

Leçon 1

PLAN DE LA LECON

Titre: Généralités sur les machines outils à commande numérique

Objectifs spécifiques :

A la fin de cette leçon l'étudiant devra être capable de :

- ✓ Présenter l'évolution historique des machines outils
- ✓ Définir un système de production automatisé
- ✓ Présenter des machines à commandes numériques

Méthodologie :

Exposé informel

Pré acquis :

- Outil informatique,
- Notion de gamme de fabrication et contrat de phase,
- Lecture d'un dessin de définition,
- Machines conventionnelles.

Moyens :

- Tableau,
- Vidéo projecteur,
- Visite des machines de l'ISET.

Bibliographie :

- Memotech productique,
- Guide du technicien en productique,
- Memotech commande numérique.

GENERALITES SUR LES MACHINES-OUTILS À COMMANDE NUMERIQUE

I. Introduction :

La machine outil et son évolution actuelle, la machine outil à commande numérique représentent encore le moyen de production le plus important des pièces mécaniques. De part l'avancée des techniques, la machine outil a subi des modifications, et le couple outil machine-outil s'est adapté aux exigences de productivité modernes. Une Machine Outil à Commande Numérique (MOCN) est une machine d'usinage à cycle automatique programmable.

II. Historique de la Commande Numérique :

En **1947**, dans l'État du Michigan, John Parsons fabrique pour le compte de l'US Air Force des pales d'hélicoptère par reproduction. Pour façonner ses gabarits, il utilise une méthode consistant à percer plusieurs centaines de trous faiblement espacés de manière à approcher le profil théorique. Mais, lorsque l'US Air Force confie à ce même Parsons la réalisation de pièces de formes encore plus complexes pour ses futurs avions supersoniques, celui-ci réalise que sa méthode est trop approximative et que seul un usinage continu en 3 dimensions sera en mesure de donner satisfaction.

Au printemps **1949**, il confie alors au **Massachusetts Institute of Technology (MIT)** le soin de développer des asservissements capables de piloter une machine qui recevra des instructions intermittentes à partir d'un lecteur de cartes.

Cette machine, une fraiseuse prototype Cincinnati à broche verticale (figure :1), conçue pour exécuter des déplacements simultanés suivant 3 axes, est officiellement présentée en septembre **1952** dans le Servomechanisms Laboratory du MIT. L'information mathématique étant la base du concept, on lui donne le nom de numerical control.

Il faut encore attendre quelques années de vastes fonds de l'US Air Force et l'appui des chercheurs du MIT pour rendre la première MOCN réellement opérationnelle. Les différentes étapes de développement de la CN sont les suivantes.

- **1954** : Bendix acquiert le brevet de Parsons et fabrique la première CN industrielle
- **1955** : à Font du Lac (Wisconsin), le constructeur américain Giddins & Lewis commercialise la première MOCN.
- **1959** : apparition de la CN en Europe (foire de Hanovre).
- **1964** : en France, la Télémécanique Électrique lance la CN NUM 100 conçue à base de relais Téléstatic.
- **1968** : la CN adopte les circuits intégrés ; elle devient plus compacte et plus puissante.
- **1972** : les mini-calculateurs remplacent les logiques câblées ; la CN devient CNC.
- **1976** développements des CN à microprocesseurs.
- **1984** : apparition de fonctions graphiques évoluées et du mode de programmation conversationnel.
- **1986** : les CN s'intègrent dans les réseaux de communication, début de l'ère de la fabrication flexible (CIM).
- **1990** : développement des CN à microprocesseurs 32 bits.

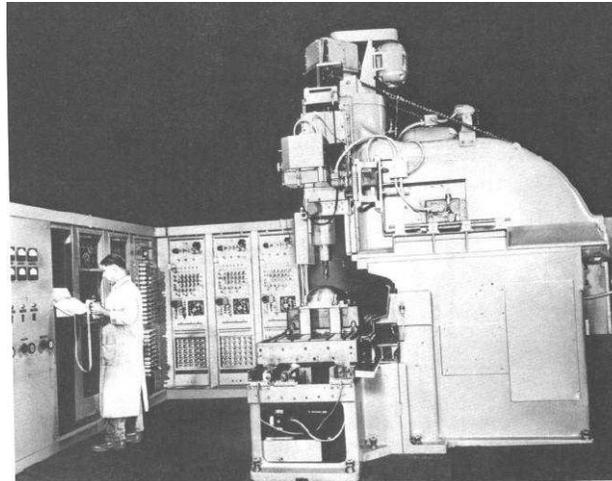


Figure 1 – Première MOCN en 1952

III. Justification de la CN

III.1. Automaticité

Le premier avantage d'une CN est d'offrir aux machines qui en sont équipées un **très haut niveau d'automaticité**. Sur de telles machines, l'intervention de l'opérateur nécessaire pour assurer la production de pièces peut être considérablement réduite voire supprimée.

De nombreuses MOCN peuvent ainsi fonctionner sans aucune assistance pendant toute la durée de leur cycle d'usinage, laissant l'opérateur libre d'accomplir d'autres tâches en dehors du poste de travail. Cette caractéristique présente un certain nombre d'avantages importants, tels que

- une diminution notable de la fatigue de l'opérateur
- moins d'erreurs d'origine humaine
- un temps d'usinage constant et prévisible pour chaque pièce d'une même série.

III.2. Flexibilité

Puisqu'elles sont pilotées à partir d'un programme, les MOCN peuvent usiner des pièces différentes aussi facilement que l'on charge un nouveau programme. Une fois vérifié puis exécuté pour la première série, ce programme peut être facilement rappelé lorsque la même série se représente.

Une MOCN se caractérise en outre par des **temps de réglage très courts** qui répondent parfaitement aux impératifs de la production en flux tendus.

La **grande souplesse d'utilisation** de la CN entraîne une quantité non négligeable d'autres avantages :

- changement aisé du programme d'usinage des pièces ;
- réduction des en-cours de fabrication ;
- réduction des outillages et suppression des gabarits ;
- diminution du nombre des outils spéciaux et des outils de forme ;
- réduction des temps de préparation et de réglage du poste de travail (la plupart des réglages, en particulier des outils, étant effectués hors machine) ;
- prise en compte rapide des modifications d'usinage (il est plus facile de modifier une ligne de programme qu'un outillage spécial ou un gabarit) ;

- définition plus rapide et plus fiable des conditions optimales d'usinage ;
- réduction du nombre de prises de pièces du fait de l'universalité de la machine ;
- diminution du temps d'attente entre les diverses machines d'usinage d'un atelier ;
- gain sur les surfaces au sol occupées dans l'atelier ;
- possibilité de réaliser des pièces complexes en gérant des déplacements simultanés sur plusieurs axes;
- contrôle automatique des outils et des dimensions de pièces avec prise en compte par la CN des corrections à effectuer.
- prise en compte rapide des modifications d'usinage (il est plus facile de modifier une ligne de programme qu'un outillage spécial ou un gabarit) ;
- définition plus rapide et plus fiable des conditions optimales d'usinage ;
- réduction du nombre de prises de pièces du fait de l'universalité de la machine ;
- diminution du temps d'attente entre les diverses machines d'usinage d'un atelier ;
- gain sur les surfaces au sol occupées dans l'atelier ;
- possibilité de réaliser des pièces complexes en gérant des déplacements simultanés sur plusieurs axes;
- contrôle automatique des outils et des dimensions de pièces avec prise en compte par la CN des corrections à effectuer.

III.3. Sécurité

La CN a beaucoup contribué à améliorer la sécurité des machines :

- en premier lieu, parce qu'elle connaît très précisément l'enveloppe de travail dans laquelle doivent évoluer les outils (possibilité de mémorisation des courses maximales des organes mobiles) ;
- ensuite, parce qu'elle permet une simulation graphique hors usinage des programmes nouvellement créés pour vérification et détection des risques éventuels de collision ;
- enfin, parce qu'en exerçant une surveillance permanente de l'usinage en cours, elle peut décider d'en interrompre le déroulement et d'alerter l'opérateur en cas d'incident.
- Les constructeurs prévoient des dispositifs de protection très élaborés (contre les projections de copeaux ou de liquide d'arrosage, notamment) qui ne s'imposent pas nécessairement sur une MO conventionnelle.

III.4. Nécessités économiques et techniques

Symbole de précision, de répétabilité, de fiabilité et de flexibilité, qualités primordiales dans une économie de marché où les produits se caractérisent en termes de prix, de qualité et de délai de mise à disposition, la CN se montre économiquement intéressante pour produire à l'unité ou en série toutes les sortes de pièces, même les plus simples .

Une fois vérifié et validé, un programme assure la réalisation de 2, 10 ou 1 000 pièces identiques avec la même régularité de précision et la même qualité d'usinage, sans que l'habileté de l'opérateur n'intervienne.

Il convient, en outre, de souligner que la CN ouvre de nouvelles perspectives en permettant la définition de pièces complexes qu'il est pratiquement impossible de concevoir et de fabriquer sur des MO conventionnelles.

IV. Comparaison entre MO conventionnelles et MOCN :

Si l'on compare une MO conventionnelle et une MOCN, on peut considérer que le temps copeau est assez voisin sur les deux types de machines. En revanche, la productivité comparée de diverses catégories de machines de niveaux d'automatisation différents, c'est-à-dire ce même temps copeau ramené au temps effectif de production, est très différent compte tenu de la réduction importante des temps non productifs que l'on enregistre sur les machines à fort taux d'automatisation (figure2).

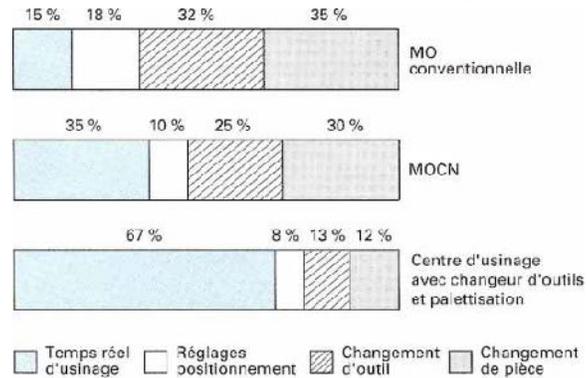


Figure 2 – Productivité comparée de diverses machines en fonction de leur degré d'automatisation

Les fonctions remplies sont les mêmes que pour une machine conventionnelle :

- Positionner et maintenir la pièce ;
- Positionner et maintenir l'outil ;
- Assurer un mouvement relatif entre la pièce et l'outil ;

La qualité mécanique générale de ces machines est beaucoup supérieure aux MO conventionnelles :

- Motorisation plus puissante,
- Chaîne cinématique plus simple et plus robuste à variation continue capable d'encaisser des accélérations et décélérations importantes,
- Commande des chariots par vis à bille avec système automatique de rattrapage du jeu,
- Glissière sans frottement, utilisation de glissières à galets, à billes, hydrostatiques, aérostatiques, les garnitures sont rapportées,
- Bâtis largement dimensionnés, très rigides avec un excellent amortissement.

Les principales caractéristiques des MOCN découlant de leur structure sont :

- Puissance et vitesse élevées ;
- Robuste et bonne résistance à l'usure
- Déplacement rapide, précis, sans saccade,
- Accélération et décélération très élevées ;
- Spécifications métrologiques très serrées ;
- Frottement et jeu très faibles :
- Peu de vibration :
- Faible échauffement.

Dans le tableau ci-dessous, on cite quelques différences entre machines outils conventionnelles MO et machines outils à commandes numériques MOCN.

Coûts		MOCN	MO	Commentaires
Usinage	Machine	↑	↓	Coût horaire MOCN supérieur de 50% à 300%
	Matière	↔	↔	
	Outil	↑	↓	Généralement meilleur outil sur MOCN
	Montage démontage pièce	↔	↔	
	Contrôle	↓	↑	Par échantillonnage en MOCN
	Autres	↔	↔	
Réglage	Préparation machine	↓	↑	Presque rien ou par programme sur MOCN
	Réglage outil	↔	↔	Peut-être plus simple en MOCN
	Usinage première pièce	↑	↓	Pas à pas sur MOCN
	Contrôle et ajustement	↓	↑	Ajustement numérique sur MOCN
Méthodes	Analyse du dessin	↔	↔	
	Gamme d'usinage	↔	↔	
	Outils et paramètres de coupe	↔	↔	
	Définition des trajectoires	↑	□	
	Rédaction du programme	↑	□	
	Test et vérification	↑	□	

Tableau1 – quelques différences entre MO et MOCN

V. Domaines d'utilisation

Les MOCN sont employées dans de nombreux secteurs industriels (Métallurgie, Bois, Textile). Elle est aussi associée à de nouvelles technologies de façonnage (Laser, Électro-érosion, Jet d'eau).

Les principaux procédés de fabrication sont concernés :

- Perçage, taraudage
- Tournage, alésage
- Fraisage
- Rectification
- Oxycoupage, soudure en continu, par points
- Poinçonnage, cisailage



Coupeur à commande numérique



Presse à commande numérique



Centre de tournage à commande numérique

VI. Avantages et inconvénients liés aux MOCN

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Permet la réalisation d'usinages impossibles sur les machines conventionnelles : <ul style="list-style-type: none"> • Surfaces complexes ; • Très grand nombre d'opérations ; - Favorise les très petites séries et les pièces unitaires ; Prototypes : <ul style="list-style-type: none"> • Pièces en cours de conception ou modifiées fréquemment ; • Production à la demande ou juste à temps (réduction de la taille des lots) ; - Précision : <ul style="list-style-type: none"> • Machines de meilleure qualité en général ; • Moins de montage, démontage de la pièce ; - Fidélité de reproduction : <ul style="list-style-type: none"> • Répétabilité (pas d'opérateur humain dans la chaîne de pilotage). 	<ul style="list-style-type: none"> - Pour bénéficier de la majorité des avantages précédents, il faut que tout le parc machine de l'entreprise soit des MOCN ; <ul style="list-style-type: none"> • Investissement initial plus important. • Rentabilité pas immédiate. - Amortissement impose souvent un travail en 2 ou 3 équipes ; - Programmation et électronique demandant de la qualification ; - Fausse fragilité de l'électronique ; - Équipement annexe: ordinateur, logiciel, banc de réglage des outils, changeur d'outils ; - Changement dans les méthodes de préparation et de fabrication ; - Réticence du personnel au changement

VII. Architecture d'une commande numérique :

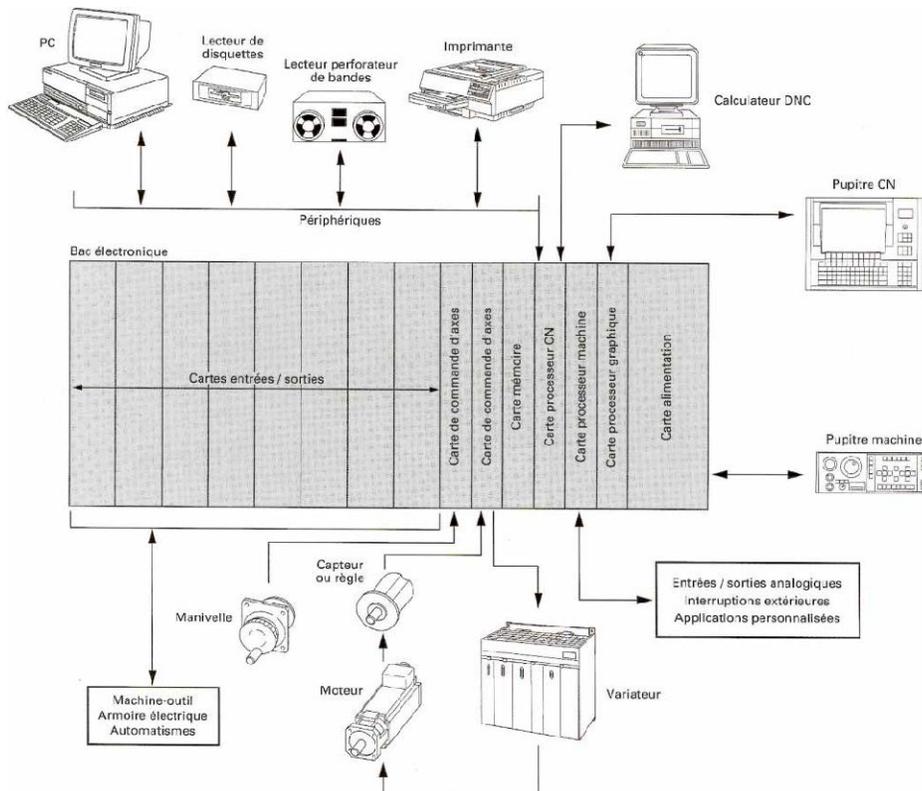


Figure 3 – Architecture matérielle d'une CN

Le **pupitre opérateur** permet le dialogue entre l'homme et la machine et la mise au point des programmes pièce à l'aide du système clavier-écran. C'est aussi le moyen de moduler certains paramètres tels que la vitesse d'avance ou la vitesse de broche.

Les **unités de commande d'axes** sont chargées de piloter les axes de la machine, en boucle fermée, sous le contrôle de l'**unité centrale**.

Dans certains cas, une **unité de communication** assure la liaison directe DNC de la CN avec un ordinateur extérieur en vue d'effectuer des opérations de chargement et de déchargement des programmes pièce.

Un ou plusieurs **bus d'échange** gèrent la communication entre tous ces modules, ainsi que l'échange et le traitement des informations entre les **organes d'entrées**, les **mémoires** et les **organes de sorties** de la CN.

La CN reçoit dans son unité centrale :

- Le programme d'usinage de la pièce contenant les paramètres d'usinage (les corrections de dimensions d'outils, les tables de valeurs paramétrées du programme d'usinage)
- Les signaux électriques de mesure de vitesse et de position des broches et des axes, issus des capteurs montés sur la machine,
- Des signaux logiques d'état des équipements périphériques (portes, lumière, arrosages ...)

Une fois les données introduites, le travail de la CN consiste à :

- Analyser le programme d'usinage,
- Prendre en compte les paramètres d'usinage afin de modifier les données analysées,
- Mettre en file d'attente les blocs d'information prétraités pour assurer la continuité des mouvements d'usinage.

Le résultat du traitement des données apparaît sous forme de signaux :

- Signaux de commande d'axes analogiques ou numériques.
- Signaux logiques ou analogiques des éléments périphériques. Le système peut recevoir également des signaux logiques ou analogiques de périphériques externes.

VIII. Les axes normalisés :

VIII.1. Axe

Un degré de liberté d'un organe de machine est appelé **AXE** si l'actionneur du mouvement est asservi en vitesse et position, et s'il peut être synchronisé avec un autre degré de liberté pour obtenir un déplacement qui n'est pas parallèle à une direction principale du système de coordonnées.

Il permet d'obtenir une position, par une instruction numérique, à la résolution du moyen de mesure près.

Un axe est constitué de la façon suivante :

- un chariot mobile sur glissières.
- un système de transmission vis-écrou (vis à billes).
- un moteur et un réducteur.
- un dispositif de mesure de vitesse.
- un dispositif de mesure de position.

Chaque axe de déplacement est donc assujéti à un asservissement en boucle fermée, dont le principe consiste à mesurer continuellement la position réelle du mobile et à la comparer avec la grandeur d'entrée, ou position de consigne, que délivre la CN pour atteindre la nouvelle position programmée (figure 4). Dès que l'écart entre les deux mesures s'annule, le mobile s'arrête.

Le déplacement de la table ou de l'outil d'un point à un autre implique la connaissance :

- de l'axe (X,Y,Z, ...) sur lequel le déplacement doit s'effectuer ;
- des coordonnées du point à atteindre;
- du sens de déplacement (+ ou -) ;
- de la vitesse de déplacement (d'avance) de la table ou de l'outil.

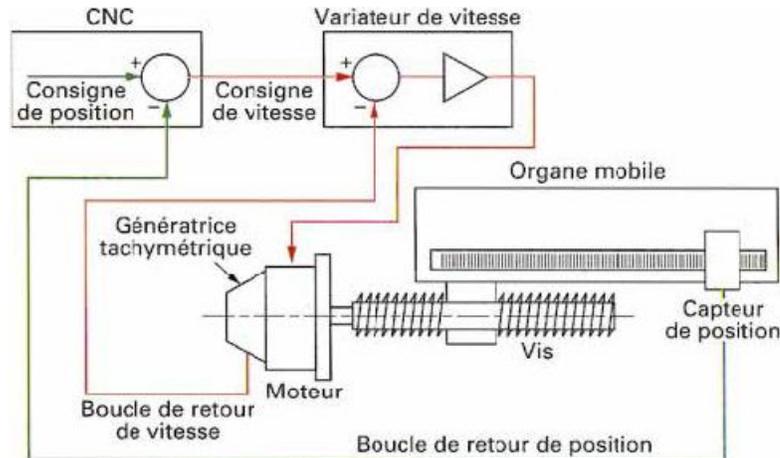


Figure 4 – Principe d'asservissement d'un organe mobile

Remarque:

- On emploie rarement le nom d'axe pour les organes tels que: mouvement d'un magasin d'outils, tourelle, mandrin, palettiseur...
- L'asservissement de commande d'un axe ou demi-axe est souvent réalisée en boucle fermée, mais on rencontre aussi des déplacements par moteur pas à pas avec une commande en boucle ouverte.

VIII.2. Demi-axe

Un degré de liberté d'un organe de machine est appelé DEMI-AXE si l'actionneur du mouvement est asservi en vitesse et position, sans pouvoir être synchronisé avec un autre degré de liberté.

VIII.3. Axe séquentiel

Un degré de liberté d'un organe de machine est appelé AXE SEQUENTIEL si l'actionneur du mouvement n'est pas asservi en vitesse et position. Le nombre de positions obtenues de façon automatique est très limité.

Exemples: déplacement d'une contre-pointe, plateau tournant indexé à quatre positions, broche indexée tous les 15 degrés,...

VIII.4. Les axes principaux linéaires :

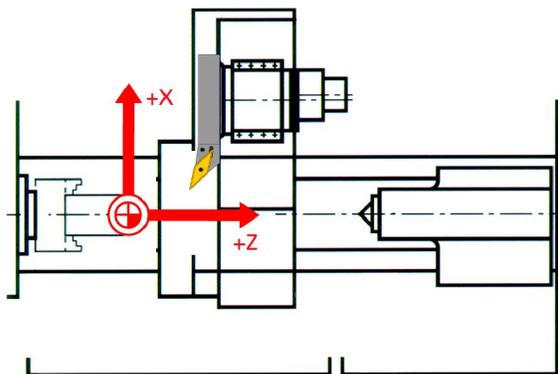
Ils sont au nombre de trois ayant pour symbolisation :

- X Y Z quand l'outil se déplace.
- X' Y' Z' quand la pièce se déplace.

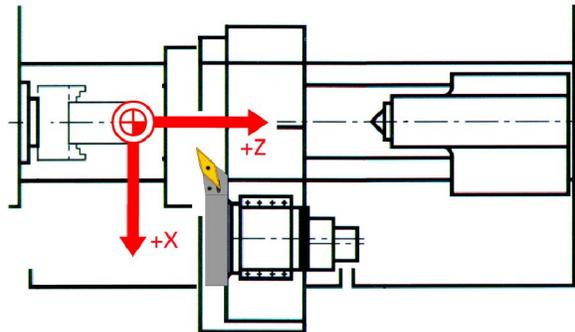
VIII.4.1. Propriétés :

AXES	PARTICULARITES
Z ou Z'	Dans la majeure partie des cas, l'axe Z ou Z' est l'axe de la broche. Le sens positif de ces axes correspond à un accroissement des distances relatives porte pièce-outil.
X ou X'	Il est perpendiculaire à l'axe Z ou Z' et correspond à l'axe ayant le plus grand déplacement. Sur une fraiseuse : C'est généralement un axe // à la glissière longitudinale. Sur un tour : cet axe est radial
Y ou Y'	L'axe Y ou Y' forme avec l'axe (X et Z) ou (X' et Z') un trièdre de sens direct.

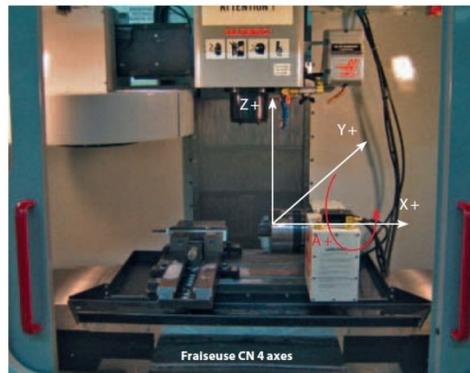
VIII.4.2. Exemples :



Axes pour un tour CN à tourelle arrière



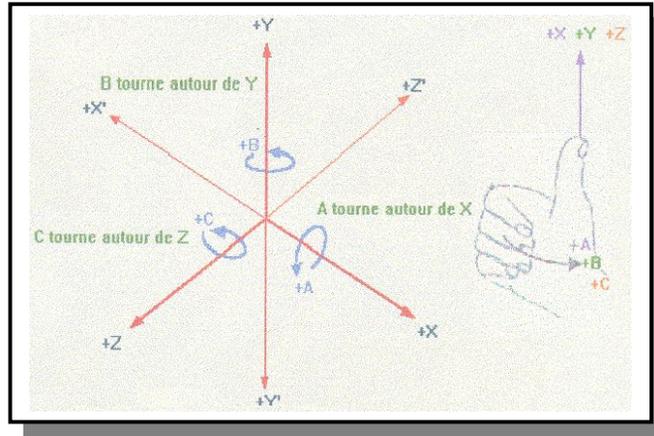
Axes pour un tour CN à tourelle avant



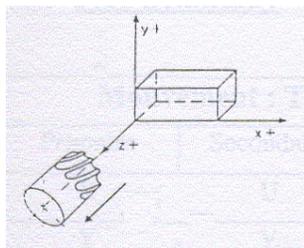
Fraiseuse CN à 4 axes

VIII.5. Les axes circulaires primaires :

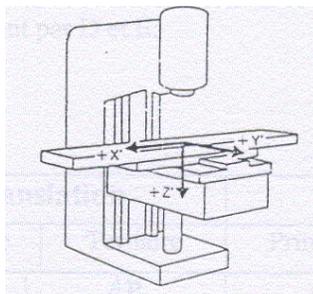
A, B, C, désignent les axes circulaires, ils tournent respectivement autour des axes X, Y, Z. Le sens positif secondaire en positionnant la main droite tel que le pouce placé dans le sens positif du mouvement, les doigts repliés donnent le sens positif.



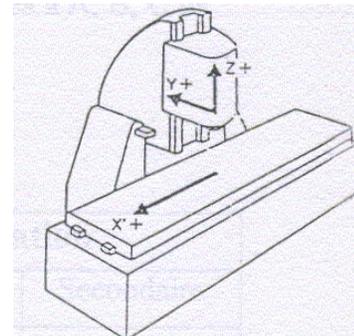
Sens positif des mouvements de rotation



Déplacement de l'outil



Fraiseuse verticale à tête fixe : 3 axes



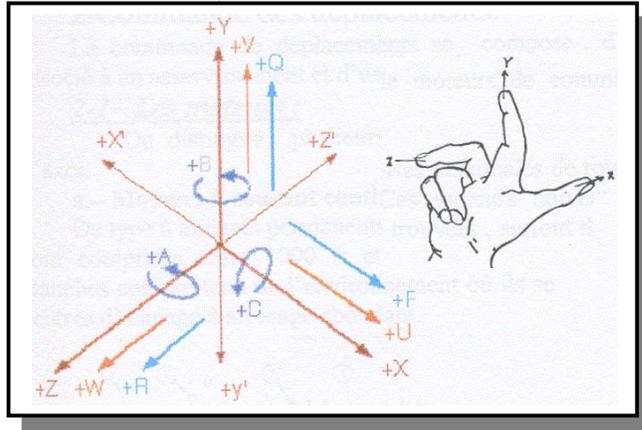
Fraiseuse profileuse à broche verticale : 3 axes

VIII.6. Les axes additionnels :

Si en plus des mouvements de translation rectiligne primaire X, Y et Z il existe des mouvements de translation secondaires parallèles à ceux-ci, ils seront désignés respectivement par U, V, W. Si des mouvements tertiaires existent, ils seront désignés par P, Q, R. Si en plus des mouvements de rotation primaires A, B et C il existe des mouvements de rotation secondaires parallèles à A, B, C ils seront désignés respectivement par D et E.

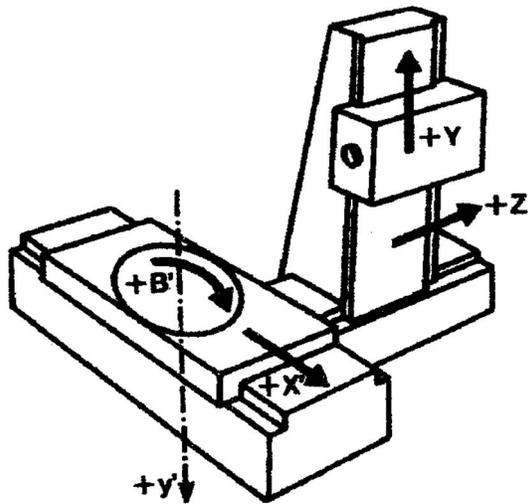
VIII.7. Synthèse :

Mouvement: Translation			Rotation	
Primaire	Secondaire	Tertiaire	Primaire	Secondaire
X	U	P	A	D
Y	V	Q	B	E
Z	W	R	C	

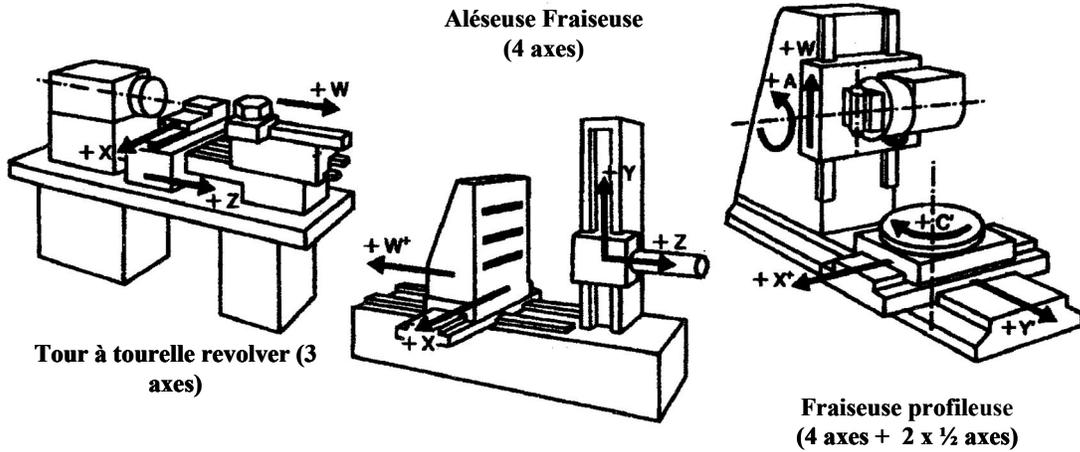


Axes primaires et additionnels

VIII.8. Exemples :



Fraiseuse aléuseuse (4 axes)

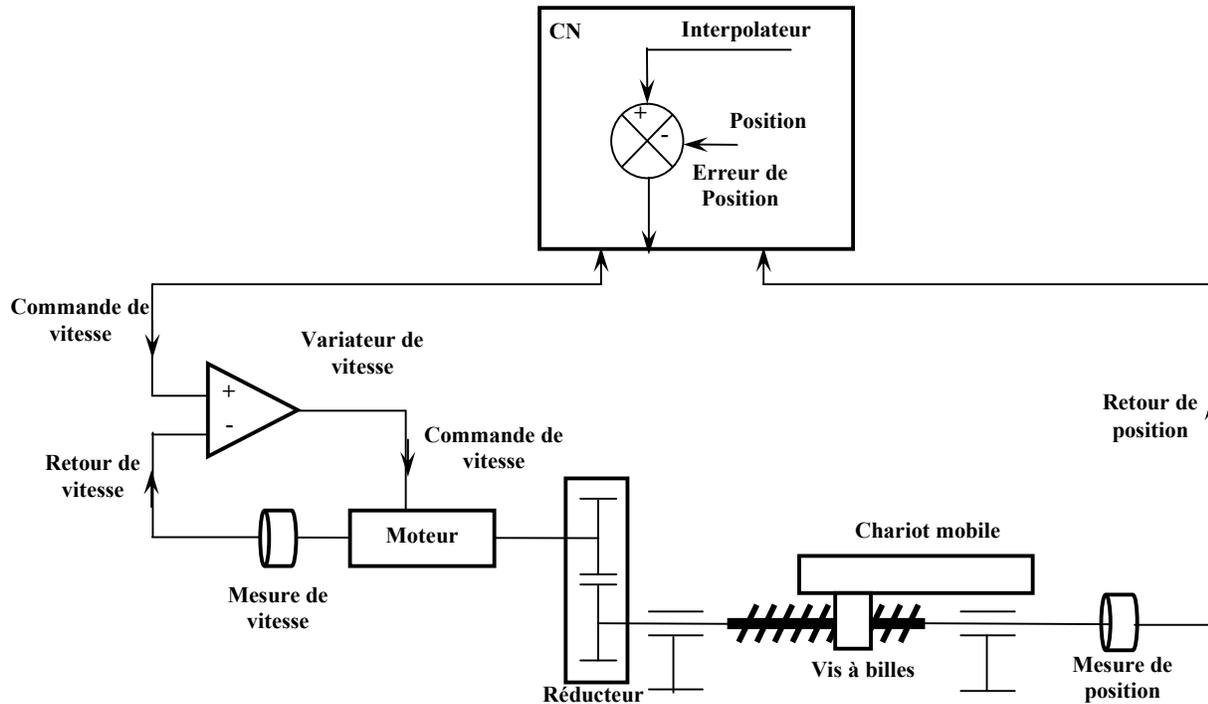


Tour à tourelle revolver (3 axes)

Aléuseuse Fraiseuse (4 axes)

Fraiseuse profileuse (4 axes + 2 x 1/2 axes)

IX. Structure d'un axe de la MOCN:



X. Asservissement d'un axe sur une MOCN :

X.1. Problème à résoudre :

Contrôler à tout moment la vitesse d'avance et la position de l'outil par rapport à la pièce, et relier ces informations au mouvement programmé.

X.2. Technologie sur MOCN :

Sur les MOCN la connaissance de la position de l'outil par rapport à la pièce est obtenue par l'intermédiaire d'un capteur de position. Les informations recueillies sont analysées par le CNC et comparées aux informations contenues dans le programme d'usinage (cote à atteindre). C'est le calculateur qui remplace l'analyse de l'opérateur, et qui décide de la poursuite ou de l'interruption de l'usinage.

De même, la vitesse d'avance est gérée par le CNC. Elle est fixe, et fait partie d'une donnée du programme d'usinage, en avance linéaire. Elle est variable, et est calculée à tout instant en fonction de la position de l'outil par rapport à la pièce. En outre, le CNC peut gérer une décélération de vitesse d'avance à l'approche de la cote à atteindre (opération d'accostage).

XI. Différents modes d'asservissements d'une MOCN :

La fonction principale d'une CN est de contrôler en permanence les déplacements des divers organes mobiles de la machine en vitesse et en position.

Chaque axe de déplacement est donc assujéti par un asservissement en boucle fermée, dont le principe consiste à mesurer continuellement la position réelle du mobile et à la comparer avec la grandeur d'entrée (ou position de consigne) que délivre la CN pour atteindre la nouvelle position programmée.

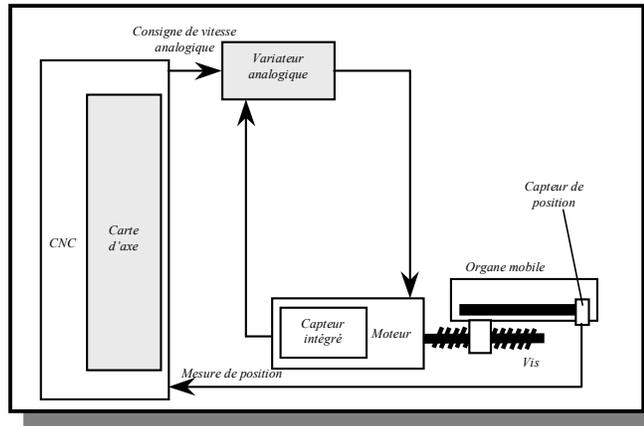
Dès que l'écart entre les deux mesures s'annule, le mobile s'arrête.

Le déplacement de la table ou de l'outil d'un point à un autre implique la connaissance de :

- l'axe (X, Y, Z ...) sur lequel le déplacement doit s'effectuer,
- des coordonnées du point à atteindre,
- du sens de déplacement (\pm),
- de la vitesse de déplacement de l'axe.

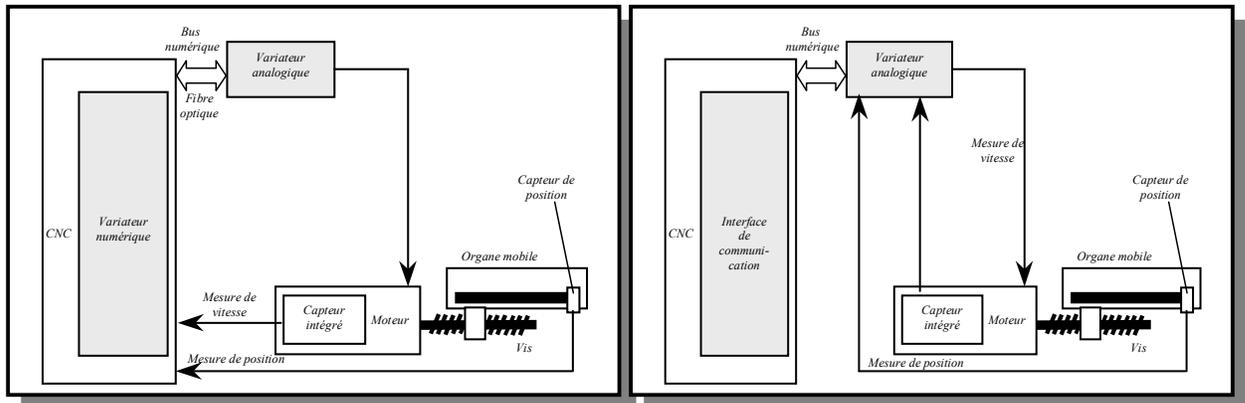
XI.1. Asservissements analogiques

- La boucle de vitesses est câblée sur l'entrée variateur et traitée par le variateur.
- La boucle d'asservissement est traitée en partie par la CN, qui reçoit la mesure, et en partie par le variateur qui transforme la grandeur analogique de tension délivrée par la CN en courant qui pilote le moteur.



XI.2. Asservissements numériques DISC et DISC NT [Digital Integrated Servo Control]

- Les boucles de vitesse et de position sont traitées directement dans la CN, le variateur étant, de ce fait, réduit au rôle d'amplificateur de courant chargé d'alimenter en puissance le moteur d'axe.
- La liaison entre la CN et les amplificateurs de courant des moteurs d'axes est assurée par un bus de terrain fibre optique à haut débit.
- Les asservissements DISC NT sont basés sur un bus numérique à haut débit qui gère les échanges entre la CN et les variateurs d'axes et de broches.
- Cette architecture décentralisée procure une extrême rapidité de positionnement et une excellente rigidité d'asservissements, garantissant les meilleurs suivis de profil et états de surface.



Mesure de la vitesse

Les capteurs de vitesse utilisés sont généralement des génératrices tachymétriques.

Ces dispositifs ont la propriété de fournir une tension électrique proportionnelle à la fréquence de rotation de leur axe. Ils peuvent être intégrés au moteur à la construction.

Une autre solution consiste à calculer la dérivée de la mesure de position.

Mesure de la position

Les capteurs de position diffèrent par:

- Le type de mouvement mesuré:

Linéaire ou rotatif.

- La nature de l'information délivrée:

Quand le déplacement du mobile entraîne une variation continue d'une grandeur électrique (capteurs résistifs) ou magnétique (capteurs inductifs, transformateurs variables), l'information est dite « **analogique** ».

Les capteurs incrémentaux (générateur d'impulsion et compteur), ou les codeurs fournissent une information « **numérique** ».

- La nature de la lecture (ou détection du mouvement):

La mesure est dite **absolue** pour un codeur, dans ce cas la position est définie par rapport à l'origine au moyen d'un code binaire (code GRAY).

Elle est dite **relative** pour capteur incrémental. Le déplacement est mesuré comme un agrandissement de la coordonnée par rapport à la position précédente.

On parle de mesure **semi-absolue** dans le cas d'un codeur rotatif qui effectue des mesures sur plusieurs tours, ou pour un «résolveur» qui ne permet une mesure absolue que sur un très petit déplacement. Il est alors nécessaire de compléter cette mesure par un comptage des tours.

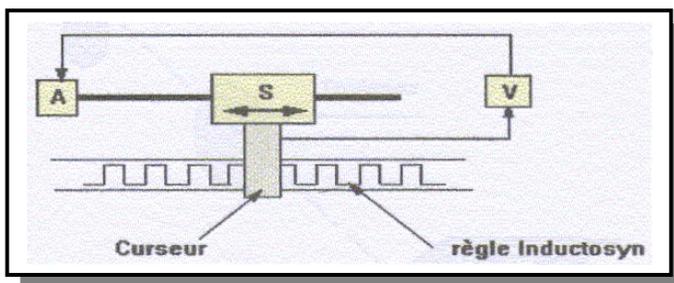
XII. Les Capteurs de position :

Deux technologies sont couramment employées: les capteurs photo-électriques et les capteurs utilisant le principe de l'induction, appelés *inductosyn*.

Les procédés sont identiques pour les capteurs linéaires (fig. 5), ou circulaires (fig. 6).

Il existe deux grandes familles de capteurs de position utilisés dans les axes commandés numériquement.

- **les capteurs analogiques** (généralement de type potentiométrique), utilisés dans les robots de performances moyennes.

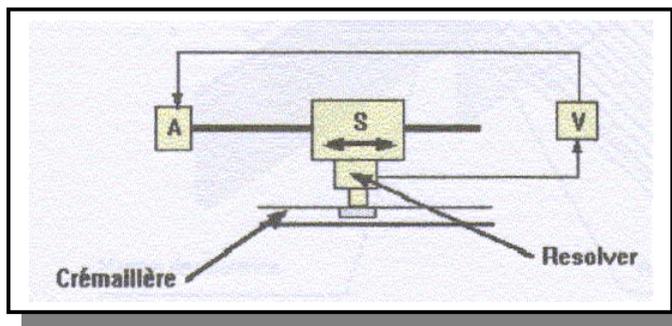


V : Comparateur

A : Entraînement

S : Organe mobile

Mesure analogique avec règle inductosyn montée sur bâti de machine



V : Comparateur
A : Entraînement
S : Organe mobile

Mesure analogique avec résolver montée sur crémaillère

- les capteurs digitaux (ou numériques) qui comportent eux-mêmes deux catégories dont l'incidence pour l'utilisateur est importante :
 - ❖ capteurs absolus.
 - ❖ capteurs incrémentaux.

Dans ce qui suit, on s'intéresse essentiellement aux capteurs digitaux, les seuls pratiquement utilisés sur les MOCN actuelles.

XII.1. Capteurs absolus :

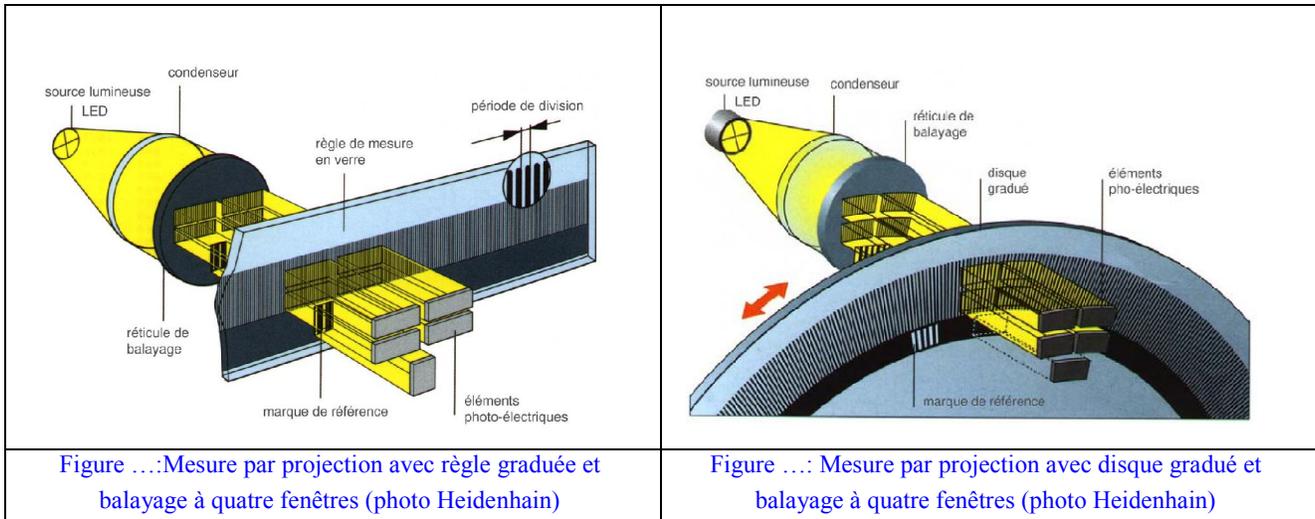
Ce sont des capteurs dans lesquels l'information de position est portée par de nombreuses pistes en parallèles, portant des informations binaires. Les informations sont transmises en parallèle sur n bits.

XII.2. Capteurs Incrémentaux :

Un capteur incrémental comporte deux éléments :

- Un codeur incrémental.
- Un compteur.

Le codeur incrémental délivre un signal périodique qui, une fois traité électroniquement, permet d'obtenir un signal carré présentant des fronts montants et descendants, le codeur présente en général deux pistes, ce qui permet d'obtenir des signaux en quadrature (lors de déplacement du mobile, on résulte des impulsions ainsi le sens de déplacement).

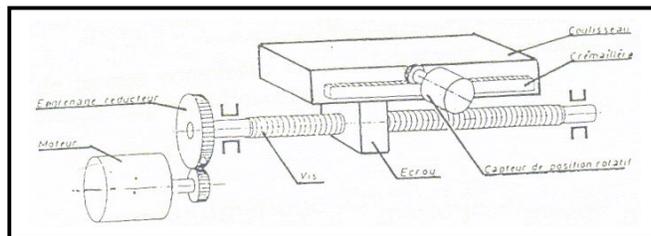


XIII. Les différents systèmes de mesure:

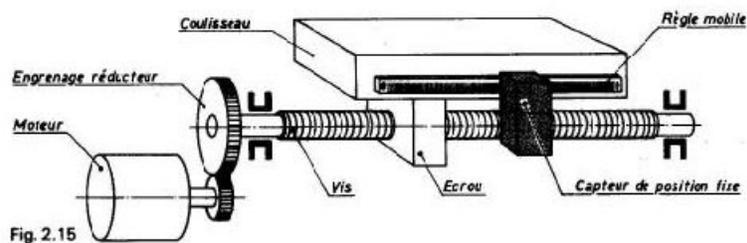
La mesure réalisée est **directe** ou **indirecte** suivant l'implantation du capteur sur la machine.

XIII.1. Mesure directe :

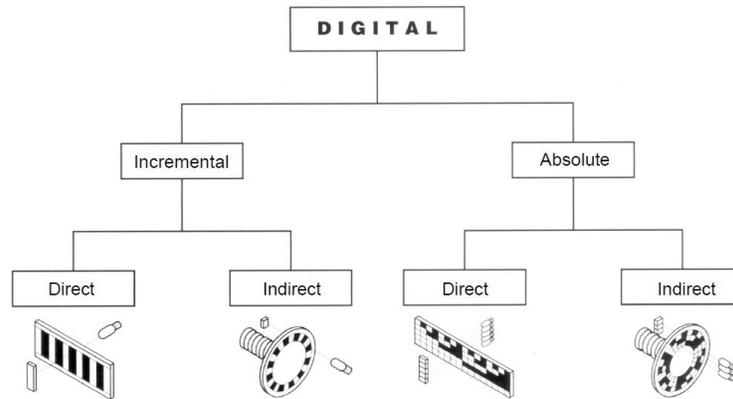
Le capteur de position est fixé directement sur l'organe mobile à positionner.



Capteur rotatif sur le mobile

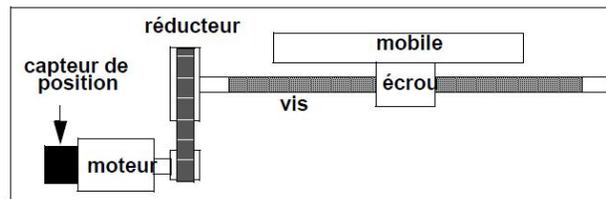


Système d'axe avec l'utilisation d'un codeur linéaire (règle de positionnement)

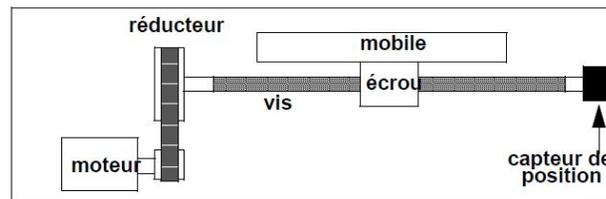


XIII.2. Mesure indirecte :

Le capteur de position est monté en haut de vis mère ou sur le mécanisme d'entraînement :



Capteur rotatif fixé sur le moteur



Capteur rotatif sur l'extrémité libre de la vis

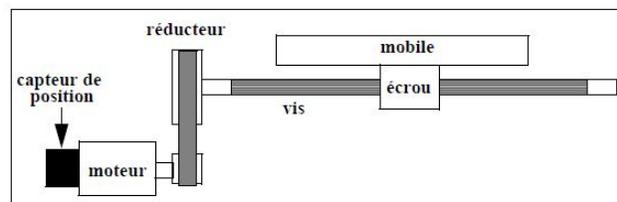
XIV. Influence de la position du capteur

En fonction de sa position dans la chaîne cinématique de l'axe, le capteur peut s'affranchir de certains défauts géométriques.

XIV.1. Mesure sur le moteur

Le capteur ne prend pas en compte:

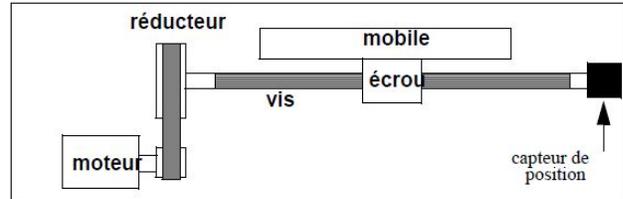
- le jeu du réducteur,
- les défauts du réducteur,
- l'erreur de pas de la vis,
- la déformation de la vis,
- les défauts de l'écrou.



XIV.2. Mesure en bout de vis

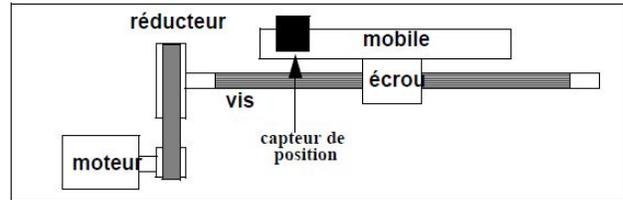
Le capteur ne prend pas en compte:

- l'erreur de pas de la vis,
- la déformation de la vis,
- les défauts de l'écrou.



XIV.3. Mesure directe sur le mobile

C'est la solution idéale géométriquement, mais elle est plus chère et rend l'asservissement plus instable.



XV. Le directeur de commande :

Le D.C.N. de contournage équipe pratiquement toutes les M.O.C.N. actuelles (tours, fraiseuses, centre de tournage ou de fraiseage). Il peut commander et contrôler :

- Des usinages linéaires entre deux points préalablement programmés avec des trajectoires parallèles, perpendiculaires ou inclinées par rapport aux axes de la machine (commande paraxiale);
- L'usinage de toutes les formes dès l'instant que celles-ci sont définies mathématiquement (commande en contournage).

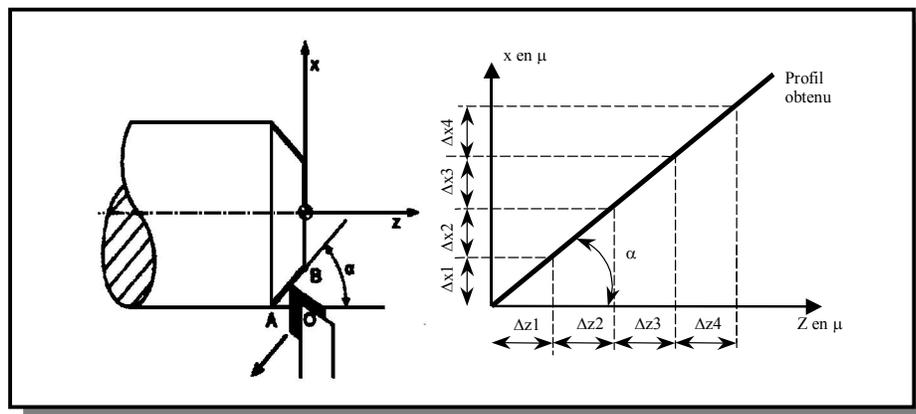
Sur un tel dispositif et grâce à son interpolateur, les vitesses d'avance (V_f), ainsi que les trajectoires sont contrôlées en permanence.

L'on distingue trois types d'interpolateur :

- Les interpolateurs linéaires.
- Les interpolateurs circulaires.
- Les interpolateurs paraboliques utilisés dans l'industrie automobile et aéronautique.

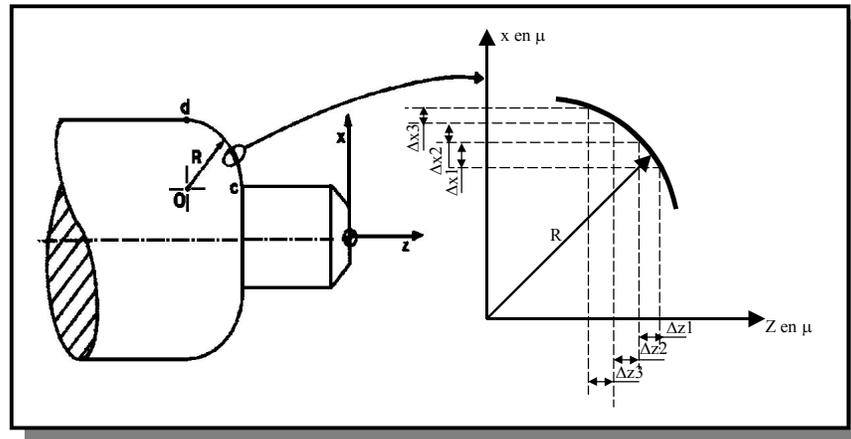
XV.1. L'interpolation linéaire :

L'interpolation linéaire est réalisée par un dispositif électronique qui, en fonction d'ordres définissant une trajectoire d'outil, commande deux axes à la fois (ici X et Z) en distribuant des intensités électriques à des moteurs pas à pas dont le rapport est déterminé mathématiquement.



XV.2. L'interpolation circulaire :

Le calculateur interpolateur doit fournir sur deux axes un rapport d'intensités électriques continuellement variables. Ces impulsions X en k. sont définies mathématiquement par une fonction circulaire.



XVI. Différents modes de commande d'une MOCN :

L'usinage par enlèvement de matière se résume à la conduite d'un mobile (outil ou pièce) suivant un déplacement déterminé, par un ordre (humain ou numérique). Ce déplacement peut être linéaire, angulaire ou circulaire en fonction des possibilités d'asservissement des mouvements. **C'est donc naturellement que l'on a classé les MOCN suivant le mode de déplacement des tables supports de pièce.** Trois générations de MOCN ont été développées dans l'industrie :

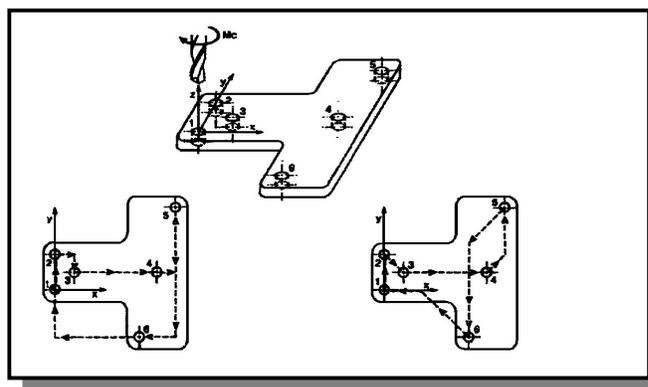
- **Machine à déplacement par positionnement**
- **Machine à déplacement par axial point à point.**

Ces deux types de machines ne nécessitent pas un moteur pour chaque axe, les déplacements se faisant soit successivement, soit combinés avec une commande unique et une vitesse unique.

- **Machine à déplacement continu** (interpolations linéaire et circulaire).

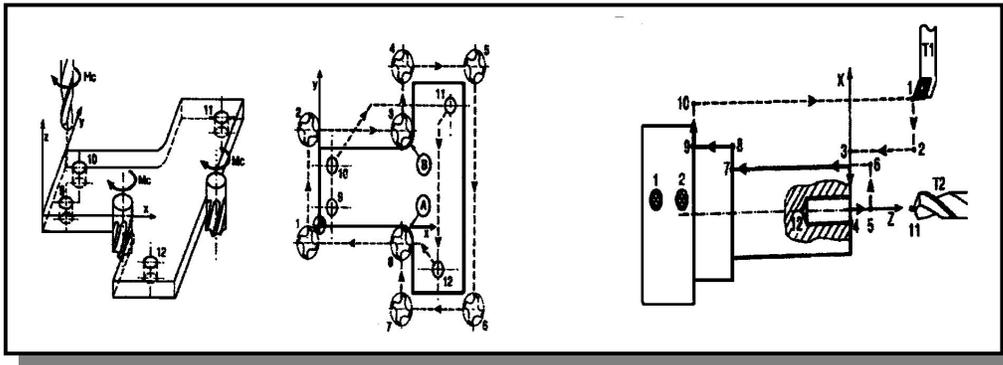
Sur ce type de machine il y a autant de moteurs que d'axes.

XVI.1. Commande en système point par point :



Perçage d'une entretoise

XVI.2. Commande en système paraxial :



XVI.3. Commande en système contournage :

