



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA

RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Abbes LAGHROUR Khenchela

Faculté des Sciences et Technologie

Département de Génie Mécanique

# Support de Cours Technologie de Base.

## Destiné aux étudiants L2

**Génie Mécanique**

**Génie Civil**

**Travaux Publiques**

**Rédigé par :**

**Dr. Chitour Mourad**

Ce support de cours, destiné aux étudiants de la 2<sup>ème</sup> année Génie Mécanique, Génie Civil et Travaux Publiques, a pour objectifs :

- D'apporter des connaissances pluridisciplinaires utilisant les différents types de matériaux ; les métaux et leurs alliages, les céramiques, les polymères et les composites.
- De permettre à l'étudiant de se familiariser avec les différents procédés de mise en forme sans enlèvement de la matière des matériaux utilisés dans des domaines industriels de pointe.
- De Donner un aperçu des procédés de mise en forme sans enlèvement de la matière dans le domaine industriel, afin d'organiser les choix de procédés et des paramètres de fabrication
- Acquérir des connaissances sur les techniques d'assemblages des pièces mécaniques

# Table des matières

Chapitre I.....	5
-Matériaux-	
I.1. Définition.....	6
I.1.1. Matériau : .....	6
I.1.2. Métal pur : .....	6
I.1.3. Alliages .....	6
I.1.4. Structure des métaux et alliages .....	7
I.2. Alliages des Métaux .....	7
I.2.1. Les alliages ferreux et leurs désignations.....	8
I.2.1.1. Les aciers .....	9
CLASSIFICATION DES ACIERS : .....	9
a- Groupe 1 : aciers désignés à partir de leur emploi et de leurs caractéristiques mécaniques et physiques.....	9
b- Groupe 2 : aciers désignés à partir de leurs compositions chimiques.....	9
I.2.1.2. La fonte.....	11
1- Fontes grises à graphite lamellaire (FGL) .....	11
2- Fonte à graphite sphéroïdal (FGS) .....	12
3- Fontes malléables.....	12
I.2.2. Métaux et alliage non ferreux .....	13
I.2.2.1. Aluminium et alliage d'aluminium.....	13
I.2.2.2. Le cuivre et ses alliages : .....	15
I.3. Matière plastique .....	16
<b>I.3.1. Les thermoplastiques</b> .....	16
<b>I.3.1. Les thermodurcissables</b> .....	16
I.4. Matériaux composite.....	18
I.4.1..Définition d'un matériau composite .....	18
I.4.2. Constituent des matériaux composites.....	19
I.4.2.1. Les renforts.....	19
I.4.2.2.les Matrices .....	19
I.4.2.3.Charges – additifs.....	20
<u>chapitre .III.- Principaux procédés de mise en forme sans enlèvement de matière - .....</u>	<u>22</u>
II.1 Principaux procédés de mise en forme des matériaux métalliques .....	23
II.2. Procédés d'obtention des pièces sans enlèvement de matière.....	24
II.2.1. Moulage .....	24

II.2.1.1. Moulage non permanent (moulage au sable) .....	25
II.2.1.2. Moulage permanents .....	26
II.2.2. Le forgeage .....	29
II.2.3. Emboutissage .....	30
II.2.4. Estampage-matriçage II.2.4.1. Définitions : .....	31
II.2.5. Le Laminage .....	32
II.2.6. Le tréfilage : .....	33
II.2.7. Pliage .....	34
II.2.8. Découpage .....	36
II.2.8.2. Poinçonnage .....	36
II.2.9. Cintrage(Roulage) .....	38
II.2.10. Le filage .....	38
II.2.11. Thermoformage .....	39
II.2.12. Métallurgie des poudres .....	40
Chapitre .III.....	41
Principaux procédés de mise en forme par enlèvement de matière	
III.1. Introduction .....	42
III.2. Tournage .....	43
III.2.1. les Machines .....	45
III.2.2. les outils .....	45
III.2.3. Les Mouvements .....	46
III.3. Fraisage .....	46
III.3.1. La machine .....	47
III.3.2. Les principales opérations de fraisage .....	48
III.4 Le perçage .....	48
III.5. Rectification .....	49
III.5.1. La rectifieuse, une machine-outil de finition .....	50
Chapitre. IV. ....	51
Techniques d'Assemblage	
IV.1. Introduction .....	52
IV.2. Types d'assemblages .....	52
IV.2.1. Assemblage complet ou partiel : .....	52
IV.2.2. Assemblage démontable ou non démontable : .....	52
IV.2.3. Assemblage élastique ou rigide : .....	53
IV.2.4. Assemblage par obstacle ou par adhérence : .....	53
IV.2.5. Assemblage direct ou indirect : .....	53
IV.3. Exemples d'assemblages .....	53

IV.3.1. Soudage .....	53
IV.3.1.2. Le procédé de soudage .....	54
IV.3.2. Rivetage .....	56
IV.3.3. Vissage et Boulonnage .....	56
IV.3.4. Le clavetage .....	57

# Chapitre .I.

## -Matériaux-

## I.1. Définition

### I.1.1. Matériau :

Un matériau désigne toute matière utilisée pour réaliser un objet au sens large. Ce dernier est souvent une pièce d'un sous-ensemble. C'est donc une matière de base sélectionnée en raison de propriétés particulières et mise en œuvre en vue d'un usage spécifique. La nature chimique, la forme physique (phases en présence, granulométrie et forme des particules, par exemple), l'état de surface des différentes matières premières, leur confèrent des propriétés particulières. On distingue ainsi quatre grandes familles de matériaux.

Les matériaux peuvent être classés selon leur structure atomique. Donc, on peut distinguer :

- a. Les matériaux métalliques** : matériaux durs, rigides et déformables plastiquement. (fer, acier, aluminium, cuivre, bronze, fonte...).
- b. Les matériaux organiques ou polymères organiques** : sont des matériaux d'origine animale, végétale ou synthétique (bois, coton, laine, papier, matière plastique, caoutchouc, cuir...).
- c. Les matériaux minéraux ou céramiques** : sont des matériaux inorganiques caractérisés par leur résistance mécanique et thermique (roches, des céramiques ou des verres, pierre naturelle, plâtre...).
- d. Les matériaux composites** : Ce sont des assemblages d'au moins deux des trois types de matériaux non miscibles.

### I.1.2. Métal pur :

Un métal pur est un métal exempt de toute impureté, c'est-à-dire, contenant une pureté de 100% d'une seule espèce. Cela n'existe pas mais il peut atteindre une pureté de 99,9% pour le nickel, 99,99% pour le cuivre et 99,998% pour l'aluminium.

### I.1.3. Alliages

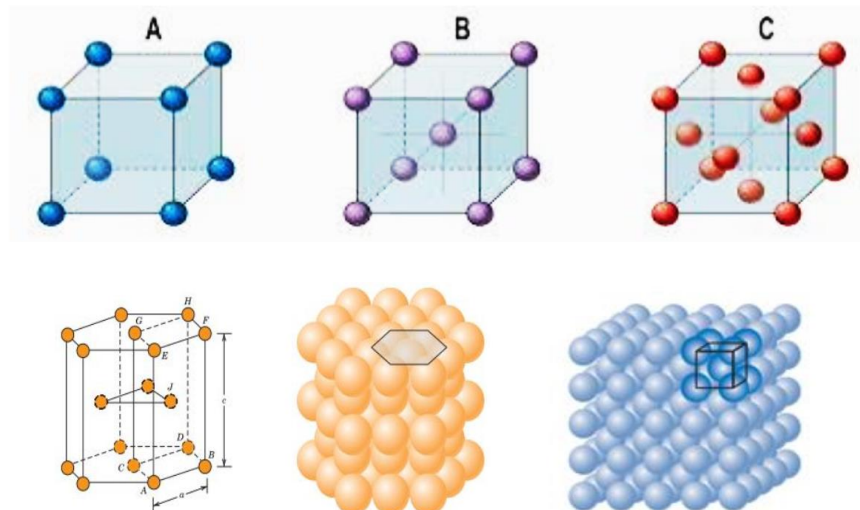
Un alliage est un métal pur dans lequel on a introduit volontairement un ou plusieurs éléments d'addition. Il peut être binaire, ternaire ou quaternaire selon qu'il renferme deux, trois ou quatre éléments d'addition.

### I.1.4. Structure des métaux et alliages

L'observation des métaux et alliages montre que ceux-ci ont une organisation interne appelée structure.

Les métaux ont une structure cristalline. Les plus fréquentes de ces structures cristallines sont celles cubique centrée (cc), cubiques à faces centrées (cfc) et hexagonale compacte (hc).

Les métaux qu'utilisent les ingénieurs sont rarement des corps purs ou des mélanges parfaitement homogènes ; se sont souvent des corps qui comportent plusieurs phases distinctes aux propriétés différentes. Les propriétés des matériaux dépendent du type des phases en présence et de leur répartition, autrement dit, de la microstructure des matériaux.



**Figure.1** Les structures cristallines : (a) Cubique centrée (cc), (b) Cubique à faces centrées (cfc) et (c) Hexagonale compacte (hc).

### I.2. Alliages des Métaux

Un alliage métallique est constitué d'un métal de base auquel on ajoute des atomes d'un autre métal en vue d'accroître ses caractéristiques mécaniques (résistance en général).

En général, pour que deux éléments A et B puissent être entièrement miscibles à l'état solide, les atomes de A et B doivent être semblables de par leur taille, leur valence, leur électronégativité et leur structure cristalline à l'état solide.

### I.2.1. Les alliages ferreux et leurs désignations

On appelle alliage ferreux tout alliage constitué essentiellement de Fer (Fe) et de Carbone (C).

On distingue deux domaines d'alliages ferreux. L'acier et la fonte, de par leurs propriétés mécaniques et de la grande disponibilité des minerais et leurs coûts, se sont imposés comme les alliages les plus utilisés, ils ne sont toutefois pas les plus performants selon les applications.

- a- **Le métal de base : le fer** C'est le métal de base le moins cher. Il est facilement recyclable et se trouve dans le sol sous l'état de minerai.
- b- **Les éléments d'addition** : L'objectif est de modifier les caractéristiques d'un alliage fer carbone. Ces modifications dépendent des éléments ajoutés et de leur pourcentage.

	trempeabilité	dureté	ductilité	résilience	soudabilité	forgeabilité	usinabilité	magnétisme
<b>chrome</b>	xx	xx	0	x	0		0	x
<b>cobalt</b>	0	x		x			x	xx
<b>manganèse</b>	xxx	xx	x	x	x	x		
<b>molybdène</b>	xxx	xx	x	x	x	x		
<b>nickel</b>	xx	x	x	x		x	0	0
<b>phosphore</b>	x	x	0				x	
<b>silicium</b>	xx	x	0		0		0	0
<b>titane</b>	xx	x	x	x		x		x
<b>tungstène</b>	xxx	x	x	x				x
<b>vanadium</b>	xxx	x	x	x	x	x		

xxx très favorable  
 xx assez favorable  
 x favorable  
 0 négative

Les éléments d'addition

#### NB :

- L'aluminium augmente légèrement la trempe,
- Le chrome est l'élément qui augmente le plus la résistance à la corrosion et à l'oxydation,
- Le plomb améliore l'usinabilité,
- Le soufre est considéré comme impureté.
- Nickel, la résistance aux chocs et à la corrosion (fort %)
- Chrome, la résistance à l'usure et à la corrosion
- Tungstène, la résistance à l'usure et à la chaleur

### I.2.1.1. Les aciers

L'acier est un alliage de fer et de carbone ( $\% C < 2$ ), il a une microstructure qui correspond toujours aux équilibres du diagramme Fe-Fe<sub>3</sub>C. Il existe une grande variété d'aciers qui dépendent de l'usage que l'on veut en faire. On trouve ainsi, les aciers inoxydables, les aciers durs, les aciers souples.

#### CLASSIFICATION DES ACIERS :

##### a- Groupe 1 : aciers désignés à partir de leur emploi et de leurs caractéristiques mécaniques et physiques

###### – □ **Aciers de construction**

Le symbole **S** qui correspond à un usage général de base (construction de bâtiment...) suivi de Re (limite élastique exprimée en méga-pascal (MPa)).

###### Désignation :

**S235** (est un acier non-allié pour construction de bâtiment de limite élastique 235 MPa)

Le type **E** qui est utilisé dans la construction mécanique suivi de Re.

###### Désignation

**E295** (est un acier non-allié pour construction mécanique de limite élastique 295 MPa)

Les désignations précédées par la lettre G lorsque l'acier est spécifié sous forme d'une pièce moulée: GS 235, GE 295

##### b- Groupe 2 : aciers désignés à partir de leurs compositions chimiques

###### - Sous-groupe 2.1 :

###### - **Aciers non alliés :**

Les aciers non alliés, constitués uniquement de fer et de carbone.

*Spéciaux* : pour traitement thermique, malléables, soudables, forgeables, ...

Le symbole C+% carbone × 100. Exemple : **C 35** (acier avec 0.35% de carbone)

Les désignations sont précédées de la lettre G lorsque l'acier est spécifié sous forme d'une pièce moulée **GC 35**

###### - Sous-groupe 2.2 :

###### - **Aciers faiblement alliés :**

En dehors de la variation du pourcentage de carbone, on peut modifier les caractéristiques mécaniques et aptitudes technologiques des aciers par addition

d'autres métaux. Aucun élément d'addition ne doit dépasser 5 % en masse, ils sont utilisés pour des applications nécessitant une haute résistance.

Désignation

- Un nombre égal à 100 fois la teneur en carbone,
- Les symboles chimiques des éléments d'addition dans l'ordre des teneurs décroissantes,
- les teneurs des principaux éléments d'addition multipliés par 4, 10, 100 ou 1000 (voir tableau)
- éventuellement, des indications supplémentaires concernant la soudabilité (S), l'aptitude au moulage (M), ou à la déformation à froid (DF).

Elément	Symbole chimique	Symbole métallurgique	Facteur multiplicateur
Aluminium	Al	A	10
Azote	N	N	100
Bore	B	B	1000
Chrome	Cr	C	4
Cobalt	Co	K	4
Cuivre	Cu	U	10
Magnésium	Mg	G	10
Manganèse	Mn	M	4
Molybdène	Mo	D	10
Nickel	Ni	N	4
Phosphore	P	P	100
Plomb	Pb	Pb	10
Silicium	Si	S	4
Soufre	S	F	100
Titane	Ti	T	10
Tungstène	W	W	4
Vanadium	V	V	10

Tab2. Symboles de désignation des éléments d'ajout des aciers faiblement alliés

Exemple :

**35NiCrMo16 :**

Acier contient 0,35 % de carbone, 4 % de nickel, du chrome et molybdène en plus faible teneur. Cet acier présente une bonne tenue aux chocs ainsi qu'une haute résistance mécanique jusque 600°C.

**35 Cr Mo 4S**

Acier avec 0.35% de Carbone, 1% de chrome, moins de 1% de Molybdène. Cet acier est soudable).

- **Sous-groupe 2.3 :**

- **Aciers fortement alliés**

- Parmi ces aciers, nous avons les aciers inoxydables dont le chrome est l'élément d'addition essentiel. On utilise ce type d'acier en visserie, pour les ressorts, pour les arbres de pompes, les soupapes, ...etc.

Un acier est considéré comme fortement allié si au moins un des éléments d'addition a une teneur supérieure à 5%.

**Désignation :** La désignation est composée de la façon suivante :

- La lettre X.
- Un nombre égal à 100 fois la teneur en carbone.
- les symboles chimiques des éléments d'addition dans l'ordre des teneurs décroissantes.
- Dans le même ordre, les teneurs des principaux éléments.

**Exemples :**

**X6 Cr Ni Mo Ti 17-12**

X = Acier fortement allié ;            0,06 % de Carbone

17 % de Chrome ;                      12 % de Nickel

Molybdène et Titane (moins de 1%)

### **I.2.1.2. La fonte**

La fonte est un alliage de fer et de carbone (plus de 2%) est un alliage de fer riche de 2,1 à 6,67 % de carbone. Ce métal est obtenu à partir de matières premières naturelles qui sont le minerai de fer.

Les pièces mécaniques en fonte sont obtenues par coulée du métal liquide dans des moules en sable siliceux suivie généralement par usinage partiel, blocs moteurs, tambours de freins, bâtis de machines-outils, volants moteurs, vilebrequins, contrepoids, etc

## **A - CLASSIFICATION DES FONTES**

### **1- Fontes grises à graphite lamellaire (FGL)**

Ces alliages sont connus sous le nom de fontes ordinaires car ce sont les plus anciennes

utilisées en construction mécanique. Leur structure comprend essentiellement du graphite

en lamelles. Leurs caractéristiques sont les suivantes :

- La résistance à la traction ne dépasse jamais 400 Mpa mais elles ont un meilleur comportement en compression, donc en flexion ;
- Leur dureté est modérée (200-280 HB) ;
- Elles sont très facilement usinables et résistent particulièrement bien à l'usure ;
- Elles amortissent bien les vibrations ;
- Elles résistent bien aux corrosions courantes et à la chaleur ;

En revanche, elles cassent sans déformation plastique apparente, (considérer comme **fragiles**).

## 2- Fonte à graphite sphéroïdal (FGS)

Dites aussi parfois fontes ductiles, sont obtenues par un **traitement spécifique du métal**

**liquide** qui provoque au moment de la solidification un graphite non pas en lamelle mais

sous forme de particules quasi sphériques (10 à 100 µm de diamètre).

## 3- Fontes malléables

Par un recuit approprié, on peut industriellement décomposer les carbures primaires

d'une fonte blanche suivant la réaction :  $Fe_3C \rightarrow 3Fe + C$  (graphite).

Ici le graphite précipite, alors que la matrice, à l'état solide est sous forme de particules

non sphériques. Parmi ce type de fonte, il existe les fontes malléables à « cœur noir », les fontes à « cœur blanc »

## B- DESIGNATION RATIONNELLE D'UNE FONTE

Dans les relations industrielles et commerciales, il convient évidemment d'utiliser, en

priorité, quand elles existent, les définitions et classifications normalisées.

La norme **NF EN 1560** précise la désignation des différentes familles de fontes. Cette désignation symbolique est constituée des indications suivantes :

- **Indication n°1** : les lettres **EN** précisent qu'il s'agit d'une nuance normalisée.
- **Indication n°2** : les lettres **G** (produit moulé) et **J** (fonte) ;
- **Indication n°3** : une lettre précisant, si nécessaire, la structure du graphite selon les correspondances suivantes :

**L = lamellaire,      S = sphéroïdal,      M = malléable**

### Indication n°5 :

**a. Si elles sont classées selon leurs propriétés mécaniques :**

- La résistance à la traction en Mpa, l'allongement en %, la résilience. On peut préciser

le style d'échantillonnage par une des lettres S (coulée séparément), V (essai attendant),

ou C (prélevé sur pièce) ;

**Exemple :**

**EN GJS-400-18S.**

**b. Si elles sont classées selon leurs compositions chimiques, la lettre X est suivie des**

principaux éléments d'alliage et de leurs teneurs en  $\mu$ .

**Exemple :**

**EN GJL-XNi Mn 13-7**

Désignation courante	Fontes grises (ou à graphite lamellaire)	Fontes malléables	Fontes à graphite sphéroïdal
Symbole commun	EN - GJL (préfixe)	EN - GJM (préfixe)	EN - GJS (préfixe)
Caractéristiques mécaniques	Suivi de la valeur de la résistance minimale à la rupture par extension $R_{min}$ ( en Mpa )	Suivi de $R_{min}$ ( en Mpa ) et allongement A ( en % )	Suivi de $R_{min}$ ( en Mpa ) et allongement A ( en % )
Un exemple	EN-GJL-250	EN-GJM-450-7	EN-GJS-700-2
Emplois, principales propriétés	Bâtis - Carters - Robinetteries Eléments de radiateurs - Blocs moteurs - Turbines de pompage. * Bonne moulabilité * Très bonne usinabilité.	Construction mécanique (pièces complexes) - Tubulures - Leviers Moyeux - Quincaillerie bâtiment * Caract. Mécaniques élevées * Bonne résistance à l'usure	Vannes - Vérins - Vilebrequins Arbres à cames - Roues dentées Regards d'égouts - Bâtis * Grande résilience (chocs) * Bonnes qualités frottantes

**Tab.3.** Classification et Désignation des fontes

## I.2.2. Métaux et alliage non ferreux

### I.2.2.1. Aluminium et alliage d'aluminium

L'aluminium est un métal gris blanchâtre ou argenté. C'est un élément chimique, de symbole **Al** et de numéro atomique 13.  $T_f = 660 \text{ }^\circ\text{C}$ .

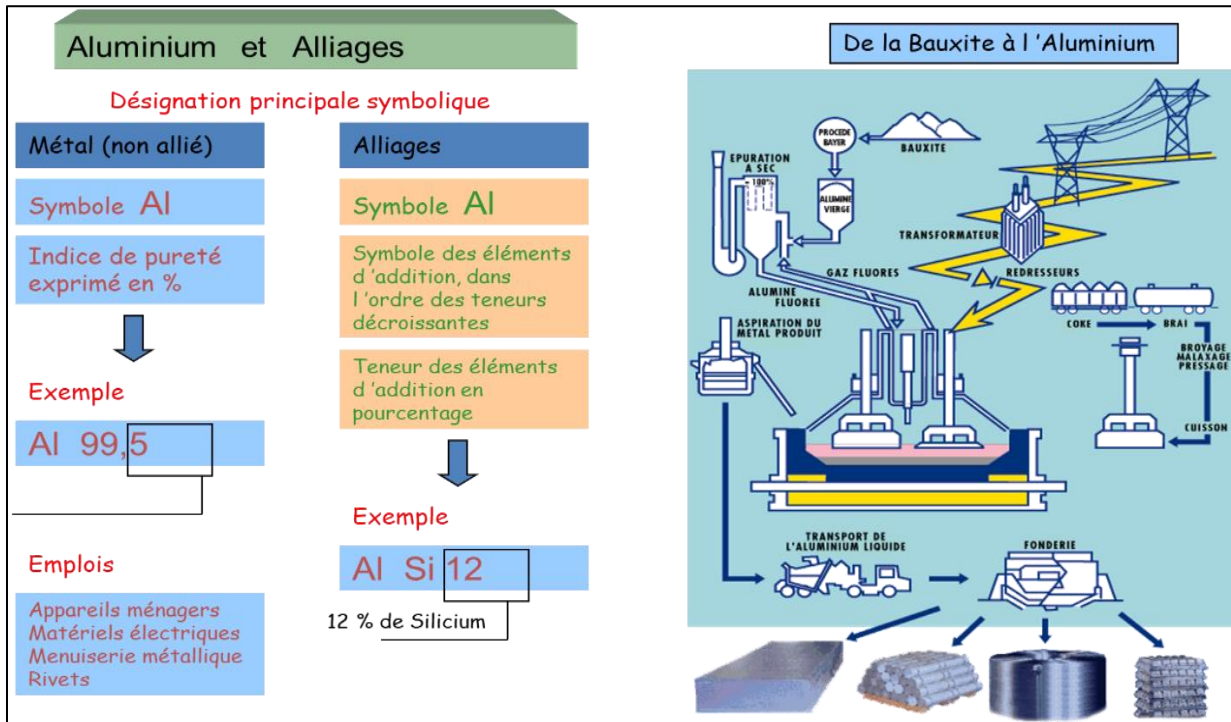
Il est particulièrement apprécié pour certaines de ses caractéristiques :

- sa faible masse spécifique :  $2,7 \text{ kg/dm}^3$ , donc il est très léger.
- sa faible résistivité électrique :  $0,0265 \mu\Omega \cdot \text{m}$  à  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  ;
- sa forte conductivité thermique :  $237 \text{ W/ (m} \cdot \text{K)}$  ;
- sa bonne résistance à certaines corrosions et notamment à la corrosion atmosphérique.

- Caractéristiques mécaniques à 20 °C (Al pur) :  $R_m = 70$  à  $80$  MPa,  $R_e = 10$  à  $20$  MPa

(Très sensible à l'érouissage)  $A \% = 50$  à  $60$  %,  $E = 70\ 000$  MPa.

**Désignation des alliages d'aluminium** La Désignation principale des alliages d'aluminium est la suivants :



**Figure.2.** Désignation des alliages d'aluminium

**Quelques alliages d'Aluminium courants**

**Désignation symbolique**

Aluminium + Cuivre	Aluminium + Silicium	Aluminium + Zinc	Aluminium + Magnésium
<b>Duralumin</b>	<b>Alpax</b>		<b>Duralinox</b>
Al - Cu 4 Mg	Al - Si 13	Al - Zn 5 Mg Cu	Al - Mg 3
4 % de Cuivre Magnésium < à 1 %	13 % de Silicium	5 % de Zinc Magnésium < à 1 % Cuivre < à 1 %	3 % de Magnésium
<b>Domaines d'emploi</b>			
Mécanique (automobile, aéronautique) - Cycles - robinetterie Moulages complexes - Appareils ménagers - Boulonnerie - Rivets			Menuiserie métallique Appareils ménagers Carrosserie Décoration Chaudronnerie

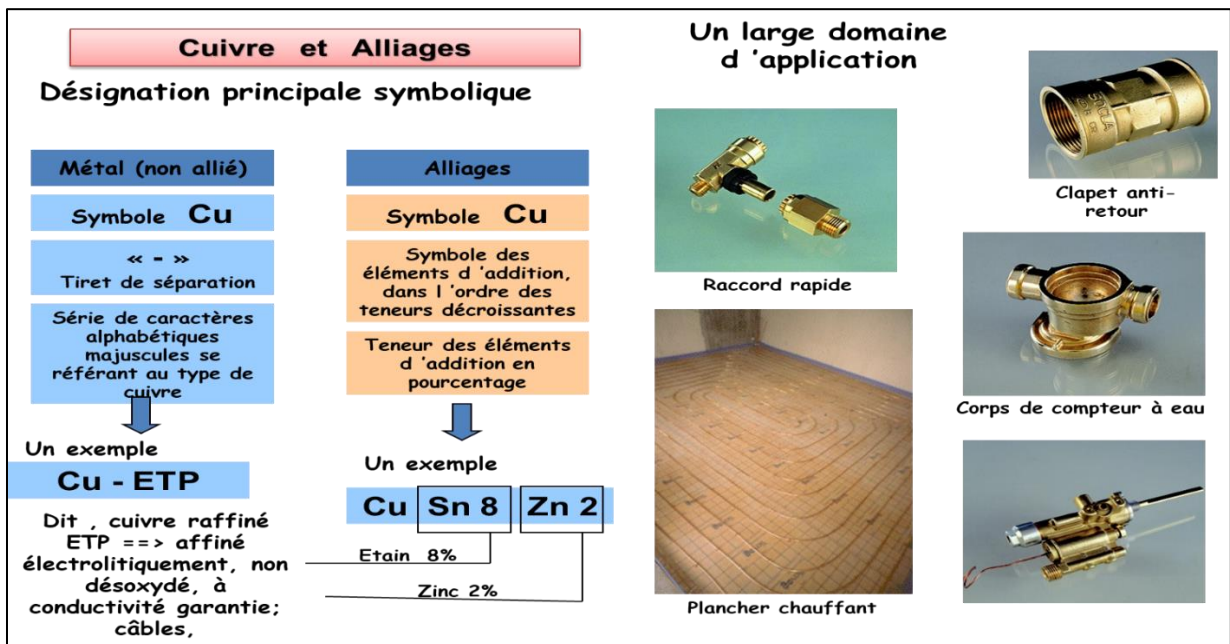
**Tableau.3.** Quelques alliages d'Aluminium courants

### I.2.2.2. Le cuivre et ses alliages :

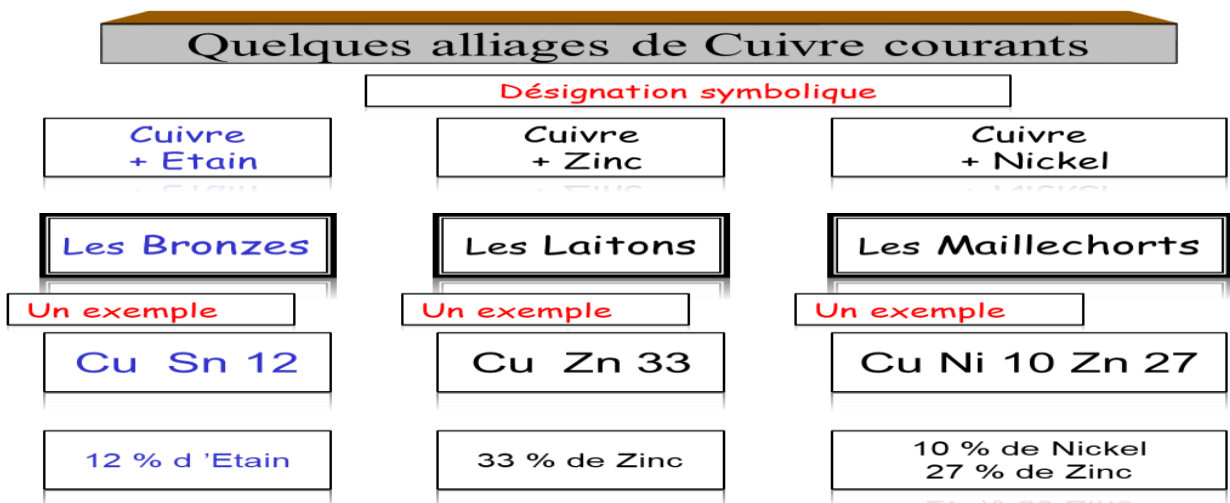
Le cuivre est un métal de couleur rouge orangé. Avec l'or, le cuivre pur est le seul métal coloré, sa température de fusion (1084 °C). C'est un élément chimique de symbole Cu et de numéro atomique 29. Sa densité envers 8,93 g/cm<sup>3</sup>. C'est un métal ductile possédant une conductivité électrique et thermique très élevées, il est très pur est très résistant à la corrosion.

Il est particulièrement apprécié pour certaines de ses caractéristiques :

- sa faible résistivité électrique : 0,017  $\mu\Omega \cdot m$  à 20 °C ;
- sa bonne conductivité thermique : 400 W / (m · K) ;
- sa bonne résistance à certaines corrosions.



**Figure.3.** Désignation des alliages d'aluminium



**Figure.4.** Quelques alliages de Cuivre courants

### 1.3. Matière plastique

Un « plastique » est un mélange dont le constituant de base est une résine [ ou polymère ], associée à des adjuvants ( stabilisants, anti-oxydants, ...)et des additifs ( colorants,... )

Les matières plastiques couvrent une gamme très étendue de matériaux polymères synthétiques ou artificiels. On peut observer aujourd'hui sur un même matériau des propriétés qui n'avaient jamais auparavant été réunies, par exemple la transparence et la résistance aux chocs.

Généralement, les polymères industriels ne sont pas utilisés à l'état « pur », mais mélangés à des substances miscibles ou non dans la matrice polymère.

#### Classifications des polymères (Matière plastique)

En général, les polymères formés à partir de chaînes linéaires non réticulées et flexibles sont souples (à certaines températures) tandis que les polymères très réticulés, formant un réseau tridimensionnel sont plus rigides. Les premiers donnent lieu à des polymères thermoplastiques, les seconds à des polymères thermodurcissables. A ces deux familles s'ajoute celle particulière des élastomères.

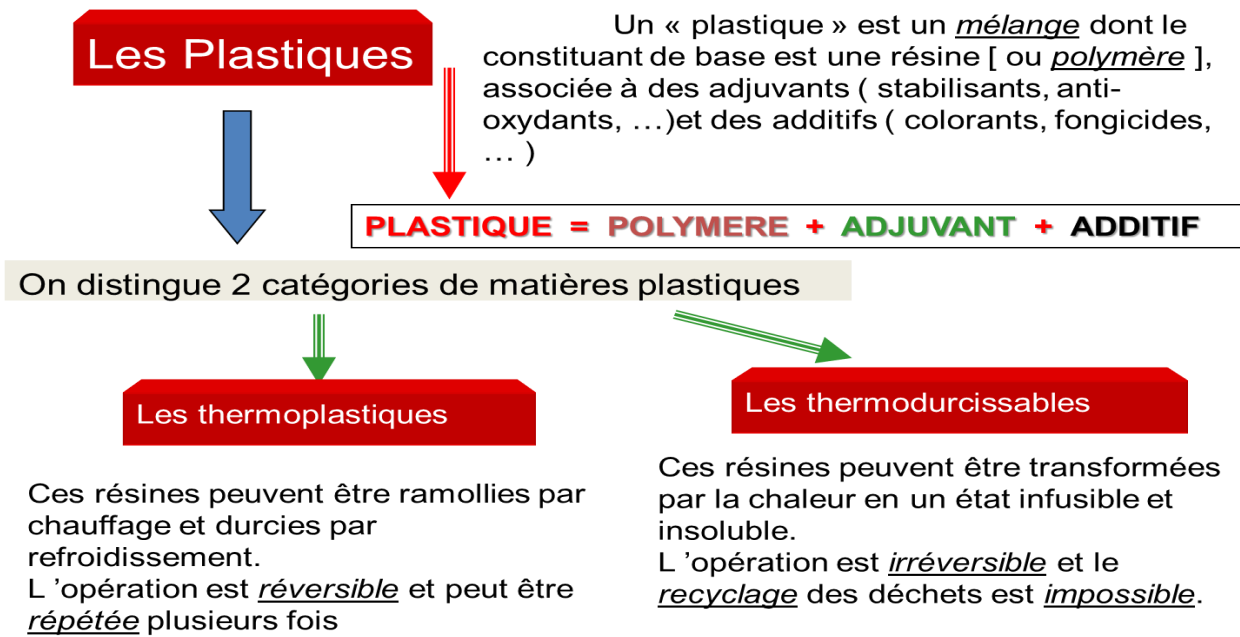
##### **I.3.1. Les thermoplastiques**

Très nombreux, ils sont les plus utilisés. Ils sont des polymères linéaires ou ramifiés. Ils ramollissent à la chaleur. Ils peuvent être refondus et remis en œuvre plusieurs fois. Cette matière conserve de façon réversible sa thermoplasticité initiale. Les thermoplastiques sont plus faciles à fabriquer et permettent des formes plus complexes que les thermodurcissables  
**Exemples :** Polyéthylène (PE), polypropylène (PP), polystyrène (PS), polychlorure de vinyle (PVC) ...

##### **I.3.1. Les thermodurcissables**

Ils commencent par se ramollir sous l'action de la chaleur. Les molécules sont réticulées pendant le durcissement pour atteindre un état solide qu'elle conservera sous forme irréversible.

**Exemple :** Epoxyde (sa résistance à la traction est de 27.6-90MPa et son allongement à la rupture est entre 3-6%)



**Figure.5.** Matières plastiques (Polymères)

<b>Quelques matériaux « Thermodurcissables »</b>				
Désignation commerciale	<b>Bakélite</b>	<b>Araldite</b>	<b>Cégémix</b>	<b>Formica</b>
Désignation chimique	<b>Phénoplaste</b>	<b>Polyépoxyde</b>	<b>Polyester</b>	<b>Aminoplaste</b>
Symbole	<b>PF</b>	<b>EP</b>	<b>UP</b>	<b>MF</b>
Emplois, avantages, inconvénients.	Profilés, Tuyauteries, Vernis de bobinage. * dureté de surface * non alimentaire	Colles, Enduits, app. électriques. * Se dissout dans les cétones, les esters. * se coule à chaud	Carrosseries, coques, cuves. * Inflammable, * rigide, * moulage à froid	Panneaux décoratifs

## Quelques matériaux « Thermoplastiques »

Désignation commerciale	Lucarex Afcodur	Lustrex Lacqrène	Plexiglas Altuglass	Nylon Rilsan	Téflon
Désignation chimique	Polychlorure de vinyle	Polystyrène	Polyméthacrylate de méthyle	Polyamide	Polytétrafluoréthylène
Symbole	PVC	PS	PMMA	PA	PTFE
Emplois, avantages, inconvénients.	<p>PVC U (rigide): tubes, tuyaux * non alimentaire</p> <p>PVC P (souple): Pales de ventilo, canalisations, flacons.</p>	<p>PS choc: carters, cuves de réfrigérateurs. * fragile, * inflammable</p> <p>PS standard: pots, emballages ménagers * rigide, cassant</p>	<p>Vitres, panneaux décoratifs optique, éclairage auto, aéronautique.</p> <p>* insensible aux U.V * cassant</p>	<p>Coussinets, bagues, joints, roues dentées, tuyauterie.</p> <p>* bonne résistance à l'usure et aux chocs.</p>	<p>Joints, bagues anti-usure, patins de glissement</p> <p>* bon isolant, auto-lubrifiant, peu adhérent. * prix élevé</p>

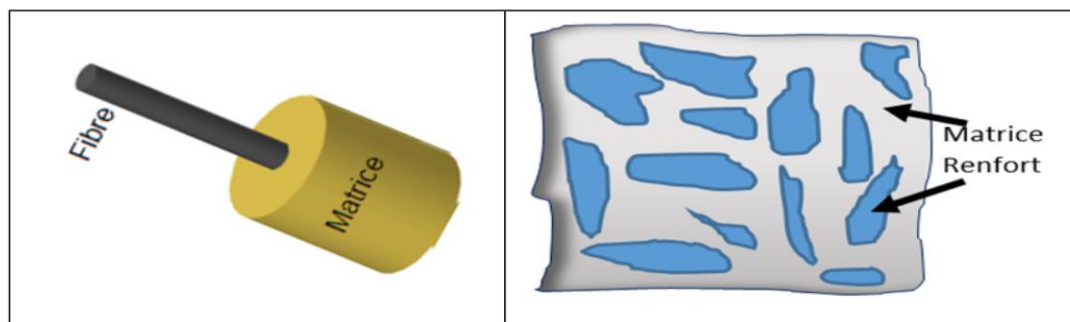
### I.4. Matériaux composite

#### I.4.1..Définition d'un matériau composite

Un matériau composite peut être défini d'une manière générale comme l'assemblage de deux ou plusieurs matériaux, l'assemblage final ayant des propriétés supérieures aux propriétés de chacun des matériaux constitutifs, On appelle maintenant de façon courante "matériaux composites" des arrangements des renforts qui sont noyés dans une matrice, entre le renfort et la matrice, existe une zone de liaison appelée interface. Ces matériaux composites sont la plupart du temps hétérogènes et anisotropes.

La matrice assure la cohésion et l'orientation des fibres, elle permet également de transmettre les sollicitations auxquelles sont soumises les pièces.

Les composites trouvent leurs principales applications dans le transport aérien (civil et militaire), maritime et ferroviaire, le bâtiment, l'aérospatial ainsi que les sports et loisirs.



**Figure. .5** : Schéma illustratif d'un matériau composite.

## **I.4.2. Constituent des matériaux composites**

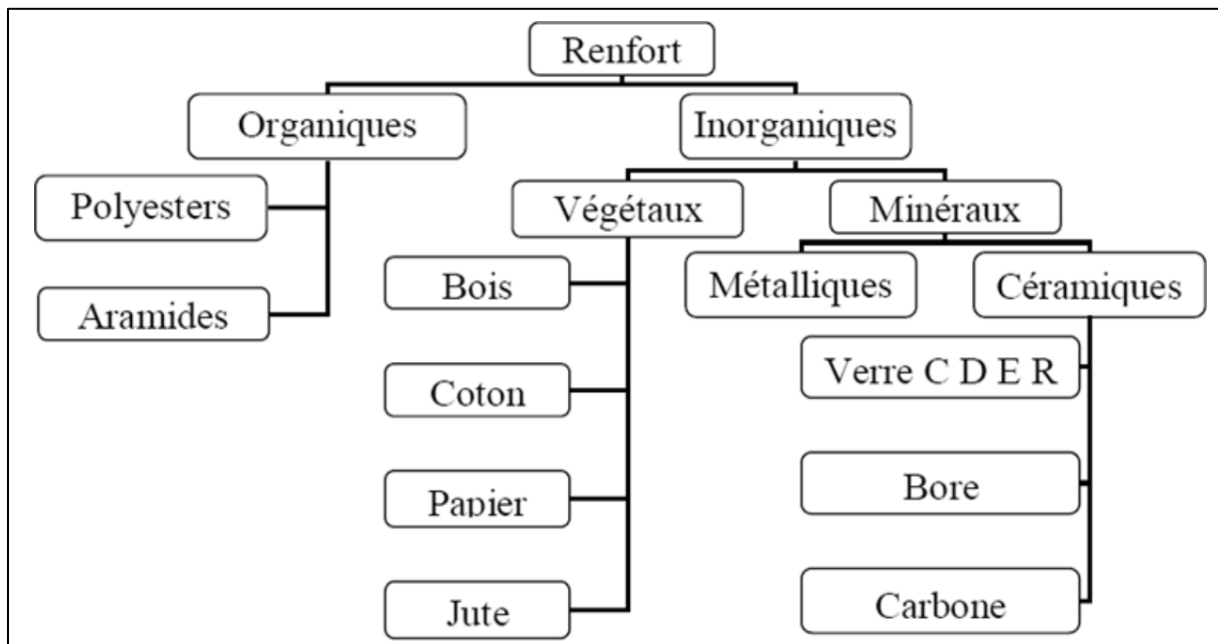
Le matériau composite : est constitué d'une protection appelée "matrice" et de l'ossature appelée "renfort". Les renforts fibreux sont disposés de façon judicieuse dans la matrice qui conserve leur disposition géométrique et leur transmet les sollicitations.

### **I.4.2.1. Les renforts**

Les renforts assurent les propriétés mécaniques du matériau composite se présentent

sous les formes suivantes linéique (fils, mèches), tissus surfaciques (tissus, mats), multidirectionnelle (tresse, tissus complexes, tissage tri directionnel ou plus).

Les différents types de renforts sont cités dans l'organigramme ci-dessous



**Figure.6 :** Les différents types des renforts

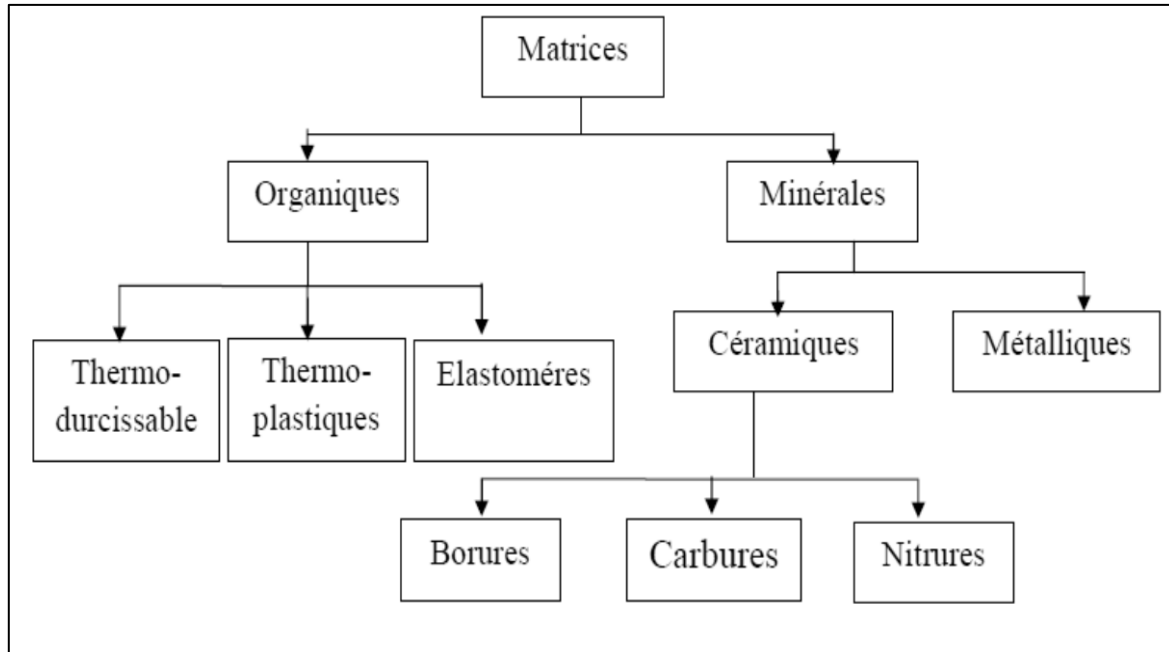
Les fibres se présentent sous plusieurs formes : soit des fibres continues ou discontinues (fibres coupées, fibres courtes, etc.) et c'est leur arrangement et leur orientation qui permettent de moduler les propriétés mécaniques des matériaux composites.

### **I.4.2.2.les Matrices**

La matrice est l'un des composants de base des matériaux composites. C'est un matériau organique léger, facilement déformable, elle a pour rôle de : lier les fibres renforts, de garantir une répartition spatiale homogène des renforts, transmettre aux

renforcent les efforts extérieurs et de les répartir, fournir la tenue chimique de la structure et donner la forme désirée au produit. La matrice doit avoir une masse volumique faible afin de conserver au composite des caractéristiques mécaniques élevées.

La figure ci-dessous représente les différentes familles de matrices :



**Figure .7 :** Différentes familles de matrices.

#### **I.4.2.3.Charges – additifs**

Des produits (substances inerte), minérale ou végétale qui peuvent être incorporés à la résine pour renforcer les propriétés mécaniques (charges renforçantes). Des charges non renforçantes peuvent être également utilisées pour diminuer le coût des matrices en résine, ou des additifs, de type colorant ou agent de démoulage sont largement utilisés lors de la conception des structures constituées de matériaux composites.

Généralement les matériaux composites structuraux sont classés en trois catégories :

- Les monocouches;
- Les stratifiés ;
- Les sandwichs.
- Autres structures (structures 3D).

# Les Composites

Un « composite » est un assemblage de deux constituants non miscibles et de structure différente. Les qualités de chacun se complètent pour former un matériau hétérogène dont les *performances* sont *supérieures* à celles de ses composants.

COMPOSITE = MATRICE + RENFORT

Elle assure la liaison de l'ensemble.  
Elle répartit les efforts.  
Elle protège les renforts.

Il constitue le squelette de l'ensemble.  
Il supporte l'essentiel des efforts.  
Généralement, il se présente sous forme de fibres à haute résistance.

## Principales matrices ;

Organique: EPOXY - (EP),  
Polyester - (UP)

Minérale: Carbone - (C)

Métallique: Titane - (Ti)

Principaux renforts ;

**Fibres de verre - (FV)**

**Fibres de carbone - (FC)**

**Fibres d'Aramide - (FA) « Kelvar »**

# Chapitre .II.

- Principaux procédés de  
mise en forme sans  
enlèvement de matière -

## II.1 Principaux procédés de mise en forme des matériaux métalliques

La figure ci-dessous qui récapitule les principales classes de procédés utilisés actuellement montre qu'il existe trois voies principales de mise en forme selon l'état de départ du matériau métallique :

— le **moulage** à partir de l'état liquide, objet de la rubrique Fonderie et moulage des volumes Mise en forme des métaux et fonderie ;

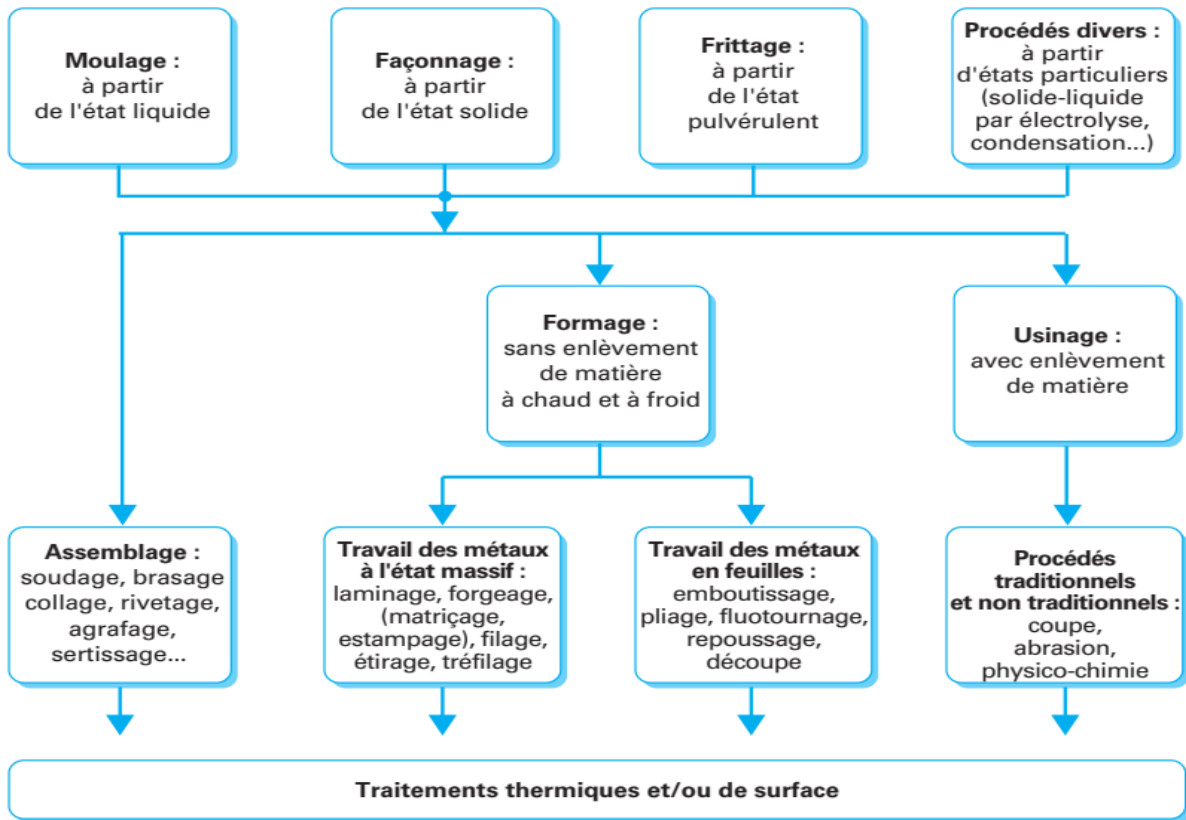
— le **façonnage** à partir d'une ou plusieurs pièces à l'état solide. Cette voie peut, elle-même, se scinder en formage, ou mise en forme sans enlèvement de matière, usinage, ou mise en forme avec enlèvement de matière, dont les principaux aspects sont présentés dans le volume Usinage du traité Génie mécanique où l'on solidarise deux ou plusieurs pièces selon des procédés présentés dans le volume Travail des matériaux.

— le **frittage** à partir de poudres par disparition des vides intergranulaires à haute température et éventuellement sous pression.

En raison, entre autre causes, de la classification socio-économique des secteurs industriels correspondants, on distingue dans le formage :

— le **travail des métaux à l'état massif**, pratiqué essentiellement dans les industries métallurgiques et objet, avec le frittage, des volumes Mise en forme des métaux et fonderie ;

— le **travail des métaux en feuilles**, pratiqué comme l'usinage dans les industries mécaniques et objet du volume.



**Figure.8** – Principaux procédés de mise en forme des matériaux métalliques

## II.2. Procédés d'obtention des pièces sans enlèvement de matière

**II.2.1. Moulage :** Le principe de ces procédés est de couler le matériau à l'état liquide ou pâteux dans un moule, et après solidification d'ouvrir ou de détruire le moule afin de récupérer la pièce.

On peut mouler tout type de matériaux (plastique, métallique, résine). Ces procédés nécessitent la réalisation d'un moule, et sont donc réservés à la fabrication de pièce en série, mais les techniques de prototypage rapide peuvent être utilisées afin d'optimiser l'utilisation de ces procédés. Les moules peuvent être :

- **Permanent** : Dans ce cas le moule est en plusieurs parties et s'ouvre pour libérer la pièce.
- **Non permanent** : Dans ce cas, le moule est détruit pour récupérer la pièce. Suivant le matériau à mouler et le nombre de pièce souhaité, les moules sont réalisés en silicone, en plâtre, en sable ou en acier.

Certains procédés utilisant des modèles perdus permettent la réalisation de pièces de grande précision et de grande complexité. La technique de fonderie est la plus souvent utilisée car elle est non seulement économique mais :

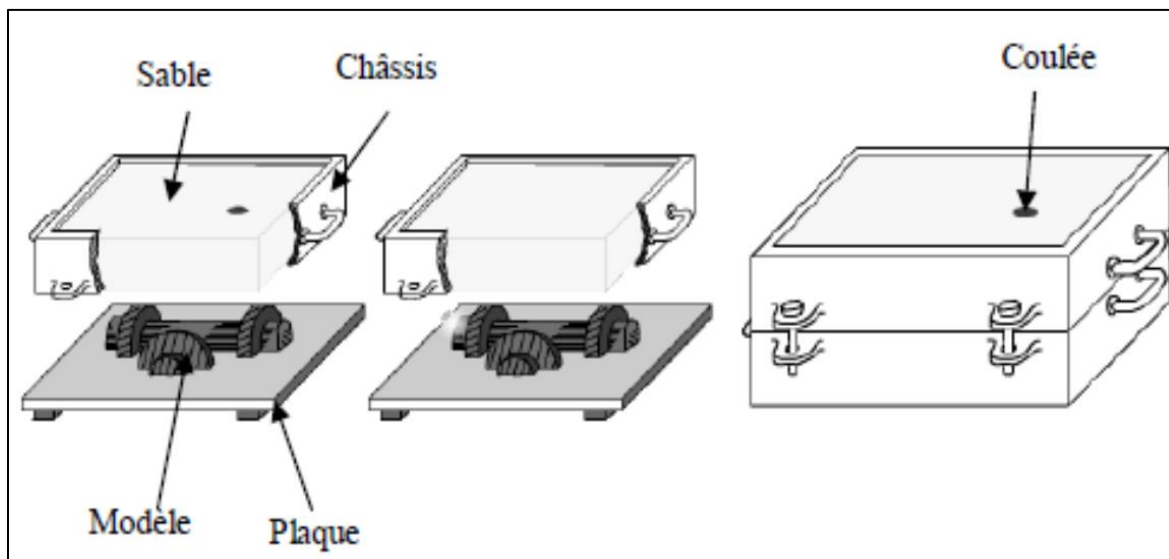
- Elle permet de produire des pièces de formes complexes (difficilement réalisables par usinage ou par d'autres procédés).
- La série des pièces est identique.
- Obtention de pièces massives telles que bâtis, volants etc.

### **PRINCIPAUX PROCÉDES DE MOULAGE**

#### **II.2.1.1. Moulage non permanent (moulage au sable)**

Le moulage en sable silico-argileux est l'un des procédés les plus courants. Il reste le plus économique du fait de la simplicité de la régénération du sable. L'agglomérant utilisé pour la confection du moule est une argile, de type bentonite le plus souvent.

Le moulage en sable à vert utilise un modèle généralement permanent et un moule non permanent. Un moule non permanent est un moule qui ne sert qu'une seule fois pour réaliser une pièce.



**Figure.9.:** Moule en sable

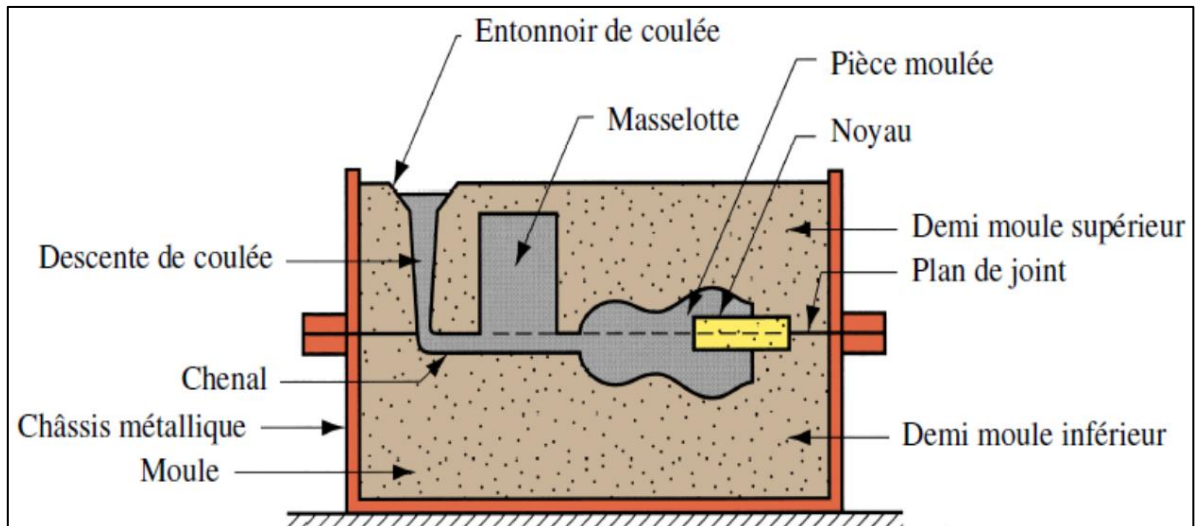
#### Remarques sur le moulage :

- La température de fusion du métal coulé doit être inférieure à la température de fusion du matériau constituant le moule.
- Un moule métallique prend le nom de « coquille ».
- Le moulage permet d'obtenir économiquement des pièces compliquées.

- La fonte se moule mieux que l'acier. La fonte en fusion est plus fluide que l'acier en fusion.

Les étapes du moulage :

1. Fondre le métal
2. Le verser dans le moule
3. Le laisser refroidir



**Figure.10** : Schéma de fonctionnement

### **II.2.1.2. Moulage permanents**

Un moule réutilisable est utilisé pour la coulée en moule permanent. Les avantages de ce procédé incluent les suivants :

- Composants près des côtes ;
- Meilleure finition de la surface ;
- Propriétés mécaniques améliorées.
- Les produits finis ne présenteront pas de détails fins.

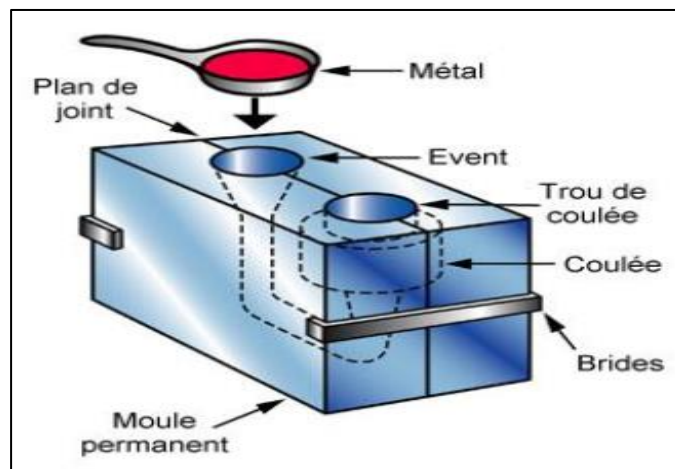
En matière de fonderie à couler en moule permanent, un moule réutilisable est fabriqué à partir de métal, généralement de la fonte grise. Il est construit à partir de deux ou plusieurs pièces et doté d'une charnière pour pouvoir extraire le moulage du moule. Le métal liquide est versé dans le moule par simple gravité. La fonderie en moule permanent est utilisée pour produire des moulages à partir d'alliages d'aluminium, de magnésium et de cuivre. Les pièces d'acier et de fer peuvent être coulées dans des moules en graphite. Le terme de fonderie en moule permanent et

de coulée en coquille sont souvent employés pour désigner le même procédé.

Les moules sont métalliques (en fonte ou en aciers spéciaux réfractaires), permettent de couler un grand nombre de pièces. On distingue les procédés suivants

- Coulée en coquille par gravité ;
- Coulée centrifuge
- Moulage sous pression.

**a- Coulée en coquille par gravité** : La coquille est un moule métallique ayant la forme exacte de la pièce à obtenir. Le refroidissement est rapide.



**Figure.11 : Coulée en coquille par gravité**

**Avantages du procédé**

- Excellentes propriétés du matériau ;
- Possibilité de représenter des géométries internes complexes (au moyen d'un noyau de sable)
- Faibles coûts d'outillage comparé à la coulée sous pression ;
- Degré élevé d'automatisation possible.

***b-Coulée centrifuge*** : Le moulage par coulée centrifuge utilise la force centrifuge pour créer des formes cylindriques. Le procédé utilise un moule permanent auquel on imprime un mouvement rotatif sur son axe à des vitesses élevées (de 300 à 3 000 tours par minute) en même temps que le métal en fusion est versé. Le métal en fusion est projeté par la force centrifuge en direction de la paroi du moule. Le métal se solidifie sur la paroi après refroidissement. Pour la fabrication de tuyaux ou de pièces de formes de révolution complexes ;

### Avantages du procédé

- Résistance à l'usure ;
- Haute uniformité structurelle ;
- Bonnes propriétés mécaniques.

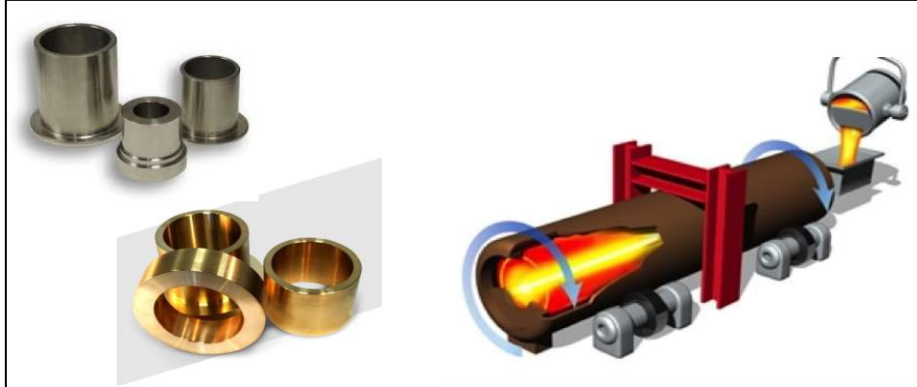


Figure.12 : Coulée centrifuge

**c-Moulage sous pression** : (jusqu'à 1500 bars) par injection de métal liquide ou pâteux dans un moule métallique froid ou légèrement chauffé. Ce procédé est utilisé pour la fabrication de petites pièces en grande série. Elle est également utilisée pour produire de grosses plaques d'acier ;

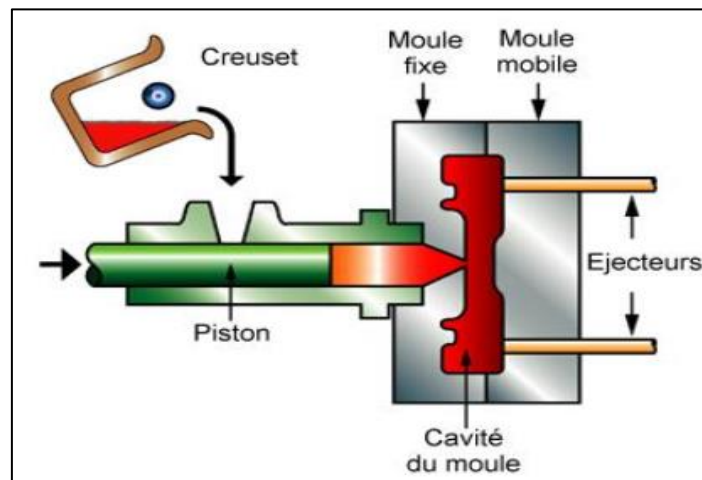


Figure.12 : Moulage sous pression

### Avantages du procédé

- Précision dimensionnelle ;
- Faible surépaisseur pour l'usinage ;
- Parois minces ;
- Grande solidité ;
- Bonne qualité des surfaces ;
- Grande productivité par automatisation élevée ;

- Densité dans la mesure où la membrane de coulée n'est pas usinée.

### **II.2.2. Le forgeage**

Dans son sens général, le forgeage est l'opération de mise en forme d'un métal malléable.

Cette opération est basée sur une propriété fondamentale des alliages métalliques solides : la plasticité.

Le paramètre fondamental du procédé est la température de forgeage qui doit être supérieure à 0.5 fois la température de fusion du métal à travailler. Un autre paramètre important est la force de mise en forme qui est fonction aussi de  $T_f$ .

Ces paramètres dépendent des caractéristiques et de la qualité du produit à fabriquer, par exemple : tolérances dimensionnelles, état de surface, structure métallurgique etc....

On distingue deux techniques de forgeage :

**a- Forgeage à la main** (travail du forgeron)

**b- Forgeage mécanique ou industriel**

Les différentes techniques de forgeage se ramènent toutes à la compression d'un matériau entre des outillages au moyen d'un engin qui fournit l'énergie nécessaire à l'opération.

#### Critères de choix du procédé

- Matériau : Ferreux, non ferreux
- Type de pièce à réaliser : poids, complexité, précision
- Importance de la série à produire : grande, petite ou moyenne
- Machines à utiliser : presses (mécaniques, hydrauliques ou à vis), laminoirs, etc

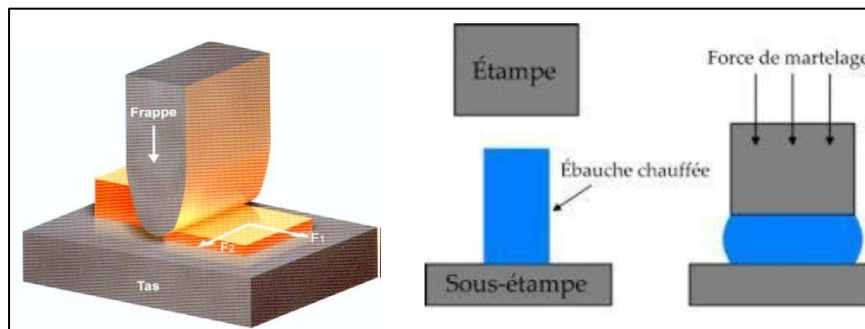
#### **c-Forge libre**

Permet d'obtenir à chaud, sans outillages spécifiques, avec des délais courts, des pièces unitaires ou de très petites séries. Le métal, préalablement chauffé, est travaillé sous forme d'un lopin métallique à l'aide d'une presse hydraulique voire d'un marteau-pilon.

Le forgeage est dit «libre» car, lors du forgeage, le métal est libre de se déplacer dans plusieurs directions, contrairement à l'estampage ou forgeage en matrice où le métal est enfermé dans une forme prédéfinie et n'est pas libre. Le métal sera donc écrasé entre deux outils :

- Le Tas(ou sous-étampe), fixe et de forme plate,
- La Frappe(ou étampe), mobile

Le résultat obtenu est dépendant du savoir-faire du forgeron.



**Figure 13** : Principe de la forge libre

### II.2.3. Emboutissage

L'emboutissage est un procédé de mise en forme très utilisé dans l'industrie, permettant d'obtenir des pièces de surface non développable à partir de feuilles de tôle mince, montées sur presse. La tôle appelée « flan », est la matière brute qui n'a pas encore été emboutie. L'opération peut être réalisée avec ou sans serre flan pour maintenir le flan contre la matrice pendant que le poinçon déforme la feuille.

#### **Conception générale d'un outil d'emboutissage :**

L'emboutissage se pratique à l'aide de presses à emboutir de forte puissance munies

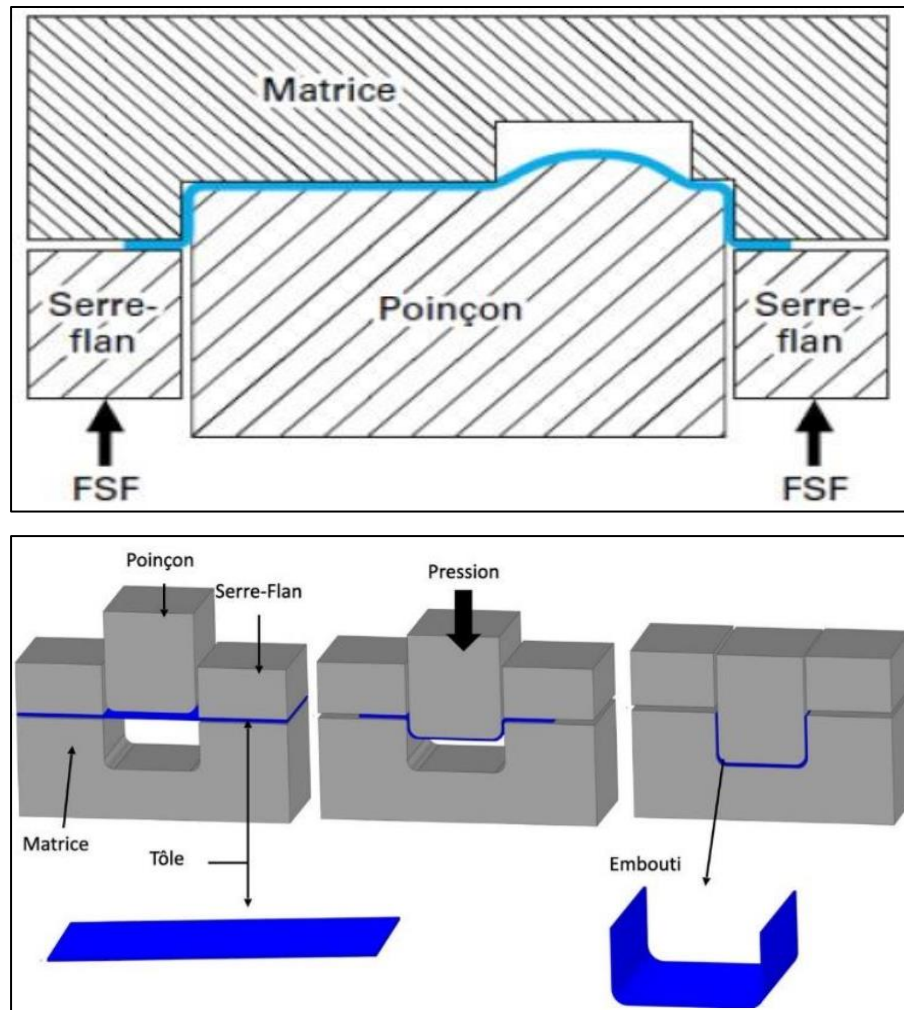
d'outillages spéciaux dont la configuration détermine l'effet obtenu sur le flan :

- **Outils à simple effet** : configuration la plus simple, composée principalement d'une matrice et d'un poinçon.

- **Outils double effet** : comprend en plus de l'outil simple effet, un serre-flan.

L'outillage utilisé en emboutissage comprend donc :

- ✓ Une matrice, en creux, épouse la forme extérieure de la pièce ;
- ✓ Un poinçon, en relief, épouse sa forme intérieure en réservant l'épaisseur de la tôle
- ✓ Un serre-flan entoure le poinçon, s'applique contre le pourtour de la matrice et sert à coincer la tôle pendant l'application du poinçon, évite le plissement de la tôle et contrôle son écoulement le long du poinçon.



**Figure.14** : Principe d'emboutissage (pièces forgées).

## II.2.4.Estampage-matriçage

### II.2.4.1.Définitions :

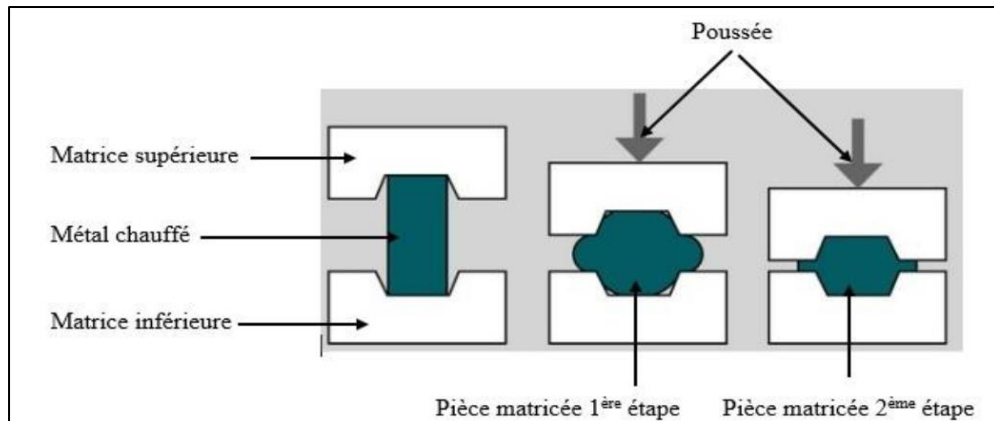
Les deux termes sont synonymes cependant :

- ✓ □ L'estampage est un procédé de forgeage dédié au travail des aciers
- ✓ □ Le matriçage est réservé aux alliages non ferreux.

### II.2.4.2.Principe du procédé

Le procédé consiste à mettre en forme un lopin porté à la température adéquate dans les gravures d'un jeu de matrices reproduisant en creux les formes de la pièce à réaliser. Le principe consiste à rapprocher les deux matrices ce qui force le métal à épouser les formes des gravures.

Généralement, afin de remplir complètement les cavités, le métal a la possibilité de déborder des gravures ce qui génère une bavure et une opération d'ébavurage.



**Figure .14** : Principe de l'estampage-matriçage

Le succès du matriçage vient de trois avantages majeurs :

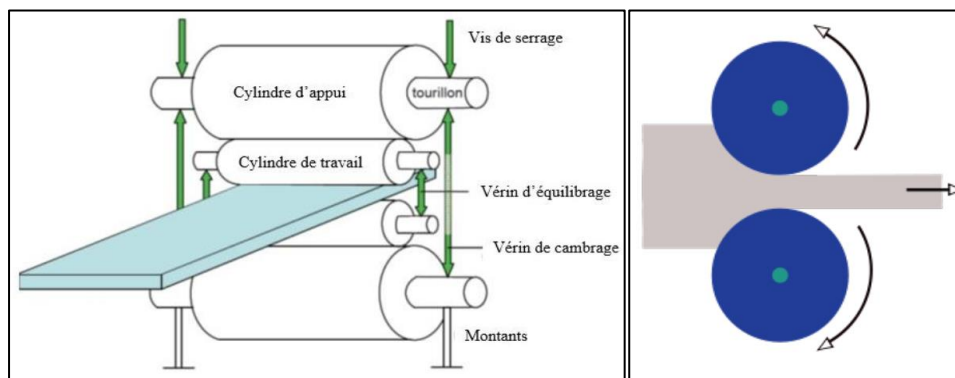
1. Propriétés métallurgiques : excellent compromis entre résistance, élasticité, rupture, fatigue, corrosion, résilience,
2. Gain sur le rapport tenue mécanique / masse de la pièce,
3. Réduction des coûts des usinages.

### II.2.5. Le Laminage

Le laminage est un procédé de fabrication par déformation plastique. Il concerne

différents matériaux comme du métal ou tout autre matériau sous forme pâteuse comme le papier. Cette déformation est obtenue par compression continue au passage entre deux cylindres contrarotatifs appelés laminoir<sup>1</sup>.

Un laminoir est une installation industrielle ayant pour but la réduction d'épaisseur d'un matériau (généralement du métal). Il permet également la production de barres profilées (produits longs).



**Figure 15** : Principe du laminage

### **II.2.5.1.Laminage à froid et Laminage à chaud**

Le laminage à chaud s'impose pour deux raisons capitales : La première est que la résistance à chaud du métal décroît très rapidement avec la température.

La seconde est d'ordre métallurgique. Le laminage à froid provoque un écrouissage du métal. En pratique, les premières séries de réductions commencent à chaud afin d'atteindre facilement de fortes déformations du matériau et d'ajuster les propriétés métallurgiques du produit.

Le passage à froid est ensuite nécessaire pour obtenir les caractéristiques géométriques et mécaniques adéquates, ainsi qu'un bon état de surface. Le laminage s'effectue sous film d'huile minérale afin de faciliter l'écoulement du métal, éliminer la chaleur produite par le laminage et lubrifier les équipements internes de la cage de laminage.

A froid, un traitement thermique peut être fait pour restaurer la structure et éviter la rupture par endommagement. Au contraire pendant le laminage à chaud, la recristallisation dynamique s'effectue au cours de la déformation tant que la température du produit le permet.

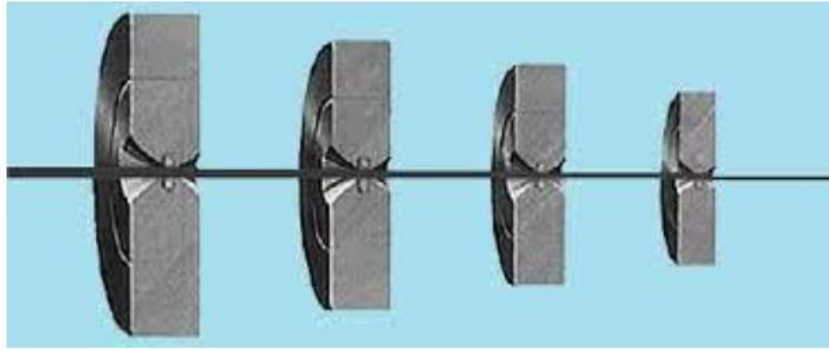
Nous pouvons voir schématiquement les divers phénomènes apparaissant lors de la mise en forme par déformation plastique.

### **II.2.6. Le tréfilage :**

Le fil machine obtenu par les opérations de laminage est un produit intermédiaire, surtout dans la fabrication des câbles électriques, dont le fil doit avoir un diamètre plus petit. L'opération qui permet la réduction du diamètre du fil est dite tréfilage, la machine de tréfilage est appelée tréfileuse.

Le principe de tréfilage est d'utiliser la plasticité du métal pour réduire le diamètre du fil, par passage à travers un orifice calibré, appelé filière sous l'effet combiné d'application d'un effort de traction **T** et d'un effort radial de compression **P**.

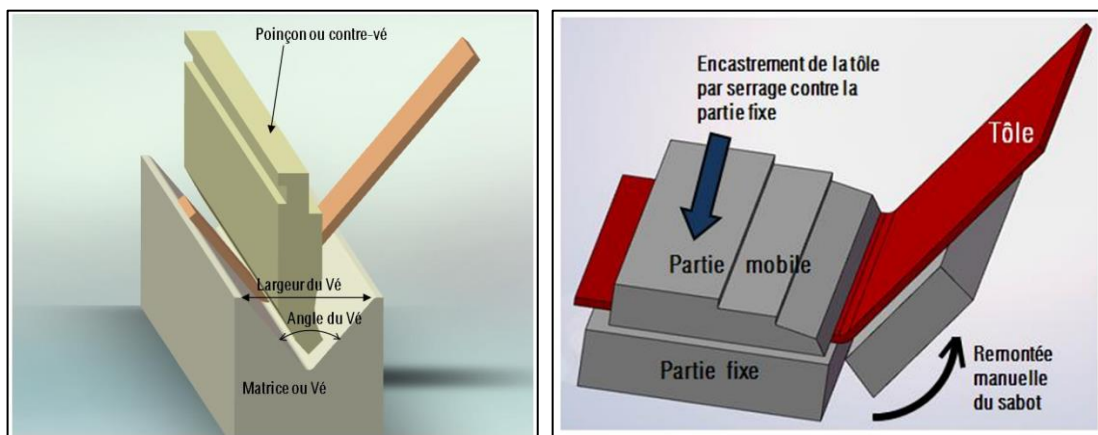
La filière constitue l'élément fondamental de l'opération de tréfilage. La forme qu'il convient de lui donner a fait l'objet de nombreux travaux théorique et expérimentaux. Elle est constituée d'un noyau dur A, généralement en carbure de tungstène ou en diamant, fretté dans une monture B en acier.



**Figure 16:** Atelier de tréfilage

### II.2.7. Pliage

Le pliage est un procédé de formage par déformation plastique permettant d'obtenir, à partir d'une tôle, une pièce développable. Il est effectué par une ou plusieurs opérations successives sous l'action d'une force exercée sur la pièce. Le pliage peut être réalisé par rotation d'un outil pivotant, ou sur une presse plieuse en utilisant un poinçon et une matrice.



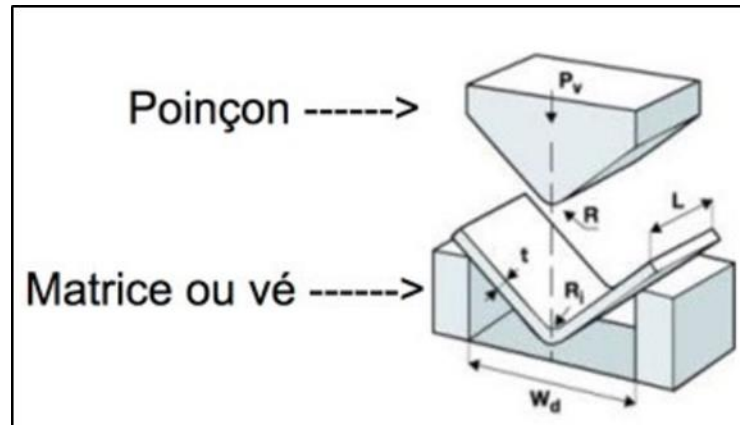
**Figure 17 :** Techniques de pliage

#### II.2.7.1. Techniques de pliage

##### a- Pliage en frappe

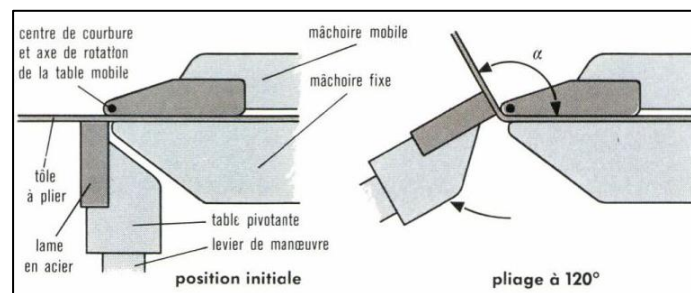
Le poinçon entraîne les deux branches libres du pli jusqu'au contact des faces intérieures de la matrice, il en résulte un écrouissage de la zone pliée et l'angle obtenu est sensiblement égale à celui du vé.

Cette technique permet d'obtenir des pièces précises, mais elle nécessite des efforts de pliage importants (environ  $30t/m/mm$  d'ép.). Il faut un outillage pour chaque angle et il est limité aux tôles jusqu'à 2 mm d'épaisseur. Le fait de matricer l'intérieur du pli permet d'obtenir des angles très précis ( $\pm 0,5^\circ$ ).



### b- Pliage en l'air

Les branches libres du pli ne viennent pas au contact des faces intérieures du vé. La limitation de la descente du poinçon et l'écartement du vé, permettent d'obtenir les plis aux angles désirés. Ce mode de pliage est couramment utilisé car les forces appliquées sont environ 5 fois moins importantes que pour du pliage en frappe.



**Figure 17 : Pliage en l'air**

#### Principe du pliage

Sous l'action d'une force appliquée sur un flan (ou sur une ébauche) reposant sur deux ou plusieurs appuis ou encastré à une extrémité, le produit est fléchi.

Il faudra dépasser la limite élastique pour obtenir l'angle voulu.

## II.2.8. Découpage

Le découpage a pour but la préparation d'ébauches ou de pièces finies par détachement direct dans la masse même de la matière d'œuvre : feuilles, plaques ou barres. On peut le pratiquer à froid ou à chaud.

### II.2.8.1. Découpage à froid :

Le découpage à froid est obtenu par cisaillement du métal sous l'action des arêtes de coupe de deux outils opposés qui glisse l'un contre l'autre. Le découpage à la cisaille est un procédé qui s'applique surtout aux coupes rectilignes. Il est réalisé soit par sciage circulaire (cisaille à molette ou galets) destiné pour les longues coupes rectilignes ou pour les courbes de grand rayon, soit par cisaille à lames planes (cisaille guillotine) figure ci-contre utilisé pour les coupes rectilignes. Cette cisaille comporte une lame inférieure horizontal fixe et une lame supérieure montée sur un coulisseau guidé verticalement, tandis que la tôle à cisailée est maintenue sur une presse tôle.

La force qu'il faut appliquer à la lame mobile pour découper la tôle est :  $F = L * e * R_c$

- F : force qu'il faut appliquer à la lame mobile pour découper la tôle
- L : longueur de découpage en mm
- e : épaisseur de la tôle en mm
- $R_c$ : résistance à la rupture par cisaillement

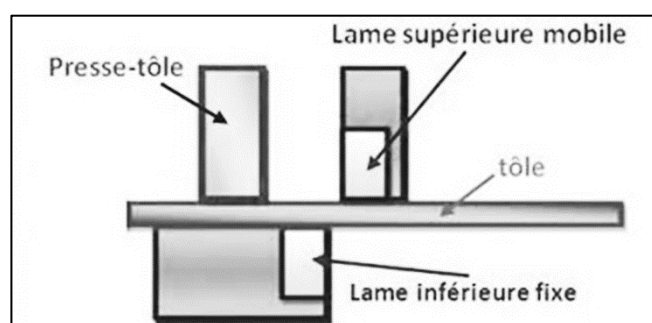


Figure 18 : Découpage à froid

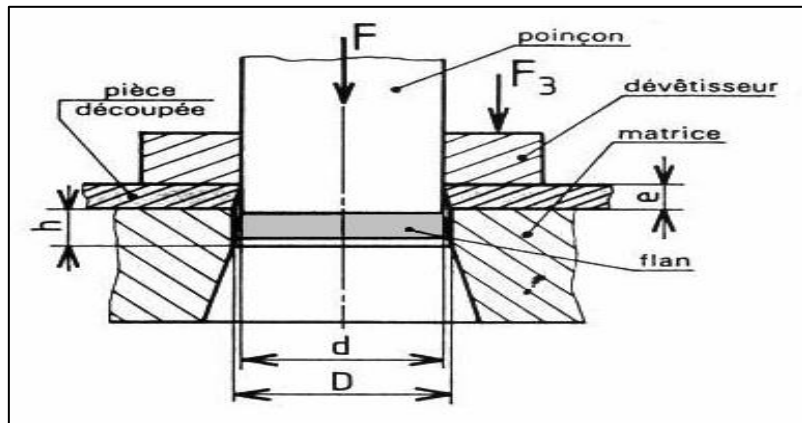
### II.2.8.2. Poinçonnage

But: Pour réaliser des trous sur des tôles à l'aide des poinçons ayant la forme du tracé cisailé

Un poinçon et une matrice remplacent les lames de cisaille. Même mécanisme de rupture.

$$F = S_C * R_C$$

- F : force nécessaire au découpage (daN)
- SC : section cisailé en (mm<sup>2</sup>)
- RC : résistance à la rupture par cisaillement (daN/mm<sup>2</sup>)

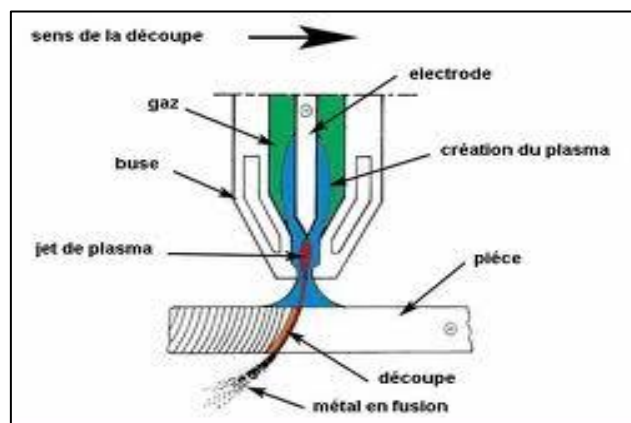


**Figure 19 : Poinçonnage**

### II.2.8.2. Découpage à chaud

Le découpage à chaud pratiqué pour les tôles épaisses peut être réalisé par oxycoupage ou par l'arc à plasma.

- L'oxycoupage s'applique aux métaux ferreux non alliés ou très faiblement alliés.
- L'arc à plasma convient au découpage des alliages légers et des aciers inoxydables.



**Figure 20 : Découpage à chaud**

### II.2.9. Cintrage(Roulage)

Le cintrage est une opération qui consiste à cintrer des mains courantes en bois, des barres pleines ou des tubes en inox. Il y a quatre grandes méthodes de cintrage : par roulage, par enroulement, par emboutissage et par poussée. Chacune va s'adapter à des matériaux en particulier. Dans le cintrage industriel, le cintrage est réalisé à froid grâce à des machines spécialisées. Pour les productions artisanales, le cintrage est dit "à chaud" car il est fait à la main et nécessite de chauffer le matériau.

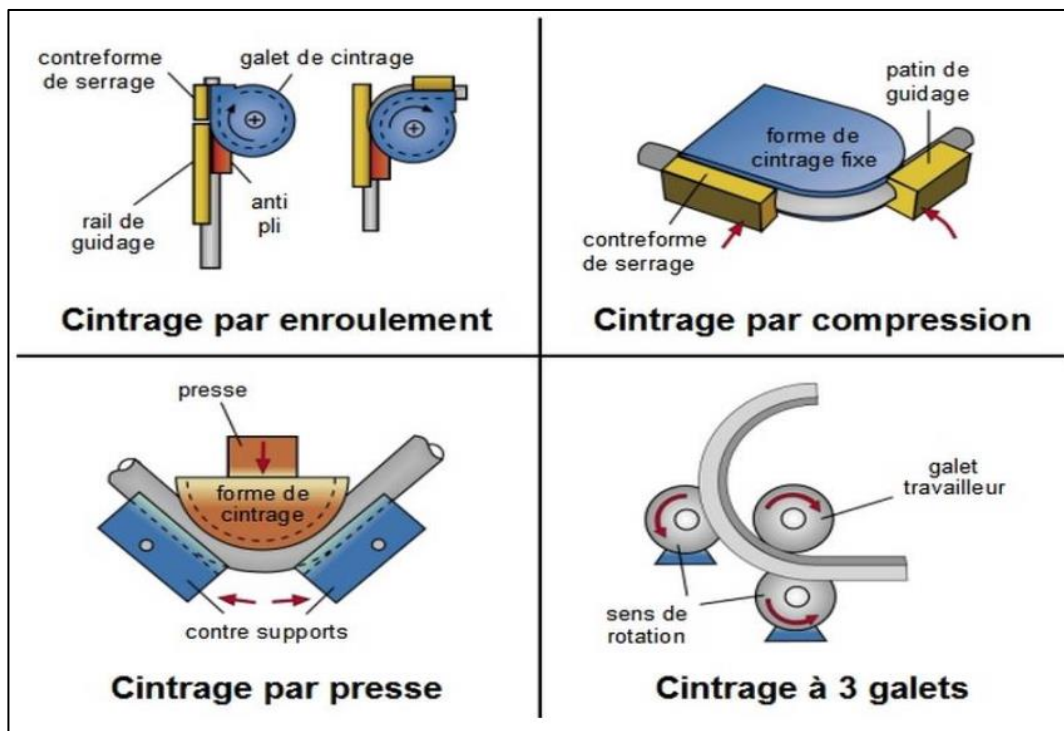


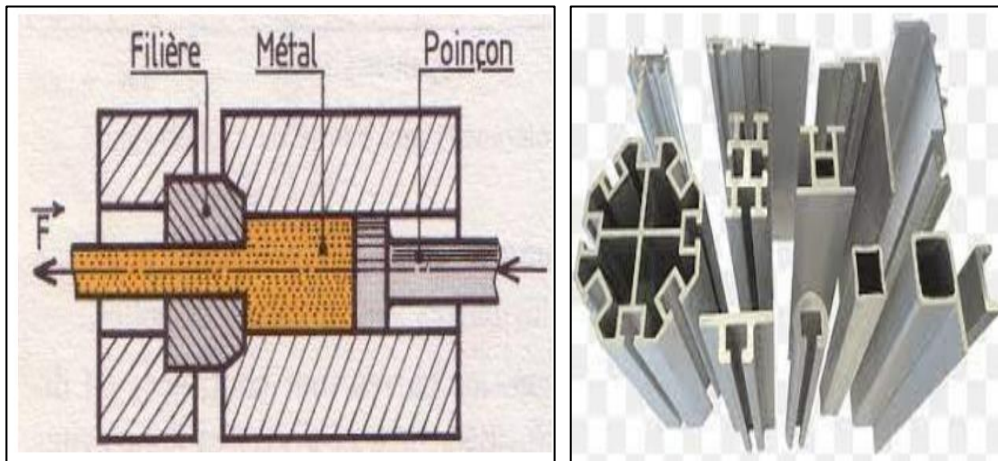
Figure 21 : Cintrage(Roulage)

### II.2.10. Le filage

Le filage (en anglais : extrusion) est un procédé de transformation à chaud des métaux et alliages. Son principe consiste à introduire un bloc de métal, porté à température de forgeabilité optimale, dans une enceinte fermée, et à le faire ressortir par un orifice de section plus petite que l'ouverture par laquelle il est entré, en exerçant sur lui une pression élevée.

L'interposition d'un lubrifiant efficace entre l'ébauche à déformer et les outillages, ainsi qu'un échauffe homogène, suffisent pour éviter la plupart des défauts de filage, en épargnant au métal des contraintes localement supérieures à sa résistance à la rupture.

Pour exécuter l'opération de filage, on utilise une enceinte de forme cylindrique en acier résistant aux contraintes élevées de déformation (pression et température), appelée conteneur. Ce conteneur est fermé à une extrémité par une filière dont l'orifice est usiné selon une section droite similaire à l'extérieur du produit que l'on désire fabriquer. La billette de forme cylindrique, chauffée à la température optimale de déformation, est introduite dans le conteneur puis poussée contre la filière par un piston appelé fouloir ou poinçon sur lequel on applique l'effort de la presse.

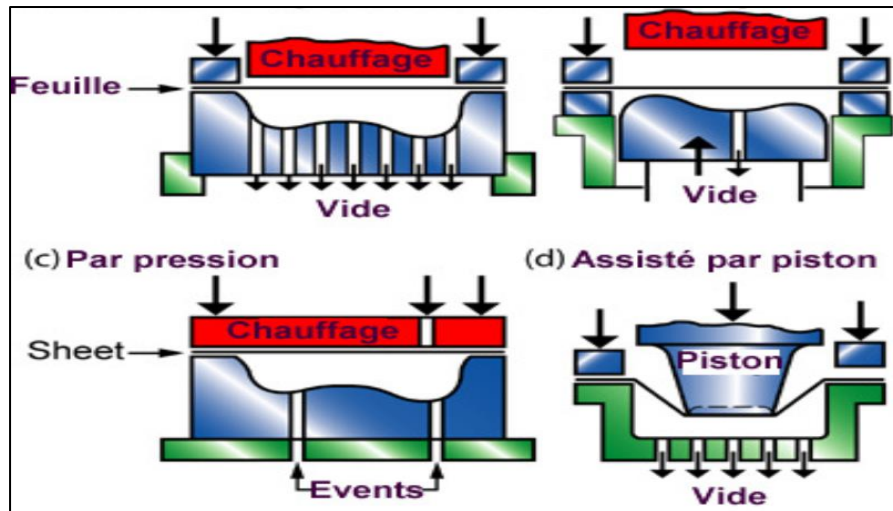


**Figure 22** : filage ou Extrusion des pièces

### **II.2.11. Thermoformage**

On peut mettre en forme de grandes feuilles thermoplastiques de manière économique par thermoformage. Dans le thermoformage par le vide, une feuille thermoplastique, chauffée jusqu'à son point de ramollissement, est aspirée par le vide sur les contours du moule prenant ainsi sa forme; elle est ensuite refroidie, se solidifiant au contact du moule.

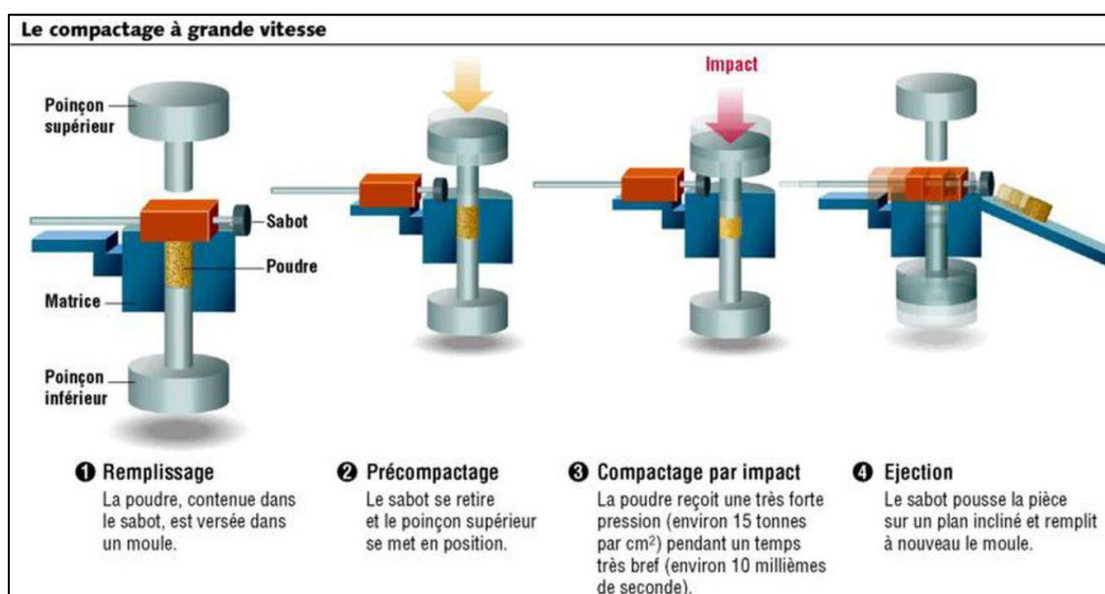
Le thermoformage sous pression utilise une pression de plusieurs atmosphères pour forcer la feuille de polymère chaude dans le moule. Des moules mâles ou femelles sont possibles et -pour le thermoformage par le vide- peuvent être usinés en bois, en mousse de polymère ou en aluminium (pour les plus grandes séries).



**Figure 23 :** (a) Thermoformage par le vide- (b) Thermoformage par drapage

### II.2.12.Métallurgie des poudres

Ce procédé consiste en une compaction de métal en poudre suivie d'un traitement thermique visant une densification de la pièce. Ce procédé donne une pièce pratiquement sans pores dont les propriétés sont presque identiques à celles du matériau d'origine. L'acquisition de ces propriétés résulte essentiellement de processus de diffusion se déroulant pendant le traitement thermique. Ce procédé convient particulièrement aux métaux faiblement ductiles, puisque les particules de poudre ne requièrent qu'une faible déformation plastique. Il est aussi utilisé avec les métaux à haute température de fusion, qui sont difficiles à faire fondre et à mouler. Il permet de plus d'obtenir à bas prix des pièces de faible tolérance dimensionnelle (par exemple : les coussinets et les engrenages).



**Figure 24 :** Procédé de compaction de métal en poudre

# Chapitre .III.

Principaux procédés de  
mise en forme par  
enlèvement de matière

### III.1.Introduction

L'usinage par enlèvement de matière consiste à réduire progressivement les dimensions de la pièce par enlèvement du métal à froid et sans déformation en utilisant un outil. La quantité de matière enlevée est dite copeaux et l'instrument avec lequel est enlevée la matière est appelé outil de coupe. L'opérateur utilise des machines dites machines-outils pour réaliser l'usinage d'une pièce.

L'usinage par enlèvement de matière regroupe l'ensemble des techniques de fabrication de pièces mécaniques. A partir d'une pièce brute ou semi-finie, on enlève de la matière afin d'obtenir la forme voulue, à l'aide d'une machine-outil. L'avantage de ce procédé par rapport à la plupart des procédés de fabrication est qu'il permet une grande précision quant à la géométrie obtenue. L'outil suit une trajectoire par rapport à la pièce à usiner. Ces mouvements sont assurés par les éléments constitutifs de la machine-outil.

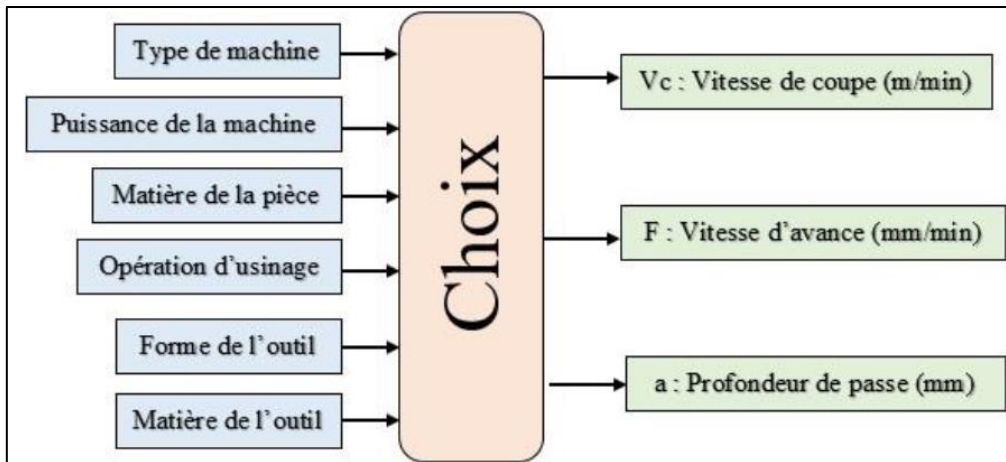
Pour obtenir un travail satisfaisant (bon état de la surface usinée, rapidité de l'usinage, usure modérée de l'outil, ...) on doit définir les paramètres de coupe relatifs au type d'usinage à faire. Il y a plusieurs critères permettant de définir les paramètres de coupe, notamment :

- a. Le type de machine (tournage, fraisage, perçage...);
- b. La puissance de la machine ;
- c. La matière usinée (acier, aluminium...);
- d. La matière de l'outil (ARS, carbure,);
- e. Le type de l'opération (perçage, chariotage, surfaçage,).

L'objectif final est d'obtenir une pièce usinée dans de bonnes conditions. Pour cela il faut déterminer certains paramètres spécifiques :

1. La vitesse de coupe :  $V_c$  ;
2. La vitesse d'avance :  $F$  ;
3. La profondeur de passe :  $a$ .

En résumé, nous avons la configuration suivante :



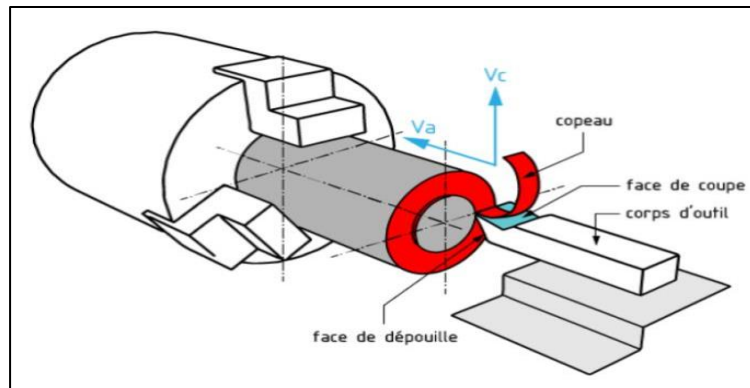
**Figure 25 :** Critères définissant les paramètres de coupe

### III.2. Tournage

Le tournage est un procédé d'usinage par enlèvement de copeaux qui consiste à l'obtention de pièces de forme cylindrique ou/et conique à l'aide d'outils coupants sur des machines appelées tours. La pièce à usiner est fixée dans une pince, dans un mandrin, ou entre pointes. Il est également possible de percer sur un tour, même si ce n'est pas sa fonction première.

La pièce est animée d'un mouvement circulaire uniforme c'est le mouvement de coupe  $M_c$ . L'outil est animé d'un mouvement de translation parallèle ou oblique par rapport à l'axe de rotation c'est le mouvement d'avance  $M_a$ . Dans son mouvement, la pointe de l'outil décrit une ligne appelée génératrice qui transforme la pièce en un solide de révolution, en faisant varier le déplacement de l'outil (mouvement radial) il sera possible d'obtenir tous les solides de révolution tels que cylindre, cône, sphère, etc.

Le tournage permet également le façonnage des formes intérieures par perçage, alésage, taraudage. En tournage, le mouvement de coupe est obtenu par rotation de la pièce serrée entre les mors d'un mandrin ou dans une pince spécifique, tandis que le mouvement d'avance est obtenu par le déplacement de l'outil coupant. La combinaison de ces deux mouvements permet l'enlèvement de matière sous forme de copeaux. Voir (Figure.26)

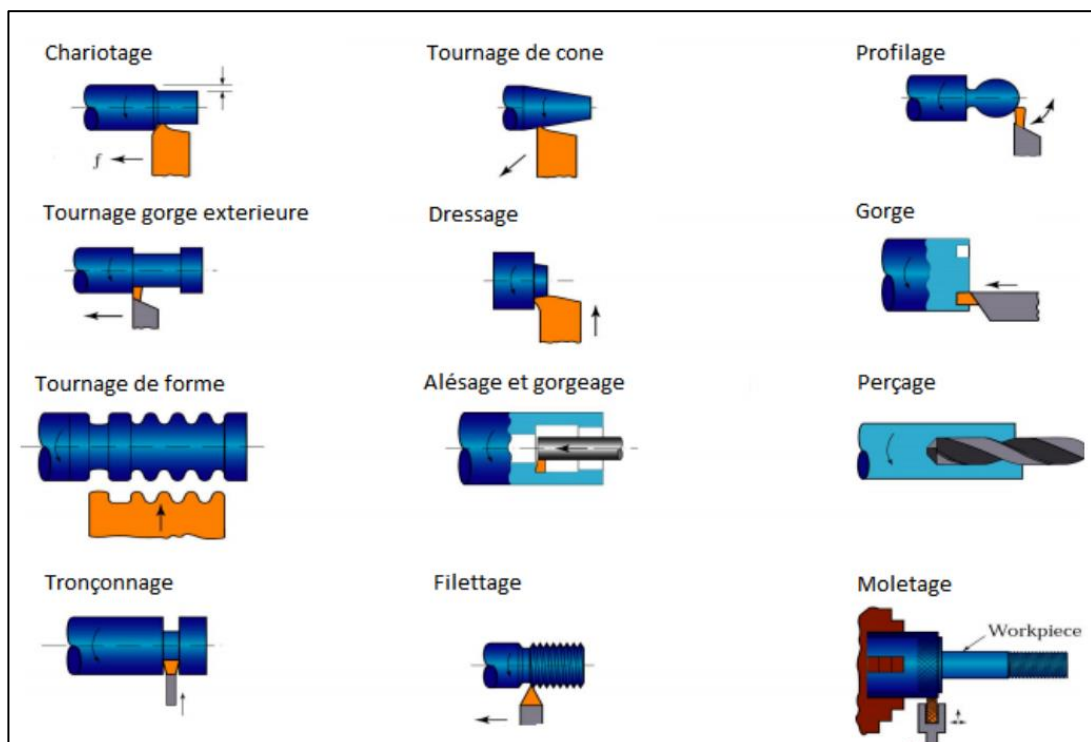


**Figure.26 : tournage**

Sur un tour parallèle conventionnel on peut réaliser deux grandes classes d'opérations :

1. Usinage externe regroupant les opérations de dressage de face, chariotage, filetage extérieur, gorgeage, chanfreinage, tronçonnage, etc...
2. Usinage intérieur regroupant les opérations de perçage, alésage, dressage intérieur, filetage intérieur, chambrage, etc...

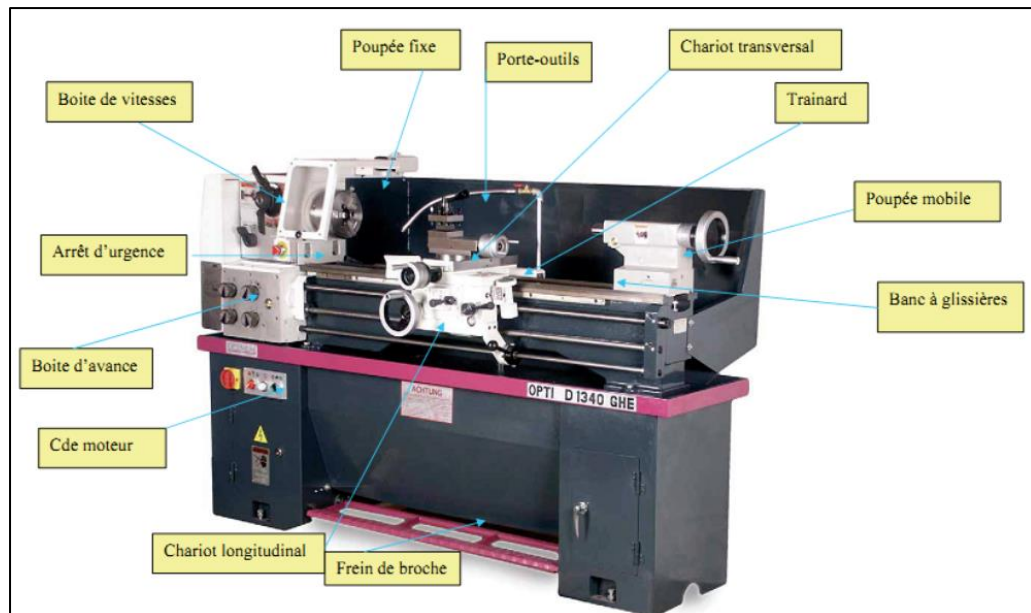
En général, chaque opération de tournage lui est associé un outil spécifique



**Figure.27: Opérations de tournage**

### III.2.1.les Machines

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.



**Figure.28 :** 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
- *Tour automatique* (monobroche ou multibroche) : Le tour automatique permet l'usinage des pièces suivant un
- *Tour à commande numérique* : Le tour à commande numérique permet d'usiner des pièces suivant un programme numérique,

### III.2.2. 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.

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

- *les aciers rapides supérieurs.*
- *Les carbures*
- *Outils à plaquettes carbures*
- *Les diamants industriels.....etc*

### III.2.3. Les Mouvements

Pendant le tournage, la pièce tourne autour de son axe « Mouvement de coupe », tandis que l'outil s'engage dans sa surface à une profondeur déterminée « Mouvement de pénétration ». L'outil est animé d'un mouvement d'avance continu parallèle ou perpendiculaire à l'axe de la pièce.

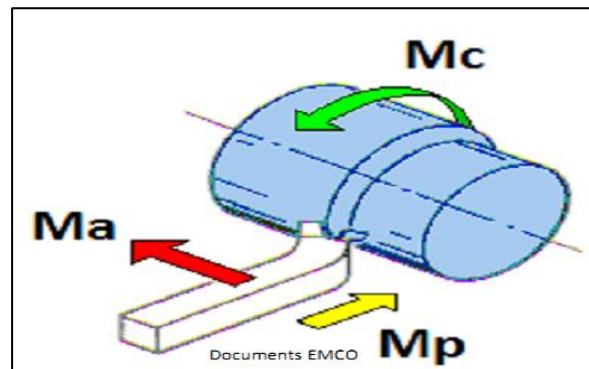


Figure.29 : Les mouvements lors du tournage

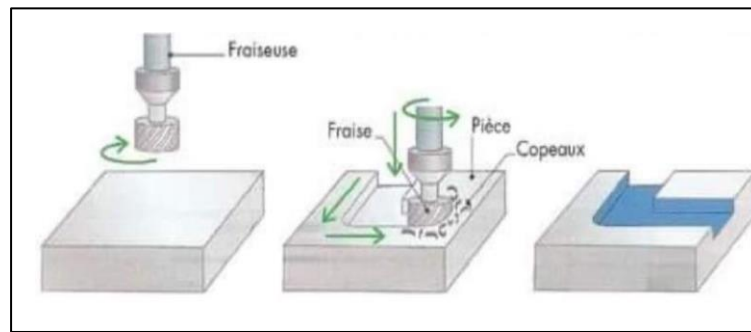
### III.3. Fraisage

Le fraisage est un procédé d'usinage par enlèvement de la matière. Il est caractérisé par le recours à une machine - outil appelée fraiseuse et l'utilisation d'un outil de coupe spécial (à arêtes multiples) appelé fraise. La fraiseuse est particulièrement adaptée à l'usinage des surfaces plates et permet également, si la machine est équipée de commande numérique, de réaliser tout type de formes même complexes. La coupe en fraisage s'effectue habituellement avec des dents placées sur le périphérique et /ou sur l'extrémité d'un disque ou d'un cylindre.

Une fraise est un outil à tranchants multiples :

- L'outil « fraise » tourne : c'est le mouvement de rotation (M.R.)
- La pièce se déplace horizontalement : mouvement d'avance (M.A.)
- Le « mouvement de coupe » résulte de la conjugaison du mouvement de rotation et du mouvement d'avance.

- La « profondeur de passe » est réglée par le déplacement de la pièce (M.P.).

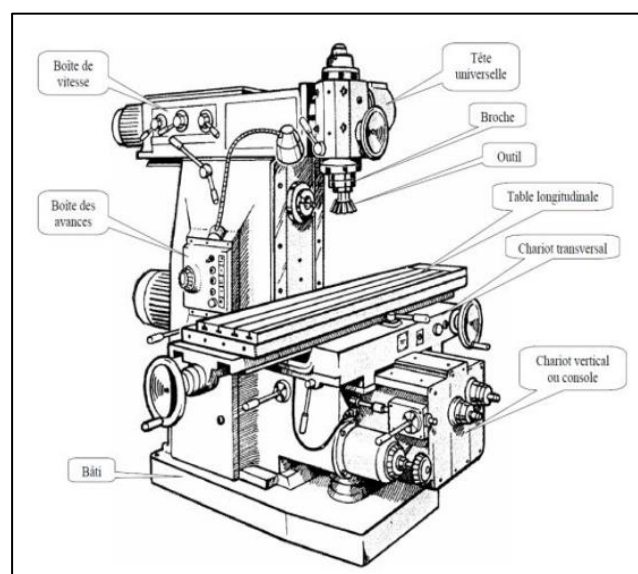


**Figure.30** : Principe de fraisage.

### III.3.1. La machine

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.

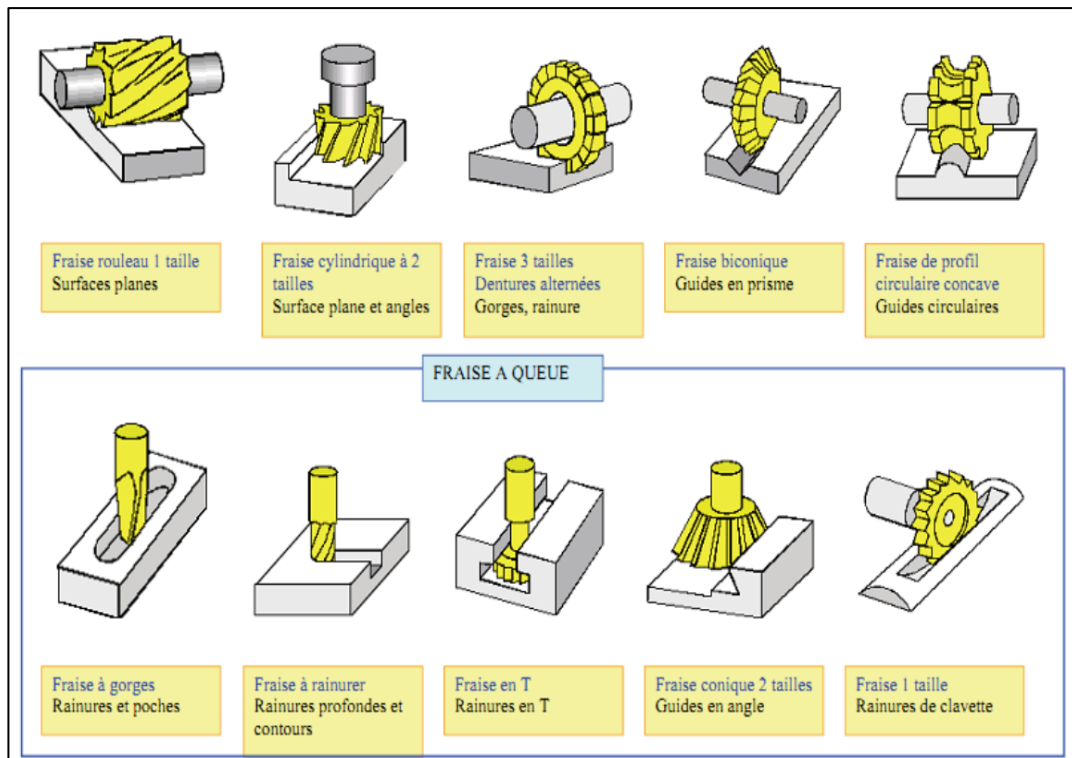
. La forme de la fraise est variable ; elle peut être cylindrique, torique, conique, hémisphérique ou quelquefois de forme encore plus complexe. La fraise et la pièce sont montées sur des glissières et peuvent se déplacer relativement suivant des coordonnées X Y ou Z (on parle alors de fraiseuse trois 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. Elles sont divisées en deux catégories, conventionnelles et machines à commandes numériques. Pour la première catégorie, il existe trois types de machine, verticale, horizontale et universelle. Pour la deuxième catégorie, les machines sont de types, trois et cinq axes.



**Figure.31** : Fraiseuse universelle.

### III.3.2. Les principales opérations de fraisage

En fraisage les outils comportent plusieurs arêtes tranchantes. Par rapport au tournage le déplacement selon les axes principaux de la machine (trois directions de travail) n'est plus réalisé par l'outil mais par la pièce qui est fixée dans un porte-pièce appelé étau. Le mouvement de coupe  $M_c$  est réalisé par l'outil.



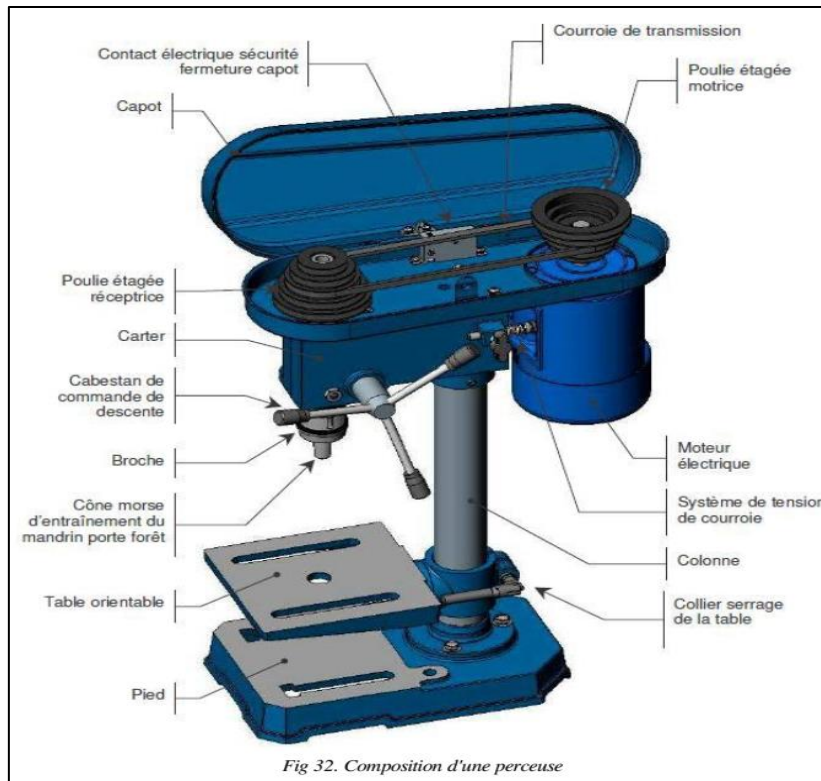
**Figure 32 :** Principales opérations de fraisage et outils associés.

### III.4 Le perçage

Le perçage est une opération d'usinage consistant à faire un trou dans une pièce. Ce trou peut traverser la pièce de part en part, on l'appelle trou débouchant ; ou bien ne pas la traverser, c'est alors un trou borgne.

La machine-outil la plus utilisée pour le perçage est la perceuse. Les perceuses peuvent être classées selon plusieurs types :

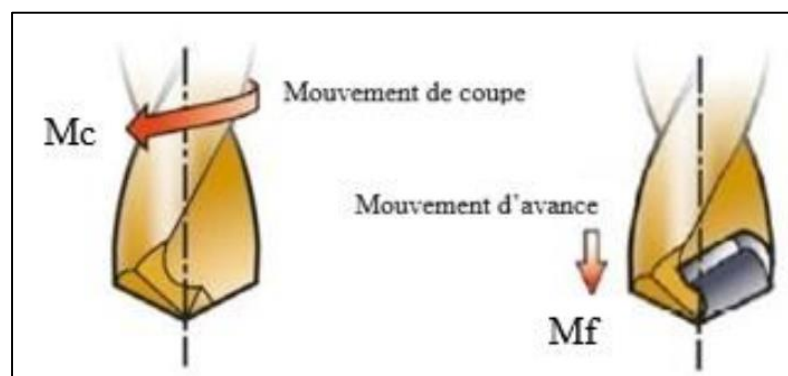
- Les perceuses sensibles ou d'établi
- Les perceuses à colonne
- Les perceuses radiales
- Les machines portatives à air comprimé ou électriques.



**Figure 33:** Composition d'une perceuse.

L'outil de coupe est appelé **Foret**. Pour réaliser un perçage sur une perceuse, deux mouvements relatifs sont nécessaires :

1. Un mouvement de coupe ( $M_c$ ) : Rotation du foret ;
2. Un mouvement d'avance ( $M_f$ ) : Mouvement rectiligne et parallèle à l'axe de l'outil.



**Figure .34 :** Mouvements de perçage

### III.5. Rectification

La rectification est un procédé d'usinage à enlèvement de copeaux. Il se fait par un outil rotatif à tranchants multiples appelle meule (bande abrasive) constituée de

particules coupantes agglomérées par un liant, chaque particule enlève un petit copeau quand l'une de ses arêtes se présente sur la pièce. Il s'agit de rectifier donc d'approcher une surface d'une forme parfaite (en général : plan, cylindre de révolution ou cône). Cette opération se fait généralement à grande vitesse ou le copeau est de très petite section. L'amélioration de l'état de surface est obtenue en utilisant des abrasifs de plus en plus fins. L'opération de rectification se réalise sur une machine dite, rectifieuse.

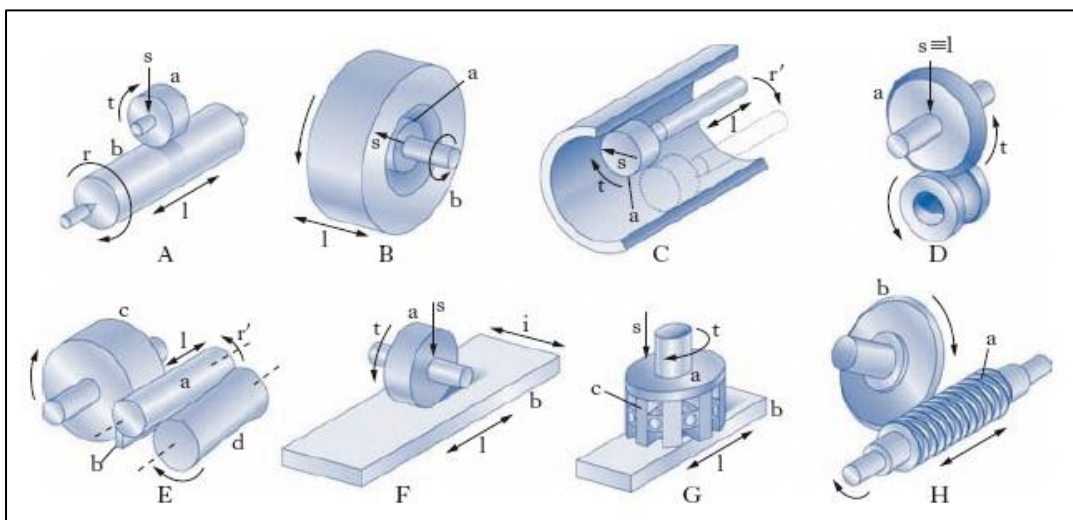
### III.5.1. La rectifieuse, une machine-outil de finition

La rectifieuse est une machine-outil utilisée pour effectuer des opérations de finition, souvent la rectification est caractérisée par une grande rigidité structurelle. Comme son nom l'indique, la rectifieuse effectue des opérations de rectification à l'aide d'outils appelés meules, caractérisées par un grain fin et extrêmement dur.

L'opération de rectification réalisée avec la rectifieuse est nécessaire pour obtenir une pièce parfaitement finie après avoir été usinée par un autre type de machine-outil comme une fraiseuse, un tour ou un centre d'usinage.

Selon le type d'opération ou la surface à traiter, il existe différentes rectifieuses, toutes disponibles sur le marché de l'occasion :

- Rectifieuses pour surfaces planes
- Rectifieuses pour surfaces cylindriques et coniques (internes & externes)
- Rectifieuses sans centres
- Rectifieuses spéciales pour vis et roues dentées



**Figure .35 :** Opérations de rectification

# **Chapitre. IV.**

## **Techniques d'Assemblage**

## IV.1. Introduction

Lorsqu'on souhaite produire ou fabriquer un objet, il est nécessaire de rassembler tous les éléments qui le constituent. Ces éléments peuvent être composés de matériaux et de formes variés, ce qui peut demander l'utilisation de différentes méthodes d'assemblage.

Dans le secteur industriel, il existe plusieurs techniques d'assemblage qui permettent de fixer les composants d'un produit entre eux : l'utilisation d'organes filetés, le collage, les soudures, le rivetage, et bien d'autres.

Assemblage des matériaux est un procédé permettant de lier entre elles plusieurs pièces pour former un ensemble. Le choix d'une solution d'assemblage dépend de :

- Coût
- Durée de vie
- Maintenabilité
- Encombrement
- Esthétique

## IV.2. Types d'assemblages

Chaque moyen d'assemblage peut être défini par cinq critères :

### IV.2.1. Assemblage complet ou partiel :

- Assemblage complet : Aucun mouvement possible entre les pièces assemblées ;
- Assemblage partiel : Mouvement(s) possible(s) entre les pièces assemblées.

#### Exemples :

- Un piston dans un cylindre composent un assemblage partiel ;
- Une culasse avec un bloc moteur composent un assemblage complet.

### IV.2.2. Assemblage démontable ou non démontable :

- Assemblage démontable : Il est possible de supprimer la liaison sans détériorer les pièces ou les éléments liés ;
- Assemblage non démontable (permanent) : Impossible de supprimer la liaison sans provoquer la détérioration des pièces ou des éléments liés.

#### Exemples :

- Une culasse avec le bloc moteur composent un assemblage démontable ;
- Les éléments du châssis d'un véhicule qui sont soudés composent un assemblage permanent (non démontable).

#### **IV.2.3. Assemblage élastique ou rigide :**

- Assemblage élastique : Un déplacement d'une pièce provoque la déformation d'un élément élastique (ressort, caoutchouc) ;
- Assemblage rigide : L'assemblage n'est élastique dans aucune direction de déplacement.

##### **Exemples :**

- Un silentbloc participe à la réalisation d'un assemblage élastique ;
- Un assemblage par éléments filetés (vis-écrou) est rigide.

#### **IV.2.4. Assemblage par obstacle ou par adhérence :**

- Assemblage par obstacle : Un élément fait obstacle au mouvement entre deux pièces
- Assemblage par adhérence : L'assemblage est obtenu par le phénomène d'adhérence dû au frottement entre les pièces.

##### **Exemples :**

- Une clavette réalise un assemblage par obstacle (elle empêche la rotation entre un arbre et un moyeu) ;
- Lorsque deux pièces sont montées serrées, l'assemblage est par adhérence.

#### **IV.2.5. Assemblage direct ou indirect :**

- Assemblage direct : Les pièces liées sont directement en contact. Il n'y a pas d'élément intermédiaire.
- Assemblage indirect : L'assemblage nécessite un ou plusieurs éléments intermédiaires ;

##### **Exemples :**

- L'assemblage entre une poulie et un arbre à l'aide d'une clavette est un assemblage indirect ;
- Un roulement à billes participe à un assemblage indirect.

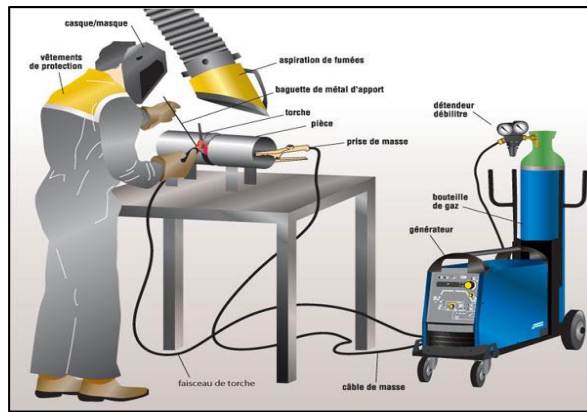
### **IV.3. Exemples d'assemblages**

#### **IV.3.1. Soudage**

Le soudage est un procédé d'assemblage qui assure la liaison permanente de divers éléments métalliques.

Il désigne deux techniques :

- Le soudage hétérogène.
- Le soudage autogène



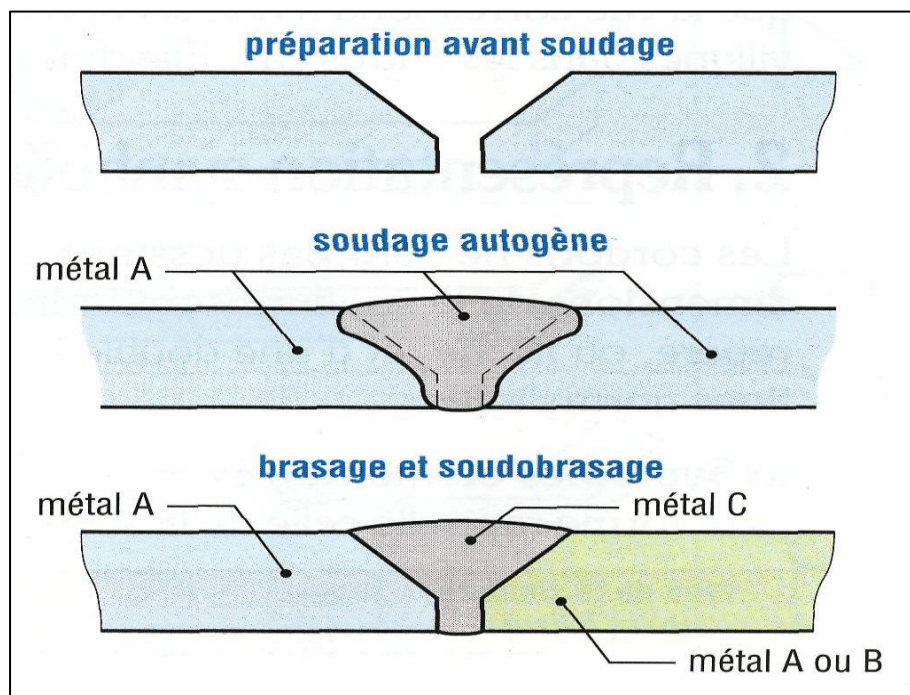
**Figure.36 : Le soudage**

**a- Le soudage hétérogène (le Brasage)**

Il consiste à introduire entre les éléments à assembler, un métal liquide (qui, après refroidissement, adhère fortement aux deux éléments).

**b- Le soudage autogène**

Le soudage autogène consiste à lier deux éléments d'un même métal par fusion locale. Les nombreux procédés de soudage autogène (appelé couramment, soudage).



**Figure .37 : Techniques de soudage**

**IV.3.1.2. Le procédé de soudage**

**a- Soudage par résistance**

Le procédé de soudage par résistance met en œuvre l'effet joule d'un courant électrique de forte intensité traversant les pièces à assembler, mise au contact l'une de l'autre.

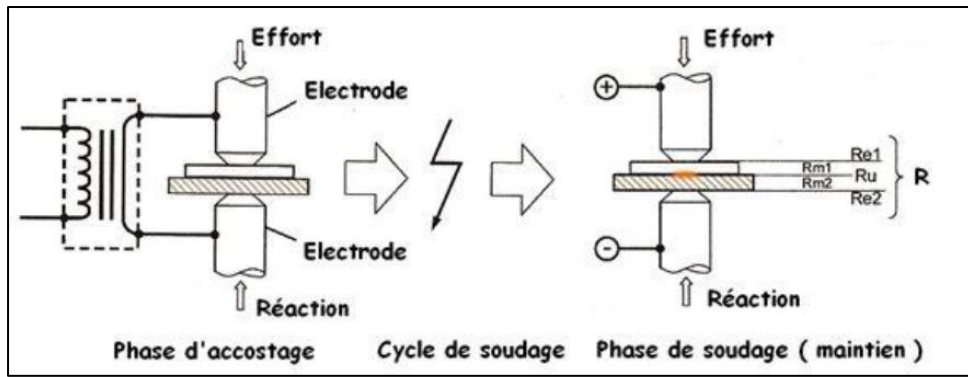


Figure .38 :: Soudure par points

### b- Soudage à la flemme

Ce type de soudage utilisant un chalumeau générant des températures élevées nécessaires au soudage des métaux

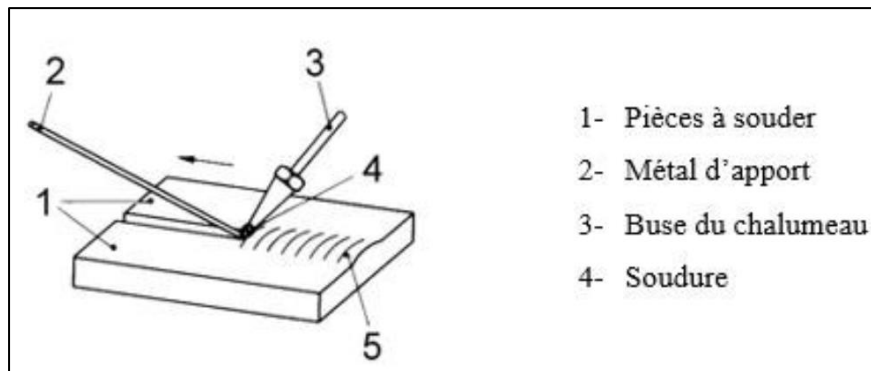


Figure.39 : Exécution d'une soudure au chalumeau

### c- Soudage à l'arc électrique :

Dans le soudage à l'arc électrique, l'énergie nécessaire pour la fusion des pièces à souder et pour la réalisation de l'assemblage est obtenue par un arc électrique. Cet arc est généré entre une électrode et la pièce à souder,

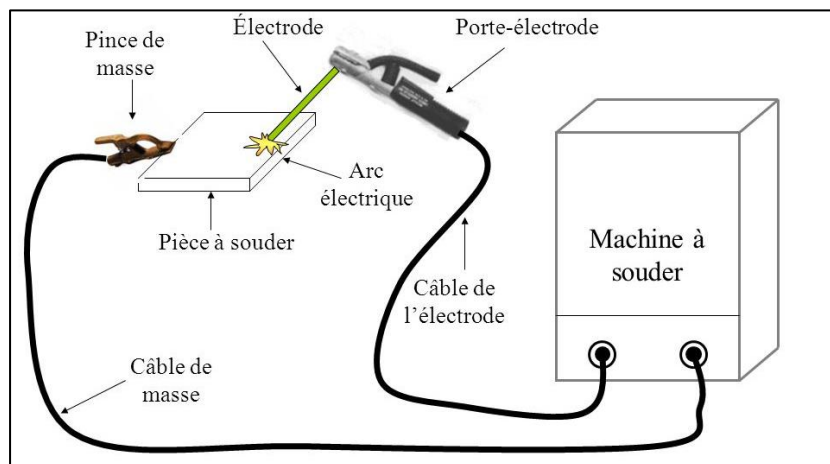


Figure.40 : Circuit électrique pour le soudage à l'arc

### IV.3.2. Rivetage

Un assemblage par rivets consiste à réunir un ensemble de pièces à l'aide de rivets. La liaison obtenue est fixe, indémontable sans détérioration de certaines pièces. Un rivet est constitué d'une tige cylindrique, pleine ou creuse, terminée à une extrémité par une tête de forme variable (voir figure). Après mise en place dans un trou préalablement percé, l'autre extrémité est refoulée et forme la rivure

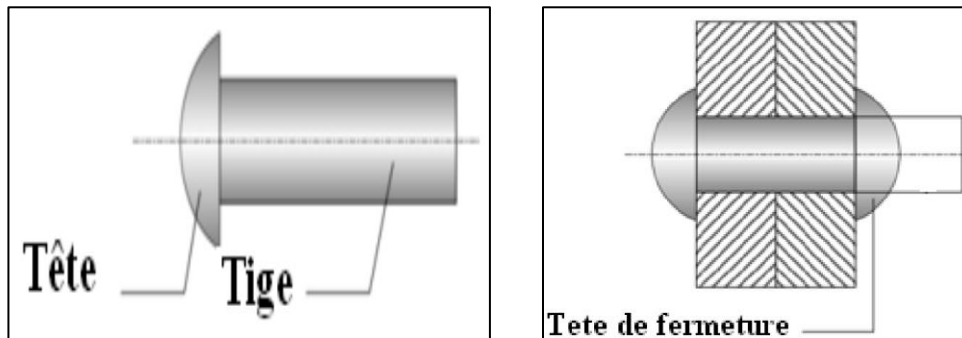


Figure.41 : Les assemblages par rivtage

#### Types de rivetages

- Les rivets creux sont utilisés dans l'assemblage de tôles minces.
- Les rivetages massifs sont employés pour l'assemblage de tôles épaisses.

### IV.3.3. Vissage et Boulonnage

Le boulonnage est une méthode d'assemblage mécanique démontable. Les boulons servent à créer une liaison de continuité entre éléments ou à assurer la transmission intégrale des efforts d'une partie à l'autre d'une construction.

Un assemblage fileté permet d'assurer un effort de pression entre pièces en vue de les immobiliser les unes par rapport aux autres, et souvent d'assurer une étanchéité

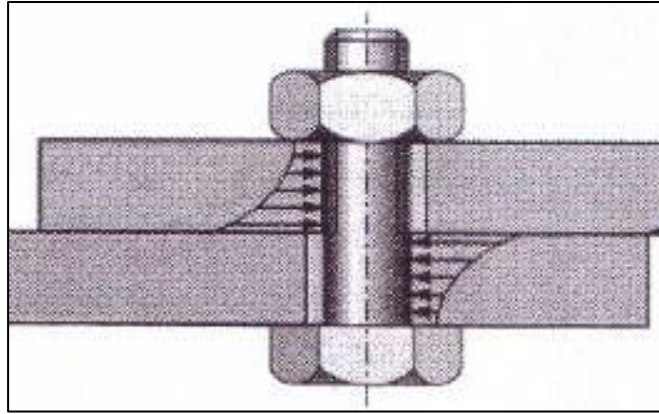
## **Boulon = vis + écrou**

**Vis** : pièce constituée d'une tige filetée sur tout ou partie de sa longueur, avec ou sans tête, mais comportant un dispositif d'entraînement ou d'immobilisation.

**Écrou** : pièce taraudée comportant un dispositif d'entraînement, et destinée à être vissée.

**Boulon** : ensemble constitué d'une vis à tête, et d'un écrou, et destiné à assurer un serrage entre la face d'appui de la tête, et celle de l'écrou.

**Goujon** : tige comportant un filetage à ses 2 extrémités et destinée à assurer un serrage entre la face d'une pièce dans laquelle l'un des extrémités vient s'implanter à demeure par vissage, et la face d'appui d'un écrou vissé à l'autre extrémité.

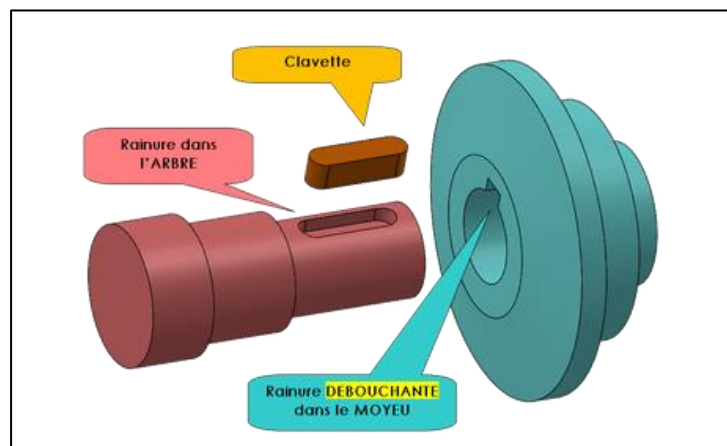


**Figure.42** : Les assemblages mécaniques amovibles (Boulonnage)

#### IV.3.4. Le clavetage

Une clavette est une pièce qui a pour fonction de lier en rotation deux pièces. Les clavetages forcés peuvent être considérés comme des liaisons par obstacle. Mais la stabilité de l'organe d'assemblage formant obstacle (clavette) est obtenue par coincement, donc par adhérence.

- Le clavetage est dit transversal ou longitudinal, suivant la position de la clavette.
- La liaison « complète » obtenue n'est pas apte à transmettre des efforts importants dans toutes les directions.
- 



**Figure.43** : Le clavetage

# Références

## Bibliographiques :

- 1- André Roos, Bernard, (1982). Milet Précis de Métallurgie Appliquée, Edition Lavoisier.
- 2- M. F. Ashby, M. Colombié, & S. Décarroux, (2000). Choix des matériaux en conception mécanique. Paris: Dunod
- 3- Michael F.Ashby, David R. H. Jones; Matériaux : 2. Microstructures, mise en œuvre et conception; Dunod; 2008; 3<sup>ème</sup> édition; ISBN 978-2-10-051768-8
- 4- Michel Dupeux ; Aide-Mémoire Science des Matériaux ; Dunod ; 2004; ISBN 2-10-005458-9
- 5- [https://elearn.univ-iskra.dz/file.php/74/metaux\\_et\\_alliages\\_non\\_ferreux.pdf](https://elearn.univ-iskra.dz/file.php/74/metaux_et_alliages_non_ferreux.pdf)
- 6- <https://elearn.univ-biskra.dz/mod/resource/view.php?id=820>
- 7- [https://elearn.univ-iskra.dz/file.php/74/metaux\\_et\\_alliages\\_non\\_ferreux.pdf](https://elearn.univ-iskra.dz/file.php/74/metaux_et_alliages_non_ferreux.pdf)
- 8- Jean-Paul Bailon, Jean-Marie Dorlot ; Des Matériaux ; Presses Internationales Polytechnique; 2000; 3<sup>ème</sup> édition; ISBN 2-553-00770-1
- 9- Découpage-Emboutissage-Pliage - Fiches techniques, CETIM
- 10- Fabrication Mécanique, Tome I, R. Butin et M. Pinot. Edition Foucher Paris.
- 11- Brek Samir (2012) « Modélisation numérique de la propagation de l'endommagement et de la rupture dans les matériaux composites stratifiés sous sollicitations thermomécaniques et cycliques », Thèse de Doctorat de l'Université Hadj Lakhdar de Batna, Algérie.
- 12- Guide pratique de l'Usinage : Tome 2, Tournage de J Jacob et Yves Malesson
- 13- <https://www.scribd.com/document/352146569/1-Cours-plier-Emboutissage-pdf>
- 14- <https://fullmetaltechno.wordpress.com/2012/08/13/plier-de-toles-vision-es-differentsprocedes/>
- 15- Berthelot J.M. (1999) « Matériaux composites : Comportement mécanique et analyse des structures».
- 16- Laurent. G. (2008) « Généralités sur les matériaux composites », ECN, Centre Nantes.
- 17- Maurice REYNE, « Procédés d'assemblage des plastiques », Techniques de l'Ingénieur, traité Plastiques et Composites, AM 3 755.