

Conception et fabrication assistée par ordinateur CFAO

Master construction mécanique

Par Dr. Slamani Mohamed



Chapitre 5. Les MOCN

- Introduction,
- Principaux organes,
- Domaines d'utilisation,
- Axes normalisés,
- Origines,
- Asservissement d'un axe,
- Différentes architectures des MOCN

Introduction

Aujourd'hui, les machines CNC permettent une production économique et rentable. Le contrôle des coûts reste une préoccupation importante. La diminution des quantités des séries et le raccourcissement de la longévité des produits finaux demandent des déroulements de production de plus en plus flexibles.

Les dates clés dans le développement NC :

- 1954 première machine NC produite industriellement.
- 1958 développement du premier langage de programmation symbolique.
- 1965 premier changement d'outils automatique.
- 1969 première installation DNC.
- 1972 première machine CNC avec microprocesseur intégré.
- 1984 première machine CNC avec aide à la programmation graphique.
- 1994 bouclage de la chaîne de processus entre CAO, FAO et CNC.
- 2000 des interfaces par Internet permettent un échange de données au niveau mondial et un diagnostic de défauts intelligent.

CNC, Généralités

Qu'est-ce que le NC, le CNC et le DNC?

Les commandes NC :

Le terme NC a été repris du vocabulaire technique américain et est l'abréviation de **Numerical Control**, en français *Contrôle numérique*. Cela signifie que la commande se fait par des chiffres. Une machine NC est librement programmable. Les déplacements dans les différents axes sont initiés par un programme qui contient des informations sur la géométrie de la pièce ainsi que les données techniques pour la production (fréquences de rotation, avance, etc.).

Les machines NC sont composées d'une combinaison d'axes linéaires et rotatifs. Chaque axe est équipé d'un système de mesure électronique et d'un entraînement réglable. Les commandes NC pures ne disposent en général d'aucune ou de très peu de possibilités pour mémoriser des données de programmation. Les données sont le plus souvent lues par un lecteur de bande perforée.

Généralités

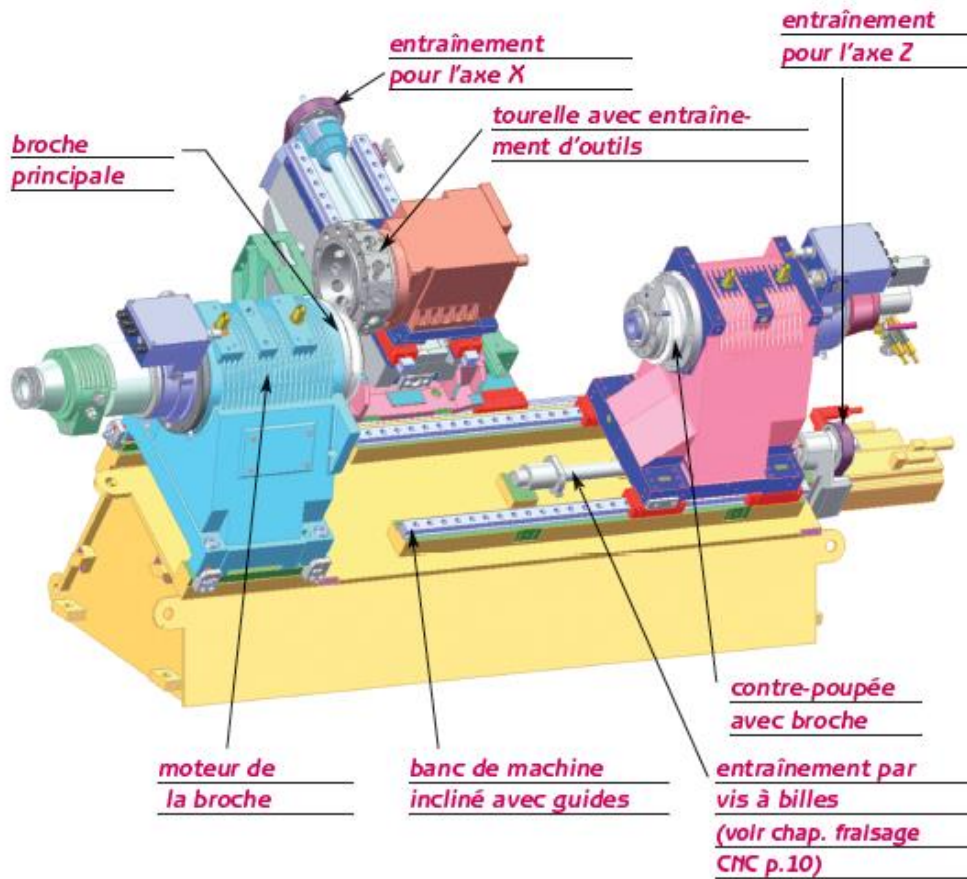
- Les commandes CNC :

Les techniques CNC se sont développées à partir des commandes NC. L'abréviation signifie **Computerized Numerical Control**. Ces commandes sont basées sur l'utilisation de microprocesseurs, ce qui offre des avantages décisifs par rapport aux machines NC. Elles offrent entre autres une mémoire beaucoup plus grande. Grâce à un système opératoire et des logiciels correspondants, il est possible d'adapter les programmes de manière flexible et rapide. D'autre part, il est possible de traiter des grandes quantités de données, ce qui permet de commander plusieurs axes simultanément. Grâce à une approche conviviale, l'établissement de programmes et leur gestion sont plus rapides et plus flexibles.

Généralités

- Les avantages et les désavantages de la production CNC :
- Grâce à son fonctionnement économique, on préfère dans de nombreux cas la production CNC à la production conventionnelle, ceci surtout pour des séries petites ou moyennes. Aux avantages cités s'ajoute celui d'un coût réduit. La décision de produire une pièce sur une machine manuelle ou CNC est prise par le planificateur dans la préparation du travail. A ce moment, les avantages et les désavantages doivent être évalués soigneusement.

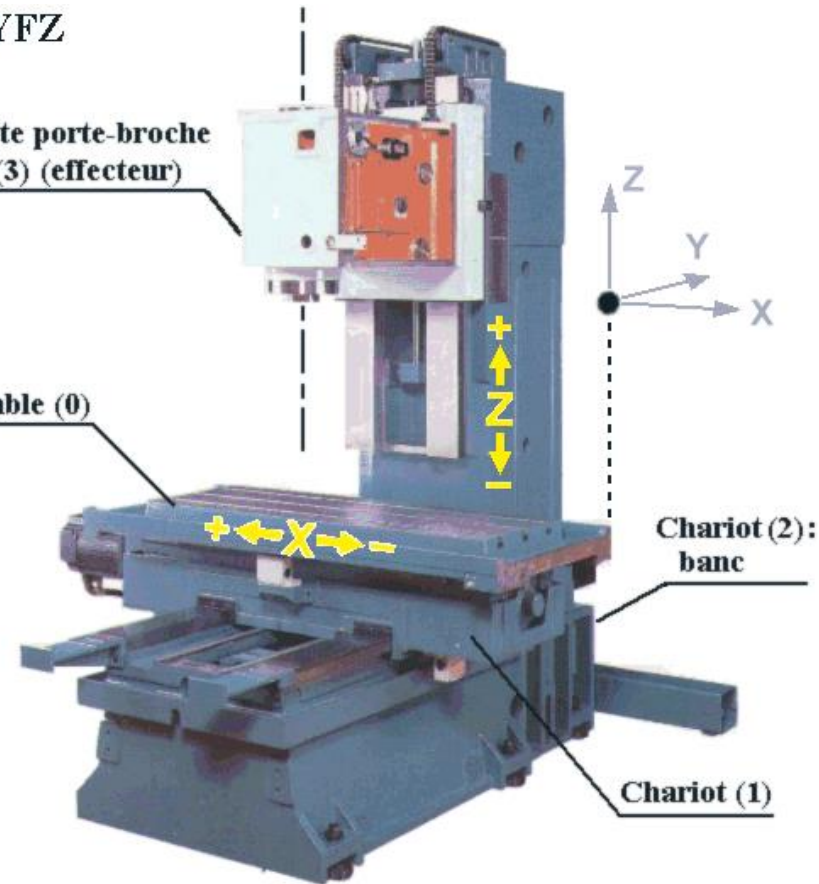
Principaux organes



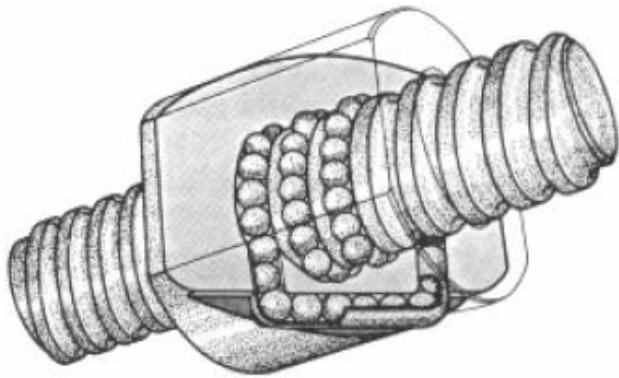
XYFZ

Tête porte-broche (3) (effecteur)

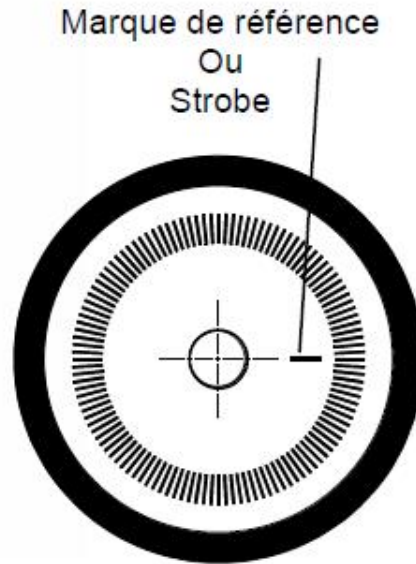
Table (0)



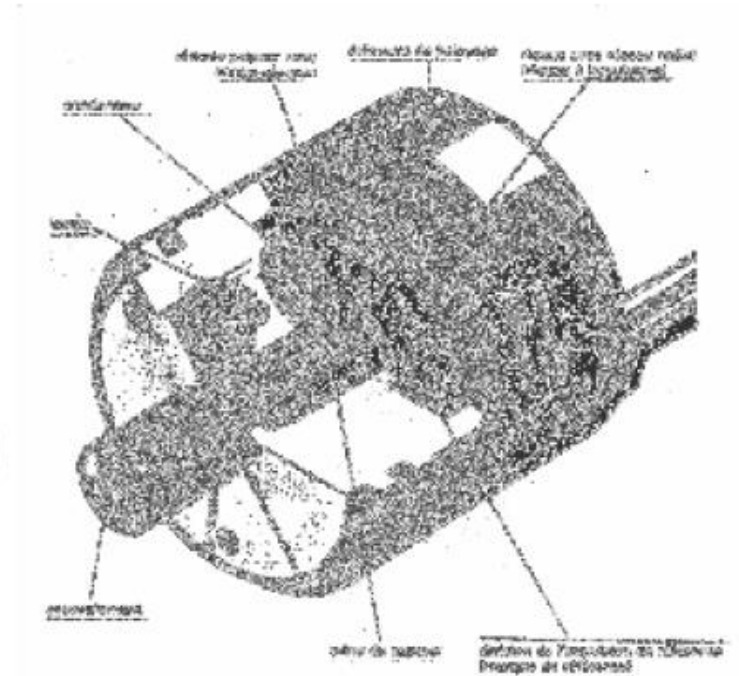
PARTIE OPERATIVE D'UN AXE NUMERIQUE



Vis à bille

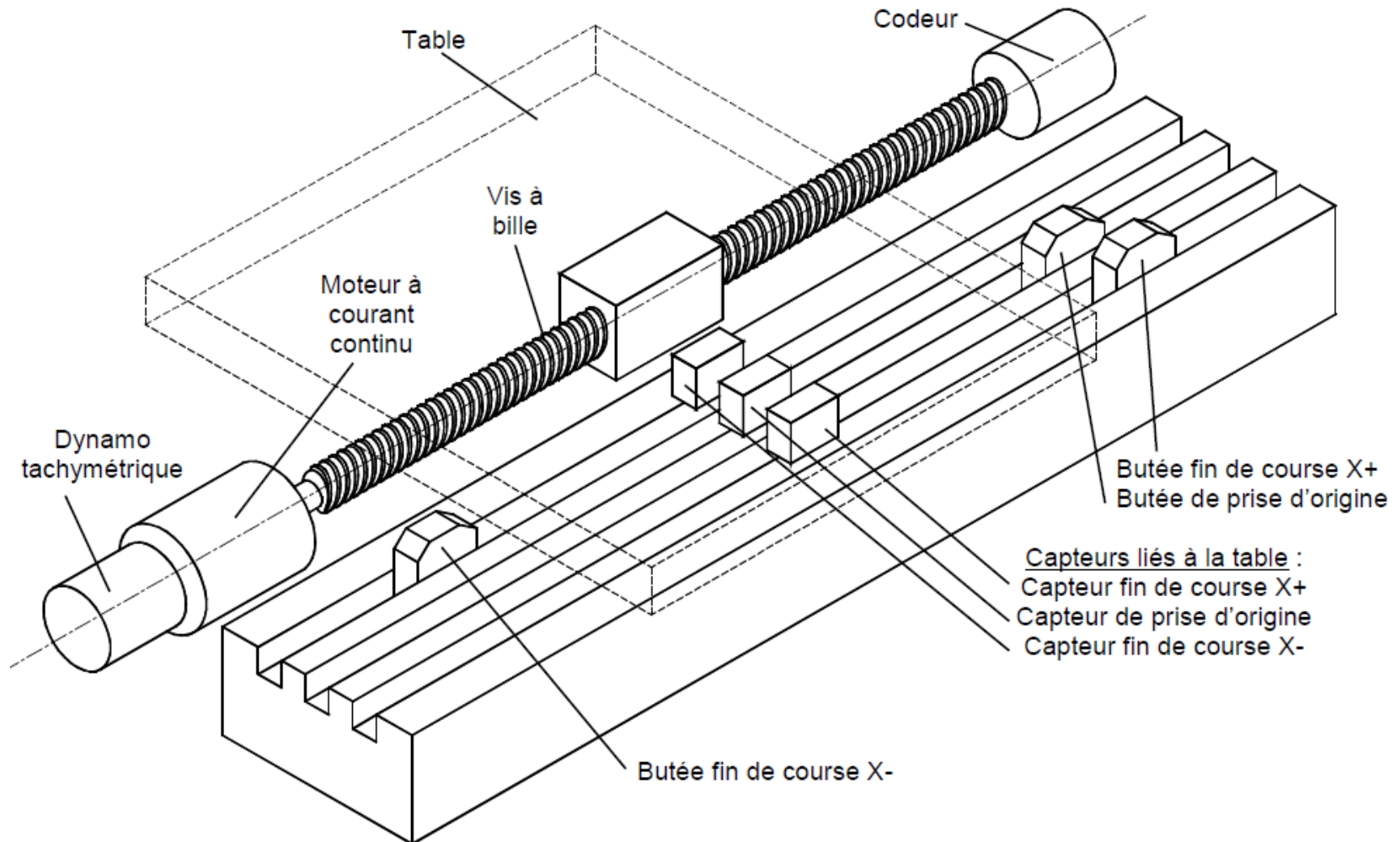


Disque de codeur



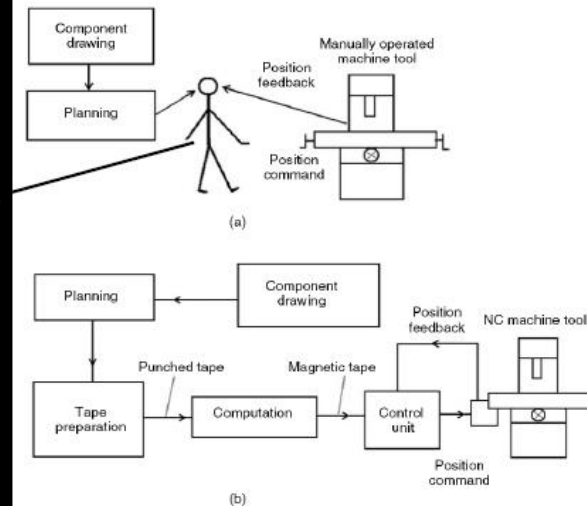
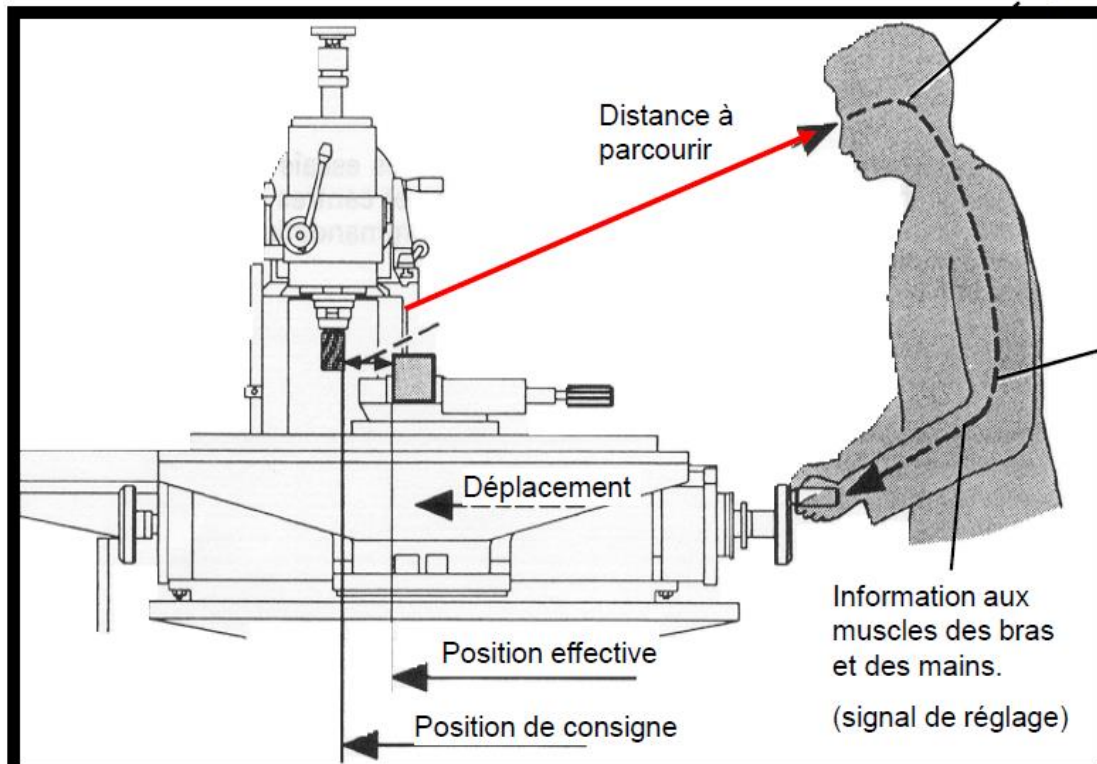
Codeur

PARTIE OPERATIVE D'UN AXE NUMERIQUE

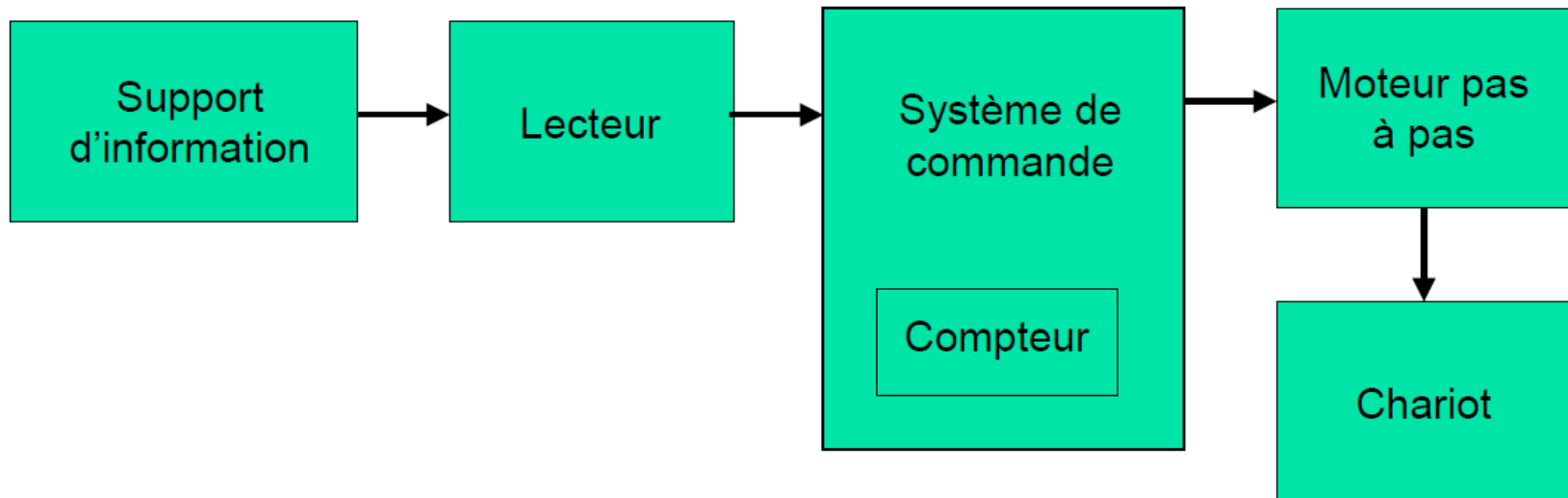
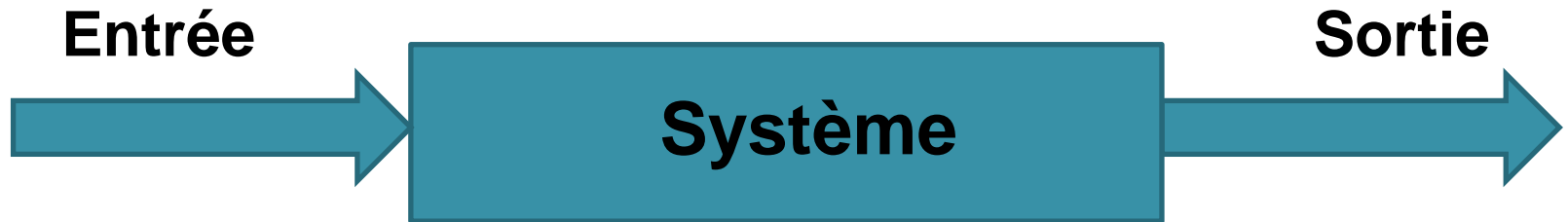


Boucle d'asservissement humaine

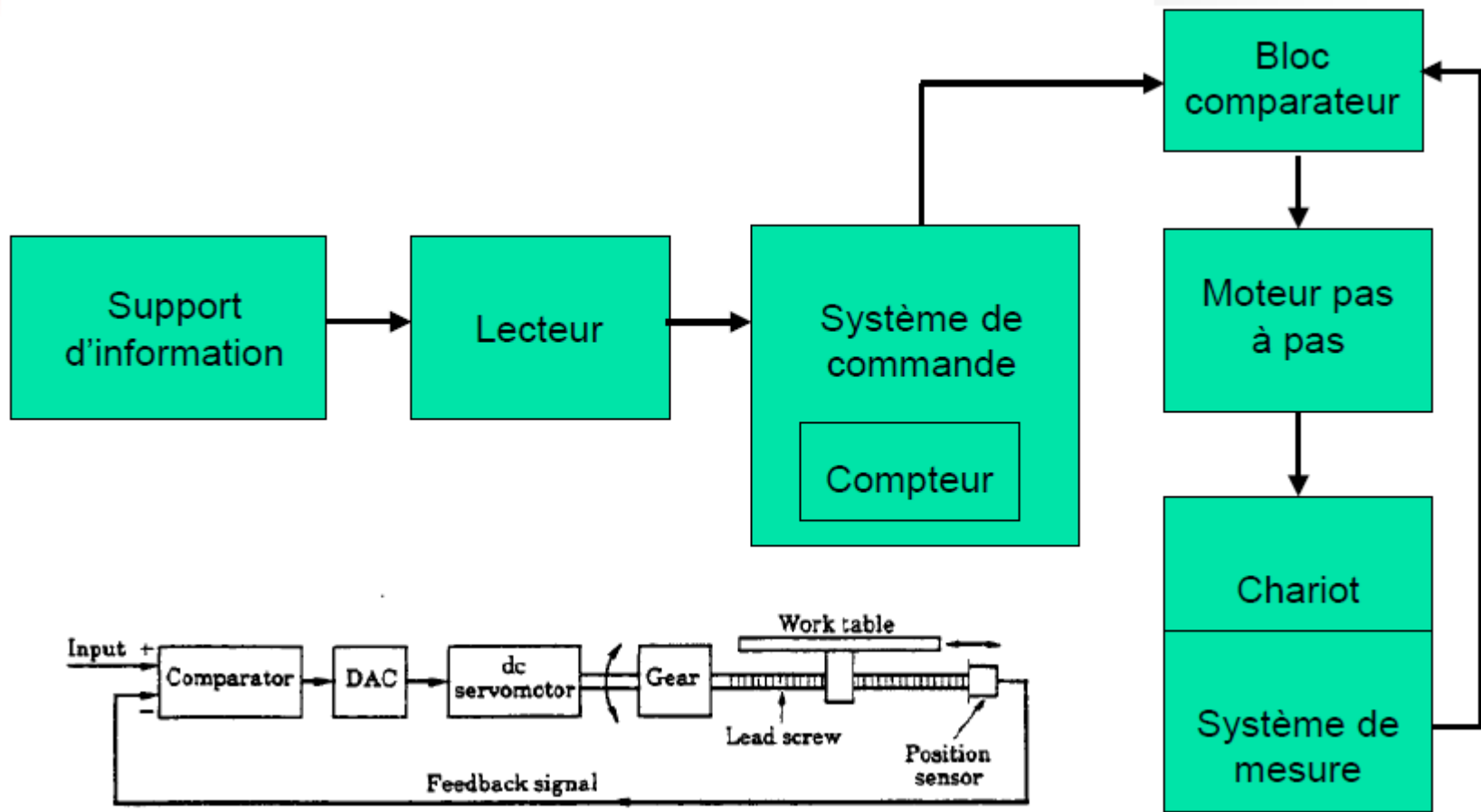
Décision sur le sens dans lequel il faut tourner et à quelle vitesse; si la position est dépassée, ordre de changer de sens



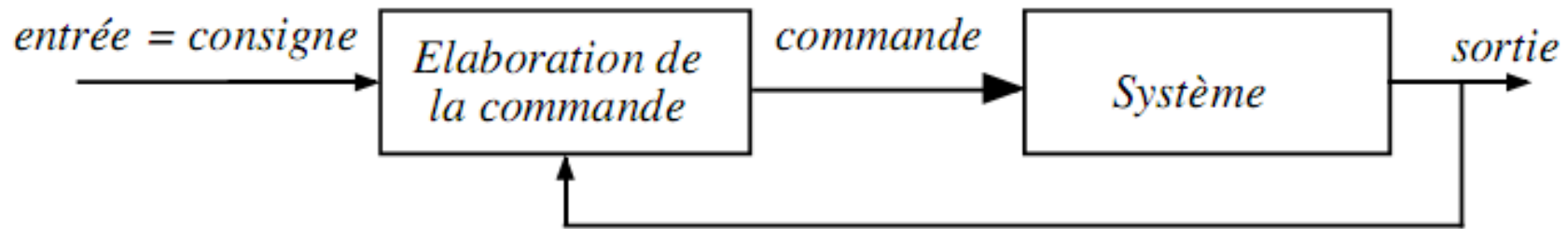
Systeme de commande en boucle ouverte



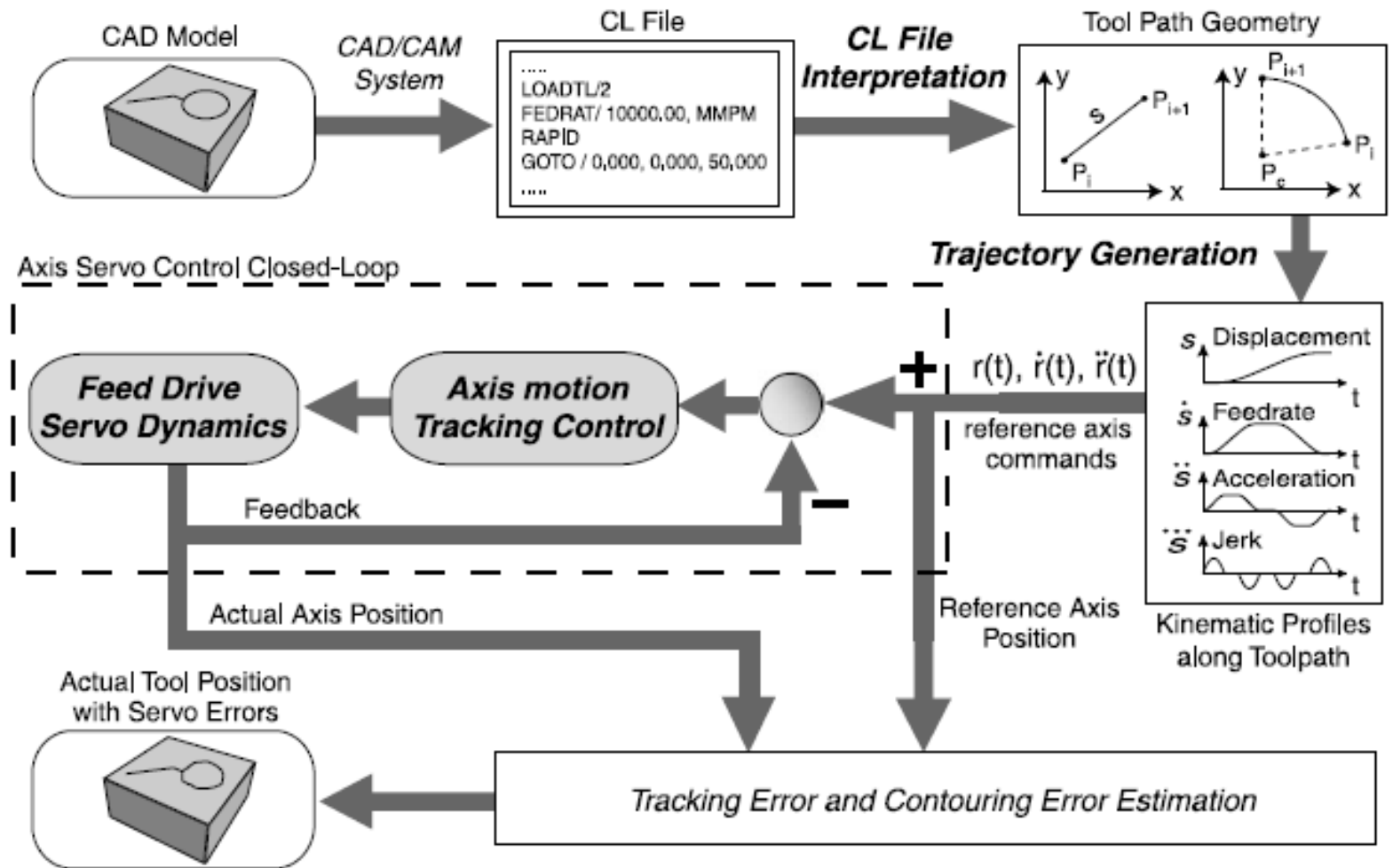
Systeme de commande en boucle fermée



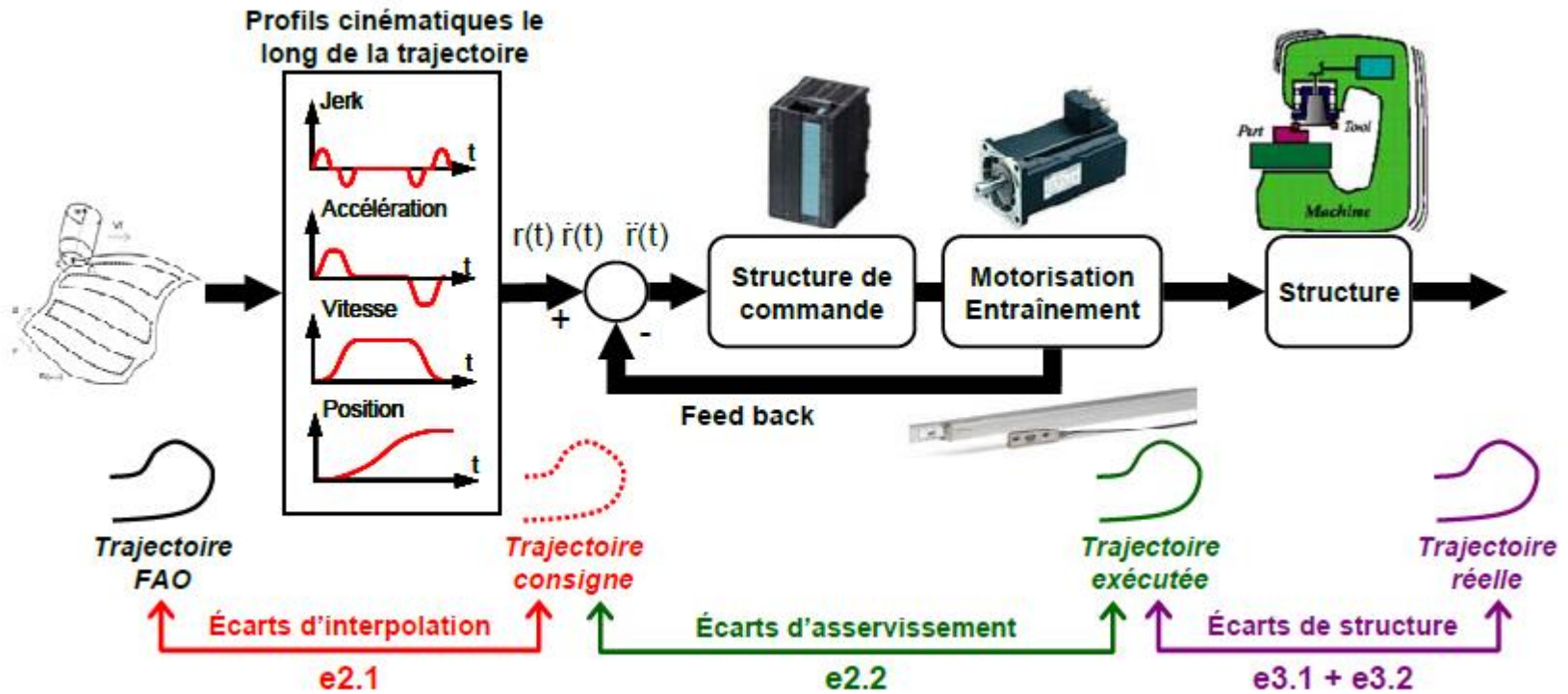
Schema d'un systeme en Boucle Fermée



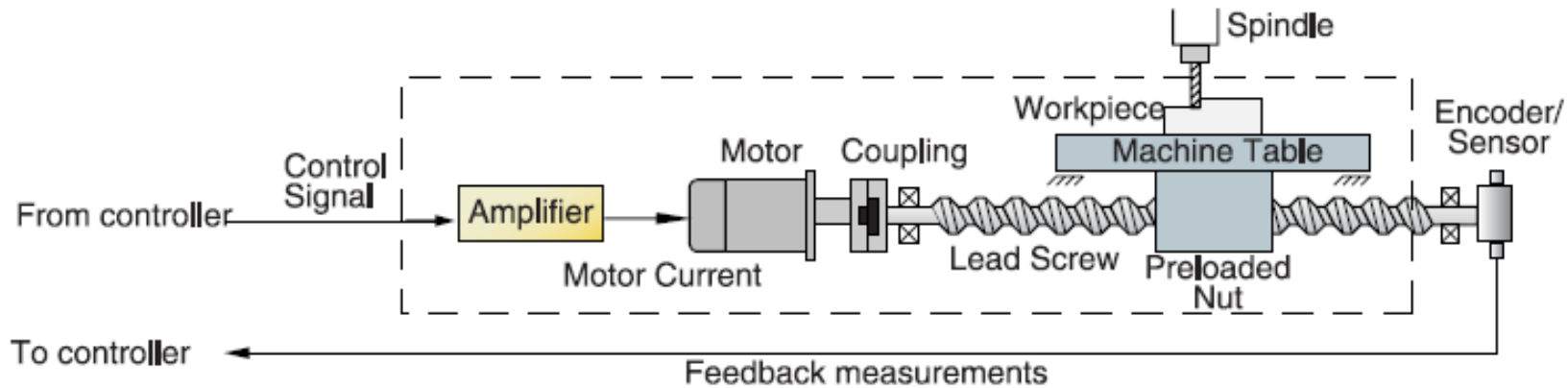
Commande des MOCN



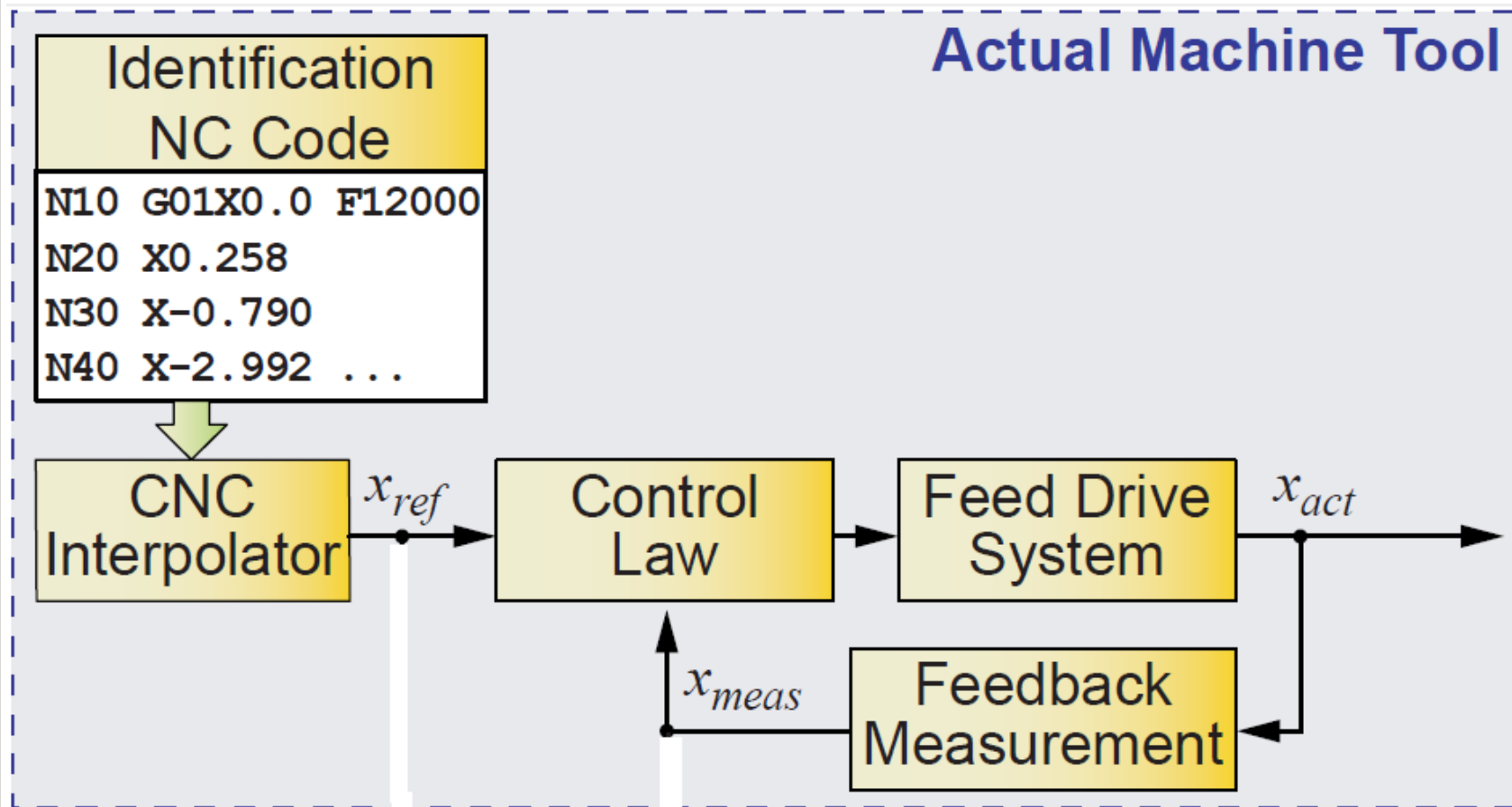
Commande des MOCN

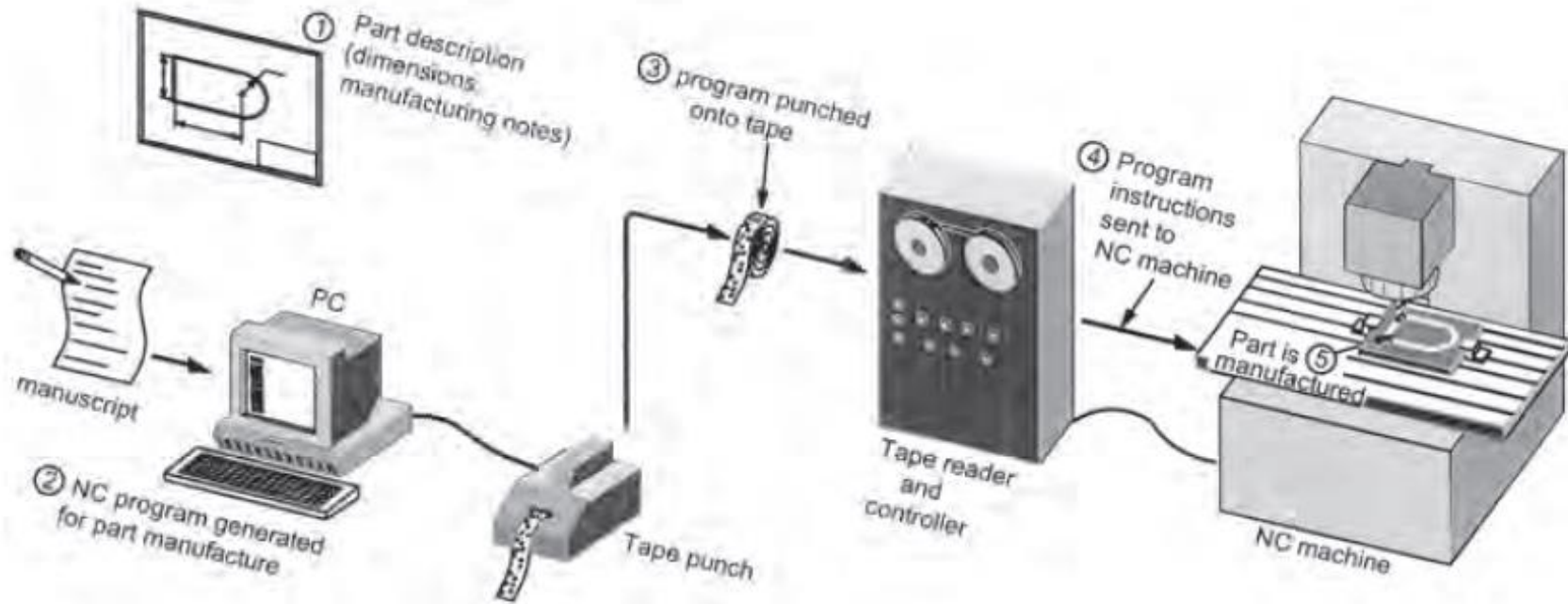


Commande des MOCN



Commande des MOCN





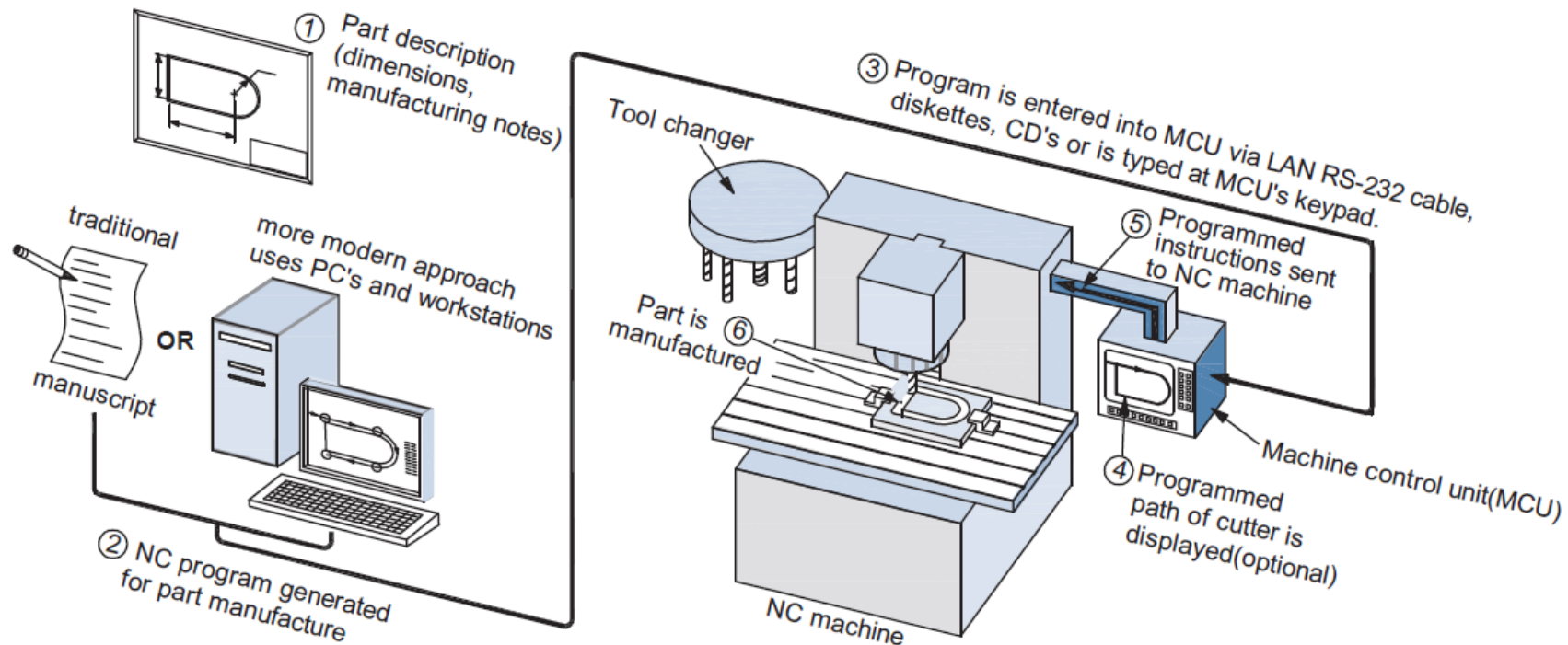
Tape punch: converts written instructions into a corresponding hole pattern. The hole pattern is punched into tape which is passed through the tape punch. Much older units used a typewriter device called a Flexowriter, and later devices included a microcomputer coupled with a tape punch unit.

Tape reader: reads the hole pattern on the tape and converts the pattern to a corresponding electrical signal code.

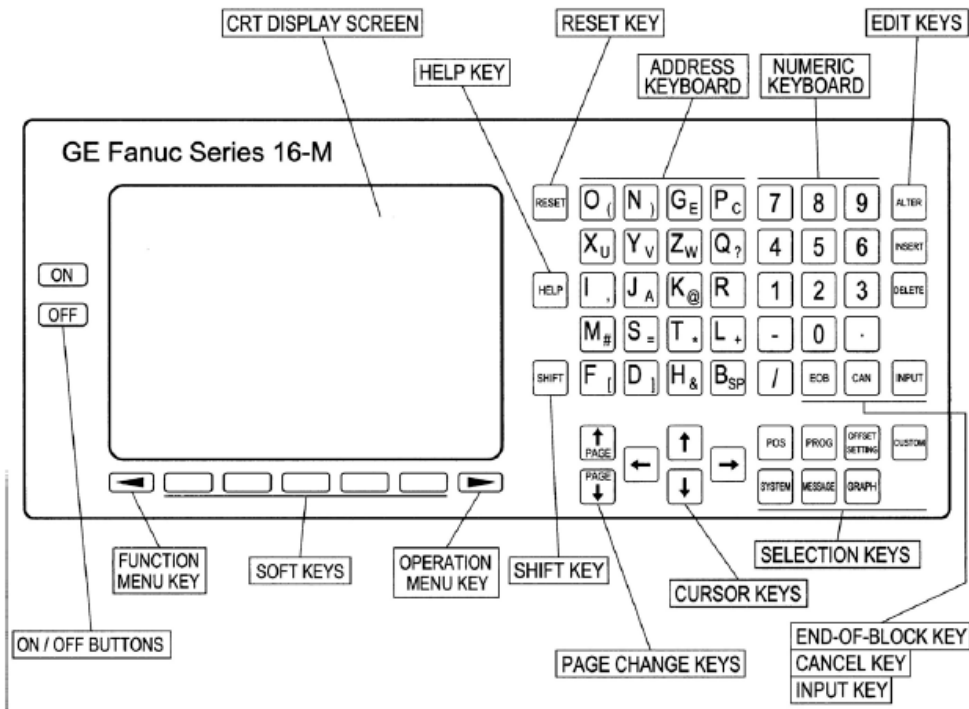
Controller: receives the electrical signal code from the tape reader and subsequently causes the NC machine to respond.

NC machine: responds to programmed signals from the controller. Accordingly, the machine executes the required motions to manufacture a part (spindle rotation on/off, table and or spindle movement along programmed axis directions, etc.).

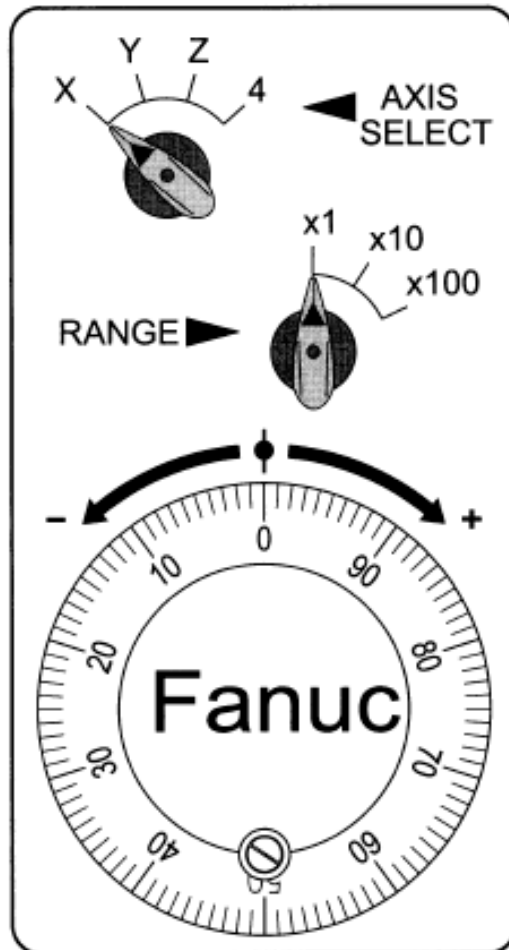
Composants de systèmes CNC modernes



Panneau de contrôle Fanuc



La manivelle



- Permet le déplacement rapide pour positionnement

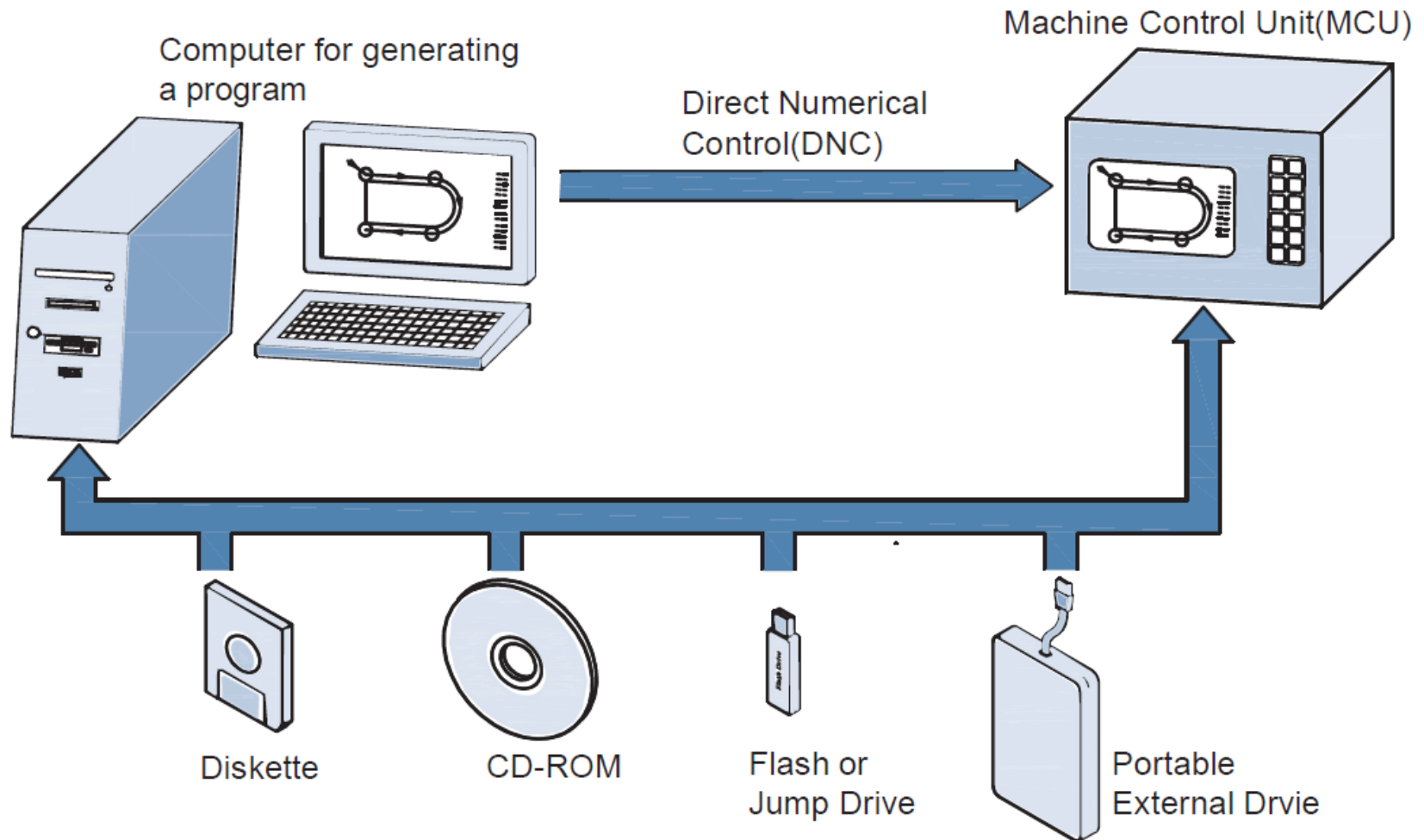
Handle multiplier	One handle division motion is ...	
	for metric units	for imperial units
X1	0.001 mm	0.0001 inch
X10	0.010 mm	0.0010 inch
X100	0.100 mm	0.0100 inch



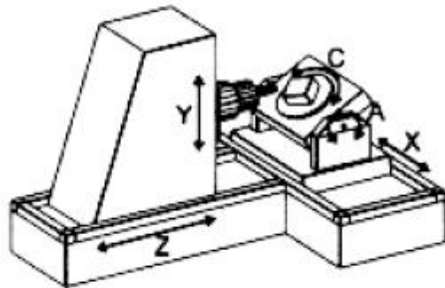
CFAO



Disques durs portables

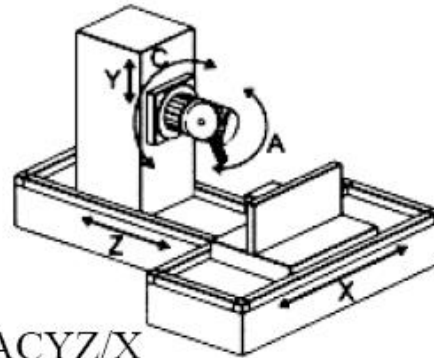


Différentes types de cinématiques des MOCN



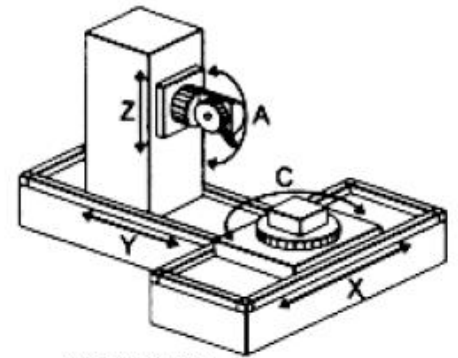
YZ/XAC

Type 1



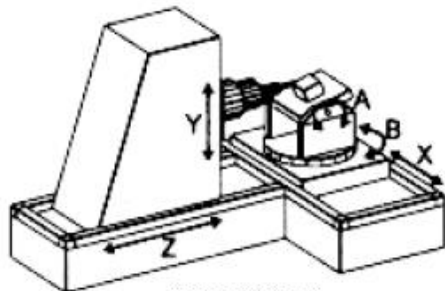
ACYZ/X

Type 3



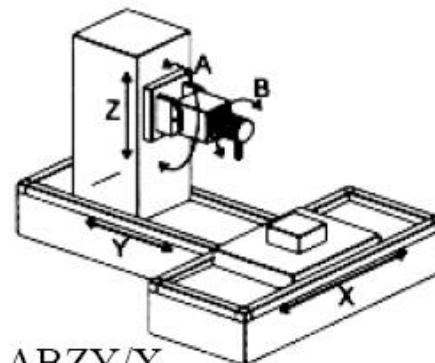
AZY/XC

Type 5



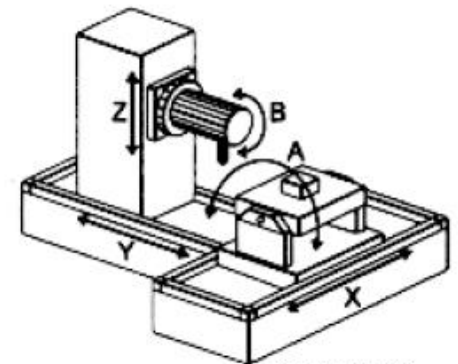
YZ/XBA

Type 2



ABZY/X

Type 4

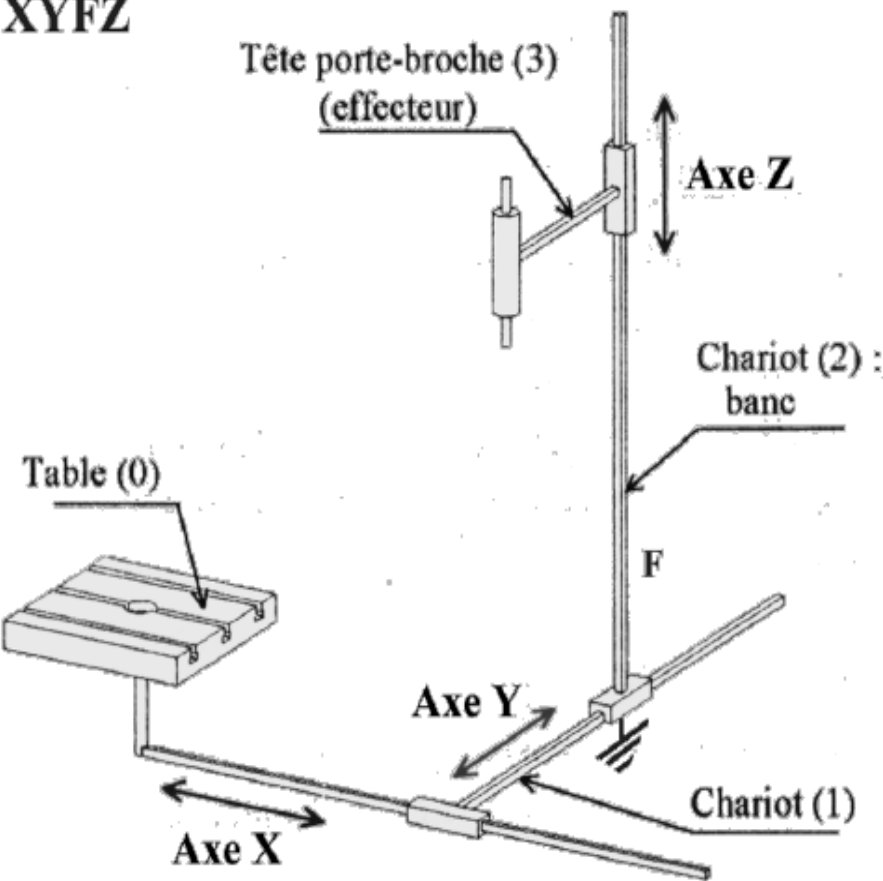


BZY/XA

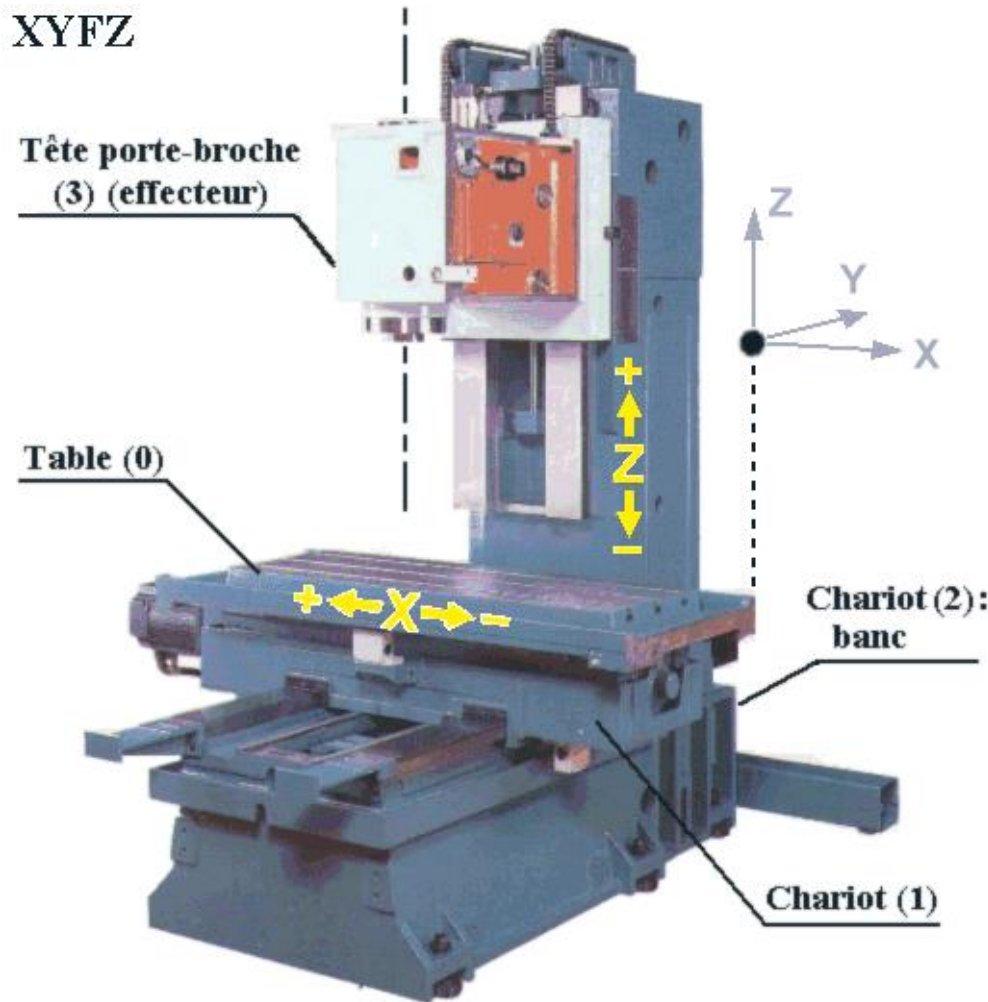
Type 6

Cinématique XY/Z Matsuura MC-760VX

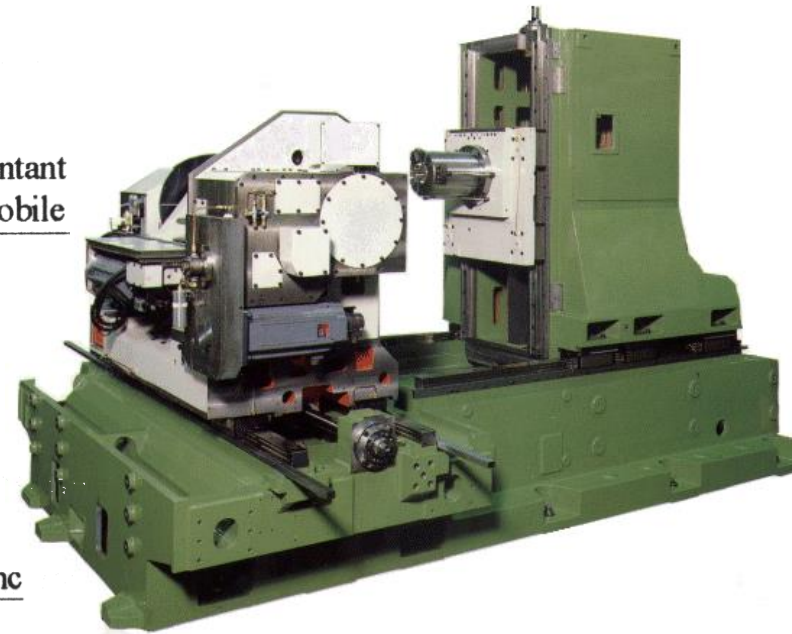
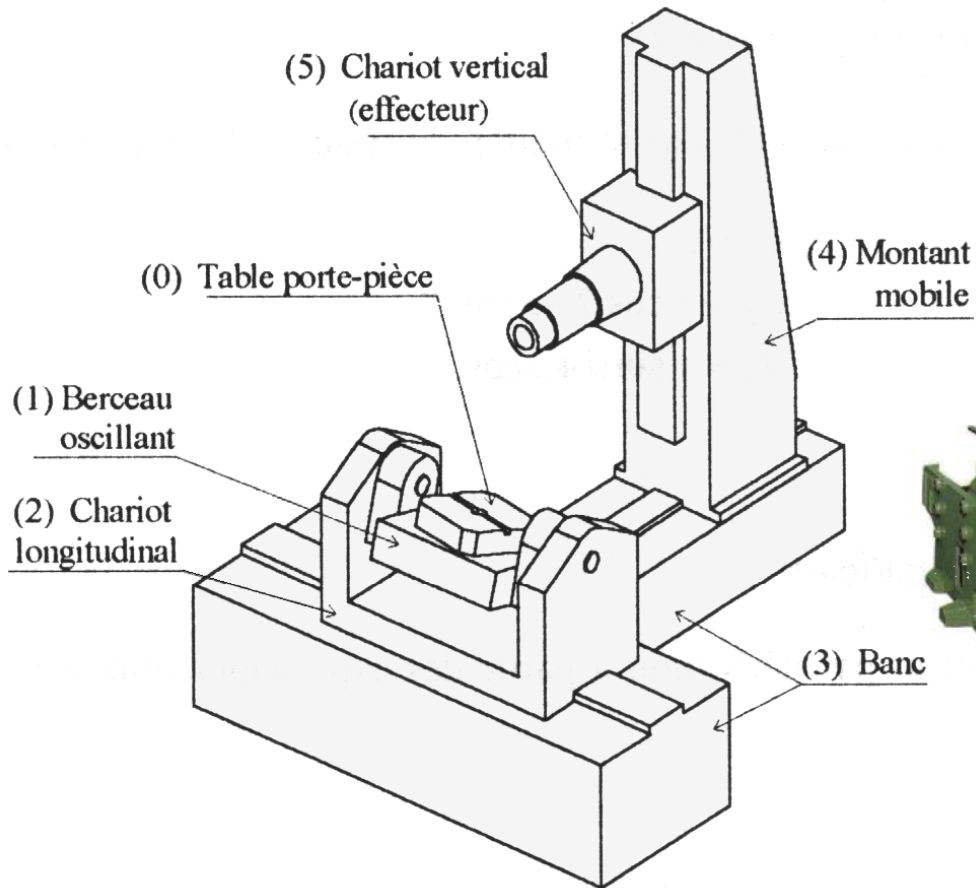
XYFZ



XYFZ



Cinématique BAX/ZY Mazatech H6305X

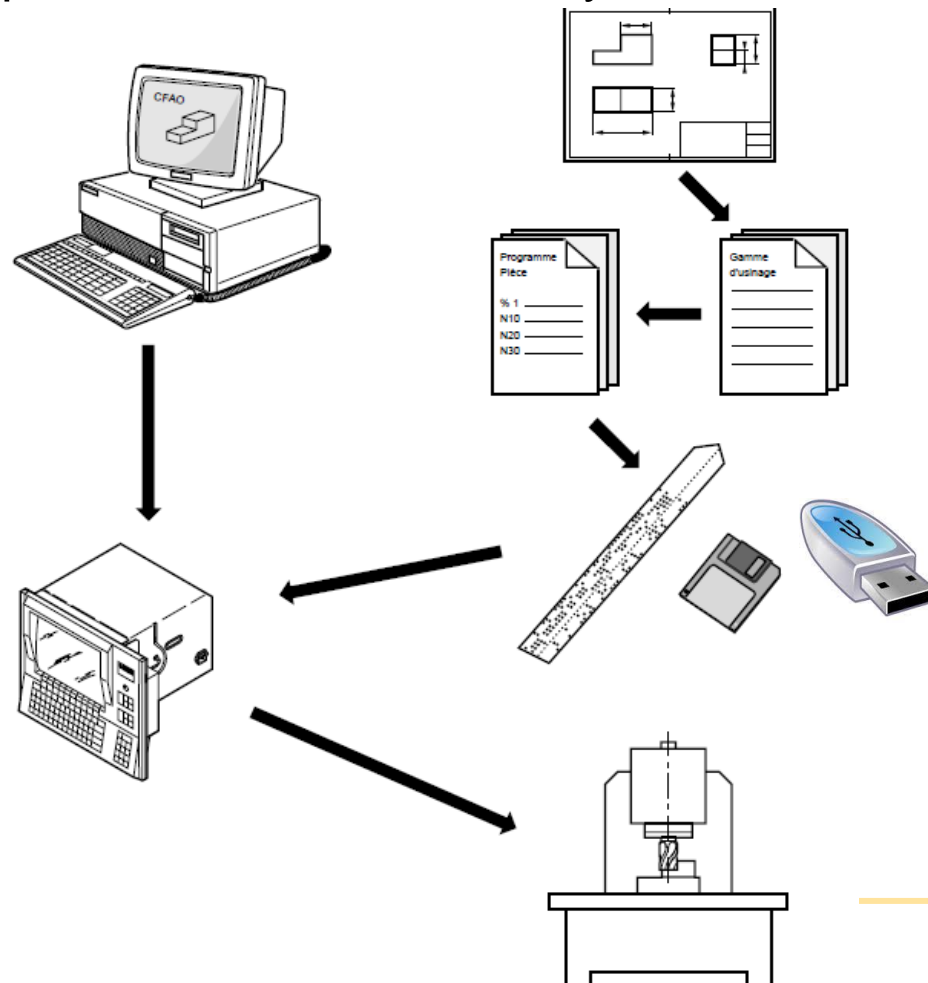


Définition d'un programme

- Un programme est une suite d'instructions écrites dans un langage codé propre à la commande numérique (le plus utilisé est le code ISO : International Organization for Standardization).
- La commande numérique interprète le programme pour commander un usinage sur la machine-outil.
- Les supports d'archivages de programmes sont la bande perforée, la disquette et les clés USB.

Elaboration d'un programme

- Le programme pièce peut être créé par programmation traditionnelle ou par l'intermédiaire d'un système CFAO.



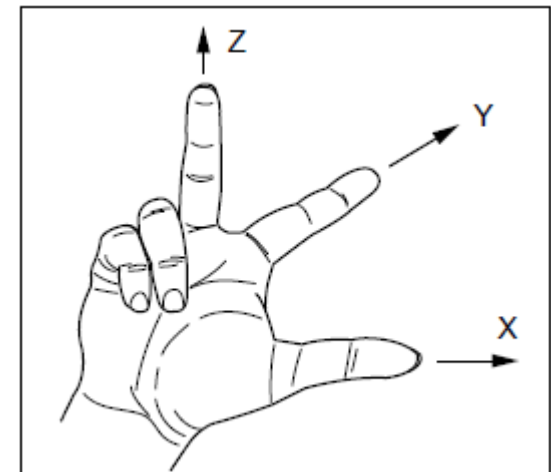
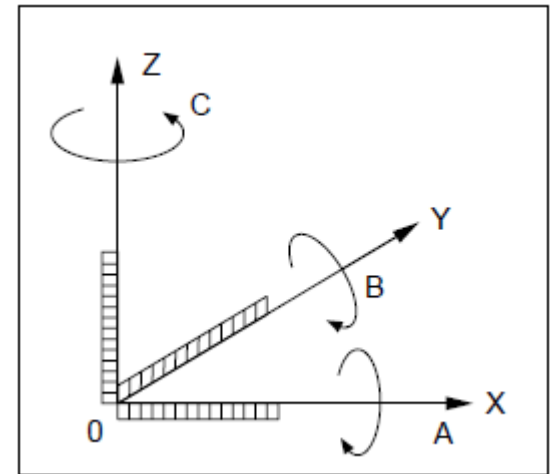
Nomenclature des axes

Rappels définition et orientation des axes

Un système de coordonnées permet de repérer les positions et les déplacements d'un objet par rapport à un point origine.

Un système de coordonnées cartésiennes rectangulaire est un trièdre de sens direct constitué de trois axes linéaires X, Y et Z auxquels sont associés trois axes rotatifs A, B et C.

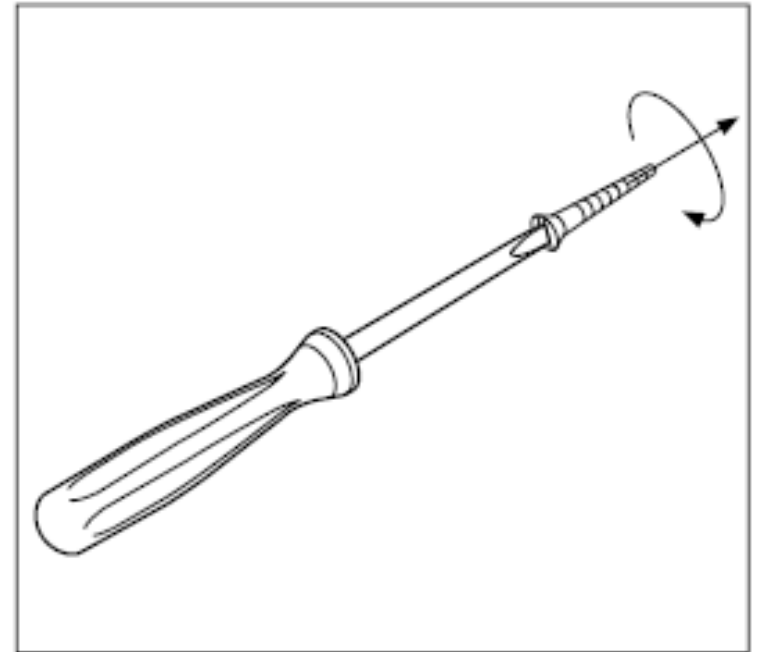
La règle des trois doigts permet de retrouver facilement l'orientation des axes X, Y et Z.



Nomenclature des axes

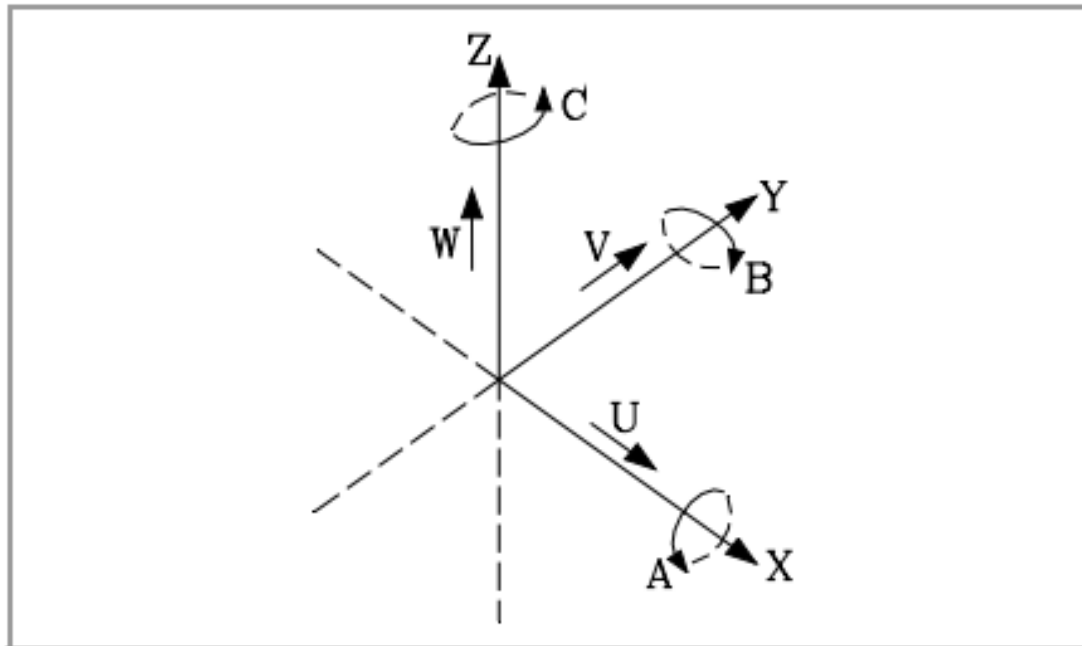
Rappels définition et orientation des axes

L'orientation positive d'un axe rotatif correspond à la rotation d'une vis de pas à droite avançant dans le sens positif de l'axe associé (sens du vissage).



Nomenclature des axes

Les noms des axes répondent à la norme DIN 66217.

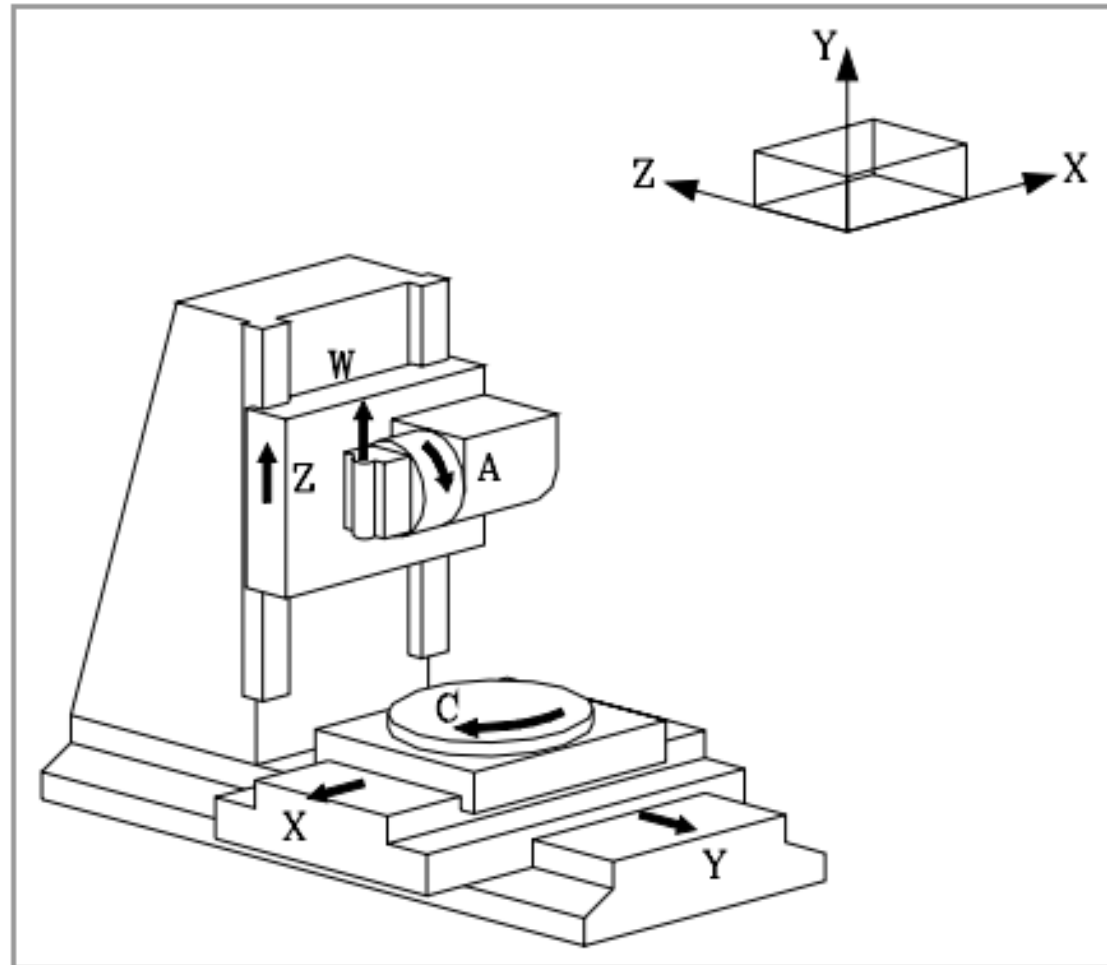


Caractéristiques du système d'axes :

- | | |
|---------|--|
| X et Y | déplacements principaux d'avance sur le plan de travail principal de la machine. |
| Z | parallèle à l'axe principal de la machine, perpendiculaire au plan principal XY. |
| U, V, W | axes auxiliaires parallèles à X, Y, Z, respectivement. |
| A, B, C | axes rotatifs sur chacun des axes X, Y, Z. |

Nomenclature des axes

La figure suivante montre un exemple de désignation des axes dans une fraiseuse-profileuse à table inclinée.



Présentation de la machine

Présentation de la machine

Le constructeur définit le système de coordonnées associé à la machine conformément à la norme ISO 841 (ou NF Z68-020).

Les axes X, Y et Z parallèles aux glissières de la machine forment un système de coordonnées cartésiennes rectangulaire de sens direct.

Le système de coordonnées mesure les déplacements des outils par rapport à la pièce à usiner supposée fixe.

REMARQUE *Lorsque la pièce est mobile, il peut être commode de repérer ses déplacements, on utilise alors des axes X' , Y' et Z' orientés en sens inverse des axes X, Y et Z.*

Présentation de la machine

L'orientation des axes d'une machine dépend du type de machine et de la disposition des éléments qui la constituent.

Pour une fraiseuse :

- l'axe Z est confondu avec l'axe de la broche principale lorsque celui-ci est parallèle à l'une des glissières,
- un déplacement dans le sens Z positif accroît la distance entre la pièce et l'outil,
- l'axe X est perpendiculaire à l'axe Z et correspond au plus grand déplacement,
- l'axe Y forme avec les axes X et Z un trièdre de sens direct.

Des axes rotatifs A, B, C définissent des rotations autour d'axes parallèles à X, Y et Z.


Des axes linéaires secondaires U, V et W peuvent être ou non parallèles aux axes primaires X, Y, et Z.


Se reporter à la norme pour plus de précisions.

Définition des courses et origines

- Le processeur CN calcul tous les déplacements par rapport au point d'origine mesure de la machine.
- A la mise sous tension le système ne connaît pas l'origine mesure, les courses mécaniques accessibles sur chacun des axes de la machine sont limitées par des butées fin de course mini et maxi.

Définition des courses et origines

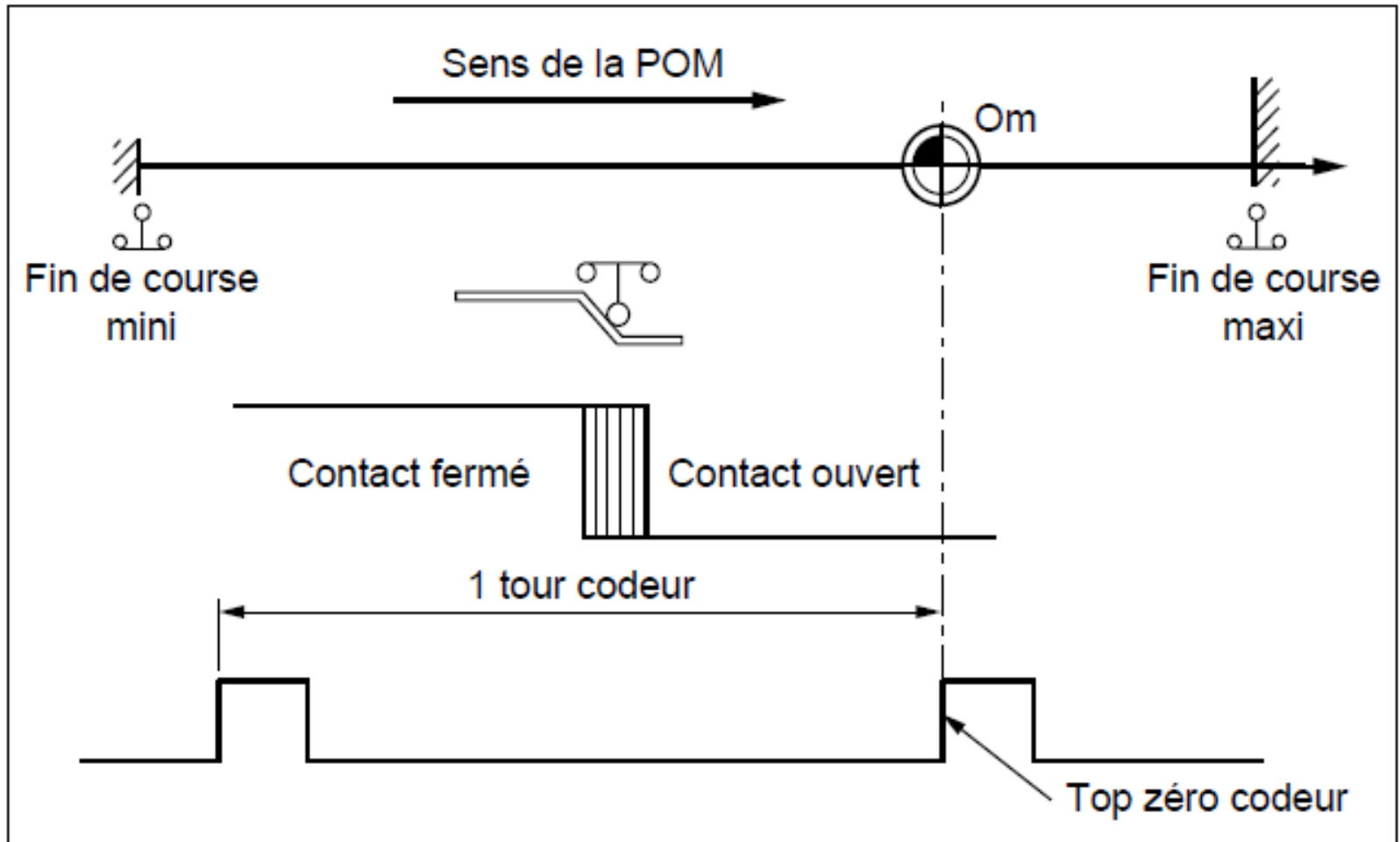
OM :  Le système apprend la position de l'origine mesure (OM) par une prise d'origine mesure (POM).

Om :  La prise d'origine se fait sur une position physique précise : l'origine machine (Om) qui peut être confondue avec l'origine mesure (OM).

Sur chacun des axes, l'origine machine est acquise par le système lorsque :

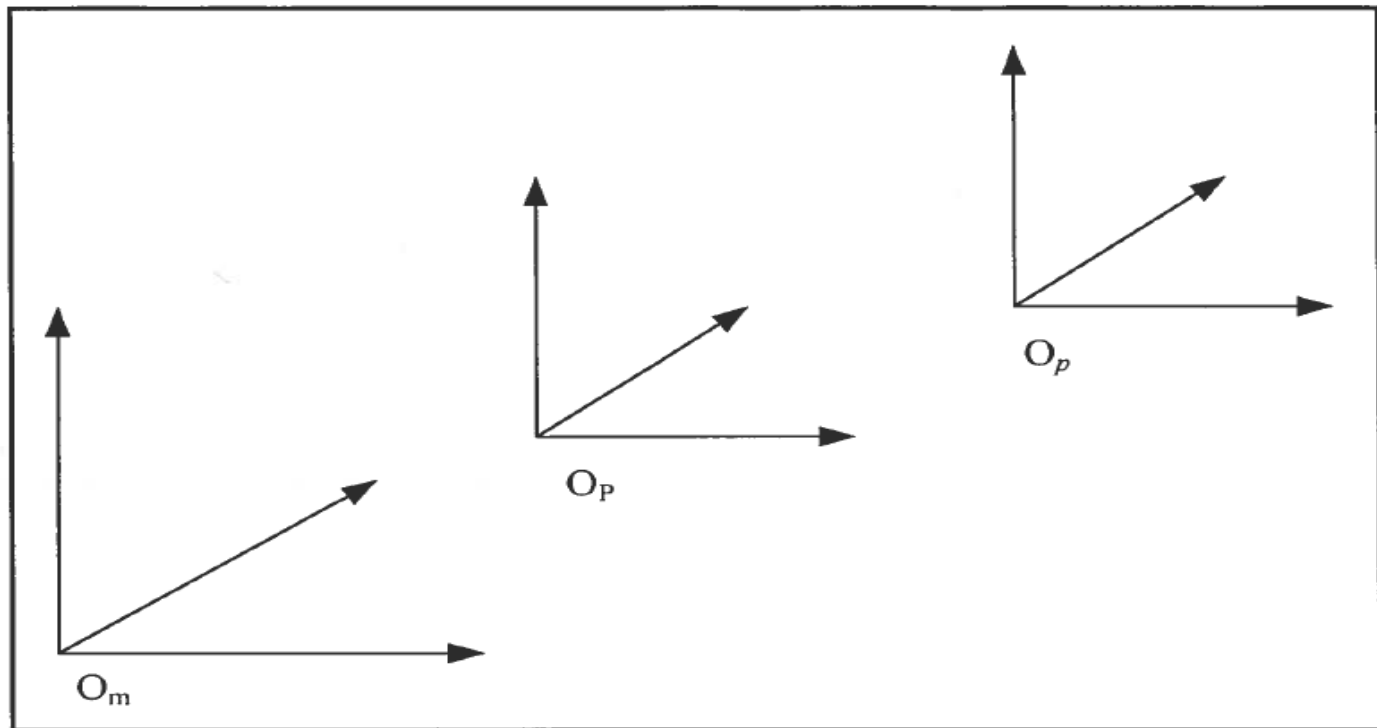
- la butée d'origine a été actionnée dans le sens de déplacement prévu par le constructeur (sens de la POM),
- le codeur mesurant le déplacement de l'axe envoie son top zéro.

Définition des courses et origines



Origines

- **Origine programme (OP)** : c'est le point origine du programme à partir duquel les mouvements de la machine sont programmés.



Origines

- **Origine Machine (OM)** : Cette expression existe dans des manuels de constructeurs de machines-outils sans pour autant apporter de réponse, voire sans fondement.

L'origine machine est une coordonnée mesure particulière.

Lors de l'initialisation de l'axe (dans le cas de capteurs relatifs) au passage du top zéro de la règle, le processus d'initialisation permet de forcer la valeur du registre du point courant par la valeur de l'axe dans le registre P16 (cas d'un DCN NUM).

Cette valeur est souvent non nulle qui remet en cause la notion d' « origine » d'une part, et « machine » d'autre part puis que c'est une coordonnée mesure particulière. Cette expression est sans fondement dans le cas de technologie de règle absolue, et sans fondement tout court.

Origines

Origine mesure (Om) : L'origine mesure est propre à chaque axe asservi. Dans le cas d'une structure articulatoire de type RRPPP (rotoïde, rotoïde, prismatique, prismatique, prismatique) il existe 5 origines mesures. Chaque axe mesure est constitué d'une origine et d'une dimension. La dimension de l'espace vectoriel de cette structure est de dimension 5. Suivant le type de technologie des capteurs permettant l'asservissement des axes, il est nécessaire de procéder à l'initialisation de la partie opérative avec la partie commande. Dans le cas de capteur relatif, les POM (Prise d'origines mesure) servent à établir les références de la mesure sur chaque axes des machines outils ne possédant pas de règles avec des capteurs absolus (détection du zéro du capteur de mesure).

Origines

Les origines mesures appartiennent à l'espace articulaire (espace de la structure cinématique de la machine en robotique). L'espace travail, ou de la tâche est celui où se trouvent les autres éléments de la cellule élémentaire de production. La dimension vectorielle est 3. Il y a donc un endomorphisme d'espaces vectoriels entre l'espace articulaire de la machine et l'espace travail. Il est donc totalement inutile de représenter le zéro mesure comme un point concourant de tous les axes dans l'espace travail.

Origines

Origine porte pièce (Opp) : C'est le point caractéristique de la liaison encastrement supposée parfaite entre la machine et le porte-pièce. En tournage on le place souvent à l'intersection de la face avant du mandrin et de l'axe de la broche (axe Z, pour les mandrins qui ne sont pas changés régulièrement). En fraisage pour des raisons de standardisation on alèse des centreurs sur les tables des machines outils pour le situer plus facilement.

Origines

- **Origine pièce (Op)** : (appelé G... 54 par exemple, G55, etc.) C'est le point d'intersection de l'isostatisme. Ce point situe la pièce par rapport au porte-pièce.
- Distance *origine programme (OP)* - *origine machine (OM)* : c'est la distance que la machine doit additionner pour passer de son origine (OM) à l'origine du programme (OP).

Origines

- “DECALAGE” (dec) : distance vectorielle de l'origine porte-pièce (Opp) à l'origine programme (OP).
- “PREF” (pref) : distance vectorielle de l'intersection des origines mesure de chaque axe qu'on appelle souvent Origine mesure pour simplifier (Om) à l'origine porte-pièce.

Définition des courses et origines

Lorsque la prise d'origine mesure (POM) est effectuée, le système applique les décalages définis par le constructeur sur chacun des axes pour connaître l'origine mesure (OM).

$$\text{Décalage d'origine mesure (Om/OM)} = \text{ORPOM}$$

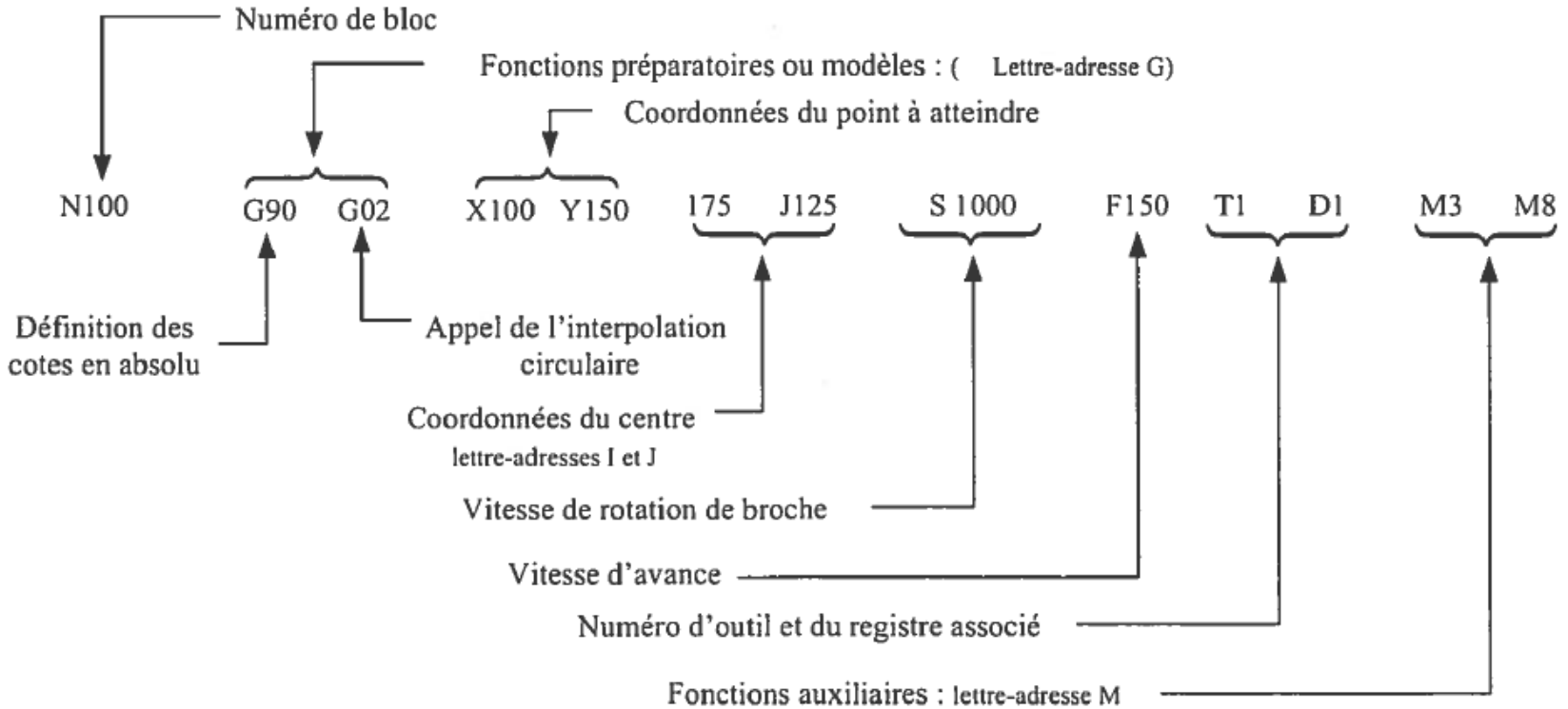
Les courses utiles sur chacun des axes sont limitées par des butées logicielles dont la position est définie par le constructeur.

Langage ISO

Ce langage est spécialement conçu pour contrôler le déplacement des axes, car il fournit des informations et des conditions de déplacement ainsi que des indications sur l'avance. Dispose des types suivants des fonctions.

- Fonctions préparatoires de déplacements, qui permettent de déterminer la géométrie et les conditions de travail telles que les interpolations linéaire et circulaire, les filetages, etc.
- Fonctions de contrôle des avances des axes et des vitesses de broche.
- Fonctions de contrôle des outils. • Fonctions complémentaires, qui contiennent des indications technologiques.

Spécification d'une instruction d'usinage



Spécification du mode de positionnement

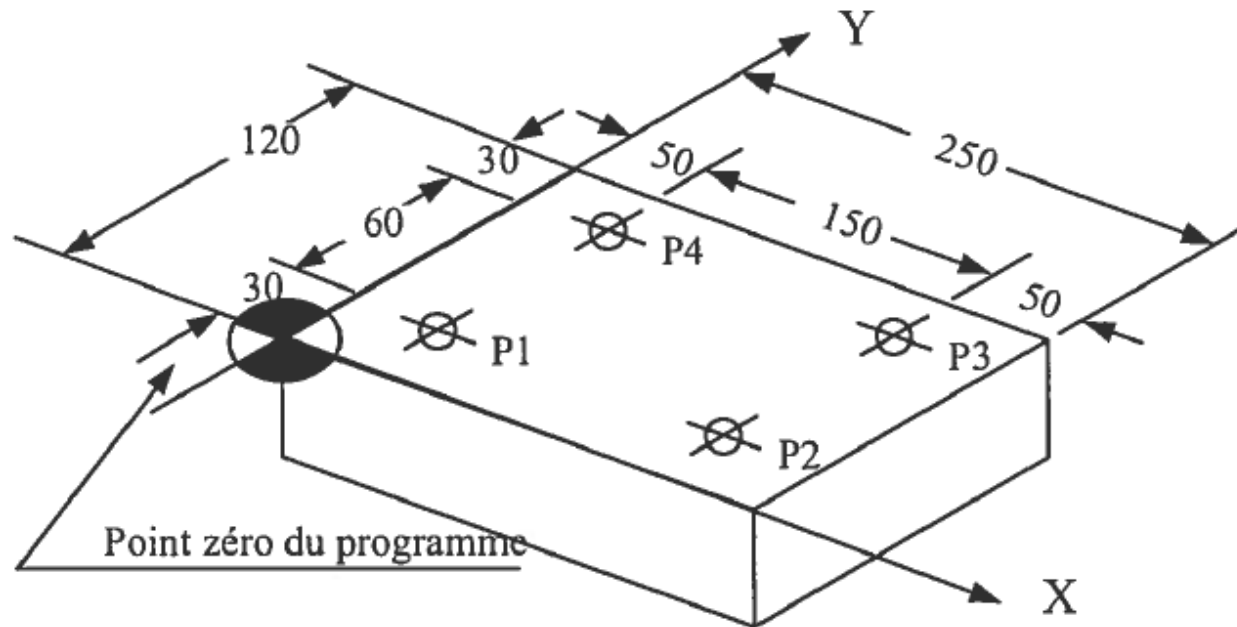
- Il existe deux commandes permettant de spécifier le mode de positionnement de la machine pour tous les mouvements qui vont suivre l'introduction du code.
- G90 commande de spécification des déplacements en mode absolu
- G91 commande de spécification des déplacements en mode relatif (incrémental)

Spécification du mode de positionnement

- Lorsque le mode de positionnement est régie en absolu (G90), les coordonnées des points définissant la trajectoire sont toutes spécifiées relativement au système de référence programme.

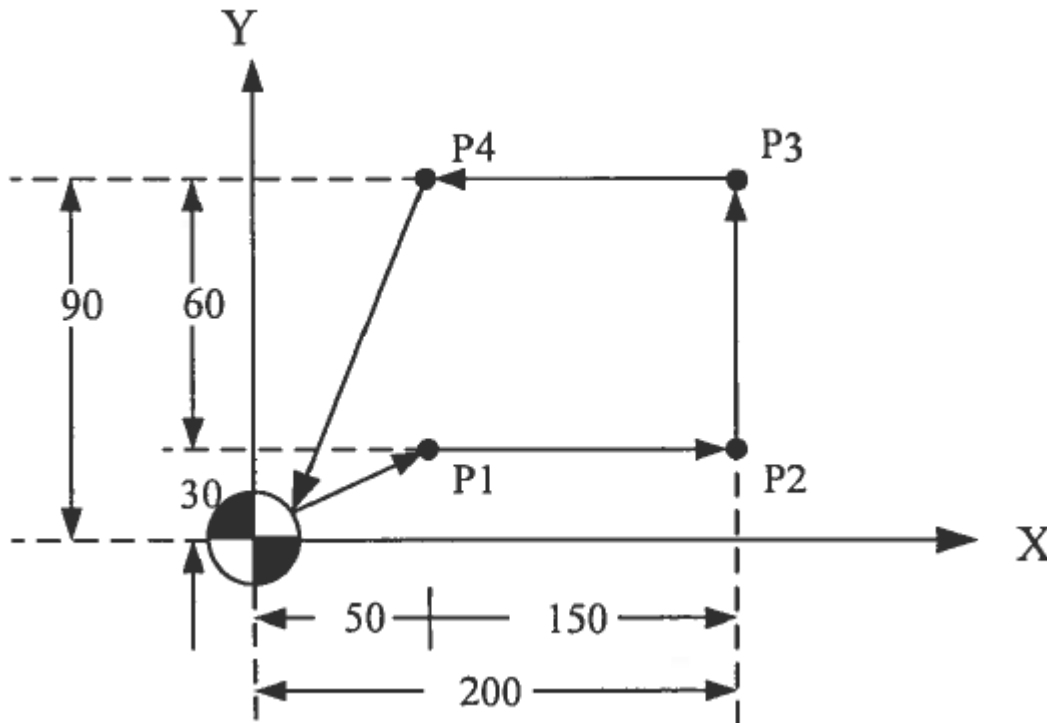
Spécification du mode de positionnement

N1 G90	X50.0	Y30.0	G 90 Déplacement à P1 en absolu
N2	X200.0	Y30.0	Déplacement de P1 à P2
N3	X200.0	Y90.0	Déplacement de P2 à P3
N4	X50.0	Y90.0	Déplacement de P3 à P4
N5	X0	Y0	Déplacement de P4 à l'origine du programme O_p



Mouvements spécifiques en mode absolu G90

N1 G90	X50.0	Y30.0	G 90 Déplacement à P1 en absolu
N2	X200.0	Y30.0	Déplacement de P1 à P2
N3	X200.0	Y90.0	Déplacement de P2 à P3
N4	X50.0	Y90.0	Déplacement de P3 à P4
N5	X0	Y0	Déplacement de P4 à l'origine du programme O _p

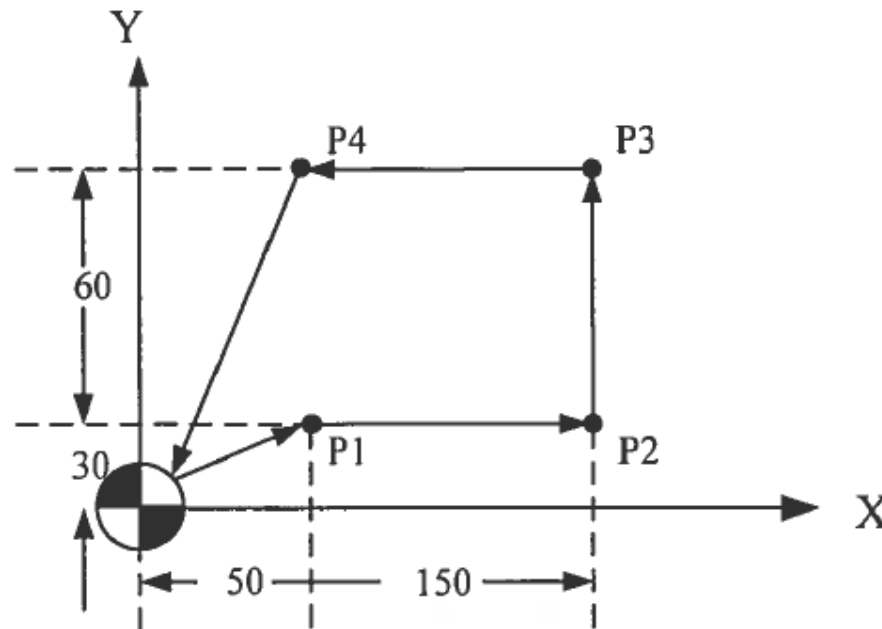


Mouvements spécifiques en mode relatif G91

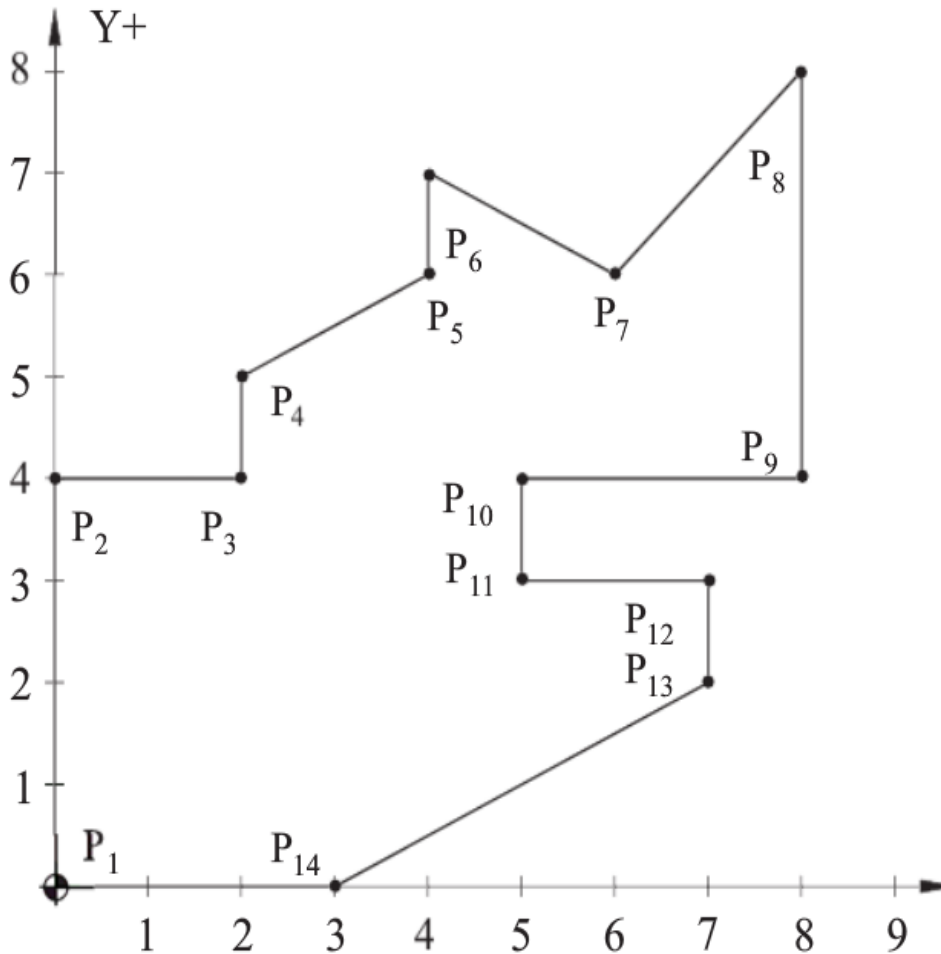
Dans le cas du mode de positionnement relatif ou incrémental, les coordonnées d'un point de la trajectoire à atteindre sont exprimées relativement à la position courante de l'outil

Mouvements spécifiés en mode relatif G91

N1 G91	X50.0	Y30.0	G91 Déplacement à P1 en incrémental
N2	X150.0	Y0	P1 est à la référence Déplacement à P2
N3	X0	Y60.0	P2 est à la référence Déplacement à P3
N4	X-150.0	Y0	P3 est à la référence Déplacement à P4
N5	X-50.0	Y-90.0	P4 est à la référence Déplacement au point de départ



Mode absolu et mode relatif



For G90
ABSOLUTE

For G91
INCREMENTAL

- P1 G90 X0 Y0
- P2 G90 X0 Y4
- P3 G90 X2 Y4
- P4 G90 X2 Y5
- P5 G90 X4 Y6
- P6 G90 X4Y7
- P7 G90 X6 Y6
- P8 G90 X8Y8
- P9 G90 X8 Y4
- P10 G90 X5 Y4
- P11 G90 X5 Y3
- P12 G90 X7 Y3
- P13 G90 X7 Y2
- P14 G90 X3 Y0
- P1 G90 X0 Y0

- P1 G91 X0 Y0
- P2 G91 X0 Y4
- P3 G91 X2 Y0
- P4 G91 X0 Y1
- P5 G91 X2 Y1
- P6 G91 X0 Y1
- P7 G91 X2 Y-1
- P8 G91 X2 Y2
- P9 G91 X0 Y-4
- P10 G91 X-3 Y0
- P11 G91 X0 Y-1
- P12 G91 X2 Y0
- P13 G91 X0 Y-1
- P14 G91 X4Y-2
- P1 G91 X-3 Y0

Spécification du système d'unité

Deux commandes permettent la spécification du système d'unité associé à un programme.

- G20 système d'unités impérial
- G21 système d'unités métrique

L'une ou l'autre de ces commandes modales doit être spécifiée en début de programme et ne doit jamais être changée par la suite.

Spécification du système d'unité

Les codes G20 et G21 affectent notamment les paramètres suivants qui doivent être exprimés dans le système d'unité choisi:

- La vitesse d'avance de l'outil "Feedrate" (F)
- Les données géométriques caractérisant la trajectoire (coordonnées XYZ et rayons de cercle par exemple)
- Les systèmes de référence G54-G59
- Les décalages d'outils en longueur (H) et en rayon (D)

Codes G préparatoires du mouvement

- **Mouvement rapide G00**

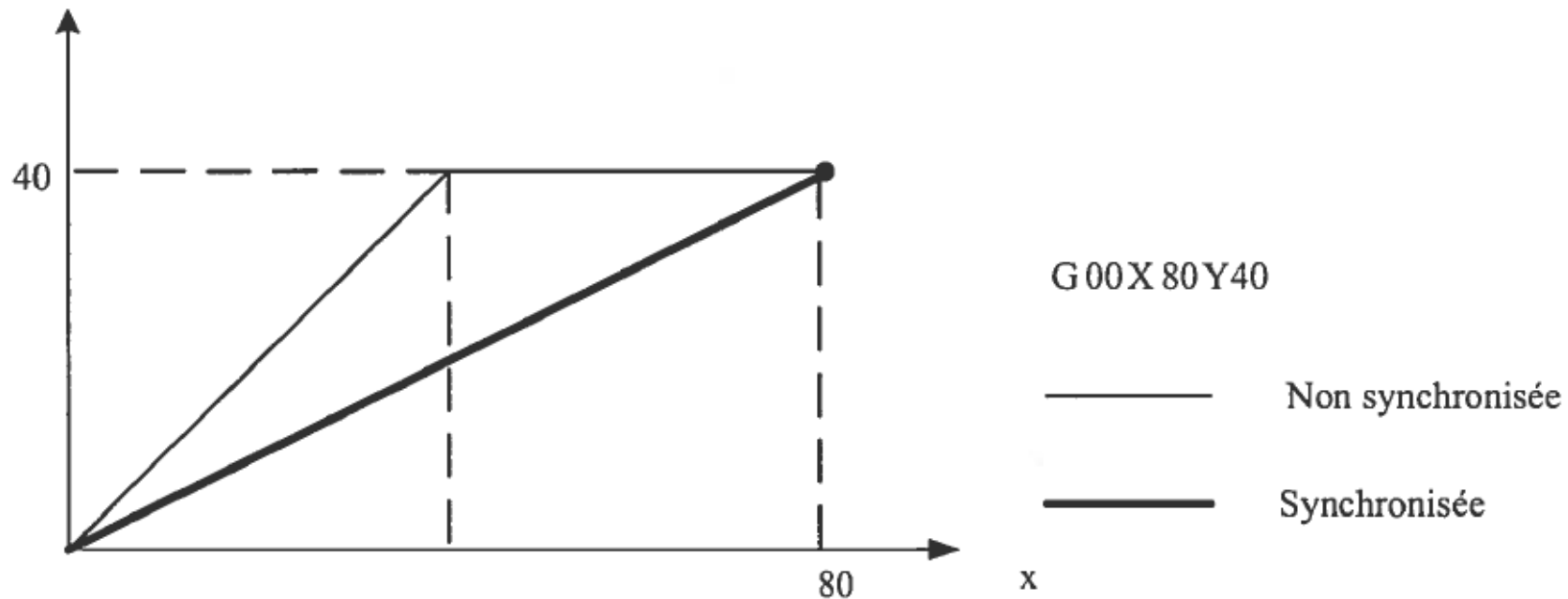
Le code G00 permet le déplacement en vitesse maximale de chacun des axes spécifiés dans ce mode afin d'atteindre la position demandée.

G00 Synchronisé et non synchronisé

Mouvement rapide G00

Le mouvement non synchronise est effectué à la vitesse maximale pour chacun des axes et ce mouvement ne se termine pas en simultanée pour chacun des axes. L'axe au déplacement le plus court sera le premier à terminer son action (sur une base de vitesse maximale identique pour chaque axe). Dans un mouvement synchronise, tous les axes terminent leur déplacement en simultanée. Il est recommandé de privilégier le mouvement rapide synchronise.

Avance rapide synchronisée et non synchronisée

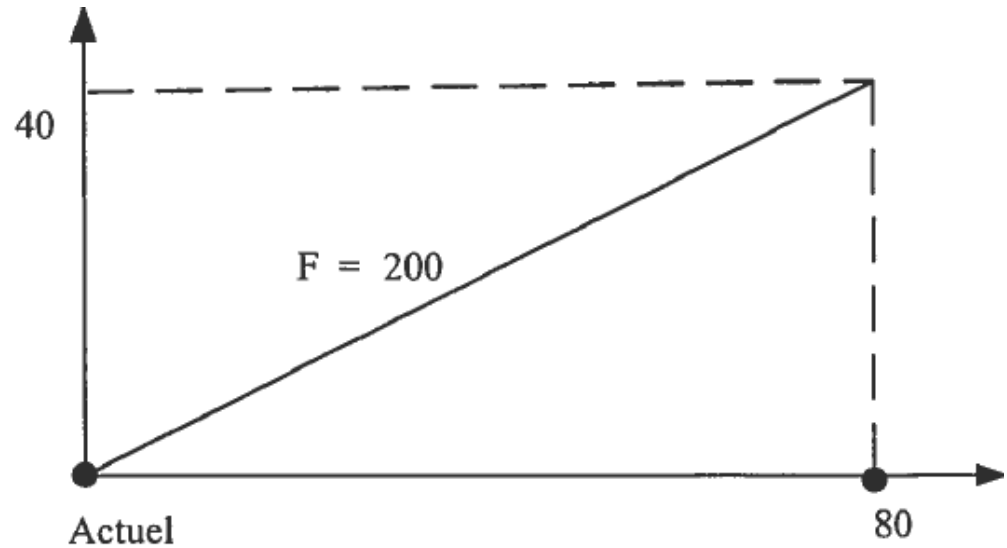


Interpolation linéaire G01

Il s'agit d'un mouvement d'avance linéaire effectué d'un point actuel a un point programme. Les coordonnées du point a atteindre sont spécifiées au bloc courant ainsi qu'aux blocs suivants l'introduction du code d'interpolation G01 (code modal). Ce mouvement s'effectue à la vitesse d'avance programmée par l'intermédiaire du mot «F» (feedrate). Ce mouvement étant synchronisé, la composante de la vitesse selon chacun des axes se traduit proportionnellement aux distances individuelles parcourues.

Vitesse d'avance

G01 X80 Y40 F200;



$$L = \sqrt{40^2 + 80^2}$$

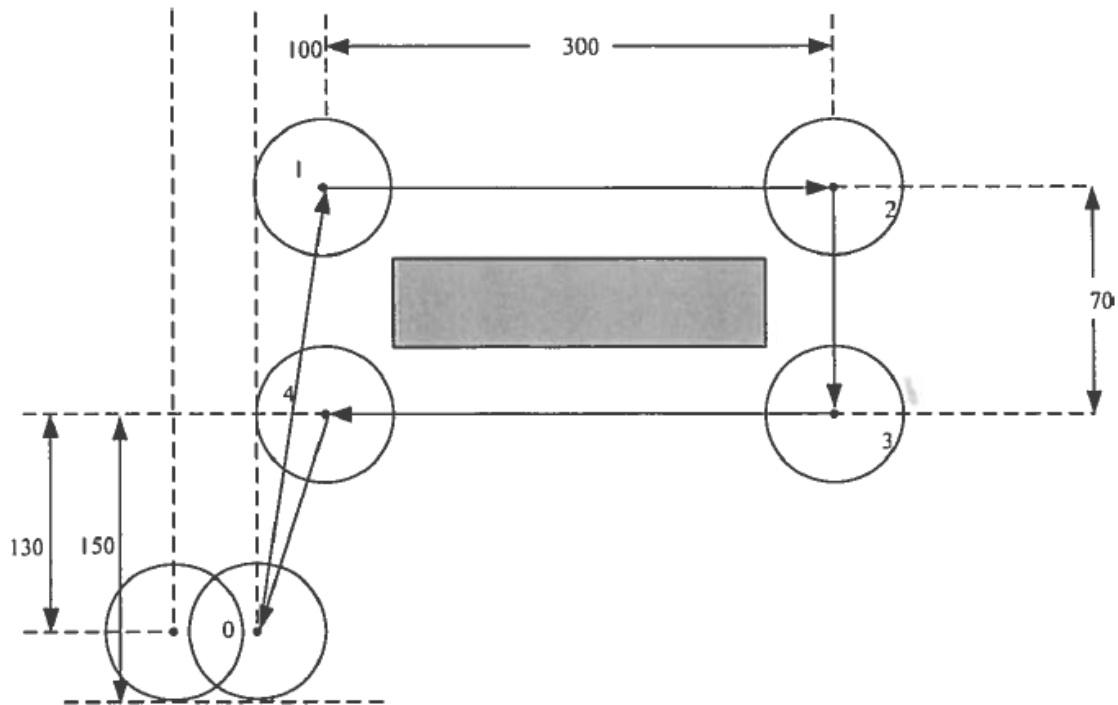
Composante de la vitesse selon x :

$$F_x = \frac{80}{L} \cdot 200$$

Composante de la vitesse selon y :

$$F_y = \frac{40}{L} \cdot 200$$

Exemple



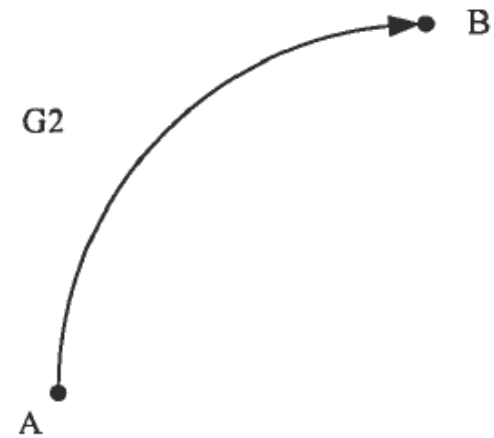
0 → 1	G91 G00 X100 Y200;
1 → 2	G01 X300 F300;
2 → 3	G00 Y-70;
3 → 4	G01 X-300 F70;
4 → 0	G00 X-100 Y-130;

Interpolation circulaire G02, G03

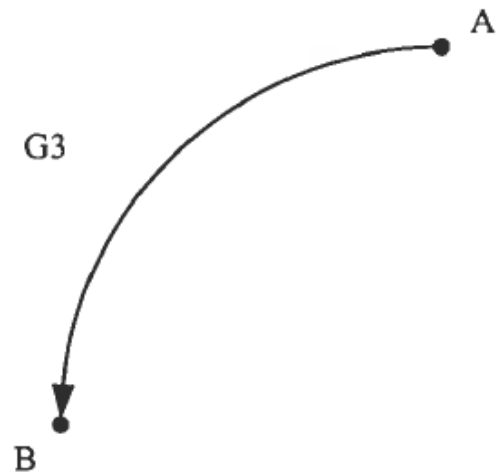
Il s'agit d'un mouvement d'avance circulaire effectué d'une position actuelle à un point programmé. Les coordonnées du point à atteindre ainsi que le rayon de l'arc, ou la position du centre, sont spécifiées au bloc courant ainsi qu'aux blocs suivants l'introduction du code d'interpolation circulaire de type modal. Ce mouvement s'effectue à la vitesse d'avance programmée par l'intermédiaire du mot « F ». Le code G02 décrit une trajectoire en sens horaire tandis que le G03 traduit un mouvement anti-horaire.

Interpolation circulaire G02, G03

G02 : sens de rotation horaire



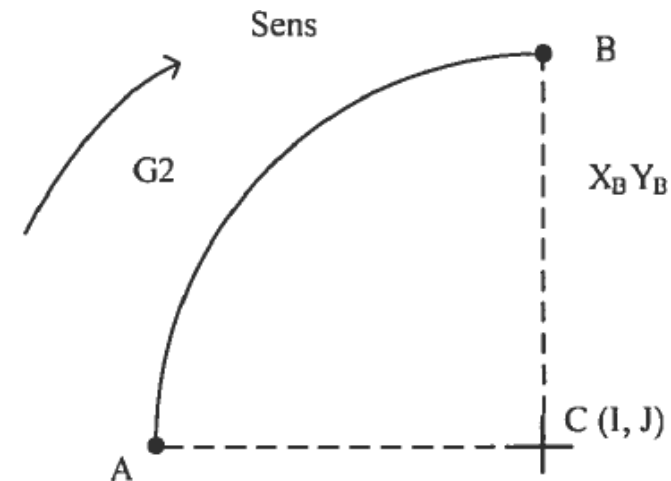
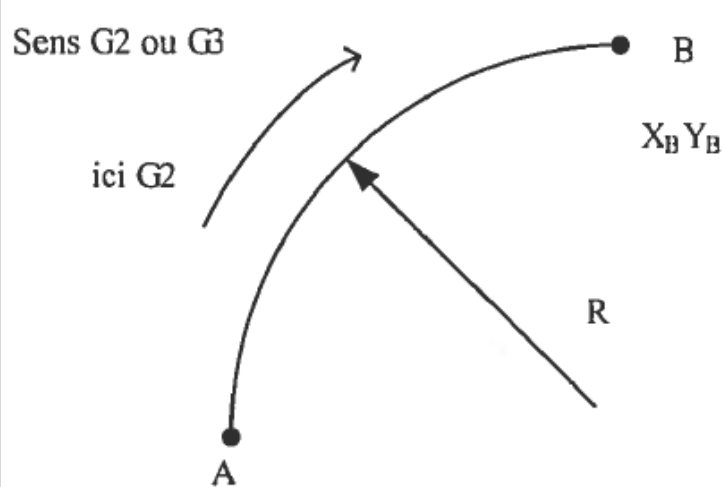
G03 : sens anti-horaire



Interpolation circulaire G02, G03

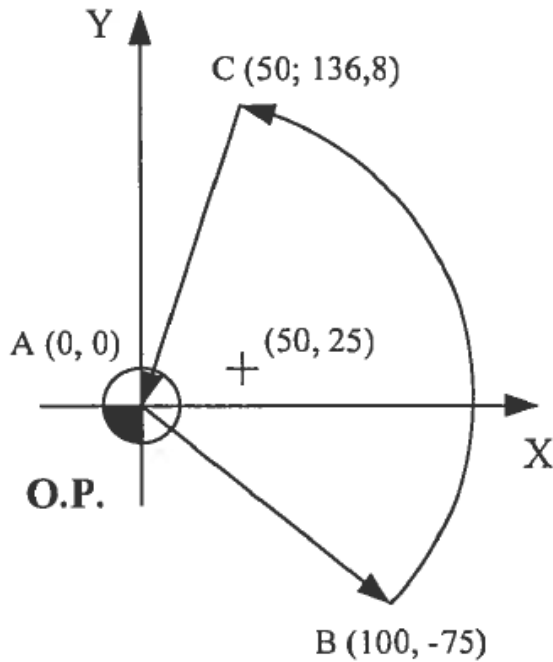
Les paramètres à spécifier lors de l'introduction du code G02 ou G03 sont les suivants:

- Les coordonnées du point à atteindre, accompagnant les mots X, Y et Z
- Le rayon de l'arc de cercle OU les coordonnées du centre de l'arc accompagnant les mots I, J, et K



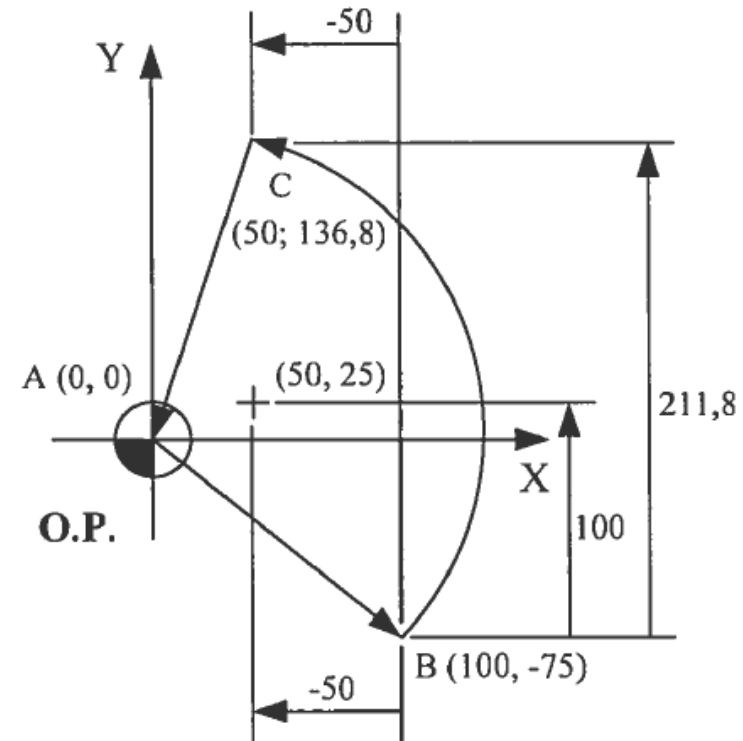
A : point défini dans le bloc précédent

Interpolation circulaire en absolu et en relatif



```
N10 G90 G17 G0 X0 Y0
N15 G1 X100 Y-75
N20 G3 X50 Y136.8 150 J25
N25 G1 X0 Y0
```

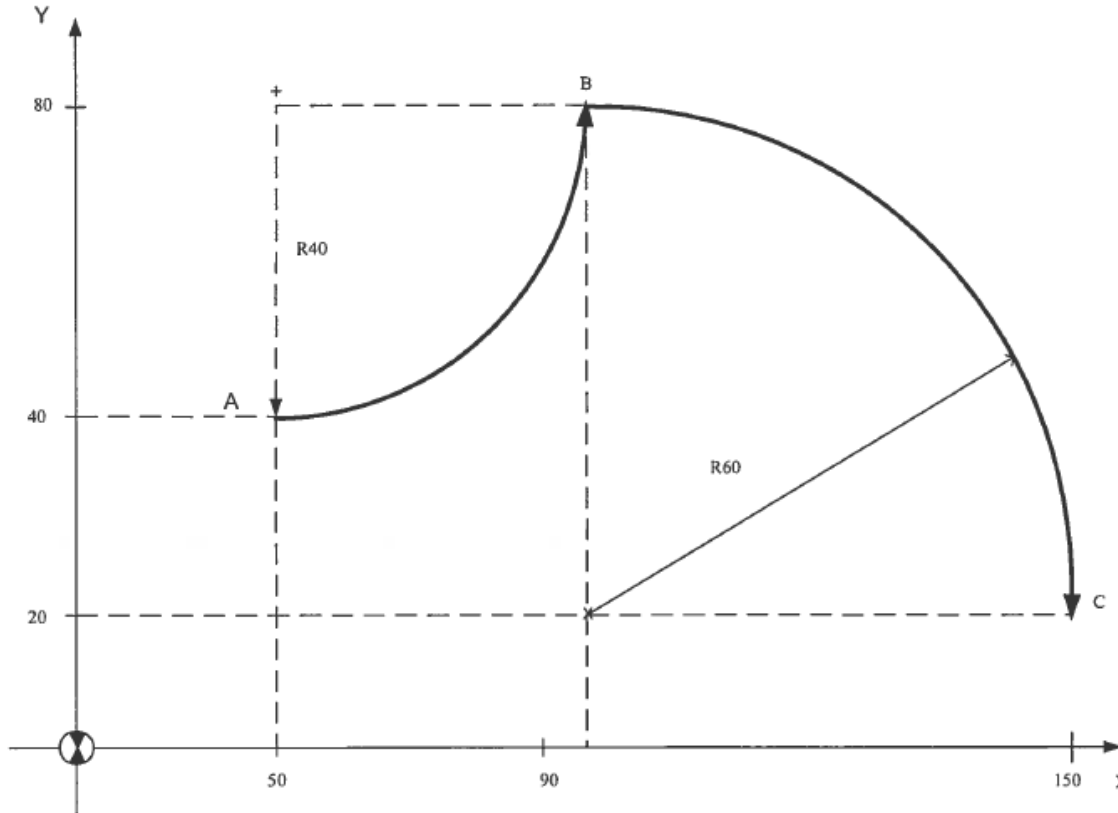
cercle défini en absolu



```
N10 G90 G17 G0 X0 Y0
N15 G1 X100 Y-75
N20 G91 G3 X-50 Y211.8 I-50 J100
N25 G90 G1 X0 Y0
```

cercle défini en relatif /B

Interpolation circulaire



MÉTHODE R

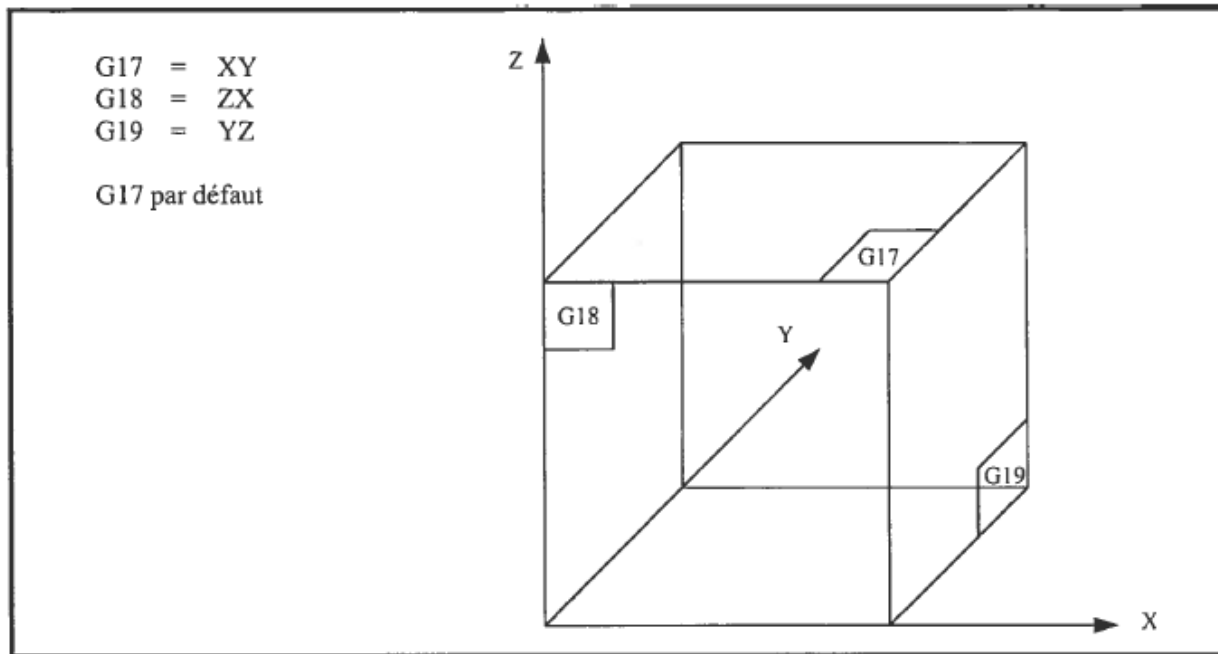
A → B G90 G03 X90 Y80 RY0 F300 ;
 B → C G02 X150 Y20 R60 F301;
 A → B G91 G03 X 40Y40R40 F300;
 B → C G91 G02 X 60Y - 60R60 F301

MÉTHODE I, J, K

G90 G03 X 90 Y80 I0 J40 F300
 G02 X 150 Y20 I0J-60 F301
 G91 G03 X 40Y40 I0J40 F300
 G91 G02 X 60Y-60 I0J-60 F301

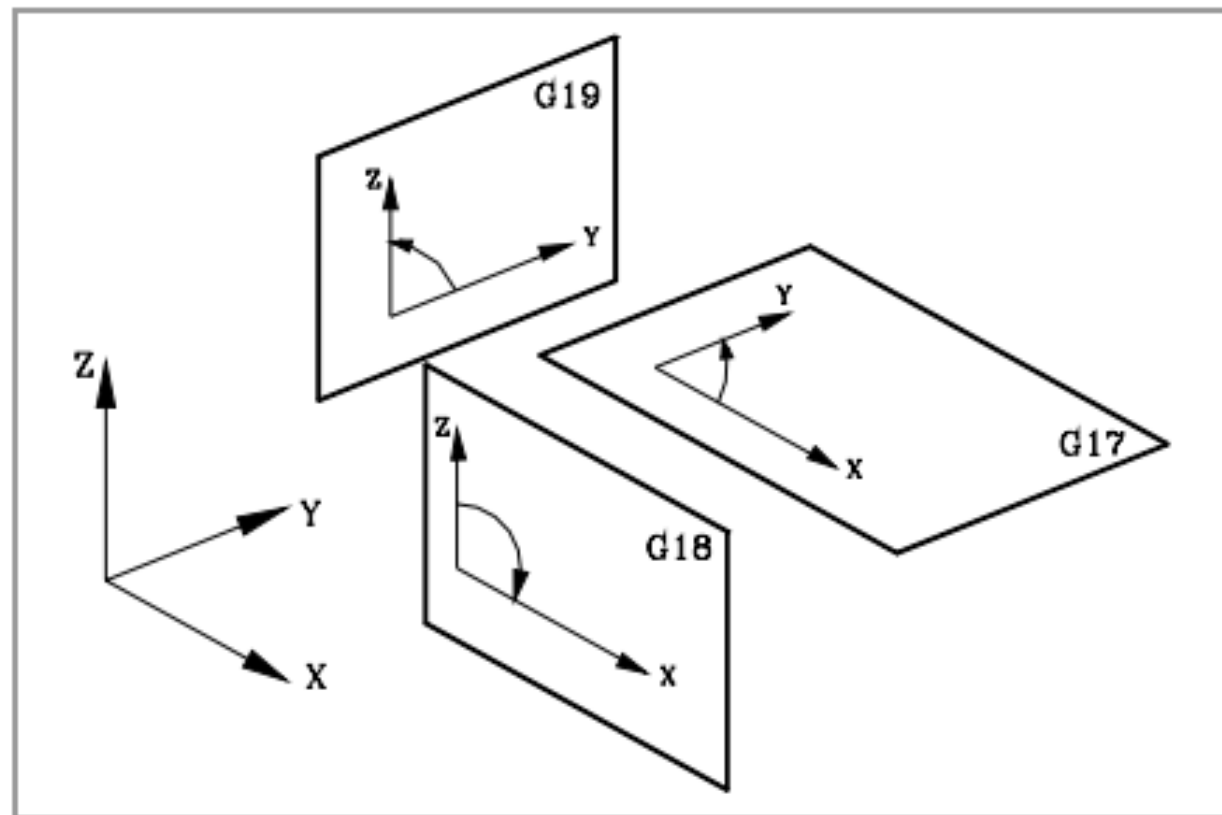
Plans d'interpolation

La spécification de l'interpolation circulaire étant dans un plan, ce plan d'interpolation doit donc être sélectionné avant l'activation de la commande. Les trois plans XY, ZX et YZ sont respectivement activés par le biais des codes G17, G18 et G19. Par défaut tous les contrôleurs travaillent dans le plan XY (G17). Ces codes sont de type modal.



Plans d'interpolation

Les fonctions G16, G17, G18 et G19 sont modales et incompatibles entre elles, la fonction G16 devant être programmée seule dans un bloc.



Les fonctions G17, G18 et G19 définissent deux des trois axes principaux X, Y, Z, comme appartenant au plan de travail, et le troisième comme axe perpendiculaire au plan de travail.

Principales fonctions préparatoires

Les fonctions préparatoires sont programmées avec la lettre G suivie d'un maximum de trois chiffres (G0 - G319). Elles sont toujours programmées au début du corps du bloc et permettent de déterminer la géométrie et les conditions de travail de la CNC.

Fonction	M	D	V	Signification
G00	*	?	*	Positionnement rapide
G01	*	?	*	Interpolation linéaire
G02	*		*	Interpolation circulaire (hélicoïdale) à droite
G03	*		*	Interpolation circulaire (hélicoïdale) à gauche
G04				Temporisation/Suspension de la préparation de blocs
G05	*	?	*	Arête arrondie
G06			*	Centre de circonférence en coordonnées absolues
G07	*	?		Arête vive
G08			*	Circonférence tangente à la trajectoire antérieure
G09			*	Circonférence par trois points
G10	*	*		Annulation d'image miroir
G11	*		*	Image miroir sur X
G12	*		*	Image miroir sur Y
G13	*		*	Image miroir sur Z
G14	*		*	Image miroir dans les directions programmées
G15	*		*	Sélection de l'axe longitudinal
G16	*		*	Sélection plan principal par deux directions et axe longitudinal
G17	*	?	*	Plan principal X-Y et longitudinal Z
G18	*	?	*	Plan principal Z-X et longitudinal Y
G19	*		*	Plan principal Y-Z et longitudinal X
G20				Définition des limites inférieures des zones de travail
G21				Définition des limites supérieures des zones de travail
G22			*	Validation/invalidation des zones de travail
G23			*	Activation de la copie
G24			*	Activation de la numérisation

G25			Désactivation de la copie / numérisation
G26		*	Étalonnage de la sonde de copie
G27			Définition du contour de la copie
G28	*		Sélectionne la seconde broche
G29	*	*	Sélectionne la broche principale
G28-G29			Commutation d'axes
G30	*		Synchronisation de broches (déphasage)
G32	*		Avance F comme fonction inverse du temps
G33	*		Filetage électronique
G34			Filetage à pas variable
G36			Arrondissement d'arêtes
G37			Entrée tangentielle
G38			Entrée tangentielle
G39			Chanfreinage
G40	*	*	Annulation de compensation radiale
G41	*		Compensation radiale d'outil à gauche
G41 N	*		Détection de collisions
G42	*		Compensation radiale d'outil à droite
G42 N	*		Détection de collisions
G43	*	?	Compensation longitudinale
G44	*	?	Annulation de compensation longitudinale
G45	*		Contrôle tangentiel (G45)
G47			Déplacer l'outil suivant le système de coordonnées de l'outil
G48	*		Transformation TCP
G49	*		Définition du plan incliné
G50	*		Arête arrondie commandée

Fonction	M	D	V	Signification
G51	*		*	Look-Ahead
G52			*	Déplacement vers butée
G53			*	Programmation par rapport au zéro machine
G54	*		*	Transfert d'origine absolu 1
G55	*		*	Transfert d'origine absolu 2
G56	*		*	Transfert d'origine absolu 3
G57	*		*	Transfert d'origine absolu 4
G58	*		*	Décalage d'origine additionnel 1
G59	*		*	Décalage d'origine additionnel 2
G60			*	Usinage multiple en ligne droite
G61			*	Usinage multiple formant un parallélogramme
G62			*	Usinage multi-pièces en grille
G63			*	Usinage multiple formant une circonférence
G64			*	Usinage multiple formant un arc
G65			*	Usinage programmé par corde d'arc
G66			*	Cycle fixe de poches avec îlots
G67			*	Opération d'ébauche de poches avec îlots
G68			*	Opération de finition de poches avec îlots
G69	*		*	Cycle fixe de perçage profond à pas variable
G70	*	?	*	Programmation en pouces
G71	*	?	*	Programmation en millimètres
G72	*		*	Facteurs d'échelle général et particulier
G73	*		*	Rotation du système de coordonnées
G74			*	Recherche de référence machine
G75			*	Déplacement avec palpeur jusqu'au contact
G76			*	Déplacement avec palpeur jusqu'à l'interruption du contact
G77	*		*	Accouplement électronique d'axes
G77S	*		*	Synchronisation de broches

G78	*	*	Annulation du couplage électronique
G78S	*	*	Annulation de la synchronisation de broches
G79			Modification des paramètres d'un cycle fixe
G80	*	*	Annulation de cycle fixe
G81	*	*	Cycle fixe de perçage
G82	*	*	Cycle fixe de perçage avec temporisation
G83	*	*	Cycle fixe de perçage profond avec pas constant
G84	*	*	Cycle fixe de taraudage
G85	*	*	Cycle fixe d'alesage
G86	*	*	Cycle fixe d'alésage à mandrin en tirant en G00
G87	*	*	Cycle fixe de poche rectangulaire
G88	*	*	Cycle fixe de poche circulaire
G89	*	*	Cycle fixe d'alésage à mandrin en tirant en G01
G90	*	?	Programmation absolue
G91	*	?	Programmation incrémentale
G92			Présélection de coordonnées / Limitation de vitesse de broche
G93			Présélection de l'origine polaire
G94	*	?	Avance en millimètres (pouces) par minute
G95	*	?	Avance en millimètres (pouces) par tour
G96	*	*	Vitesse constante de surface de coupe
G97	*	*	Vitesse constante du centre de l'outil
G98	*	*	Retour au plan initial à la fin du cycle fixe
G99	*	*	Retour au plan de référence à la fin du cycle fixe
G145	*	*	Désactivation temporaire du contrôle tangentiel
G159	*		Décalages d'origine absolus
G210	*	*	Cycle fixe de fraisage de perçage.
G211	*	*	Cycle fixe de fraisage de filet intérieur.
G212	*	*	Cycle fixe de fraisage de filet extérieur.

Spécification de la vitesse d'avance

Avance par minute G94

G94 G01 X_Y_Z_F20;

F pouce/min (inch/min)
 mm/min

Avance par rotation G95

G95 G01 X_Y_Z_F1.2;

F pouce/rev.
 mm/rev.

Avance en temps inverse G93

G93 G91 G01 X100. F5.;
 Y50.F10.;

Calcul de l'avance :

a) interpolation linéaire G01

$$F = \frac{\text{vitesse (po/min)}}{\text{distance po}}$$

$$\text{distance} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$$

b) interpolation circulaire (G02, G03)

$$F = \frac{\text{vitesse}}{\text{distance circonférentielle}} \frac{\text{mm/min}}{\text{mm}}$$

Pourquoi l'avance en temps inverse?

La vitesse d'avance est la résultante des vitesses de chaque axe, linéaire ou rotatif (sans aucune distinction). Lorsqu'un axe rotatif est commandé, il est considéré comme un axe linéaire avec des unités en degrés. Une compensation linéaire est effectuée, ce qui fausse la vitesse atteinte.

Exemple 1.3 : Pour une vitesse d'avance à la pointe d'outil égale à 500 mm/min et un déplacement de 100 mm, l'avance en temps inverse est calculée comme suit :

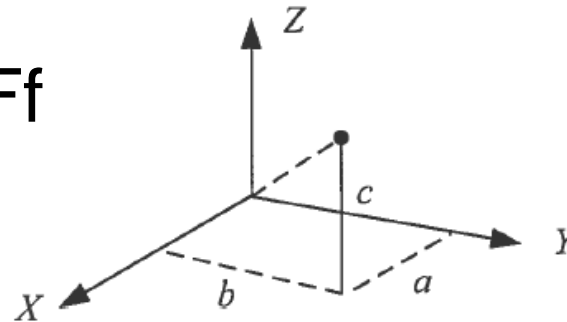
$$\left(F = \frac{500 \text{ mm/min}}{100} = 5 \right)$$

G93 G91 G01 X 100 F5

La vitesse d'avance F doit être spécifiée à chaque instruction.

Avance en temps inverse

G01 G91 Xa Yb Zc Ff



Selon x $F_x = \frac{a \cdot f}{L}$

Selon y $F_y = \frac{b \cdot f}{L}$

Selon z $F_z = \frac{c \cdot f}{L}$

$$L = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$$

$$\begin{aligned} F &= \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \\ &= \sqrt{\frac{a^2 f^2}{L^2} + \frac{b^2 f^2}{L^2} + \frac{c^2 f^2}{L^2}} \\ F &= f \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2}{a^2 + b^2 + c^2}} = f \end{aligned}$$

Avance en temps inverse

G01G91 X100. C90 F200 ;

Avance selon l'axe rotatif

$$F_c = \frac{90 \cdot 200}{L}$$
$$F_x = \frac{100 \cdot 200}{L}$$
$$L = \sqrt{100^2 + 90^2}$$

Exemple:

Dans une machine à axes X Y linéaires et à axe C rotatif situés tous au point X0 Y0 C0, le déplacement suivant est programmé:

```
G1 G90 X100 Y20 C270 F10000
```

On a:

$$F_x = \frac{F \cdot \Delta x}{\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta c)^2}} = \frac{10000 \times 100}{\sqrt{100^2 + 20^2 + 270^2}} = 3464,7946$$

$$F_y = \frac{F \cdot \Delta y}{\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta c)^2}} = \frac{10000 \times 20}{\sqrt{100^2 + 20^2 + 270^2}} = 692,9589$$

$$F_c = \frac{F \cdot \Delta c}{\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta c)^2}} = \frac{10000 \times 270}{\sqrt{100^2 + 20^2 + 270^2}} = 9354,9455$$

La fonction G94 est modale, c'est-à-dire que dès qu'elle est programmée, elle reste active jusqu'à la programmation de G95.

A la mise sous tension, après exécution de M02, M30 ou après un ARRÊT D'URGENCE ou une RAZ, la CNC prend en compte la fonction G94 ou G95 selon la personnalisation du paramètre machine général "IFEED".

Les fonctions auxiliaires (codes M)

Les fonctions auxiliaires permettent l'activation de différentes options épuisant la machine. La liste suivante présente les codes disponibles avec la machine-outil Hitachi Seiki.

M0	arrêt machine (stop)
M01	arrêt optionnel (optional stop)
M03	broche sens horaire (CW spindl ON)
M04	broche sens anti horaire (CCW spindl ON)
M05	arrêt broche (stop spindl)
M06	changement d'outil automatique (auto tool change sequence)
M08	fluide en jet (flood coolnt)
M09	arrêt fluide (stop coolnt)
M19	arrêt broche et orientation (stop spindl and orient)
M50	fluide à travers la broche (THRU coolnt)
M30	Fin de programme et rebobinage (End and rewind)
M02	Fin de programme (end of program)
M68	autoblocage axe B (B axis CLAMP ON)
M69	arrêt autoblocage axe B (B axis CLAMP off)
M78	autoblocage axe A (A axis CLAMP ON)
M79	arrêt autoblocage axe A (A axis CLAMP off)
M99	Retour d'un sous-programme (ENDSUB)
G65	Appel d'un sous-programme (CALSUB)