

Chapitre 1 : Les machines-outils à commande numérique : définitions, structure et caractéristiques

Introduction

Dans le domaine de la fabrication mécanique, le terme « commande » désigne l'ensemble des matériels et logiciels ayant pour fonction de donner les instructions de mouvements à tous les éléments d'une machine-outil :

- L'outil (ou les outils) d'usinage équipant la machine,
- Les tables ou palettes où sont fixées les pièces,
- Les systèmes de magasinage et de changement d'outil,
- Les dispositifs de changement des pièces,
- Les mécanismes connexes, pour le contrôle ou la sécurité, l'évacuation des copeaux ...

I- Historique

L'introduction des techniques NC en Europe ne date que les années cinquante. À l'époque, personne ne soupçonnait la révolution que cela allait entraîner dans la construction des machines-outils et dans la production. C'était le début d'une histoire fascinante dans la technique. Mais les débuts furent très difficiles.

Les facteurs suivants freinaient d'abord le développement :

- ◆ Des commandes et une programmation des machines trop compliquées,
- ◆ Nécessitant de grands investissements (achat de machines, formation des collaborateurs, développement, mise en service et entretien),
- ◆ Futur incertain concernant le développement des techniques.

Le pas décisif dans le développement est venu en 1972. C'était le passage des techniques NC vers le CNC. La puissance des nouveaux processeurs était de 32 Ko et la fréquence d'horloge de 16kHz. Mais, à côté de leurs dérangements fréquents, le manque de puissance de ces ordinateurs restait le problème principal.

Les développements suivants ont apporté des améliorations sur :

- ◆ Les mémoires RAM,
- ◆ Les moniteurs en couleur,
- ◆ Les systèmes de mesure de chemin,
- ◆ Les systèmes de production flexibles,
- ◆ Les moteurs linéaires,
- ◆ Les systèmes de programmation,
- ◆ Les systèmes de FAO,
- ◆ La mise en réseau des données,
- ◆ Le développement des ordinateurs.

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 :

Date	Évènement
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.

II- Nécessite de la CN

1- 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 coûts 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 ;
- ◆ 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.

2- 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. Il est par ailleurs admis que le niveau de performances très élevé atteint par les MOCN conduit les constructeurs à prévoir 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- Domaine d'application de la CN

La CN est appliquée dans diverses familles. Dans chaque famille, les méthodes de montage et de travail sont totalement différentes, mais elles se rejoignent sur le principe de programmation, la grande majorité des machines utilisant un langage ISO. La notion de commande numérique s'étend aussi au domaine de la chaudronnerie : découpage plasma, presse plieuse.



Machine travaillant par enlèvement de métal :

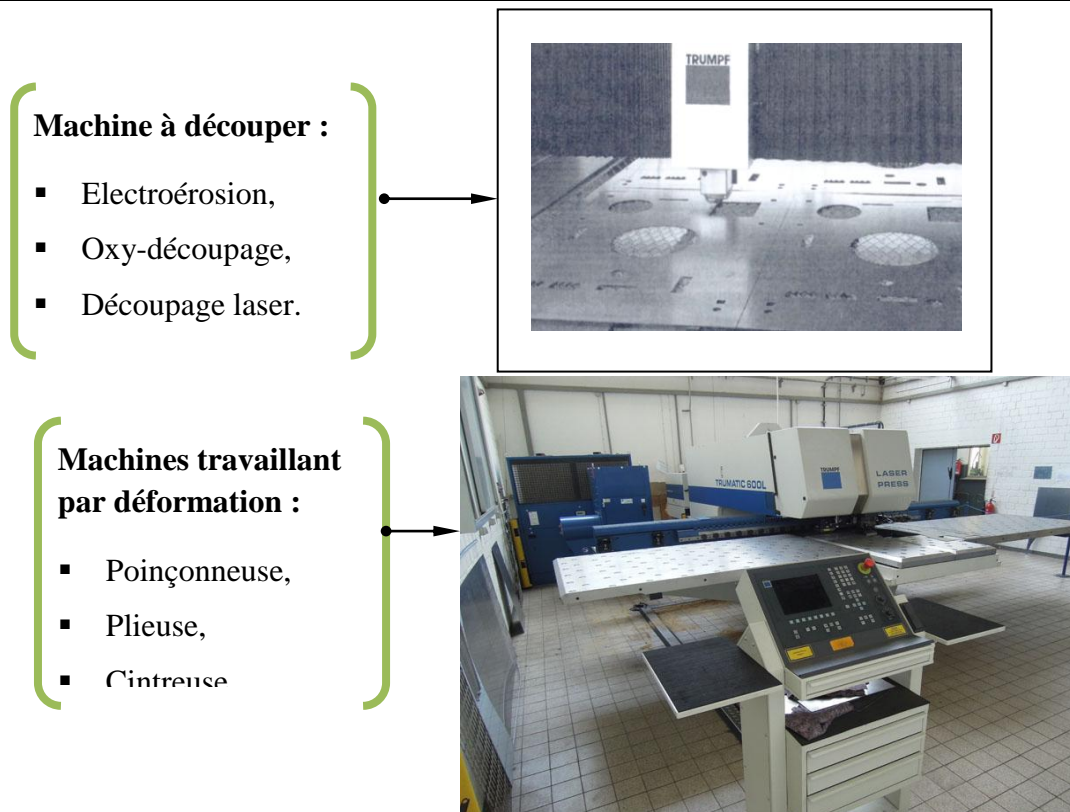
- Perceuse,
- Tour,
- Aléseuse,
- Rectifieuse,
- Fraiseuse.



Contrôle :

- Machine à mesurer tridimensionnel,
- Banc de préréglage,
- Table traçante.





IV- Définition d'une MOCN

Une machine-outil à commande numérique (MOCN, ou simplement CN) est une machine-outil dotée d'une commande numérique. Lorsque la commande numérique est assurée par un ordinateur, on parle parfois de machine CNC pour Computer Numerical Command, francisé en « commande numérique par ordinateur »

- ❖ Les machines à commande numérique (MOCN) sont des machines partiellement ou totalement automatisées.
- ❖ Les ordres de mouvement des différents organes sont donnés par programmation.
- ❖ En particulier, les positions successives de l'outil par rapport à la pièce sont exprimées sous forme numérique.

V- Caractéristiques des MOCN

1- Fonctions

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

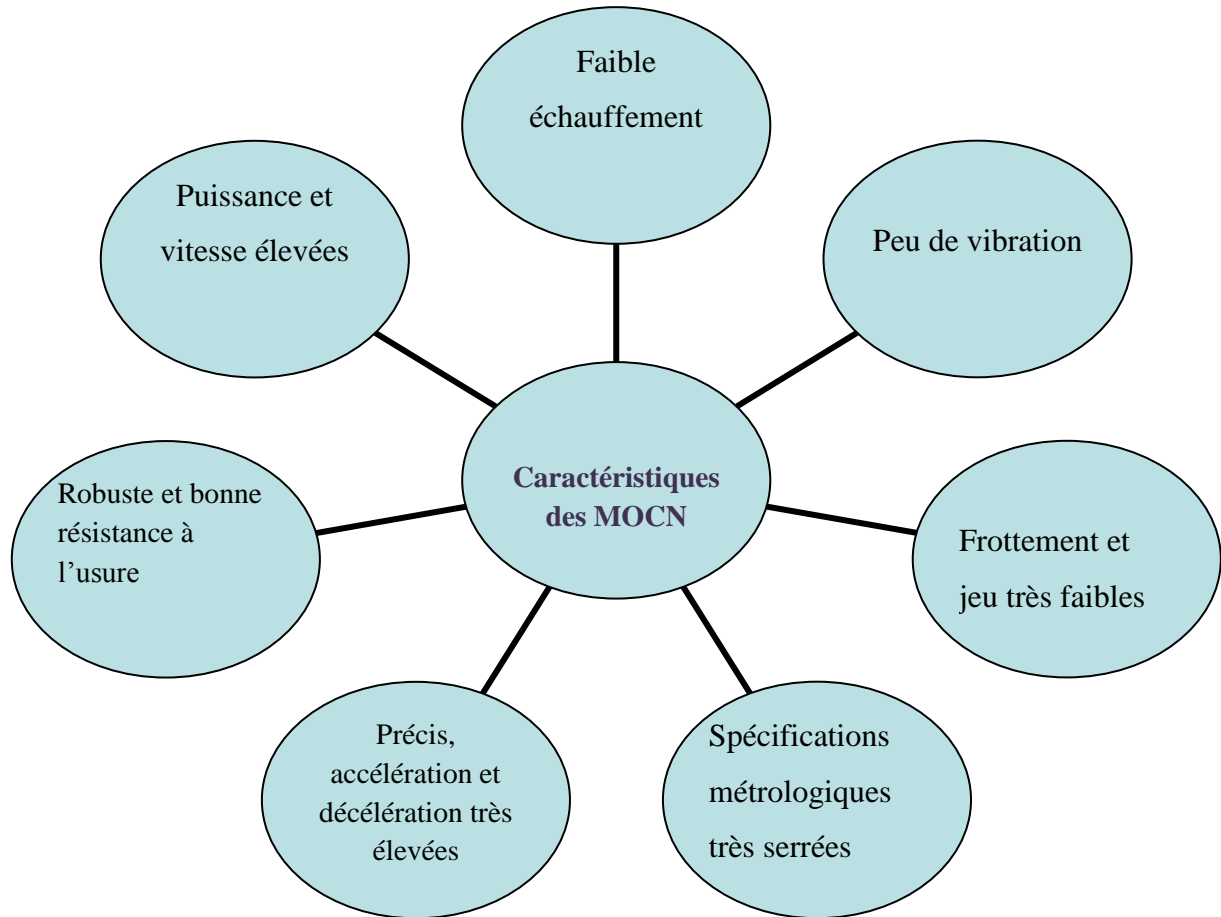
- Positionner et maintenir la pièce,
- Positionner et maintenir l'outil,
- Assurer un mouvement relatif entre la pièce et l'outil.

2- Qualité mécanique générale

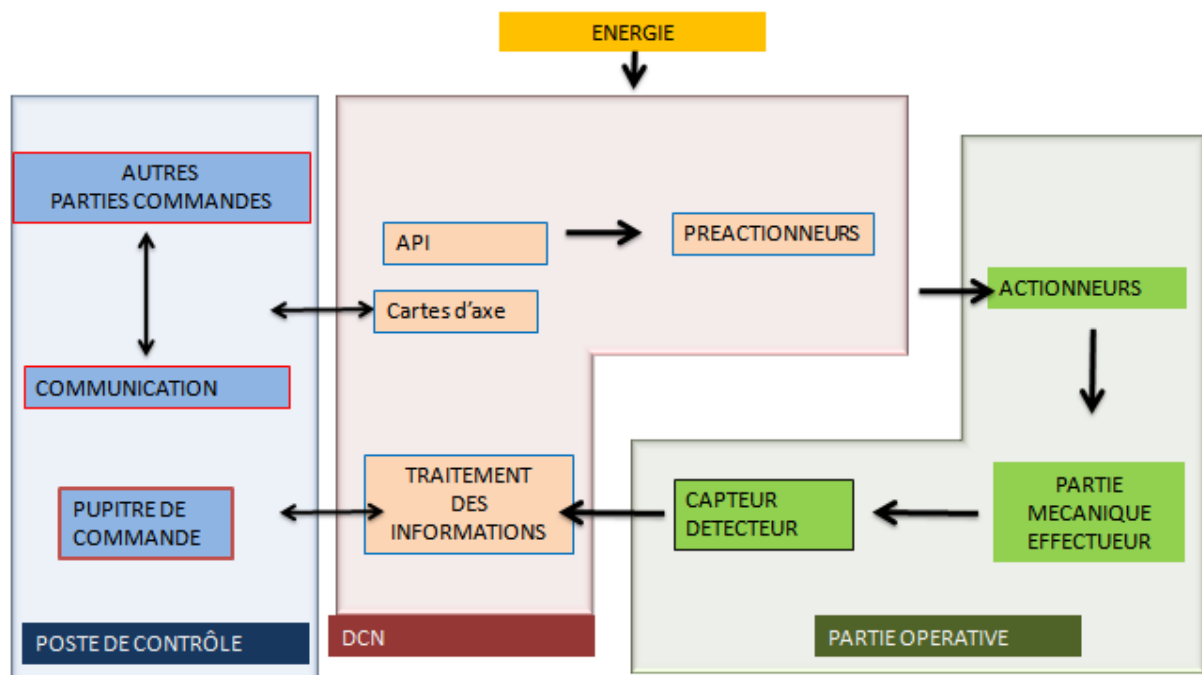
- ❖ La qualité mécanique générale de ces machines est de beaucoup supérieure aux MO conventionnelles:
- Motorisation plus puissante,
- Chaîne cinématique plus simple et plus robuste à variation continue capable d'encaisser des accélérations et décélérations importantes,

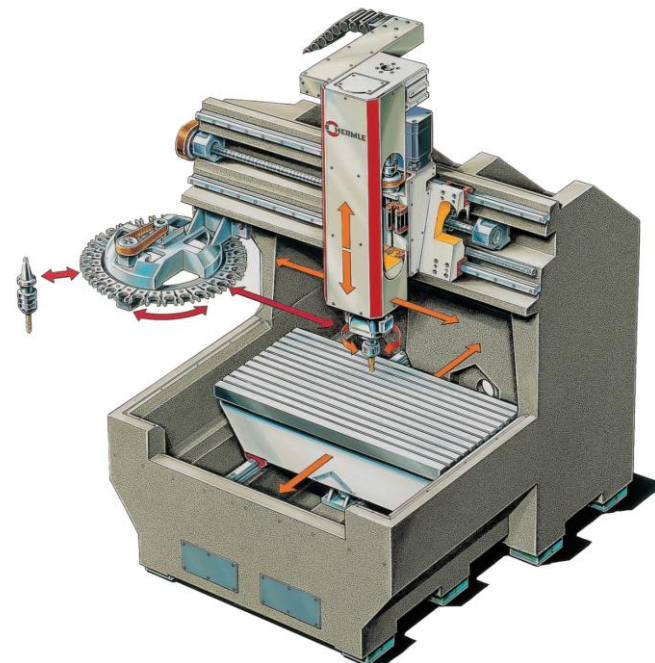
- Commande des chariots par vis à bille avec système automatique de rattrapage du jeu,
- Glissière sans frottement, utilisation de glissières à galets, à billes, hydrostatiques, aérostatiques, les garnitures sont rapportées,
- Bâtis largement dimensionnés, très rigides avec un excellent amortissement.

3- Caractéristiques principales des MOCN découlant de leurs structures



VI- Structure générale d'une MOCN





1- Poste de contrôle

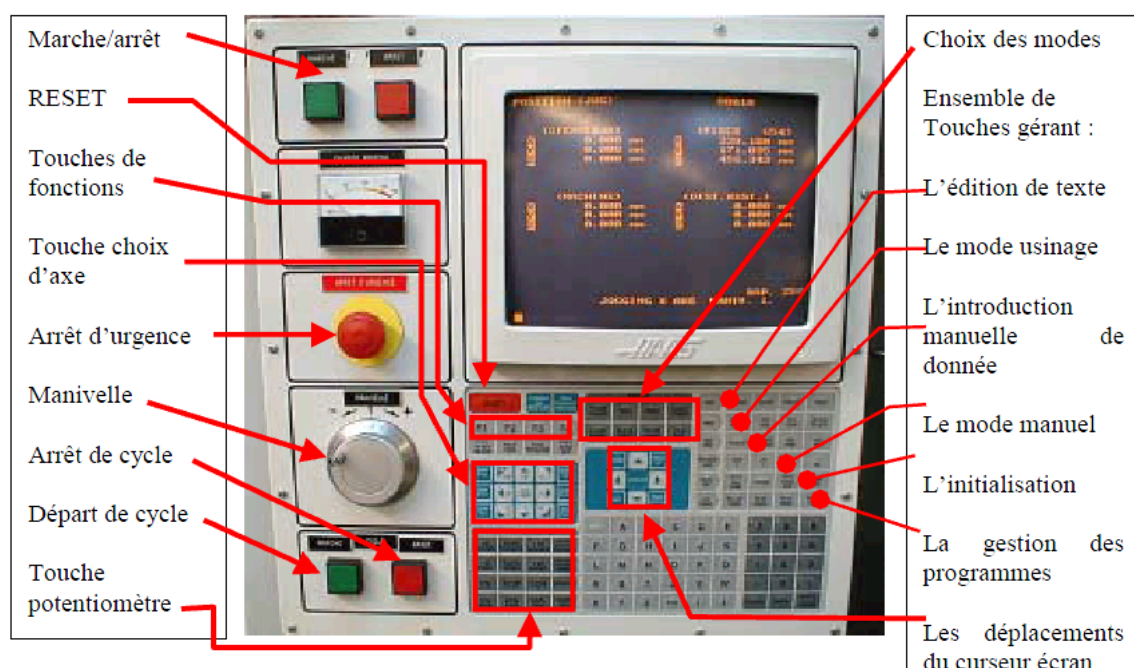
a- Fonction

Assure la communication entre l'opérateur et la machine :

- ◆ Saisir les programmes d'usinage,
- ◆ Simulation d'usinage avant réalisation,
- ◆ Réglage de machine.

b- Pupitre de commande

Composé d'un clavier et d'un écran servant d'interface avec l'opérateur pour la sélection des programmes, l'éditons des programmes, la saisie des paramètres de réglage, la visualisation graphique, la sélection des modes d'utilisation de la machine.



a- Carte de communication avec un PC

Pour le téléchargement des programmes depuis un PC vers le DCN en utilisant la liaison série RS232.

2- Le directeur de commande numérique

a. Automate programmable industriel (API)

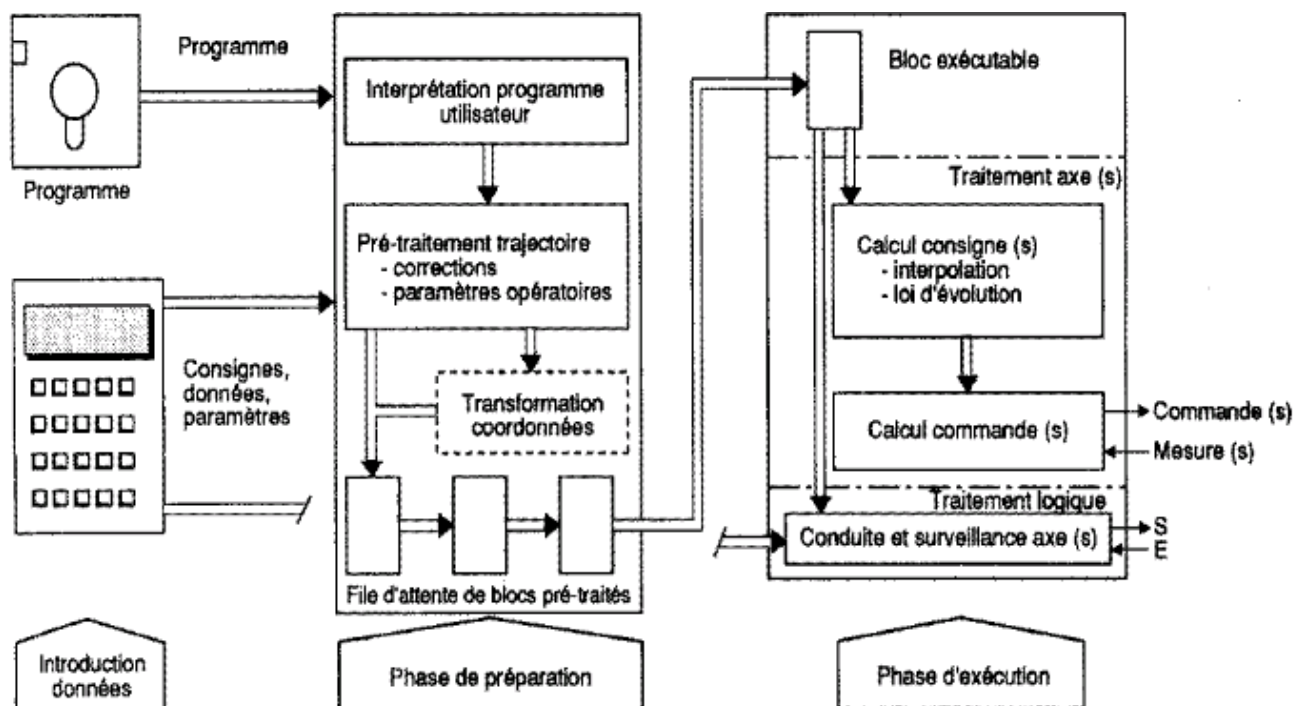
Pour le traitement des fonctions annexes relevant de l'automatique séquentielle : lubrification, sens de rotation de la broche, évolution du magasin d'outils, arrêt d'urgence, ouverture carter, etc...

b. Unité de traitement.

La commande numérique assure l'asservissement en position et en vitesse des déplacements des mobiles :

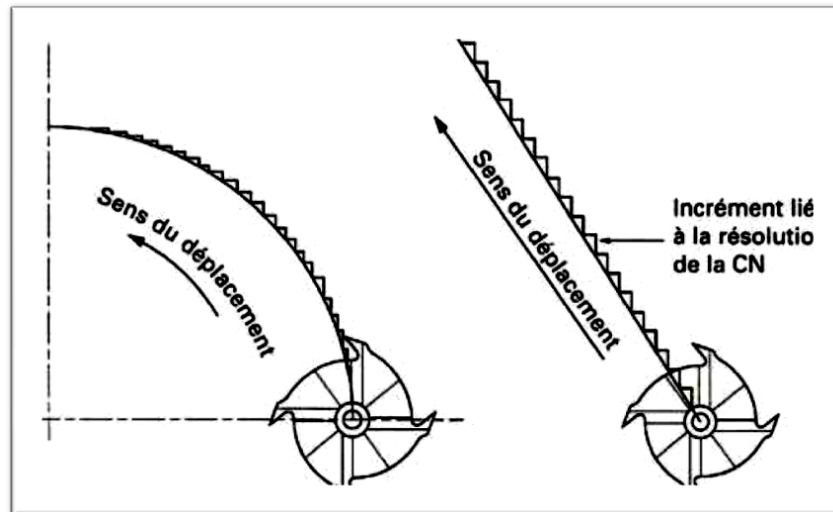
- ◆ Interprétation du programme d'application,
- ◆ Calcul des consignes successives sur la trajectoire,
- ◆ Elaboration de l'écart de poursuite et des corrections nécessaires,
- ◆ Commande de distribution d'énergie,

✗ Traitement du programme



✗ Calcul de trajectoire.

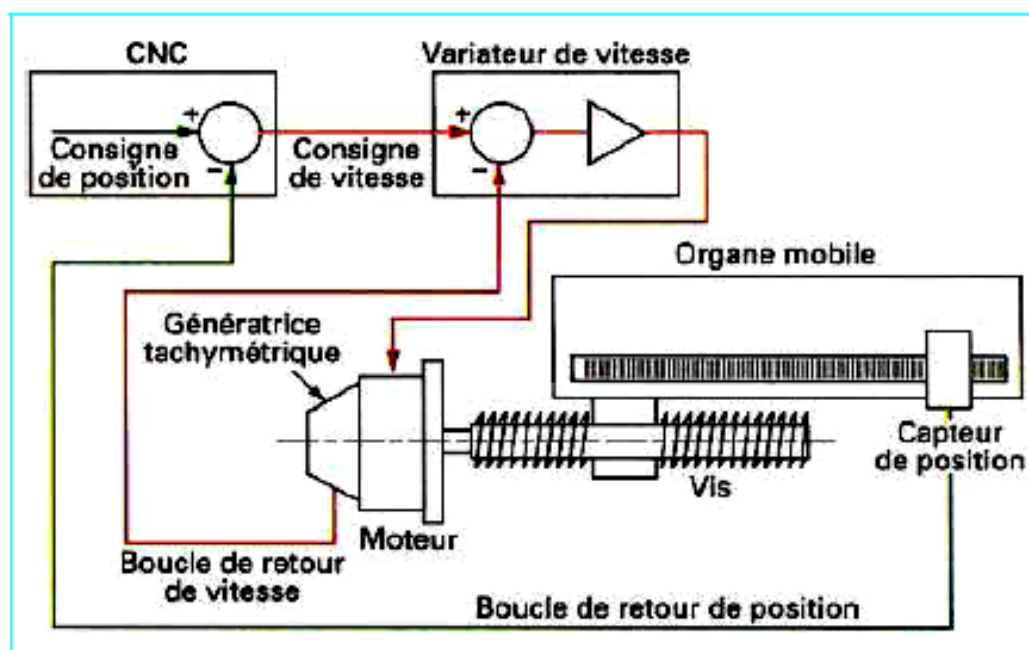
- ◆ L'interpolateur a pour rôle de générer les consignes de positions pour chacun des axes et de les *synchroniser*.
- ◆ Ces informations sont calculées périodiquement à une cadence constante (dite fréquence d'horloge) en fonction de la trajectoire à réaliser.



c. Cartes d'axes

Pour l'asservissement numérique de la position des éléments mobiles de la machine : amplificateur, comparateur, correcteur.

- ◆ Pour chaque mouvement, la carte d'axe contrôle la position, et le variateur contrôle la vitesse.
- ◆ La carte d'axe reçoit, d'une part une consigne de position, *et d'autre part, une image de la position réelle du mobile fournie par un capteur.*
- ◆ En fonction de la différence entre ces deux informations, que l'on appelle *erreur de poursuite*, elle élabore la consigne de vitesse pour le variateur.
- ◆ Le variateur doit fournir l'énergie nécessaire au moteur pour maintenir sa vitesse constante, quel que soit le couple résistant.
- ◆ Pour cela il compare la consigne reçue de la carte d'axe et l'image de la vitesse réelle du mobile, et fait varier la tension d'alimentation du moteur en fonction de cette différence.



3- La partie opérative

a. Motorisation

Deux types d'actionneurs sont utilisés dans les axes numérisés :

- Moteur à courant continu. Ses deux principales caractéristiques sont les suivantes :
 - La fréquence de rotation du rotor est proportionnelle à la tension d'alimentation.
 - Le courant consommé est proportionnel au couple résistant appliqué au rotor.

Pour réguler sa vitesse il faut donc faire varier la tension à ses bornes tout en maintenant une alimentation en intensité suffisante pour fournir le couple mécanique nécessaire à l'entraînement du mobile.

- Moteurs à courant alternatif (moteur asynchrone). Pour faire varier sa vitesse on agit sur la fréquence du courant qui l'alimente.

b. Les capteurs

➔ Capteurs de vitesse

On utilise 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.

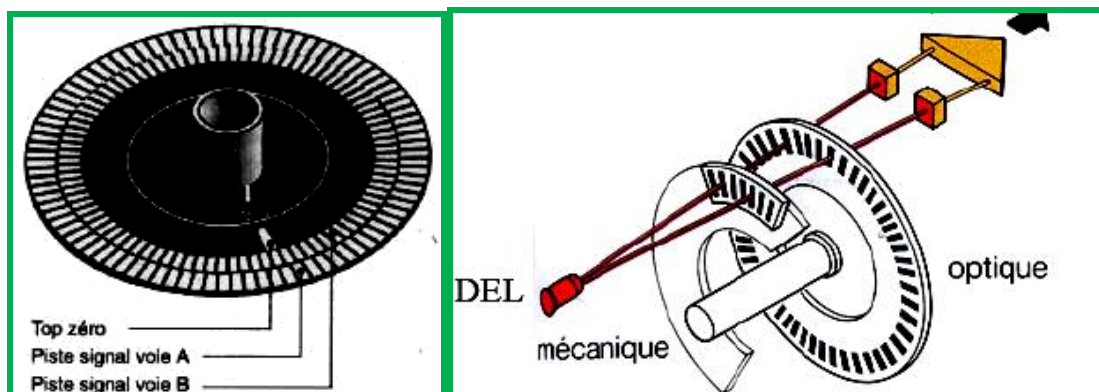


➔ Capteurs de position :

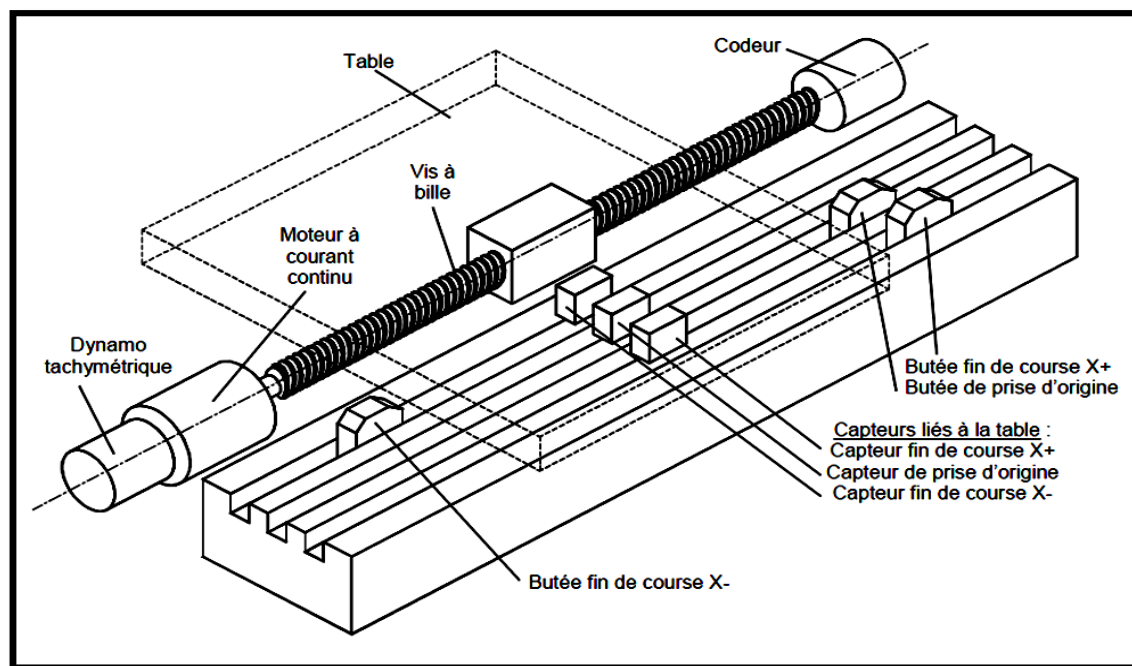
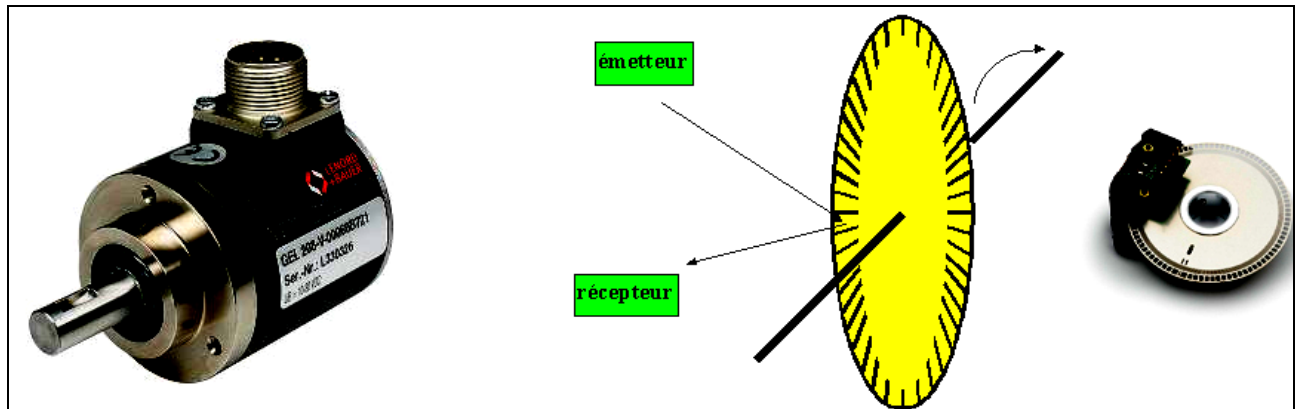
On utilise généralement des **codeurs incrémentaux**.

Un codeur incrémental possède généralement plusieurs voies :

- voie Z donnant une impulsion par tour,
- voie A donnant n impulsions par tour,
- voie B identique à voie A, mais dont les signaux sont déphasés de + ou - 90°, suivant le sens de rotation.



- La lumière émise par une diode électroluminescente passe à travers un disque en rotation solidaire de l'axe du moteur comportant des marques fixes transparentes ou opaques. Le signal délivré se présente alors comme une succession d'impulsions (en fait un signal carré), dont la périodicité est représentative de la vitesse.
- Chaque déplacement élémentaire entraîne une impulsion électrique qui est prise en compte par le calculateur (addition – soustraction d'impulsion).



VII- Guidages

1- Vis à billes

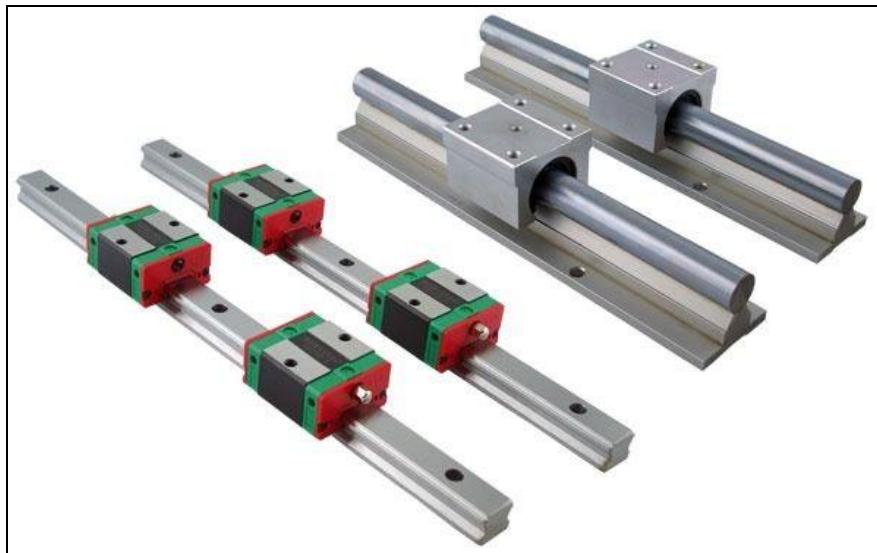
Dans ce système, les filets de la vis et de l'écrou sont remplacés par des gorges hélicoïdales dans lesquelles circulent des billes d'acier. Elle possède plusieurs avantages :

- ◆ Jeux quasiment nuls,
- ◆ Diminution des frottements,
- ◆ Augmentation des vitesses de translation,
- ◆ Augmentation de la durée de vie.

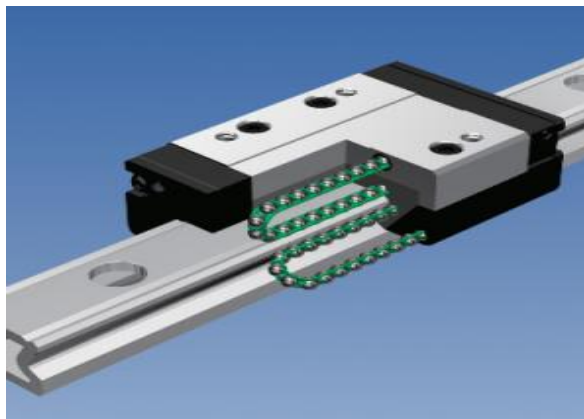


2- Mécanisme à guide linéaire

Les contacts glissants hydrostatiques, utilisés par des machines-outils conventionnelles, souffrent de glissements s'y rattachant, en raison du coefficient de friction très élevé, puisque le centre d'usinage doit résister à des mouvements de déplacement générés par des coupes importantes et par une vitesse rapide. Le guide linéaire est utilisé sur la surface de contact du guide afin d'assurer une bonne précision de l'avance à grande vitesse.

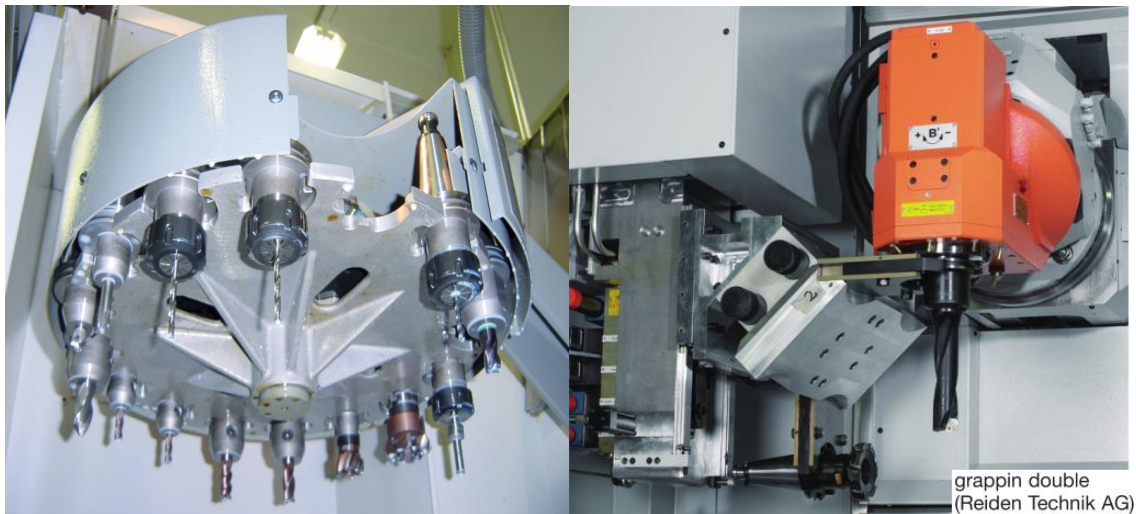


- ❖ Les glissières utilisées sur les MOCN interposent entre les éléments en mouvement :
- Des patins à aiguilles,
 - Un chemin de billes,
 - De la turcise (alliage de téflon et de bronze).



3- Approvisionnement en outils

Un changeur automatique d'outils se compose d'une réserve d'outils (ou magasin) et d'un dispositif de transfert chargé de véhiculer l'outil du magasin vers le poste de travail de la machine et vice-versa, conformément aux instructions du programme d'usinage de la CN.



4- Approvisionnement en pièces.

- ◆ Les temps de montage et de démontage de la pièce revêtent souvent une importance non négligeable dans la productivité d'un MOCN.
- ◆ Sur les *machines à pièces tournantes*, les solutions retenues sont bras manipulateur ou des robots.
- ◆ Sur les *machines à outils tournants*, les systèmes à palettes

