

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة عمارثليجي - الأغواط

Faculté : Technologie

Département : Tronc commun de sciences et technologies

Domaine : Sciences et technologies

Documents de cours

Destiné aux étudiants de deuxième

année LMD ST

# Technologie De Base

## Cours

Présenté par : BOURENNANE Hocine

Grade MCB, Université de Laghouat

Email : [ho.bourennane@lagh-univ.dz](mailto:ho.bourennane@lagh-univ.dz)

Année universitaire : 2024 / 2025

# Table des Matières

## Chapitre I : Matériaux

Introduction.....	02
1. Fonte.....	02
1. 1. Fonte Variante 1 (NF EN 1560) .....	03
1. 2. Fonte Variante 2 (NF EN 1560).....	04
1. 3. Fonte Variante 3 (NF EN 1560) 4	
2. Aciers.....	05
2.1. Aciers de construction d'usage courant .....	05
3. Aciers non alliés.....	06
3.1. Aciers faiblement alliés .....	07
4. Aluminium et alliages d'aluminium moulés NF EN 1706 .....	07
4.1. Aluminium et alliages d'aluminium corroyés .....	08
4.2. Aluminium non allié pour pièces de fonderie et lingots.....	09
4.3. Aluminium allié pour pièces de fonderie.....	09
5. Cuivre et Alliages.....	10
6. Polymères.....	11
6. 1. Thermoplastique.....	12
6. 2. Thermodurcissable.....	12
6. 3. Elastomères.....	13
Conclusion.....	13

## Chapitre II : Procédés d'obtention des pièces sans enlèvement de matière

Introduction.....	15
1. Moulage.....	15
1.1. Moulage en Sable.....	20
1.2. Moulage en carapace (en coquille).....	21
1.3. Moulage avec moules en plâtre.....	21
2. Moulage avec moules non permanents.....	22

2.1. Moulage à la cire perdue.....	22
3. Moulage avec moules permanents.....	23
3.1 Moulage par gravité.....	23
3.2 Moulage sous pression.....	24
3.3 Moulage par centrifugation.....	24
3.4 Moulage sous vide.....	25
3.5 Moulage sous basse pression.....	26
4. Moulage avec procédés spéciaux.....	27
4.1. Moulage par compression.....	27
4.2. Moulage par injection.....	27
5. Forgeage.....	28
6. Marteau presse et matrice de forgeage.....	30
6.1. Marteaux de forgeage.....	30
6.2. Presses de forgeage.....	31
Conclusion.....	32

### **Chapitre III : Procédés d'obtention des pièces par enlèvement de matière**

Introduction.....	34
1. Définition.....	34
2. Types d'opérations d'usinage.....	35
2. 1.Tournage .....	36
2. 2.Perçage .....	36
2. 3.Fraisage .....	36
2. 4.Outils de coupe.....	37
3. Conditions de coupe .....	37
3.1. Puissance de coup .....	39
3.2. Conditions de coupe en tournage .....	40
4. Tournage et opérations de tournage .....	41
4.1. Machine de tournage (tour) .....	41
4.2. Opérations de tournage .....	42
4.2.1. Dressage .....	42
4.2.2. Chariotage conique .....	42

4.2.3. Chariotage de contour .....	42
4.2.4. Tournage de forme.....	43
4.2.5. Alésage .....	43
4.2.6. Perçage .....	44
5. Machines de fraisage (fraiseuses) .....	44
5. 1. Fraiseuse horizontale .....	44
5.2. Fraiseuse verticale .....	45
5.3. Fraisage et opérations de fraisage .....	45
5.3.1. Fraisage Surfaçage .....	46
5.3.2. Fraisage Rainurage .....	46
5.3.3. Fraisage latéral .....	47
5.3.4. Fraisage de forme .....	47
5.3.5. Fraisage de profil .....	47
5.3.6. Fraisage en descente .....	48
5.3.7. Fraisage de face classique .....	48
5.3.8. Fraisage en bout .....	48
5.3.9. Fraisage de profilés .....	49
5.3.10. Fraisage de poche .....	49
Conclusion .....	49

## **Chapitre IV : Technique d'assemblage**

Introduction .....	51
1. L'assemblage .....	51
2.1 Assemblage complet ou partiel .....	51
2.1.1 Assemblage complet .....	51
2.1.2 Assemblage partiel .....	52
2. Assemblage démontable ou non démontable (permanent) .....	52
2.1 Assemblage démontable .....	52
2.2 Assemblage non démontable .....	52
3. Assemblage élastique ou rigide .....	53
3.1 Assemblage élastique .....	53
3.2 Assemblage rigide .....	53
4. Assemblage par obstacle ou par adhérence .....	53

4.1 Assemblage par obstacle .....	53
4.2 Assemblage par adhérence .....	54
5. Assemblage direct ou indirect .....	54
5.1 Assemblage direct .....	54
5.2 Assemblage indirect .....	54
6. Moyens d'assemblages démontables .....	55
6.1 Par élément filetés .....	55
6.1.1 Vis d'assemblage .....	55
6.1.2 Boulon .....	55
6.1.3 Goujon .....	56
7. Vis de pression .....	56
8. Par freinage des vis et écrou .....	56
9. Clavettes .....	57
10. Moyens d'assemblages non démontables .....	58
11. Soudage .....	58
11.1 Soudage autogène .....	58
11.2 Brasage .....	59
11.3 Soudage électrique par résistance .....	59
Conclusion .....	60
Références Bibliographiques.....	61

# Objectif

## **Chapitre I:**

- Définir ce qu'est un matériau dans le contexte des sciences et de l'ingénierie.
- Identifier les différentes familles de matériaux (métaux, polymères, céramiques, composites).
- Comprendre les propriétés physico-chimiques influençant le choix des matériaux.

## **Chapitre II:**

- Expliquer l'influence des procédés de mise en forme sur les propriétés des pièces fabriquées.
- Identifier les principales techniques de mise en forme selon les familles de matériaux.
- Comprendre les principes physiques et technologiques sous-jacents à chaque procédé.

## **Chapitre III:**

- Définir le principe général de l'usinage et ses objectifs dans la fabrication mécanique.
- Présenter les principales méthodes d'usinage : usinage.
- Optimiser les paramètres d'usinage pour améliorer la qualité des pièces et l'efficacité du processus.

## **Chapitre IV:**

- Comprendre le rôle de l'assemblage dans la conception de systèmes mécaniques.
- Identifier les différentes techniques d'assemblage par transformation mécanique.
- Savoir distinguer les assemblages avec ou sans moyen d'assemblage.
- Choisir les méthodes d'assemblage appropriées selon le type de pièces et l'application visée.

## **Pré-requis :**

Pour aborder ce module, l'apprenant doit avoir :

### **1. Notions de base en physique et chimie :**

- Connaître les états de la matière (solide, liquide, gaz).
- Comprendre les notions de liaison chimique, structure atomique et moléculaire.
- Avoir des bases sur les propriétés physiques (densité, conductivité, dureté, etc.).

### **2. Connaissances élémentaires en mécanique générale :**

- Comprendre les efforts mécaniques (traction, compression, cisaillement, torsion).
- Savoir lire un dessin technique ou une pièce simple.

### **3. Sensibilisation aux procédés industriels :**

- Avoir une idée générale du fonctionnement d'un atelier de fabrication (machines-outils, pièces usinées, assemblage).
- Connaître quelques exemples de matériaux courants (acier, plastique, aluminium, etc.).

# *Chapitre I*

# Matériaux

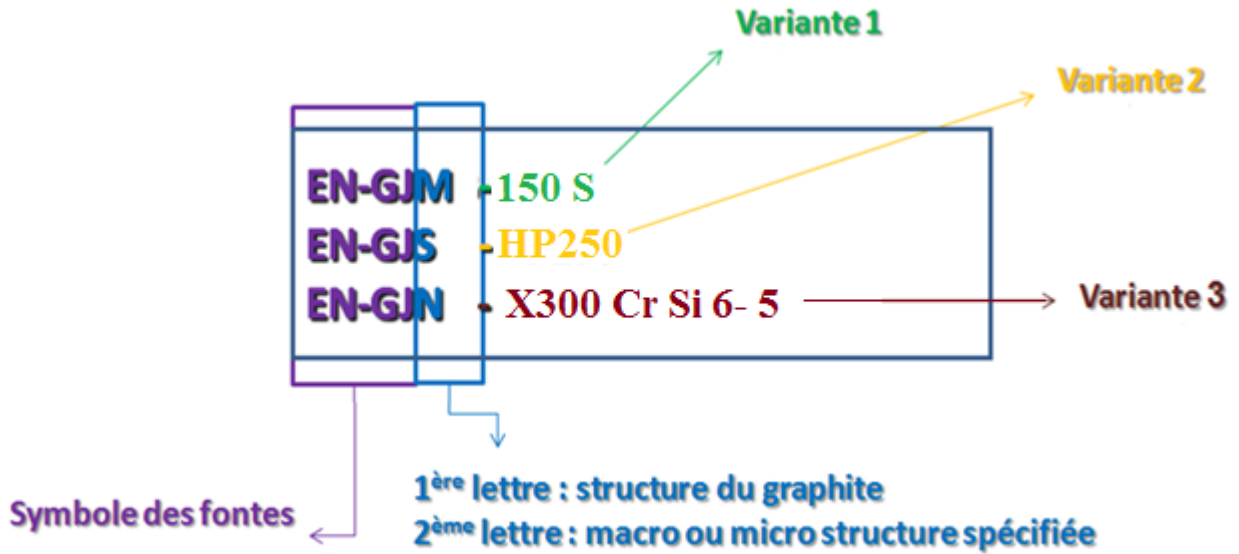
## **Introduction :**

Un matériau est toute substance utilisée pour fabriquer un objet ou une pièce entrant dans un ensemble plus vaste. Il s'agit d'une matière première transformée ou utilisée en raison de propriétés spécifiques répondant à un usage déterminé. Les caractéristiques chimiques, la forme physique (phases présentes, granulométrie, géométrie des particules), ainsi que l'état de surface des constituants jouent un rôle fondamental dans les propriétés finales du matériau.

Les matériaux se classent en quatre grandes familles, chacune ayant des performances et des applications particulières. En science des matériaux, le terme « matériau » est utilisé de façon générique pour désigner toute matière, substance ou structure (solide, liquide ou fluide), y compris des éléments courants comme l'eau, l'air ou le sable. Certains matériaux aux comportements complexes, comme les viscoélastiques, sont même qualifiés de fluides à mémoire.

## **2. Fonte:**

La fonte est un alliage de fer et de carbone, contenant généralement plus de 2 % de carbone. Elle est obtenue par fusion dans un haut-fourneau et se distingue par sa grande dureté, sa résistance à la compression, mais aussi par sa fragilité (peu résistante aux chocs). La fonte est facile à couler dans des moules, ce qui en fait un matériau couramment utilisé pour la fabrication de pièces complexes comme les blocs moteurs, les plaques d'égout ou les radiateurs.



Le symbole EN signifie que ce matériau appartient à la notation européenne.

La lettre G fait référence à la fonte en allemand et la lettre J au lieu de I fait référence à la fonte en anglais.

### 2. 1. Fonte Variante 1 (NF EN 1560) :

#### Fonte à graphite lamellaire



Mode de préparation de l'échantillon	
S	Echantillon coulé séparément
U	Echantillon attenant
C	Echantillon prélevé sur une pièce

Des indications peuvent-êtré ajoutées après un tiret :

-allongement minimal exigé en %. Ex : EN-GJS-400-22C;

-la résilience minimale exigée. Ex : EN GJS-350-19U-RT.

RT : Pour essai effectué à température ambiante.

LT : Pour essai effectué à basse température.

## 2. 2. Fonte Variante 2 (NF EN 1560):

Fonte à graphite sphéroïdal

**EN-GJS-HB 250**

Dureté de Brinell min 250

Dureté :  
B: Brinell; V : Vickers; R: Rockwell

- EN-GJS-HB 250

- EN-GJL-HV 190

## 2. 3. Fonte Variante 3 (NF EN 1560) :

Fonte sans graphite

3% de carbone  
6% de chrome ; 4% de nickel

**EN-GJN-X 300 Cr Ni 6 - 4**

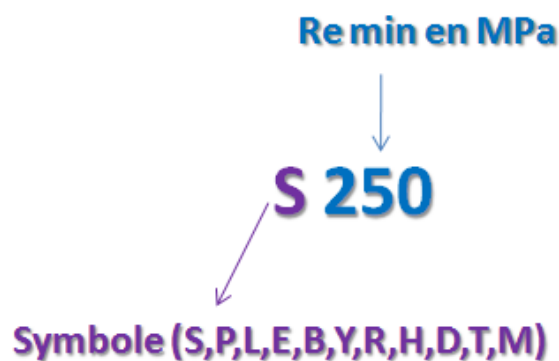
Indication de la désignation  
chimique de la fonte

### 3. Aciers :

Les aciers sont des matériaux les plus importants utilisés dans l'industrie, car cela consiste en un mélange de fer et de carbone avec une quantité inférieure à 2% (pourcentage de carbone). L'acier ferreux se compose de deux familles principales, les aciers non alliés et les aciers alliés (des éléments chimiques sont ajoutés ou d'autres minéraux sans ajouter de carbone au fer).

#### 3.1. Aciers de construction d'usage courant:

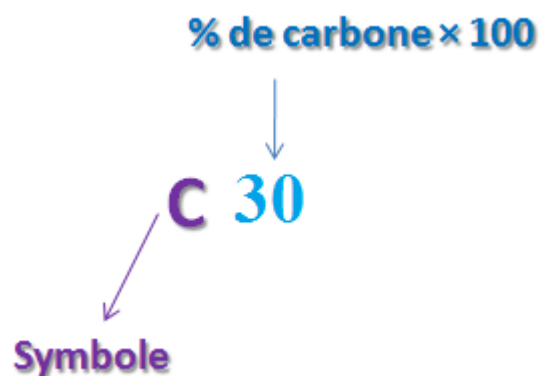
- Les aciers de construction d'usage courant sont des aciers non alliés spécifiquement conçus pour :
- La construction métallique (charpentes, ponts, bâtiments),
- La fabrication de pièces mécano-soudées,
- Le génie civil (poutres, profilés, tubes, platines, etc.).
- Ils sont normalisés principalement selon la norme EN 10025 (aciers de construction pour travaux à chaud).



Symbole	Désignation
G	Si nécessaire, précède la nuance de l'acier lorsqu'il est spécifié sous forme d'une pièce moulée
S	aciers de construction
P	aciers pour appareil à pression
L	aciers pour tubes de conduite
E	aciers de construction mécanique
B	aciers à béton
Y	aciers à béton
R	aciers pour ou sous forme de rails
H	produits plats laminés à froid, acier haute résistance pour l'emboutissage
D	produits plats pour formage à froid (sauf ceux précisés en H)
T	fer noir, fer blanc, fer chromé (aciers pour emballage)
M	aciers magnétiques

#### 4. Aciers non alliés :

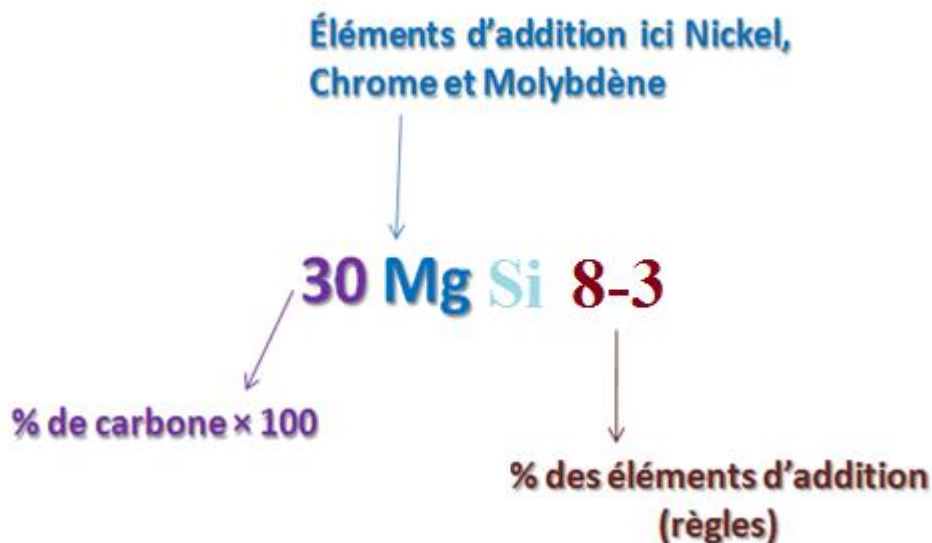
Un acier non allié (ou acier carbone) est un alliage de fer et de carbone, avec de très faibles quantités d'autres éléments (généralement  $\leq 0,5$  % chacun). Il ne contient pas d'éléments d'alliage ajoutés intentionnellement en quantités significatives (contrairement aux aciers faiblement ou fortement alliés).



#### **4.1. Aciers faiblement alliés :**

Les aciers faiblement alliés sont des aciers dont la teneur en éléments d'alliage (autres que le fer et le carbone) est inférieure à 5 % en masse.

Ils représentent un compromis économique entre les aciers non alliés (simples) et les aciers fortement alliés (plus coûteux)



Les symboles chimiques ainsi que les teneurs sont séparés par un trait d'union, alors que lors de l'ajout des éléments et des quantités ajoutées sont dans l'ordre décroissant.

Les valeurs indiquant les teneurs des éléments d'alliage représentent les valeurs moyennes multipliées par un coefficient.

#### **5. Aluminium et alliages d'aluminium moulés NF EN 1706:**

Les alliages d'aluminium moulés sont des matériaux métalliques obtenus par coulée de l'aluminium liquide (pur ou allié) dans un moule pour donner directement la forme finale de la pièce.

Ils sont définis par la norme NF EN 1706 en Europe, qui spécifie :

Leur composition chimique,

Leurs propriétés mécaniques minimales,

Symbole des produits moulés  
(cast)

Symboles chimiques de  
l'alliage

**EN AC-6061 [Al Mg1 SiCu]**

Symbole de  
l'aluminium

Composition chimique



### 5.1. Aluminium et alliages d'aluminium corroyés:

Aluminium et alliages d'aluminium corroyés désignent une catégorie de matériaux métalliques qui comprennent de l'aluminium pur ou des alliages d'aluminium ayant subi un corroyage, c'est-à-dire une déformation plastique à l'état solide (par laminage, extrusion, forgeage, etc.) dans le but d'améliorer leurs propriétés mécaniques (résistance, dureté, etc.).

Symbole des produits corroyés

Symboles chimiques de  
l'alliage

**EN-AW-6061 [Al Mg1 SiCu]**

Symbole de  
l'aluminium

Composition chimique

## 5.2. Aluminium non allié pour pièces de fonderie et lingots :

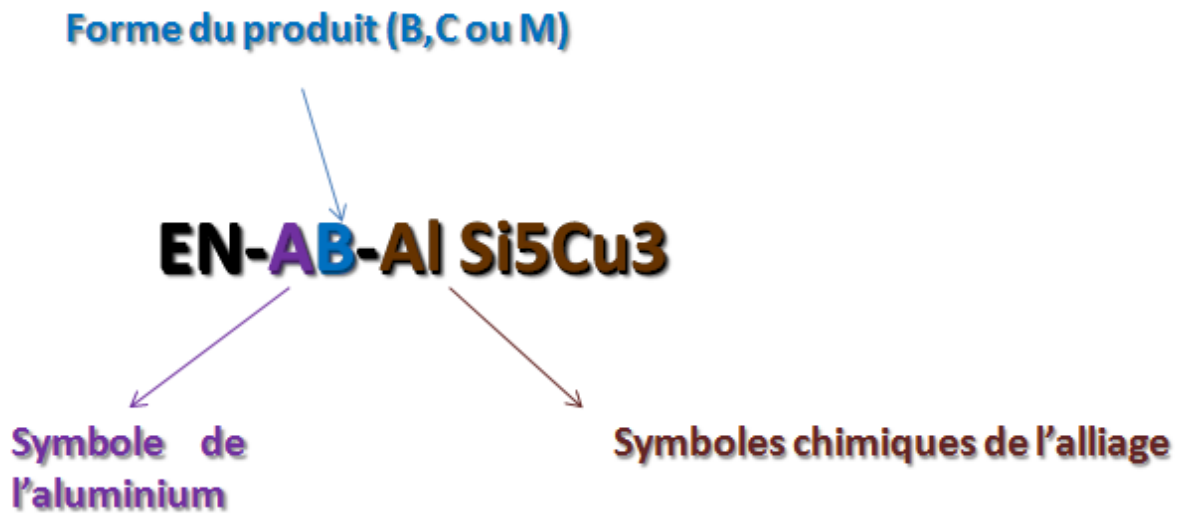
L'aluminium non allié pour pièces de fonderie et lingots est un aluminium pur, contenant très peu ou pas d'éléments d'alliage (généralement moins de 0,1 % de chaque impureté). Utilisé sous forme liquide pour le moulage ou sous forme solide en lingots, il est principalement destiné à des applications où ses propriétés naturelles — légèreté, bonne conductivité thermique et électrique, résistance à la corrosion — sont suffisantes. Ce type d'aluminium est couramment employé pour la fabrication de pièces moulées simples ou comme matière première dans la production d'alliages.



<b>B</b>	Lingots
<b>C</b>	Pièce moulée
<b>M</b>	Alliage mère

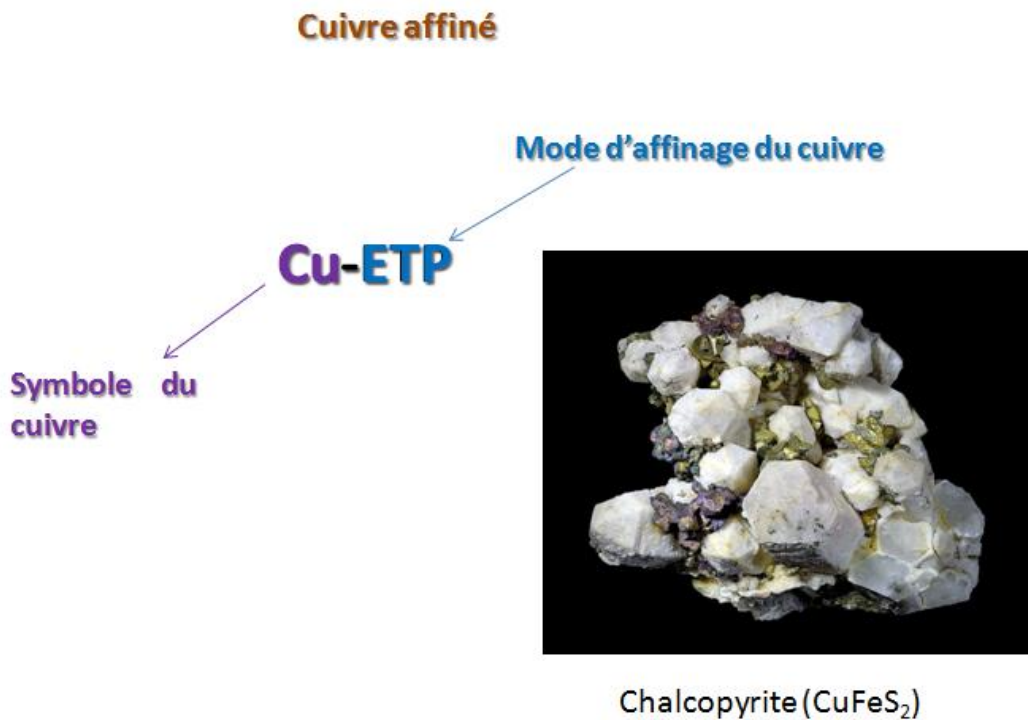
## 5.3. Aluminium allié pour pièces de fonderie:

L'aluminium allié pour pièces de fonderie est un aluminium auquel on ajoute intentionnellement d'autres éléments (comme le silicium, le cuivre, le magnésium ou le zinc) afin d'améliorer ses propriétés mécaniques, sa résistance à la corrosion, sa coulabilité ou sa résistance thermique. Ces alliages sont spécialement formulés pour la fabrication de pièces moulées par différents procédés de fonderie (gravité, sous pression, sable, etc.). Ils permettent de produire des pièces techniques, légères et performantes pour des secteurs variés comme l'automobile, l'aéronautique ou l'électroménager.



## **6. Cuivre et Alliages :**

Le cuivre est un métal rouge-orangé connu pour sa grande conductivité électrique et thermique, ainsi que sa bonne résistance à la corrosion. Il est souvent utilisé pur ou en alliage avec d'autres éléments (comme le zinc, l'étain, le nickel ou l'aluminium) pour améliorer certaines de ses propriétés. Les alliages de cuivre les plus courants sont le laiton (cuivre + zinc) et le bronze (cuivre + étain). Le cuivre et ses alliages sont largement utilisés dans l'électricité, la plomberie, les pièces mécaniques, les instruments de musique et les applications décoratives en raison de leur facilité de mise en forme, de leur durabilité et de leurs performances techniques.



## 7. Polymères :

Les polymères sont des matériaux constitués de molécules très longues, formées par la répétition de petites unités appelées monomères. Ils peuvent être naturels (comme le caoutchouc, la cellulose ou les protéines) ou synthétiques (comme le plastique, le nylon ou le polyester). Les polymères sont utilisés dans de nombreux domaines en raison de leurs propriétés variées : légèreté, souplesse, résistance, isolation électrique ou thermique.



**Figure 1** Emballages colorés en plastique

### **7. 1. Thermoplastique :**

Un thermoplastique est un type de plastique qui devient mou ou liquide lorsqu'il est chauffé, puis redevient solide en refroidissant, sans subir de modification chimique. Ce processus est réversible et répétable, ce qui permet de le mouler, souder ou recycler facilement. Les thermoplastiques sont largement utilisés dans l'industrie pour fabriquer des objets du quotidien (emballages, pièces automobiles, équipements médicaux, etc.). Parmi les plus connus, on trouve le polyéthylène (PE), le polypropylène (PP) ou encore le PVC.



**Figure 2** Composants en plastique (**Thermoplastique**) pour assemblage mécanique

### **7. 2. Thermodurcissable :**

Un matériau thermodurcissable est un plastique qui, une fois chauffé et durci, ne peut plus être ramolli par une nouvelle montée en température. Ce durcissement est irrémédiable, car il résulte d'une réaction chimique qui crée une structure rigide et stable. Les thermodurcissables sont souvent très résistants à la chaleur, aux produits chimiques et à la déformation, ce qui les rend idéaux pour des applications techniques (carrosserie, circuits imprimés, adhésifs, etc.). Exemples : époxy, bakélite, polyester insaturé.



**Figure 3** Composants en plastique (Thermoplastique)

### **7. 3. Elastomères :**

Les élastomères sont des polymères souples et élastiques, capables de s'étirer fortement sous l'effet d'une force, puis de reprendre leur forme initiale lorsqu'on les relâche. Cette propriété vient de leur structure moléculaire particulière, faite de longues chaînes flexibles légèrement réticulées. Les élastomères peuvent être naturels (comme le caoutchouc naturel) ou synthétiques (comme le néoprène ou le silicone). Ils sont largement utilisés dans la fabrication de pneus, joints, semelles, gants, etc.



**Figure 4** Soufflet en caoutchouc flexible pour protection mécanique

### **Conclusion :**

Les matériaux désignent toute substance utilisée en fonction de ses propriétés spécifiques pour répondre à un usage défini. Qu'il soit solide, liquide ou fluide, un matériau se caractérise par sa composition chimique, sa structure physique et son état de surface, qui déterminent ses performances finales. Classés en grandes familles selon leurs propriétés et applications, les matériaux sont au cœur de nombreux domaines scientifiques et techniques. Leur étude permet d'adapter la matière à nos

besoins, voire de concevoir des matériaux innovants aux comportements complexes, capables de s'adapter à leur environnement, comme les fluides à mémoire.

# ***Chapitre II***

## **Procédés d'obtention des pièces sans enlèvement de matière**

## **Introduction :**

Les procédés de mise en forme influencent directement les caractéristiques morphologiques et mécaniques des pièces fabriquées. Il est donc essentiel de maîtriser les principes physiques et technologiques qui les régissent afin de concevoir des produits adaptés et performants.

Le choix du procédé dépend à la fois du matériau utilisé et des exigences du produit fini. Chaque procédé est généralement spécifique à une famille de matériaux et impose des règles de conception particulières. Inversement, certaines caractéristiques géométriques ou fonctionnelles des pièces peuvent conditionner le procédé à adopter.

## **2. Moulage:**

Le moulage est un processus ou une technique par lequel l'obtention des pièces s'effectue en remplissant la matière en liquide dans un moule ou une empreinte qui a la forme de cette pièce ou de ce modèle ce qui nous permet de produire une ou plusieurs copies de motif.



**Figure 1** Pièce moulée en aluminium

La fonderie est un processus de fusion de matériaux métalliques où il est coulé dans un moule afin de reproduire la forme de pièce coulée.



**Figure 2** Coulée de métal en fonderie pour la fabrication de pièces

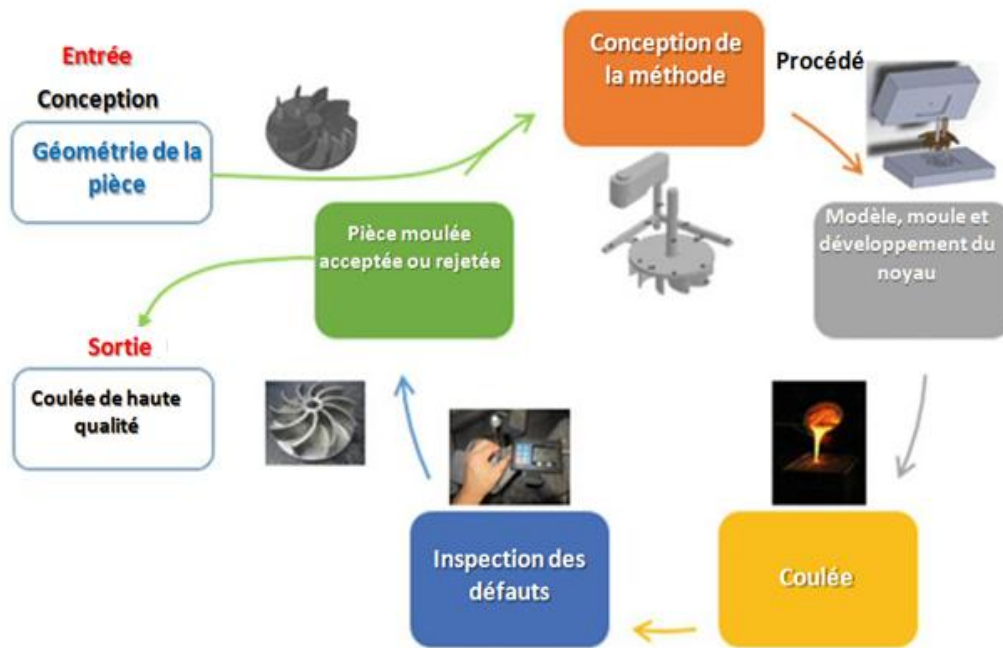
Le moulage est l'un des premiers procédés de fabrication primitifs qui a été développé depuis des décennies et basé sur les techniques d'utilisation du feu. Le début du processus de production de pièces métalliques remonte à environ 10000 ans plutôt que le moulage. La fusion du cuivre fondu pour le moulage remonte à 5000 et 3000 avant JC. C'est ce qu'on appelle la période chalcolithique due.

Les humains ont utilisé, pour la première fois, les moules de pierres lisses, ce qui a donné lieu à des produits de coulée fine qui pourraient être observés dans les musées et les expositions archéologiques.

Des moules simples et à multiples facettes (sculptés des deux côtés d'un morceau de pierre rectangulaire) ont été développés à partir de pierres pour produire des moulages qui ne sont pas nécessairement plats. Des éléments en alliage ont été ajoutés au cuivre vers 3000 avant JC, au le début de l'ère du bronze.

Le processus de moulage des pièces est l'une des méthodes les plus simples et directes que les gens utilisent pour fabriquer et produire des formes quasi nettes. Ce

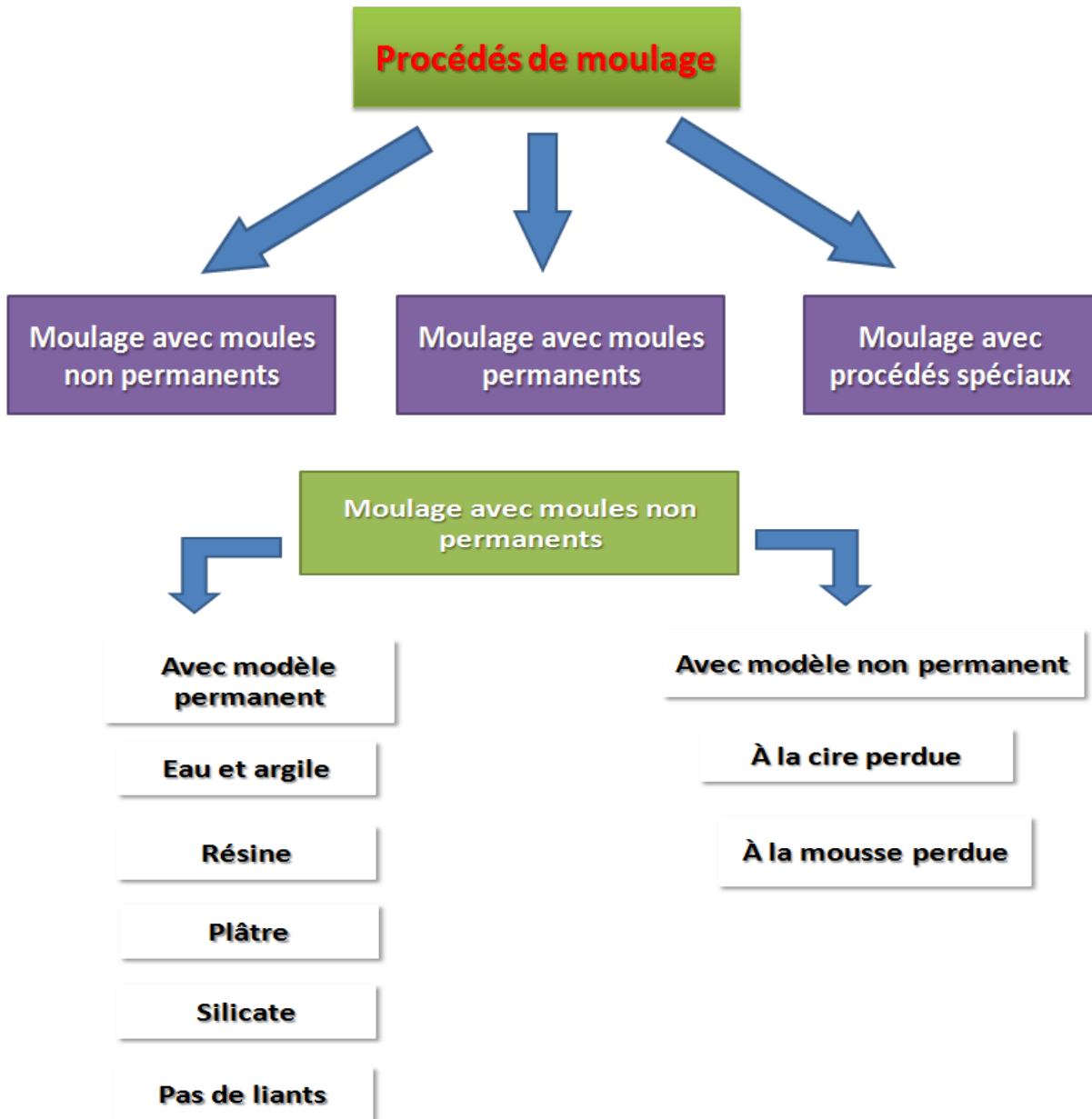
procédé nécessite une cavité dans le moule (en sable, en céramique ou même en acier) de la forme qui a été choisie, puis la matière fondue est coulée **ce qui** permet d'obtenir le produit moulé.

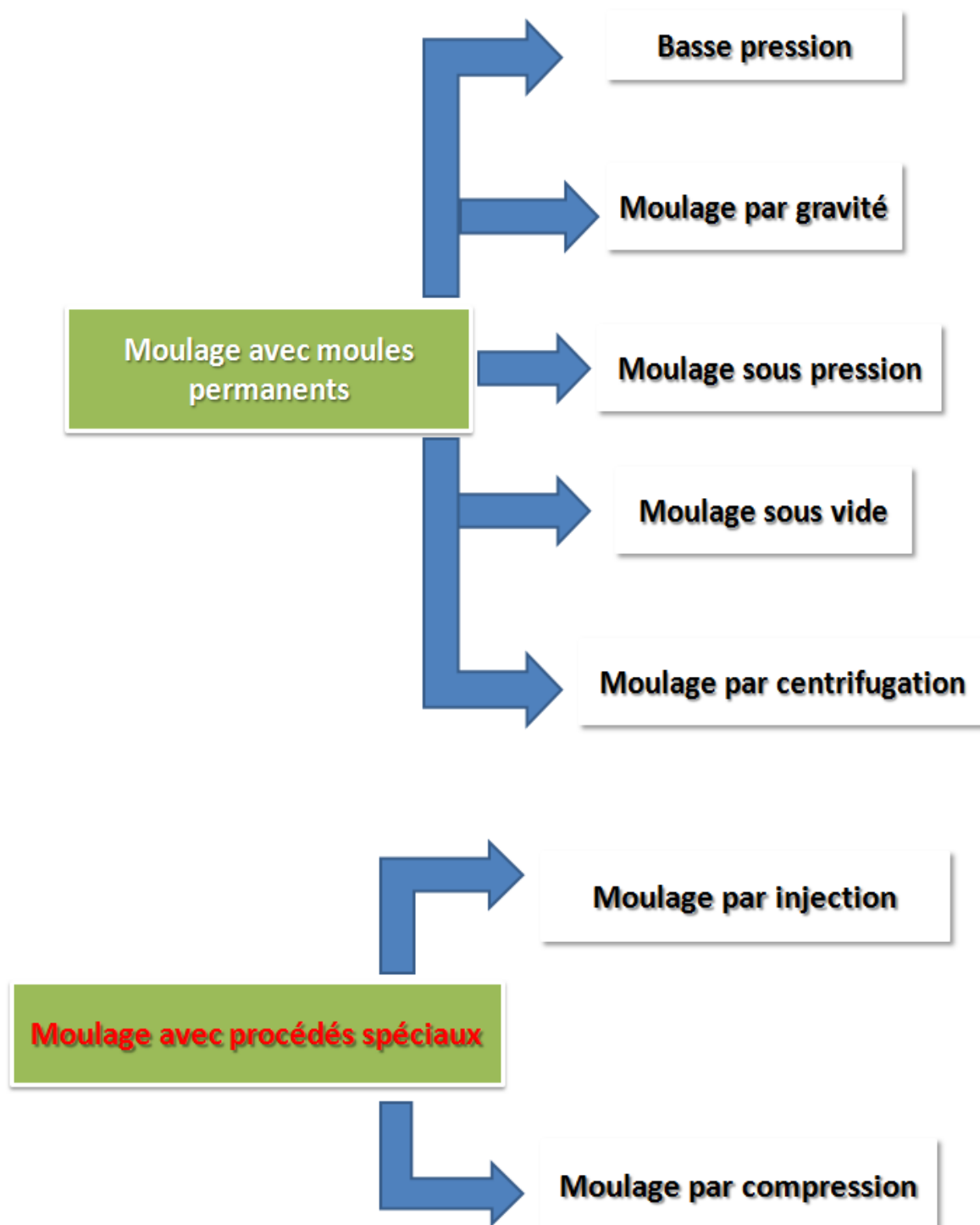


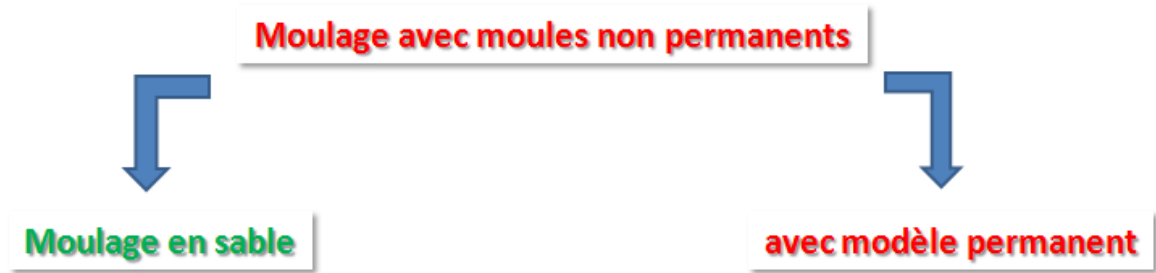
**Figure 3** Processus de fabrication par coulée

Les processus de moulage modernes peuvent être distingués sur la base.

- 1- le type de moule tel que sable, permanent ...etc.
- 2-l'écoulement de matière fondue dans la cavité du moule sous l'influence de la gravité, du vide et de la pression.
- 3-état du métal c'est-à-dire fraction de métal qui est liquide,
- 4-l'état de la cavité de moule elle-même tel que solide, gaz, air ou vide







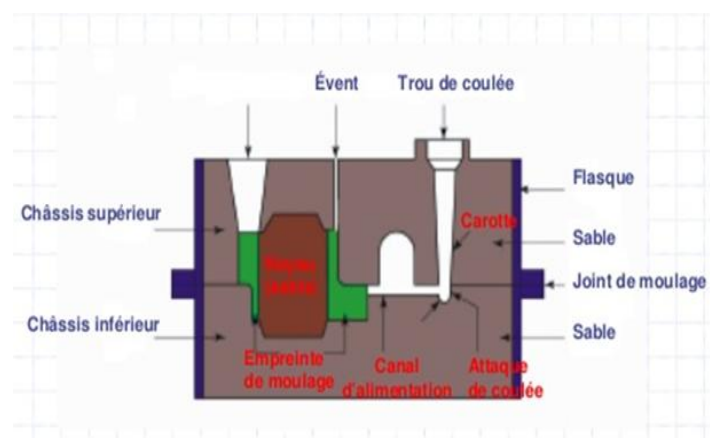
## 2.1. Moulage en sable :

Le moulage au sable est un procédé courant et très populaire dans l'industrie du moulage métallurgique et est utilisé en particulier dans le moulage de pièces relativement complexes et à la production de gros composants ainsi que de petits lots.

Le processus de moulage au sable consiste à remplir le sable humide autour d'un motif, puis à le retirer pour former un moule pour nous, puis nous versons le métal fondu dans la cavité du moule lorsque le métal refroidit et nous le retirons.

Le moule est ensuite détruit pour enlever la pièce moulée. La plupart des métaux ferreux et alliages d'aluminium sont coulés à l'aide de moulage en sable, alors que des difficultés peuvent se rencontrer dans le plomb, les alliages d'étain et de zinc, les alliages de béryllium, de titane et de zircon et autres.

Les produits typiques de la coulée de sable sont des blocs de moteur, des bases de machine-outil, des collecteurs, des logements de pompe et des culasses etc.



**Figure 4** Schéma d'un moule de fonderie avec ses différentes parties

## 2.2. Moulage en carapace (en coquille) :

Le métal en fusion, est coulé dans un moule composé de deux coquilles est appelé carapaces ou masques. Le procédé est nommé moulage en carapace ou procédé Corning : il s'agit d'un moulage à modèle permanent.

Le procédé de moulage carapace utilise un motif métallique chauffé qui est placé sur une boîte de sable enduit de résine thermodurcissable. Le durcissement du sable est fait en inversant la boîte pendant un temps fixe.

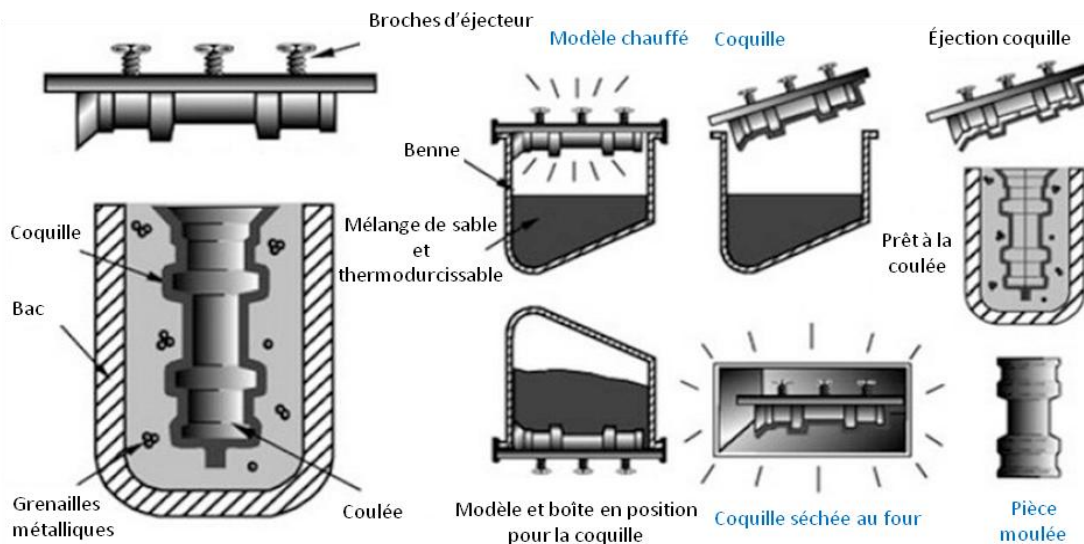


Figure 5 Moulage en coquille

## 2.3. Moulage avec moules en plâtre :

Le moulage avec moules en plâtre utilise un motif métallique précis qui génère un moule en deux parties, généralement composé de gypse comme matériau. L'humidité dans le moule est éliminée en le faisant cuire au four. Le métal fondu est ensuite versé dans le moule en plâtre et permet de refroidir et de se solidifier. La partie coulée finale est enlevée en cassant le moule. Cette technique de coulée est limitée aux métaux ayant une faible température de fusion en raison de la dégradation du moule en plâtre à des températures élevées. Certaines applications typiques sont des

ébauches d'engrenages, des pièces de soupapes, des composants de guide de lames, etc.

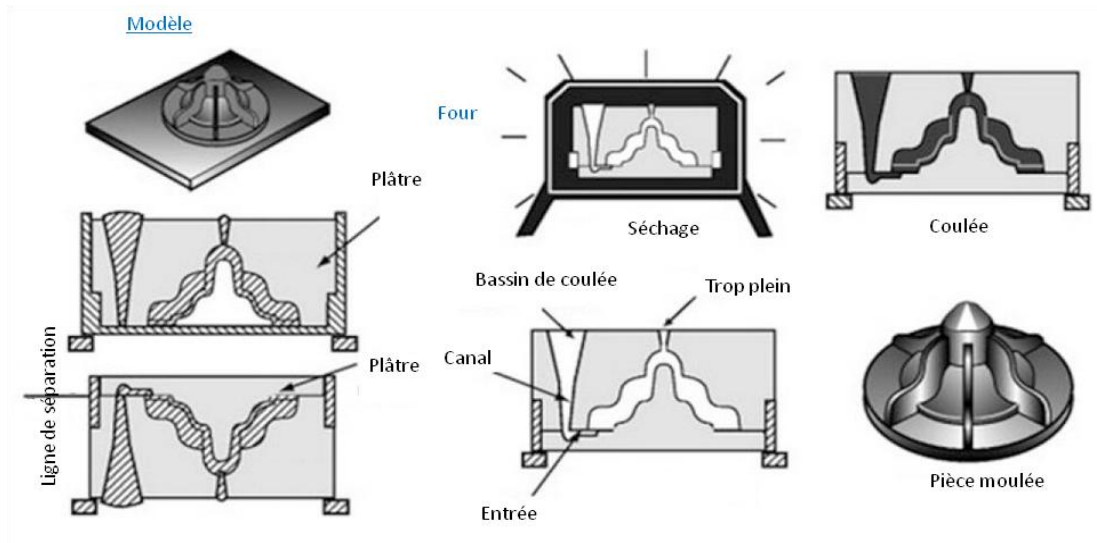


Figure II.6 Schéma du processus de moulage au plâtre

### **3. Moulage avec moules non permanents :**

#### **3.1. Moulage à la cire perdue :**

Le processus de moulage à la cire perdue commence par la préparation d'une matrice métallique par usinage ou par moulage. Le moule est ensuite utilisé pour générer un motif de cire de forme requise. Ensuite, les motifs sont recouverts d'un matériau réfractaire (zircon), d'une boue de céramique et finalement d'un liant, suivi d'un durcissement dans un four. Lors du durcissement, la cire est fondue et le métal est ensuite coulé dans le moule en céramique. Afin d'éjecter le moulage, le moule est détruit. Presque tous les métaux peuvent être coulés par ce procédé. Certaines applications sont des bijoux, des pales de turbine, des leviers, etc.

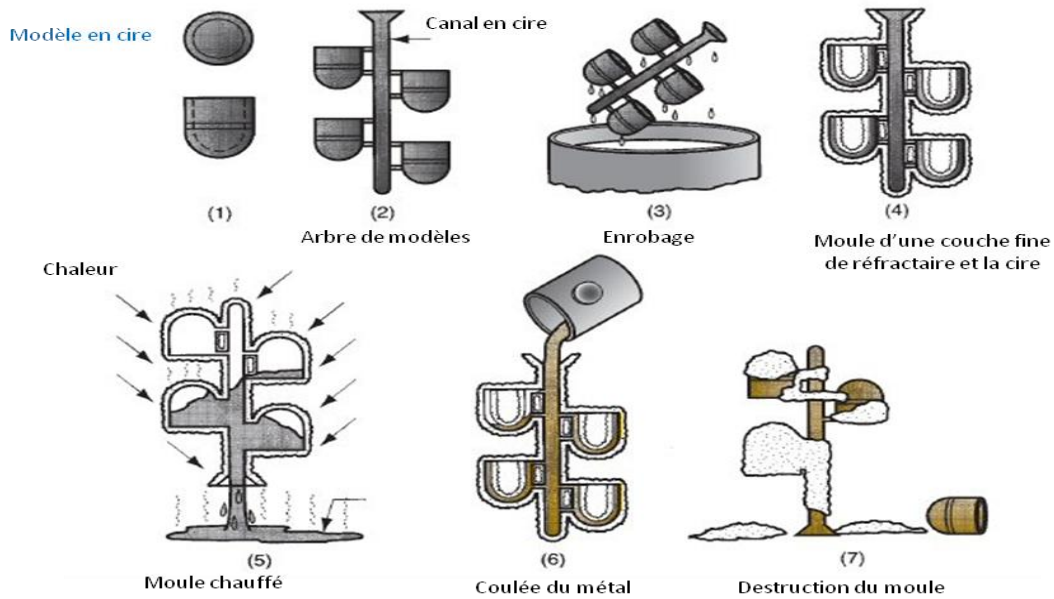


Figure 7 Schéma du procédé de moulage à la cire perdue

#### 4. Moulage avec moules permanents:

##### 4.1 Moulage par gravité:

Moulage par gravité, qui est généralement un procédé de moulage permanent. Dans ce procédé, le métal fondu est versé dans un moule chauffé, où il se solidifie lorsque la pièce prend la forme de la cavité du moule. Une fois la solidification terminée, le moule est ouvert à l'aide d'un mécanisme d'ouverture (charnières, vérins ou dispositif mécanique) pour extraire la pièce. Cette méthode est généralement utilisée pour les métaux non ferreux tels que le cuivre, l'aluminium, le magnésium, certains cas sont utilisés pour le fer, le plomb, le nickel, l'étain et les alliages de zinc.

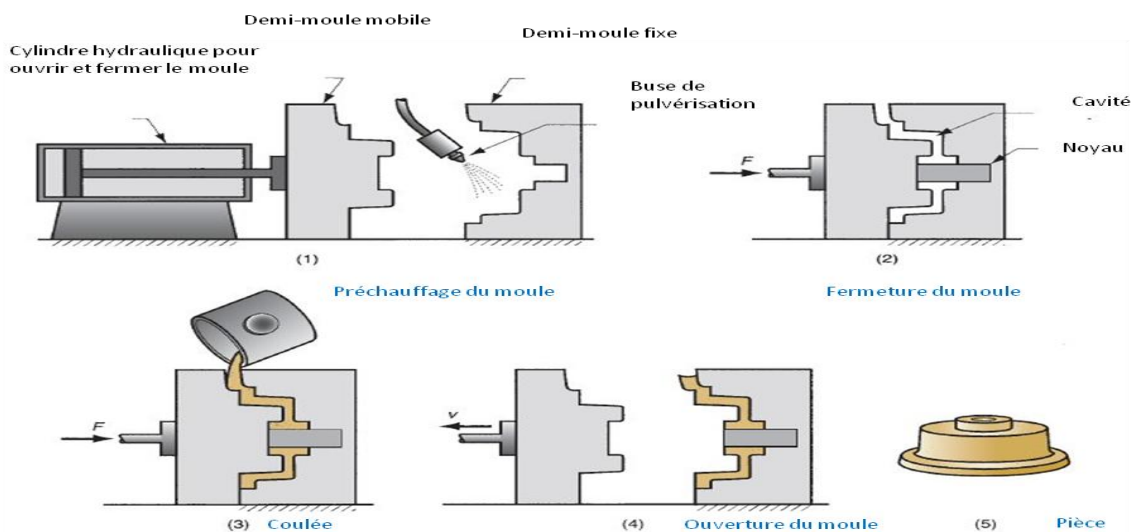
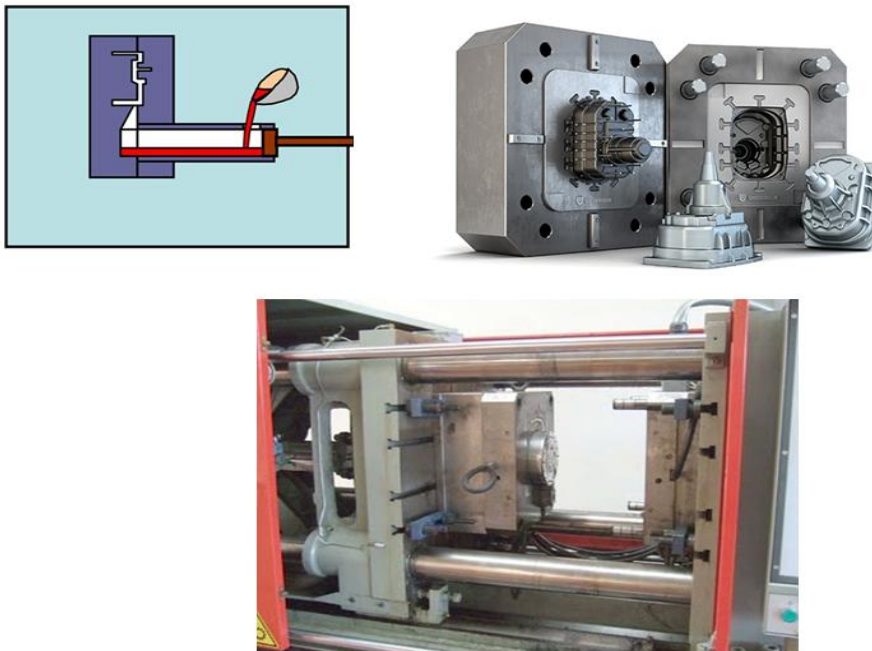


Figure 8 Processus de moulage par gravité

## **4.2 Moulage sous pression :**

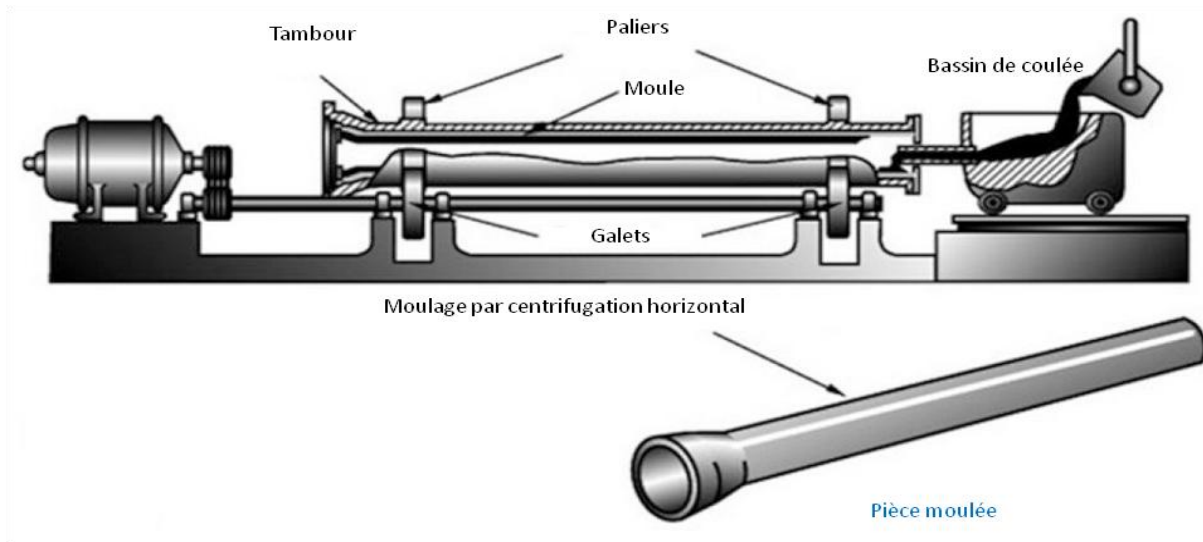
Ce processus s'appelle la coulée haute pression dans laquelle le métal fondu entre dans un moule permanent sous une très haute pression. Le moule reste fermé jusqu'à ce que le métal fondu se soit complètement solidifié, après quoi la pièce moulée est extrudée après l'ouverture du moule. Cette méthode est utilisée pour les matériaux non métalliques et les alliages non ferreux tels que le zinc, l'aluminium, le magnésium, le plomb, l'étain et les alliages de cuivre.



**Figure 9** Schéma et équipements du moulage par injection plastique (**sous pression**)

## **4.3 Moulage par centrifugation :**

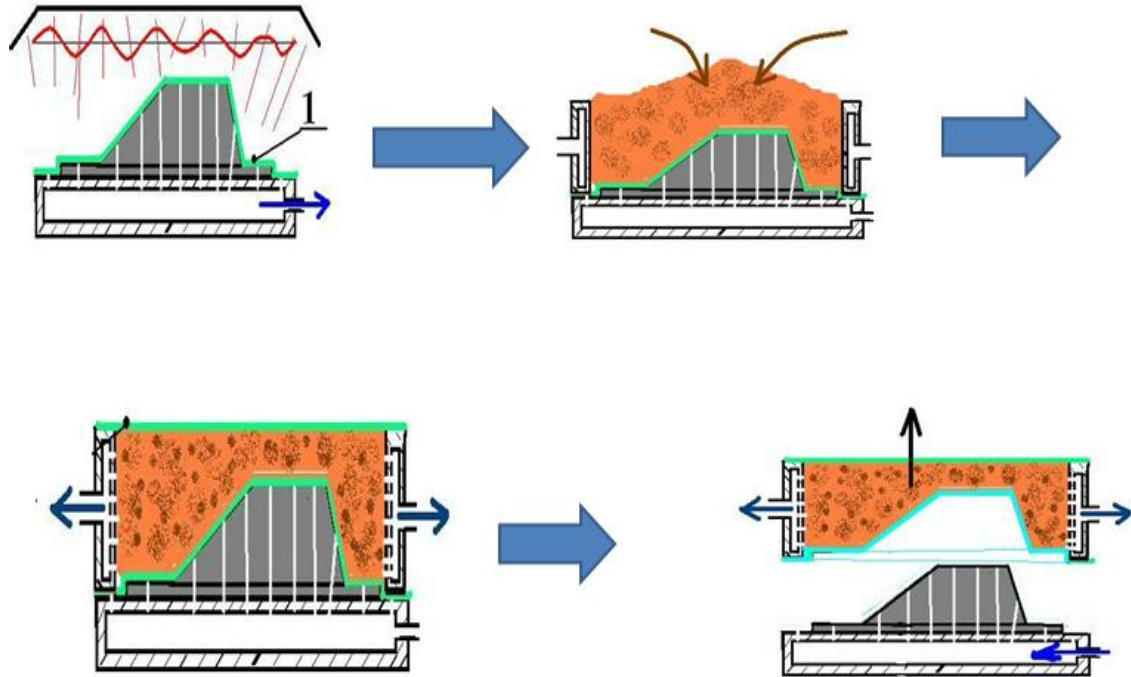
Ce procédé est utilisé pour produire des pièces cylindriques et des tubes par moulage, ou le métal fondu est versé dans un moule alors qu'il est en état de rotation autour d'un axe vertical ou horizontal. Tous les métaux utilisés dans les méthodes de moulage peuvent être utilisés dans cette méthode. Un avantage supplémentaire de cette méthode est le moulage du verre, les matériaux thermoplastiques, les matériaux céramiques et même les composites



**Figure 10** Moulage par centrifugation horizontale

#### **4.4 Moulage sous vide :**

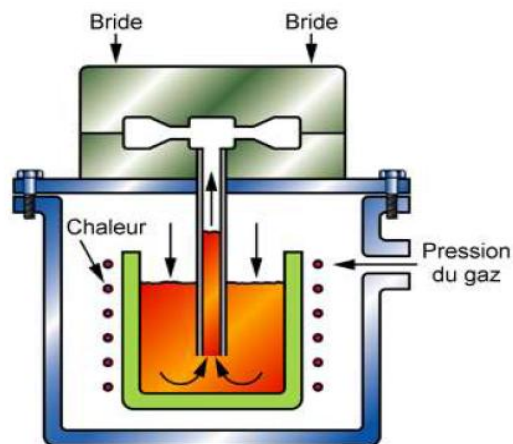
Chauffez un film en plastique ou en métal flexible en quelques secondes, sous 100 C. sur la plaque-modèle. Nous plaçons ce film sur la plaque-modèle et formons un vide avec une basse pression de 0,5 bar, où le film prend les contours extérieurs du modèle. Le sable est secoué, puis un autre film plastique est appliqué sur le sable tassé et on crée le vide dans le châssis. On dépose un châssis que l'on remplit de sable sec sans liant. On inverse la pression dans la plaque modèle et on relève le châssis tout en y maintenant la dépression. Le film reste collé sur la face inférieure pour maintenir la dépression et garantir une résistance du moule de l'ordre de 90 à 100 kg/cm<sup>2</sup>.



**Figure 11** Processus de moulage sous vide

#### **4.5 Moulage sous basse pression :**

Cette méthode est compatible avec les alliages à bas point de fusion ( $<950\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) où vous poussez le métal fondu du haut dans un moule au moyen d'un gaz à basse pression alors que l'espace à l'intérieur du moule se remplit lentement car les pièces produites sont de complexité moyenne.

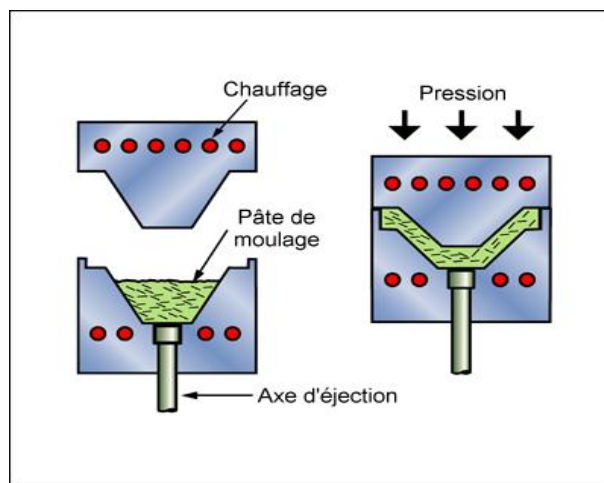


**Figure 13** Procédé de moulage sous pression avec injection de gaz

## **5. Moulage avec procédés spéciaux :**

### **5.1. Moulage par compression :**

Nous plaçons dans un moule une quantité de polymère sous forme de résine. Le moule est ensuite chauffé afin de rendre le polymère malléable (il s'agit généralement d'un polymère thermodurcissable). Une fois le matériau ramolli, le moule est fermé, ce qui crée une pression suffisante pour forcer le polymère à remplir complètement la cavité du moule. Après durcissement du polymère, le moule est ouvert et la pièce est démoulée.



**Figure II.14** Moulage par compression

### **II.5.2. Moulage par injection :**

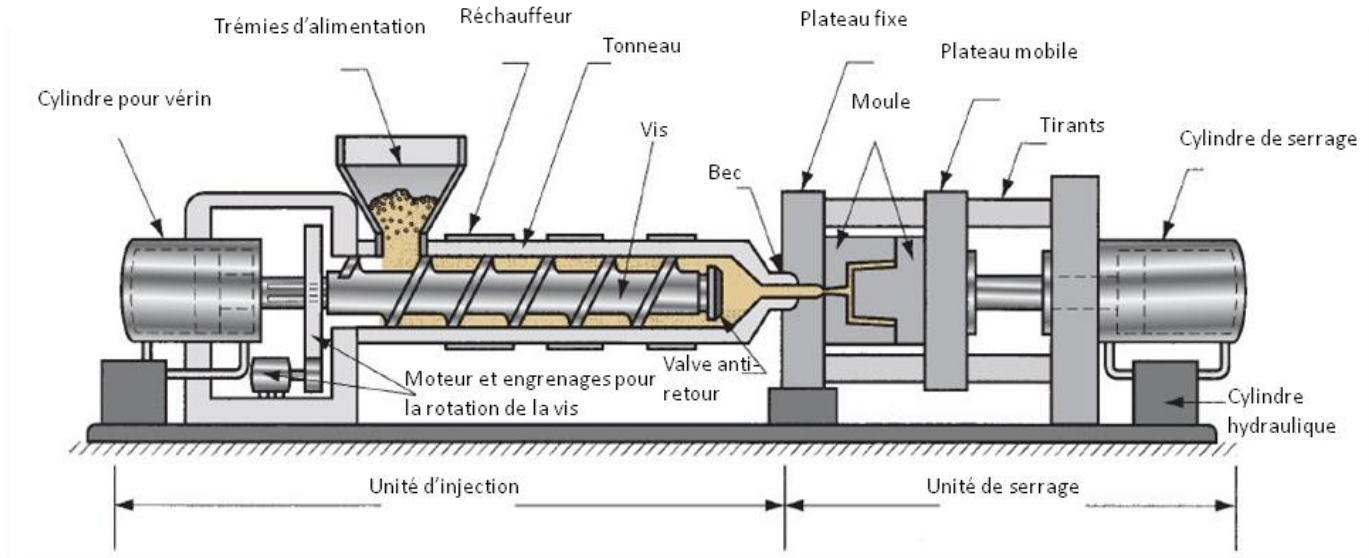
Les produits moulés par injection apparaissent dans tous les secteurs de la conception des produits: des produits de consommation, des articles de bureau, des pièces industrielles, des ordinateurs, des instruments de communication, des articles médicaux, des jouets, des emballages de cosmétiques, des équipements de sport...

On l'utilise dans le moulage des thermoplastiques à l'aide d'une presse.

Les granulés de polymère sont amenés dans une presse en spirale où il se mélange et se ramollissent pour atteindre une consistance pâteuse qui peut être forcée de pénétrer dans un ou plusieurs canaux dans le moule.

Le polymère se solidifie en maintenant une pression (pression de maintien) ce qui donne lieu à l'éjection des pièces.

Les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères peuvent être moulés par injection. La Co-injection permet le moulage de pièces avec des matériaux, des couleurs ou des caractéristiques différentes.



**Figure 15** Moulage par injection plastique

## **6. Forgeage :**

La forge est le processus de déformation d'un métal placé entre deux moules, en utilisant une force de martelage ou une pression progressive pour former la pièce, il est considéré comme l'une des plus anciennes méthodes de formation du métal.



**Figure 16** Forgeage

Les pièces forgées comprennent des vilebrequins de moteur et des bielles, des engrenages, des structuraux d'aéronefs et des pièces de turbines de turboréacteurs. De plus, les industries de l'acier et d'autres métaux de base utilisent le forgeage pour établir la forme de base des gros composants qui sont ensuite usinés pour donner une forme et des dimensions finales.

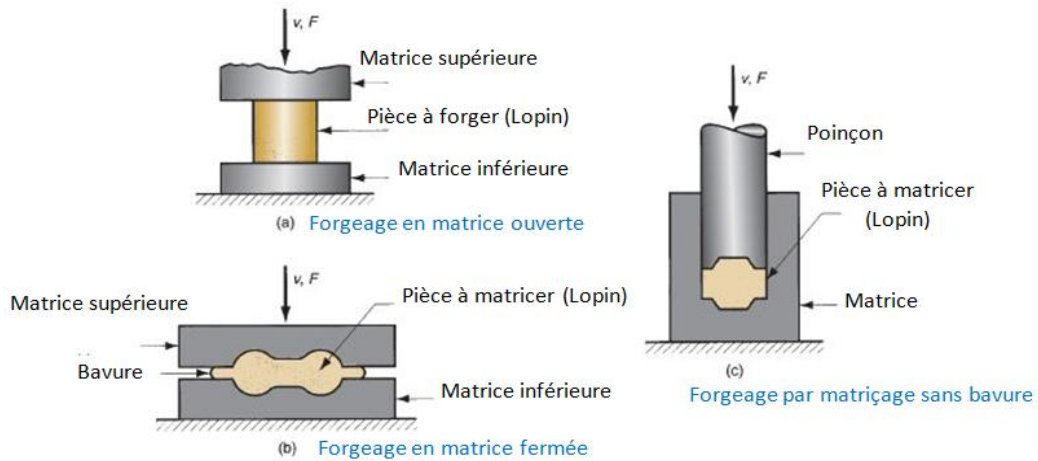
Une machine à forger qui applique une charge d'impact est appelée un marteau de forge, tandis que celle qui applique une pression progressive s'appelle une presse à forger.

Il existe trois types de forgeage:

- Forgeage en matrice ouverte
- Forgeage en matrice fermée (matriçage et estampage)
- Forgeage par matriçage sans bavure

Dans le forgeage ouvert, la pièce est pressée entre deux moules plats, de sorte que le métal puisse s'écouler facilement dans le sens latéral par rapport aux surfaces de la matrice.

Le forgeage par matriçage, les surfaces des deux moules ont une forme ou une empreinte et ceci afin de les transférer sur la pièce à usiner lors de la pression, pour réduire fortement l'écoulement du métal. Dans ce type de procédé, une partie du métal s'écoule de l'empreinte de la matrice, formant une bavure. La bavure est un excès de métal qui doit être éliminé plus tard. Dans le forgeage sans bavure, le lopin est complètement contraint dans la matrice et aucun métal excessif n'est produit. Le volume du lopin doit être contrôlé de très près pour qu'il corresponde au volume de la cavité de la matrice.



**Figure 17** Schéma des procédés de forgeage : matrice ouverte, matrice fermée et matriçage sans bavure

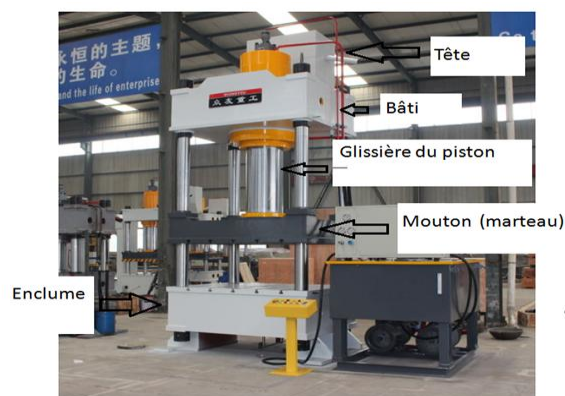
## **7. Marteau presse et matrice de forgeage :**

Les équipements utilisés dans le forgeage sont constitués de machines à forger, classées comme marteaux ou presses, et de matrices de forgeage, qui sont l'outillage spécial utilisé dans ces machines.

De plus, des équipements auxiliaires sont nécessaires, tels que des fours pour chauffer la pièce, des dispositifs mécaniques pour charger et décharger la pièce, et des stations de coupe pour couper les bavures dans le matriçage.

### **7.1. Marteaux de forgeage :**

Les marteaux de forgeage fonctionnent en appliquant une charge d'impact contre la pièce. Le marteau en chute est souvent utilisé pour ces machines, en raison des moyens de livraison de l'énergie d'impact.



**Figure 18** Machine de forge hydraulique

## **7.2. Presses de forgeage :**

Les presses appliquent une pression graduelle, plutôt qu'un impact soudain, pour accomplir l'opération de forgeage. Les presses à forger comprennent les presses mécaniques, les presses hydrauliques et les presses à vis. Les presses mécaniques fonctionnent au moyen d'excentriques, de manivelles ou d'articulations qui transforment le mouvement de rotation d'un moteur d'entraînement en mouvement de translation du piston.



**Figure 18** Presses hydrauliques utilisent un piston entraîné hydrauliquement pour actionner le piston

## **Conclusion :**

Les procédés de mise en forme jouent un rôle crucial dans les propriétés finales des pièces fabriquées. Leur maîtrise, ainsi que celle des principes physiques et technologiques sous-jacents est indispensable pour garantir des produits adaptés aux besoins spécifiques. Le choix du procédé dépend étroitement du matériau et des contraintes du produit, tandis que la conception géométrique et fonctionnelle des pièces influence également la méthode de fabrication à privilégier. Cette interaction entre matériau, procédé et conception est au cœur de la réussite industrielle.

# ***Chapitre III***

## **Procédés d'obtention des pièces par enlèvement de matière**

## **Introduction :**

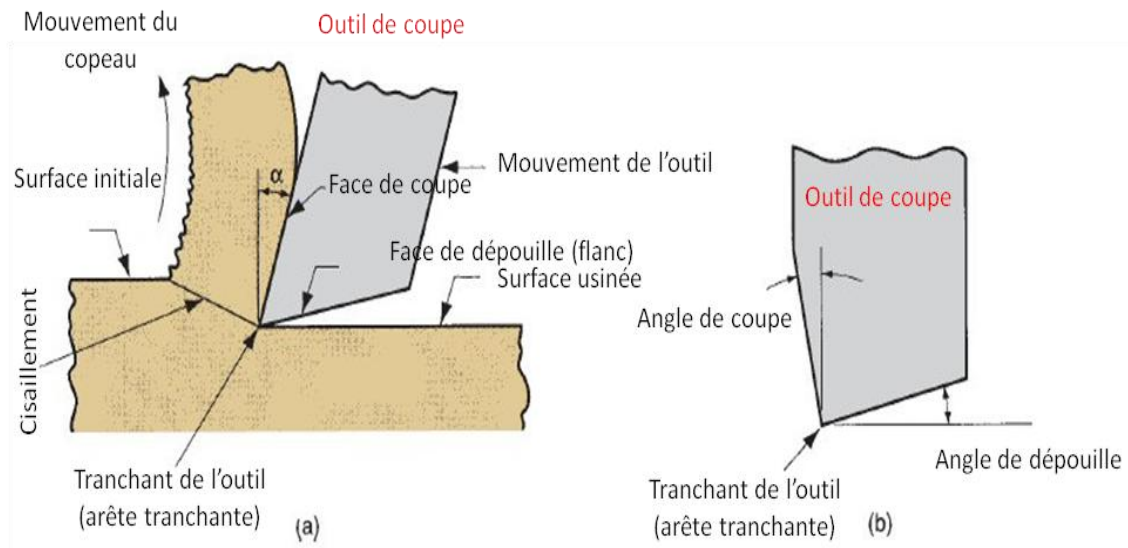
L'usinage fait partie des procédés d'obtention de pièces par enlèvement de matière, une technique essentielle en fabrication mécanique. Il regroupe plusieurs méthodes, notamment l'électroérosion, l'abrasion et l'usinage proprement dit. Fondamentalement, usiner revient à couper la matière pour façonner une pièce aux dimensions et formes souhaitées. La formation du copeau, phénomène central dans ce processus, a donné naissance à une science dédiée, permettant d'optimiser les conditions d'usinage afin d'améliorer la qualité des pièces et l'efficacité des opérations.

### **1. Définition :**

L'usinage est un processus de fabrication dans lequel un outil tranchant est utilisé pour découper le matériau afin de donner la forme de la pièce désirée. L'action de coupe prédominante dans l'usinage implique une déformation par cisaillement du matériau de travail pour former un copeau ; lorsque le copeau est retiré, une nouvelle surface est exposée.

Les procédés d'obtention de pièces par enlèvement de matière dans lequel on trouve trois familles de procédés :

- Procédés d'enlèvement de matière par électroérosion.
- Procédés d'enlèvement de matière par abrasion.
- Procédés d'enlèvement de matière par usinage



**Figure 1** Schéma des outils de coupe : géométrie de l'outil et angles de coup

## 2. Types d'opérations d'usinage :

Il existe de nombreux types d'opérations d'usinage, chacun pouvant générer une géométrie et une texture de surface déterminées.

Les plus connus :

- Tournage
- Perçage
- Fraisage de profil (en roulant)
- Fraisage frontal (en bout

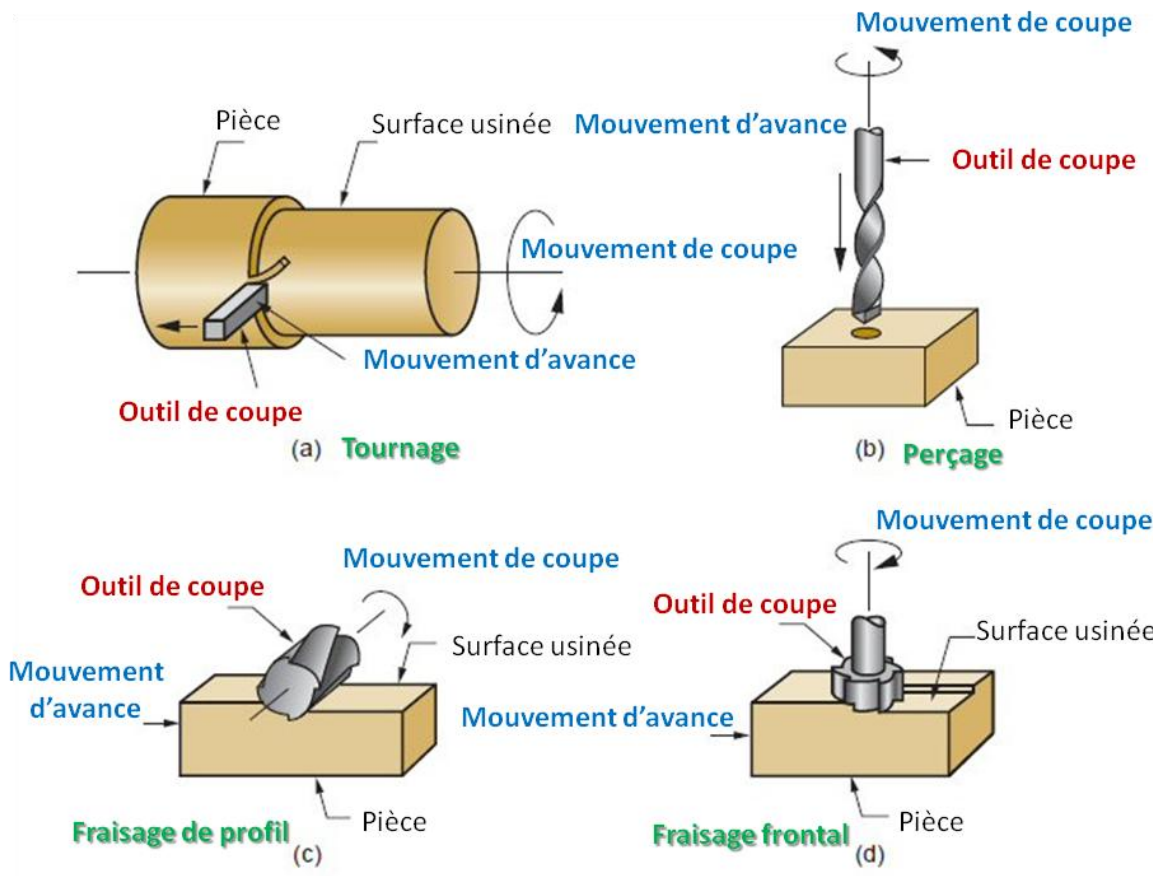


Figure 2 procédés d'usinage : tournage, perçage, fraisage de profil et fraisage frontal

### 2.1 Tournage :

En tournage, un outil de coupe avec un seul tranchant est utilisé pour enlever le matériau d'une pièce en rotation pour générer une forme cylindrique (conique, hélicoïdale). Le mouvement de rotation est assuré par la pièce de travail en rotation (mouvement de coupe), et le mouvement d'avance est réalisé par l'outil de coupe se déplaçant lentement pour générer la surface.

### 2.2 Perçage :

Le perçage est utilisé pour créer un trou rond. Il est accompli par un outil rotatif qui a typiquement deux arêtes coupantes. L'outil est entraîné dans une direction parallèle à son axe de rotation dans la pièce pour former le trou circulaire.

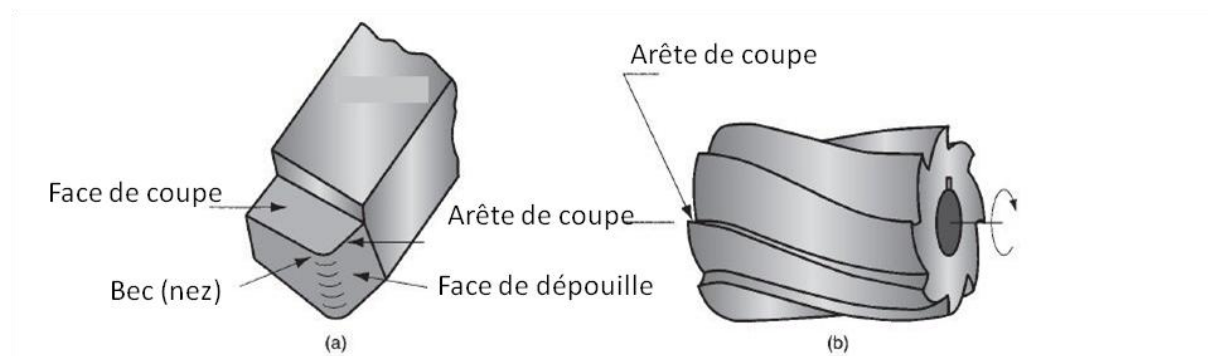
### 2.3 Fraisage :

Lors du fraisage, un outil rotatif avec plusieurs arêtes de coupe est amené lentement à travers le matériau de la pièce pour générer une surface plane. Le mouvement de

vitesse de coupe rotative est fourni par la fraise. Les deux formes de fraisage de base sont le fraisage de profil et le fraisage de face.

## **2.4 Outils de coupe :**

Un outil de coupe a un ou plusieurs arêtes de coupe tranchantes est fait d'un matériau qui est plus dur que celui du matériau de travail. Le tranchant sert à séparer un copeau du matériau de travail. Deux surfaces de l'outil sont reliées au tranchant : la face d'attaque et la face de dépouille.



**Figure 3** Géométries d'outils de coupe : plaquette et fraise

La face de d'attaque (coupe), qui dirige le flux du copeau nouvellement formé, est orientée selon un certain angle appelé angle de coupe  $\alpha$ . Il est mesuré par rapport à un plan perpendiculaire à la surface de travail. Il peut être positif ou négatif.

La face de dépouille de l'outil fournit un jeu entre l'outil et la surface de travail de la pièce, protégeant ainsi la surface de l'abrasion, ce qui dégraderait la finition. Cette surface de dépouille est orientée selon un angle appelé angle de dégagement (angle de dépouille)  $\gamma$ .

## **3 Conditions de coupe :**

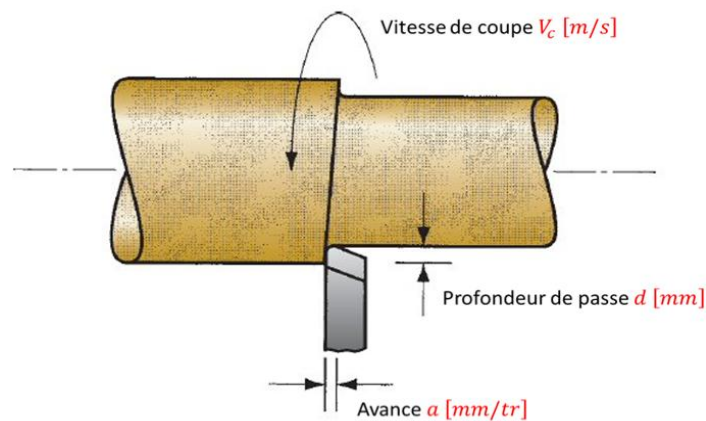
Un mouvement relatif est requis entre l'outil et la pièce pour effectuer une opération d'usinage. Le mouvement primaire est accompli à une certaine vitesse de coupe  $V_c$ . De plus, l'outil doit se déplacer à travers la pièce avec une certaine vitesse appelée l'avance  $a$ . La dimension restante de la coupe est la pénétration de l'outil de coupe à l'intérieure de la pièce, appelée profondeur de coupe  $d$ .

Collectivement, la vitesse de coupe, l'avance et la profondeur de coupe sont appelées conditions de coupe.

Ils forment les trois dimensions du processus d'usinage, et pour certaines opérations, ils peuvent être utilisés pour calculer le taux d'enlèvement de matière :

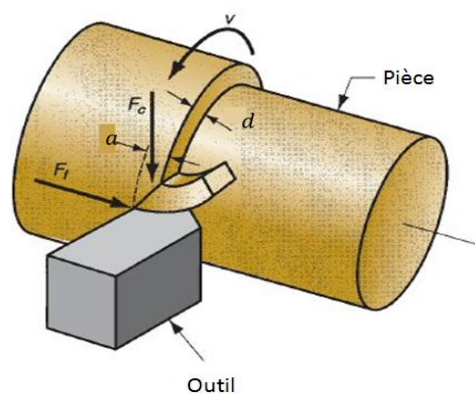
$$T_{EM} = V_c a d$$

### Exemple tournage



**Figure 4** Paramètres de coupe en usinage : vitesse de coupe, avance et profondeur de passe

### Forces liées à la coupe des métaux



**Figure 5** Processus de tournage : paramètres de coupe, avance et forces exercées

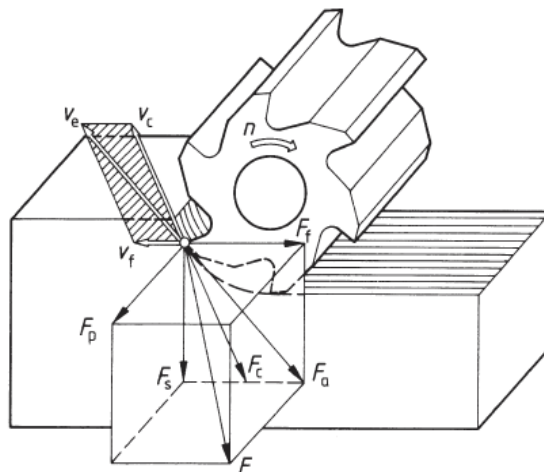
Lors de l'enlèvement de copeaux, les forces qui sont à l'œuvre enlèvent de la matière. Ces forces dépendent principalement de :

- la résistance du matériau

- angles de coupe
- la section du copeau

La force d'enlèvement de copeaux  $F$  est la résultante de toutes les forces individuelles qui agissent pendant le processus.

- Force de coupe  $F_c$
- Force d'avance  $F_f$
- Force active  $F_a$



**Figure 6** forces de coupe en fraisage : composantes des forces et vitesse

### 3.1 Puissance de coupe :

Une opération d'usinage nécessite de l'énergie. La force de coupe dans une opération d'usinage de production peut être élevée. Les vitesses de coupe typiques sont de plusieurs centaines de m/min. Le produit de la force de coupe et de la vitesse donne la puissance (énergie par unité de temps) nécessaire pour effectuer une opération d'usinage :

$$P_c = F_c \times V_c$$

Avec

$P_c$  : Puissance de coupe [W]

$F_c$  : Force de coupe [N]

$V_c$  : Vitesse de coupe [m/s]

La puissance brute nécessaire pour faire fonctionner la machine-outil est supérieure à la puissance de coupe en raison des pertes mécaniques dans le moteur et dans le

système d'entraînement de la machine. Ces pertes peuvent être expliquées par l'efficacité mécanique de la machine-outil :

$$P_m = \frac{P_c}{E}$$

Avec :

$P_c$  : Puissance brute de machine [W]

$E$  : Efficacité de la machine outil

### 3.2 Conditions de coupe en tournage :

La vitesse de rotation est liée à la vitesse de coupe désirée à la surface de la pièce cylindrique par l'équation :

$$N = \frac{V_c}{\pi D_0}$$

Avec

$N$  : vitesse de rotation [tr/mn]

$D$  : diamètre initial de la pièce [m]

L'opération de tournage réduit le diamètre de la pièce du diamètre initial  $D_0$  au diamètre final  $D_f$

Il est souvent utile de convertir la puissance en puissance par unité de taux de métal enlevé. C'est ce qu'on appelle la puissance unitaire,  $P_w$  définie :

$$P_u = \frac{P_c}{T_{EM}} = \frac{F_c V_c}{V_c a d} = \frac{F_c}{a d} = U$$

$U$  : Appelée énergie spécifique

La puissance unitaire et l'énergie spécifique fournissent une mesure utile de la quantité de puissance (ou d'énergie) nécessaire pour retirer un volume unitaire de métal pendant l'usinage. En utilisant cette mesure, différents matériaux de travail peuvent être comparés en termes de puissance et d'énergie.

## 4 Tournage et opérations de tournage :

Le tournage est un processus d'usinage dans lequel un outil à un seul point enlève le matériau de la surface d'une pièce en rotation. L'outil est amené linéairement dans une direction donnée (ex. parallèle à l'axe de rotation pour générer une géométrie cylindrique). Le tournage est traditionnellement effectué sur une machine-outil appelée tour, qui fournit la puissance pour faire tourner la pièce à une vitesse de rotation donnée et pour avancer l'outil à une vitesse et une profondeur de coupe spécifiées.

La vitesse de rotation est liée à la vitesse de coupe désirée à la surface de la pièce cylindrique par l'équation :

$$N = \frac{V_c}{\pi D_0}$$

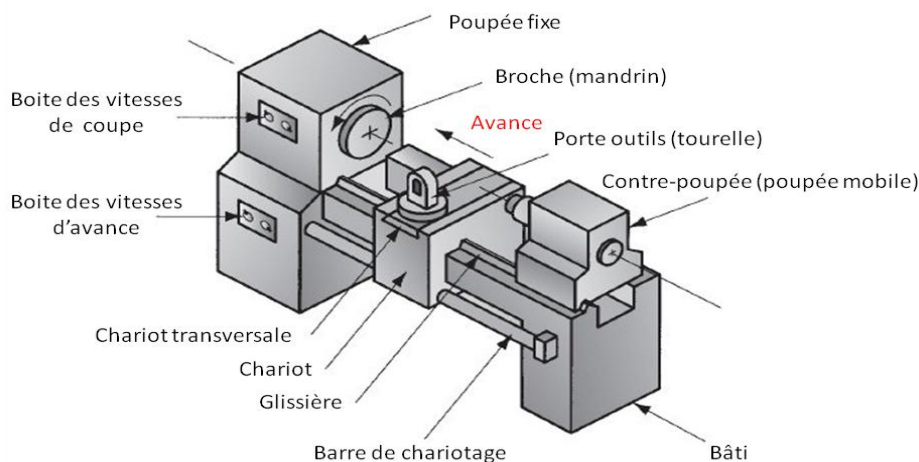
Avec :

N : vitesse de rotation [tr/mn]

$D_0$  : diamètre initial de la pièce [m]

### 4.1 Machine de tournage (tour) :

Une machine de tournage, ou simplement tour, est une machine-outil conçue pour usiner des pièces en rotation à l'aide d'un ou plusieurs outils de coupe fixes. L'usinage consiste à retirer de la matière pour donner à la pièce la forme souhaitée (cylindrique, conique, filetée, etc.).

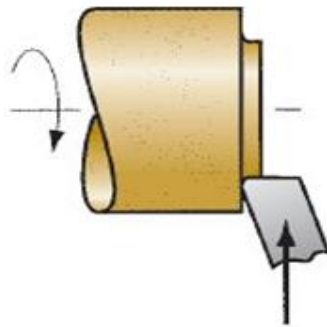


**Figure 7** Machine de tournage

## **4.2. Opérations de tournage :**

### **4.2.1. Dressage :**

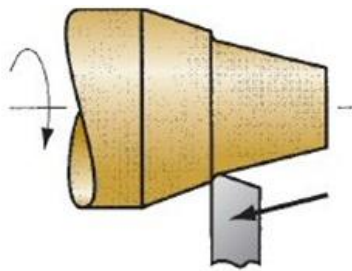
Le dressage est une opération d'usinage sur un tour qui consiste à rendre plane une face d'une pièce cylindrique. L'outil se déplace dans le sens radial (perpendiculaire à l'axe de la pièce) depuis l'extérieur vers le centre (ou inversement).



**Figure 8** Processus de tournage dressage

### **4.2.2 Chariotage conique :**

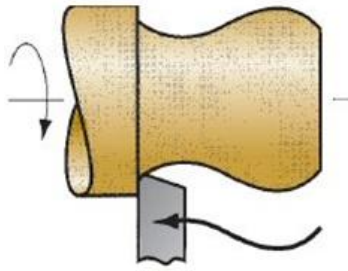
Le chariotage conique en tournage est une technique d'usinage utilisée pour usiner des surfaces coniques (ou des cônes) sur une pièce cylindrique à l'aide d'un tour. Cette opération consiste à déplacer l'outil de coupe selon un certain angle par rapport à l'axe de la pièce, de manière à obtenir une forme conique.



**Figure 9** Processus de tournage conique

### **4.2.3 Chariotage de contour :**

Le chariotage de contour est une opération d'usinage qui consiste à suivre un profil précis (forme complexe) le long de la surface d'une pièce cylindrique. L'outil se déplace simultanément selon deux axes : longitudinal (Z) et radial (X), pour générer un profil extérieur



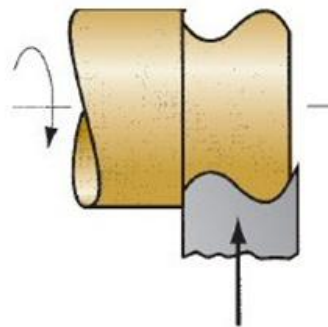
**Figure 10** Processus de tournage contour

#### **4.2.4 Tournage de forme :**

Le tournage de forme est une opération d'usinage sur un tour qui permet de réaliser une forme complexe ou profil spécifique en une seule passe, à l'aide :

Soit d'un outil à profil (forme prédéfinie),

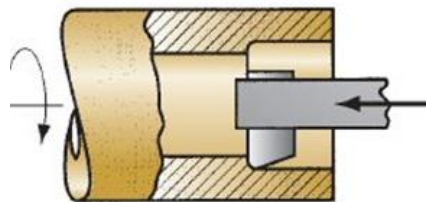
Soit d'un déplacement programmé (sur tour CN ou via copieur).



**Figure 10** Processus de tournage forme

#### **4.2.5 Alésage :**

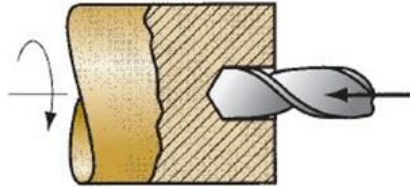
L'alésage est une opération d'usinage qui consiste à usiner ou rectifier un trou existant à l'aide d'un outil d'alésage monté sur un tour.



**Figure 11** Processus de alésage

### 4.2.6 Perçage :

Le perçage est une opération d'usinage qui consiste à créer un trou cylindrique à l'aide d'un forêt (outil de perçage), monté dans la tourelle ou dans la contre-pointe du tour.



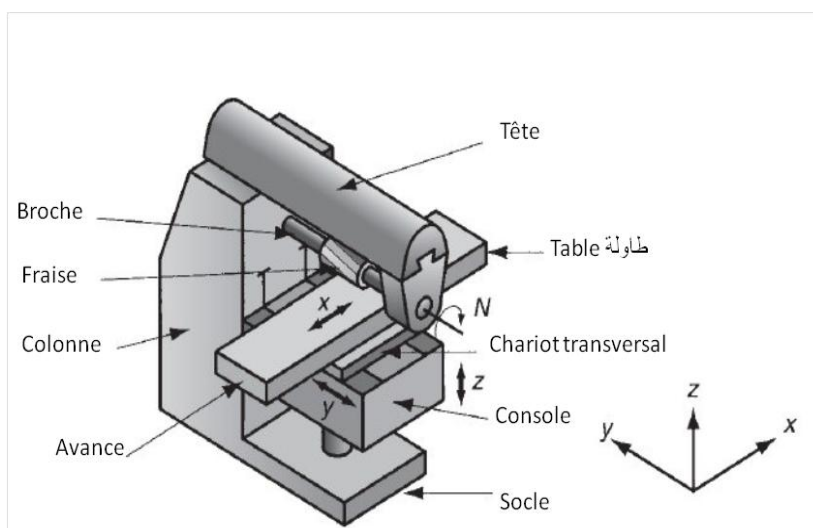
**Figure 12** Processus d'alésage

### 5 Machines de fraiseage (fraiseuses) :

Les fraiseuses doivent fournir une rotation pour la fraise et une table pour la fixation, le positionnement et l'avance de la pièce de travail. Diverses conceptions de machines-outils répondent à ces exigences. Les fraiseuses peuvent être classifiées comme horizontales ou verticales.

#### 5.1 Fraiseuse horizontale :

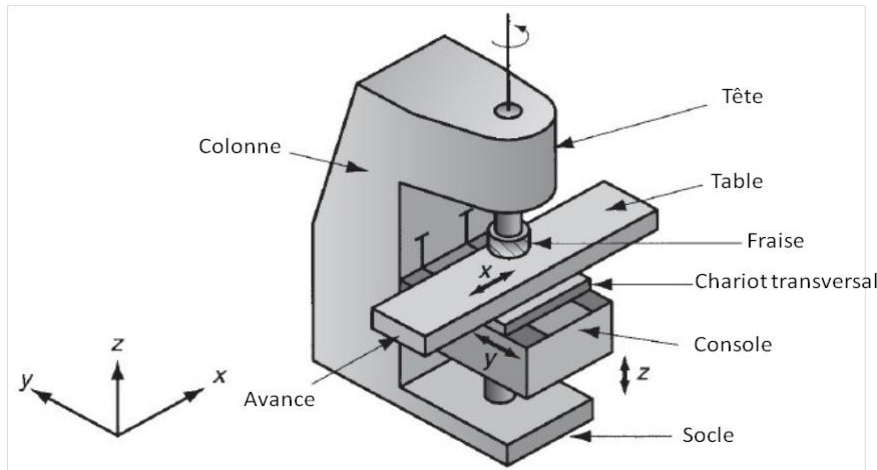
Une fraiseuse horizontale a une broche horizontale, et cette conception est bien adaptée pour effectuer un fraisage de profil sur des pièces de travail qui sont à peu près en forme de cube.



**Figure 13** Machines de fraiseage (horizontale )

## **5.2 Fraiseuse verticale :**

Une fraiseuse verticale est une machine-outil dans laquelle l'axe de rotation de la fraise est vertical, c'est-à-dire perpendiculaire à la table. Elle permet d'usiner des pièces métalliques, plastiques ou composites en réalisant des opérations comme :



**Figure 14** Machines de fraisage (verticale )

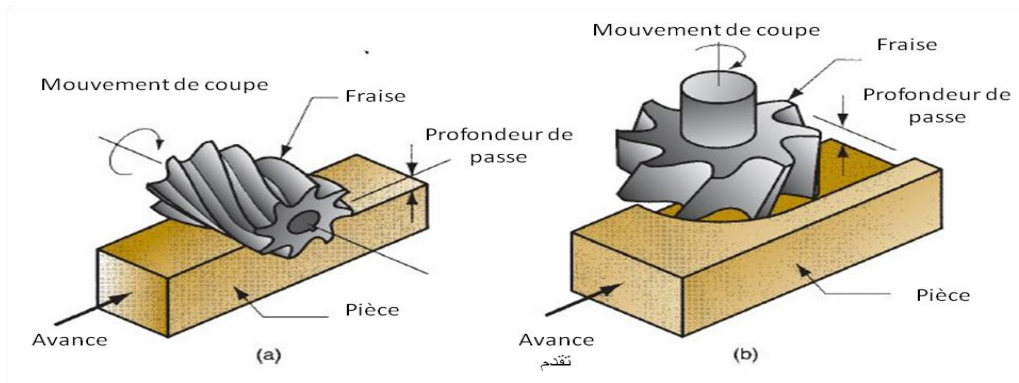
## **5.3. Fraisage et opérations de fraisage :**

Le fraisage est une opération d'usinage dans laquelle une pièce de travail passe devant un outil cylindrique rotatif à plusieurs arêtes de coupe.

L'outil de coupe en fraisage est appelé une fraise et les arêtes de coupe sont appelées dents. La machine-outil classique qui effectue cette opération est une fraiseuse.

La forme géométrique créée par fraisage est une surface plane. D'autres géométries de travail peuvent être créées soit au moyen de la trajectoire de la pièce, soit à l'aide de la forme de la fraise.

Il y'a deux types d'opérations de fraisage de base : (a) fraisage de profil et (b) fraisage frontal.

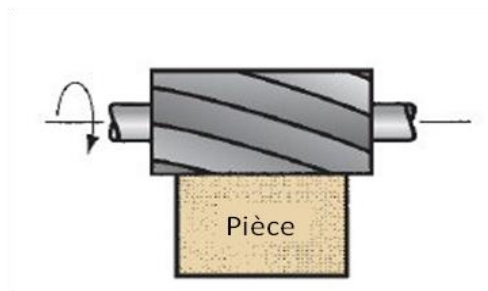


**Figure 15** Procédés de fraisage : fraisage à vis et fraisage plan

En fraisage de profil, l'axe de l'outil est parallèle à la surface en usinée, et l'opération est réalisée par des arêtes coupantes sur la périphérie extérieure de la fraise.

### **5.3.1 Fraisage Surfaçage :**

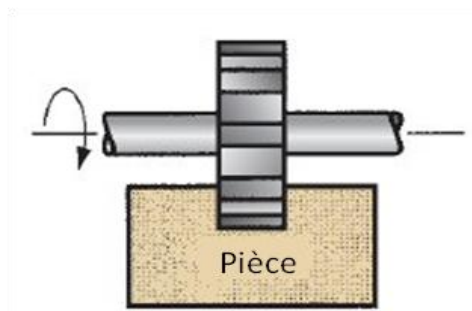
La forme de base du fraisage de profil dans lequel la largeur de la fraise s'étend au-delà de la pièce de travail des deux côtés.



**Figure 16** Procédés de fraisage surfaçage

### **5.3.2 Fraisage Rainurage :**

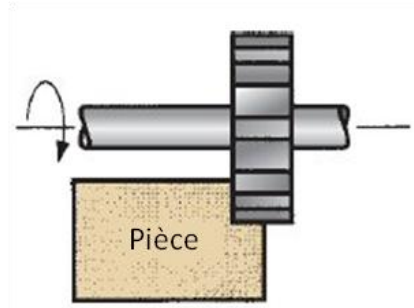
Dans lequel la largeur de la fraise est inférieure à la largeur de la pièce, créant une fente dans la pièce lorsque la fraise est très mince, cette opération peut être utilisée pour fraisage des fentes étroites ou couper une pièce en deux, appelé sciage à la scie.



**Figure 17** Procédés de fraisage rainurage

### **5.3.3 Fraisage latéral :**

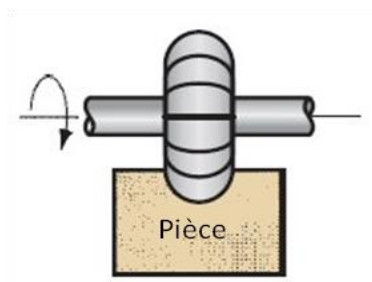
Le fraisage latéral est une opération d'usinage dans laquelle la surface verticale (ou latérale) d'une pièce est usinée à l'aide des flancs de la fraise (et non sa face).



**Figure 18** Procédés de fraisage latéral

### **5.3.4 Fraisage de forme :**

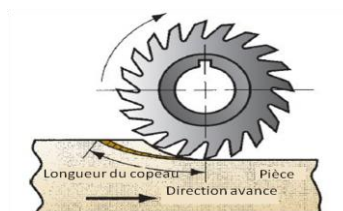
Dans lequel les dents de fraisage ont un profil spécial qui détermine la forme de la fente qui est découpée dans le travail.



**Figure 19** Procédés de fraisage en forme

### **5.3.5 Fraisage de profil :**

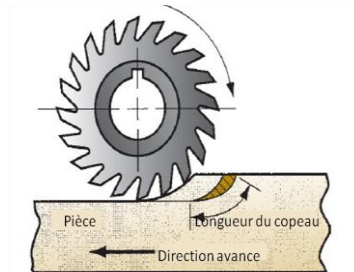
En fraisage de profil, la direction de la rotation de la fraise distingue deux formes de fraisage : le fraisage par le haut et le fraisage par le bas. En fraisage vers le haut, également appelé fraisage en opposition, la direction du mouvement des dents de coupe est opposée à la direction d'avance lorsque les dents coupent dans la pièce.



**Figure 20** Procédés de fraisage en profil

### 3.6 Fraisage en descente :

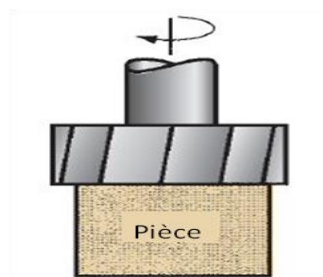
Dans le fraisage en descente, également appelé fraisage en concordance, la direction du mouvement de la fraise est la même que la direction de l'avance lorsque les dents coupent dans la pièce.



**Figure 21** Procédés de fraisage en descente

### 5.3.7 Fraisage de face classique :

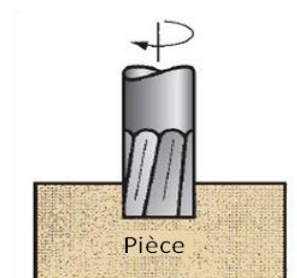
Le fraisage de face classique, dans lequel le diamètre de la fraise est supérieur à la largeur de la pièce de travail, de sorte que la fraise surplombe la pièce des deux côtés.



**Figure 22** Procédés de fraisage en face classique

### 5.3.8 Fraisage en bout :

Le fraisage en bout, dans lequel le diamètre de la fraise est inférieur à la largeur de la pièce, de sorte qu'une fente est découpée dans la pièce.

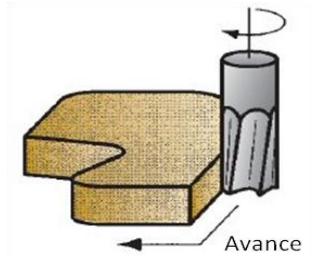


**Figure 23** Procédés de fraisage en bout

### **5.3.9 Fraisage de profilés :**

Le fraisage de profilés est une opération qui consiste à usiner une forme ou un contour spécifique (appelé profil) sur la surface d'une pièce. Ce profil peut être :

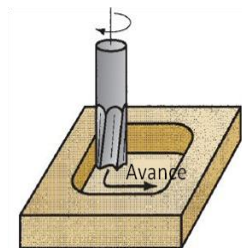
- Linéaire (incliné, chanfreiné).
- Courbe (rayon, gorge).
- Ou combiné (forme libre ou complexe).



**Figure 24** Procédés de fraisage en profilés

### **5.3.10 Fraisage de poche :**

Le fraisage de poche est une autre forme de fraisage en bout utilisé pour fraiser des poches peu profondes en pièces plates.



**Figure 25** Procédés de fraisage en poche

### **Conclusion :**

L'usinage, en tant que procédé par enlèvement de matière, joue un rôle central dans la production de pièces mécaniques précises et fonctionnelles. Grâce à la diversité de ses techniques, il s'adapte aux exigences variées de l'industrie. La compréhension du mécanisme de formation du copeau et l'évolution des connaissances dans ce domaine permettent aujourd'hui d'améliorer continuellement les performances des procédés en alliant qualité, productivité et maîtrise des coûts.

# ***Chapitre IV***

# **Techniques d'assemblage**

## **Introduction :**

L'assemblage mécanique désigne l'union permanente de deux pièces ou plus, réalisée par déformation d'au moins l'une des pièces ou d'un élément intermédiaire. Malgré l'importance de ces techniques dans l'industrie, il n'existe pas encore de norme internationale unifiée pour leur classification. Toutefois, la norme allemande DIN 8593-5 propose une classification des procédés d'assemblage par transformation en distinguant ceux qui nécessitent un moyen d'assemblage de ceux qui s'en passent, selon le type de pièces à assembler. Cette classification facilite la compréhension et le choix des méthodes adaptées aux différentes applications mécaniques.

### **1. L'assemblage :**

L'assemblage est un procédé permettant de lier entre elles plusieurs pièces pour former un ensemble.

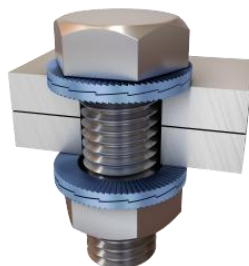
Pour réaliser ou fabriquer un produit, il faut assembler tous les éléments qui le composent. Ces éléments peuvent être de matériaux et de formes différentes nécessitant parfois des techniques d'assemblage différentes. Dans le domaine industriel, il existe plusieurs techniques d'assemblage qui permettent de fixer les éléments d'un produit les uns aux autres.

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

#### **1.1 Assemblage complet ou partiel:**

##### **1.1.1 Assemblage complet:**

Dans l'assemblage complet, aucun mouvement n'est possible entre les pièces assemblées.



**Figure 1** Assemblage mécanique avec boulon, écrou et rondelles

### **1.1.2 Assemblage partiel:**

Dans l'assemblage partiel, il y'a possibilité de mouvements entre les pièces assemblées.

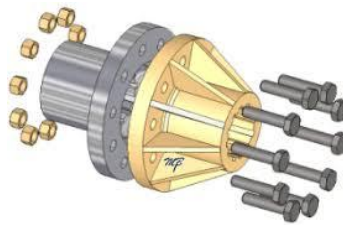


**Figure 2** Assemblage partiel

### **1.2 Assemblage démontable ou non démontable (permanent):**

#### **1.1 Assemblage démontable:**

Dans l'assemblage démontable, on peut supprimer la liaison (l'assemblage) sans détériorer les pièces ou les éléments de liaison.



**Figure 3** Assemblage d'une bride avec boulons et écrous

#### **1.3 Assemblage non démontable:**

Dans l'assemblage non démontable, il est impossible de supprimer la liaison sans détériorer les pièces ou les éléments de liaison.



**Figure 4** Assemblage non démontable

## **2. Assemblage élastique ou rigide:**

### **2.1 Assemblage élastique:**

Dans l'assemblage élastique, un déplacement d'une pièce provoque la déformation de l'élément de liaison qui est élastique (ressort, caoutchouc...)



**Figure 5** Assemblage de suspension automobile avec ressort et amortisseur

### **2.2 Assemblage rigide:**

Dans l'assemblage rigide, il n'y a aucune déformation relative dans n'importe quelle direction.



**Figure 6** Assemblage Coupelle de roulement avec éléments de roulement en plastique

## **3 Assemblage par obstacle ou par adhérence:**

### **3.1 Assemblage par obstacle:**

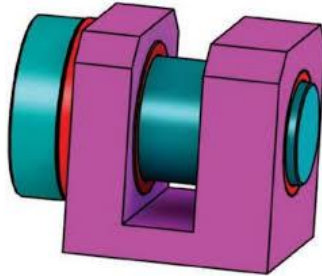
Dans l'assemblage par obstacle, un élément fait obstacle au mouvement entre deux pièces assemblées.



**Figure 7** Assemblage par obstacle

### **3.2 Assemblage par adhérence:**

Dans l'assemblage par adhérence, la liaison est obtenue par le phénomène d'adhérence entre les deux pièces dû au frottement.



**Figure 8** Assemblage par adhérence

## **4. Assemblage direct ou indirect:**

### **4.1 Assemblage direct:**

Dans l'assemblage direct, les pièces sont directement en contact sans aucun éléments de liaisons



**Figure 9** Assemblage de Raccord coudé en métal direct

### **4.2 Assemblage indirect:**

Dans l'assemblage indirect, les pièces sont liées par un ou plusieurs éléments intermédiaires.



**Figure 10** Assemblage indirect

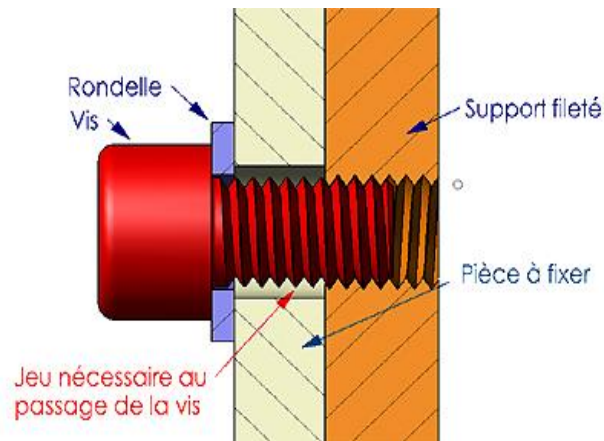
## **5. Moyens d'assemblages démontables:**

### **5.1 Par élément filetés:**

L'assemblage est obtenu par adhérence indirecte.

#### **5.1.1 Vis d'assemblage:**

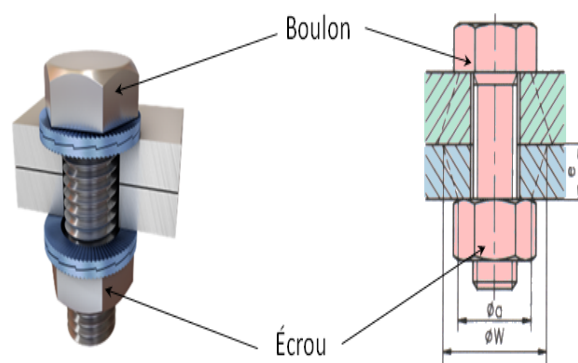
Seule une pièce possède un trou taraudé recevant la partie filetée. Les autres pièces possèdent un trou lisse.



**Figure 11** Schéma d'assemblage avec vis, et support fileté

#### **5.1.2 Boulon d'assemblage:**

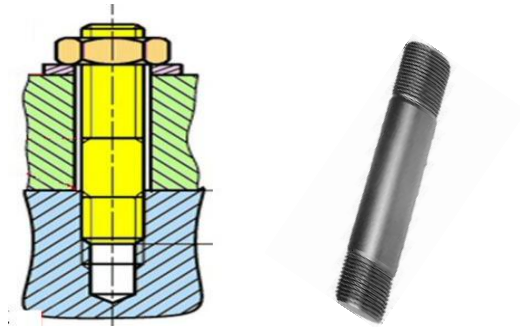
Les pièces à assembler possèdent un trou lisse chacune. Le trou taraudé se trouve dans l'écrou.



**Figure 12** Schéma d'assemblage avec boulon

### **5.1.3 Goujon:**

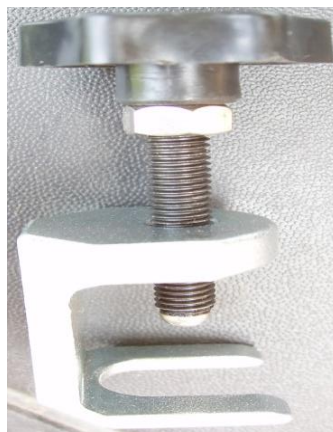
Composé d'une tige filetée à ses deux extrémités séparées par une partie lisse.



**Figure 13** Schéma d'assemblage par goujon

### **6. Vis de pression :**

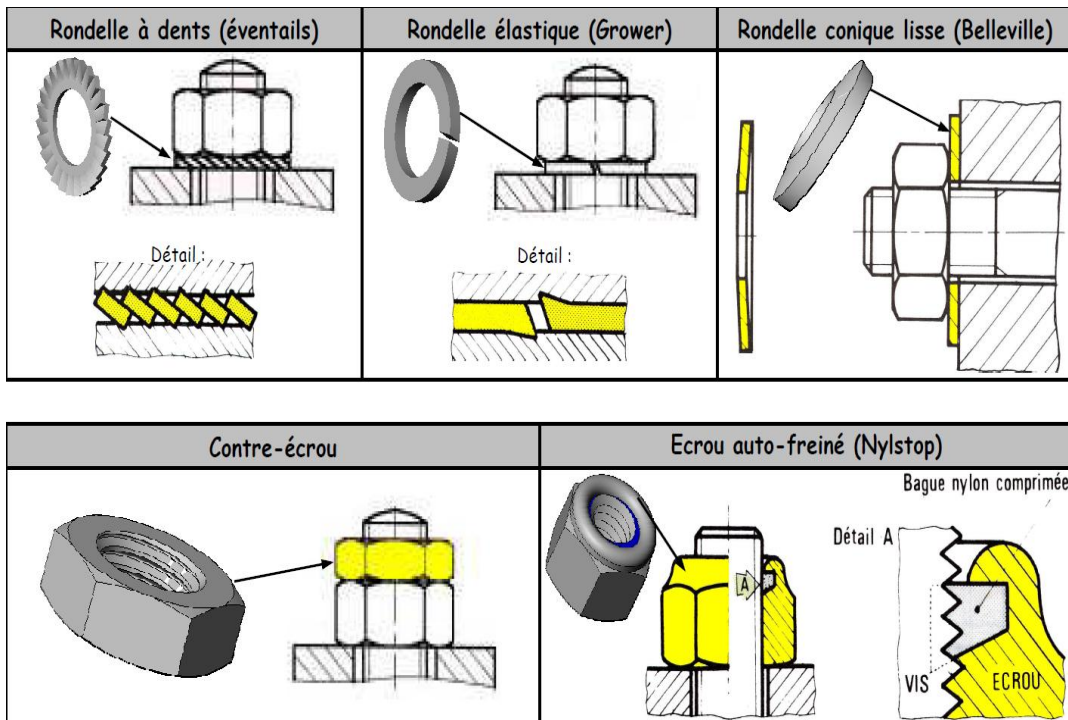
Exerce un effort de serrage par l'extrémité de la vis pour le maintien en position d'une pièce.



**Figure 14** Schéma d'assemblage par vis de pression

### **7. Par freinage des vis et écrou:**

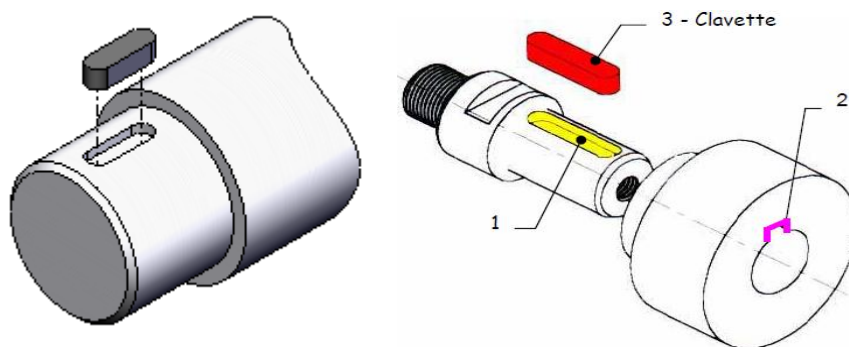
Leur fonction est de s'opposer au desserrage des vis et écrous soumis aux chocs, vibrations, différence des températures...



**Figure 15** Assemblage par freinage des vis et écrou

### **8. Clavettes:**

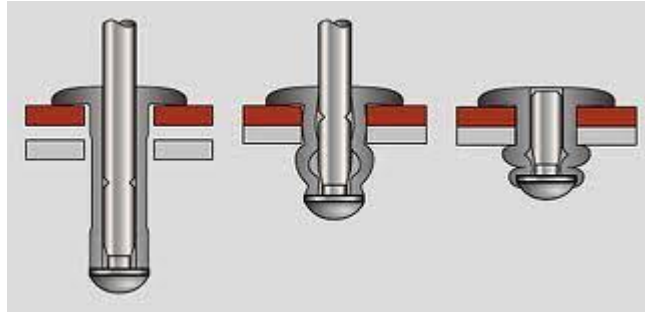
Un clavetage se réalise entre un arbre (1) et un moyeu (2) s'assemblant par l'intermédiaire de formes cylindriques ou coniques.



**Figure 16** Schéma d'un assemblage avec clavette

## **9. Moyens d'assemblages non démontables:**

La liaison entre deux pièces minces (tôles) est réalisée par déformation de l'extrémité d'un rivet. Cette déformation est appelée « rivure ».



**Figure 17** Assemblages non démontables

## **10. Soudage:**

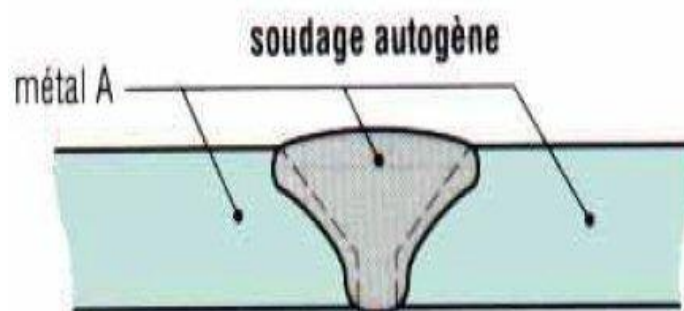
### **10.1 Soudage autogène:**

Le soudage autogène est une méthode de soudage par fusion, dans laquelle :

Les bords des pièces à assembler sont fondus localement, avec ou sans apport de métal d'appoint, puis fusionnés ensemble pour ne former qu'un seul métal homogène à l'état solide.

C'est un procédé sans pression, basé uniquement sur la chaleur.

Les pièces à assembler, de même nature ou de composition voisine, participent à la constitution du cordon de soudure. L'assemblage est « homogène », c'est à dire « fait du même métal ».



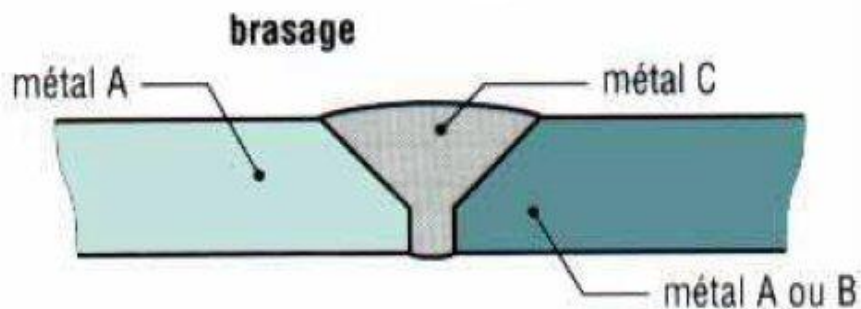
**Figure 18** Soudage par autogène

## **10.2 Brasage:**

L'assemblage est hétérogène. La formation du cordon de soudure est assurée par la seule intervention du métal d'apport qui agit comme une colle (les pièces conservent leurs contours primitifs).

Brasage tendre : Soudage à l'étain pour souder des fils électriques.

Brasage fort : Soudage à l'argent ou au cuivre pour souder des canalisations.

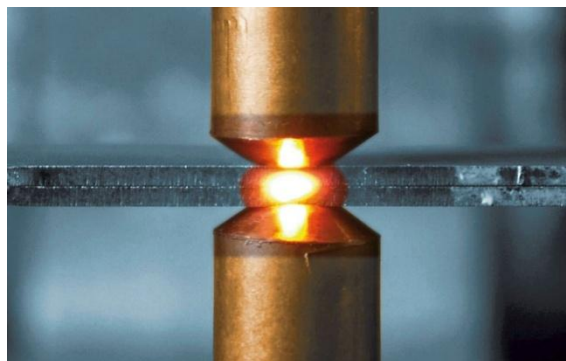


**Figure 19** Soudage par brasage

## **10.3 Soudage électrique par résistance :**

Le soudage par résistance est un procédé de soudage par pression, utilisant la chaleur générée par le passage d'un courant électrique à travers les pièces à assembler.

La résistance électrique locale des matériaux génère une élévation de température, suffisante pour les amener à l'état pâteux ou de fusion. Une pression est appliquée pour réaliser la liaison.



**Figure 20** Soudage électrique par résistance

## **Conclusion :**

En conclusion, l'assemblage mécanique par déformation constitue une étape essentielle dans la fabrication de structures solides et durables. La diversité des techniques, bien que complexe, permet de répondre à des besoins variés en fonction des matériaux et des pièces à assembler. La classification proposée par la norme DIN 8593-5 apporte un cadre utile pour mieux comprendre ces procédés et faciliter leur choix en industrie, même en l'absence d'une norme internationale unique.

## Références Bibliographiques

- Guide de l'usinage - Fraisage - Perçage - Alésage - Brochage - Librairie Eyrolles. Livre.
- Notions de technologie mécanique - P. Beauvais - Librairie Eyrolles. Livre.
- Guide des fabrications mécaniques PADELLA P. Ed. Dunod.
- Eléments de fabrication. Edition Ellipses. Denis Gelin, Michel Vincent. 2005.
- Dossier de technologie de construction, Editions Casteilla. André Ricardeau & Claude Corbet, Paris ,(1990).
- Usinage par enlèvement de copeaux, de la technologie aux applications industrielles. Editions Eyrolles, juin 2005 Paris.
- Mécanique pour ingénieurs Vol.1; Ferdinand P. Beer Russell E. Johnston 3e édition - mai 2018 - 608 pages - ISBN 978-2-8073-1892-2.
- 1. Manuel de technologie mécanique, Guillaume SABATIER, et al Ed. Dunod.
- Guide pratique des sciences et technologies industrielles - Coll. AFNOR. J. Fanchon . 2009 Livre
- Manuel de construction mécanique - 3ème édition Guillaume Sabatier, François Ragusa, Hubert Antz. Dunod. 2013.
- Toute la mécanique industrielle, Guide pratique illustré, Georges Martial Indrian, Frédéric Rossi 2024.
- تكنولوجيا عمليات التصنيع خريز ز و فواز د. ديوان المطبوعات الجامعية الجزائر