

## 1. LES MACHINES-OUTILS : GENERALITES

### 1.1 Historique.

- 2000 ans avant Jésus Christ, la plus ancienne machine-outil jamais découverte est un tour. A l'âge du bronze, les artisans se servaient de tours à arc. Plus tard, le tour de potier sera découvert.
- Vers l'an 1500, Léonard de Vinci propose des solutions basées sur du tournage à mouvement continu. Son tour, comme beaucoup de ses inventions, est en avance sur son époque.
- Il faudra attendre le XIXème siècle pour que les bases de la mécanique moderne poursuivent cette évolution et débouchent sur le tour automatique.

« Une machine-outil est un appareil destiné à faire fonctionner des outils mécaniquement, le mouvement étant. d'ailleurs transmis à la machine soit à la main, soit par l'intermédiaire d'un moteur. (...) Les machines-outils employées pour le travail des métaux sont très diverses et très répandues, et de nos jours les exigences de la construction ont amené à produire des types d'une grandeur vraiment colossale. (...) Les machines employées dans les ateliers de construction de machines comprennent :

- Les tours établis avec des dispositions et des dimensions variables selon les formes et les dimensions des pièces qu'ils sont destinés à travailler.
- Les machines à percer employées pour le perçage et l'alésage des pièces les plus diverses. (...)
- Les machines à fraiser employées très utilement pour le façonnage des pièces détachées.
- Les machines à aléser destinées à l'alésage des cylindres des machines à vapeur, des corps de pompes, etc.
- Les machines à raboter appliquées au dressage de pièces, telles que les bâts de machines, plaques de fondation, etc. Les limeuses sont d'un emploi très répandu dans les ateliers d'ajustage, pour le rabotage des pièces détachées. (...)

(Extraits de « La Grande Encyclopédie, inventaire raisonné des sciences des lettres et des arts » - H. Lamirault et Cie, éditeurs - environ 1910).

Historiquement les premières machines ont donc été des tours pour la fabrication de pièces de révolution. Les tours actuels sont toujours basés sur le même principe. Par contre, parmi les autres machines présentées dans cette encyclopédie, certaines ont évolué et d'autres ont disparu. Par exemple, les machines à raboter et les limeuses (rebaptisées ultérieurement étaux limeurs) ont quitté les ateliers, remplacées par les fraiseuses. A la fin des années 70, l'apparition des premières commandes numériques a révolutionné le monde de la machine-outil. Les types de machines (tours - fraiseuses) n'ont pas fondamentalement changé, mais les temps de reconfiguration de ces machines ont été considérablement réduits par le remplacement des butées réglables (mécaniques ou électromécaniques) par des butées logicielles. L'utilisation des commandes numériques a également permis d'augmenter la complexité des formes réalisées grâce à la combinaison de mouvements suivant plusieurs axes. Nous allons maintenant présenter quelques machines courantes et les surfaces qu'elles permettent de générer.

### 1.2 Les tours :

Les tours (voir Figure 1-2) permettent de réaliser des surfaces hélicoïdales (filetage) et des surfaces de révolution: cylindres, cônes et plans (génératrice perpendiculaire à l'axe de révolution). L'utilisation principale des ces machines est l'usinage des arbres. La pièce, généralement tenue par le mandrin, a un mouvement de rotation (mouvement de coupe) transmis par la broche. L'outil peut se déplacer en translation suivant deux directions. Ces deux directions, perpendiculaires entre elles, appartiennent à un plan auquel l'axe de la broche est parallèle. Le premier mouvement de translation est parallèle à l'axe de la broche. Le deuxième mouvement de translation est perpendiculaire à l'axe de la broche..

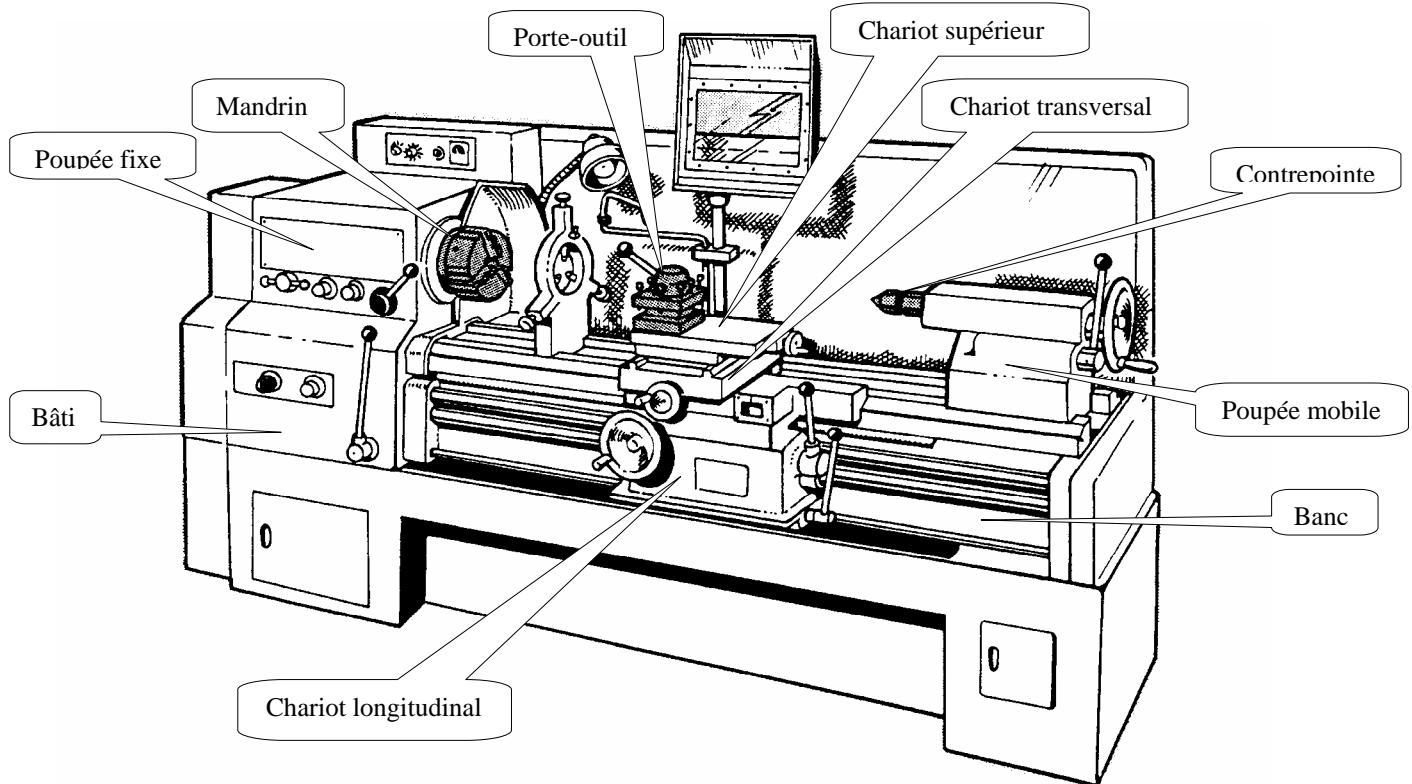


Figure 1 : Tour à charioter et à fileter



Figure 2 : Tour à commande numérique

### 1.3 Les fraiseuses :

Les fraiseuses ont supplanté certaines machines (raboteuses, étaux limeurs) pour l'usinage de surfaces planes. Ces machines (voir Figure 3-4) peuvent également servir pour des opérations de contournage. L'outil, une fraise, est fixé dans la broche et est animé d'un mouvement de rotation (mouvement de coupe). Il peut se déplacer en translation par rapport à la pièce suivant trois directions. L'appellation « fraiseuse à commande numérique » n'est pas très utilisée, on parlera plutôt de centre d'usinage 3 axes.

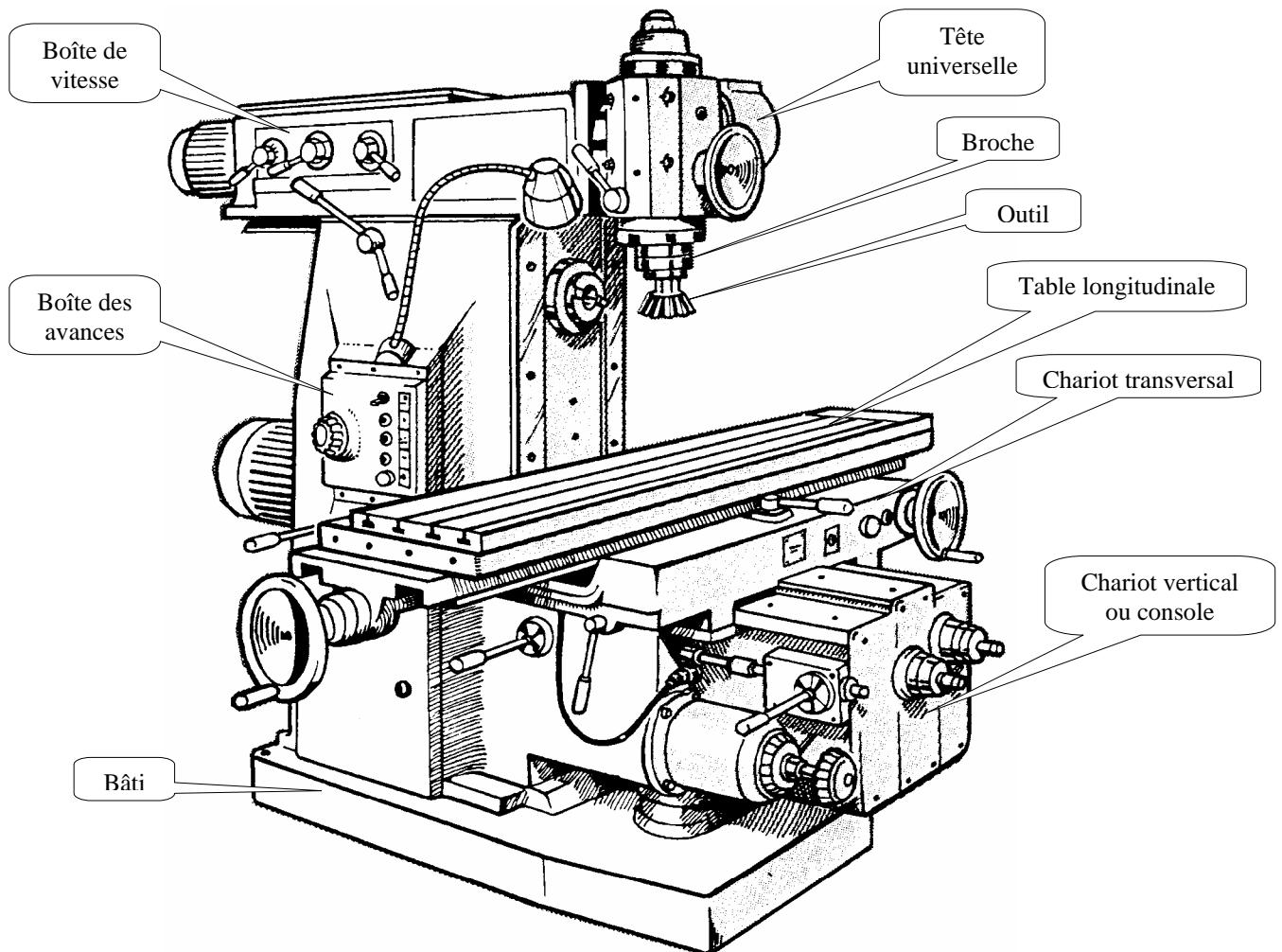


Figure 3 : Fraiseuse universelle

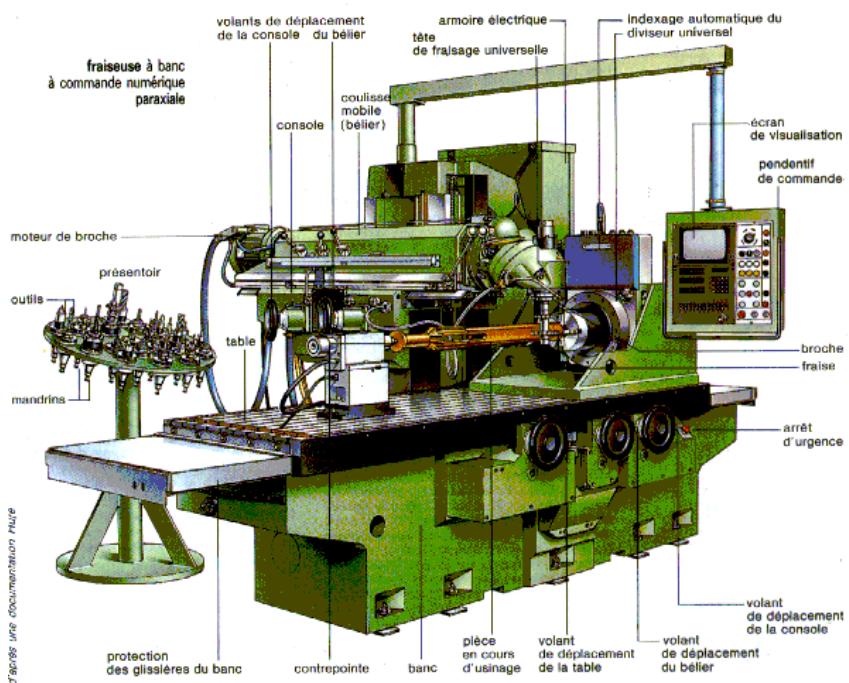


Figure 4 : Fraiseuse à commande numérique.

Même si les surfaces planes et cylindriques représentent la majeure partie des surfaces fonctionnelles des pièces (la plupart du temps usinées car ne pouvant être obtenues avec une précision suffisante par les procédés classiques d'élaboration des pièces brutes), l'usinage de surfaces complexes s'est développé. Ces surfaces gauches sont par exemple présentes sur les matrices d'emboutissage et sur les moules pour l'industrie de l'injection plastique.

Les surfaces gauches peuvent être réalisées avec un centre d'usinage 3 axes en utilisant comme outil une fraise boule. Dans ce cas, les conditions de coupe de la fraise ne sont pas optimales. En effet, lorsque le point génératrice de l'outil se trouve sur l'axe de rotation de la fraise, la vitesse de coupe en ce point est nulle.

Pour résoudre ce problème il est nécessaire de pouvoir incliner l'axe de rotation de la fraise par rapport à la pièce. Cette inclinaison peut être obtenue en ajoutant sur le centre d'usinage 3 axes un plateau tournant suivant deux axes (voir Figure 5). La réalisation de ce type de solution est plus simple que la réalisation d'une tête rotative deux axes. En contrepartie, les dimensions des pièces réalisées sont limitées par la dimension du plateau tournant.



Figure 5: Centre d'usinage 5 axes

## 2. TERMINOLOGIE. :

Les constructeurs de machines-outils étant nombreux et différents des fournisseurs de commandes numériques, une normalisation sur la dénomination des axes de ces machines a été nécessaire afin que l'association commande numérique-machine soit simple à réaliser. Les conventions adoptées vont maintenant être précisées.

Le Mémotech de « génie mécanique » ( collection A. Capliez, Educalivre, éditions Casteilla, 1996) donne des définitions générales relatives à la désignation des machines d'usinage :

Machine-outil à commande numérique MOCN :

Machine-outil programmable équipée d'une commande numérique par calculateur (CNC). Elle est dédiée à des fabrications variées de pièces différentes lancées en petits lots répétitifs.

Centre d'usinage (CU) :

C'est une MOCN équipée d'équipements périphériques qui assurent :

- le changement automatique d'outils stockés dans les magasins d'outils,
- le changement automatique de pièces (palettisation),
- éventuellement le convoyage des copeaux (convoyeur).

Il est dédié à des fabrications variées de pièces différentes.

Machine autonome flexible :

C'est un CU doté d'un carrousel de palettes pour le chargement et le déchargement des pièces, de plusieurs magasins d'outils, de moyens d'auto-contrôle, d'un système de détection des bris et usures d'outils.

Elle est dédiée à des fabrications variées de plusieurs familles de pièces.

Cellule flexible :

Il s'agit d'un système formé de plusieurs CU (2 à 3) semblables ou non reliés entre eux par un dispositif de transfert de pièces. Les fonctions de stockage, chargement et déchargement des pièces brutes et finies sont aussi automatiques. Elle est dédiée à des opérations spécifiques sur plusieurs familles de pièces.

Ligne transfert flexible :

Il s'agit d'un système formé de plusieurs MOCN, machines spéciales (à têtes interchangeables automatiquement) agencées linéairement conformément au flux des produits (gamme de fabrication). Elle est dédiée à une famille de pièces.

Atelier flexible :

C'est un système formé de plusieurs MOCN ou cellules flexibles (de 5 à 15) associé à des dispositifs de transfert de pièces (chargement, déchargement, stockage, contrôle) entièrement automatisés et gérés par un ordinateur central. Il est dédié à l'usinage des pièces d'une même famille.

## 3. LES AXES DES MACHINES.

La norme NF Z 68-020 définit un système de coordonnées machine et les mouvements de la machine de telle façon qu'un programmeur puisse décrire les opérations d'usinage sans avoir à distinguer si l'outil s'approche de la pièce ou la pièce de l'outil. Ce système d'axes peut être défini d'après cette norme pour n'importe quel type de machine. Cette normalisation est notamment nécessaire pour garantir l'interchangeabilité des programmes sur plusieurs machines différentes. Cette norme étant complexe, nous allons en présenter une version simplifiée pour les machines les plus usuelles (voir [NF -95] pour plus de détails).

Le système normal de coordonnées est un système cartésien rectangulaire de sens direct avec les trois principaux axes appelés **X**, **Y** et **Z** et avec des axes de rotation autour de chacun de ces axes appelés respectivement **A**, **B** et **C**.

### 3.1 Mouvements de translation X, Y, Z :

#### Axe Z de mouvement:

L'axe **Z** est parallèle à la broche principale de la machine. Lorsque la broche principale est pivotante ou orientable, l'axe **Z** doit être parallèle à l'axe de la broche quand cette dernière est dans la position zéro. La position zéro de référence est de préférence celle où la broche est perpendiculaire à la surface de bridage de la pièce.

#### Axe X de mouvement:

Quand cela est possible, l'axe **X** doit être horizontal et parallèle à la surface de bridage de la pièce. Pour les machines avec des pièces en rotation, l'axe **X** doit être radial et parallèle aux glissières du chariot transversal.

#### Axe Y de mouvement:

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

### 3.2 Mouvements de rotation A, B, C :

Les angles **A**, **B** et **C** définissent les mouvements de rotation effectués respectivement autour d'axes parallèles à **X**, **Y** et **Z**.

### 3.3 Direction :

Le sens positif des axes est défini de manière telle qu'un mouvement dans une direction positive d'axes de translation ou de rotation, augmente les valeurs positives de la position de la pièce par rapport à la machine.

### 3.4 Mouvements additionnels :

#### Mouvements de translation :

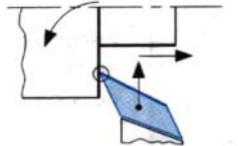
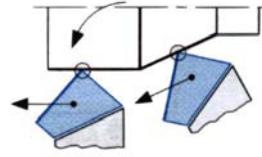
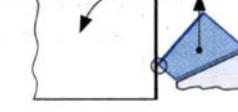
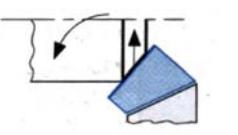
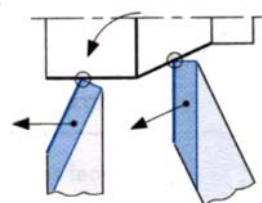
Quand, en plus des mouvements de translation primaire **X**, **Y** et **Z**, il existe des mouvements de translation secondaires parallèles à ceux-ci, ils seront respectivement désignés par **U**, **V** et **W**.

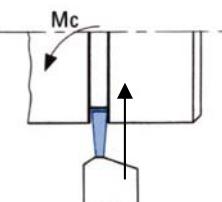
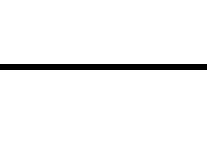
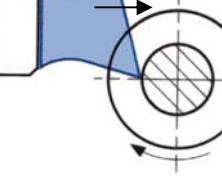
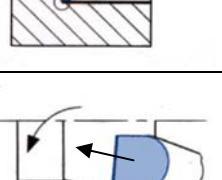
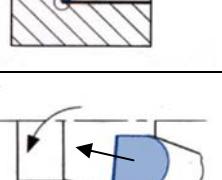
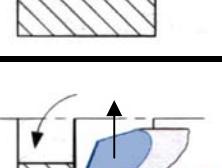
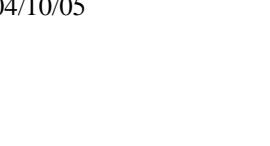
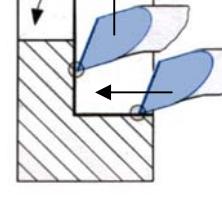
#### Mouvements de rotation :

Quand, en plus des mouvements de rotation primaires **A**, **B** et **C**, il existe des mouvements de rotation secondaires parallèles ou non à **A**, **B** et **C**, ceux-ci seront désignés par les lettres **D** ou **E**.

## 4. LES OUTILS DE TOURNAGE

### 4.1 LES OUTILS EN ACIER RAPIDE (ARS)

Visualisation	Identification de l'outil	Type d'opérations réalisées	Schéma d'usinage
	Outil à dresser les angles NF E 66-364	Dressage	
		Dressage et chariotage combinés	
	Outil à charioter coudé NF E 66-362	Chariotage cylindrique et conique	
		Dressage	
		Chanfreinage	
	Outil droit à charioter NF E 66-361	Chariotage cylindrique et conique	

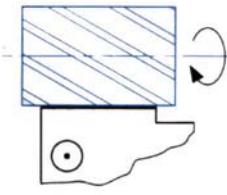
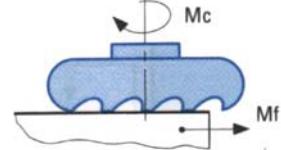
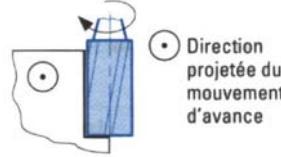
	Outil couteau NF E 66-363	Chariotage cylindrique et conique Chariotage et dressage combinés	 
	Outil à saigner NF E 66-366	Rainurage de petite dimension	
	Outil à tronçonner NF E 66-368	Tronçonnage de pièces <i>Exemple : Débit dans une barre en laminé ou étiré</i>	
	Outil à aléser NF E 66-370	Alésage d'un cylindre droit de révolution à partir d'un trou brut ou ébauché Alésage d'un cône droit de révolution à partir d'un trou brut ou ébauché	 
	Outil à aléser et à dresser NF E 66-371	Alésage et dressage combinés à partir d'un trou brut ou ébauché	

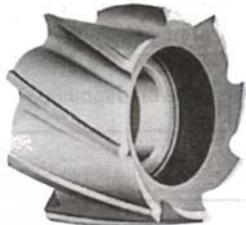
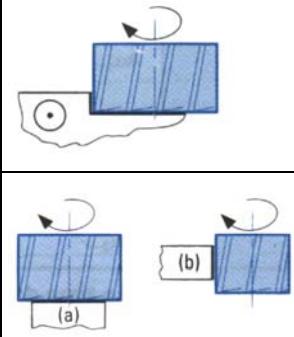
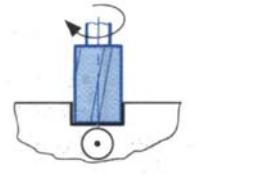
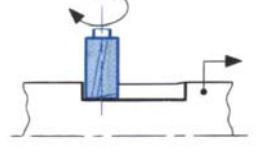
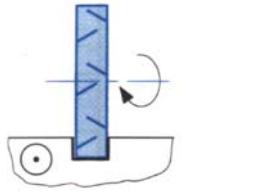
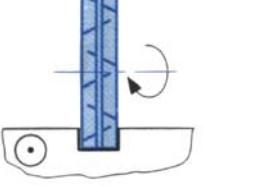
## 4.2 LES OUTILS A PLAQUETTE CARBURE

Visualisation	Identification de l'outil	Types d'opérations réalisées	Schéma d'usinage
	Outil à dresser	Dressage	
	Outil <b>couteau</b>	Chariotage cylindrique ou conique	
		Chariotage et dressage combinés	
	Outil <b>à charioter et à dresser</b>	Chariotage et dressage combinés	
	Outil <b>à aléser</b>	Alésage d'un cylindre (ou cône) droit de révolution à partir d'un trou brut noyauté (écroutage)	

## 5. LES FRAISES

### 5.1 LES FRAISES ACIER RAPIDE (ARS)

Visualisation	Identification de l'outil	Type d'opérations réalisées	Schéma d'usinage
	Fraise 1 taille à surfacer	Surfaçage en roulant ou de profil	 <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">●</span> : direction projetée du mouvement d'avance
	Fraise cloche à surfacer	Surfaçage en bout ou de face	
	Fraise 2 tailles à queue conique	Surfaçages combinés à prédominance en roulant Surfaçage en roulant	 <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">●</span> Direction projetée du mouvement d'avance

	<b>Fraise 2 tailles</b> à alésages et à entraînement par tenon	Surfaçages combinés à prédominance en bout Restrictivement : -surfâçage en bout (a) - surfâçage en roulant (b)	
	<b>Fraise 2 tailles</b> à queue cylindrique	Rainurage de profil peu précis	
	Fraise à rainurer deux lèvres à coupe centrale	<i>Rainurage de profil en pleine matière</i> Exemple : rainure de clavetage	
	Fraise 3 tailles à dentures alternées	Rainurage en bout Qualité usuelle obtenue /9	
	Fraise 3 tailles extensible à denture alternées	Rainurage en bout qualité usuelle obtenue : 7-8	

## 5.2 LES FRAISES A PLAQUETTES CARBURE

Visualisation	Identification de l'outil	Types d'opérations réalisées	Schéma d'usinage
	Fraise à surfacer	Surfaçage en bout	
	Fraise à surfacer et à dresser	Surfaçages combinés à prédominance en bout	
	Fraise à rainurer	Rainurage de profil	
	Fraise 3 tailles à dentures alternées	Rainurage en bout	