

## INTRODUCTION A LA C.F.A.O

### 1. Définition de la CFAO

La conception et la fabrication assistées par ordinateur se définit comme l'ensemble des aides informatiques au bureau d'études. De l'établissement d'un cahier de charges relatif à un nouveau produit jusqu'à la génération des documents et des fichiers nécessaires à la fabrication.

La technique utilisée permet à l'homme et à la machine d'être liés pour résoudre un problème en utilisant au mieux les compétences de chacun. [L'historique de la CFAO nous permet d'affirmer que ses débuts remontent aux années 70](#). Il a été dès lors possible de mettre en place des logiciels spécifiques destinés à résoudre le problème des surfaces complexes pour l'industrie aéronautique et automobile.

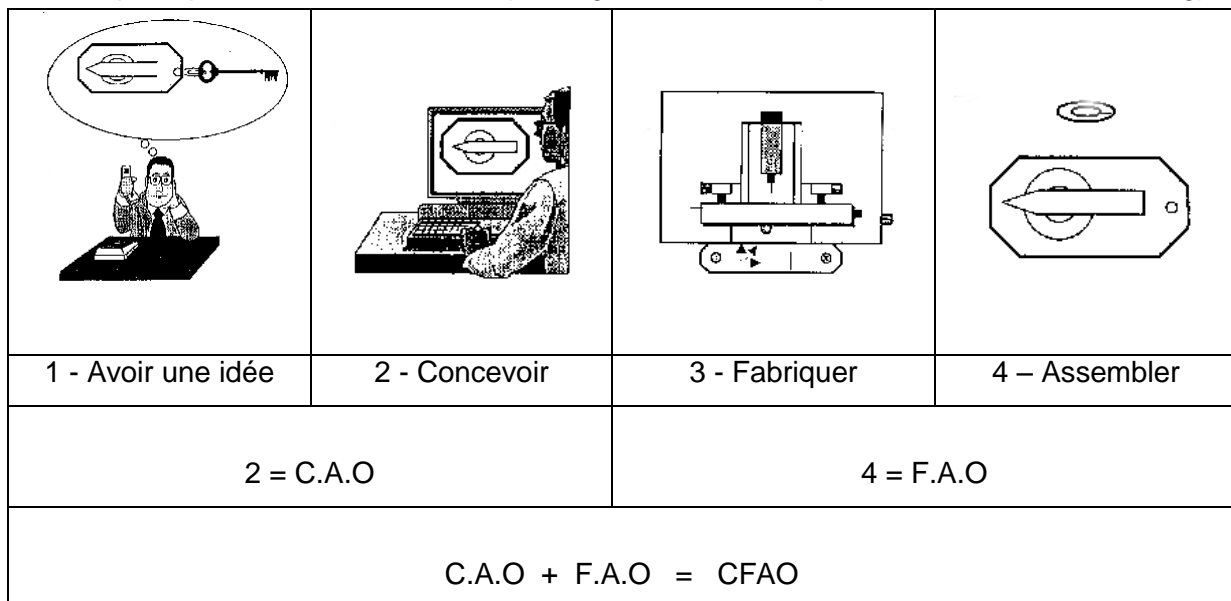
Les années 80 ont vu l'arrivée de la représentation 3D volumique (ou solide) qui permet une interprétation non ambiguë des pièces mécaniques.

La représentation [3D volumique](#) se caractérise par la définition des lignes cachées, l'obtention automatique des coupes et sections... Malgré les progrès technologiques, force est de constater que vers le fin des années 80, la CFAO est restée essentiellement un outil de présentation des pièces et assemblages plutôt qu'un outil de conception. Au début des années 90, une nouvelle approche révolutionne la CFAO traditionnelle. L'idée est de ne plus considérer la géométrie comme l'information de base, mais plutôt d'interpréter la pièce comme un ensemble logique et cohérent de "fonctions mécaniques", la géométrie 2D ou 3D n'est plus qu'un attribut de ces fonctions.

#### Résumé de la CFAO :

**La CAO** : Conception Assistée par Ordinateur, ensemble d'outils et de programmes informatiques permettant d'assister l'ingénieur dans la conception d'un produit. Ces outils sont généralement spécialisés : outils aussi divers que la conception et le dessin architectural, le calcul de la résistance des matériaux pour les structures ou les assemblages mécaniques...(En anglais : CAD, Computer Aided Design ou Computer Assisted Design)

**La FAO** : Fabrication Assistée par Ordinateur ; ensemble d'outils informatiques qui assistent l'ingénieur dans la mise sur pieds du processus de fabrication. Automatisation d'une gamme de fabrication, calcul de temps standards ou la création d'un programme pour machine à contrôle numérique à partir de données CAD. (En anglais : CAM, Computer Assisted Manufacturing)



**La CFAO** : Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur. C'est une synthèse des deux outils précédents permettant, sans interrompre la chaîne de transmission des informations, de concevoir la forme d'une pièce mécanique puis de réaliser les diverses opérations d'usinage sur

une machine-outil. Les machines-outils à commandes numériques (MOCN) principalement utilisées sont : - le Tour, pour les pièces cylindriques - la Fraiseuse-Graveuse-Perceuse, pour les circuits imprimés et les pièces.

## Définition

La FAO (fabrication assistée par ordinateur ; en anglais, computer-aided manufacturing ou CAM) est le complément logique de la [CAO](#). Elle assure l'interface entre le système de [CAO](#) et les machines à commande numérique et permet donc un usinage automatisé de chaque pièce à partir de sa définition informatique.

## Fonctionnement

Le but de la fabrication assistée par ordinateur ou FAO est d'écrire le fichier texte contenant un programme de pilotage d'une machine-outil à commande numérique. Ce fichier va décrire précisément les mouvements que doit exécuter la machine-outil pour réaliser la pièce demandée. On nomme également ce type de fichiers : blocs ISO.

La conception de la pièce à fabriquer est faite à l'aide d'un logiciel de Conception assistée par ordinateur ([CAO](#)) : on nomme le fichier ainsi obtenu "modélisation [3D](#)" ou encore "DFN" pour Définition de Formes Numérisée. Cette modélisation en trois dimensions de la pièce à réaliser est ensuite « exportée », c'est-à-dire sauvee depuis la [CAO](#) dans un fichier intermédiaire en utilisant un standard d'échange comme [IGES](#), [STEP](#), VDA, DXF ou autre. Certains outils de FAO savent relire directement les fichiers des grands fournisseurs de [CAO](#). Dans d'autres cas, la [CAO](#) et la FAO sont complètement intégrés et ne nécessitent pas de transfert. Pour ces logiciels, on parle de CFAO.

La modélisation [3D](#) étant importée sur le logiciel de FAO puis relue par celui-ci, il est possible de passer à la programmation des parcours outils, le cœur de l'activité de la FAO. Le programmeur crée les parcours en respectant les choix d'outil, les vitesses de coupe et d'avance, et les stratégies d'usinage à mettre en œuvre. Le logiciel de FAO "plaque" les trajectoires des outils choisis sur la modélisation [3D](#) et enregistre celles-ci sous forme d'équations. Les logiciels les plus évolués sont ensuite capables de reproduire graphiquement (visualisation volumique) l'action des outils dans la matière permettant ainsi au programmeur de vérifier ses méthodes d'usinage et éviter à priori les collisions sur les machines-outils.

La dernière étape consiste, depuis le programme de FAO ainsi élaboré et vérifié, à générer les blocs ISO pour la machine-outil. Ce programme est appelé un Post-Procasseur. Il existe également des programmes indépendants pour effectuer la vérification directement à partir des blocs générés par le Post-Procasseur. Le fichier ISO obtenu est transmis et exécuté par la [MOCN](#) (Machine-Outil à Commande Numérique).

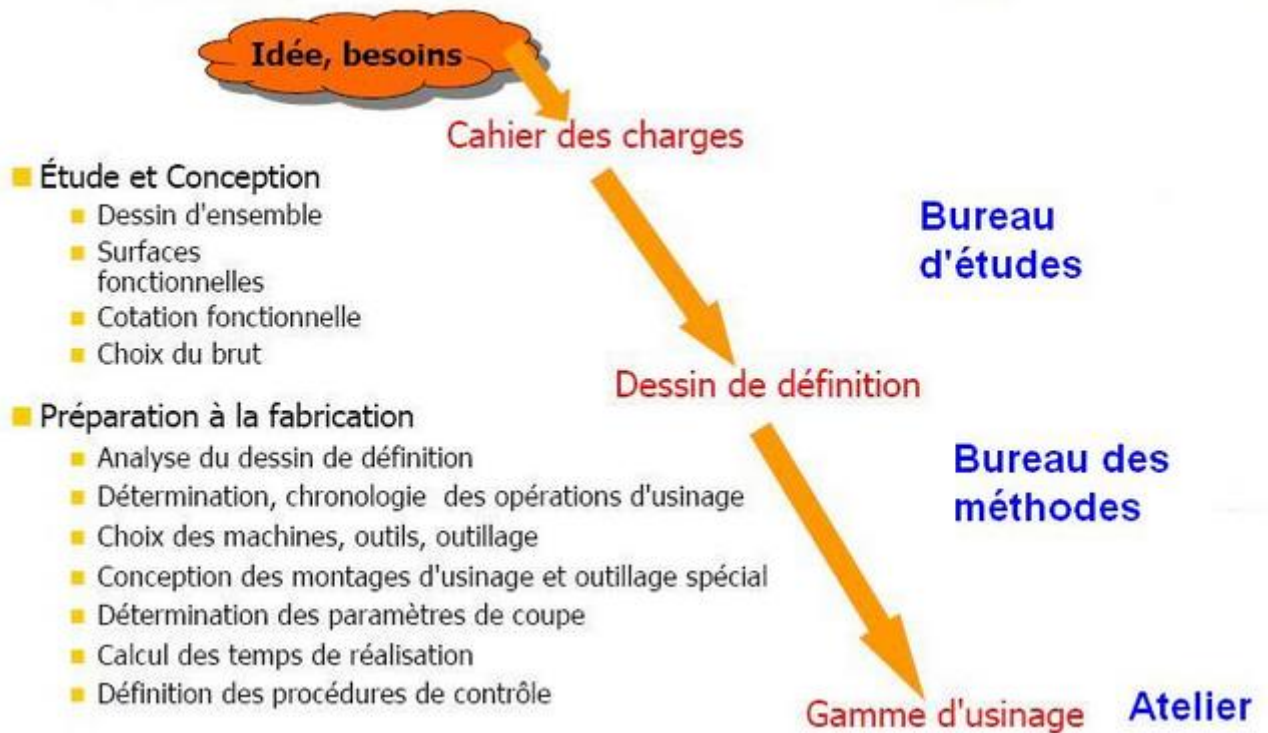
Avec :

**Initial Graphics Exchange Specification (IGES)** est un format d'export ; IGES est directement importable dans les logiciels de CAO. Ce type de format d'export présente une universalité assez forte dans le domaine des CAO 3D orientés surfacique et volumique. L'exportation porte ici sur la définition mathématique de la surface qui conserve ainsi toutes ses propriétés initiales.

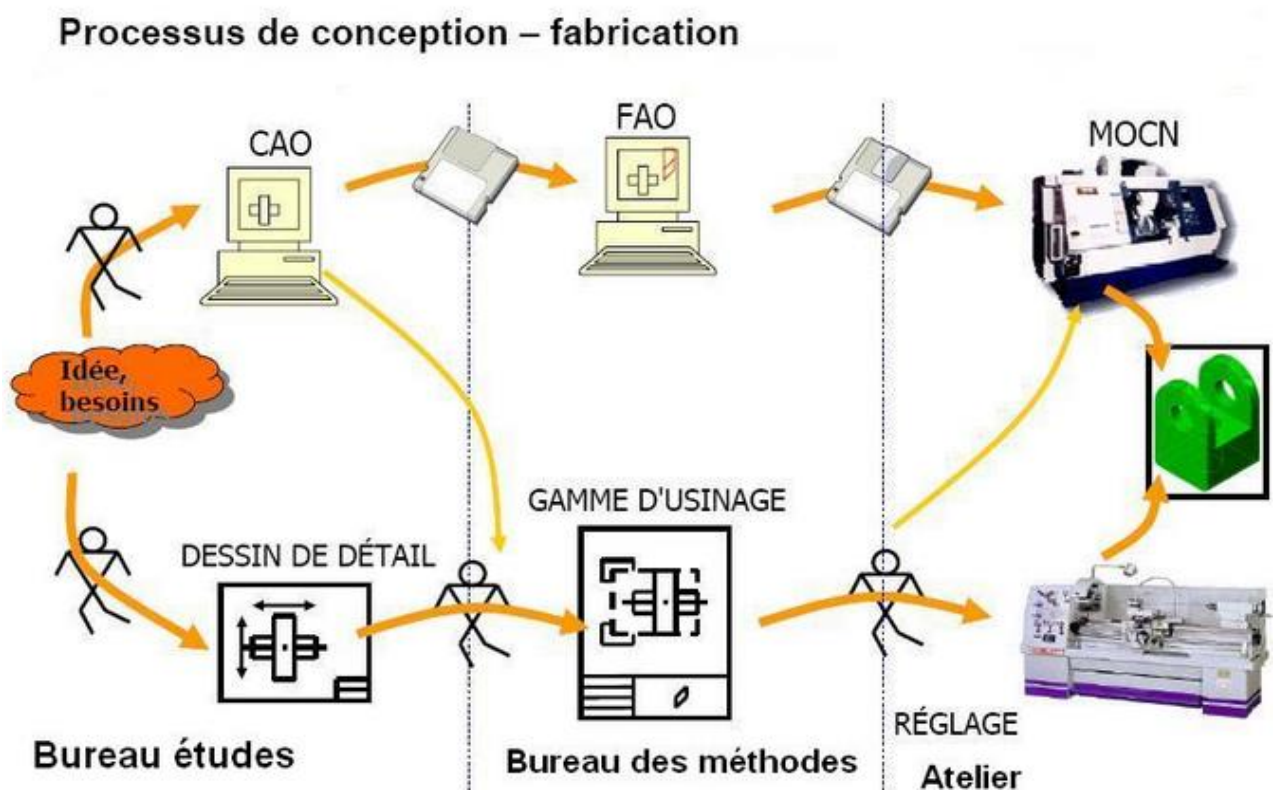
**Standard for the Exchange of Product model data**, standard de communication de schémas CAO/DAO entre logiciels, en cours d'élaboration.

- 
- 
- 
- 
- 
- 
-

- Le Processus de conception – fabrication :
- Illustration 1



- Illustration 2

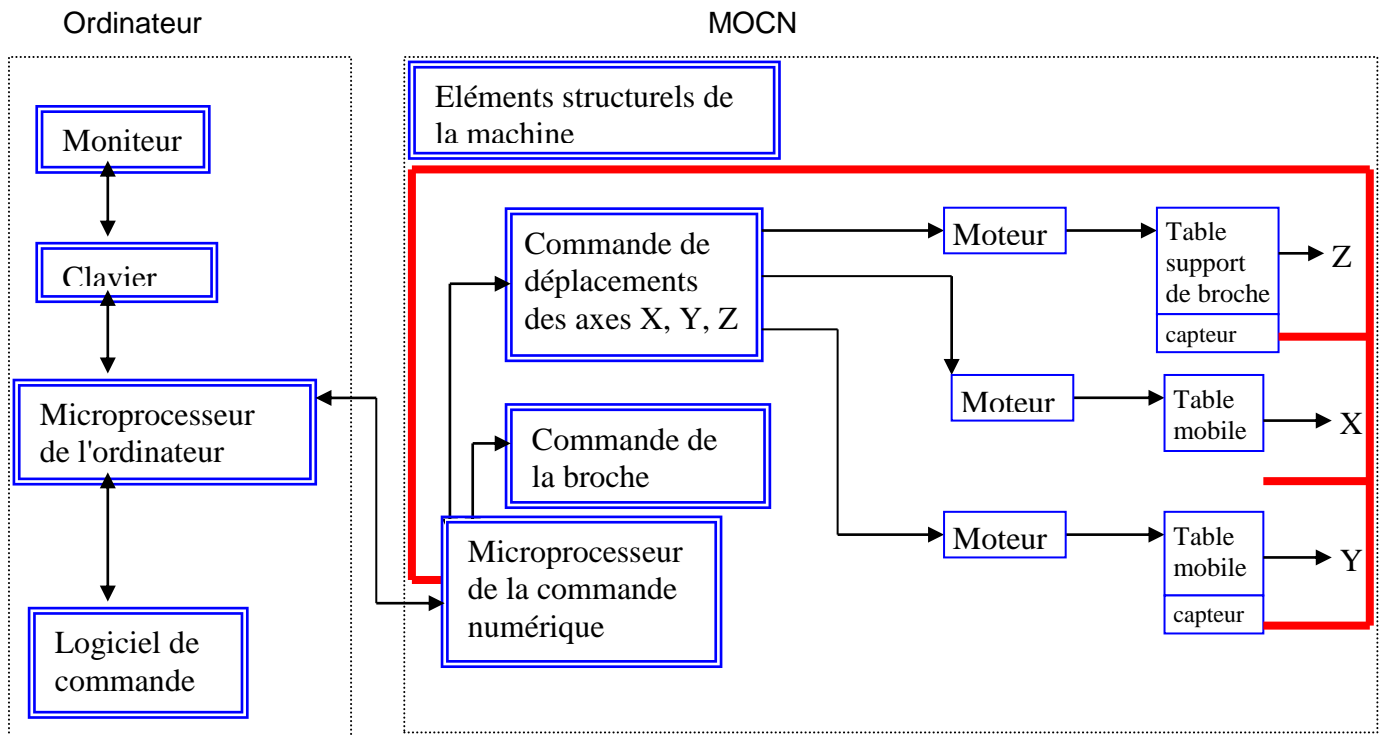


### 1.1 Organisation architecturale d'une Machine-Outil à Commande Numérique

**Machine-outil à Commande Numérique**, désigne une machine ou un centre d'usinage permettant la réalisation de travaux d'enlèvement de matière par exécution automatique d'un programme. Elle est composée généralement de deux parties principales :

- La partie opérative (une machine-outil)

- La partie commande (un directeur de commande numérique).

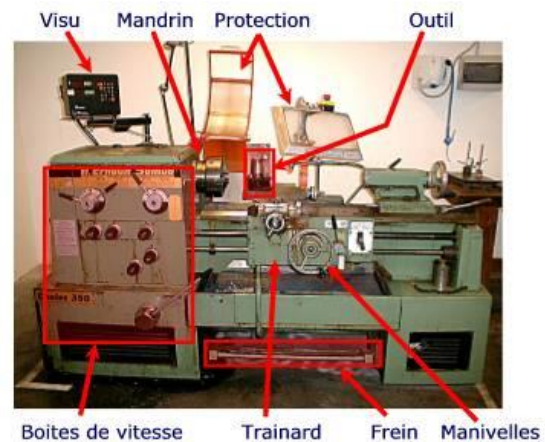


## 2 Les différents types de machines en fabrication

### 2.1 Les machines traditionnelles

#### 2.1.1 Le tour traditionnel

Cette machine sert principalement à usiner des pièces de révolution. La pièce est fixée dans le mandrin. Celui-ci est mis en rotation par le moteur de broche.



#### 2.1.2 La fraiseuse traditionnelle

Cette machine sert principalement à usiner des pièces prismatiques. La pièce est fixée dans l'étau. L'outil est mis en rotation par le moteur de broche.



Sur ces deux machines le déplacement de l'outil sur la trajectoire d'usinage est réalisé par un opérateur. Pour cela, il utilise les manivelles permettant de générer les mouvements suivant les axes. Les mouvements ne sont possibles que sur un seul axe à la fois. Des moteurs permettent aussi de choisir des vitesses d'avance suivant les axes de déplacements. Le choix de ces vitesses s'effectue par l'intermédiaire d'une boîte de vitesse mécanique.

### 2.2 Les machines à commande numérique

Le déplacement de l'outil sur la trajectoire d'usinage est décrit par l'opérateur à l'aide d'un programme. On utilise pour cela les coordonnées des différents points de passage de l'outil par rapport à la pièce. Les mouvements sont possibles sur plusieurs axes simultanément.

Les mouvements sur les axes sont générés par des moteurs qui permettent aussi de choisir des vitesses d'avance.



### Tour à commande numérique



### Fraiseuse à commande numérique



## 3 Les axes de déplacements

### 3.1 Tournage

Afin de décrire la trajectoire suivie par l'outil pour usiner la pièce, un système d'axe est normalisé.

En tournage, l'axe de broche correspond à l'axe de rotation de la pièce.

L'axe Z correspond à l'axe de broche. L'axe X correspond à l'axe perpendiculaire à Z.

Le sens positif est donné suivant cette règle : la pièce étant la référence, l'outil s'éloignant de la pièce est en mouvement suivant le sens positif des axes.

Les axes Z et X définissent un plan. Cela est suffisant pour décrire une trajectoire plane, et donc générer un volume de révolution autour de l'axe de révolution (qui est l'axe de broche).



### 3.2 Fraisage

Afin de décrire la trajectoire suivie par l'outil pour usiner la pièce, un système d'axe est normalisé.

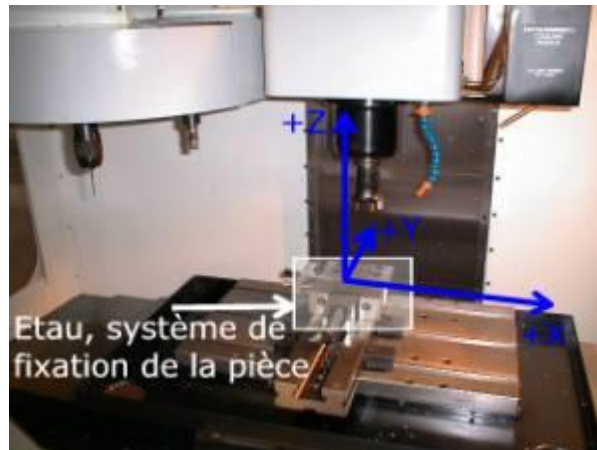
En fraisage, l'axe de broche correspond à l'axe de rotation de l'outil.

L'axe Z correspond à l'axe de broche. L'axe X correspond à l'axe perpendiculaire à Z qui permet le plus grand déplacement de la table de la fraiseuse.

L'axe Y correspond à l'axe perpendiculaire à Z et X.

Le sens positif est donné suivant cette règle : la pièce étant la référence, l'outil s'éloignant de la pièce est en mouvement suivant le sens positif des axes.

Les axes Z, X et Y définissent une base en 3 dimensions.



#### 4 Les différents type d'outils




Les outils permettent d'enlever le copeau. La géométrie de l'outil influe directement sur les formes usinables sur la pièce. Ceci vous sera présenté plus loin. Tout d'abord, on va s'attarder sur les outils eux-mêmes.

##### 4.1 Les matériaux à outil

###### 4.1.1 ARS

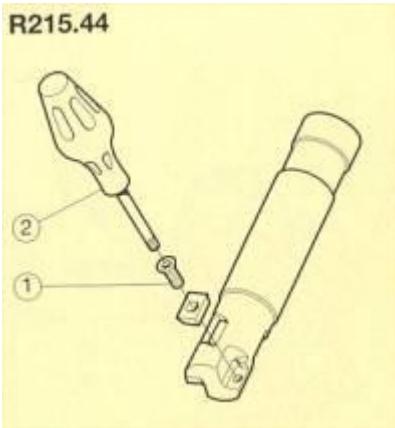
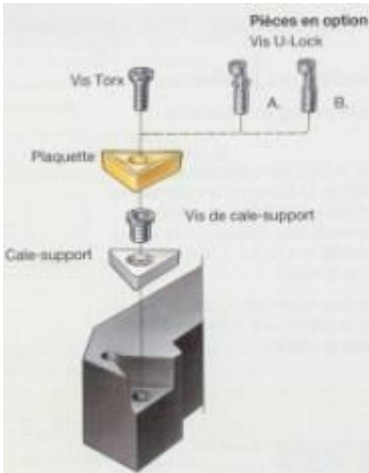
ARS = acier rapide supérieur

Les outils en ARS sont constitués le plus souvent d'un barreau monobloc en acier rapide supérieur, l'arête de coupe est affûtée.

Foret ARS	Fraise 2 tailles ARS	Fraise 3 tailles ARS
		

###### 4.1.2 Carbure

Pour améliorer les performances des outils, l'arête de coupe est placée sur une plaquette amovible en carbure. Ce matériau est très résistant par rapport à ARS. La plaquette carbure est obtenue en compressant différentes poudres de carbure. Dès que l'arête de coupe est usée, il suffit de changer la plaquette.

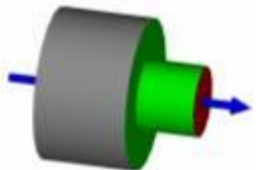
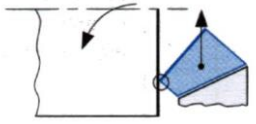
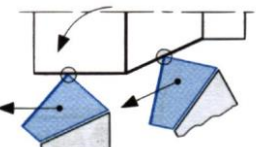
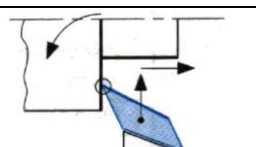
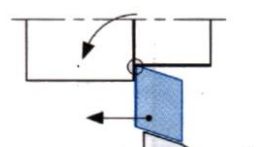
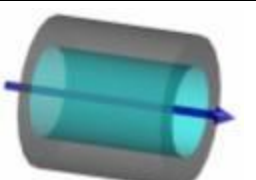

Fraise 2 tailles (Carbure)	Outil d'ébauche (Carbure)
	

## 5 Les formes simples usinables et les outils associés

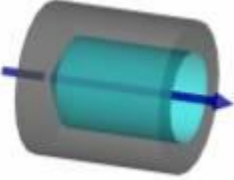
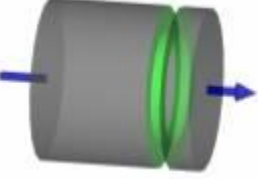
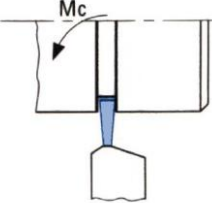
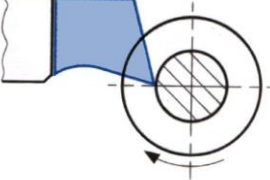
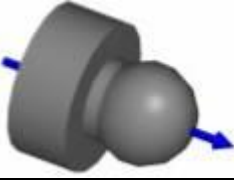
Le déplacement de l'outil suivant les axes définis précédemment permet de générer des formes usinées.

Voici une liste des principales formes que vous allez rencontrer pendant les TP. On trouve aussi le vocabulaire technique qui est associé à ces usinages.





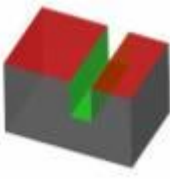


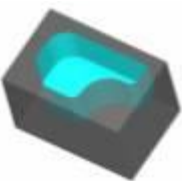

### 5.1 Tournage

Dessin	Opération	Outils utilisés
	<b>Dressage</b> C'est la réalisation d'un plan perpendiculaire à l'axe de la pièce. (surface rouge)	 Outil à chariotier coudé
	<b>Chariotage</b> C'est la réalisation d'un cylindre ayant le même axe que celui de la pièce. (surface grise)	 Outil à chariotier droit
	<b>Plan épaulé</b> C'est l'association d'un dressage et d'un chariotage. (surface verte)	 Outil à dresser les angles   Outil couteau
	<b>Perçage</b> C'est un trou dans la pièce. Il peut être débouchant ou borgne. Attention en tournage, l'axe du trou est confondu avec l'axe de la pièce.	 Foret à centrer Foret Alésoir Outil à aléser



Dessin	Opération	Outils utilisés
		
	<b>Les gorges</b> C'est l'association de 2 plans parallèles avec un cylindre (surface vertes)	 
	<b>Quelconque</b> C'est l'association de plusieurs surfaces élémentaires : sphère, cylindre, plan, cône ...	Outil <b>à saigner</b> outil <b>à tronçonner</b>

## 5.2 Fraisage

Dessin	Opération	
	<b>Surfaçage</b> Le surfaçage c'est l'usinage d'un plan par une fraise. (surface rouge)	 Fraise à surfacer
	<b>Plans épaulés</b> C'est l'association de 2 plans perpendiculaires (surfaces vertes)	 Fraise de tailles
	<b>Rainure</b> C'est l'association de 3 plans. Le fond est perpendiculaire au deux autres plans. (surfaces vertes)	  Fraise 2 tailles Fraise 3 tailles
	<b>Poche</b> La poche est délimitée par des surfaces verticales quelconques (cylindre et plan). C'est une forme creuse dans la pièce. (surface cyan)	 Fraise 2 tailles

Dessin	Opération	
	<b>Perçage</b> Ce sont des trous. Ils sont débouchant (surface bleu) ou borgnes (surface jaune).	 <div>             Foret              Alésoir              Fraise 2 tailles              (pour le plastique)           </div>

## 6 Les porte-outils

Il existe différents systèmes pour placer les outils sur la machine, voici un petit récapitulatif non exhaustif.

Nom / utilisation	photos
Porte pince (tournage / fraisage) Cela permet de monter une fraise ou un foret sur une machine. L'outil est placé dans la pince. La forme conique de la pince associée au serrage d'une bague permet le serrage de l'outil. ATTENTION, la pince est choisie en fonction du diamètre de la queue de l'outil.	
Mandrin de perçage (tournage / fraisage / perçage) Cela permet de monter un foret sur une machine. On utilise la clé de mandrin pour serrer le foret.	
Adaptateur de cône (tournage / fraisage / perçage) Certains outils comme les forets de diamètre supérieur à 13 mm ont des embases coniques. Ces cônes nécessitent parfois des adaptateurs suivant les machines. Pour désolidariser le cône et le foret, on utilise un chasse-cône. Il suffit de l'enfoncer dans la lumière latérale et de frapper à l'aide d'un maillet.	

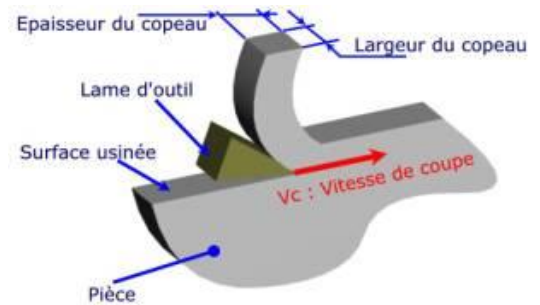
## 7 Les paramètres de coupe

### 7.1 Principe

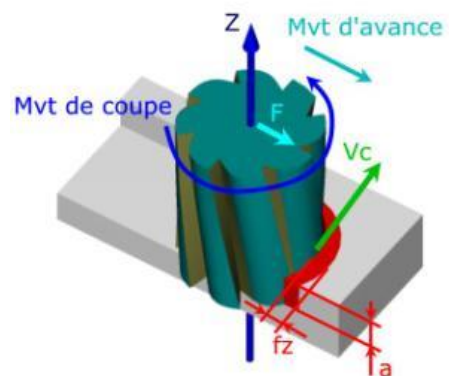
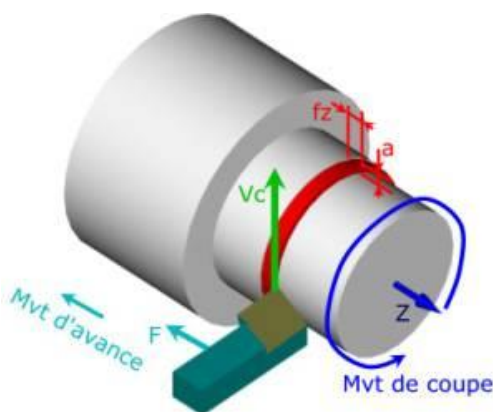
Une lame d'outil pénètre dans la matière et enlève un copeau.

L'outil suit une trajectoire par rapport à la pièce à usiner. Ces mouvements sont assurés par les éléments constitutifs de la machine-outil.

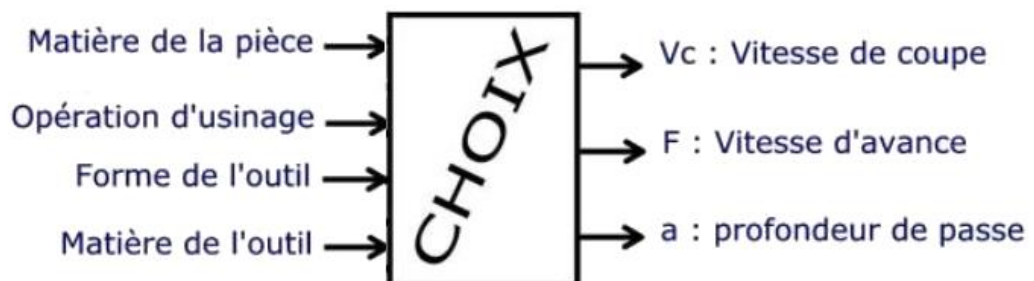
Pour obtenir un travail satisfaisant (bon état de la surface usinée, rapidité de l'usinage, usure modérée de l'outil, ...) on doit régler les paramètres de la coupe.



### 7.2 Analyse tournage, Fraisage



Il y a plusieurs critères qui permettent de définir les paramètres de la coupe, notamment :



#### 7.2.1 Vitesse de coupe

C'est l'espace parcouru en mètres par l'extrémité d'une dent de la fraise en une minute. Si d est le diamètre de la fraise et n le nombre de tours /minute, on a :

$$Vc = \pi \times d \times n$$

- d : espace parcouru en mètres pour un tour
- n : fréquence de rotation en tours par minutes

La vitesse de coupe a une influence capitale sur la durée de vie des outils. Elle varie notamment avec la matière à usiner, le matériau de l'outil, la nature de l'opération (ébauche ou finition), les conditions de lubrification (travail à sec ou lubrifié).

Tableau des vitesses de coupe et de l'avance par dent pour les outils en ARS

<b>Tournage</b>			
Matières	Vitesse de coupe en mètre/minute		Avance par dent en millimètre
	Ebauche	Finition	
Acier E24	30	45	0,1
PVC	90	150	0.3
Nylon PA6	90	120	0.2
Plexi PMMA	75	90	0.2
Laiton UZ30	70	110	0.3
BronzeUE12P	32	43	0.2
Dural AU4G	200	250	0.3
<b>Fraisage en bout</b>			
Acier E24	29	40	0.11
PVC	200	300	0.2
Nylon PA6	100	200	0.15
Plexi PMMA	60	80	0.15
Laiton UZ30	72	95	0.09
BronzeUE12P	23	31	0.07
Dural AU4G	150	190	0.07
<b>Perçage</b>			
Acier E24	25		0.025
PVC	60		0.02
Nylon PA6	30		0.02
Plexi PMMA	40		0.02
Laiton UZ30	45		0.03
BronzeUE12P	20		0.037
Dural AU4G	65		0.032

### 7.2.2 Détermination de la fréquence de rotation

La vitesse de coupe  $V_c$  étant donnée par des tableaux, il convient de déterminer la fréquence de rotation  $n$ .

$$N = \frac{1000 V_c}{\pi d}$$

- $V_c$  vitesse de coupe en mètres par minute
- $d$  : diamètre de la fraise en millimètres.

### 7.2.3 AVANCE

L'avance s'exprime par le déplacement de la pièce en millimètres pour :

- ☐ Une dent, c'est l'avance par dent  $f_z$ .
- ☐ Un tour, c'est l'avance par tour  $f$
- ☐ Une minute, c'est l'avance par minute  $V_f$ .

$$V_f = f_z \cdot Z \cdot n$$

$Z$  = nombre de dents de la fraise

Lorsque l'on a calculé l'avance qui est exprimée en mm/mn, il est facile de déterminer le temps d'usinage.

## 8. Système intégrés de CFAO

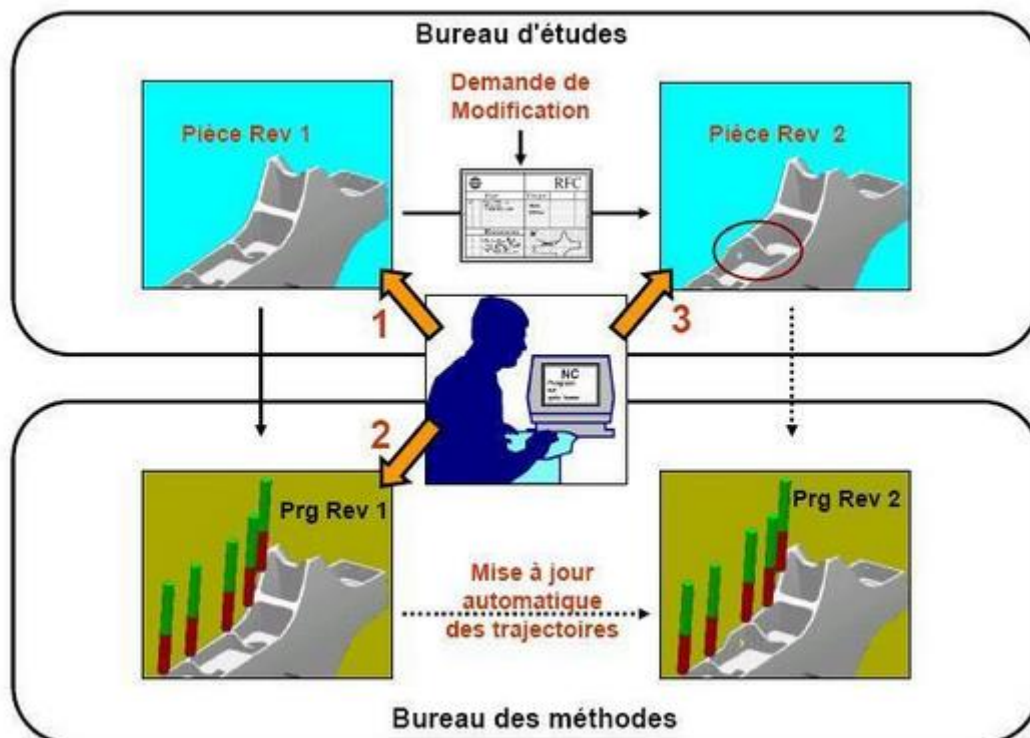
### Intégration CAO – FAO

#### ■ Applications de CAO – FAO intégrées

- Les applications de CAO et de FAO partagent le même modèle virtuel unique en mémoire
- Systèmes haut de gamme
  - Versatil, complet, Xao
  - Nécessitent des ordinateurs performants
- Exemples de systèmes commerciaux
  - CATIA V4 et V5, Dassault Systèmes
  - Unigraphics, UGS
  - Pro/Engineer, PTC

Intégration CAO-FAO :

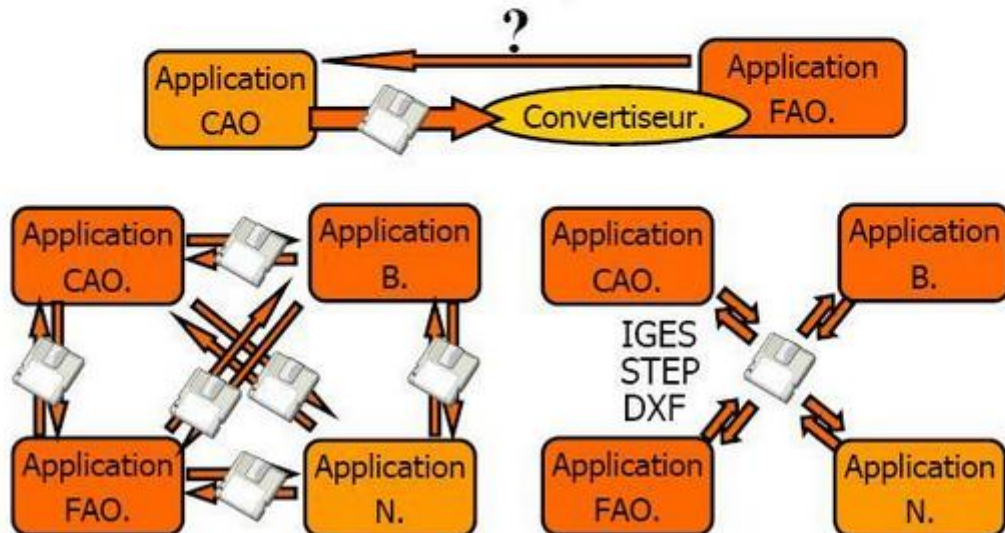
Applications interfacées





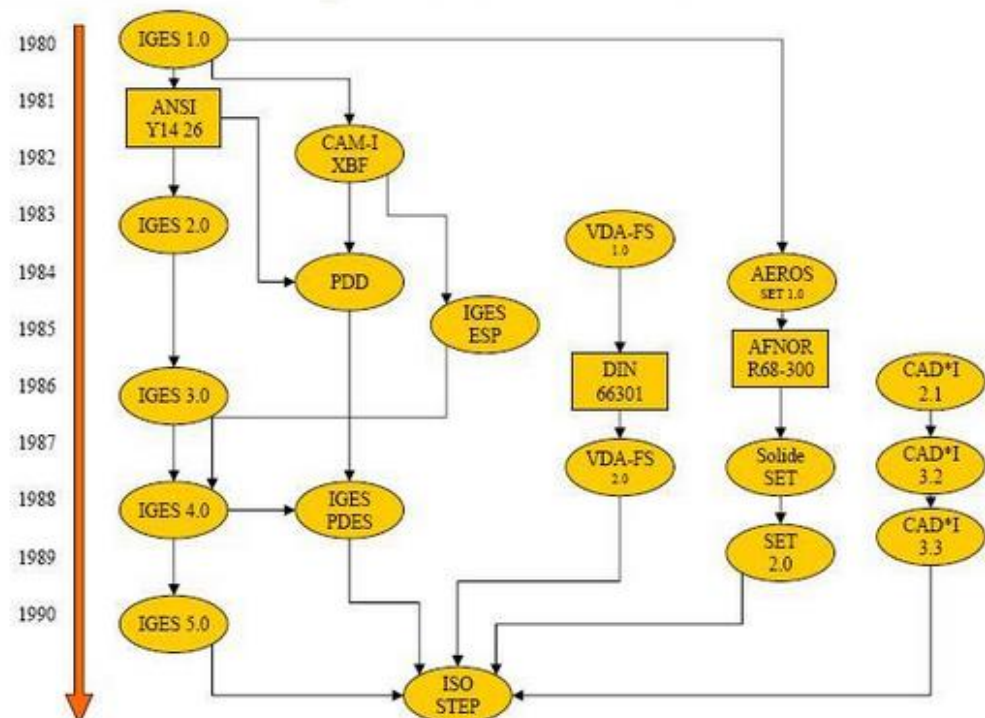
# Échange de données CAO - FAO

- Format natif versus format standard
  - Format standard: 2 conversions de représentations
  - Format natif: 1 conversion de représentations



## Échange de données CAO – FAO

### Historique



Standards d'échanges :  
Intégration de la CAO-FAO

- Applications de CAO – FAO intégrées
  - Les applications de CAO et de FAO partagent le même modèle virtuel unique en mémoire
  - Systèmes haut de gamme
    - Versatil, complet, Xao
    - Nécessitent des ordinateurs performants
  - Exemples de systèmes commerciaux
    - CATIA V4 et V5, Dassault Systèmes
    - Unigraphics, UGS
    - Pro/Engineer, PTC
- Applications de CAO – FAO interfacées
  - Les applications de CAO et de FAO sont des logiciels indépendants
  - Les applications ne partagent pas le même espace mémoire
  - Le modèle CAO virtuel doit être transféré vers l'application de FAO
  - Les activités CAO et FAO sont exécutées en séquence (pas d'ingénierie concourante)
  - Les applications CAO et FAO sont choisies séparément
  - Pas d'associativité entre les représentations CAO et FAO
  - Systèmes de milieu de gamme
    - Applications très compétitives en tournage, 2 1/2 axes
    - Souvent limitées en multiaxe
  - Basées sur le même modelleur géométrique
    - Pas de conversion de représentations
    - Pas de perte ou de dégradation d'informations
    - Exemples de modelleurs géométriques commerciaux:
      - ACIS, Spatial Corp.
      - PARASOLID, UGS
  - Basées sur des modelleurs "propriétaires"
    - Les représentations CAO doivent être converties
    - L'application FAO importe du "format natif" ou des formats standards:
      - IGES
      - STEP
      - DXF (format propriétaire public d'Autodesk Inc.)

## ■ Exemples de systèmes commerciaux

### Compagnies

CNC Software Inc.  
DP Technology Corp.  
Engineering Geometry Systems Inc.  
Gibbs & Associates  
MecSoft Corporation  
Missler Group / Topcad SA  
Pathtrace Ltd  
Surfware Inc.  
TekSoft  
Unigraphics Solutions Inc.  
Vero International Software Srl.  
SDRC  
Delcam  
CN Industries  
Pathtrace eng. Systems Ltd.

### Produits

MasterCAM  
Esprit 98  
FeatureCAM  
Virtual Gibbs  
VisualMill  
TopCam  
EdgeCAM Solid Machinist  
SURFCAM  
Factory Mill  
Unigraphics CAM  
VISI-CAM  
SurfCAM  
PowerMill  
Goelan  
EdgeCAM

**Standard for the Exchange of Product model data**, standard de communication de schémas CAO/DAO entre logiciels, en cours d'élaboration.

Programmation de commande numérique

Un article de Wikipédia (<http://fr.wikipedia.org/>), l'encyclopédie libre.

La programmation de commande numérique (CN) permet de commander numériquement, avec des instructions, les déplacements des différents organes mobiles. C'est le directeur de commande numérique (DCN) qui interprète les instructions, reçoit les informations des capteurs et agit (par l'intermédiaire d'un variateur électronique) sur les moteurs. Il existe plusieurs fabricants de DCN : Fanuc, NUM, Heidenhain, Siemens, Philips, Makino, Fagor, Selca, Fidia, MAZAK.

### Langage

Le langage répond à la norme ISO 6983 et ses annexes. Depuis l'établissement de la norme ISO 6983, et les technologies évoluant rapidement, de nombreuses extensions ont été ajoutées pour tenir compte des nouveautés et des nouvelles capacités des machines-outils. Ces extensions, bien que souvent utiles chez des constructeurs différents de Directeur de Commande Numérique, n'entrent pas dans la norme et compliquent la tâche des logiciels de Fabrication assistée par ordinateur, qui doivent créer les lignes de ce langage pour un DCN particulier. A côté de l'ISO, de nouveaux codes sont apparus, différents selon le Directeur de Commande Numérique. Ils intègrent de plus en plus, en plus de l'ISO, des langages propres aux constructeurs de DCN (symbolique, C, etc.) ainsi que des interfaces de programmation conversationnelle destinées à simplifier la programmation (voir CN Mazak, Heidenhain ou Selca).

- Fonctions préparatoires (G), fonctions d'appel de mode d'interpolation (G 0), cycles machine
- Coordonnées de points (X, Y, Z... I, K...)
- Vitesses, avances... (S, F...)
- Fonctions auxiliaires (M...) qui permettent d'enclencher la lubrification, de changer d'outil, ou de déclencher des accessoires

```
%1  
N10 G0 G52 XY  
N20 ...  
N30 ...  
N40 ...  
N50 G1 X80 Z160  
N60 ...
```

Dans cette syntaxe, le % ou le O fixe un numéro de programme. Le N est un numéro de bloc (chaque ligne est un bloc), de moins en moins utilisé, et très souvent facultatif.

## Fonctions préparatoires G

La fonction d'interpolation linéaire rapide **G 0** (ou G0) (avance rapide de l'outil : quand l'outil se déplace)  
La fonction d'interpolation linéaire (à la vitesse programmée) **G 01** (ou G1) (avance travail : c'est à dire quand l'outil usine la pièce)  
La fonction d'interpolation circulaire **G 02** (ou G2) dans le sens horaire) et **G 03** (ou G3) dans le sens trigonométrique. La fonction de temporisation (programmable avec F, X ou P) **G 04** (ou G4). La fonction d'arrêt précis en fin de bloc **G 09** (ou G9). Il est aussi possible sur certains pupitres de programmation d'utiliser ces deux codes (G2 G3) pour créer une interpolation circulaire, des fonctions d'interpolation à base de courbe NURBS **G 06.2**. Sur les fraiseuses équipées de tête bi rotative les codes **G17, G18, G19** définissent l'axe des cycles de perçage, taraudage...et le plan dans lequel seront réalisées les interpolations circulaires et activé le correcteur de rayon d'outil.

- **G17** : Axe d'outil Z , interpolations G2,G3 et correction rayon dans le plan X Y.
- **G18** : Axe d'outil Y , interpolations G2,G3 et correction rayon dans le plan Z X.
- **G19** : Axe d'outil X , interpolations G2,G3 et correction rayon dans le plan Y Z.

Les codes de la famille **G52, G53, G54, G55...**sont utilisés pour :

- Programmer un **décalage d'origine**.
- Définir que les déplacements sont relatifs à **l'origine machine**.
- Choisir le numéro de **l'origine pièce**.

Certains codes G de la famille **G60 G70** peuvent être utilisés par les fabricants de DNC pour :

- Le choix de la programmation **cartésienne** ou **polaire**.
- L'activation d'un **facteur d'échelle**.
- La mise en action d'une fonction **miroir**.
- La programmation en mesure **métrique** ou en **pouce**.

Les codes **G90 G91** définissent la programmation absolue ou incrémentale des côtes. Des cycles préprogrammés sont également accessibles sur la plupart des machines : **G 81, 82, 83...** pour les cycles de perçage, taraudage, etc. avec l'annulation par G 80. D'autres cycles peuvent être présents selon le type de machine (tour "cycle d'ébauche **G71, G72, G73...**" , fraiseuse, aléseuse, fil, ...).

## Fonctions auxiliaires M

Mise en rotation broche **M3** horaire, **M4** anti-horaire. Arrêt par **M5**.

Changement outil automatique ou manuel **M6**.

Mise en route de l'arrosage **M8**. Arrêt par **M9**.

Fonction de fin de programme **M2** ou **M30**.

Fonction d'arrêt programme **M0**.

Fonction d'arrêt optionnel programme M1

## Origines

**Origine programme (OP) : c'est le point origine du programme à partir duquel les mouvements de la machine sont programmés.**

•Origine machine (OM) : c'est le point origine dans l'espace à partir duquel la machine mesure ses déplacements.

•"Origine pièce" (Op) : elle sert à situer la pièce dans la machine. C'est le point de la pièce qui ne bouge pas de position en fonction des variations de dimension. C'est le point d'intersection de l'isostatisme.

•Distance origine programme (OP) - origine machine (OM) : c'est la distance que la machine doit additionner pour passer de son origine (OM) à l'origine du programme (OP).

•"DECALAGE" (dec) : distance de l'origine pièce à l'origine programme.

## Corrections

**Correction de la machine permettant de tenir compte des différentes longueurs et diamètres d'outil.**

•en fraiseage : correcteur de longueur de fraise : Activé automatiquement lors du changement outil (M6). Sur DNC FANUC **G43**, annulation par **G49** ; Pour le correcteur de rayon de fraise : **G41** et **G42**, annulation par **G40**. Sur certains DCN, le petit rayon de bout d'outil est compensable par un correcteur préfixé @.

•en tournage : correcteur de longueur d'outil, correcteur en diamètre et compensation de rayon de bec : **G41** et **G42**, annulation par **G40**.

De plus, la correction d'outils en cours d'usinage appelée "correction dynamique" permet de compenser l'usure de l'outil.

### Axes

**L'axe Z d'une machine à commande numérique est toujours l'axe de la broche tournante.**

- Les axes X et Y sont disposés suivant un repère orthonormé direct par rapport à Z.
- L'axe X est celui qui permet la plus grande distance de déplacement. Le dernier axe étant l'axe Y ; sur certaines machines, on trouve des axes supplémentaires appelés Axe A, B, C. Les axes A, B, C sont des axes rotatifs, A tournant autour de X, B autour de Y, C autour de Z. On rencontre de plus les désignations U, V, W pour d'autres axes supplémentaires, portiques, tourelles secondaires ou accessoires.
- Le sens + permet un accroissement des dimensions de la pièce.

### Programmation paramétrée

#### Aide à la programmation de profils complexes

La Programmation Géométrique de Profil (P.G.P.) du fabricant de DNC NUM permet d'utiliser directement les côtes du dessin de définition pour écrire le programme. Principe :

- programmation en absolu (G90)
- programmation classique valable
- programmation par blocs : un élément géométrique par bloc • élément géométrique entièrement ou incomplètement défini (dans un ou deux blocs suivants) Éléments géométriques :
  - Éléments d'angle **EA**
  - Éléments congé **EB+**
  - Éléments chanfrein **EB-**
  - Éléments tangent **ET**
  - Éléments sécant **ES**
  - Discriminant **E+ / E-**

Le langage **PROGET 2'** du constructeur SELCA utilise 5 codes G, pouvant être assimilés à 5 instruments du dessinateur industriel.

- G20 pour le compas dans le cas de cercles de centre et rayon connus.
- G21 pour le gabarit multi rayons pour les rayons de raccordement.
- G13 pour le rapporteur d'angle dans le cas de droite inclinée.
- G10 et G11 pour la règle.

Les autres langages de programmation :

APT (Automatic Programmed Tool), IFAP, EXAPT, MINIAPT, AUTOAPT, SYMAP, SPLIT, CINAP, SNAP, PROMO, ELAN, PAM, GTL, PSI, COMPACT II, NUCOM, AUTOPIT, AUTOPROG, ADAPT, etc...

Modèles CAO :

Modèles et représentations

Correspondance CAO-FAO