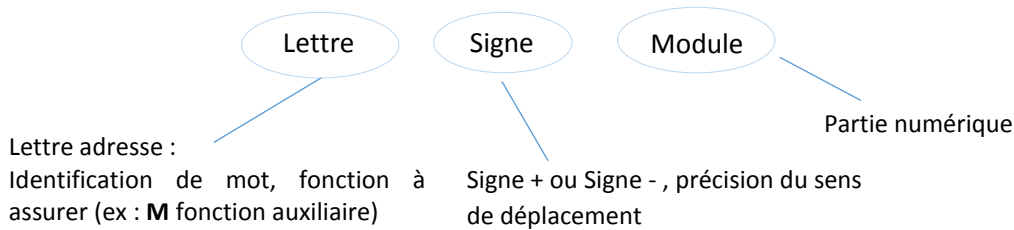
Un bloc est composé d'un ensemble de mots, il contient les informations géométrique et technologique, relatives à une séquence d'usinage. Il est défini sous la forme suivante :



- **Mots :**

- a) Composition d'un mot :

Un mot est composé d'une adresse, éventuellement un signe et d'une partie numérique de valeur variable. Il est défini sous la forme :



Exemple de mot : X + 25000 – mot ayant pour fonction la consigne de déplacement sur l'axe des X dans le sens positif d'une valeur de 25 mm.

- b) Format d'un mot :

Le format de mot qualifie une distribution des caractères placés dans un ordre approprié. Le programme pièce peut être présenté sous format fixe ou variable, selon le type de commandes numériques adopté sur la machine-outil.

- Format fixe : présentation de tous les caractères (Ex : cote +21 mm sur X , en format fixe 3.2 elle est notée X + 02100
- Format variable : Suppression de (0 et signe +), ce qui donne X 21

Un programme représente donc une transcription des opérations d'usinage au moyen des informations géométriques (coordonnées de points X, Y, Z, I, J...), des informations technologiques (vitesse d'avances F, fréquence de rotation S) et des diverses fonctions telles que : les fonctions préparatoires G, les fonctions auxiliaires M....etc.

6.5.2- Langage de programmation

À l'origine, le langage de programmation était le G-code, développé par l'EIA au début des années 1960, et finalement normalisé par l'ISO en février 1980 sous la référence **RS274D/ (ISO 6983)**. En raison de la grande variété des configurations de machines-outils, peu de contrôleurs à commande numérique respectent ce standard. Par ailleurs, les extensions et les variantes qui ont été ajoutées indépendamment par divers fabricants ont provoqué certaines difficultés lors de l'exploitation. Pour surmonter ces difficultés, beaucoup de fabricants suivent le modèle tracé par Fanuc.

A noter que les programmes d'usinage peuvent varier légèrement selon les types de machine, ce qui conduit à l'emploi du langage machine spécifique à chaque machine défini dans le manuel d'utilisation.

6.5.3- Les codes et fonctions

- Fonctions préparatoires (G), fonctions d'appel de mode d'interpolation, cycles machine
- Coordonnées de points (X, Y, Z, I, J, K)
- Vitesses, avances... (S, F)
- Fonctions auxiliaires (M) qui permettent d'enclencher la lubrification, de changer d'outil, ou de déclencher des accessoires.

Adresse et définitions

Fonctions	Désignations	Significations
Début du programme	%..O	Début de programme, paramètre d'entrée
Ordre	N H	Numéro de bloc (*) Numéro de sous-programme
Fonctions préparatoires	G	Préparent la machine pour un ordre précis
Déplacements suivant les axes	X Y Z A B C	Valeurs de déplacement positif ou négatif suivant les axes
Avance	F	Vitesse d'avance V_f exprimée en mm/min (G94) ou en mm/tour (G95)
Fonctions auxiliaires	M	Fonctions particulières désignant un ordre
Outils	T...D...	Sélection de l'outil et de son (ou ses) correcteur(s)
Rayon	R	Rayon du cercle en G02, G03
Plan de sécurité	ER	Plan de référence en cycle
Vitesse	S	N (tr/min) ou V_c (m/min) suivant G96 ou G97 placé avant
Répétition	N	Répétition ou saut à une séquence

*N- numéro de ligne ou numéro de bloc n'est pas obligatoire à chaque ligne avec les commandes ISO Fanuc, il désigne juste un endroit du programme où l'on peut ordonner un saut d'opération ou un départ d'opération, le plus souvent avant un changement d'outil.

Les fonctions préparatoires : Codes commun Fanuc

G00	G00 Déplacement rapide
G01	G01 Interpolation linéaire
G02	G02 Interpolation circulaire (sens horaire)
G03	G03 Interpolation circulaire (sens anti-horaire)
G04	G04 Arrêt programme et ouverture carter (pour nettoyer) (temporisation - suivi de l'argument F ou X en secondes)
G10/G11	G10/G11 Écriture de données/Effacement de données
G17	G17 Sélection du plan X-Y
G18	G18 Sélection du plan X-Z
G19	G19 Sélection du plan Y-Z
G20	G20 Programmation en pouces
G21	G21 Programmation en mm

G28	G28 Retour à la position d'origine
G31	G31 Saute la fonction (utilisé pour les capteurs et les mesures de longueur d'outil)
G33	G33 Filetage à pas constant
G34	G34 Filetage à pas variable
G40	G40 Pas de compensation de rayon d'outil
G41	G41 Compensation de rayon d'outil à gauche
G42	G42 Compensation de rayon d'outil à droite
G90	G90 Déplacements en coordonnées absolues
G91	G91 Déplacements en coordonnées relatives
G94/G95	G94/G95 Déplacement en Pouces par minute/Pouce par tour
G96/G97	G96/G97 Vitesse de coupe constante (vitesse de surface constante)/Vitesse de rotation constante ou annulation de G96

La fonction d'interpolation linéaire rapide "**G0**" (interpolation linéaire en mode rapide).

La fonction d'**interpolation linéaire (à la vitesse programmée) "G1"** (interpolation linéaire en mode de travail).

La fonction d'**interpolation circulaire "G2" (interpolation circulaire sens horaire) et "G3"** (interpolation circulaire sens trigonométrique). Il est aussi possible sur certains pupitres de programmation d'utiliser ces deux codes (G2, G3) pour créer une interpolation circulaire, des fonctions d'interpolation à base de courbe NURBS **G6.2**.

La fonction de temporisation (programmable avec F, X ou P) "**G4**".

La fonction d'arrêt précis en fin de bloc "**G9**".

La sélection des plans d'interpolation

- **G17** : Axe d'outil Z, interpolations G2, G3 et correction rayon dans **le plan X Y**.
- **G18** : Axe d'outil Y, interpolations G2, G3 et correction rayon dans **le plan Z X**.
- **G19** : Axe d'outil X, interpolations G2, G3 et correction rayon dans **le plan Y Z**.

Les codes de la famille **G52, G53, G54, G55...**sont utilisés pour :

- Programmer un **décalage d'origine** ;
- Définir que les déplacements sont relatifs à **l'origine machine** ;
- Choisir le numéro de **l'origine pièce**.

Certains codes G de la famille **G60, G70** peuvent être utilisés par les fabricants de DNC pour :

- Le choix de la programmation **cartésienne** ou **polaire** ;
- L'activation d'un **facteur d'échelle** ;
- La mise en action d'une fonction **miroir** ;
- La programmation en mesure **métrique** ou en **pouce**.

Les codes **G90, G91** définissent la programmation **absolue** ou **incrémentale** des côtes.

Des cycles préprogrammés sont également accessibles sur la plupart des machines : **G 81, 82, 83...**, pour les cycles de perçage, taraudage, etc. avec l'annulation par **G 80**. D'autres cycles peuvent être présents selon le type de machine (tour "cycle d'ébauche **G71, G72, G73...**", fraiseuse, aléuseuse, fil, ...).

Corrections

La correction permet de tenir compte des diamètres et longueurs d'outil.

- EN FRAISAGE : le correcteur de longueur de fraise est activé automatiquement lors du changement outil (M6). Sur DNC Fanuc **G43**, annulation par **G49** ;

Pour le correcteur de rayon de fraise: **G41** et **G42**, annulation par **G40**.

-**G41** positionne l'outil à gauche de la trajectoire programmée d'une valeur égale au rayon.

-**G42** positionne l'outil à droite de la trajectoire programmée d'une valeur égale au rayon.

- EN TOURNAGE : le correcteur de longueur d'outil, correcteur en diamètre et compensation de rayon de bec : **G41** et **G42**, annulation par **G40**.

Par ailleurs, la correction d'outils en cours d'usinage appelée "correction dynamique" permet de compenser l'usure de l'outil.

Les fonctions Auxiliaires

Codes	Fonctions	Révocation
M00	Arrêt programmé	Action sur le bouton poussoir
M01	Arrêt optionnel programmé	-----//-----
M02	Fin de programme pièce	Début de programme
M03	rotation de la broche sens horaire	M04 ; M05
M04	rotation de la broche sens trigonométrique	M03 ; M05
M05	Arrêt de la broche	M03 ; M04
M06	Changement d'outil automatique ou manuel	Compte rendu
M07	Mise en route de l'arrosage par le centre de la broche	M09 ; M00
M08	Mise en route de l'arrosage externe	M09 ; M00
M09	Arrêt des arrosages	M07 ; M08
M21	Activation pression broche/M121à127 palier pression selon outil	-----
M30	Fin de programme, réinitialisation, rembobinage	Début de programme
M99	Fin du sous-programme	-----

M code Fonction "Machine" ou "Modale, permet aussi de contrôler des entités externes à la machine (magasin auxiliaire, refroidisseur, compteur ETC). Les codes M contrôlent l'ensemble de la machine, permettant son démarrage, son arrêt, la mise en route de l'arrosage, etc.

6.6- Exemples de programmes :

- **Exemple 1-** Réalisation d'une rainure par fraisage (figure 9).

Le travail consiste à fraiser par interpolation linéaire, une rainure sous forme de losange ayant une profondeur de 2 mm, sur une plaque d'aluminium de 150 x 150 x 10 mm.

L'outil utilisé est une fraise en bout de diamètre 6 mm, la vitesse de la broche est de 1750 tr/min (correspondant à S6) et la vitesse d'avance est de 104 mm/min.
Le point d'origine OP est placé à 3 mm au-dessus de la pièce à usiner.

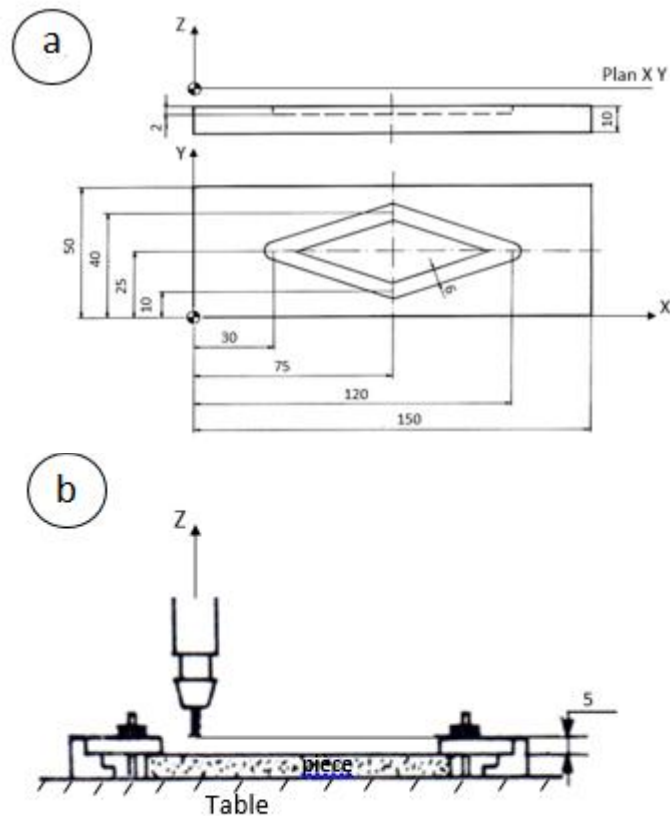


Figure 9. Réalisation d'une opération de fraisage ;
a- dessin de définition ; b-montage sur machine

Programme : Le programme est élaboré sous format fixe conformément au dossier de la machine.

```

N081 G00 X+03000 Y+02500
N082 G01 F052 S6 M03 Z-00500
N083      F104 X +07500 Y+04000
N084      X+12000 Y+02500
N085      X+07500 Y+01000
N086      X+03000 Y+02500
N087 G00      Z+00000
N088 M02

```

- **Exemple 2-** Réalisation d'une opération d'ébauche sur un tour (figure 10).

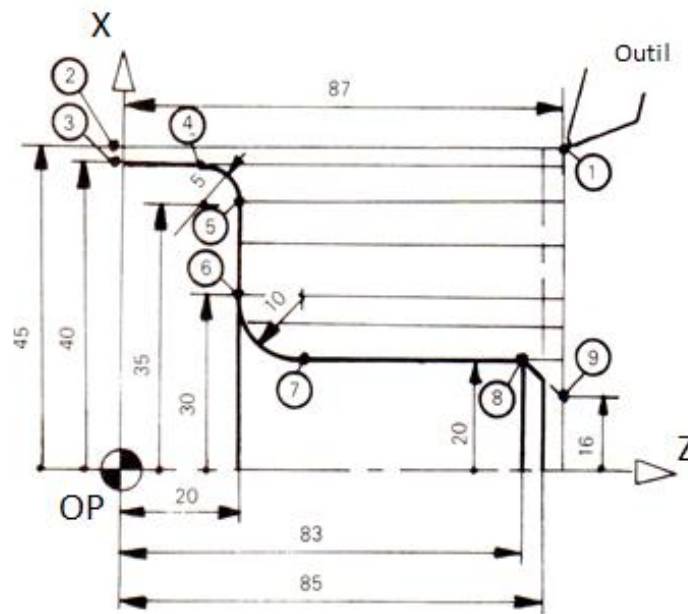


Figure 10. Réalisation d'une opération de tournage (G84- cycle ébauche)

Programme : le programme est écrit sous le format variable.

	<u>Commentaire :</u> (points)
N40 G0 X45000 Z87000	(1)
N50 G84 Z-1000 P5000 F250	(2)
N60 X4000	(3)
N70 Z15000	(4)
N80 G2 X35000 Z20000 I-5000 K0	(5)
N90 G1 X30000	(6)
N100 G3 X20000 Z30000 I0 K10000	(7)
N110 G1 Z83000	(8)
N120 X16000 Z87000	(9)
N130 G80 G0 X100000 Z100000	annulation de G84 et dégagement de l'outil