

# Cours CAO / CFAO



## **CH II : Les MOCN**

DR : Arslane Mustapha

MAB à L'université de M'sila

# Table des matières



<b>I - Chapitre II. Les MOCN (Machines-outils à commande numérique)</b>	<b>3</b>
1. Généralités .....	4
1.1. Schéma de la machine-outil à commande numérique .....	5
2. Principaux organes .....	6
2.1. Composition d'une MO .....	6
3. Domaines d'utilisation .....	10
3.1. Industrie Aéronautique .....	10
3.2. Industrie Automobile .....	11
3.3. Industrie Médicale .....	11
3.4. Industrie Électronique .....	12
3.5. Industrie de l'Énergie .....	12
3.6. Métallurgie et Sidérurgie .....	13
3.7. Fabrication de Moules et d'Outillages .....	14
3.8. Industrie de la Défense .....	14
3.9. Industrie de la Transformation du Bois et du Plastique .....	15
3.10. Construction Navale .....	15
4. Axes normalisés .....	16
4.1. Origines .....	18
4.2. Asservissement d'un axe .....	20
5. Différentes architectures des MOCN .....	20
5.1. Type de commande numérique .....	20
5.2. Structure de la machine .....	20
5.3. Nombre d'axes .....	21
5.4. Type d'usinage .....	24
5.5. Fonctionnalités supplémentaires .....	25
5.6. Choisir la bonne architecture de MOCN dépend de plusieurs facteurs .....	25

# Chapitre II. Les MOCN (Machines-outils à commande numérique)

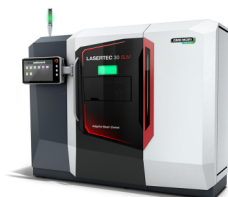
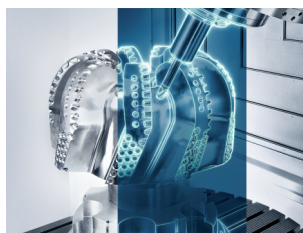
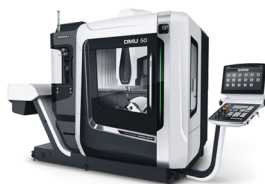
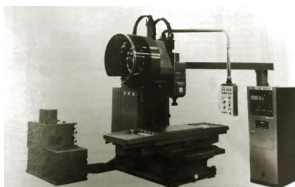


Actuellement, les machines à commande numérique (CNC) offrent une production économique et rentable, avec une attention particulière portée sur le contrôle des coûts. La réduction des volumes de production et la diminution de la durée de vie des produits finaux exigent des flux de production de plus en plus flexibles.

Les jalons clés dans l'évolution de la commande numérique (NC) sont les suivants :

- En 1954, la première machine NC a été produite à grande échelle.
- En 1958, le premier langage de programmation symbolique a été développé.
- En 1965, le premier changement d'outils automatique a été introduit.
- En 1969, la première installation de commande numérique décentralisée (DNC) a été établie.
- En 1972, la première machine CNC avec microprocesseur intégré a été mise en service.
- En 1984, la première machine CNC avec assistance à la programmation graphique a été développée.
- En 1994, la fermeture de la boucle entre la Conception Assistée par Ordinateur (CAO), la Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO) et la CNC a été réalisée.
- En 2000, l'émergence d'interfaces Internet a permis un échange de données à l'échelle mondiale et un diagnostic intelligent des défauts.

*Évolution des MOCN*



## 1. Généralités

*Qu'est ce que le NC, le CNC et le DNC?*

**NC (Numerical Control)** - Commande Numérique: C'est la base de la technologie. Le NC désigne le contrôle d'une machine-outil par des instructions codées sous forme de nombres. Ces instructions définissent le mouvement et la position de l'outil de coupe pour la fabrication d'une pièce.

**CNC (Computerized Numerical Control)** - Commande Numérique par Ordinateur: C'est l'évolution logique du NC. Le CNC implique l'utilisation d'un ordinateur pour stocker et exécuter les instructions de commande numérique. Cela permet une plus grande flexibilité, une plus grande précision et une automatisation accrue du processus de fabrication.

**DNC (Distributed Numerical Control)** - Commande Numérique Décentralisée: Il s'agit d'un système de réseau qui permet la gestion centralisée des programmes NC et leur distribution à plusieurs machines CNC. Cela évite de stocker les programmes sur chaque machine individuellement, ce qui simplifie la gestion des données et la maintenance du système.

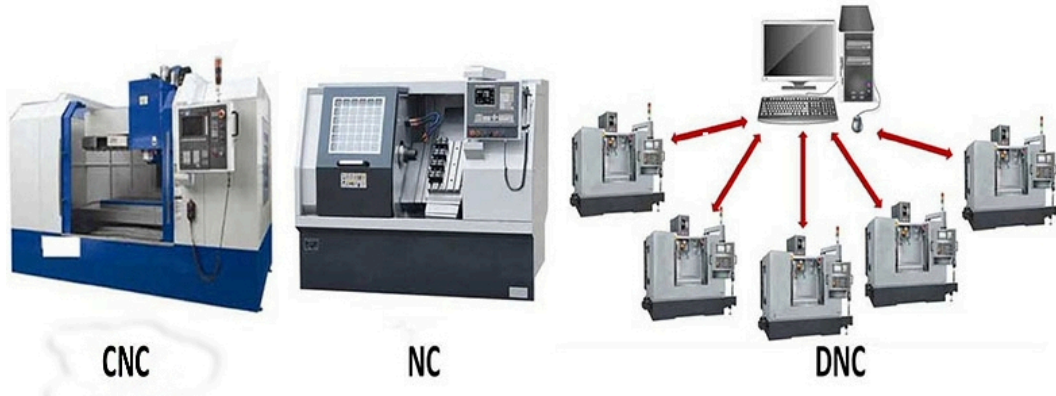
**En résumé :**

**NC** est le concept fondamental du contrôle numérique par code.

**CNC** ajoute l'ordinateur pour automatiser et améliorer le NC.

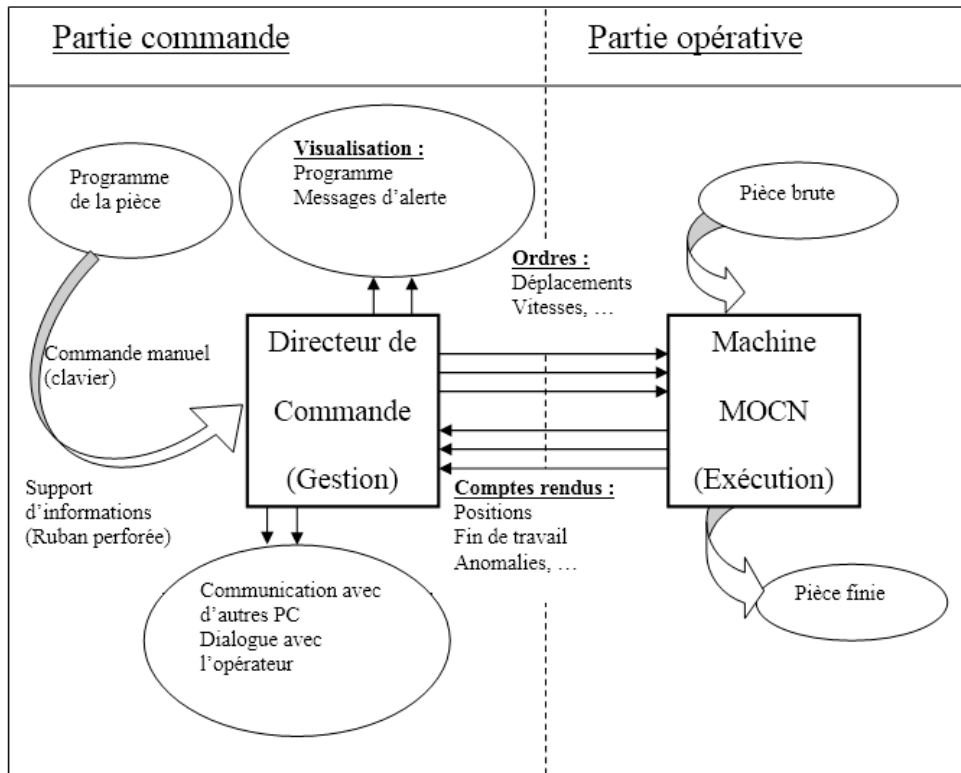
**DNC** gère et distribue les programmes NC au sein d'un réseau de machines CNC.

# NC vs CNC vs DNC



*L'évolution du contrôle des machines dans la fabrication*

## 1.1. Schéma de la machine-outil à commande numérique



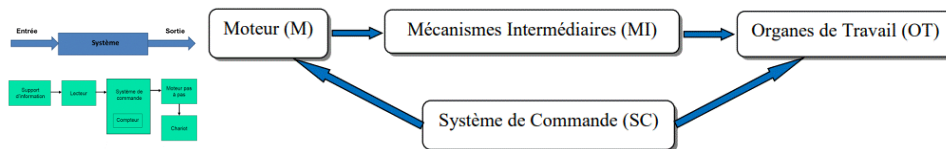
*Schéma de la machine-outil à commande numérique*

## 2. Principaux organes

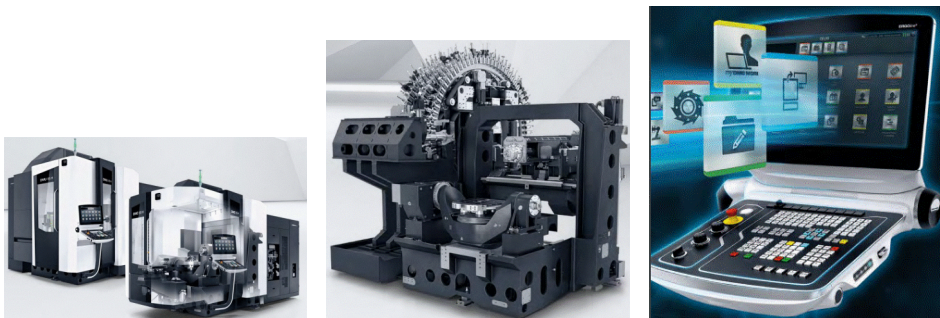
### 2.1. Composition d'une MO

La composition, plus simple, d'une machine-outil comprend :

1. Moteurs (M), en général électrique pas à pas (comme source d'énergie) ;
2. Mécanismes intermédiaires (MI) ou la transmission : C'est l'ensemble des organes qui permettent la transmission de l'énergie (ou le mouvement) du moteur vers les organes de réception (visse à billes, glissières)
3. Les organes de travail (OT) ou machines réceptrices qui peuvent être la broche de la machine-outil, la table rotative , etc .....
4. Un système de commande (calculateur) pour coordonner les paramètres entre moteurs et organes de travail en fonction des conditions d'exploitation de cette machine ;
5. Un socle ou un bâti sur lequel sont montés tous ces organes.



*Composition MOCN*



#### 2.1.1. HMI (human-machine interface) / Pupitre ou IHM (Interface homme-machine)

**IHM** est une interface utilisateur ou un tableau de bord qui permet aux opérateurs d'interagir avec des machines, des systèmes ou des appareils. Les IHM permettent aux utilisateurs de surveiller et de contrôler les machines, de visualiser des données, de saisir des commandes et de recevoir des retours d'information.

Elles agissent comme un pont entre les humains et les systèmes complexes, simplifiant l'interaction et la communication.

#### *Applications*

Les **IHM** sont largement utilisées dans divers secteurs, notamment :

- Automatisation industrielle : Contrôle des machines et des processus dans les usines, les centrales électriques, etc.
- Domotique : Gestion de l'éclairage, de la température, des systèmes de sécurité, etc., dans les bâtiments.
- Équipements médicaux : Utilisation de dispositifs médicaux, surveillance des données des patients, etc.
- Électronique grand public : Contrôle des téléviseurs, des appareils électroménagers, des voitures, etc.

## Exemple

---



## Remarque

---

Il existe de nombreux fabricants de commandes numériques pour machines-outils, chacun avec ses propres spécifications et langages de programmation. Voici une liste de quelques-uns des principaux fabricants de commandes numériques :

1. **Siemens:** Utilise le langage Sinumerik.
2. **Fanuc:** Utilise le langage G-code et M-code.
3. **Heidenhain:** Utilise le langage TNC (Trajectory Numerical Control).
4. **Mitsubishi Electric:** Utilise le langage Meldas.
5. **Haas Automation:** Utilise le langage G-code et M-code.
6. **Fagor Automation:** Utilise le langage G-code et M-code.
7. **Okuma:** Utilise le langage OSP (Okuma Operating System).
8. **NUM:** Utilise le langage Flexium.
9. **GSK CNC Equipment:** Utilise le langage G-code et M-code.
10. **Bosch Rexroth:** Utilise le langage MTX (Motion Logic).
11. **Yaskawa:** Fournisseur de commandes CNC et de systèmes de contrôle de mouvement.
12. **Doosan:** Utilise le langage G-code et M-code.

Il est important de noter que chaque fabricant peut avoir plusieurs modèles de commandes numériques, et certains peuvent utiliser des langages de programmation spécifiques à leur marque. Pour obtenir des informations précises sur les commandes spécifiques à une machine-outil, il est recommandé de consulter la documentation fournie par le fabricant ou le distributeur.

### 2.1.2. Spindle / Broche d'outil

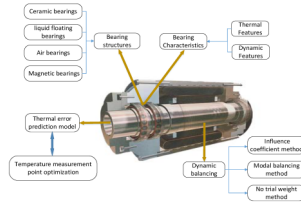
Dans une machine CNC, la broche principale est généralement l'arbre situé au centre de l'axe de rotation de la machine-outil ; cependant, il peut également désigner l'ensemble de l'unité rotative, comprenant non seulement l'arbre mais aussi ses roulements et tout ce qui y est attaché.

Les broches sont entraînées par un axe qui reçoit les commandes de mouvement du contrôleur CNC. La broche d'un centre d'usinage CNC est un composant important. La forme détermine la vitesse et la force de coupe.

Une machine-outil peut avoir plusieurs broches, la plus grande étant la broche principale. Sans aucune autre qualification, la broche implique généralement la broche principale.

Des configurations et modifications de broches sont disponibles pour répondre aux besoins de diverses industries. Les exemples courants incluent les broches de tour, les broches de fraiseuse, les broches de rectification, les broches électriques, les broches à basse vitesse, les broches à grande vitesse, etc.

*Spindle representation*

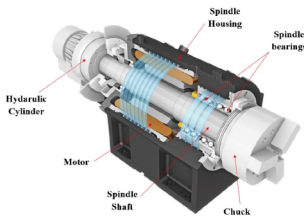


## a) Types de broches

Les broches CNC se présentent sous de nombreuses formes, mais elles sont généralement divisées en **deux catégories**, chacune présentant ses propres avantages.

- **Broche moteur intégrée** : Cet appareil est livré avec un moteur interne qui peut atteindre une vitesse maximale de **60 000 tr/min**. Parce que cette machine peut tourner si rapidement, elle peut être utilisée dans diverses applications. Sa rotation rapide peut entraîner une usure accélérée, et ses performances en termes de puissance et de couple peuvent être limitées en fonction du boîtier du moteur.
- **Broche entraînée par courroie** : Cette broche peut atteindre une vitesse de rotation de jusqu'à **15 000 tr/min**. Bien qu'elle ne soit pas aussi rapide qu'une broche à moteur intégré, elle est équipée d'un moteur externe qui lui confère une puissance et un couple supérieurs. De plus, elle représente une option plus économique par rapport à une broche à moteur intégré, ce qui en fait un choix attractif pour ceux disposant d'un budget limité.

### Types de broches

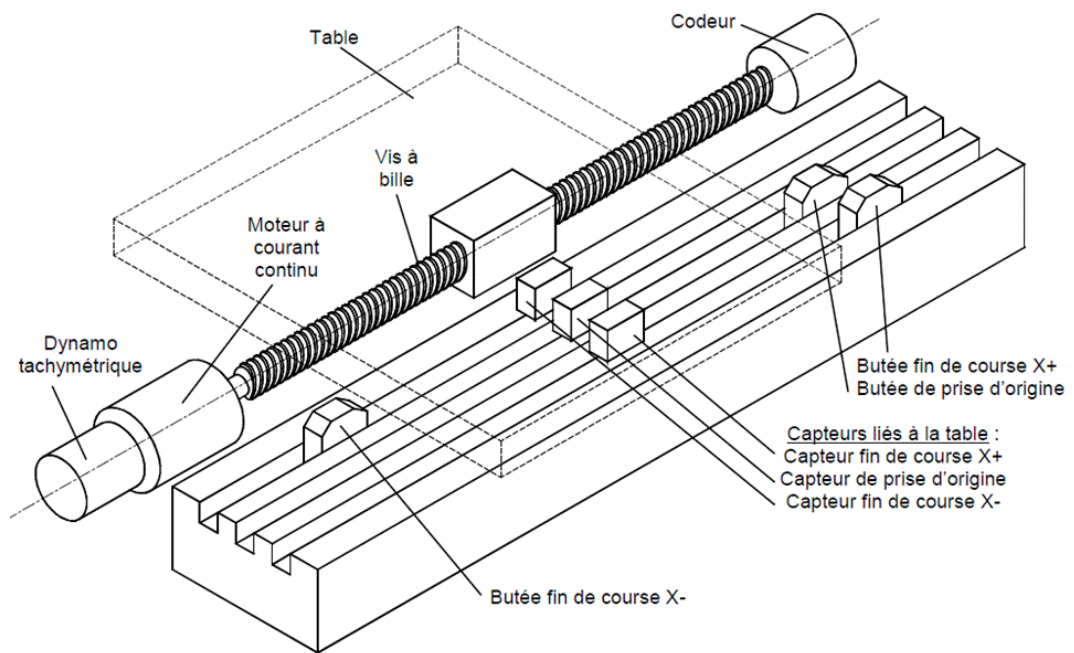


### 2.1.3. Éléments du mécanisme d'avance


#### Partie opérative d'un axe numérique

La chaîne cinématique responsable des déplacements dans une machine-outil à commande numérique est élémentaire, mais elle assure une précision optimale. Son objectif est de garantir le déplacement fluide de la partie mobile tout en restant la plus courte et directe possible. Lorsqu'il s'agit de déplacer un chariot, si les caractéristiques et les dimensions du moteur le permettent, on opte pour une transmission directe de la vis. Dans le cas contraire, on met en place un étage de réduction sans jeu, faisant appel à une paire de roues dentées ou à une transmission par courroie crantée.



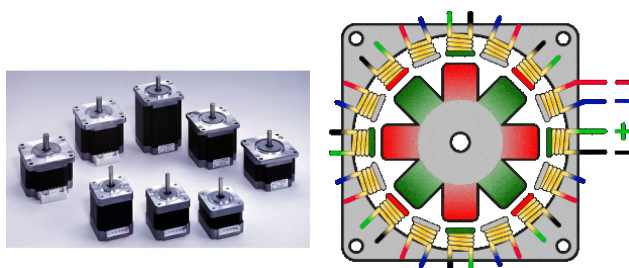


*Mécanisme d'avance*

 **Complément : Moteur pas à pas**

Les moteurs pas à pas sont conçus pour effectuer des rotations à des angles fixes lorsqu'ils reçoivent des impulsions de leur électronique de commande. En contrôlant le nombre d'impulsions, on peut réaliser des déplacements très précis. Bien que ces moteurs puissent fournir des couples élevés à des vitesses moyennes, ils ont tendance à chauffer rapidement et perdent de leur capacité d'accélération à des vitesses élevées. Pour maintenir une vitesse constante malgré les variations de charge, des variateurs électroniques de vitesse peuvent être installés. Certains se connectent directement au réseau triphasé 380V et utilisent la technique de contrôle vectoriel de flux pour maîtriser la vitesse et le couple du moteur. Ils peuvent freiner le moteur jusqu'à l'arrêt complet, même en cas de coupure imprévue de l'alimentation.

*Moteur pas à pas*



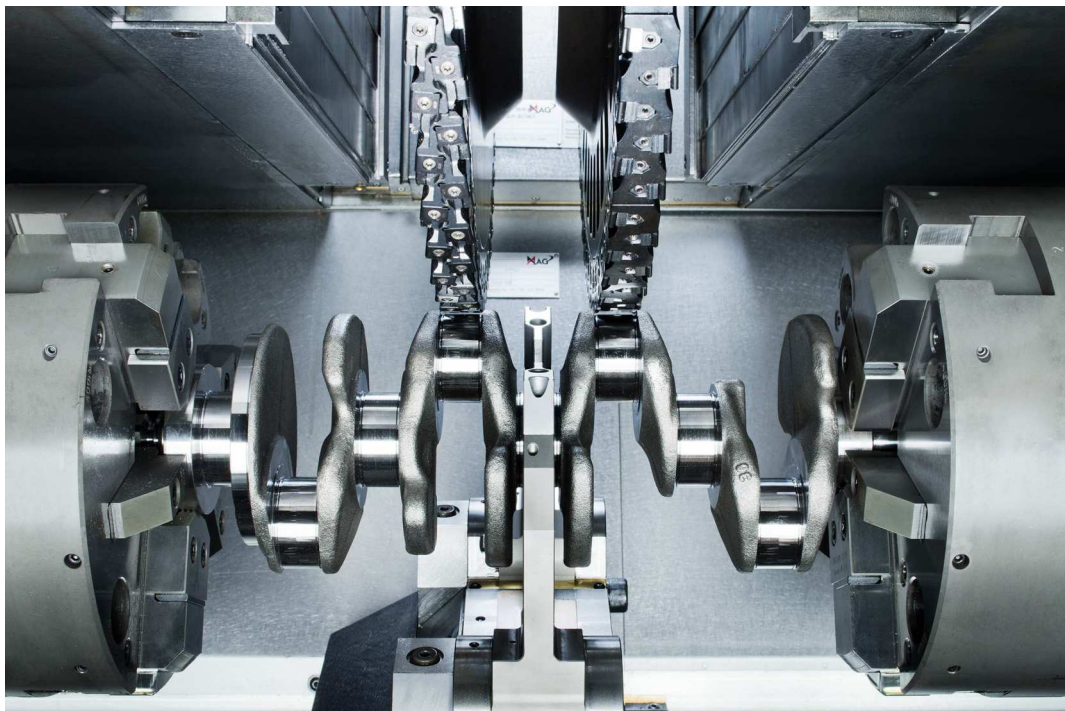




*MOCN dans l'aérospatiale*

### **3.2. Industrie Automobile**

La fabrication de pièces automobiles, y compris les blocs moteurs, les composants de transmission, les éléments de carrosserie et les outillages, fait largement appel aux MOCN.



*MOCN dans Industrie Automobile*

### **3.3. Industrie Médicale**

Les MOCN sont utilisées dans la production d'instruments médicaux, d'implants et de composants précis pour l'industrie médicale.





*MOCN dans l'Industrie de l'Énergie*

### **3.6. Métallurgie et Sidérurgie**

Les MOCN sont largement utilisées pour le formage, l'usinage et la découpe de métaux dans l'industrie métallurgique et sidérurgique.





### **3.9. Industrie de la Transformation du Bois et du Plastique**

Les MOCN sont employées pour la découpe, la gravure et le formage de matériaux tels que le bois et le plastique.



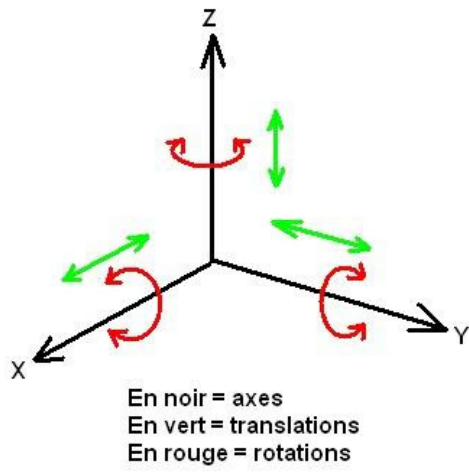
*Industrie de la Transformation du Bois*

### **3.10. Construction Navale**

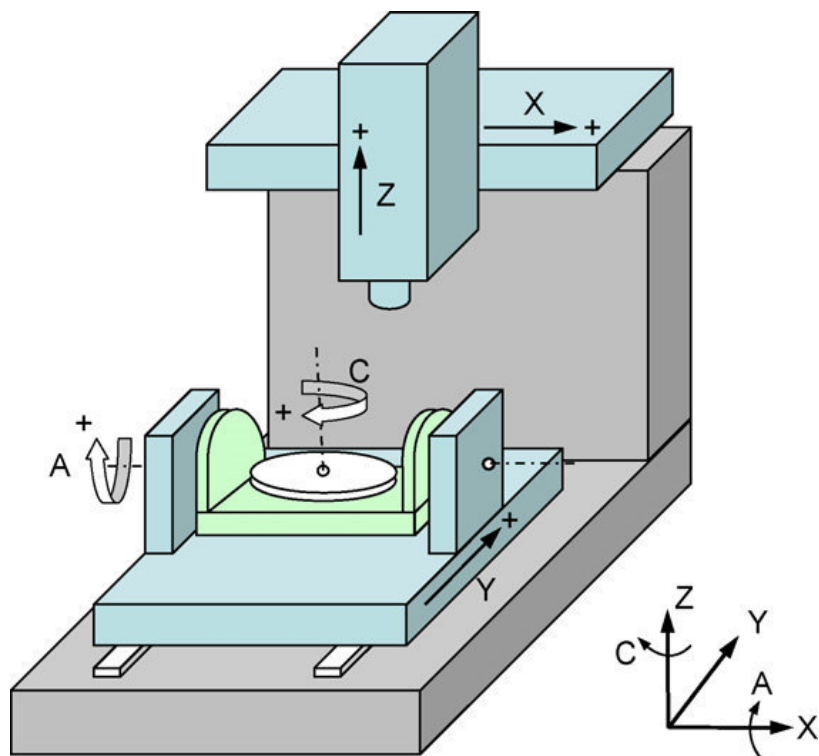
La fabrication de pièces pour la construction navale, y compris les coques, les moteurs et les composants maritimes, fait appel aux MOCN.





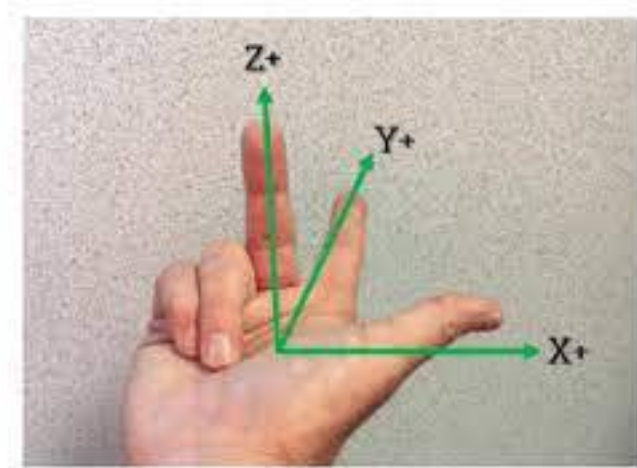


*Système de coordonnées*



La règle des **trois doigts de la main droite** permet de retrouver facilement l'orientation des axes X, Y et Z.





*Règle de la main droite*

L'orientation positive d'un axe rotatif correspond à la rotation d'une vis de pas à droite avançant dans le sens positif de l'axe associé (sens du vissage).



#### 4.1. Origines

Le processeur CN calcul tous les déplacements par rapport au point d'origine mesure de la machine.

##### Définition

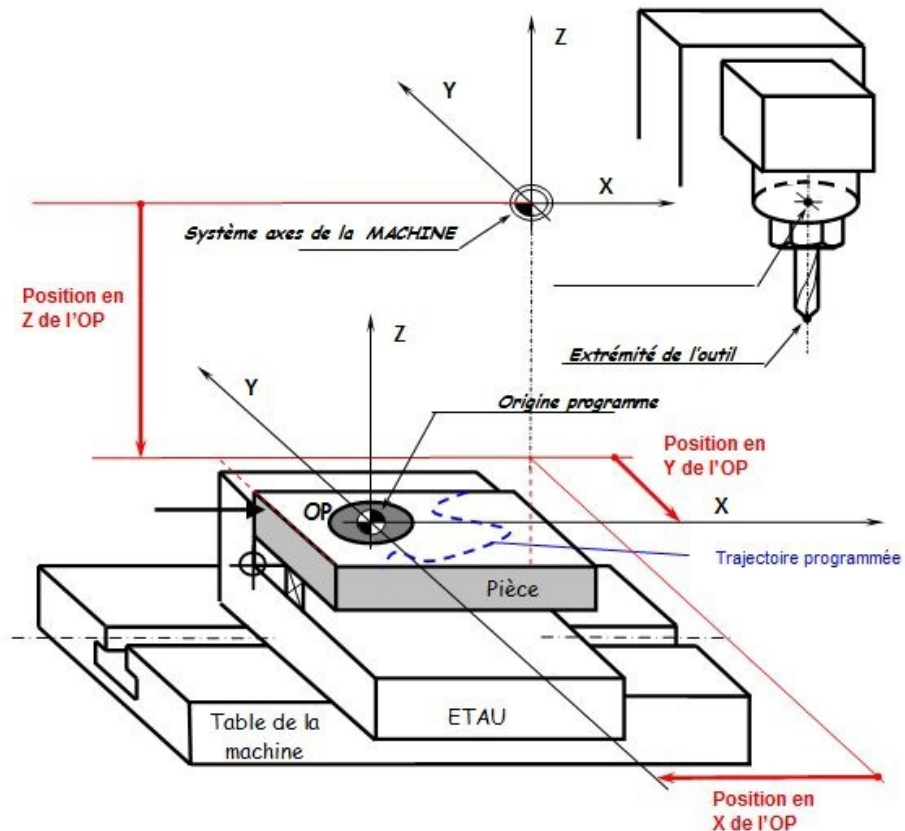
**Origine pièce (OP):** C'est le point de référence pour la programmation des positions de la pièce à usiner sur la machine. Elle est généralement définie comme le point d'intersection de l'axe X et de l'axe Y sur la table de la machine.

**Origine programme (Oprog):** C'est le point de départ du programme d'usinage. Elle est définie par le programmeur et peut être différente de l'origine pièce.

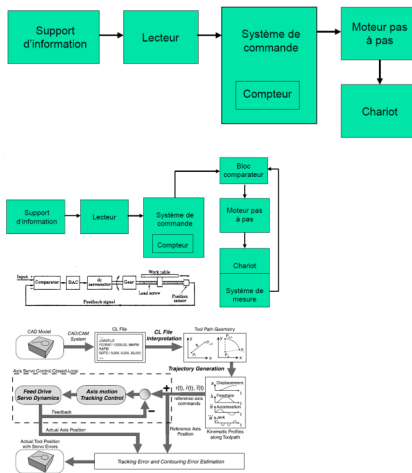
**Origine machine (OM):** C'est le point de référence absolu de la machine. Elle est généralement définie comme le point d'intersection des trois axes X, Y et Z au centre de la course de la machine.

Origine	Définition	Rôle
Pièce (OP)	Point de référence pour la programmation des positions de la pièce	Définir la position de la pièce sur la machine
Programme (Oprog)	Point de départ du programme d'usinage	Définir le point de départ de l'usinage
Machine (OM)	Point de référence absolu de la machine	Définir le point de référence absolu de la machine

Points utilisées	Symbole	Définition
Origine machine M (OM)		C'est la référence des déplacements de la machine. C'est un point défini (sur chaque axe) par le constructeur qui permet de définir l'origine absolue de la machine. OM et om peuvent être confondues.
Origine mesure R (Om)		C'est le point de départ de toutes les mesures dans l'espace machine
Origine Programme OP		C'est le point de départ de toutes les cotes.
Origine Pièce W (Op)		origine de la mise en position (isostatique de la pièce)



## 4.2. Asservissement d'un axe



## 5. Différentes architectures des MOCN

Les Machines-Outils à Commande Numérique (MOCN) peuvent être classées en différentes architectures selon plusieurs critères :

### 5.1. Type de commande numérique

- **MOCN à commande numérique par ordinateur (CNC)** : Dans ce cas, la commande de la machine est assurée par un ordinateur. Cet ordinateur stocke et exécute le programme d'usinage, qui est généralement créé à l'aide de logiciels de CAO/CFAO (Conception Assistée par Ordinateur/Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur).
- **MOCN à commande numérique par automate (PLC)** : Dans cette configuration, la commande de la machine est assurée par un automate programmable (PLC - Programmable Logic Controller). L'automate exécute un programme logique séquentiel qui guide les opérations d'usinage.

### 5.2. Structure de la machine

- **MOCN à banc fixe**: La pièce à usiner est fixée sur un banc et l'outil se déplace selon les axes X, Y et Z.
- **MOCN à portique**: La pièce à usiner est fixée sur une table et le portique se déplace sur les axes X et Y, tandis que l'outil se déplace sur l'axe Z.

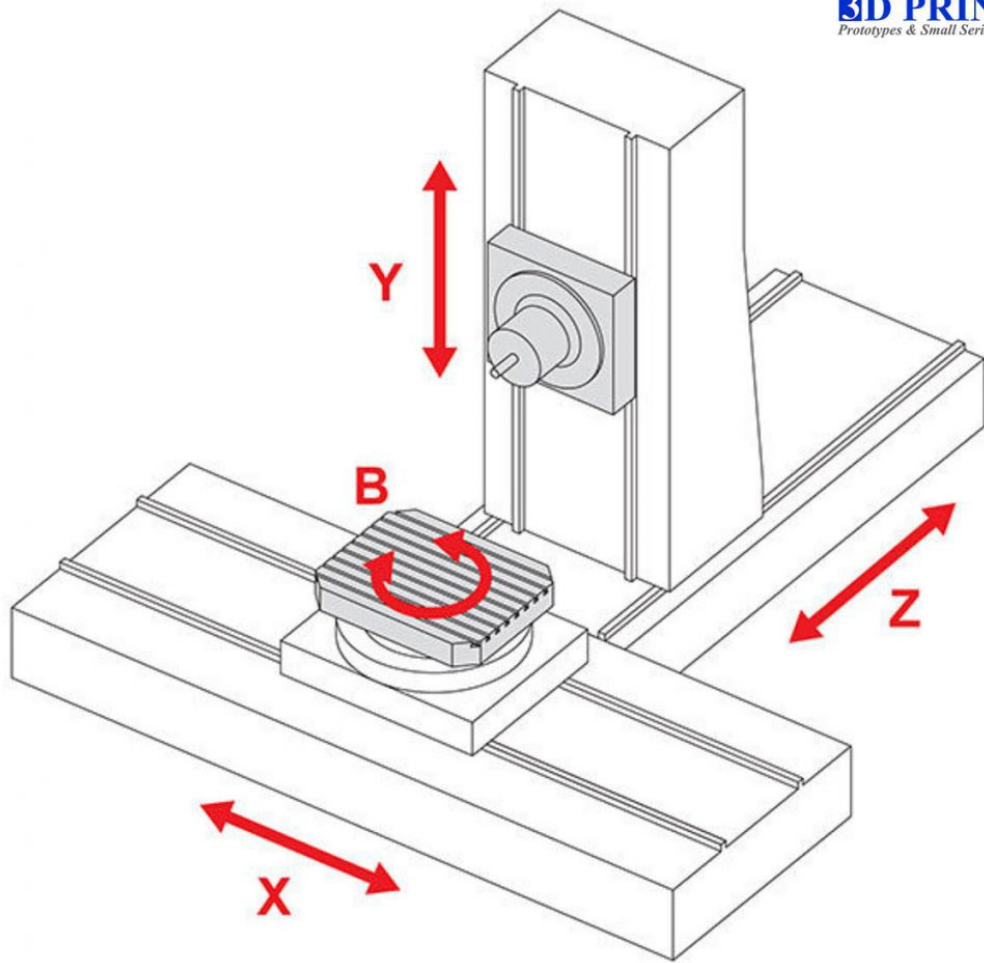


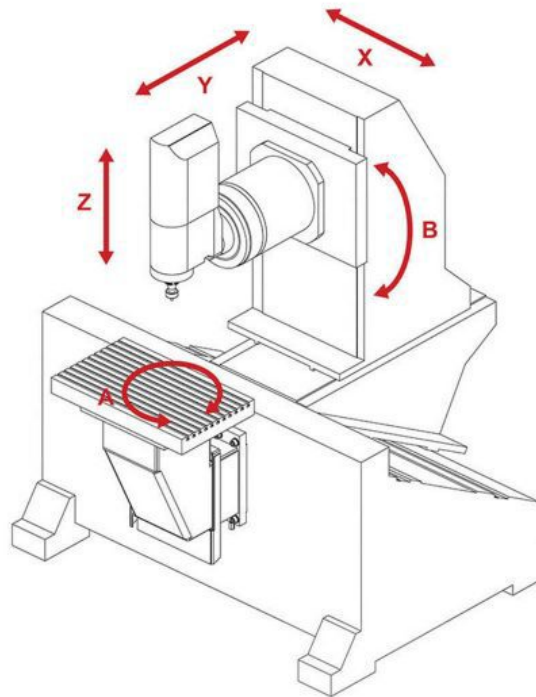
*MOCN à portique*

### 5.3. Nombre d'axes

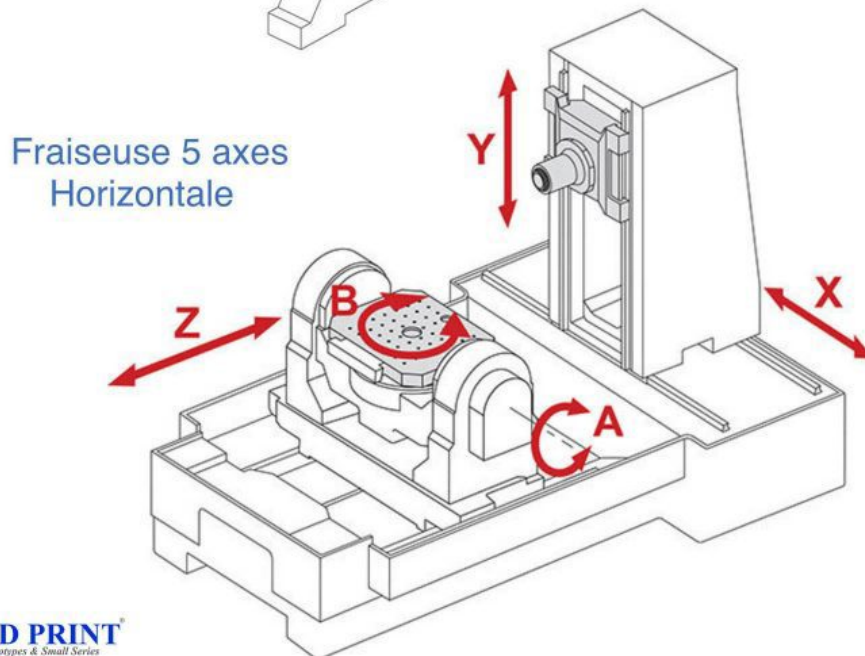
- **MOCN 2 axes (et 1/2):** Axes X et Y pour des usinages simples en 2 dimensions.
- **MOCN 3 axes:** Axes X, Y et Z pour des usinages plus complexes en 3 dimensions.
- **MOCN 4 axes et plus:** Axes supplémentaires pour des usinages encore plus complexes, comme la rotation de la pièce ou de l'outil







Fraiseuse 5 axes  
Verticale



Fraiseuse 5 axes  
Horizontale

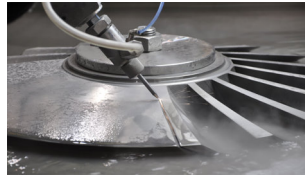
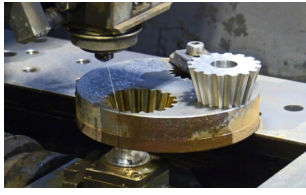


#### 5.4. Type d'usinage

- **Les machines à enlèvement de copeaux** : les perceuses, les tours 2 et 4 axes, les centres de tournages 5 axes, les fraiseuses 2 axes 1/2, 3 axes, les centres d'usinage, 3 à 5 axes, les rectifieuses, les affûteuses, les machines d'usinage à très grande vitesse...
- **Les électro-érosions** : les machines à enfonçages, les machines à fil.
- **Les machines de découpes** : oxycoupage, plasma, laser, jet d'eau...
- **Les presses** : métal, injection plastique.
- **Les machines à bois** : à portique ou col de cygne.

*types d'usinage*

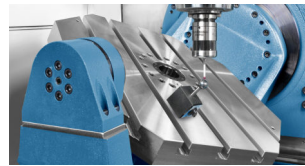
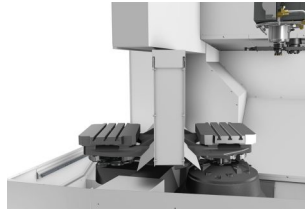




## 5.5. Fonctionnalités supplémentaires

- **Changeur d'outils automatique:** Permet de changer automatiquement l'outil en cours d'usinage.
- **Palettiseur:** Permet de charger et de décharger automatiquement les pièces à usiner.
- **Système de mesure intégré:** Permet de mesurer les dimensions de la pièce à usiner en cours d'usinage.

### *Fonctionnalités supplémentaires*



## 5.6. Choisir la bonne architecture de MOCN dépend de plusieurs facteurs

### *# Conseil*

**Type de pièces à usiner:** La forme et la complexité des pièces à usiner déterminent le type de MOCN nécessaire.

**Matériaux à usiner:** Les caractéristiques du matériau à usiner peuvent influencer le choix de la MOCN.

**Précision et tolérances:** La précision et les tolérances requises pour les pièces à usiner déterminent le type de MOCN nécessaire.

**Budget:** Le coût d'achat et d'entretien de la MOCN est un facteur important à prendre en compte.