

L'**usinage** par enlèvement de matière est un procédé de fabrication de pièces mécaniques.

**Principe :**

Enlever de la matière de façon à donner à la pièce brute la forme et les dimensions voulues, à l'aide d'une machine-outil. Par cette technique, on obtient des pièces d'une grande précision.

Il existe plusieurs procédés d'usinage, notamment :

- Les **usinages par déformation** : forgeage, thermoformage, pliage
- Les **usinages par découpage** : découpe laser, oxycoupage,
- et enfin les **usinages par enlèvement de matière** : tournage, fraisage, électroérosion.

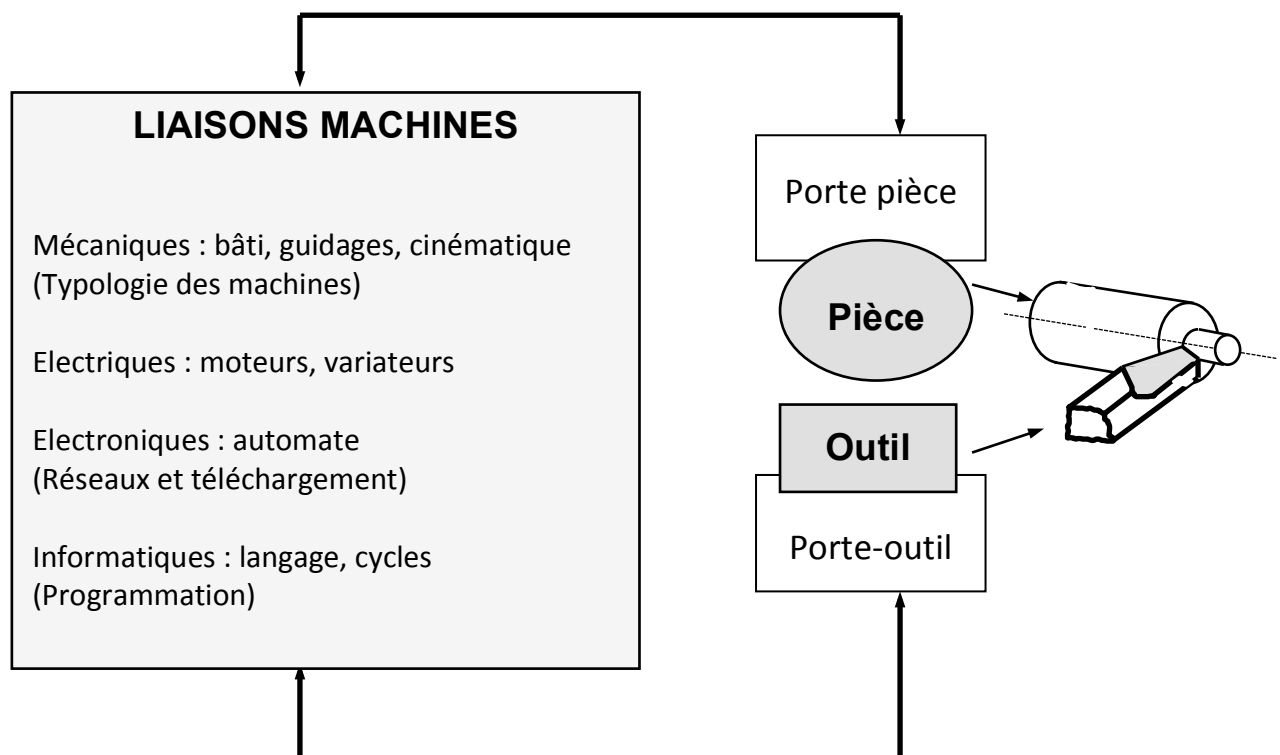
Nous allons nous intéresser plus particulièrement au fraisage.

## A. La relation Outil / Machine / Pièce :

On l'a vu, usiner consiste à modifier la forme d'une **pièce** par l'action d'une **machine**, au moyen d'un **outillage**. Donc tout usinage met en relation ces trois éléments :

- L'outil,
- La machine,
- La pièce

On peut schématiser la relation de la manière suivante :



La pièce et l'outil sont fixés sur la machine grâce au porte-pièce et au porte-outil.

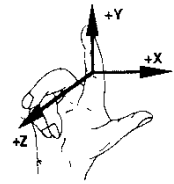
Suivant les chaînes relationnelles « Outil / Machine / Pièce » et le repère d'axes dans lequel s'inscrivent les différents déplacements, les principes d'usinage mis en œuvre varient et définissent ainsi **différents types d'usinages** (par enlèvement de matière).

## B. Les mouvements :

Pour usiner, l'outil doit se déplacer par rapport à la pièce. C'est la machine qui se charge d'assurer la bonne coordination entre les vitesses et les trajectoires de l'outil et de la pièce.

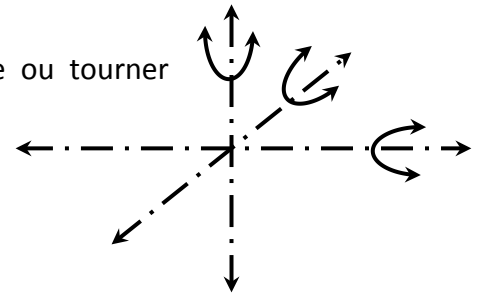
Tout mouvement d'un élément d'une machine-outil (MO) s'inscrit dans un repère orthonormé à trois dimensions.

Il est simple d'utiliser la règle des trois doigts de la main droite



En fraisage l'outil tourne autour d'un axe et la pièce se déplace. Sur certaine machine les deux peuvent se déplacer sur un axe ou tourner autour d'un autre axe.

Les trois axes de l'espace sont appelés couramment : X, Y et Z.



On distingue 2 types de mouvement :

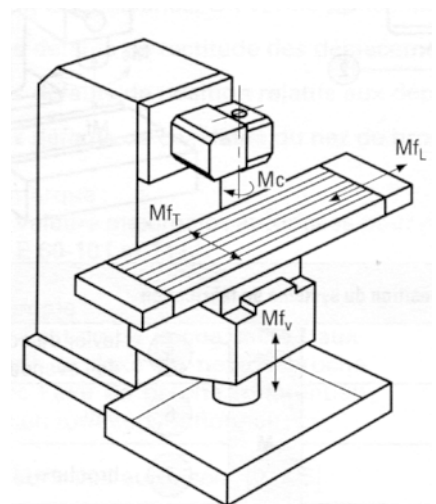
### 1. Le mouvement de coupe

Il permet à l'outil de couper la pièce dans la zone de contact outil / pièce. Il est noté **Mc**.

En fraisage, c'est l'outil qui est animée du mouvement de coupe.

**C'est généralement une rotation.**

La vitesse associée à **Mc** est la **vitesse de coupe**, notée **Vc**. **Vc** est généralement grand.



### 2. Le mouvement d'avance

Il permet à l'outil de se déplacer le long de la pièce. Il est noté **Mf**.

En fraisage, c'est la pièce qui est animée du mouvement d'avance. **Le mouvement d'avance est généralement une translation.**

La vitesse associée à **Mf** est la vitesse d'avance, notée **Vf**. **Vf** est généralement beaucoup plus petit que **Vc**.

## C. La pièce :

Les pièces usinées en fraisage sont généralement de forme prismatique, c'est à dire un volume délimité par des faces planes. Mais on peut aussi réaliser d'autres formes :

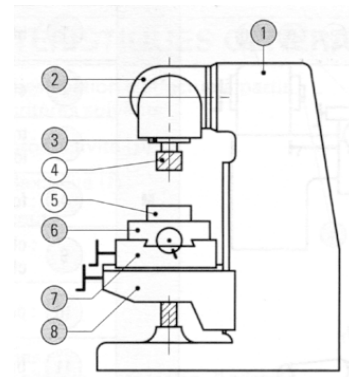
- des cylindres (des perçages et des alésages)
- des surfaces hélicoïdales (des vis)
- enfin, des formes complexes, créés par une trajectoire définie de l'outil.

En fraisage, les formes usinées sont très variées.

## D. Les machines-outils

### 1. La machine conventionnelle

1	Bâti	5	Pièce
2	Tête	6	Chariot longitudinal
3	Broche	7	Chariot transversal
4	Outil (fraise)	8	Chariot vertical



### 2. MOCN

Une Machine-Outil à Commande Numérique fonctionne de manière automatique.

#### a) Les différents éléments :

Les **actionneurs** (moteurs, vérins,...) sont commandés par un processeur (**directeur de commande numérique**). Celui-ci sait exploiter et interpréter les informations données par le programme d'usinage ou par les **capteurs de mesure**.



Le **pupitre de commande** sert à converser avec le directeur de commande. Il possède des touches sensibles, ainsi qu'un écran graphique. Celui-ci sert à visualiser par exemple le programme, le profil fini de la pièce, la trajectoire des outils, ...

La **tourelle porte-outils** permet de changer d'outil afin de réaliser toutes les opérations d'une phase d'usinage.

#### b) Les axes normalisés

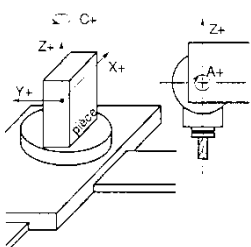
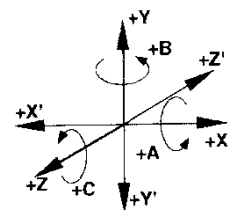
C'est la direction suivant laquelle le mouvement est commandé numériquement en continu en vitesse et position.

L'axe Z est situé parallèlement à l'axe de la broche principale quelle que soit la machine

L'axe X est associé au mouvement qui définit le plus grand déplacement après avoir situé l'axe Z.

L'axe Y forme avec les axes X et Z un trièdre de sens direct.

Les constructeurs de MOCN ont conçu des fraiseuses avec ces axes supplémentaires : Axe de rotation défini autour des axes principaux.




**i** Le schéma ci-contre correspond à une fraiseuse 5 axes : le 4<sup>ème</sup> axe C correspond à la table tournante ou plateau circulaire. Son mouvement de rotation permet l'usinage de pièces sans démontage sur 360°. Le 5<sup>ème</sup> axe A correspond à la rotation de la broche autour de X. Ce type de fraiseuse est parfaitement adapté à l'usinage de pièces complexes. Il est possible de rajouter par exemple un autre axe A (la pièce autour de X), un axe B, ... : on peut parfois trouver des machines 9 axes et même plus...

### c) Le positionnement de la pièce dans la machine

Il est nécessaire de positionner l'extrémité de l'outil (point courant) par rapport à la pièce.

#### ● **Origine programme : OP**

Pour écrire un programme, il est commode de fixer un repère sur la pièce à partir duquel on calcule les coordonnées des points : C'est l'origine programme OP. 

Cette OP est choisie par le programmeur chargé de préparer la production.

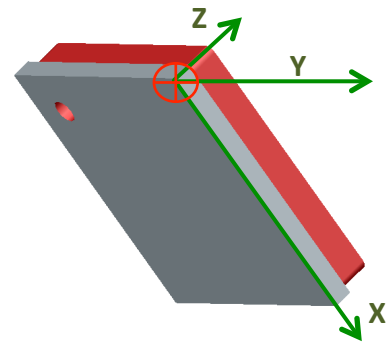
#### ● **Origine pièce : Op**

L'ordinateur a besoin de connaître la position de la pièce, immobilisée sur la table de la machine. C'est pourquoi, on définit sur le fichier d'usinage, un point d'origine pièce.

C'est l'origine du repère de mise en position de la pièce sur le porte-pièce. Quand on change de pièce, l'Op ne bouge pas si elle est positionnée au même endroit sur la machine.

En fraisage, avec un étau, l'Op est situé :

- En Z : sur les cales de fraisage.
- En X : contre la butée,
- En Y : contre le mors fixe,



Si on ne définit pas l'origine pièce avant de démarrer l'usinage, la machine réalise l'usinage mais elle démarre n'importe où.

#### ● **Origine mesure : Om**

La machine contrôle ses déplacements à partir d'une origine absolue, dont la position est définie par le constructeur, appelée ORIGINE MESURE : Om.

C'est le « point zéro » de la machine, à partir duquel elle calcule toutes les autres coordonnées. Elle est représentée par le symbole :



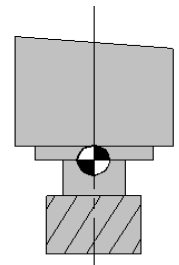
#### ● **Origine tourelle : Ot (ou point de Référence outil)**

Une MOCN utilise régulièrement plusieurs outils de coupe de dimensions différentes et donc de points de coupe différents. Si les outils changent, les porte-outils, en revanche, restent les mêmes.

L'origine tourelle est alors le point caractéristique de la liaison encastrement entre le porte-outil et la tourelle (ou la broche en fraisage). C'est un point invariant qui ne dépend pas de l'outil.

Ot est également l'origine du porte-outil, que l'on fixe sur la tourelle.

En fraisage : le centre de l'axe de rotation de la broche sur la face avant du cône d'attachement.



### 3. Le point courant : T

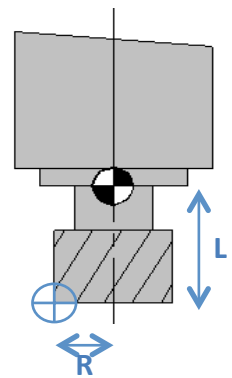
Sur une MOCN le point réel à piloter est le point de coupe de l'outil. Ce point se déplace sur la pièce selon la programmation établie dans le repère machine afin d'usiner la pièce.

La jauge outil permet de définir le point de coupe de l'outil.

Ce vecteur caractérise la dimension de l'outil. Il change à chaque fois que l'on change d'outil.

Il faut indiquer ces valeurs dans le directeur de commande numérique.

A chaque outil utilisé correspond sa jauge. Dès qu'on change d'outil, le programme doit faire appel à la jauge correspondant à l'outil.



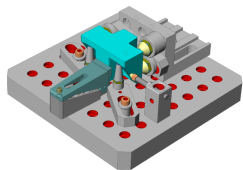
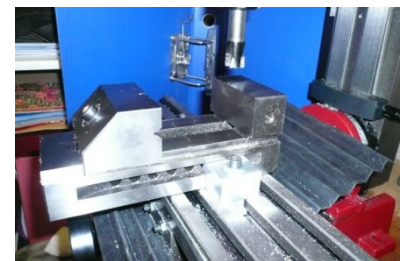
N° d'outil	N° correcteur d'outil	Jauges		@ (Correcteur dynamique)
		L	R	
T2	D2	101.22	1.51	0

**i** T est parfois appelé le point courant « Ptcour ».

### E. Le porte-pièce :

En général, on utilise un étau, fixé sur la table. Il permet de serrer une pièce entre 2 faces parallèles.

Cet étau est orientable, de façon à placer la pièce en travers de la table.



Mais lorsque la pièce est de forme complexe, ou que l'on désire une mise en position particulière, on peut utiliser un montage d'usinage :

On peut aussi fixer la pièce directement sur la table.

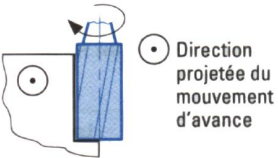

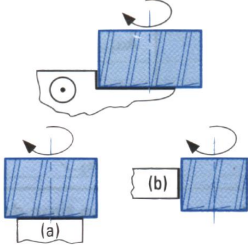
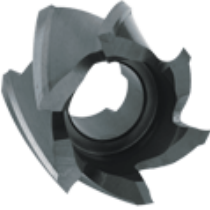
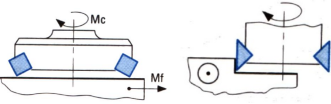
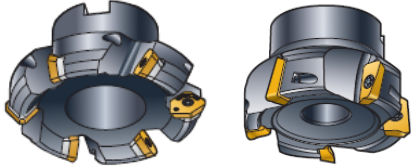
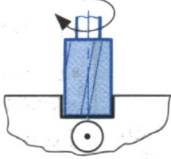

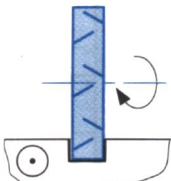

### F. Les opérations d'usinage

Surfaçage	Epaulement	Rainurage	Contournage
Pointage	Perçage		Alésage
			Egalement pour usiner des trous, mais le procédé est différent car dans ce cas, on cherche à obtenir des trous précis (des alésages)



## G. Les outils :

En fraisage, on trouve des outils de toutes les formes :

**On les distingue par leur dimension, leur nombre de dents, leur nombre de taille (le nombre de faces de l'outil qui coupent) et leur fonction :**

	Opération d'usinage	Visualisation	Identification de l'outil
Surfaçage			Fraise 2 tailles à queue conique
			Fraise 2 tailles à alésages et à entraînement par tenon
			Fraise à plaquette carbure à surfacer et à surfacer-dresser
Rainurage			Fraise 2 tailles à queue cylindrique
			Fraise 3 tailles à dents alternées

Pour réaliser des trous ou des alésages, on utilise des forets à centrer, des forets et des alésoirs :

	Foret (à queue cône morse)
	Foret étagé
	Foret à centrer
	Alésoir machine
	Taraud machine

Et enfin, il existe des fraises de forme spéciales :



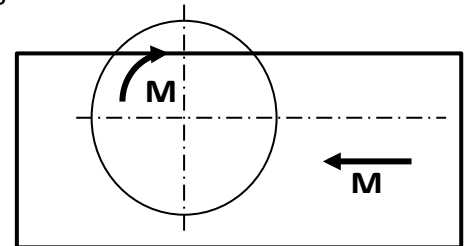
## H. Les paramètres de coupe en fraisage :

Pour réaliser une opération d'usinage, il faut régler la machine en définissant les paramètres de coupe. Ce sont ces paramètres qui permettront à la machine de générer les mouvements de coupe et d'avance afin d'usiner la pièce.

Ces paramètres sont :

- **Vitesse de coupe ( $V_c$ ).**
- **Avance par dent (on notera  $f_z$ ).**

Ces paramètres sont choisis en fonction du type d'usinage, de la matière de la pièce et de l'outil.



### 1. La vitesse de coupe :

C'est la **vitesse de coupe ( $V_c$ )** de l'outil par rapport à la pièce. Elle s'exprime en mètre par minute (m/min).

Les facteurs influant :

- Les qualités de la matière à usiner c'est-à-dire la nature de la pièce à usiner (matière, forme, ...)
- Les qualités de coupe de l'outil c'est-à-dire la nature de la partie de l'outil tranchante
- La lubrification,
- La machine utilisée,
- La durée de vie souhaitée pour l'outil.

Le choix du paramètre de la vitesse de coupe est important dans une production car:

- plus elle est faible, plus le temps d'usinage est important.
- si elle est trop importante, il y a augmentation de la quantité de chaleur résultante de la coupe, diminuant ainsi la dureté de la pointe de l'outil et celui-ci s'use.

**Le choix judicieux d'une vitesse de coupe est donc un compromis entre la rapidité de production et la durée de vie de l'outil.**

La valeur de la vitesse de coupe est choisie d'après des tableaux simplifiés (en fonction des matériaux de la pièce et de l'outil) ou d'après un catalogue fourni par les fabricants d'outils.

Quelques valeurs à titre indicatif :

Matière de la pièce	Outil en acier rapide supérieur	Outil à plaquette carbure rapportée
Acier	20 m/min	80 m/min
Aluminium	80 m/min	160 m/min
Laiton	50 m/min	140 m/min

## 2. Fréquence de rotation de l'outil :

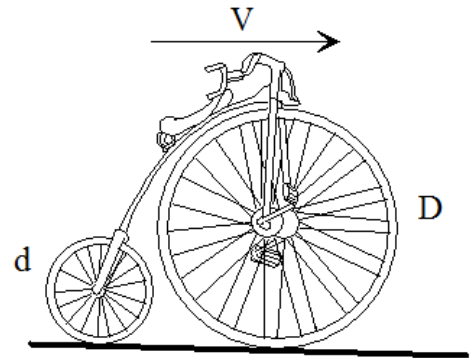
La fréquence de rotation de l'outil est exprimée en tour par minute (tr/min) : c'est le nombre de tours que parcourt la pièce en 1 minute.

On peut faire le parallèle avec un vélo :

Quand on pédale, les 2 roues se déplacent à la même vitesse, par contre la grande tourne moins vite que la petite.

La fréquence de rotation dépend donc :

- De la vitesse du vélo ou **de la vitesse de coupe  $V_c$**
- Du diamètre de la roue ou **de la pièce de l'outil**



On calcule  $N$  à l'aide de la formule suivante :  $N = \frac{V_c}{\pi \times D}$

Mais  $V_c$  étant exprimé en m/min et  $D$  en mm, il est impératif de convertir  $V_c$  en mm/min (en multipliant par 1000 pour obtenir  $N$  en tour/min)

On obtient alors :

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D}$$

avec :

- $V_c$  : la vitesse de coupe en m/min
- $D$  : le diamètre de l'outil en mm

## 3. L'avance par dent :

C'est l'épaisseur du copeau enlevée par chaque dent.  $f_z$  est exprimé en mm/dent.

**En général, on choisit  $f_z = 0.03 \text{ mm/dent}$  en fraisage.** Si on veut affiner le choix de ce paramètre, on peut regarder un catalogue d'outil

## 4. La vitesse d'avance :

La vitesse d'avance en fraisage est la vitesse de déplacement de la pièce par rapport à l'outil.  $V_f$  est exprimée en millimètre par minute (mm/min). Elle est donnée par :

$$V_f = N \times f_z \times Z$$

avec :

- $N$  la fréquence de rotation en tr/min,
- $Z$  le nombre de dent de la fraise (dent /tour)
- $f_z$  l'avance par dent en mm/dent

## 5. La profondeur de passe $a_p$ :

C'est l'épaisseur de matière enlevée à chaque passage de l'outil.

Un passage d'outil s'appelle **une passe**.

$a_p$  est choisi à l'aide d'un catalogue d'outil.