

Chapitre I : Introduction à la programmation des MOCN

I-1. Introduction

Une machine-outil à commande numérique, appelée communément MOCN. Apparue il y a seulement quelques dizaines d'années, la commande numérique (CN) impose actuellement sa technologie dans le monde de l'usinage. Conçue pour piloter le fonctionnement d'une machine à partir des instructions d'un programme sans intervention directe de l'opérateur pendant son exécution, elle a, dans un premier temps, permis de franchir un pas important dans l'automatisation des machines-outils traditionnelles. Tours, fraiseuses, perceuses et aléseuses sont ainsi devenues capables d'assurer, en quantité comme en qualité, une production à peine imaginable quelques années auparavant. La CN est également à l'origine de nouvelles conceptions de machines polyvalentes comme le **centre d'usinage**. De très nombreuses technologies de fabrication sont maintenant pilotées par des commandes numériques : tournage, fraisage, électroérosion, rectification, affutage, pliage, poinçonnage, découpes, etc ...

Aujourd'hui, avec la progression de la **micro-électronique** et de **l'informatique**, la CN voit ses performances et sa convivialité augmenter régulièrement tandis que, en revanche, son prix et son encombrement ne cessent de diminuer. Elle pénètre, dans les plus petites entreprises et devient accessible à tous les secteurs industriels.

1-2. Historique

Les travaux menés par Falcon et Jacquard à la fin du (18^{ème}) XVIIIe siècle ont montré qu'il était possible de commander les mouvements d'une machine à partir d'informations transmises par **un carton perforé**. Leur métier à tisser de 1805 fut le premier équipement à être doté de cette technique et, de ce point de vue, il peut être considéré comme l'ancêtre de la commande numérique. Il faut cependant rattacher l'exploitation industrielle de la CN au développement de l'électronique. En 1947, à **Traverse City** 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. L'emplacement et la profondeur de chaque trou sont calculés avec précision par un ordinateur IBM à cartes perforées. La finition de la surface est obtenue par des opérations manuelles de polissage. 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 1a), 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 aurait pu tout aussi bien s'appeler commande symbolique!

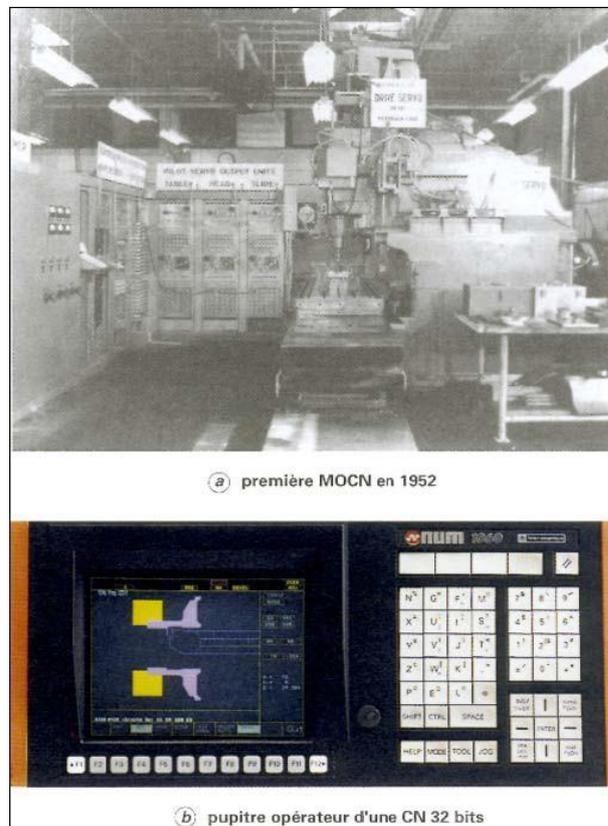


Figure 1 : évolution de la CN de 1952 à 1995

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 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.
- 1976 Développements des CN à microprocesseurs.
- 1984 Apparitions 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.
- 1990 développements des CN à microprocesseurs 32 bits (figure 1b).

I-3. Justification de la CN

I-3-1. 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 par ailleurs un certain nombre d'avantages moins palpables mais tout aussi importants, tels qu'une diminution notable de la fatigue de l'opérateur, moins d'erreurs d'origine humaine et un temps d'usinage constant et prévisible pour chaque pièce d'une même série.

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 différente compte tenu de la réduction importante des temps non productifs que l'on enregistre sur les machines à fort taux d'automatisation (figure 2).

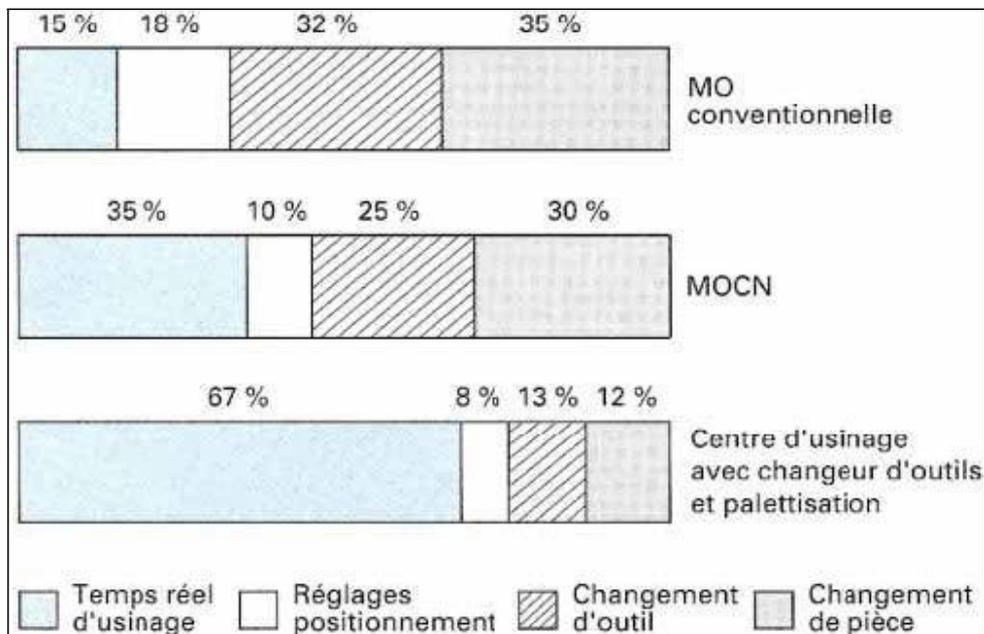


Figure 2 : productivité comparée de diverses machines en fonction de leur degré d'automatisation

I-3-2. 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 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) ;
 - 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.

I-3-3. 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.

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.

I-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 1000 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.

I-5. Domaine d'utilisation et coût

Le système de fabrication le plus rentable est celui qui engendre le coût d'une pièce le plus bas. Ce coût est calculé par la formule suivante :

$$C = C_u + C_r/L + C_p/ZL$$

- avec
- C coût total de fabrication pour une pièce,
 - C_u coût d'usinage d'une pièce (matière, main d'œuvre directe, coût machine),
 - C_r coût de lancement de la série et des réglages des outils et de la machine,
 - L nombre de pièces d'une série,
 - C_p coût de préparation (gammes et programmes d'usinage) et des outillages,
 - Z nombre de séries,
 - ZL nombre total de pièces fabriquées.

On constate que le coût total de fabrication par pièce varie en fonction de la quantité ZL d'une manière hyperbolique. Si l'on considère le nombre de pièces usinées, le domaine d'utilisation économique de la MOCN se situe dans la petite et la moyenne séries. Les MO conventionnelles restent rentables pour des opérations simples où elles ont malgré tout tendance à être remplacées par des MOCN d'entrée de gamme. Pour les grandes séries, le recours à des machines spéciales à automatisation rigide (machines transfert, tours à cames, fraiseuses de copiage) se montre encore très avantageux.

Si l'on représente le coût d'une pièce en fonction du nombre d'exemplaires à fabriquer, on peut déterminer les limites économiques d'utilisation de la CN. Dans l'exemple de la figure 3, au-dessus de 5 pièces par série, l'usinage sur une MO à commande manuelle est plus rentable que sur une MOCN ; de la même façon, une machine spéciale le sera au-dessus de 5000 pièces par série.

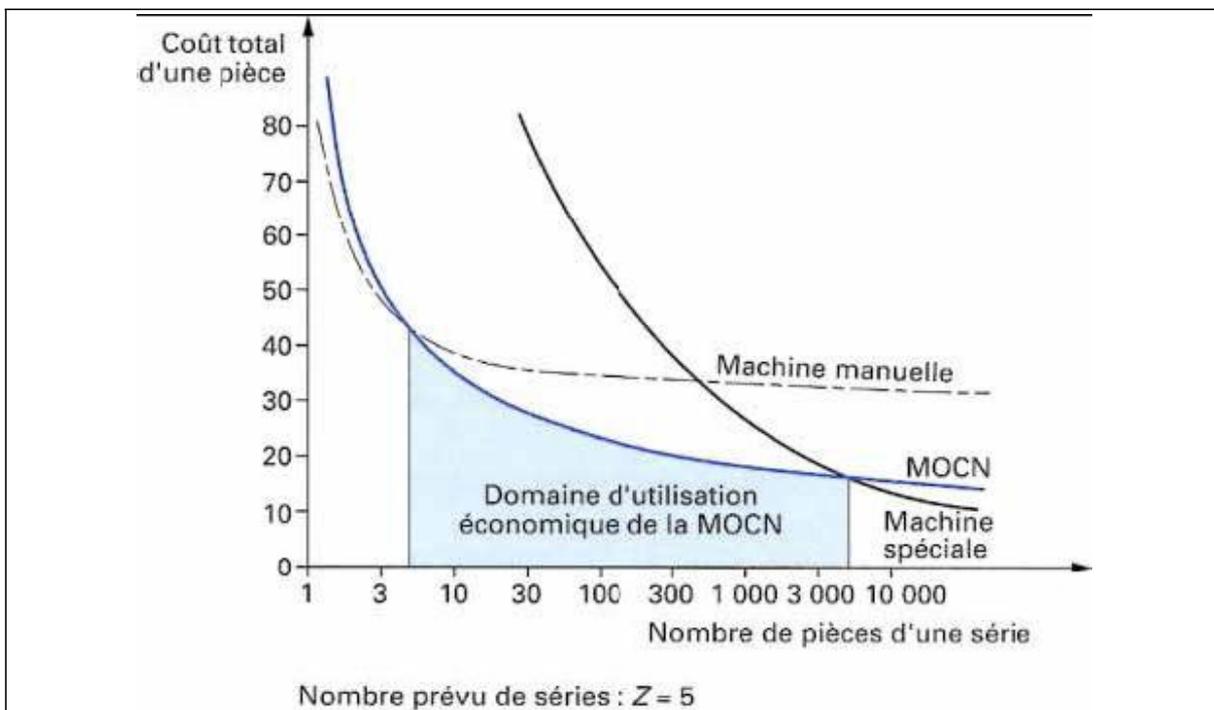


Figure 3 : domaine d'utilisation des MOCN