

V.1 Généralité :

Depuis son apparition juste après la deuxième guerre mondiale la commande numérique ne cesse de gagner de l'espace et de s'imposer dans le domaine de la machine outils.

Initialement conçue pour apporter une automatisation pour réaliser des formes complexes difficile ou impossible à réaliser avec des machines conventionnelles, elle a vite été amenée à réaliser des pièces avec plus de précision et un maximum de vitesse et d'autonomie ceci afin de gagner en qualité et en productivité.

A l'origine de cette évolution, l'introduction des techniques d'asservissement d'axes et de commande de moteurs électriques, puis l'introduction de programmes informatiques qui ont permis de contrôler le fonctionnement de la machine avec une suite de mots qui forme un programme.

V.1.3 Justification de la CN

1.3.1 Automaticité

L'intérêt de départ de la commande numérique était l'automaticité, ceci afin de pouvoir réaliser des pièces avec des géométries complexes et une bonne précision mais cela va minimiser l'intervention humaine ce qui a permis de gagner d'avantage en performances et en productivité.

1.3.2 Flexibilité

Vue leurs principes de fonctionnement, basés sur l'utilisation de l'électronique numérique et l'informatique, les MOCN sont caractérisées par une grande flexibilité ce qui donne à l'utilisateur la possibilité d'effectuer des changements soit sur la géométrie des pièces à usiner soit sur les paramètres d'usinage et ceci avec une simple intervention sur le programme d'usinage ou une simple manipulation sur le pupitre de commande.

1.3.3 Sécurité

En plus de la minimisation de l'intervention humaine et l'amélioration des conditions de travail en générale, ce qui conduit à une sécurité meilleure, la CN a beaucoup contribué à améliorer la sécurité machines à travers l'utilisation de différents capteurs qui permettent de détecter de multiples anomalies. Mais avant cela il y a aussi l'utilisation de la simulation de l'usinage graphiquement pour prévoir tous risques de cohésion ou mauvaise exécution des phases de l'usinage.

1.3.4 Nécessités économiques et techniques

Dans le monde où le cycle de vie d'un produit est de plus en plus court et le client est de plus en plus exigeant avec des marges de plus en serrée à cause de la concurrence, disposer d'un outil de production flexible rapide et fiable devient primordial. La MOCN se montre économiquement intéressante pour produire 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.

V.2. Technologie des machines à CN

V.2.1 Mécanismes d'entraînement

La structure d'une machine outil à commande numérique est sensiblement la même que celle d'une machine traditionnelle. Leur principe de fonctionnement est basé sur le déplacement d'un outil ou généralement une table par l'intermédiaire d'un système vis-écrou entraîné par un moteur électrique.

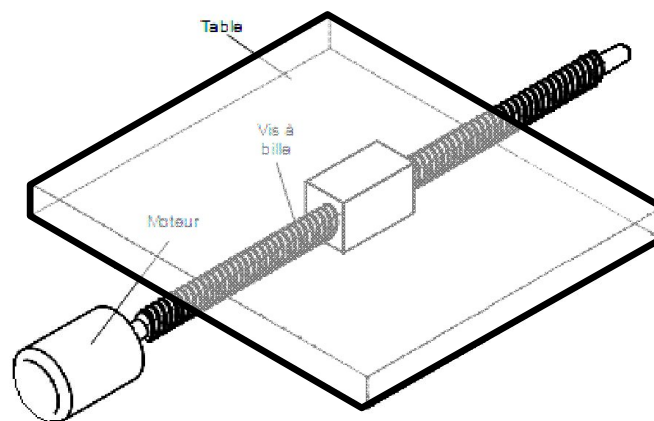


Figure 4 -mécanisme d'entraînement avec vis-écrou

En plus du déplacement relatif de l'outil par rapport à la pièce, pour une machine à commande numérique ce mécanisme doit assurer les performances et les fonctionnalités recherchées suivantes :

- possibilités de surcharges importantes pendant les périodes d'accélération et de freinage ;
- réponse à des demandes de déplacement très faible ($< 1 \mu\text{m}$) ;

- grande qualité d'accélération/décélération (temps de démarrage ≈ 10 à 50 ms) ;
- grande stabilité de vitesse ;
- dynamique élevée surtout lors d'avances faibles ;
- déplacements rapides de l'ordre de plusieurs dizaines de mètres par minute.

Afin de répondre à ces exigences ce système formé du moteur de la vis et l'écrou et de la table, appelé aussi axe de déplacement, est donc assujéti à un asservissement en boucle ouverte ou fermé.

V.2.1.1 Système à boucle ouverte :

C'est un système de commande simple sans rétroaction (feed-back). Le déplacement est commandé généralement par des moteurs pas à pas et ne trouve aucune confirmation ni de la distance réel parcouru, ni de la vitesse d'avance. La distance parcourue est strictement fonction du temps écoulé et de la vitesse de l'avance conduite par le moteur. Certaines applications qui ne nécessitent pas beaucoup de précision peuvent se prêter à ce type de système de commande.

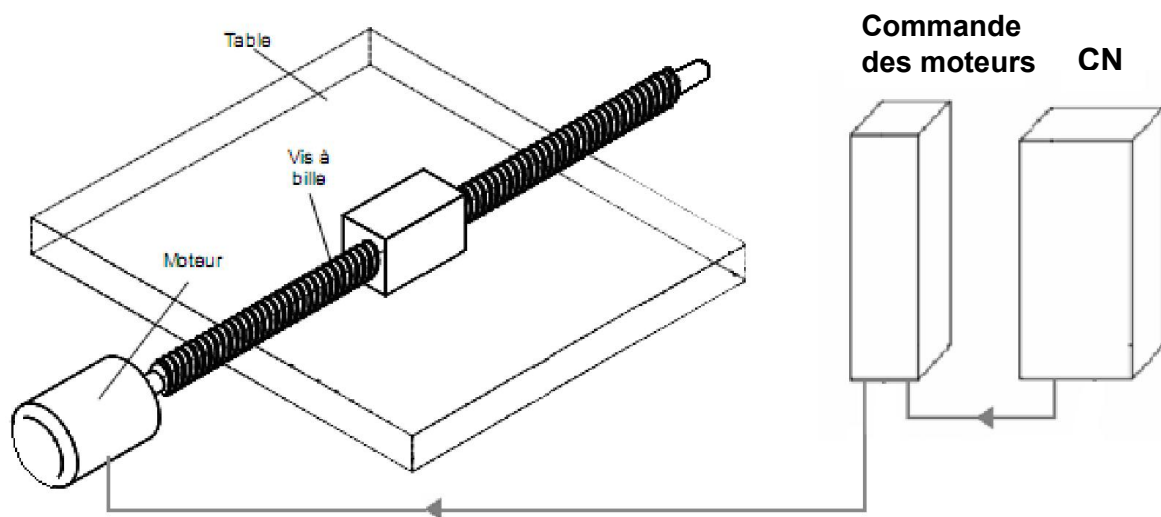


Figure 5 - mécanisme avec asservissement en boucle ouverte

V.2.1.2 Système à boucle fermée :

Le principe d'un système à boucle fermée consiste à mesurer position réelle du mobile de façon continue et à la comparer avec la grandeur d'entrée, ou position

de consigne, que délivre la CN pour atteindre la nouvelle position programmée (figures 6,7). 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 de la table ou de l'outil.

Les CN modernes permettent de contrôler simultanément plusieurs axes linéaires ou rotatifs (en général de 2 à 5) et de les interpoler entre eux afin de suivre avec précision une trajectoire quelconque dans l'espace [1].

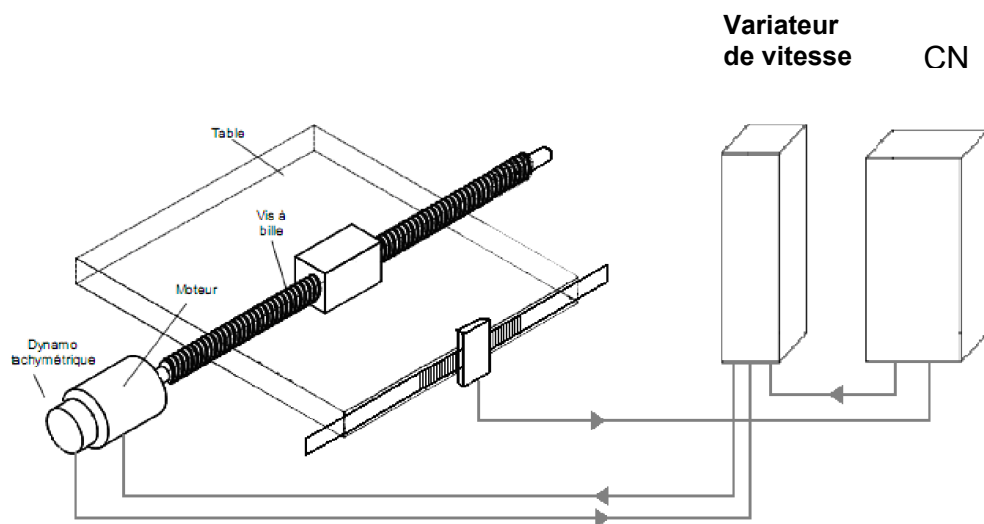


Figure 6 -mécanisme avec asservissement en boucle fermée

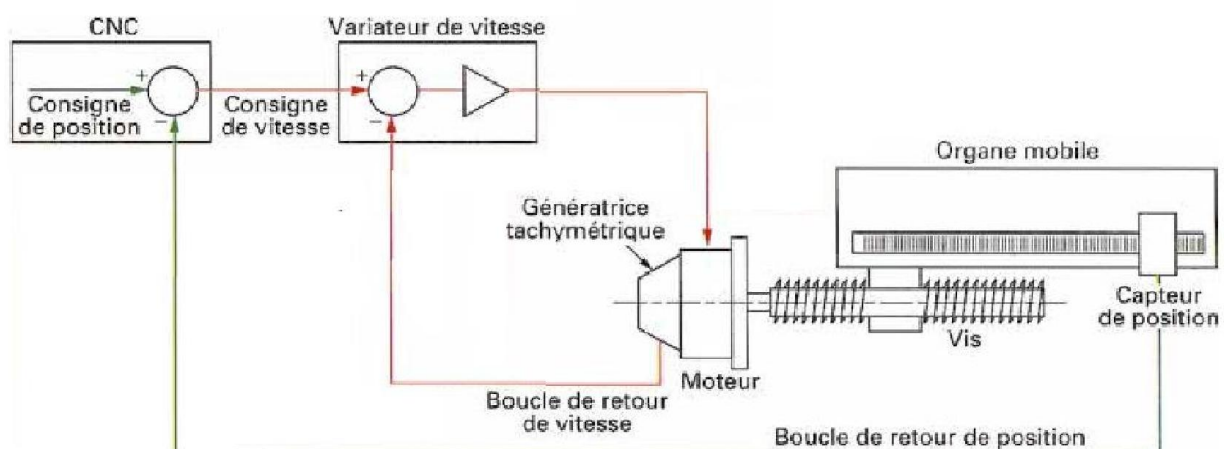


Figure 7 -schéma de principe de l'asservissement [1]

V.2.2 Les différents composants du système :

V.2.2.1 La commande numérique:

La fonction principale d'une CN est de contrôler en permanence les déplacements des divers organes mobiles de la machine, en vitesse comme en positionnelle doit permettre donc :

- de maintenir l'avance de travail à une valeur donnée tout en fournissant l'effort nécessaire pour vaincre la réaction de coupe et les efforts de frottement.
- de déplacer les axes d'un point à un autre pour approcher l'outil, le dégager, passer d'un trou à un autre, aller à la position de changement d'outil ou de changement de pièce, etc. Ces déplacements constituent des temps morts qu'il faut essayer de réduire en agissant sur les vitesses des déplacements rapides et les accélérations.
- Sur les fraiseuses, les avances rapides sont de l'ordre de 4 à 10 m/min ; sur les centres d'usinage elles atteignent 10 à 15 m/min, avec une tendance à l'augmentation jusqu'à 20 à 25 m/min. Les avances de travail sont en général limitées à 3, voire 5 m/min.
- d'obtenir une précision donnée, aussi bien en positionnement sur un point donné qu'en contourage, cette précision est également fonction de l'élément de mesure et de la CN.

L'automate programmable est lié à la commande numérique et a pour rôle l'activation de sorties généralement binaires ; telles que arrosage, fermeture des portes, enclenchement de groupes hydraulique, etc.

Il permet également de recevoir des informations en entrée tels que boutons poussoir, bouton d'arrêt d'urgence, détection de fin de course, etc.

Il fonctionne selon un programme autonome. Cependant, ces entrées-sorties peuvent interagir avec le programme CN et inversement.

V.2.2.2 Variateurs électroniques de vitesse

Pour que la vitesse de déplacement d'un mobile reste constante quelle que soit la variation de charge qui lui est appliquée, il est indispensable de fermer la boucle d'asservissement.

Cette fonction est traitée en dehors de la CN par le variateur de vitesse et nécessite la présence de génératrices tachymétriques au niveau des moteurs d'axes (figure 7).

Les variateurs de vitesse les plus répandus se raccordent directement sur le réseau triphasé 380 V. Ils bénéficient de la technique de contrôle vectoriel de flux qui leur permet de maîtriser parfaitement la vitesse et le couple du moteur et offrent la capacité de freiner celui-ci jusqu'à l'arrêt complet, même en cas de disparition intempestive du réseau d'alimentation. Dans la majorité des cas, les opérations de paramétrage et de personnalisation de ces équipements se font par PC, à l'aide d'un logiciel spécifiquement développé par le constructeur.

V.2.2.3 Les Moteurs

La quasi-totalité des commandes est assurée par des moteurs électriques de type rotatif. Le couple est élevé à basse vitesse, ce qui correspond à la plage d'utilisation en travail. Les efforts maximaux (par exemple perçage) ne représentent, sauf cas particulier, qu'une faible durée du temps d'utilisation. On choisit donc de préférence des moteurs à grande inertie thermique qui autorisent des sur couples (25 à 50 %) pendant des périodes de quelques minutes ; cette façon, les moteurs ne se trouvent pas surdimensionnés intiment. Les moteurs possèdent une sonde thermique incorporée pour une protection contre un échauffement excessif dangereux. Les moteurs utilisés dans les MOCN sont de différents types :

V.2.2.4 Le couple Vis écrou

Il se compose d'un filet de précision, d'un jeu de billes recirculantes et de deux écrous précontraints en traction pour compenser les dilatations thermiques[1]. Cette solution se traduit par un frottement minime et une absence de jeu lorsque la précharge est correctement choisie. Le pas est le plus souvent de 10 mm, ou 5 à 6 mm pour les petites machines où il y a moins d'efforts et des vis de petit diamètre (30 à 40 mm). Pour des courses de 2 à 3 m, l'obtention d'une rigidité axiale suffisante pour un bon asservissement conduit à des diamètres de 50 à 63, voire 80. Pour des avances rapides importantes, de l'ordre de 20 m/min par exemple, on augmente le pas de la vis jusqu'à 16 ou 20 mm.

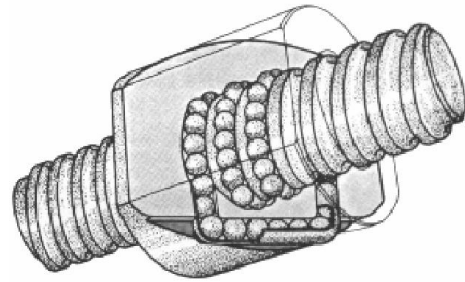
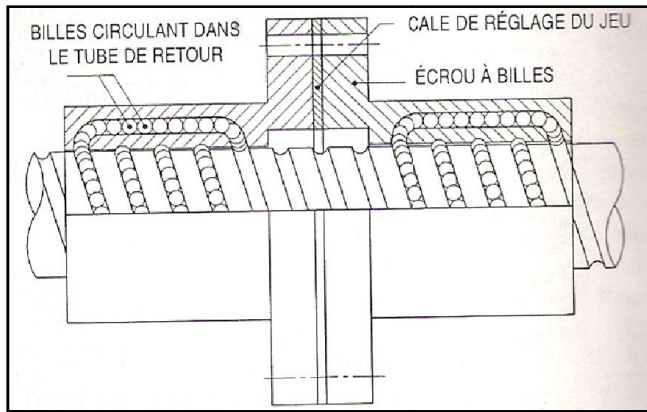


Figure 9 -vis à billes et son principe

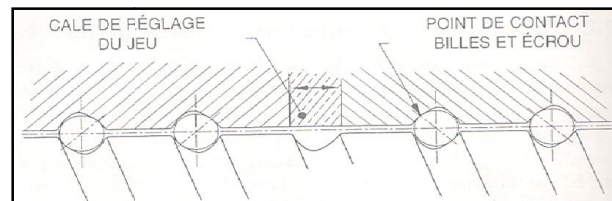


Figure 10 -réglage du jeu

V.2.2.5 Le Système de mesure :

On distingue la mesure absolue, lorsque les déplacements sont mesurés toujours à partir de la même origine (en général, un point fixe de la machine) et la mesure incrémentale, ou relative, lorsque le déplacement demandé s'effectue par rapport à la position précédemment atteinte. Cette solution nécessite de reprendre avec précision le zéro absolu à chaque mise sous tension de la CN. en mesure incrémentale, la mémoire de la position est perdue lors de la mise hors tension de l'équipement ; en général, la CN permet à la remise sous tension une prise de référence automatique, chacun des axes étant déplacé vers un point de référence matérialisé sur la règle (au milieu ou à une extrémité).

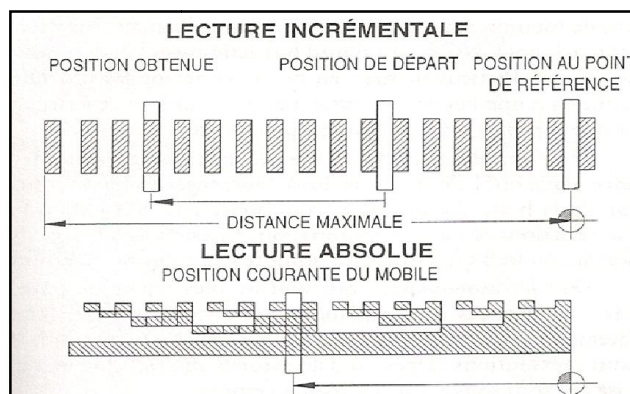


Figure 11 - mesure incrémentale et mesure absolue

On distingue aussi selon leurs formes et mouvement deux types de systèmes de mesure, rotatifs et linéaires.

V.2.2.5.1 Le système de mesure rotatif

Le codeur rotatif se présente selon ci-dessous. Son fonctionnement (figure 12) est le suivant : Un faisceau lumineux est émis en direction du disque équipé d'éléments photovoltaïques à travers un réseau de balayage. La lumière est ainsi dirigée de manière contrôlée sur les éléments photoélectriques du disque. De part sa rotation, ce dernier va recevoir une quantité de lumière d'abord croissante, pour atteindre un maximum et ensuite diminuer. On obtiendra alors pour chaque cellule photovoltaïque, une tension de forme sinusoïdale.

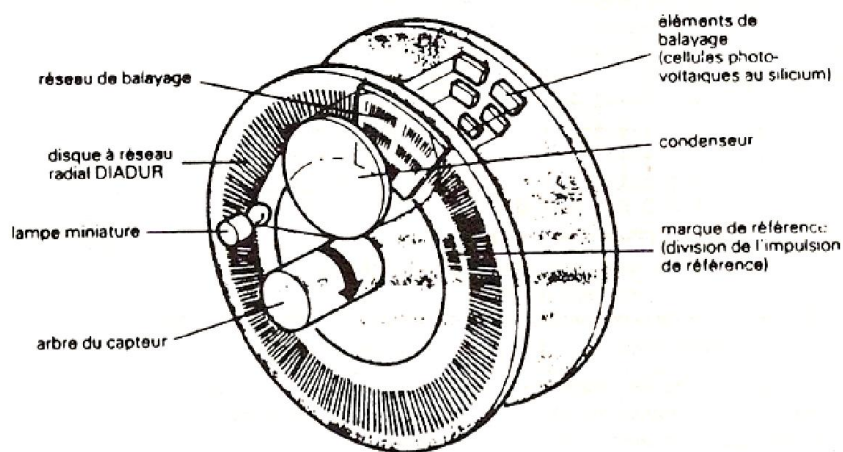


Figure 12 -Codeur rotatif

Cette dernière sera ensuite décomposée électroniquement afin de générer des signaux proportionnels à la valeur de la sinusoïde en fonction du temps.

V.2.2.5.2 Le Système de mesure linéaire :

Les systèmes de mesure linéaire enregistrent la position directement sur le chariot de l'axe. Les imprécisions que présentent les éléments de transmission n'ont aucune répercussion sur le résultat de la mesure. Les composants de haute précision - règles de mesure ainsi qu'une tête caprice guidée sans frottement garantissent un enregistrement très précis de la position.

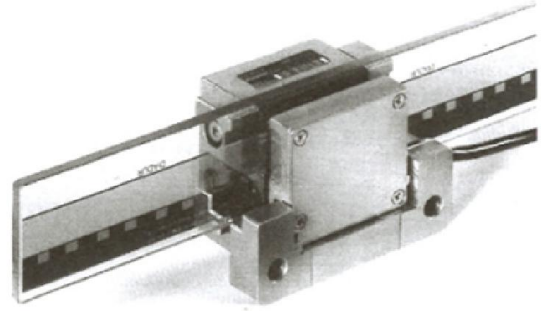
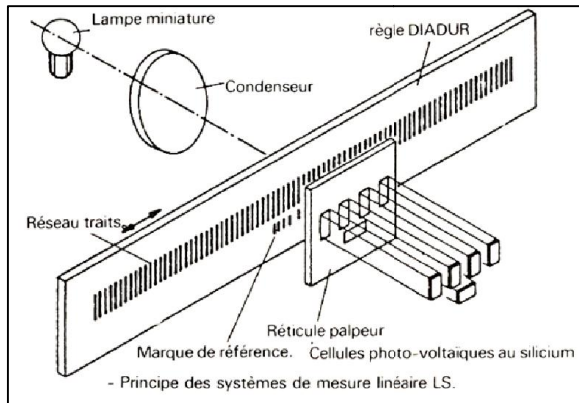
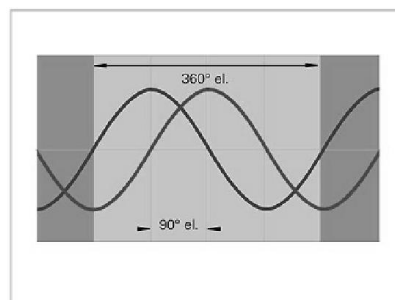


Figure 13 -règle de mesure linéaire

Lorsque la règle de mesure se déplace, la tête captrice génère deux signaux de sortie déphasés de 90° . A partir de ces signaux, la visualisation détermine la course parcourue par le chariot de la machine.

Les marques de référence permettent de rétablir la relation entre la position et la valeur d'affichage après avoir remis la visualisation sous tension. Les marques de référence à distances codées n'ont besoin pour cela que de courses extrêmement faibles.



Signaux de mesure

Figure 14 -signaux de sortie