

# Première partie : Introduction à la Machine-outil à Commande Numérique

## 1.1. Introduction

L'usinage par enlèvement de métal représente le moyen le plus fiable pour obtenir des pièces de précision. Le procédé est relativement lent et coûteux, il nécessite des machines, des outils, et des opérateurs qualifiés. La transformation du brut (ébauche) en pièce façonnée requiert une valeur ajoutée plus ou moins importante (selon le cas). Le schéma de ce système est présenté sur la figure 1.

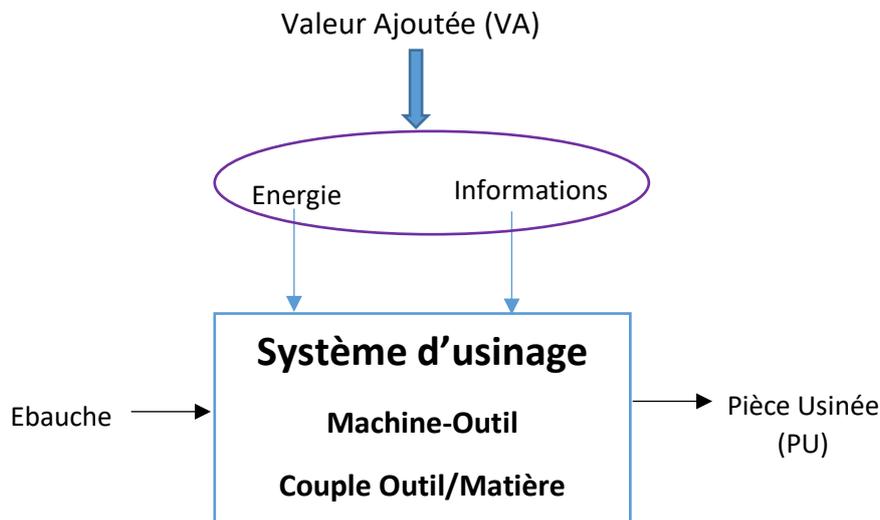
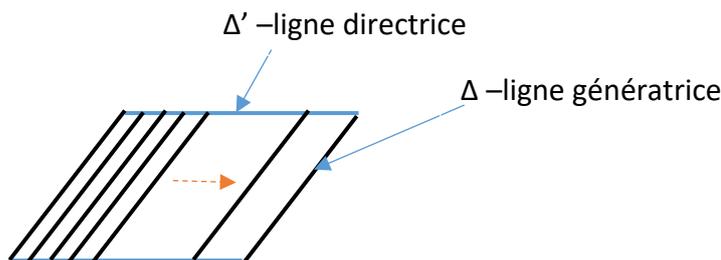
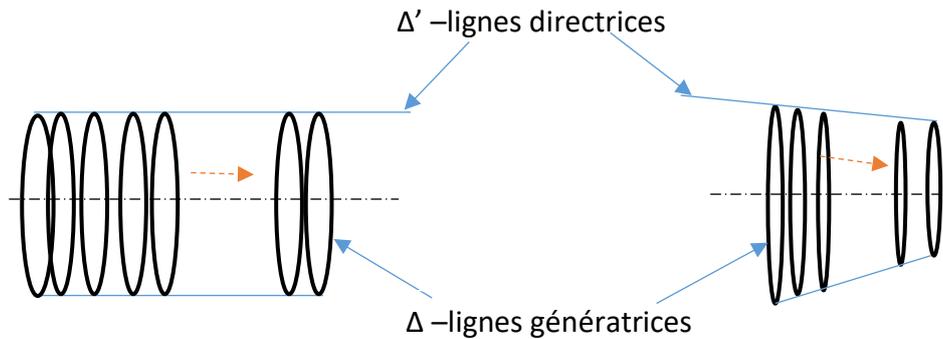


Figure 1. Schéma de principe du procédé d'usinage

La valeur ajoutée entre l'entrée et la sortie du système d'usinage est constituée de deux composantes principales, en l'occurrence, l'énergie et les informations. L'énergie est fournie par la machine-outil. Cette dernière est choisie de manière à assurer la puissance nécessaire à l'enlèvement du métal. Le processus d'informations est nécessaire pour assurer la génération des surfaces, produisant la configuration de la pièce avec les exigences de précision et de qualité. La pièce représente une intersection d'une diversité de surfaces, qui peuvent être simples ou complexes. Géométriquement, pour produire une surface, il y'a lieu de créer deux lignes : une ligne dite génératrice «  $\Delta$  » qu'il faudra glisser le long d'une ligne directrice «  $\Delta'$  », comme montrée sur la figure 2.



a) Génération d'une surface plane



b) Génération d'une surface cylindrique

c) Génération d'une surface conique

Figure 2. Schémas de principe de génération des surfaces

Selon ce principe, il est possible de réaliser différents types de surfaces, donc la réalisation des formes complexes. Dans le processus d'usinage, la création des lignes génératrice et directrice, est obtenue par les mouvements des organes exécutifs de la machine-outil. Les trajectoires suivies par l'outil et la pièce, permettent de réaliser des pièces de forme planes cylindriques, coniques, curvilignes,....etc.

En règle générale, les machines travaillant par coupe de métal, font appel à des mouvements relatifs entre l'outil et la pièce, qui sont :

- Le mouvement de coupe «  $M_c$  » ou Mouvement principal ( $M_p$ ), qui est généralement de rotation dans le cas des machines : tours, fraiseuse, perceuse, rectifieuse,...)
- Le mouvement d'avance «  $M_a$  », continu ou interrompu, synchronisé ou non avec le mouvement de coupe, qui est un déplacement linéaire suivant 1, 2 ou 3 directions, selon la machine fixée
- en complément à ces mouvements, les réglages et les contrôles de positionnement sont nécessaires à la mise en œuvre de la génération des surfaces

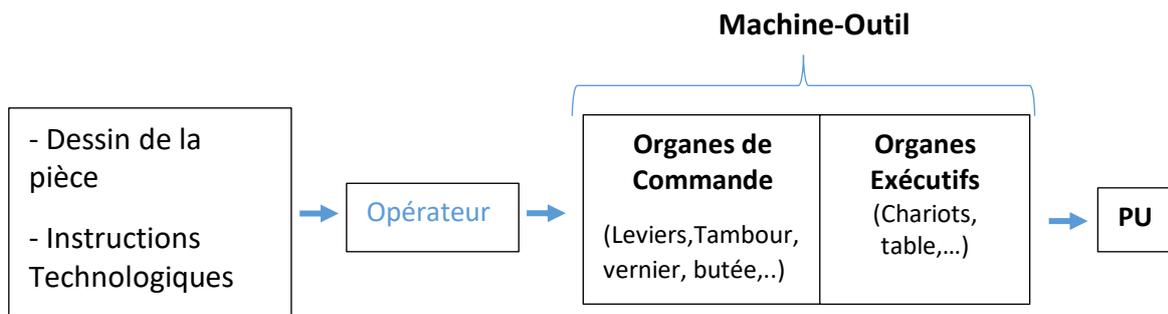
Ces mouvements sont obtenus au moyen de commandes des organes la machine-outil. La combinaison de ces mouvements ainsi que les réglages adéquats, permettent de réaliser des pièces de formes variées.

A noter que ces informations de pilotage du système usinant, sont issues des informations du dessin de définition de la pièce et celles relatives aux instructions technologiques. Examinons en ce qui suit, une analyse comparative entre les machines-outils.

## 1.2 Analyse des machines travaillant par enlèvement de métal

### 1.2.1 Machine outils conventionnelles

Le principe de ce système est illustré sur le schéma ci-dessous (figure 3.).



Pu- pièce usinée

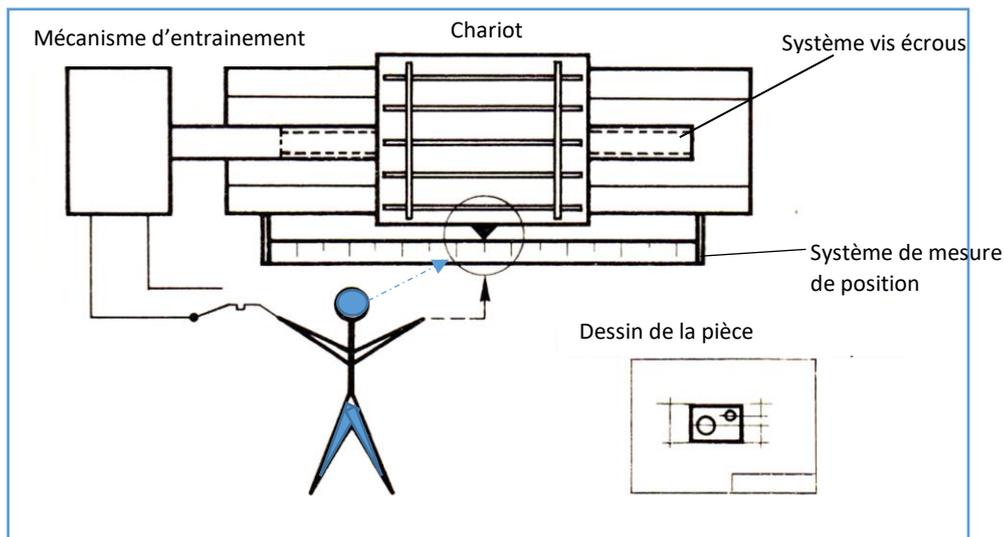


Figure 3. Système de production sous le contrôle de l'opérateur

Le réglage des commandes et le contrôle de positionnement, sont assurés par l'opérateur. Ce dernier, qui est le maillon nécessaire de la chaîne de commande, transforme les informations de dessin en mouvements déterminés sur la Machine-outil. L'opérateur dirige le cycle de travail et contrôle les déplacements des organes exécutifs de la MO.

Nous pouvons enregistrer dans ce cas que :

- La précision et la géométrie de la pièce dépendent de la qualité des contrôles et des réglages ;
- les interventions de l'opérateur sont abondantes, délicates, longues et fastidieuses

De cela découlent les conclusions suivantes :

- **Basse productivité**, donc il ne peut être employé que dans la production unitaire ou en petite série ;
- Nécessité d'un **opérateur de haute qualification** ;

- L'avantage essentiel est la **grande flexibilité** (toute modification de dessin ou des instructions technologiques, peuvent être modifiés aisément).

### 1.2.2 Machine outils automatiques classiques

Dans le but d'améliorer la productivité, les industrielles emploient des solutions d'automatisation de leurs machines de production. Ainsi, des machines-outils semi-automatique, voire complètement automatisées ont été mises au service de l'industrie mécanique. L'opérateur a été découplé de la chaîne de commande de la machine-outil et remplacé par un support d'informations analogique (supports de programme) capable de diriger le cycle d'usinage. Le schéma de principe est présenté sur la figure 4.

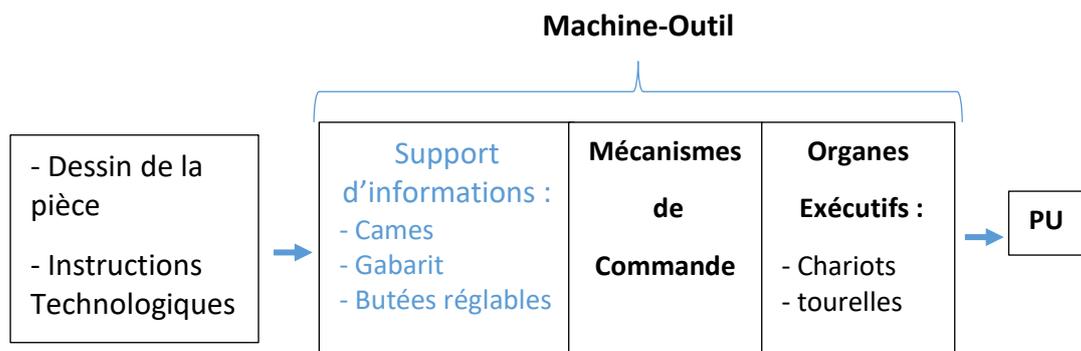
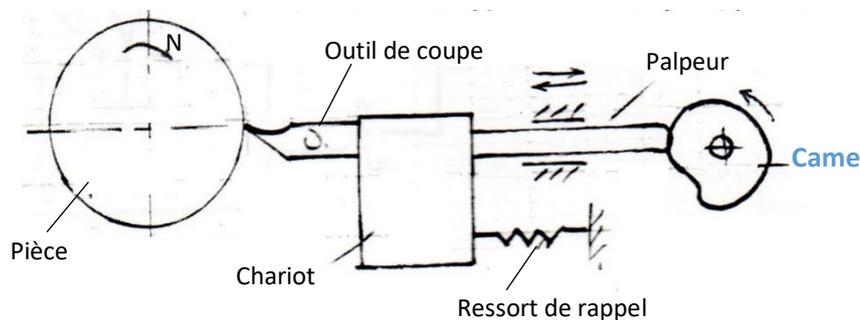


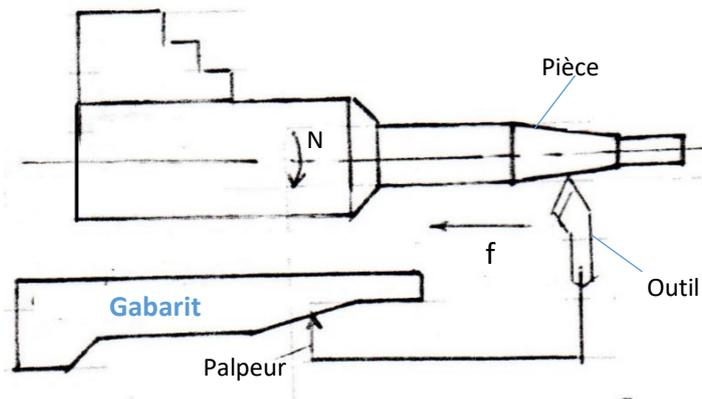
Figure 4. Système de production automatique

Le système automatique se distingue par un dispositif de traitement des informations du dessin technique. Ces informations sont matérialisées sur des supports physiques tels que : les cames, les gabarits et les butées réglables. L'utilisation de ce type de supports (voir figure 5), permet d'exécuter automatiquement le cycle de travail, par conséquent de réaliser partiellement ou totalement une pièce mécanique.

#### a) Commande par came



b) Commande par gabarit



c) Commande par butée réglable

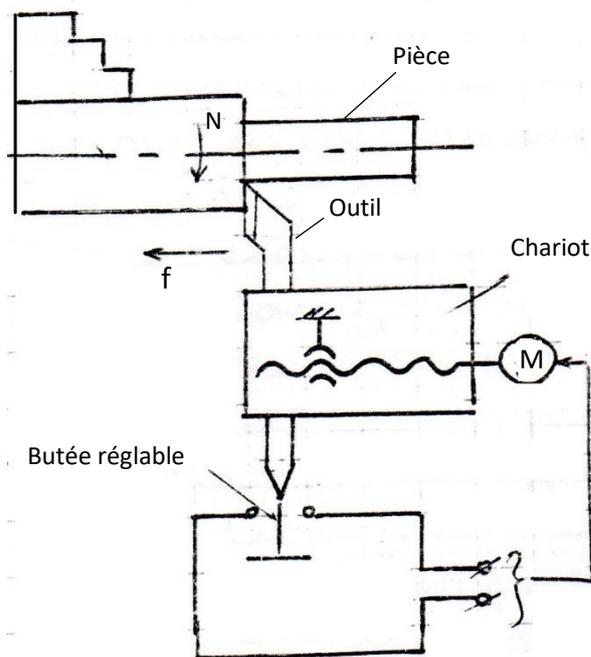


Figure 5. Supports d'informations

Un tel système de commande n'est **pas flexible**, son avantage majeur est la **haute productivité**, il ne peut être employé que dans la production en grande série et de masse. Par ailleurs, il présente certaines contraintes, telles que :

- la complexité de réglage ;
- le besoin d'un régleur qualifié ;
- la temps de réglage important donc prix de réglage élevé ;
- la nécessité des supports d'informations de haute précision

### 1.2.3 Machine outils à Commande Numérique

Sur ce type de machine, les supports d'informations physiques (came, gabarits, butée à ajuster) ont été remplacés par un nouveau support contenant **le programme** d'usinage sous forme numérique, tels que : ruban perforé ou bande magnétique, (voir figure 6).

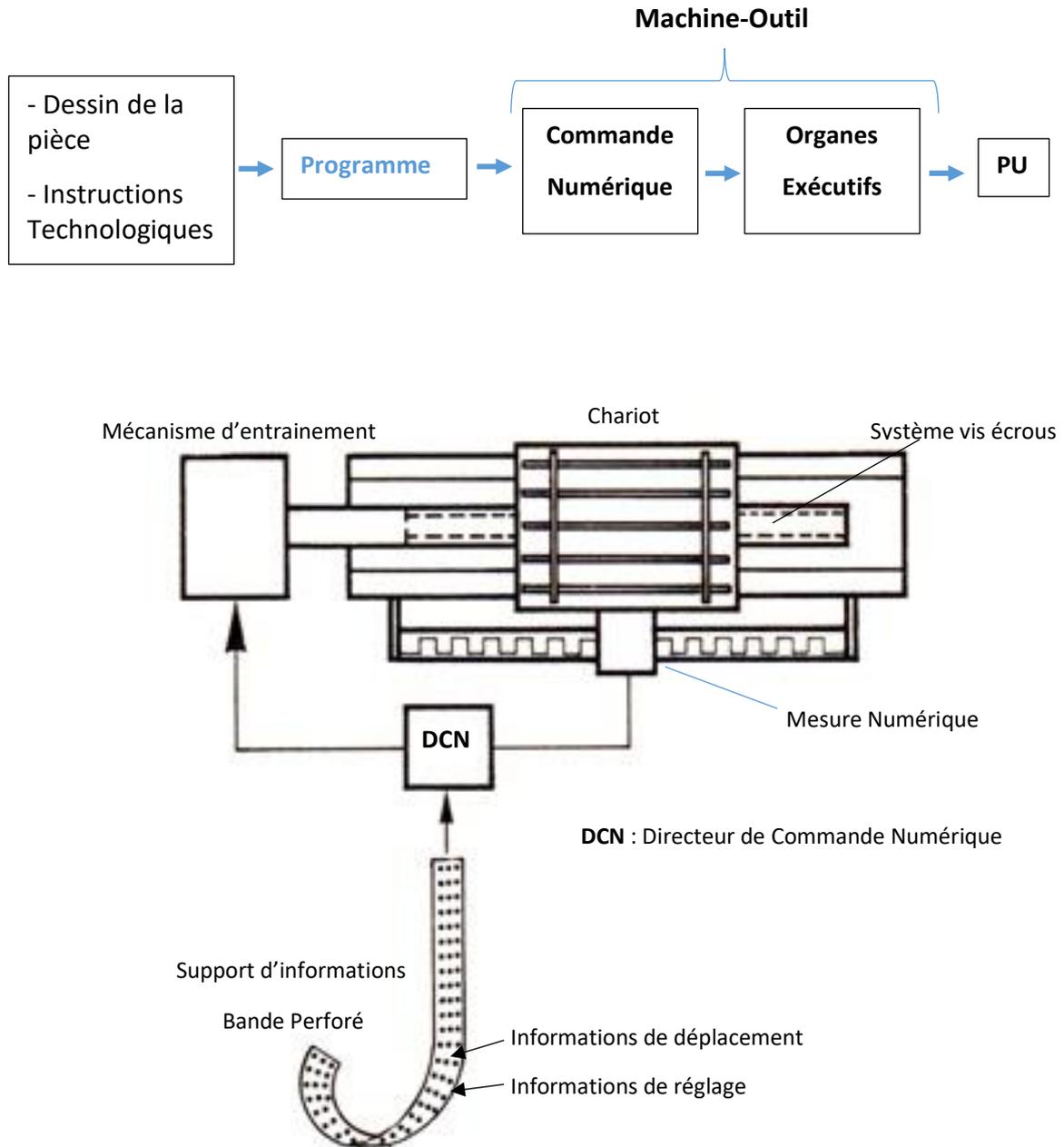


Figure 6. Schéma fonctionnel de l'usinage sous contrôle numérique

Sur les machines-outils à commande numérique, le contrôle des mouvements des organes exécutifs, est assuré automatiquement en position et en vitesse par le DCN suivant les instructions codées sur des supports de programme indépendants de la machine tels que (ruban perforé, bande magnétique, disque magnétique). Ces instructions représentent toutes les informations nécessaires à la réalisation de la pièce et qui peuvent être aussi introduites

par l'intermédiaire d'un pupitre aménagé sur la partie commande de la machine. L'opérateur est hors du circuit de commande, son savoir-faire est remplacé par un système capable de traiter les informations du programme, de fournir les ordres de commande nécessaires aux organes de la machine-outil et de garantir leurs validités lors de l'exécution de l'usinage. Alors, le cycle de travail est assuré de manière automatique par la machine-outil.

La structure des systèmes de commande est constituée de circuits électroniques dans les temps de réponse sont de l'ordre de la microseconde, ce qui favorise la rapidité d'interprétation et de transmission des ordres fournis à la partie opérative de la machine-outil.

Cette technique, mariage entre la mécanique et l'électronique, offre la possibilité de prescrire à l'outil n'importe quelle trajectoire sans emploi d'outillage ou de montage spéciaux, de façon à réaliser **l'usinage mathématique** sur une machine industrielle, donc de réaliser des pièces de **forme complexe**. Grâce à ces mutations dans la structure de commande et de traitement de l'information, la MOCN occupe ainsi une position charnière entre les machines conventionnelles et les machines automatiques, elle permet de garantir **la flexibilité** des unes et **la productivité** des autres. Ces deux grands avantages, sont fortement recherchés dans les industries de fabrication mécaniques.

### 1.3 Un peu d'histoire – apparition des MOCN

Les travaux menés par jacquard (créateur du métier à tisser au XVIIème siècle), ont montré qu'il était possible de commander les mouvements d'une machine au moyen d'un carton perforé, comme présenté dans la figure 7.

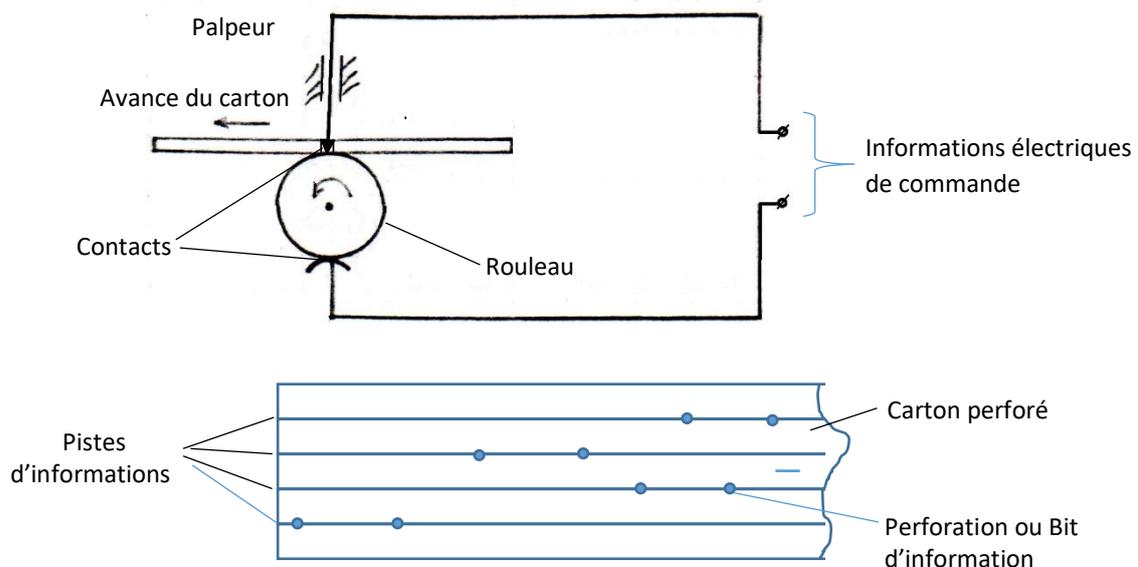


Figure 7. Schéma simplifié de commande numérique

A l'aide de cette technique, il est devenu possible d'assurer les fonctions Telles que : les mouvements d'avance, les déplacements de marche rapide, les mouvements de retour, les

arrêts, ....etc. Alors, le métier à tisser fût le premier à être doté de cette technique de commande.

Vers 1942 aux USA, cette technique a été entreprise et développée pour résoudre des problèmes d'usinage des pièces de formes complexes avec grande précision (exemple d'une came tridimensionnelle de régulateur de pompe à injection). La commande numérique définit un procédé d'automatisation qui, dans le cas de la machine-outil, permet de diriger un organe mobile, en position déterminée, par des instructions alpha-numériques.

L'évolution des machines à commande numérique se divise en trois périodes :

- de 1942 à 1945 : apparition des premières machines à fraiser-contourner, de petites et moyennes dimensions ;
- de 1950 à 1960 : arrivée et développement des perceuses-aléseuses de dimensions diverses à commande « point à point » ;
- à partir de 1960, développement des machines travaillant « point à point » et des machines de « contournage » ;

L'année 1975 a été marquée par une évolution décisive avec l'arrivée des calculateurs dotés de mémoires fiables dans l'environnement de l'atelier. Le programme peut être stocké sur la machine, les instructions du programme peuvent s'affranchir du format fixe grâce au programme interpréteur qui peut décoder des instructions formées de mots. Le programme peut aussi se dérouler de façon non linéaire, des sauts sont possibles ainsi que l'appel de sous-programmes. La notion de langage évolué apparaît et le directeur de commande numérique « DCN » devient une machine informatique. Le développement du matériel électronique, avec l'apparition des circuits intégrés et des microprocesseurs a engendré une amélioration notable des performances des commandes numériques, ce qui a conduit au remplacement du DCN par une Commande numérique par calculateur « CNC » avec apparition de claviers, écrans, disques durs,...etc.

La machine-outil à commande numérique est née de la machine classique et de la nécessité de réaliser des surfaces complexes. Aujourd'hui, dans l'industrie, elle a éloigné les machines conventionnelles en conférant la possibilité d'une grande souplesse à la production. Elle a permis l'extension à d'autres procédés d'usinages, tels que l'électroérosion à fil, la découpe par laser, ...etc.

#### **1.4 Conclusion**

L'apparition des MOCN marque un progrès considérable dans l'évolution continue des fabrications mécaniques vers une automatisation plus poussée. On constate l'évolution irréversible d'une industrie de plus en plus automatisée (cellule et atelier flexibles) où les fonctions sont confiées aux ordinateurs. Par ailleurs, l'usage de la Commande numérique a conduit à la suppression presque totale auprès des Machines-outils et pour la préparation des programmes de fabrication d'un personnel de qualification élevée.

L'investissement en Machines-outils à commande numérique peut paraître important par rapport à celui d'une que l'on pourrait faire en machines classiques, mais **les avantages et les apports** qu'elle offre sont nombreux, ce qui permet de garantir un amortissement rapide.

#### 1.4.1 Apports quantitatifs

Les Machines à commande numériques permettent d'améliorer la productivité de travail d'où une production élevée, grâce :

- A la réduction des temps morts (changement des outils, des pièces, préparation et réglage de la Machine)
- A la programmation effective des conditions de coupe (utilisation des valeurs optimales des paramètres de coupe)
- A la prise en compte rapide des modifications d'usinage (Souplesse d'utilisation)
- A la réduction du nombre de prise des pièces du fait de l'universalité de la Machine ( finition de la pièce sur le même poste de travail : cas du centre d'usinage)
- Aux améliorations de la réponse des mécanismes de la machine, tels que : les variateurs électronique des moteurs de broche et des moteurs d'axes,...etc
- La diminution de l'intervention humaine (efforts physiques réduits), voire même, découplage du travail de l'homme de celui de la machine (travail en autonomie pendant la durée d'une équipe de nuit : système sans opérateur)

#### 1.4.2 Apports qualitatifs

La machines à commande numérique garantit la constance de la précision et la qualité d'usinage d'une pièce à une autre (assurance de la sureté technologique), à savoir :

a) Du point de vue de la précision dimensionnelle, grâce :

- A la qualité des organes, requise par la commande numérique (vis-écrou à bille de précision, guides des glissières améliorés,..)
- A la maîtrise des dilatations thermiques (mesures par capteurs et compensation numérique)
- A la mesure des côtes durant la coupe (contrôle actif), ce qui permet le suivi et la correction des positions suite à une usure de l'outil ou même sa flexion

b) Du point de vue de la qualité des surfaces, grâce :

- A la maîtrise des conditions de coupe selon les caractéristiques de coupe (usage des outils de hautes caractéristiques)
- A la bonne évacuation des copeaux