



Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
Université Frères Mentouri Constantine



Institut des Sciences et Techniques Appliquées de Constantine  
Département Productique Mécanique et Industrialisation

# Polycopié de cours :

## Technologie de fabrication

Pour les étudiants en première année de licence professionnelle, spécialité Génie  
Industrielle Et Maintenance (GIM).



Par :

Kamel FEDAOUI

2018-2019

# Table des matières



<b>Objectifs</b>	4
<b>I - Présentation du module</b>	5
<b>II - TECHNOLOGIE DE FABRICATION</b>	7
1. TECHNOLOGIE DE FABRICATION .....	7
1.1. Les Procédés de fabrication .....	8
2. Exercice : Les procédés de fabrication .....	10
<b>III - LE TOURNAGE</b>	11
1. Exercice : test des prérequis .....	11
2. Présentation .....	11
3. Caractéristiques du tournage .....	12
3.1. Caractéristiques du tournage .....	12
3.2. Régime de coupe .....	18
4. Exercice .....	20
5. Exercice : Régime de coupe .....	20
<b>IV - LE FRAISAGE</b>	21
1. Exercice : test des prérequis .....	21
2. Présentation .....	21
3. Caractéristiques du fraisage .....	22
3.1. Caractéristiques du fraisage .....	22
3.2. Régime de coupe .....	29
4. Exercice .....	31
5. Exercice : Régime de coupe en fraisage .....	31
<b>V - LE PERÇAGE</b>	32
1. Exercice : test des prérequis .....	32
2. Présentation .....	32
3. Caractéristiques du perçage .....	33
3.1. Caractéristiques du perçage .....	33

3.2. Régime de coupe .....	39
4. Exercice : Régime de coupe en perçage .....	41
<b>VI - LES PROCÉDÉS NON CONVENTIONNELLES</b>	<b>42</b>
1. Présentation .....	42
2. L'ELECTRO-EROSION .....	42
3. LA FABRICATION ADDITIVE .....	45
<b>VII - LES MESURES DE SÉCURITÉS</b>	<b>48</b>
1. Présentation .....	48
<b>Références</b>	<b>52</b>

# Objectifs



A l'issu de ce cours, vous serez capables de :

- Réaliser des pièces simples sur machines d'usinage et avec d'autres procédés ;
- Initier aux moyens de production simples dans un processus global d'élaboration ;
- Expliquer les procédés d'obtention de produits ;
- Connaître les domaines d'emploi des différents procédés et leurs caractéristiques.

# Présentation du module

I

Ce cours est une partie d'Unité d'enseignement Découverte de la mécanique et des matériaux destiné pour les étudiants en première année de licence professionnelle de l'Institut des Sciences et Techniques Appliquées (ISTA), spécialité Génie Industriel et Maintenance (GIM).

## *Compétences visées :*

- Analyser les éléments de fabrication et définir les procédés et processus, les moyens et les modes opératoires ;
- Étudier les postes de travail, l'ergonomie, les implantations ou les modalités de manutention et d'entreposage des fabrications ;
- Mettre en place d'une opération d'usinage sur machines conventionnelles (tour parallèle, fraiseuse, perçage, ajustage, soudage, pliage et cisailage) ;
- Identifier et analyser les dysfonctionnements, définir les actions correctives et suivre leurs mises en œuvre ;
- Contrôler la conformité de fabrication de produits, pièces, sous-ensembles, ensembles.

## *Résponsable du module:*

Dr. FEDAOUI Kamel ( bureau ISTA )

Email : kamel.fedaoui@umc.edu.dz, fedaouik@yahoo.fr

heure de réception : lundi et mardi de 13H30 à 15H

## *Prérequis :*

- Ce module sera coordonné avec les enseignements définis par la fiche M 111 : DESSIN INDUSTRIEL 1 (Lecture de dessin 2D), M 122 : MÉTROLOGIE 1, M 113 : MATÉRIAUX 1

## *Volume horaire:*

- 3h CM, 9h TD, 18h TP / semestre.

## *coefficient :*

- 2 .

## *Contenus :*

- Réaliser des pièces simples sur machines d'usinage et avec d'autres procédés ;
- Connaître les domaines d'emploi des différents procédés et leurs caractéristiques ;
- Hygiène, sécurité et environnement du poste de travail ;
- Initiation à la production sur machines-outils (tournage, fraisage, perçage...) ;
- Mise en œuvre de méthodes, techniques, outillages (paramètres : vitesse de coupe, d'avance...) et limites d'utilisation (tolérances dimensionnelles et géométriques) ;

- Il s'agit de donner simultanément aux étudiants un savoir-faire et des connaissances générales sur les moyens et méthodes de production en insistant sur l'organisation: sécurité, qualité, poste de travail, temps, travail collaboratif.

*Modalités de mise en œuvre :*

- Cours et TD présentation des principe d'usinage ;
- En TP, l'étudiant doit être au contact avec le matériel et doit le manipuler avec autonomie, tout en respectant les règles de sécurité et les règles de l'art ;
- Il est souhaitable de conserver ces premiers TP sur des machines-outils conventionnelles ;
- TP à 12 étudiants (travaux pratiques avec des matériels différents, fragiles, coûteux et comportant des risques) Encadrement par l'enseignant et un technicien ;
- 6 TP de 3 h par permutation circulaire soit 18 h de TP.

# TECHNOLOGIE DE FABRICATION

II

## 1. TECHNOLOGIE DE FABRICATION

### Objectifs

l'apprenant sera capable de :

- Définir les technologies de fabrication ;
- Connaître l'intérêt de la technologie de fabrication.

### ❖ Rappel : Procédé de fabrication

Un *procédé de fabrication* est un ensemble de techniques visant l'obtention d'une pièce ou d'un objet par transformation de matière brute. Obtenir la pièce désirée nécessite parfois l'utilisation successive de différents procédés de fabrication suivant les besoins.

Les procédés de fabrication font partie de la construction mécanique. Les techniques d'assemblage ne font pas partie des procédés de fabrication, elles interviennent une fois que les différentes pièces ont été fabriquées. On parle de procédé de fabrication pour tous les objets\*.

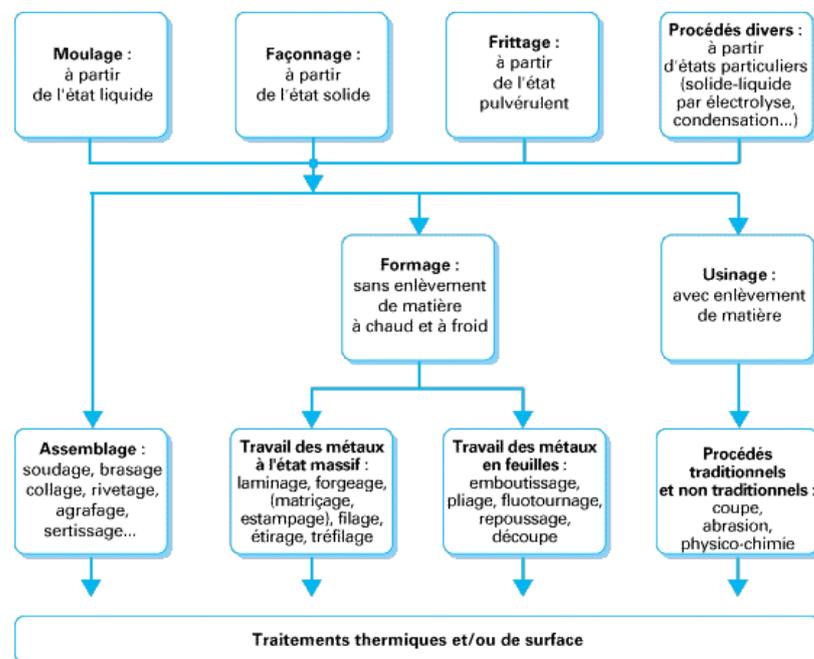


Fig 1. Les différents procédés de mise en forme et de fabrications des matériaux

La figure montre les différents techniques d'obtention des pièces mécanique.

## 1.1. Les Procédés de fabrication

L'homme a depuis toujours cherché à transformer la matière qui l'entoure pour acquérir différents objets utiles de la vie quotidienne.

Parmi les techniques de transformation de la matière, enlèvement de matière, la mise en forme des matériaux par déformation plastique est une des plus anciennes. mais des techniques modernes ont vue le jours.

### 1.1.1. Obtention par enlèvement de matière

Consiste à obtenir la forme finale par arrachements de petits morceaux de matière (copeaux). De manière générale on appelle usinage ces procédés. On y distingue les techniques suivantes:

- Le Tournage ;
- Le Fraisage ;
- Le perçage ;
- La perforation ;
- La Rectification ;
- Le Limage ;
- L'électro-érosion.
- Les découpages :
  - L'oxycoupage ;
  - Le Découpage laser ;
  - Le Découpage jet d'eau ;
  - Le Découpage plasma.



Fig 2. pièces réalisées par enlèvement de matière (tournage)

### 1.1.2. Obtention par déformation

Consiste à déformer plastiquement le matériau jusqu'à obtention de la forme désirée. on peut citer comme exemples :

- Estampage ;
- Matricage ;
- Tréfilage ;
- Forgeage ;
- Hydro-formage ;

- Laminage ;
- Filage ;
- Cintrage ;
- Emboutissage ;
- Pliage ;
- Extrusion ;
- Thermopliage ;
- Thermoformage ;
- Repoussage.

la figure suivante montre un exemple de coque de voiture obtenue par différentes techniques de déformation.



*Fig 3. la déformation des tôles*

### 1.1.3. Obtention par fusion

L'obtention par fusion concerne la mise en fusion et solution (liquide) de la matière avant sa transformation à l'état voulu. Parmi ces techniques on cite :

- Frittage ;
- Moulage; voir aussi Fonderie ;
- Le Forgeage liquide.
- Le Soudage consiste à fusionner deux pièces en les rendant localement liquide; ce procédé peut aussi être considéré comme une technique d'assemblage.
- La fabrication additive désigne les processus de mise en forme par fusion, ainsi que les processus chimiques : polymérisation ou réticulation.

la figure suivante montre un exemple de produits obtenue par différentes techniques de fusion.



*Fig 4. la technique de frittage des poudres métalliques*

### 1.1.4. Obtention par assemblage

L'obtention par assemblage concerne les méthodes de groupement de pièces pour faire un ensemble voulu. Parmi ces techniques on cite :

- Soudage
- Collage
- Boulonnage
- Rivetage
- Agrafage
- Frettage

la figure suivante montre un exemple de produits obtenue par différentes techniques d'assemblage.



*Fig 5. assemblage par soudage*

## 2. Exercice : Les procédés de fabrication

Quel est la technique entrant dans les procédés de fabrication ?

- l'injection plastique
- le dessin artistique
- l'emboutissage
- le transport des voyageurs

# LE TOURNAGE



## 1. Exercice : test des prérequis

c'est quoi le cylindre de révolution?

- C'est une surface engendrée par la révolution, autour d'un axe fixe, d'une droite parallèle à ce dernier.
- C'est le dessin assisté par ordinateur.

## 2. Présentation

### *Objectifs*

*l'apprenant sera capable de :*

- Connaître le procédé de tournage ;
- Calculer le régime de coupe.

### *Définition : Le tournage*

---

*C'est* est un procédé d'usinage permettant l'obtention de surfaces de révolution intérieures et extérieures, de surfaces planes ainsi que d'autres surfaces telles que celles obtenues par filetage, gravure, etc.

On réalise par ce type d'usinage toutes les surfaces de révolution, y compris les plans, lorsque la trajectoire du point générateur est située dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation. Dans le tournage conventionnel les outils de coupe ont une seule arête tranchante. La coupe est obtenue par engagement de cette arête dans la matière\*.

### *Exemple : Opérations de tournage*

---

Ils existent deux familles d'opérations de tournage :

- Les opérations de tournage extérieur ;
- Les opérations de tournage intérieur.

On peut aussi d'autres types d'opérations extérieures et intérieures comme montre la figure suivante.

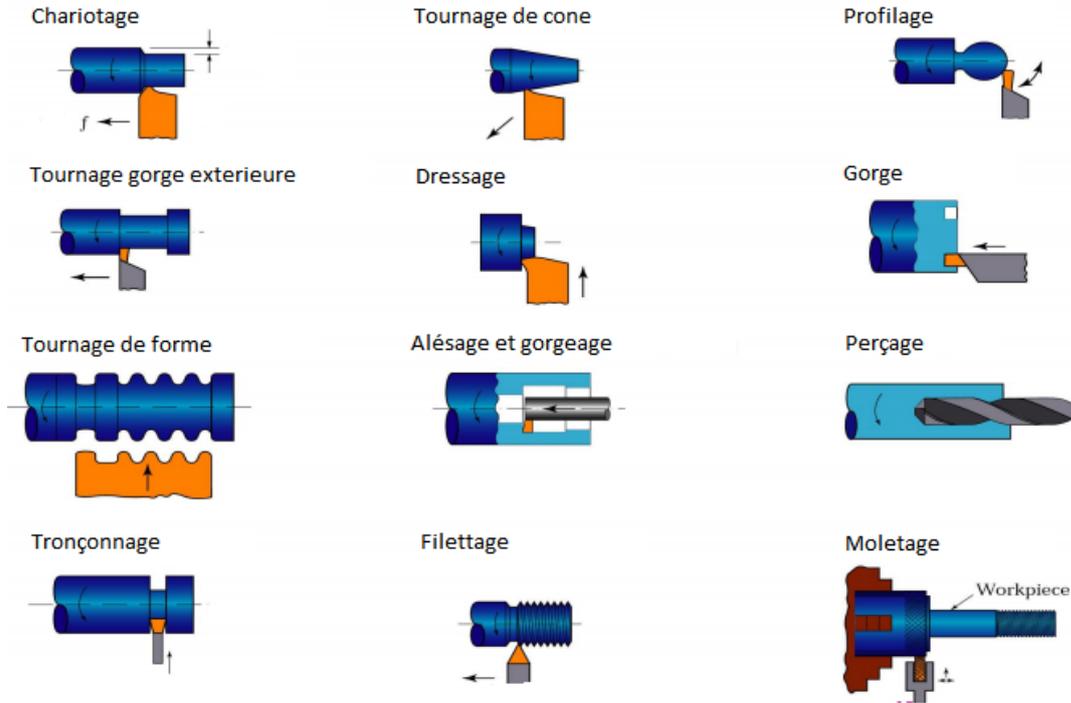


Fig 6. Opérations de tournage

### 3. Caractéristiques du tournage

#### Objectifs

*l'apprenant sera capable de :*

- Connaître le procédé de tournage ;
- Calculer le régime de coupe.

#### 3.1. Caractéristiques du tournage

#### Objectifs

*l'apprenant sera capable de :*

- Connaître les caractéristiques du tournage ;
- Calculer le régime de coupe en tournage.

##### 3.1.1. La machine

*Le tour* est une machine d'outillage conçue pour le travail unitaire et la petite série. Il permet la réalisation de différentes surfaces nécessitant toujours une rotation de la pièce autour d'un axe de révolution.

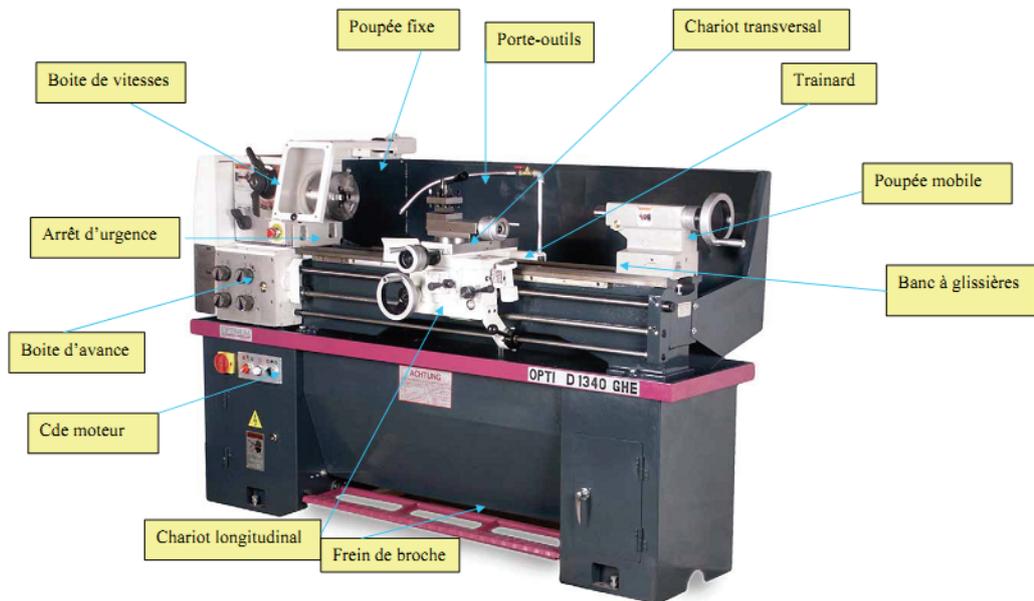


Fig 7. Composantes d'un tour

*Différents types de tours :*

Afin de répondre à tous les besoins de l'industrie (complexité des pièces, temps d'usinage, capacités), les tours ont évolué. Certains tours sont si complexes qu'ils peuvent être une alternative aux centres d'usinage. Voici les principaux types de tours :

*Tour conventionnel :* Ce sont les tours de base. Les opérations sont réalisées par un opérateur qui doit régler les différents paramètres et lancer les opérations. toutes les tâches sont manuelle.

*Tour automatique (monobroche ou multibroche) :* Le tour automatique permet l'usinage des pièces suivant un réglage, sans intervention directe de la part de l'opérateur. Lorsqu'il est multibroche, le tour automatique a la possibilité de réaliser plusieurs pièces en même temps.

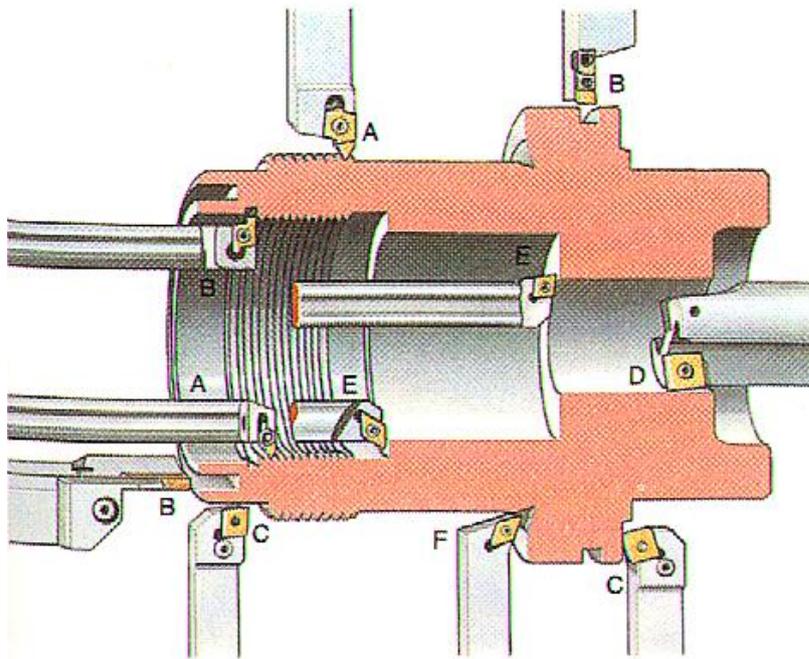
*Tour à commande numérique :* Le tour à commande numérique permet d'usiner des pièces suivant un programme numérique, sans aucune intervention de la part de l'opérateur. Lorsqu'il est multi-axes, le tour peut réaliser plusieurs pièces en même temps.



Fig 8. Différents types de tours

### 3.1.2. les outils

*Les outils utilisés lors des opérations de tournage* sont multiples. Pour chaque opération, on trouve un outil spécifique surtout en ce qui concerne l'usinage des formes. Les outils de tournage existent dans une grande variété de formes, de dimensions et de matériaux en fonction des conditions particulières des opérations effectuées.



opérations  
de tournage  
et outils  
correspondants  
A. Filetage;  
B. Saignée  
d'une gorge  
C. Chariotage  
et dressage;  
D. Alésage;  
E. Lamage;  
F. Usinage  
de forme.

Fig 9. opération de tournage et outil correspondant

Il existe différents Matériaux utilisés pour la fabrication des outils de tournage :

#### *les aciers rapide supérieurs*

L'appellation acier rapide (AR), ou ARS pour « acier rapide supérieur », désigne les aciers outils ayant la capacité de conserver leur trempe à haute température. Ils sont notamment employés pour la découpe à haute vitesse (foret...), d'où le terme « rapide », que l'on retrouve dans la désignation en anglais : high speed steel, abrégé HSS.

Les aciers rapides sont généralement utilisés pour leurs propriétés de dureté élevées (> 60 HRC) et leur niveau de résilience acceptable (propriété d'un matériaux à résister à la propagation de fissures). Ils présentent en général une forte résistance à l'usure du fait de leur fort alliage et de la présence significative d'éléments producteurs de carbures durs tels que le tungstène et le vanadium.

#### *Les carbures*

Les carbures de coupe sont des mélanges pulvérulents de carbure de tungstène et de titane très durs agglomérés dans du cobalt. Cette dureté naturelle n'est presque pas réduite à chaud (70 HR à 800°) ce qui permet des vitesses de coupe très élevées : 4 fois celles des aciers rapides et 16 fois celles des aciers au carbone. Fragiles et d'un affûtage lent et difficile, ils permettent des travaux d'ébauche et de finition sur les aciers durs à des vitesses de coupe allant de 50 à 200 m/min.



Fig 10. Outil de tournage en HSS

#### *Outils à carbure brasé*

Ces outils ont un corps en acier ordinaire avec une plaquette carbure brasée directement dessus. Ils sont utilisés tant pour les travaux d'ébauche à grande vitesse de coupe que pour les travaux de finition, on peut les affûter en fonction de l'usinage recherché et l'état de surface désirée. Ce montage permet également de protéger la plaquette en carbure qui supporte mal les chocs et sa durée de vie peut en être un peu prolongée.



Fig 11. Outils à carbure brasé

#### *Outils à plaquettes carbures*

Les carbures sont des agglomérés de cobalt et de carbures divers fabriqués par frittage. Ils conservent leur dureté à températures extrêmes. Ils possèdent des vitesses de coupe élevées (jusqu'à 200 m/min). Comme pour les plaquettes brasées, l'usinage de matériaux très durs, les outils auront un angle de pente d'affûtage négatif. Le grand intérêt réside en la plaquette qui offre 3 ou 4 arêtes de coupe sur chacune des deux faces (cas le plus courant), de plus, la précision du système de fixation permet de tourner la plaquette sur son support sans refaire le réglage de celui-ci par rapport à la pièce à usiner.



*Fig 12. Outils à plaquettes carbures*

#### *Les céramiques*

Ce sont des composés d'oxyde d'alumine très durs agglomérés dans des oxydes de chrome comme liant, frittés à 1800°C. Concurrentes des carbures avec une dureté naturelle à chaud de 82 HR, sans formation de copeau sur l'outil, avec des vitesses de coupe très élevées (100 à 800 m/min), ils sont sensible aux chocs et aux vibrations. Les plaquettes de céramiques ne peuvent pas être brasées mais soigneusement ajustée et fixées mécaniquement sur le corps d'outil. Elles sont non affûtables, mais comme pour les carbures, elles présentent plusieurs arêtes de coupe à usage successif.



*Fig 13. Les céramiques*

#### *Les diamants industriels*

Les diamants industriels, sertis à l'extrémité d'une tige d'acier, peuvent être utilisés pour le travail du cuivre, du bronze, de l'aluminium à très grande vitesse de rotation et faible avance pour obtenir un aspect de surface proche du miroir.



Fig 14. Les diamants industriels

### 3.1.3. Les Mouvements

Durant le processus de tournage, la pièce à usiner effectue des rotations dans le tour. L'outil de coupe opère longitudinalement ou bien transversalement par rapport à la pièce à usiner.

Le travail de l'outil de coupe s'opère à une vitesse déterminée, c'est ce que l'on appelle la vitesse d'avance. Une certaine profondeur de coupe est de plus nécessaire pour le détachement des copeaux.

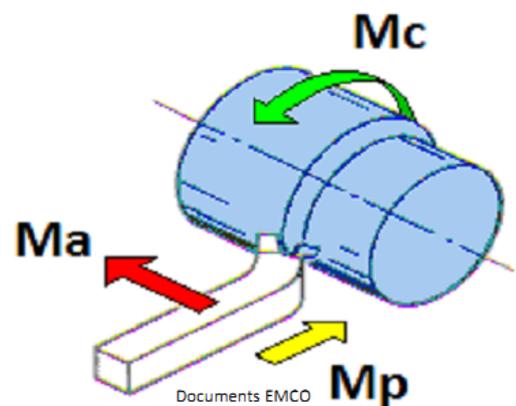


Fig 15. Les mouvements lors du tournage

Pour engendrer une surface de révolution sur un tour parallèle, il faut appliquer à la pièce et à l'outil deux mouvements conjugués:

- à la pièce : un mouvement circulaire continu rapide donné par sa rotation: il prend le nom de Mouvement de coupe et est désigné par  $M_c$ ,
- à l'outil : un mouvement généralement rectiligne uniforme lent généré par sa translation. Il prend le nom de mouvement d'avance et est désigné par  $M_a$  ou  $M_f$  .

#### *Mouvements pièce/outil*

Pour que l'outil produise une surface par enlèvement de copeau, un réglage de position est nécessaire.

Ce troisième mouvement est appelé mouvement de pénétration ou prise de passe et est désigné par  $M_p$ .

### 3.2. Régime de coupe

En tournage les paramètres de coupe sont les suivants:

- $p$  : profondeur de passe en mm.
- $VC$  : vitesse de coupe en m/min.
- $f_z$  : avance par dent en mm/tr/dent: Elle est égale à 1 en tournage.

$V_c$  et  $f_z$  sont déterminés à partir des abaques.

#### Définition : Vitesse de coupe

La vitesse de coupe, ou «  $VC$  », est le chemin circonférentiel (ou périmètre) parcouru par un point situé sur le diamètre extérieur de la pièce pendant une minute. On l'exprime en mètres par minute ou encore m/min.

C'est, en somme, la longueur du copeau en mètres pendant l'unité de temps : la minute.

Un point sur un diamètre «  $D$  » en mm, parcourant un tour effectue une distance de  $\pi \times D$  . en mm.

Si elle tourne à «  $N$  » en tr/min, en une minute nous aurons  $\pi \times D \times N =$  sa vitesse de coupe  $VC$ , en mm par min.

Pour avoir des m/min : il suffit de diviser par 1000.

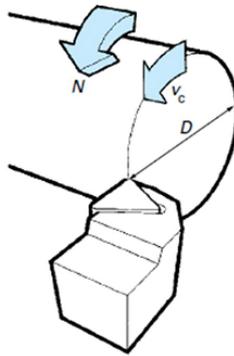


Fig 16. Les mouvements

En résumé, nous aurons  $VC = \pi \times D \times N / 1000$

La vitesse de coupe est fonction de plusieurs variables dont les principales sont :

1. la nature du métal constituant la pièce : aluminium, bronze, fonte, acier carbone, acier allié, etc. ;
2. la nature du métal constituant l'outil : HSS, carbure revêtu ou pas, etc. ;
3. la section du copeau (élément modifiable selon qu'il soit question d'un travail d'ébauche ou de finition) ;
4. et encore bien d'autres variables.

TOURNAGE (Attention : pour les gorges et le tronçonnage : prendre 50% des valeurs de tournage ci dessous)													
Matières	Rr MPa	Outil ARS						Outil Carbure					
		$\gamma$	Ebauche			Finition		$\gamma$	Ebauche			Finition	
			V60 m/min	a max mm	f mm/tr	V60 m/min	f mm/tr		V60 m/min	a max mm	f mm/tr	V60 m/min	f mm/tr
Acier S235	500	18°	30	2	0.1	45	>0.04	14°	150	2	0.2	250	>0.10
Acier INOX	500	14°	27	2	0.1	32	>0.04	6°	105	2	0.2	115	>0.10
Acier 35CD4	1100	10°	20	2	0.1	28	>0.04	0°	100	2	0.2	160	>0.10
PVC	60	15°	90	4	0.3	150	>0.10	8°	100	4	0.3	150	>0.20
Nylon PA6	80	15°	90	2	0.2	120	>0.05	5°	100	2	0.35	180	>0.12
Plexi PMMA	78	15°	75	2	0.2	90	>0.10	10°	100	2	0.25	150	>0.12
Laiton UZ30	400	10°	70	1	0.3	110	>0.02	20°	200	2	0.3	230	>0.10
BronzeUE12P	200	10°	32	2	0.2	43	>0.02	20°	90	2	0.3	120	>0.10
Dural AU4G	280	22°	200	2	0.3	250	>0.02	25°	400	3	0.4	500	>0.10

Tableau 1. Vitesse de coupe et avance

🔑 *Définition : Vitesse d'avance*

La vitesse d'avance  $V_f$  (mm/min) est la vitesse à laquelle la machine déplace l'outil par rapport au bâti.

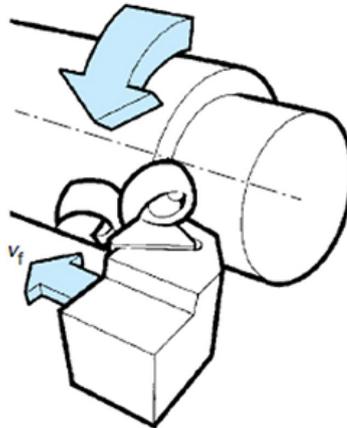


Fig vitesse d'avance

🔑 *Définition : Avance par tour*

L'avance par tour  $f$  (mm/tr) est la valeur du déplacement de l'outil, lorsque la pièce a effectué une révolution. C'est une donnée clé pour la qualité de la surface usinée.

L'avance influence non seulement sur l'épaisseur des copeaux, mais également sur la manière dont ils se brisent. La vitesse d'avance  $V_f$  est égale à:

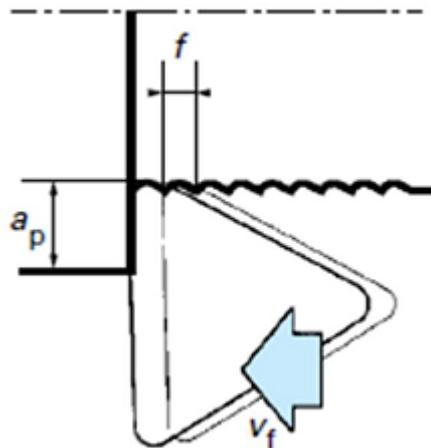


Fig 17. Avance et profondeur de coupe

#### 🔑 Définition : Profondeur de coupe

En chariotage, la profondeur de coupe  $a_p$ (mm) est la différence de rayon entre la surface non usinée et la surface usinée (c'est-à-dire la moitié de la différence entre le diamètre non usiné et le diamètre usiné). La profondeur de coupe est toujours mesurée perpendiculairement à la direction de l'avance et non pas suivant l'arête de l'outil.

## 4. Exercice

Le terme tournage caractérise tout usinage pour lequel :

- l'outil est animé d'un mouvement de coupe circulaire et la pièce d'un mouvement d'avance quelconque,
- l'outil est animé d'un mouvement d'avance quelconque et la pièce d'un mouvement de coupe circulaire,

## 5. Exercice : Régime de coupe

Soit le tournage d'une pièce avec un outil en ARS. L'usinage a lieu dans les conditions suivantes :

- Diamètre de la pièce : 20 mm
- Matière de la pièce : acier 35CD4

Question

Calculer la fréquence de rotation et l'avance nécessaire pour l'usinage de la pièce en utilisant :

1. la formule
2. le tableau( vitesse de coupe et avance)

# LE FRAISAGE

IV

## 1. Exercice : test des prérequis

c'est quoi le cylindre de révolution?

- C'est une surface engendrée par la révolution, autour d'un axe fixe, d'une droite parallèle à ce dernier.
- C'est le dessin assisté par ordinateur.

## 2. Présentation

### *Objectifs*

*l'apprenant sera capable de :*

- Connaître le procédé de fraisage ;
- Calculer le régime de coupe.

### *Définition : Le fraisage*

*C'est* est un procédé d'usinage permettant l'obtention de surfaces planes ainsi que d'autres surfaces telles que celles obtenues par révolution, gravure .

on trouve deux type de fraisage :

le fraisage de profil ou la surface à réaliser est parallèle à l'axe de la fraise, elle est réalisée par une génératrice de l'outil de coupe.

le fraisage en avalant ou en concordance ou on le définit s'il y a travail en concordance lorsque la projection de l'effort de l'outil sur la pièce sur la direction du mouvement d'avance est dans le même sens que ce dernier.

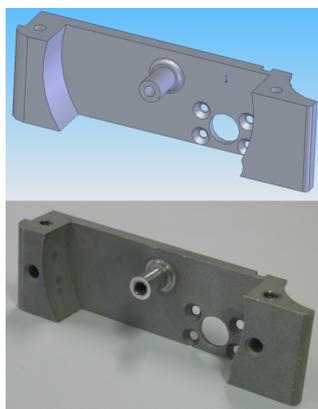


Fig 18. Exemple de pièce fraisé

## Exemple : Opérations de fraisage

Le fraisage permet d'obtenir des surfaces de tous type :

- Plane ;
- De révolution ;
- Formes libres (surfaces gauches) .

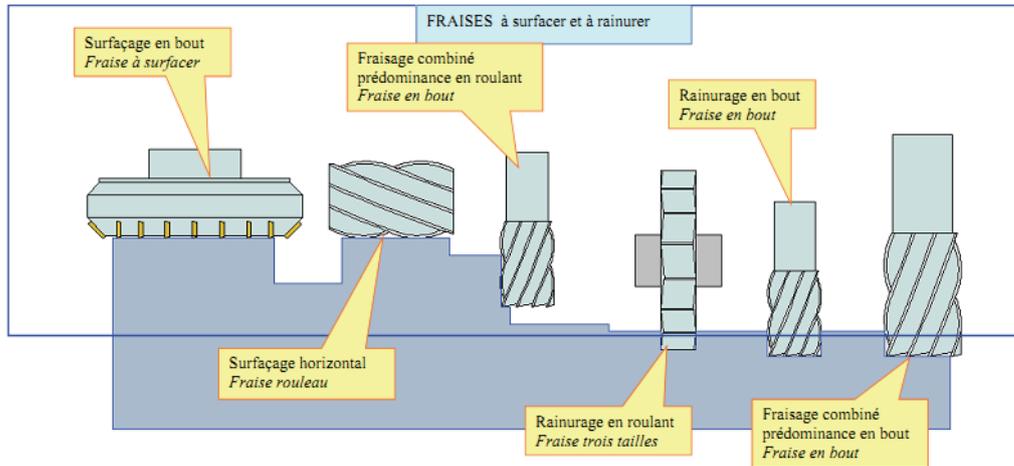


Fig 19. Quelques opérations de fraisage

## 3. Caractéristiques du fraisage

### Objectifs

L'apprenant sera capable de :

- Connaître le procédé de fraisage ;
- Calculer le régime de coupe.

### 3.1. Caractéristiques du fraisage

#### Objectifs

L'apprenant sera capable de :

- Connaître les caractéristiques du fraisage ;
- Calculer le régime de coupe en fraisage.

#### 3.1.1. La machine

##### Définition : La Fraiseuse

Une fraiseuse est une machine-outil utilisée pour usiner tous types de pièces mécaniques, à l'unité ou en série, par enlèvement de matière à partir de blocs de matière, à l'aide d'un outil coupant nommé *fraise*. En dehors de cet outil qui lui a donné son nom, une fraiseuse peut également être équipée de foret, de taraud ou d'alésoir.

La fraise munie de dents est mise en rotation et taille la matière grâce à sa rotation et au mouvement relatif de la fraise par rapport à la pièce. La forme de la fraise est variable ; elle peut être cylindrique, torique, conique, hémisphérique ou quelquefois de forme encore plus complexe. La fraise et la pièce sont montées sur des

glissières et peuvent se déplacer relativement suivant des coordonnées X Y ou Z (on parle alors de fraiseuse trois axes). Par convention, l'axe Z est l'axe de rotation de la broche, les axes X et Y sont contenus dans un plan perpendiculaire à Z.



Fig 20. Une fraiseuse

#### *Différents types de fraiseuse :*

Afin de répondre à tous les besoins de l'industrie (complexité des pièces, temps d'usinage, capacités), les tours ont évolué. Certains tours sont si complexes qu'ils peuvent être une alternative aux centres d'usinage. Voici les principaux types de fraiseuses :

#### *Fraiseuse horizontale*

La fraiseuse horizontale : l'axe de la broche est parallèle à la table. Cette solution permet aux copeaux de tomber et donc de ne pas rester sur la pièce. De cette manière, on n'usine pas les copeaux, et la qualité de la pièce est meilleure. Mais ce type de montage était surtout destiné à installer des fraises 3 tailles ou fraises disques dans le but de réaliser des rainurages de profilés plats.

#### *Fraiseuse verticale*

La fraiseuse verticale : l'axe de la broche est perpendiculaire à la table.

#### *Fraiseuse universelle*

La fraiseuse universelle : l'axe de la broche est réglable :

tête bi-rotative, avec 2 coulisses circulaires (perpendiculaires l'une par rapport à l'autre) ;

tête oblique, avec 2 coulisses circulaires (inclinaison à 45°) ;

tête articulée.

#### *les fraiseuses à commande numérique*

De nos jours, les machines à manivelles ont quasiment disparu, la commande numérique permet de faire bouger simultanément des axes qui étaient autrefois presque systématiquement fixes. Cela a entraîné une révision des classifications plus dépendantes des contraintes rencontrées au niveau des opérations d'usinage.

#### *Fraiseuse 3 axes*

Broche Verticale. L'axe Z est vertical.

Broche Horizontale. L'axe Z est horizontal.

Dans les 2 cas, la fraise est perpendiculaire à la table, c'est la table qui se trouve positionnée de façon différente.

Dans les cas de la broche horizontale, il y a une meilleure évacuation des copeaux et du liquide de lubrification qui, sinon, peut s'accumuler dans les parties creuses (communément appelées baignoires).

#### *Fraiseuse 4 axes*

C'est souvent une fraiseuse 3 axes broche horizontale, dotée d'un plateau tournant. C'est une configuration très pratique en production industrielle mécanique (automobile, aviation etc.)

#### *Fraiseuse 5 axes*

On peut trouver sous cette catégorie plusieurs topologies de construction.

Une fraiseuse 5 axes comporte toujours 3 axes linéaires (X, Y, Z) et 2 axes rotatifs à choisir parmi A, B et C.

Les machines vont se différencier par la position des axes rotatifs. Les 3 types sont :

2 axes sur tête (c'est la tête qui comporte les axes B et C). Les axes X, Y et Z étant sur la table ou sur la tête, ce détail de configuration n'étant pas déterminant. Configuration très répandue, elle permet d'usiner à peu près tous les types de pièces, mais peut souffrir de problèmes de puissance ou de rigidité. Le boum de l'UGV (Usinage à Grande Vitesse) a beaucoup contribué au développement de cette topologie ;

2 axes sur table ;

1 axe sur tête.

Broche d'une fraiseuse

La broche assure le mouvement de rotation à l'outil de coupe (fraise). La fraise doit être fixée sur la broche par l'intermédiaire d'une douille, d'un mandrin ou de sa partie conique (si la fraise possède un cône).

#### *Fraiseuse à reproduire*

Machine permettant l'usinage de surfaces complexes sans traçage préalable et sans outillages spéciaux. Les premières machines basées sur le système du pantographe demandant une habileté toute particulière de l'opérateur, sont remplacées par des commandes automatiques obéissant à des données numériques.



Fig 21. Différents types de fraiseuses

### 3.1.2. les outils

#### 🔑 Définition : Les Outils

Le tour (fig.1) est une machine d'outillage conçue pour le travail unitaire et la petite série. Il permet la réalisation de différentes surfaces nécessitant toujours une rotation de la pièce autour d'un axe de révolution.

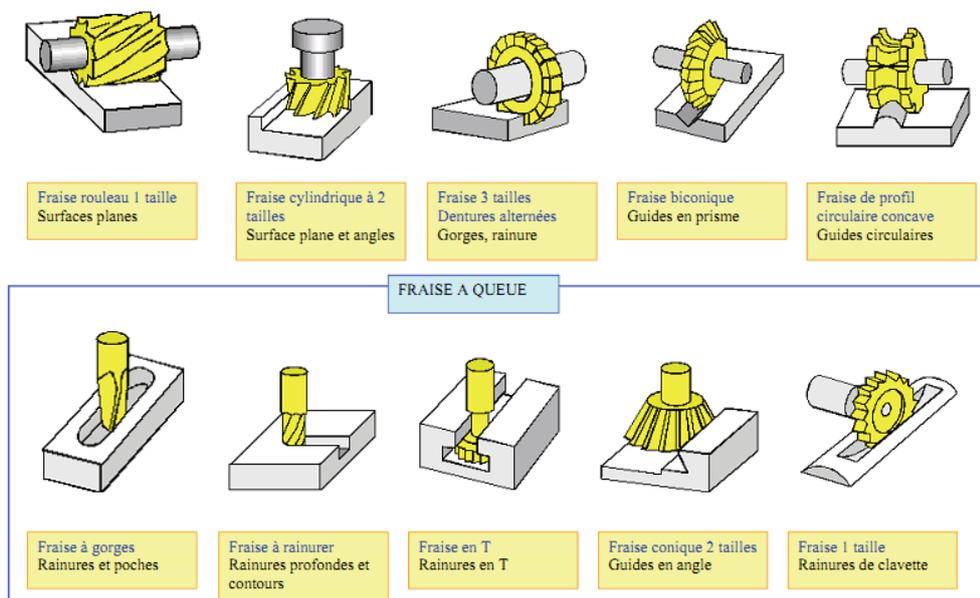


Fig 22. Les outils



Fig 23. Fraises carbure monobloc



Fig 24. Fraise avec pastilles amovibles

Les outils utilisés lors des opérations de fraisage (fig.1) sont multiples. on trouve pour chaque opération un outil spécifique surtout en ce qui concerne l'usinage des formes. Les outils de fraisage existent dans une grande variété de formes en fonction des conditions particulières des opérations effectuées.

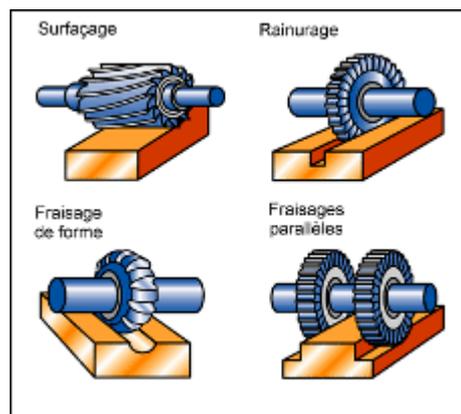


Fig 25. Opérations de fraisage

Il existe différents Matériaux utilisés pour la fabrication des outils de tournage :

#### les aciers rapide supérieurs

L'appellation acier rapide (AR), ou ARS pour « acier rapide supérieur », désigne les aciers outils ayant la capacité de conserver leur trempe à haute température. Ils sont notamment employés pour la découpe à haute vitesse (foret...), d'où le terme « rapide », que l'on retrouve dans la désignation en anglais : high speed steel, abrégé HSS.

Les aciers rapides sont généralement utilisés pour leurs propriétés de dureté élevées (> 60 HRC) et leur niveau de résilience acceptable (propriété d'un matériau à résister à la propagation de fissures). Ils présentent en général une forte résistance à l'usure du fait de leur fort alliage et de la présence significative d'éléments producteurs de carbures durs tels que le tungstène et le vanadium.

#### Les carbures

Les carbures de coupe sont des mélanges pulvérulents de carbure de tungstène et de titane très durs agglomérés dans du cobalt. Cette dureté naturelle n'est presque pas réduite à chaud (70 HR à 800°) ce qui permet des vitesses de coupe très élevées : 4 fois celles des aciers rapides et 16 fois celles des aciers au carbone. Fragiles et d'un affûtage lent et difficile (meule en carbure de silicium), ils permettent des travaux d'ébauche et de finition sur les fontes et aciers durs à des vitesses de coupe allant de 50 à 200 m/min.



*Fig 26. Fraise en acier rapide*

#### *Outils à plaquettes carbures*

Les carbures sont des agglomérés de cobalt et de carbures divers fabriqués par frittage. Ils conservent leur dureté à températures extrêmes. Outils de base pour le tournage traditionnel et numérique. Ils possèdent des vitesses de coupe élevées (jusqu'à 200 m/min). Comme pour les plaquettes brasées, l'usinage de matériaux très durs, les outils auront un angle de pente d'affûtage négatif. Le grand intérêt réside en la plaquette qui offre 3 ou 4 arêtes de coupe sur chacune des deux faces (cas le plus courant), de plus, la précision du système de fixation permet de tourner la plaquette sur son support sans refaire le réglage de celui-ci par rapport à la pièce à usiner (en phase d'ébauche).



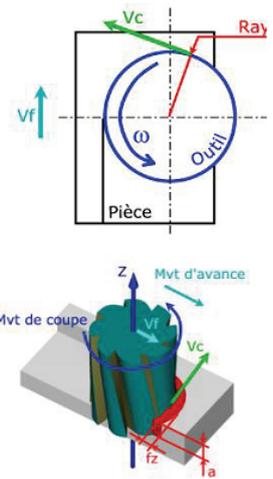


Fig 29. Les mouvements lors du fraisage

Le travail de l'outil de coupe s'opère à une vitesse déterminée, c'est ce que l'on appelle la vitesse d'avance. Une certaine profondeur de coupe est de plus nécessaire pour le détachement des copeaux.

Pour engendrer une surface de révolution sur un tour parallèle, il faut appliquer à la pièce et à l'outil deux mouvements conjugués:

- à la pièce : un mouvement circulaire continu rapide donné par sa rotation: il prend le nom de Mouvement de coupe et est désigné par  $M_c$ ,
- à l'outil : un mouvement généralement rectiligne uniforme lent généré par sa translation. Il prend le nom de mouvement d'avance et est désigné par  $M_a$  ou  $M_f$ .

#### *Mouvements pièce/outil*

Pour que l'outil produise une surface par enlèvement de copeau, un réglage de position est nécessaire.

Ce troisième mouvement est appelé mouvement de pénétration ou prise de passe et est désigné par  $M_p$ .

### 3.2. Régime de coupe

En fraisage les paramètres de coupe sont les suivants:

- $p$  : profondeur de passe en mm.
- $VC$  : vitesse de coupe en m/min.
- et  $f_z$  : avance par dent en mm/tr/dent: Elle varie suivant le diamètre de la fraise, le matériau de la pièce et de la fraise et l'opération de fraisage.

$V_c$  et  $f_z$  sont déterminés à partir des tableaux.

Quand les impératifs d'établissement des conditions de coupe ne sont pas respectés, on utilise des facteurs de correction des valeurs des avances et vitesses de coupe en fonction de la nature du travail effectué.

#### **Définition : VITESSE DE COUPE**

La vitesse de coupe ou «  $VC$  », est le chemin circonférenciel (ou périmètre) parcouru par un point extrême de l'arête tranchante d'une dent, c'est-à-dire par un point pris dans la région correspondant au plus grand diamètre de la fraise (voir feuille précédente).

On l'exprime en mètres par minute ou encore m/min.

C'est, en somme, la longueur du copeau en mètres pendant l'unité de temps : la minute.

Un point sur une fraise de diamètre « d » en mm parcourant un tour, effectue une distance de  $\pi \times D$ . en mm.

Si elle tourne à « N » en tr/min, en une minute nous aurons  $\pi \times D \times N =$  sa vitesse de coupe VC, en mm par min.

Pour avoir des m/min : il suffit de diviser par 1000

En résumé, nous aurons  $VC = \pi \times D \times N / 1000$

La vitesse de coupe est fonction de plusieurs variables dont les principales sont :

1. la nature du métal constituant la pièce : aluminium, bronze, fonte, acier carbone, acier allié, etc. ;
2. la nature du métal constituant l'outil : HSS, carbure revêtu ou pas, etc. ;
3. la section du copeau (élément modifiable selon qu'il soit question d'un travail d'ébauche ou de finition) ;
4. et encore bien d'autres variables.

FRAISAGE EN BOUT (surfaçage)													
Matières	Rr MPa	γ	Fraises ARS				Plaquettes Carbure						
			Ebauche			Finition		γ	Ebauche			Finition	
			V60 m/min	a max mm	fz mm/(tr.d)	V60 m/min	fz mm/(tr.d)		V60 m/min	a mm	fz mm/(tr.d)	V60 m/min	fz mm/(tr.d)
Acier S235	500	20°	29	2	0.11	40	>0.06	20°	100	2	0.2	120	>0.07
Acier INOX	500	20°	18	2	0.08	22	>0.05	15°	72	2	0.15	92	>0.07
Acier 35CD4	1100	12°	20	2	0.06	25	>0.04	12°	80	2	0.12	90	>0.07
PVC	60	20°	200	4	0.2	300	>0.50	20°	800	4	0.3	1000	>0.07
Nylon PA6	80	20°	100	2	0.15	200	>0.20	20°	400	2	0.35	500	>0.07
Plexi PMMA	78	0°	60	2	0.15	80	>0.20						
Laiton UZ30	400		72	1	0.09	95	>0.07		130	2	0.5	180	>0.16
BronzeUE12P	200		23	1	0.07	31	>0.06		60	2	0.2	82	>0.16
Dural AU4G	280	20°	150	1	0.07	190	>0.06	20°	500	3	0.1	800	>0.08

FRAISAGE EN ROULANT (rainurage, combiné...)													
Matières	Rr MPa	γ	Fraises A.R.S. (Ø >20)				Fraises A.R.S. (Ø < 20)						
			Ebauche			Finition		γ	Ebauche			Finition	
			V60 m/min	a max mm	fz mm/(tr.d)	V60 m/min	fz mm/(tr.d)		V60 m/min	a max mm	fz mm/(tr.d)	V60 m/min	fz mm/(tr.d)
Acier S235	500	20°	25	2	0.08	32	>0.05	20°	19	2	0.03	22	>0.03
Acier INOX	500	20°	24	2	0.06	28	>0.04	20°	16	2	0.03	18	>0.03
Acier 35CD4	1100	20°	18	2	0.04	24	>0.03	12°	16	2	0.03	20	>0.03
Laiton UZ30	400	10	72	2	0.16	90	>0.03		41	3	0.01	46	>0.01
BronzeUE12P	200	10	30	2	0.18	35	>0.03		18	3	0.01	22	>0.01
Dural AU4G	280	20°	240	2	0.07	270	>0.06	20°	95	5	0.05	105	>0.03

Tableau 2. Vitesse de coupe et d'avances en fraisage

### 🔑 Définition : VITESSE D'AVANCE

Considérons une fraise de Z dents, tournant à N tr/min.

Chaque tour de la fraise correspond au passage de Z dents en un point déterminé.

Chaque fois qu'une dent est remplacée par la suivante, la fraise a tourné d'une fraction de tour.

Pendant cette fraction de tour nécessaire pour qu'une dent vienne à la place de la précédente, la pièce s'est déplacée d'une longueur fZ que l'on appelle l'AVANCE PAR DENT.

En 1 tour, les Z dents sont passées et la pièce s'est déplacée de  $(fz \times Z)$  en mm/Tr

En 1 minute, la fraise a tourné de N tours et la pièce s'est déplacée de :  $Vf = fz \times z \times N$

Cette avance par dent a une valeur connue qui dépend de plusieurs facteurs :

1. La qualité de l'état de surface (un bon fini impose une faible avance) ;
2. La résistance ou la fragilité de la fraise (les fraises-scies, les petites fraises sont fragiles) ;
3. La solidité de la fixation de la pièce, compte tenu de sa forme et de ses dimensions.

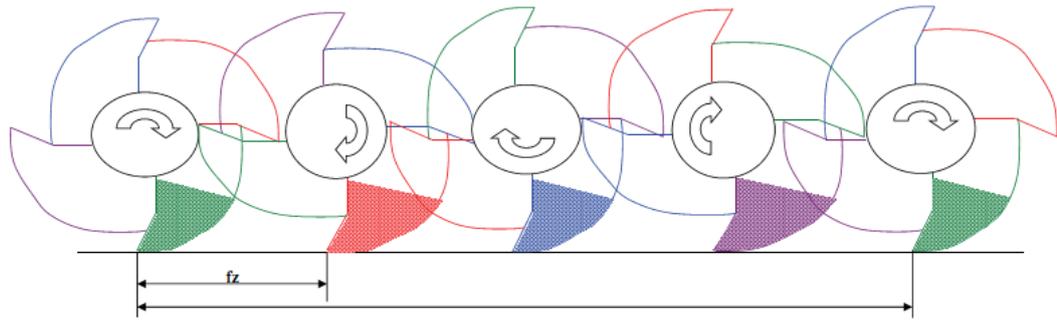


Fig 30. L'avance lors du fraisage

#### 4. Exercice

Le terme fraisage caractérise tout usinage pour lequel :

- l'outil est animé d'un mouvement de coupe circulaire et la pièce d'un mouvement d'avance quelconque.
- l'outil est animé d'un mouvement d'avance quelconque et la pièce d'un mouvement de coupe circulaire.

#### 5. Exercice : Régime de coupe en fraisage

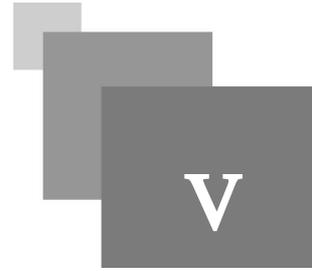
Soit le *fraisage* d'une pièce en *Au4G* en avec un outil en carbure. L'usinage a lieu dans les conditions suivantes :

- Usinage en ébauche
- Diamètre de la fraise : 16 mm
- Matière de la pièce : Dural Au4G
- Matière de l'outil : carbure

*Question*

Calculer la fréquence de rotation et l'avance nécessaire pour l'usinage de la pièce (formules et tableau des vitesses de coupe et d'avances)

# LE PERÇAGE



## 1. Exercice : test des prérequis

c'est quoi le cylindre de révolution?

- C'est une surface engendrée par la révolution, autour d'un axe fixe, d'une droite parallèle à ce dernier.
- C'est le dessin assisté par ordinateur.

## 2. Présentation

### *Objectifs*

*l'apprenant sera capable de :*

- Connaître le procédé de perçage ;
- Calculer le régime de coupe.

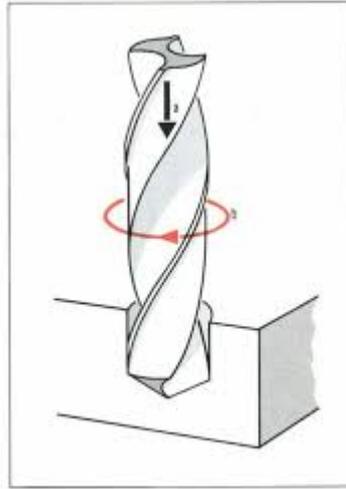
### *Définition : Le perçage*

---

*Le perçage* est un usinage consistant à faire un trou dans une pièce. Ce trou peut traverser la pièce de part en part ou bien ne pas déboucher. On parle alors de trou borgne\*.

Ce trou peut être effectué par un foret sur une perceuse, une mèche sur un vilebrequin, la découpe entre un poinçon et une matrice, laser, électro-érosion, ultrasons, etc.

Ce trou peut servir à faire passer une pièce (un arbre, un tube), un fluide, ou peut encore être taraudé pour recevoir une vis.



Mouvements d'avance (a), de coupe (b)  
dans le perçage sur une perceuse.

Fig 31. opération de perçage

### 3. Caractéristiques du perçage

#### Objectifs

*l'apprenant sera capable de :*

- Connaître le procédé de perçage ;
- Calculer le régime de coupe.

#### 3.1. Caractéristiques du perçage

#### Objectifs

*l'apprenant sera capable de :*

- Connaître les caractéristiques du perçage ;
- Calculer le régime de coupe en perçage.

##### 3.1.1. La machine

#### 🔑 Définition : La Perceuse

*La Perceuse* ou foreuse est un outil qui sert à percer ou tarauder des trous dans différents matériaux à l'aide de forets. Les perceuses modernes sont l'aboutissement de plusieurs siècles de technologie. Les vilebrequins sont apparus dans les ateliers de menuisiers et chez les charpentiers vers le XVe siècle. Les perceuses manuelle à engrenage datent du XIXe siècle, et c'est vers la fin du XIXe siècle que sont apparues les premières perceuses électriques.

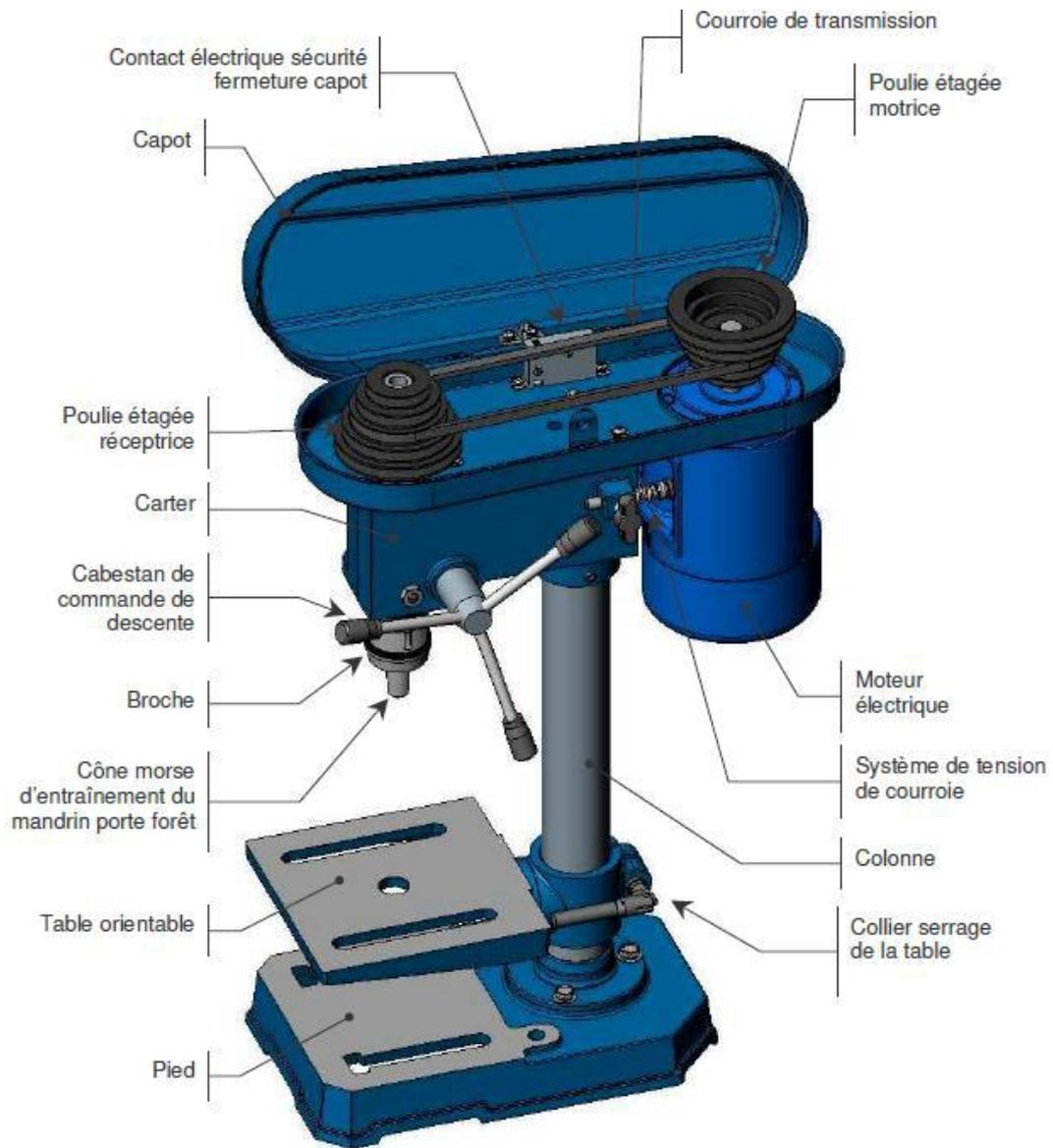


Fig 32. Composition d'une perceuse



Fig 3. Une perceuse

*Différents types de Perceuse :*

Afin de répondre à tous les besoins de l'industrie (complexité des pièces, temps d'usinage, capacités), les tours ont évolué. Certains tours sont si complexes qu'ils peuvent être une alternative aux centres d'usinage. Voici les principaux types de tours :

*Perceuse à percussion :* Une perceuse à percussion est équipée d'un mandrin dit « classique » qu'il soit à clé ou auto-serrant, sa fonction première de perceuse est accompagnée d'une fonction percussion afin de percer des matériaux dur tel que la brique ou le béton. Néanmoins pour des matériaux encore plus durs ou une utilisation plus intense il vaut mieux privilégier l'utilisation d'un perforateur.



Fig 34. Perceuse à percussion

*Perceuses à colonne :*

Une perceuse à colonne est une machine-outil d'atelier fixée sur un bâti, un établi ou au sol. Elle permet des perçages verticaux précis et importants (diamètres pouvant aller jusqu'à 30 millimètres dans l'acier ordinaire).

Le moteur électrique, de quelques centaines de watts, fait tourner une broche par l'intermédiaire d'une boîte de vitesses (souvent à courroies). Un mandrin ordinaire ou des forets à queue conique (cône Mors) peuvent être fixés à l'extrémité de cette broche qui peut coulisser verticalement lorsque l'opérateur manœuvre un volant, un levier ou par le moteur. La pièce à percer est maintenue fermement dans un étau fixé lui-même sur la table. La pièce peut être clamée directement sur la petite table ou sur le socle grâce aux glissières ou aux boutonnières.

La petite table coulisse et pivote le long de la colonne supportant le moteur. Par le pivotement de la petite table on permet de libérer l'espace pour fixer de grandes pièces sur le socle. Elle peut également tourner sur elle-même ce qui permet de forer une série de trous tracés sur une circonférence.

Une latte graduée est fixée sur la broche ce qui permet de mesurer la profondeur du trou surtout si celui-ci est borgne. La latte permet également de mesurer la profondeur d'un fraisage, d'un chambrage, d'un lamage. Des butées peuvent être fixées sur la latte ce qui permet de réaliser des opérations identiques. Dans le cas où la descente se fait par l'intermédiaire d'un moteur la vitesse de descente est plus petite que celles de remontée.

La vitesse de la broche dépend du diamètre, de la nature des outils de coupe et de la nature de la lubrification et de la nature de la matière à travailler. Certaines perceuses possèdent un circuit fermé de lubrification mû par une pompe.



*Fig 35. Perceuse à colonne*

#### *Perceuse radiale :*

C'est une machine-outil semblable à une perceuse à colonne mais dont la broche est montée sur un chariot coulissant le long d'un bras pouvant pivoter avec la colonne comme axe.

Elle peut être munie d'une tête ou d'une table inclinable permettant de percer selon des axes non verticaux.

Sur ce type de machine peuvent être réalisés également des lamages et des alésages. Pour les nombreuses opérations nécessitant une grande précision des trous se trouvant dans des positions plus variées on lui préfère l'aléuseuse ou l'aléuseuse-fraiseuse.



Fig 36. Perceuse radiale

*Perceuse à socle magnétique :*

C'est une machine-outil composée d'un corps de perceuse traditionnelle montée par l'intermédiaire d'un axe verticale sur une embase magnétique (un électroaimant) qui permet de fixer cette dernière sur les pièces que l'on doit percer. Elle s'utilise principalement en charpente métallique. Cette perceuse peut travailler avec des forets traditionnels équipée d'un adaptateur et d'un mandrin. Mais elle est prévue d'origine pour fonctionner avec des fraises (type trépan). Cette perceuse doit toujours être utilisée avec une chaîne de sécurité afin d'éviter les chutes en cas de coupure de courant.



Fig 36. Perceuse à socle magnétique

*Perceuse pneumatique*

Perceuse utilisant l'air comprimé comme énergie. Elles sont souvent utilisées dans les garages de réparation automobile. Elles nécessitent d'être reliées à un réservoir d'air comprimé par l'intermédiaire d'un tuyau.

3.1.2. Les Outils

 *Définition : Les Outils*

Les outils de perçage comportent tous une machine tournante (le plus souvent un moteur, mais parfois une manivelle pour le perçage à main, voire anciennement une corde enroulée autour de l'axe pour les scies à arc), un dispositif de couplage (mandrin), et un outil d'enlèvement de matière, le tout pouvant être libre (outil

portatif) ou affixé a un bâti avec des accessoires (par exemple sur une perceuse à colonne, ou sur un tour). Le plus souvent, la pièce à percer est fixé et l'outil mobile, mais il peut arriver que l'on fixe le foret et fasse tourner la pièce, pour des perçages concentriques au tour par exemple.

### *Définition : Matériaux des forets*

---

Il existe différentes Matériaux utilisé pour la fabrication des outils de tournage :

#### *les aciers rapide supérieurs*

L'appellation acier rapide (AR), ou ARS pour « acier rapide supérieur », désigne les aciers outils ayant la capacité de conserver leur trempe à haute température. Ils sont notamment employés pour la découpe à haute vitesse (foret...), d'où le terme « rapide », que l'on retrouve dans la désignation en anglais : high speed steel, abrégé HSS.

Les aciers rapides sont généralement utilisés pour leurs propriétés de dureté élevées (> 60 HRC) et leur niveau de résilience acceptable (propriété d'un matériaux à résister à la propagation de fissures). Ils présentent en général une forte résistance à l'usure du fait de leur fort alliage et de la présence significative d'éléments producteurs de carbures durs tels que le tungstène et le vanadium.

#### *Les carbures*

Les carbures de coupe sont des mélanges pulvérulents de carbure de tungstène et de titane très durs agglomérés dans du cobalt. Cette dureté naturelle n'est presque pas réduite à chaud (70 HR à 800°) ce qui permet des vitesses de coupe très élevées : 4 fois celles des aciers rapides et 16 fois celles des aciers au carbone. Fragiles et d'un affûtage lent et difficile (meule en carbure de silicium), ils permettent des travaux d'ébauche et de finition sur les fontes et aciers durs à des vitesses de coupe allant de 50 à 200 m/min.



*Fig 37. Les forets en carbure*



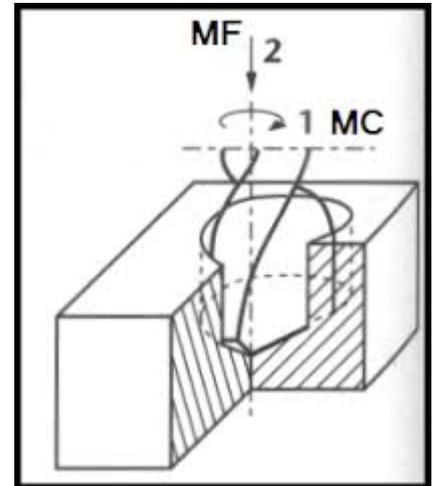
*Fig 38. Les forets en HSS*

### 3.1.3. Les Mouvements

Durant le processus de perçage, la pièce à usiner est immobilisée avec un système de fixation. L'outil de coupe est animé d'un mouvement de rotation et de déplacement par rapport à la pièce à usiner.

Le travail de l'outil de coupe s'opère à une vitesse déterminée, c'est ce que l'on appelle la vitesse d'avance.

Une certaine profondeur de coupe est de plus nécessaire pour le détachement des copeaux.



Le travail de l'outil de coupe s'opère à une vitesse déterminée, c'est ce que l'on appelle la vitesse d'avance. Une certaine profondeur de coupe est de plus nécessaire pour le détachement des copeaux.

Fig 39. Les Mouvements

Pour engendrer une surface de révolution sur un tour parallèle, il faut appliquer à la pièce et à l'outil deux mouvements conjugués:

- à la pièce : un mouvement circulaire continu rapide donné par sa rotation: il prend le nom de Mouvement de coupe et est désigné par  $M_c$ ,
- à l'outil : un mouvement généralement rectiligne uniforme lent généré par sa translation. Il prend le nom de mouvement d'avance et est désigné par  $M_a$  ou  $M_f$ .

#### *Mouvements pièce/outil*

Pour que l'outil produise une surface par enlèvement de copeau, un réglage de position est nécessaire.

Ce troisième mouvement est appelé mouvement de pénétration ou prise de passe et est désigné par  $M_p$ .

### 3.2. Régime de coupe

En fraisage les paramètres de coupe sont les suivants:

- $p$  : profondeur de passe en mm.
- $VC$  : vitesse de coupe en m/min.
- et  $f_z$  : avance par dent en mm/tr/dent: Elle varie suivant le diamètre de la fraise, le matériau de la pièce et de la fraise et l'opération de fraisage.

$V_c$  et  $f_z$  sont déterminés à partir des tableaux.

Quand les impératifs d'établissement des conditions de coupe ne sont pas respectés, on utilise des facteurs de correction des valeurs des avances et vitesses de coupe en fonction de la nature du travail effectué.

### *Définition : VITESSE DE COUPE*

La vitesse de coupe ou « VC », est le chemin circonférenciel (ou périmètre) parcouru par un point extrême de l'arête tranchante d'une dent, c'est-à-dire par un point pris dans la région correspondant au plus grand diamètre du foret.

On l'exprime en mètres par minute ou encore m/min.

C'est, en somme, la longueur du copeau en mètres pendant l'unité de temps : la minute.

Un point sur un foret de diamètre « d » en mm parcourant un tour, effectue une distance de  $\pi \times D$ . en mm.

Si elle tourne à « N » en tr/min, en une minute nous aurons  $\pi \times D \times N$  = sa vitesse de coupe VC, en mm par min.

Pour avoir des m/min : il suffit de diviser par 1000

En résumé, nous aurons  $VC = \pi \times D \times N / 1000$

La vitesse de coupe est fonction de plusieurs variables dont les principales sont :

1. la nature du métal constituant la pièce : aluminium, bronze, fonte, acier carbone, acier allié, etc. ;
2. la nature du métal constituant l'outil : HSS, carbure revêtu ou pas, etc. ;
3. la section du copeau (élément modifiable selon qu'il soit question d'un travail d'ébauche ou de finition) ;
4. et encore bien d'autres variables.

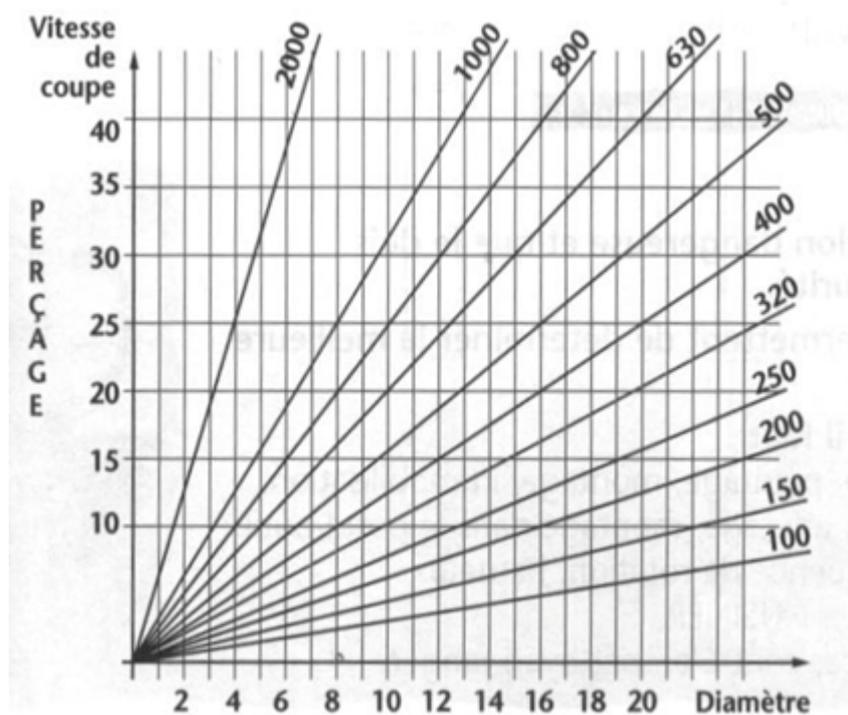


Tableau 3. vitesse de coupe en perçage

### *Définition : VITESSE D'AVANCE*

Choix de l'avance : (en mm/tr)

L'avance en perçage est fonction du diamètre du foret

- Foret hélicoïdal :

$$f \text{ perçage} = 0.01 \times \Phi \text{ foret}$$

- Foret à plaquette carbures :

$$f \text{ perçage} = 0.02 \times \Phi \text{ foret}$$

### Définition : Profondeur de perçage

Profondeur de perçage entre débouillage ou brise copeaux :

- Diamètre foret <14 mm :

$$P = \Phi \text{ foret}$$

- Diamètre foret >14 mm :

$$P = 0.5 \times \Phi \text{ foret}$$

## 4. Exercice : Régime de coupe en perçage

Calculer la vitesse de rotation (N) pour percer une pièce.

- Faire les calculs pour les différents matériaux.
- faire les calculs pour les différents diamètre des forêt.

<i>Diamètre du foret (mm)</i>	<i>Matière</i>	<i>Vitesse de coupe (mm/min)</i>	<i>Calcul</i>	<i>Résultat (Tour / minute)</i>
<b>Ø5</b>	<b>INOX</b>			
<b>Ø8</b>	<b>CUIVRE</b>			
<b>Ø10</b>	<b>ACIER</b>			
<b>Ø15</b>	<b>INOX</b>			

# LES PROCÉDÉS NON CONVENTIONNELLES

VI

## 1. Présentation

*Objectifs*

*l'apprenant sera capable de :*

- Connaître les procédés non conventionnelles .

## 2. L'ELECTRO-EROSION

*L'électro-érosion*, appelée également micro-usinage ou encore EDM (Electrical Discharge Machining), est un procédé de micro-usinage de haute précision. On parle également d'usinage par étincelage. Cette technique permet d'enlever de la matière sur une pièce, en utilisant des décharges électriques. Pour y parvenir, le dispositif consiste à recréer le phénomène de la foudre qui frappe le sol. Seules les pièces élaborées à partir de matériaux conducteurs de l'électricité (métaux, alliages, carbures, graphites, etc.), peuvent être usinées de cette façon\* .

Il existe trois techniques différentes d'usinage par électro-érosion :

- l'électro-érosion par enfonçage (qui consiste à enfoncer dans la pièce à usiner une électrode de forme complémentaire) ;
- l'électro-érosion par fil (qui utilise un fil conducteur animé d'un mouvement plan et angulaire pour découper la pièce) ;
- le perçage rapide qui permet d'usiner des matériaux très durs.



Fig 40. Exemples de réalisation

### Procédé

Pour usiner par électro-érosion, quatre éléments sont nécessaires :

- une électrode,
- une pièce,
- un diélectrique (liquide isolant électrique),
- de l'électricité.

Le procédé d'usinage consiste à faire passer un courant dans un diélectrique, afin de générer une « bulle » de vapeur ou de vide qui s'ionise et se résorbe en implosant, entraînant la destruction de la matière. Cette destruction (micro-implosion) provoque l'étincelle. Le courant de forte intensité ionise un canal à travers le diélectrique. Une décharge disruptive se produit alors, de l'électrode vers la pièce à usiner, détériorant celle-ci très localement (quelque  $\mu\text{m}^2$ ). Le diélectrique refroidit alors les particules détériorées, qui tombent dans le bac de la machine sous forme d'une boue (micro particules de matière et diélectrique).

Les vitesses d'usinage ne sont pas très élevées (entre 0,2 et 10 mm/min), mais la précision en est tout à fait l'opposé. Sur une machine bien entretenue, on peut aisément atteindre plus ou moins  $5 \mu\text{m}$  sur la cote désirée.

De l'eau ou une huile diélectrique spéciale est utilisée dans le bac où la pièce usinée est immergée. Elle est continuellement filtrée. Dans le cas de l'eau, elle est aussi dé-ionisée par une résine.

Le procédé est recommandé dans les usinages de matériaux très durs (mais impérativement conducteurs), des aciers trempés, ou encore dans les cas où la complexité de la pièce l'exige.

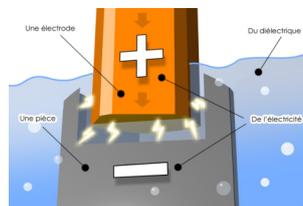


Fig 41. Principe de l'électro-érosion

### Types d'usinage

Il existe trois types d'usinage par électro-érosion :

- l'électro-érosion par enfonçage, dans laquelle une électrode de forme complémentaire à la forme à usiner s'enfonce dans la pièce ;

- l'électro-érosion par fil, où un fil conducteur animé d'un mouvement plan et angulaire découpe une pièce suivant une surface réglée ;
- le perçage rapide, qui utilise une électrode tubulaire pour percer les matériaux très durs.

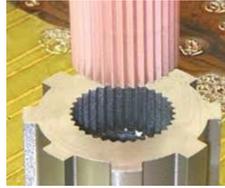


Fig 42. Electrode pour l'opération de l'enfonçage

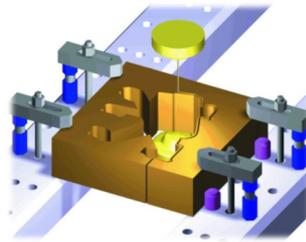


Fig 43. Fil en tungstène

#### Applications

- Usinage des métaux durs ou trempés: carbures
- Usinage de pièces délicates préalablement traitées, évite les déformations, suppression des efforts de bridage (la pièce n'étant jamais en contact avec l'outil)
- Obtention de formes quelconques
- Extraction d'outils cassés (forets, tarauds)
- Usinage de formes spéciales (trous de section carrée, triangulaire, en hélice, gravures complexes).

#### Avantages

- Très bonne précision et bon état de surface (identique à la rectification).
- Possibilité de percer des trous très fins.
- Présence d'une couche dite couche blanche en général dure dans laquelle les caractéristiques du matériau de base sont modifiées (risque de micro-fissures, départs d'amorces de rupture pour les pièces soumises à des sollicitations de fatigue).
- Pas d'actions mécaniques entre la pièce et l'outil donc pas de bridage nécessaire.

#### Inconvénients

- Enlèvement de matière lent.
- Consommation électrique élevée.
- Érosion rapide de l'électrode (même en cuivre).

Les deux figures montres deux types de machines destinés pour l'électro-érosion par enfonçage (A) et l'autre par fil (B).



A

B

Fig 44. Les machines d'électro-érosion par enfonçage et l'autre par fil.

### 3. LA FABRICATION ADDITIVE

*La fabrication additive* désigne les procédés de fabrications par ajout de matière, la plupart du temps assistés par ordinateur. Elle est définie par l'ASTM comme étant le procédé de mise en forme d'une pièce par ajout de matière, par empilement de couches successives, en opposition aux procédés par retrait de matière, tel que l'usinage<sup>1</sup>. Le terme est synonyme de Impression tridimensionnelle ou impression 3D qui sont des appellations grand public. Fabrication additive est une terminologie utilisée dans le monde industriel.



Fig 45. Exemple de pièce obtenue par fabrication additive

#### *Applications*

La fabrication additive décrit les technologies qui peuvent être utilisées n'importe où dans le cycle de vie d'un produit depuis la pré-production (prototypage rapide) à la production à grande échelle et même pour les applications d'outillage.

La fabrication additive est économiquement appropriée à la production de très petits composants en grandes quantités ou à la production à façon de pièces avec une grande complexité géométrique.

#### *Mise en forme*

Trois entrées sont nécessaires pour la fabrication additive : les matériaux, l'énergie et le modèle CAO. La matière de base peut être surtout sous forme de liquide, de poudre, de ruban ou de fil. Cette matière peut être présente dès le début du processus de fabrication ou déposée au fur et à mesure de ce processus.

La mise en forme de la matière se fait grâce à un laser, un faisceau d'électrons, une lumière visible, des rayons UV ou IR ou grâce à une source de chaleur.

Le processus de mise en forme peut être :

- physique :

une fusion suivie par une solidification,

- un frittage ;

chimique (surtout photochimique) : polymérisation (surtout par photo-polymérisation) ou réticulation (surtout par photo-réticulation).



Fig 46. Exemple des pièces obtenue par fabrication additive



Fig 47. Exemple de pièce obtenue par impression 3D

#### Avantages

Fabrication sans frais fixes car ne nécessitant pas d'outillages,

Possibilité de faire de la customisation de masse,

Délais de fabrications courts,

Fabrication de formes très complexes.

#### Limites

Fabrication limitée à une gamme étroite de matériaux,

Matériau présentant des défauts après impression (en particulier pour les alliages de métaux)<sup>10</sup>,

Coût de la matière et des machines très élevé,

Mise en œuvre difficile (du fait de problématiques HSE).

la figure suivante montre une machine destinée à l'impression 3D des polymères.



*Fig 48. Imprimante 3D*

la figure suivante montre une machine destinée au frittage laser des poudres métalliques.



*Fig 49. Machine Frittage Sélectif Laser (SLS)*

# LES MESURES DE SÉCURITÉS

VII

## 1. Présentation

### *Objectifs*

*l'apprenant sera capable de :*

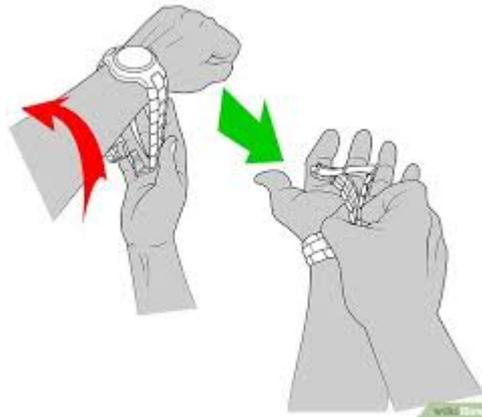
- Connaître les risques industrielles ;
- Connaître les mesures de sécurité.

### *Conseil*

---

AVANT TOUT ENLEVEZ BRACELETS, MONTRES, BAGUES

Ce sont des pièges!.....



*Fig 50. Mesures de sécurité 1*

NE JAMAIS UTILISEZ LES TÉLÉPHONES PORTABLES DURANT LE TRAVAIL



*Fig 51. L'utilisation du téléphone portable*

NE MAINTENEZ JAMAIS LES PIÈCES A LA MAIN

Bloquez-les soigneusement

Les tôles minces sont les plus dangereuses :

-leur faible épaisseur les rend coupantes

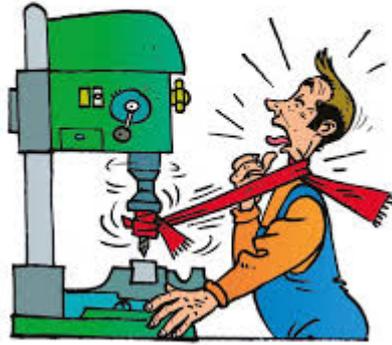
-le foret a tendance à plonger en débouchant

-les trous déportés augmentent le risque car la pièce décrit un grand cercle

Les doigts, les poignets et les avant-bras sont particulièrement exposés.



*Fig 52. Mesures de sécurité 2*



*Fig 53. Mesures de sécurité 3*

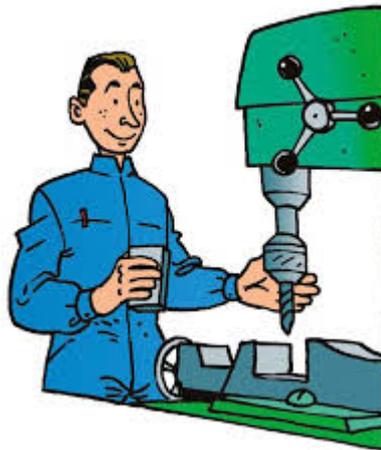
NE JAMAIS ENLEVER LES COPEAUX A LA MAIN

TOUT CE QUI PEND EST DANGEREUX

Portez des vêtements ajustés

Fermez vos blouses

Attachez vos cheveux



*Fig 54. Mesures de sécurité 4*

Il faut ronger les outils dans des endroits désignés pour cela.



*Fig 55. Rangement mobile*



