

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



**Ecole Nationale Polytechnique**  
**Département de Métallurgie**

**Mémoire de projet de fin d'études**  
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie des matériaux

---

**Élaboration et caractérisation Mécanique de l'alliage  
de cuivre CuZn36**

---

**Présenté et soutenu publiquement le 04/07/2023**

**Réalisé par : BOUZEKOURA Karim**

**Composition du jury :**

Président : Mr. HELLAL Fatah  
Promoteur : Mr. DAIMELLAH Abderrahmane  
Examineur : Mr. ABADLI Kamel

**ENP2023**



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



**Ecole Nationale Polytechnique  
Département de Métallurgie**

**Mémoire de projet de fin d'études**  
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie des matériaux

---

**Élaboration et caractérisation Mécanique de l'alliage  
de cuivre CuZn36**

---

**Présenté et soutenu publiquement le 04/07/2023**

**Réalisé par : BOUZEKOURA Karim**

**Composition du jury :**

Président : Mr. HELLAL Fatah  
Promoteur : Mr. DAIMELLAH Abderrahmane  
Examineur : Mr. ABADLI Kamel

**ENP2023**

## ملخص:

السبائك المعدنية تحتل الصدارة في التنمية الصناعية والعديد من التطبيقات. الهدف من هذه الدراسة هو تحديد الخصائص الميكانيكية لسبيكة النحاس والزنك اعتمادا على صناعة عينات قياسية مختلفة باستعمال قالبين مختلفين: قالب الرمل وقالب الطوب الحراري من خلالها يتم اجراء اختبارات الشد، القص، الصلابة مفتاح:سبائك النحاس،الاختبارات الميكانيكية ،عينات ,قالب

### **Abstract:**

Metal alloys are at the forefront of industrial development and many applications.

The aim of this study is to determine the mechanical properties of a copper-zinc alloy CuZn36.

According to the manufacture of different standard samples using two different molds: the sand mold and the refractory brick mold, through which tensile, shear and hardness tests are carried out.

**Keywords:** copper alloys, mechanical tests, samples, mould.

### **Résumé**

Les alliages métalliques sont à la pointe du développement industriel et de nombreuses applications.

Le but de cette étude est de déterminer les propriétés mécaniques d'un alliage cuivre-zinc CuZn36.

En fonction de la fabrication de différents échantillons standards utilisant deux moules différents : le moule en sable et le moule en brique réfractaire, à travers lesquels des essais de traction, de cisaillement et de dureté sont effectués.

**Mots clés :** Alliages de cuivre, essais mécaniques, échantillons, moule.

## ***REMERCIEMENTS***

Après avoir rendu grâce à Dieu le tout puissant et le Miséricordieux je tiens à remercier et à exprimer ma profonde gratitude à mon encadreur, Dr **Abderrahmane Daimellah** pour son suivi et ses judicieux conseils et sa disponibilité.

Je remercie vivement tous les membres du jury pour le temps qu'ils ont consacré à la lecture de ce mémoire et à l'intérêt qu'ils lui ont apporté. Monsieur Hellal Fatah en tant que Président et Monsieur Abadli Kamel. En tant qu'examinateur Nous leurs sommes redevables pour leur attention et leur bienveillance.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage.

Je remercie l'ensemble des enseignants du département de génie des matériaux de l'école nationale polytechnique pour leur contribution à ma formation d'ingénieur.

# *Dédicace*

*Je dédie ce travail à*

*Mes parents*

*Mes frères et sœurs*

*À tous mes amis de l'université et en dehors de  
l'université.*

## *Sommaire générale*

### LISTE DES FIGURES

### LISTE DES TABLEAUX

<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	11
<b>CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
<b>I.1. Le cuivre et ses alliages</b> .....	13
<b>I.1.1. Cuivre</b> .....	13
<b>I.1.1.1. Propriétés de Cuivre</b> .....	13
<b>I.1.1.2. L'alliages de Cuivre</b> .....	16
<b>I.1.2.1. La Définition d'alliage de Cuivre</b> .....	16
<b>I.1.2.2. Les Principaux d'alliages de cuivre</b> .....	17
<b>I.1.2.3. La désignation conventionnelle du Cuivre et de ses alliages</b> .....	25
<b>I.1.2.4. La Désignation métallurgique</b> .....	26
<b>I.1.2.5. Structure cristalline des alliages de Cuivre</b> .....	26
<b>I.2. Propriétés mécaniques</b> .....	26
<b>I.2.1. Caractérisations mécanique</b> .....	26
<b>I.2.2. Essais mécanique</b> .....	27
Introduction .....	27
<b>I.2.2.1. Essai de traction</b> .....	28
<b>I.2.2.2. Essai de dureté</b> .....	30
<b>I.2.2.2.1. Essai de dureté Brinell</b> .....	31
<b>I.2.2.2.2. Essai de dureté Vickers</b> .....	32
<b>I.2.2.2.4. Essai de dureté Rockwell</b> .....	33
<b>I.2.2.3. Essai de résilience</b> .....	35
<b>I.3. Présentation de l'entreprise</b> .....	37
<b>CHAPITRE II : ÉLABORATION DE L'ALLIAGE CuZn36</b>	
<b>II.1. Matériau étude</b> .....	41
<b>II.1.1. Composition chimique</b> .....	41
<b>II.1.2. Propriété physiques</b> .....	41
<b>II.1.3. Propriétés et utilisations</b> .....	41
<b>II.2. Matière première CuZn36</b> .....	42
<b>II.2.1. Cuivre</b> .....	42
<b>II.2.2. Zinc</b> .....	43
<b>II.3. Moulage</b> .....	44
<b>II.3. 1 Moulage en sable</b> .....	44
A/Sable neuf .....	44
A .1Caractéristiques du sable neuf .....	44
B/Noir minéral .....	45

## Sommaire Générale

---

<b>B.1</b> Caractéristiques du noir minéral .....	45	
C/La bentonite .....	45	
<b>II.3.2</b> Moulage en brique réfractaire .....	46	
<b>II.4.</b> Procèdes de fusion .....	47	
<b>II.5.</b> La coulée .....	48	
<b>II.6</b> Le traitement thermique CuZn36 .....	48	
<b>II.7.</b> Le traitement de surface des CuZn36 .....	48	
<b>II.7.1</b> Décapage .....	48	
<b>II.7.2</b> Polissage mécanique .....	49	
 <b>CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSIONS</b>		
<b>III.1.</b> Introduction .....	52	
<b>III.2.</b> Caractérisation mécanique de laiton CuZn36 .....	52	
<b>III. 2.1</b> Préparation des éprouvettes .....	52	
<b>III.2.1.1</b> le tournage .....	53	
<b>III.2.1.1.1</b> Tournage de l'éprouvette de l'essai de traction .....	53	
<b>III.2.1.1.2</b> Tournage de l'éprouvette de l'essai de cisaillement .....	54	
<b>III.2.1.1.2</b> Tournage de l'éprouvette de l'essai de micro dureté .....	54	
<b>III.3</b> essai de traction .....	55	
<b>III.3.1</b> Méthode d'essai de traction .....	55	
<b>III.3.2</b> Caractéristiques de traction .....	56	
<b>III.3.3</b> Résultats de l'essai de traction .....	57	
<b>III.3.4</b> Interprétation de l'essai de traction .....	58	
<b>III.4</b> essai de cisaillement .....	58	
<b>III.4.1</b> Résultats de l'essai de cisaillement .....	59	
<b>III.4.2</b> Interprétation de l'essai de cisaillement .....	60	
<b>III.5</b> essai de micro dureté .....	60	
<b>III.5.1</b> Résultats de l'essai de micro dureté .....	60	
❖ CuZn36 échantillon -3-.....	61	
❖ CuZn36 échantillon -2- .....	61	
<b>III.5.2</b> Interprétation de l'essai de micro dureté .....	62	
 <b>CONCLUSION GENERALE</b> .....		65
<b>Références bibliographiques</b> .....	66	



## Liste des figures

---

### Liste des figures

<b>Figure I.1:</b> objets utilisation des alliages de cuivre .....	16
<b>Figure I-2 :</b> Cuivre pur .....	17
<b>Fig. I.3:</b> Diagramme de phase du système Cuivre-Zinc .....	18
<b>Figure I-4</b> <i>Observations au microscope électronique à balayage des laitons</i> .....	19
<b>Fig. I.5:</b> Diagramme binaire cuivre-étain pour la gamme de composition des bronzes .....	23
<b>Figure I.6:</b> Structure cristalline du Cuivre .....	26
<b>Figure I.7</b> Epreuve de traction : a) cylindrique, b) prismatique .....	29
<b>Figure I.8</b> Représentation d'une courbe de traction (matériau ductile) .....	30
<b>Figure I.9</b> Définitions des différents domaines de dureté .....	31
<b>Figure I.10</b> Principe de dureté Brinell .....	32
<b>Figure. I.11</b> Principe de dureté Vickers .....	33
<b>Figure I.12</b> Principe de la dureté Rockwell (échelle B, bille en acier) .....	34
<b>Fig. I.13</b> Schéma d'un mouton pendule et vue de dessus de l'éprouvette avant choc .....	36
<b>Figure I.14</b> Epreuves Charpy standardisées. Le type le plus utilisé est l'éprouvette ISO-V .....	37
<b>Figure I.15:</b> L'entreprise ALFEL .....	37
<b>Figure -II-1 :</b> Les copeaux de Cuivre .....	42
<b>Figure -II-2 :</b> Les lingots du Zinc .....	43
<b>Figure -II-3 :</b> Sable neuf .....	44
<b>Figure -II-4 :</b> Noir minéral .....	45
<b>Figure-II-5 :</b> La bentonite .....	45
<b>Figure -II-6.</b> Le moule dans du sable .....	46
<b>Figure -II-7</b> Le moule dans du briques réfractaire .....	47
<b>Figure-II-8</b> Four à chambre électrique .....	47
<b>Figure-II-9</b> Polisseuse .....	49
<b>Figure II-10.</b> Echantillons après les différents traitements, en sable 1 et 2 .....	49
<b>Figure II-11.</b> Echantillons après les différents traitements, en briques réfractaire 3, et 4 .....	49
<b>Figure III-1</b> la Machine-outil (Tour) .....	51
<b>Figure III.2</b> Préparation l'éprouvette de l'essai de traction .....	52
<b>Figure III.3</b> Epreuve finie pour la traction .....	53
<b>Figure III.4</b> Epreuve finie pour de cisaillement .....	53
<b>Figure III.5</b> Epreuve finie pour de la micro dureté .....	54
<b>Figure III.6:</b> Epreuve fixée dans les deux mors .....	54

## Liste des figures

---

<b>Figure III.7</b> : Courbe conventionnelle de traction pour CuZn36 échantillon en brique réfractaire 3 .....	56
<b>Figure III.8</b> : Courbe conventionnelle de traction pour CuZn36 échantillon sable 1 .....	56
<b>Figure III.9</b> : Dispositif pour l'essai de cisaillement .....	58
<b>Figure III. 10</b> : Micro uromètre Zwick/Roell .....	59
<b>Figure III. 11</b> : Empreinte de du l'essai de micro dureté sur l'échantillon 2 .....	60

## Liste des tableaux

---

### Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> : carte d'identité du Cuivre .....	13
<b>Tableau I.2</b> : les Propriétés physico-chimiques du Cuivre .....	14
<b>Tableau I.3</b> : Propriétés physiques du cuivre .....	15
<b>Tableau I.4</b> : Aptitude à la mise en œuvre du cuivre et de ses alliages .....	19
<b>Tableau I.5</b> Caractéristiques du Bronze de fonderie.....	23
<b>Tableau II.1</b> : Composition chimique de l'alliage CuZn36 .....	41
<b>Tableau II.2</b> :propriété physiques de l'alliage CuZn36 .....	41
<b>Tableau III.1</b> :Caractéristiques mécanique de traction sable 1 et brique 3 .....	57
<b>Tableau III .2</b> ;Les caractéristiques mécaniques du laiton binaire .....	60
<b>Tableau III.3</b> : Les constantes d'élasticité du laiton binaire .....	61
<b>Tableau III.4</b> :les résultats de la micro dureté pour l'échantillon 3 .....	61
<b>Tableau III.5</b> : les résultats de la micro dureté pour l'échantillon 2 .....	62

---

# *Introduction générale*

---

# Introduction Générale

---

## Introduction Générale

Le cuivre et ses Alliages ont d'excellentes propriétés mécaniques, une conductivité thermique et électrique élevée et une bonne soudabilité. Il a également une excellente résistance à la corrosion. Pour cette raison, ces matériaux sont largement utilisés dans les applications industrielles Telles que les échangeurs de chaleur et les équipements électriques.

Le laiton est l'alliage de cuivre le plus couramment utilisé dans l'industrie, notamment pour la fabrication de pièces tournées à grand volume .la composition en zinc varie entre 15et 45%. En dessous de 35%, le laiton est  $\alpha$  monophasé avec ductilité et usinabilité à froid. Entre 35 et 45% on parle d'une phase biphasée  $\alpha$  et  $\beta$ , en raison de sa forte teneur en cuivre, le laiton est sensible à la corrosion atmosphérique et développe rapidement une couche de patine à sa surface.

Notre travail consiste à élaborer et étudier les propriétés mécaniques d'un alliage binaire de laiton CuZn36.

Le premier chapitre est une Étude bibliographique sur le cuivre et ses Alliages, les caractérisations et les essais mécanique.

Le deuxième chapitre est dédié à l'élaboration de notre alliage de laiton cuzn36.

Le troisième chapitre regroupe nos résultats des caractérisations mécaniques (essai de traction, essai de cisaillement et dureté Vickers) de nos échantillons.

Le travail est finalisé par une conclusion générale .

---

*Chapitre I*  
*Etude bibliographique*

---

# Chapitre I. Etude bibliographique

## I.1. Le Cuivre et ses Alliages

### I.1.1. Cuivre

Le Cuivre est un élément chimique de symbole Cu et de numéro Atomique 29. Se produit naturellement dans la croûte terrestre et est essentiel à toute forme de développement Vie. En dehors de l'or, le Cuivre pur est le seul métal non ferreux. IL présente sur sa surface fraîche Nuance rose saumon. On l'appelle aussi "métal rouge".

Le Cuivre est un ductile conducteur Les charges électriques et thermiques sont particulièrement élevées, ce qui lui confère une variété d'utilisations. Il a participé Il est également utilisé comme un Matériau de construction et comme ingrédient dans de nombreux alliages.

#### I.1.1.1. Propriétés de Cuivre

Le cuivre est l'un des rares métaux qui existe à l'état naturel. De plus, ce fait explique également là C'est peut-être le premier métal utilisé par l'homme. A été trouvé à plusieurs endroits ruines, notamment à Chypre, d'où le nom : es Cyprium (métallique de l'île de Chypre) ensuite a été simplifié en cuprum [1].

Aujourd'hui, le cuivre joue un grand rôle dans applications diverses. Il est rarement utilisé uniquement sauf pour les conducteurs électriques et Un cas de conductivité thermique élevée est recherché [2].

Le Cuivre est un métal de couleur rouge qui cristallise dans un système de cfc (Paramètres de maille 361pm). La couleur rouge semble être due à des couches à la surface de  $Cu_2O$ , le cuivre est en fait jaune [3].

C'est selon Silber ( $\rho=1.59 \mu\Omega.cm$ )' Être le meilleur conducteur de chaleur et d'électricité, ingénierie électrique.

Le Cuivre est ductile et malléable à froid. Ça ne marche pas très bien (parce que c'est trop plastique, Adhère aux endroits rugueux, aux outils lubrifiés et est souvent utilisé sous forme d'alliages, Les plus importants sont le laiton (alliage Cuivre-Zinc) et le Bronze (alliage Cuivre-Etain).

### 1. Carte d'identité de Cuivre

Le tableau dessous représente quelque information sur le Cuivre

**Tableau I.1** : carte d'identité du Cuivre [4].

Symbole	Cu
Nom	<b>CUIVRE</b>
Numéro atomique	<b>29</b>
Election par niveau d'énergie	<b>1. 2. 8. 18</b>
Masse atomique	<b>63.546 U</b>

## Chapitre I. Etude bibliographique

Point d'ébullition	<b>2.652</b>
Point de fusion	<b>1.084,62 C°</b>
série	<b>Métaux de transition</b>
Densité	<b>8.96</b>

### 2. Propriétés physico-chimiques du Cuivre :

**Tableau I.2:** les Propriétés physicochimiques du Cuivre [5]

Propriétés	Valeur
Structure cristalline	Cubique à face centré
Masse atomique	63,546 g/mol
Paramètre de maille	3,61 Å
Point de fusion	1083°C
Point d'ébullition	2562°C
Masse volumique	8930 kg/m <sup>3</sup>
Conductivité thermique	385 W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
Conductivité électrique	1,71.10 <sup>-2</sup> μΩ.m
Module d'élasticité (MPa)	125 000
Charge à la rupture (MPa)	230 à 350
Limite d'élasticité 0.2% (MPa)	70 à 330
A (%)	45 à 60
Coefficient de dilatation linéique (à 20 °C)	16,6. 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
Coefficient de poisson ν	0.33

### 3. Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques ne dépendent pas de la nuance de Cuivre considérée et sont rarement La forme du produit (rouleau, tube, barre). Principalement affecté par le taux de change Travailler dur. Leurs valeurs moyennes sont présentées dans le tableau ci-dessous [6].



## Chapitre I. Etude bibliographique

**Tableau I.3: Propriétés physiques du cuivre [6]**

	Cu-a1 Cu-a2	Cub1	Cu-b2	Cu-c1	Cu-c2
Température de fusion (°C)	1065à 1083	1083	1083	1084	1084
Masse volumique a 20°C (Kg/dm <sup>3</sup> )	8.89 à 8.92	8.94	8.94	8.94	8.94
Conductivité thermique à 20 °C (W/ (m.K))	389	328	362	389	392
Conductivité électrique à 20°C (% IACS)	100	70à90	85à 98	100	100
Résistivité électrique à 20°C (10 <sup>-8</sup> Ω.m)	1.7	2.2	1.9	1.7	1.7
Coefficient de température résistivité de 0 à 100°C (10 <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup> )	3.9	3.1	3.6	3.9	3.9

### 4. Utilisations du Cuivre :

Le Cuivre et ses composés ont de nombreuses utilisations industrielles.

- ❖ Fabrication de nombreux alliages à base de Cuivre : Bronze (Etain), Laiton (Zinc), alliages cuivreux tels que Constantan, Monel (Nickel), Maillechort (Nickel et Zinc), alliages Devarda (Aluminium et Zinc), alliages de joaillerie (dont Or et Argent).
- ❖ Utilisé dans l'électricité, l'électronique, la plomberie, l'automobile, la fabrication d'équipements industriels et la fabrication de pièces de monnaie.
- ❖ Préparation de catalyseurs en synthèse organique (Cu, Cu(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>, CuCl<sub>2</sub>, CuCl, Cu<sub>2</sub>O, Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Cu<sub>2</sub>Cl(OH)<sub>3</sub>).
- ❖ Fabrication de Bain de couleur pour métaux, pigments pour verre, céramiques, émaux, peintures, encres et vernis (Cu(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>, CuCl<sub>2</sub>, Cu<sub>2</sub>O, CUO, Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, CuSO<sub>4</sub>).
- ❖ Industries pétrolières : désodorisant, désulfurant, agent de flottation (CuCl<sub>2</sub>, CuCl, CuSO<sub>4</sub>).
- ❖ Industries textile : teinture textile, tannage du cuir (CuSO<sub>4</sub>, Cu (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>, CuCl<sub>2</sub>, Cu (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>).
- ❖ Hydrométallurgie : Affinage des métaux (Cu<sub>2</sub>O, CUO, CuCl<sub>2</sub>).
- ❖ Galvanoplastie, traitement de surface (CuCl<sub>2</sub>, CuCl), zingage électrolytique des électrodes (CuCl, CuSO<sub>4</sub>).

## Chapitre I. Etude bibliographique

- ❖ Fabrication de produits phytopharmaceutiques : herbicides, fongicides (contre les moisissures) ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ), bouillies bordelaises ( $\text{CuSO}_4$  et hydroxide de calcium  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , sulfate de cuivre tribasique. [7]

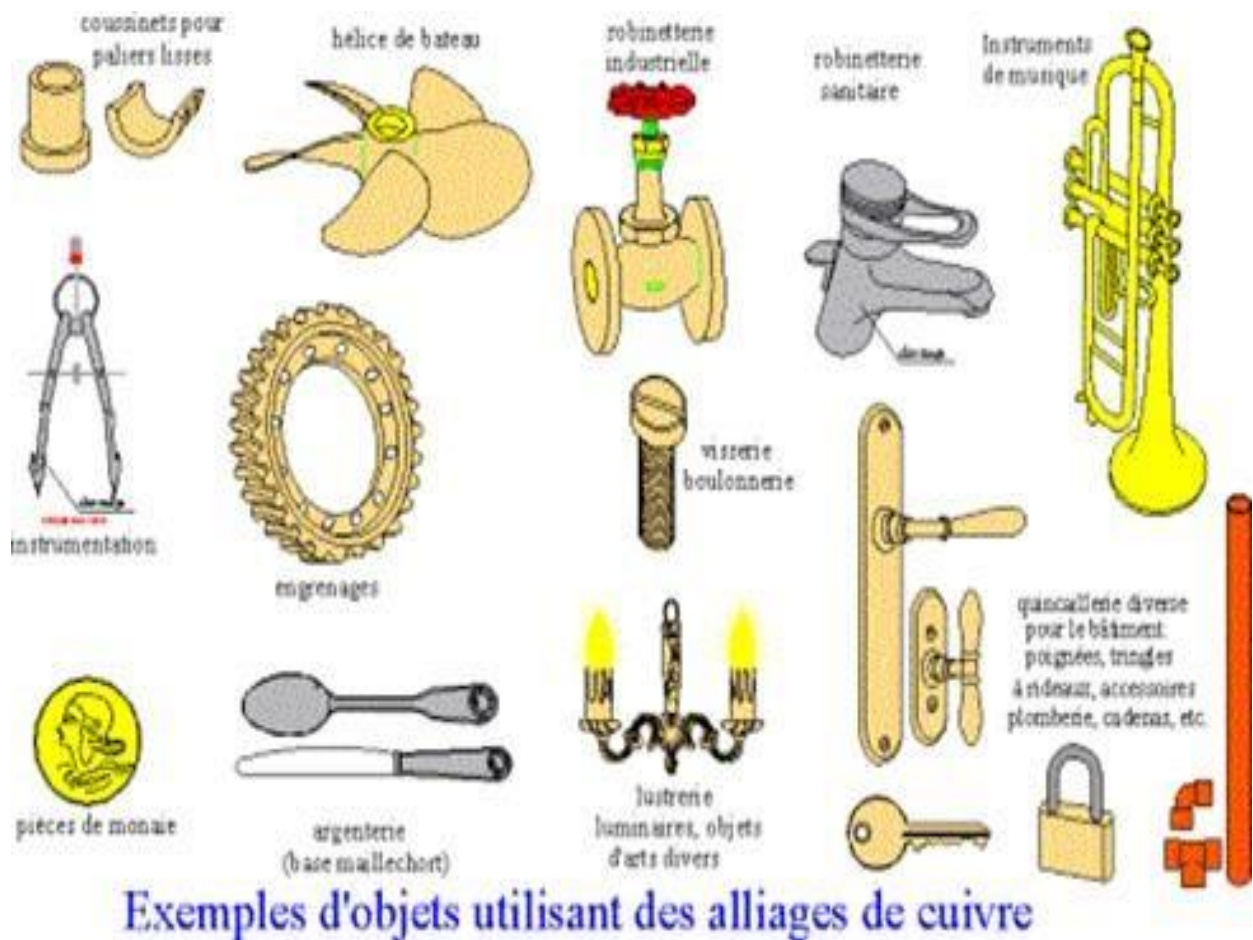


Figure I.1: objets utilisation des alliages de cuivre

### I.1.2. L'alliages de Cuivre :

#### I.1.2.1. La Définition d'alliage de Cuivre :

Les alliages sont identifiés par des lettres clés métalliques. L'alliage peut être une solution solide Un mélange d'éléments métalliques ou de phases métalliques. Composé interallié Les métaux sont des alliages avec une structure chimique et une structure cristalline spécifique. Les alliages sont principalement constitués de cuivre avec divers éléments ajoutés. Alliage Cuivre se sont des alliages de métaux non ferreux qui ne contiennent pas de Fer car le Cuivre peut se former Avec une large gamme d'autres métaux : Zinc, Etain et Aluminium. [8]



**Figure I-2 : Cuivre pur [8].**

### ➤ **Alliage monphasé :**

Les alliages avec des éléments ajoutés dissous dans le métal de base sont appelés alliages monphasés (ou alpha). Ils sont généralement plus faciles à travailler à froid que les alliages duplex et offrent une résistance supérieure à la corrosion. Ils sont connus pour leurs propriétés ductiles et leur aptitude au façonnage à froid.

Les alliages monphasés typiques sont :

- ✓ Laiton - jusqu'à 36% de teneur en Zinc, généralement sans additifs supplémentaires, Bronze à l'Etain - jusqu'à 8 % d'Etain, alliages Cuivre-Nickel - toutes compositions.

### ➤ **Les alliages biphasés (alliage duplex) :**

Un alliage biphasé (ou biphasé) se forme lorsque la quantité totale d'éléments d'alliage dépasse la limite de solubilité. Souvent un alliage  $\alpha$ - $\beta$ . La plasticité à des températures de travail élevées est conférée par la phase bêta.

Les alliages duplex typiques sont :

- ✓ Laiton estampé à chaud et coupe rapide, Bronze d'Aluminium duplex.

### **I.1.2.2. Les Principaux d'alliages de cuivre :**

#### ❖ **Les laitons :**

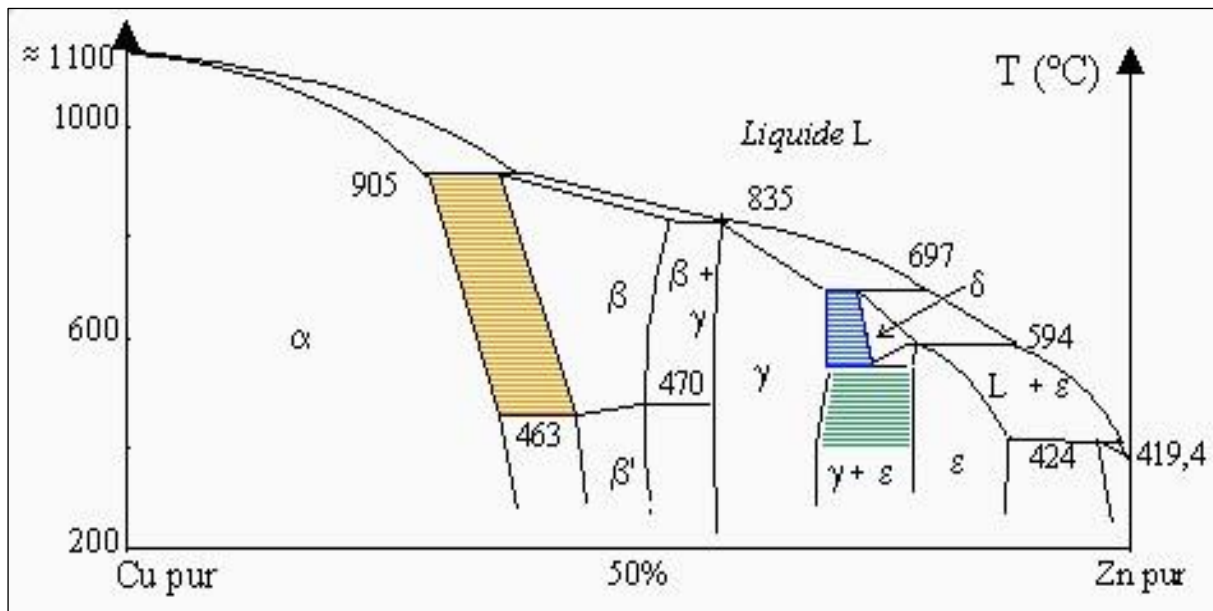
Le Laiton est un alliage Cuivre-Zinc dont l'élément d'alliage principal est le Zinc. Ils sont en Zinc ou Etain.

Il existe plusieurs types de Laiton, dont le plus courant contient 37 à 40 % de Zinc et est un Laiton duplex dont la microstructure Alpha/Bêta offre

## Chapitre I. Etude bibliographique

Une excellente ductilité pour les propriétés de filage et de forgeage à haute température.

Le diagramme de phase du système Cuivre-Zinc (fig. I.3) montre que le comportement à la solidification de cet alliage dépend de la concentration en Zinc par rapport à celle de la composition paratactique.



**Figure. I.3:** Diagramme de phase du système Cuivre-Zinc [9].

Les principaux types de Laiton avec différentes teneurs en Zinc sont :

### A) Laiton simple :

Il est courant de désigner le laiton ordinaire comme du laiton ne contenant que du Cuivre et du Zinc. La gamme des Laitons simples disponibles dans le commerce comprend essentiellement les quatre alliages suivants :

CuZn15, CuZn30, CuZn36 et CuZn40.

Ces alliages se distinguent à la fois par leurs caractéristiques esthétiques et leurs performances : propriétés, mécaniques, aptitude au travail à froid, au formage et à l'usinage. CuZn15 a une couleur jaune prononcée très proche de l'Or. D'autres Laitons unis couvrent différentes nuances de jaune dont l'intensité dépend de la teneur en Zinc.

### B) Laiton complexés :

Il convient de spécifier des laitons dans lesquels d'autres éléments sont introduits en quantités relativement faibles ne dépassant pas 3%. Le plus important de ces éléments est le Plomb, qui confère à l'alliage une excellente usinabilité. Les alliages les plus couramment utilisés sont CuZn39, CuZn40, CuZn40Al1, CuZn40Al2 et CuZn40Mn1 [10].

## Chapitre I. Etude bibliographique

Les alliages binaires à base de Cu-Zn ont un ensemble étonnant de propriétés, notamment la résistance mécanique, la formabilité et la conductivité électrique. Il possède également de bonnes propriétés de formage à chaud et à froid, des propriétés anti-étincelles et une faible perméabilité magnétique.

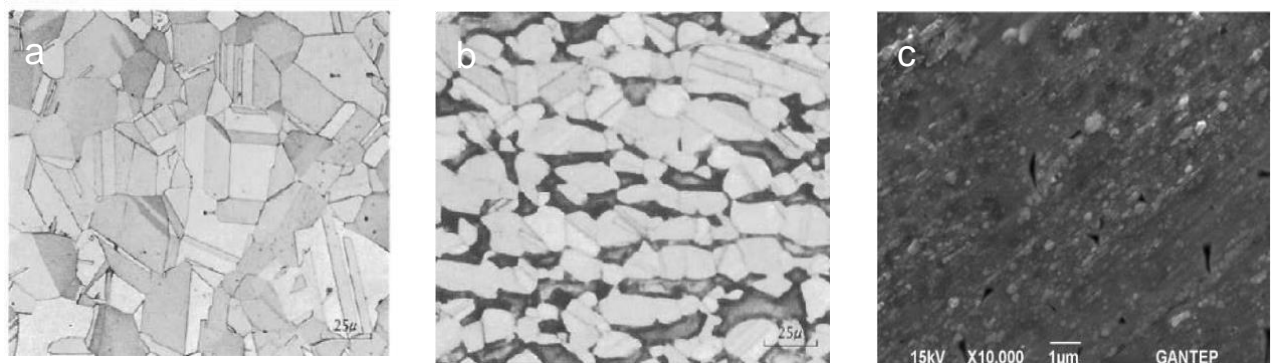
L'avantage du laiton réside dans ses excellentes propriétés mécaniques et dans le fait que la couche protectrice qu'il forme est plus résistante que le cuivre, notamment au contact de l'eau.

**Tableau I.4 :** Aptitude à la mise en œuvre du cuivre et de ses alliages [10]

Designation	s i m p l e s		L a i t o n s a u p l o m b		
	Cu>63%	Cu<63%	CuZn40	CuZn39	CuZn36
Déformation à froid	<b>Excellent</b>	<b>M o y e n</b>	<b>M o y e n</b>	<b>M o y e n</b>	<b>Très bon</b>
Déformation à chaud	<b>M o y e n</b>	<b>excellent</b>	<b>Très bon</b>	<b>Excellent</b>	<b>Très bon</b>
Produits usinés	<b>Moyen</b>	<b>Très bon</b>	<b>excellent</b>	<b>excellent</b>	<b>Très bon</b>
Produits de fonderie	<b>Très bon</b>	<b>Très bon</b>	<b>M o y e n</b>	<b>Très bon</b>	<b>M o y e n</b>
S o u d a g e	<b>Excellent</b>	<b>Pas adapté</b>	<b>Pas adapté</b>	<b>Pas adapté</b>	<b>Pas adapté</b>
Brasage tendre	<b>excellent</b>	<b>excellent</b>	<b>excellent</b>	<b>excellent</b>	<b>excellent</b>
Brasage fort	<b>excellent</b>	<b>excellent</b>	<b>Très bon</b>	<b>Très bon</b>	<b>Très bon</b>

### ❖ Microstructure:

Concernant la teneur en zinc, une distinction fondamentale est faite en tenant compte Diagramme Cuivre-Zinc (Figure. I.3) de la microstructure (Figure I.4)



**Fig. I-4 :** Observations au microscope électronique à balayage des laitons : (a) de premier titre (jusqu'au 35% de zinc), (b) de deuxième titre (entre 35 % et 45 % de zinc), (c) de troisième titre (au-delà de 45 % de zinc) [29].

## Chapitre I. Etude bibliographique

---

- a) Les laitons  $\alpha$  : à moins de 35% de zinc, c'est une solution solide de zinc dans le cuivre cubique à faces centrées.
- b) Les laitons  $\alpha - \beta$  : les laitons duplex, contenant entre 35 et 45% de zinc, ils sont composés de cristaux phase  $\alpha$  et de cristaux de phase  $\beta$ .
- C) Les laitons  $\beta$  : contenant entre 40 et 50% de zinc, ils ont une structure cubique centrée, dite  $\beta'$ .

❖ Le Laiton présente des avantages par rapport aux autres métaux et plastiques qui sont souvent négligés. Certains de ces avantages sont :

- ✓ Moins sensible au fluage,
- ✓ Faible perméabilité. Bonne conductivité
- ✓ Bonne résistance aux chocs,
- ✓ Bonne résistance à la corrosion,
- ✓ Bonne usinabilité, votre créativité,
- ✓ Bonne conductivité,
- ✓ Bonne ténacité au-dessus et au-dessous de la température ambiante, bonne résistance aux étincelles,
- ❖ Contrairement à certains matériaux, le laiton n'est pas affecté par:
  - ✓ Détérioration due au soleil,
  - ✓ Fragilisation due à la migration des plastifiants
  - ✓ Le besoin d'outils de moulage coûteux,
  - ✓ Il ramollit rapidement au-dessus de la température ambiante,
  - ✓ Fragilisation en milieu froid, Sous la dérivêtement,
  - ✓ Faible conductivité,
  - ✓ Formation rapide d'une couche d'Oxyde électriquement isolante.

❖ Les principales caractéristiques du laiton sont :

### 1. Usinage :

Le Laiton se présente sous de nombreuses formes et tailles et est facile et peu coûteux à usiner. L'ajout du Plomb constitue la norme absolue en matière de travail des métaux. Les techniques liées au perçage, au sciage, au fraisage et au roulage de filets sont particulièrement bien adaptées à ces types d'alliages. Selon la composition exacte de l'alliage, les résultats peuvent convenir à tel ou tel type de mise en œuvre. La teneur élevée en Cuivre d'environ 63% de cette gamme de produits garantit une bonne usinabilité ainsi qu'un excellent potentiel de formage à froid.

### 2. Façonnage :

Le Laiton riche en Cuivre ( $\text{Cu} > 63\%$ ) possède d'excellentes propriétés de formage à froid. Le Cuivre peut être plié et déroulé dans n'importe quelle direction, mais pour les stratifiés, le sens de laminage doit être pris en compte. Cette caractéristique

## Chapitre I. Etude bibliographique

---

permet aux interprètes de refaire un travail délicat sans risquer de casser le métal. Vous pouvez facilement plier les produits étirés.

### **3. Brasage et soudage :**

Les techniques de brasage et de soudage sont parfaitement applicables au Cuivre décoratif et à tous les laitons binaires sans ajout de Plomb. Les Laitons contenant du Plomb conviennent très bien au brasage tendre et dur. En revanche, il est peu adapté au soudage. Le soudage implique des températures élevées, qui modifient la répartition des particules de Plomb et rendent le métal cassant.

### **4. Dureté et résistance à l'usure :**

Certaines compositions de Laiton sont très appréciées pour leur résistance à l'usure. D'autres alliages de Cuivre tels que Cuivre/Aluminium peuvent également être utilisés pour ces éléments à forte contrainte.

### **5. Élasticité :**

L'allongement des produits en Laiton varie de 15% pour les nuances dures à 70% pour les produits recuits. Les feuilles et les bandes de Laiton peuvent être pliées jusqu'à 180° si elles sont correctement trempées.

### **6. Résistance à la corrosion :**

Dans la plupart des cas, le Laiton a une bonne résistance à la corrosion pour des applications dans des environnements très agressifs. Nous recommandons d'utiliser d'autres alliages de Cuivre. L'ajout d'éléments d'alliage est souvent utilisé pour modifier les propriétés mécaniques. B : Résistance à la corrosion, dureté, usinabilité et/ou autres raisons spécifiques.

Tous ces éléments affectent la solubilité du Zinc dans le Cuivre. La présence de Fer et/ou de manganèse dans l'alliage accélère le processus là [11]. La présence de Plomb (1,8–3,5%) améliore significativement la résistance à corrosion des alliages Cuivre-Zinc en présence de Cl<sup>-</sup> et SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> [12]. Une solution simple et efficace consiste donc à réduire la teneur en Zinc de l'alliage à un niveau inférieur à 15 % en poids.

Des additifs mineurs d'Étain (#1%), de Phosphore, d'Antimoine ou d'Arsenic (0,05-0,1%) (Amirauté) sont également utilisés industriellement. Ceci est très avantageux notamment pour les alliages monophasés. L'Arsenic est certainement "l'inhibiteur" le plus efficace et le plus utilisé (0,05% dans l'alliage Cuivre-Zinc de l'Amirauté avec 1% d'Étain). Selon certains auteurs, même une faible teneur est suffisante pour permettre la formation d'une fine couche d'éléments redéposés qui bloquent la dissolution du Zinc [23]. D'autres mécanismes ont également été proposés. Cependant, on ne sait toujours pas pourquoi l'Arsenic, le Phosphore ou l'Antimoine jouent des rôles bénéfiques et le Bismuth accélère la dézincification dans les alliages Munz en raison de leur similitude chimique [11]. Tous ces facteurs, associés à sa très bonne résistance à la corrosion et à ses excellentes propriétés d'usinabilité, rendent le Laiton particulièrement attractif.

## Chapitre I. Etude bibliographique

---

### ➤ **Domaine d'utilisation [10]:**

Les Laitons représentent le couplet le surtout démesuré dans les alliages de Cuivre et sont utilisés à cause de divers domaines, léser on cite :

- ✓ Les tuyaux de condenseurs des installations de désalement d'eau de mer,
- ✓ Les porte-étendards des tuyaux des échangeurs de chaleur,
- ✓ Les tonnelets de téléologie en Nickel ordinaires (vannes et raccords de plomberie),
- ✓ Les composants marins, y imprégné les hélices,
- ✓ Les tiges de soupape,
- ✓ Les hélices de bateaux.

### ❖ **Bronze [13]:**

Les alliages de Cuivre sont des métaux et alliages non ferreux. ils sont excellents

Excellente résistance à la corrosion: la résistance à la corrosion n'est pas la seule raison A quoi servent-ils: Vous pouvez cibler d'autres paramètres. B. malléable ou Conducteur thermique ou électrique (ou non conducteur), faible densité que l'acier .

Les alliages à base de Bronze, de Cuivre et d'Etain sont des alliages plus chers que le Laiton. Le rôle de l'Etain est essentiellement le même que celui du Zinc dans le Laiton. L'effet est seulement fort. Industriellement, la teneur est de 4 à 22% de Sn. Moulage facilité Mieux que le Laiton, mais difficile à travailler.

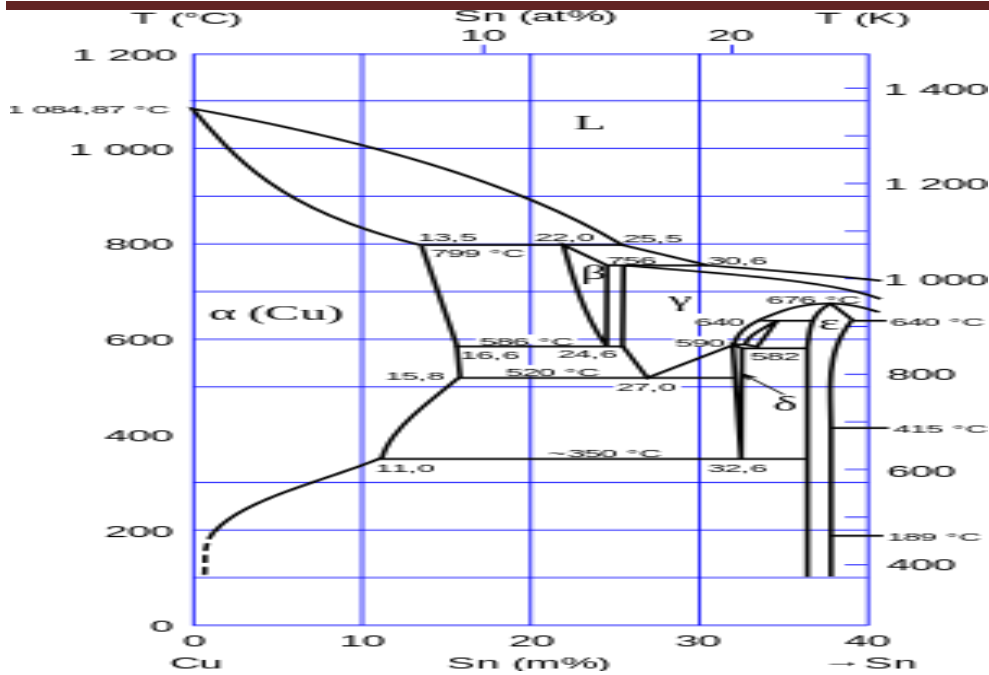
Le Bronze est utilisé en mécanique en raison de ses qualités de frottement élevées (roulements vilebrequins, roulements, etc.). Leur excellente résistance à la corrosion parle également de leur utilisation.

En raison de ses propriétés, le moulage est la forme la plus courante de Bronze non seulement il est hautement formable, mais il est également difficile à usiner. Alliages de haute qualité

Pour la fabrication de vannes, de raccords de tuyauterie et d'éléments Les machines ou roulements contiennent 12% ou 10% d'étain. peut être réduit à Un alliage de 6% d'Etain, mais aux propriétés mécaniques réduites. Les alliages de monnaie contiennent au moins 4 à 10% de Sn et les Bronzes de cloche contiennent au moins Jusqu'à 23% de Sn.



## Chapitre I. Etude bibliographique



**Figure I.4:** Diagramme binaire cuivre-étain pour la gamme de composition des bronzes.

### ➤ Propriétés physiques du bronze:

Le Bronze est rose si la teneur en étain ne dépasse pas 5%. Au-dessus de 15% de teneur en Etain, il prend une teinte dorée progressivement plus foncée et au-dessus de 15% de teneur en étain s'estompe. Le tableau suivant résume les propriétés physiques du Bronze le plus important.

**Tableau I.5** Caractéristiques du Bronze de fonderie.

Bronzes de fonderie			
	CuSn12	CuSn5 Pb20	CuSn10 Pb10
Température du liquidus (°C)	1 000	930	940
Température du solidus (°C)	820	760	850
Intervalle de solidification (°C)	180	170	90
Masse volumique à 20 °C (kg/dm <sup>3</sup> )	8,7	9,3	9,3
Coefficient de dilatation linéaire (10 <sup>-6</sup> /°C)	18	18	18
Capacité thermique massique à 20 °C (J/(kg.K))	376	376	376
Conductivité thermique à 20 °C (W/(m.K))	46	46	50
Conductivité électrique à 20 °C (% IACS)	10	10	11
Résistivité électrique à 20 °C (10 <sup>-8</sup> Ω.m)	17,2	17,2	15,7

## Chapitre I. Etude bibliographique

---

### ➤ Mise en œuvre Bronze :

#### 1. Décapage :

Le processus de décapage est particulièrement important car l'Oxyde d'Etain formé lors du recuit d'oxydation est abrasif et peut user les outils de coupe.

Le décapage se fait généralement avec de l'Acide Sulfurique dilué, semblable au Cuivre. L'Oxyde d'Etain, peu soluble dans les Acides, est partiellement éliminé sous forme de boues. Les Oxydes résiduels peuvent être complètement éliminés par un décapage minutieux dans un bain d'Acide oxydant, si désiré. Il a été supprimé.

Développé à l'origine pour le Cuivre au Béryllium, un test d'abrasion appelé "test de défilement" a été appliqué au Bronze pour évaluer la qualité du décapage. L'examen microscopique de la surface d'une sphère peut révéler ou non la présence de facettes reflétant les propriétés abrasives de la surface.

#### 2. Traitement thermique :

Le processus d'homogénéisation est effectué à 680-780°C°. Le recuit à 500-700°C° a lieu après l'érouissage.

#### 3. L'usinage :

La vitesse d'usinage est affectée par la teneur en phase delta dure et cassante et la teneur en Plomb.

Indice d'usinabilité par rapport au laiton de décolletage CuZn39Pb2 100 est d'environ 20 pour le Bronze sans Plomb à faible force et d'environ 80 pour le Bronze CuSn5Pb5Zn5.

#### 4. Méthode d'assemblage :

Le Bronze est facile à souder avec de la brasure tendre, mais les joints brasés et soudés sont sujets à la fissuration thermique.

Les nuances très pauvres en Phosphore sont difficiles à souder au chalumeau oxycombustible Les nuances contenant du Zinc et du Plomb sont difficiles à souder ; la résistivité élevée de ces alliages permet le soudage par résistance électrique du Bronze.

#### ❖ Cupro-Aluminium :

Ce sont des alliages de Cuivre et d'Aluminium contenant 4 à 14% d'Aluminium, généralement avec des ajouts de Fer, de Nickel ou de manganèse pour améliorer les propriétés.

#### ❖ Cupronickel :

Le Nickel se dissout dans le Cuivre dans n'importe quel rapport. En pratique, les alliages de Cuivre et de Nickel contiennent 5 à 44% de Nickel et certains éléments tels que le Fer, l'Aluminium, le manganèse et le Silicium.

#### ❖ Maillechorts :

## Chapitre I. Etude bibliographique

---

L'argent Allemand est un alliage ternaire de Cuivre-Nickel-Zinc et peut contenir de petites quantités de Plomb pour faciliter la manipulation. Le contenu est inclus dans les domaines suivants :

- Cuivre : 45-65 %.
- Nickel : 10-25%.
- Zinc : 20-45%.

### ❖ **Cuprosilicium :**

Un alliage de Cuivre contenant 2 à 4 % de Silicium et de petites quantités de Manganèse, d'Aluminium, de Fer, etc. [14]

### **I.1.2.3. La désignation conventionnelle du Cuivre et de ses alliages :**

La désignation du Cuivre et de ses alliages est couverte par la norme NF EN 1412 (indice de classement A 02-006). Les alliages de Cuivre ont actuellement une désignation à six chiffres. Le premier emplacement est marqué de la lettre C (fil de cuivre). Les caractères en deuxième position sont des caractères ayant les significations suivantes :

**B :** matériau en forme de billette pour la refusions afin de produire des pièces moulées.

**C :** Matériaux sous forme d'articles.

**F :** Matériel supplémentaire pour le brasage et le soudage.

**M :** alliage maître.

**A :** Laiton brut poli.

**S :** Matériaux sous forme de matières premières recyclables.

**W :** Matériau sous forme de produits usinés.

**X :** Matériel non standard.

Les caractères en 3<sup>ème</sup>, 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> positions sont les chiffres qui composent les nombres 000 à 999, et ces caractères n'ont aucune signification.

La 6<sup>ème</sup> lettre est une lettre représentant l'un des groupes de matériaux énumérés ci-dessous.

**A** ou **B :** Cuivre.

**C** ou **D :** Cuivre faiblement allié (moins de 5% d'éléments d'alliage).

**E** ou **F :** divers alliages de cuivre (5% ou plus d'éléments d'alliage).

**G :** Cuivre-Aluminium.

**H :** Cuivre Nickel.

**J :** Cuivre-Nickel-Zinc.

**K :** Cuivre Etain.

**L** ou **M :** Binaire Cuivre-Zinc.

**N** ou **P :** Cuivre-Zinc-Plomb.

**R** ou **S :** Complexe Cuivre-Zinc.

## Chapitre I. Etude bibliographique

### I.1.2.4. La Désignation métallurgique :

Ils sont définis par la norme NF EN 1173 (indice de classement A 02 008). Les désignations de dureté métallurgique se composent généralement de quatre lettres. Le premier est une lettre, puis trois chiffres. La poursuite du traitement est indiquée par des lettres ultérieures. La première lettre a la signification suivante :

**R** : Allongement.

**B** : Limite de flexion élastique.

**D** : Aucune spécification des propriétés mécaniques, selon le dessin.

**G** : Granularité.

**H** : Dureté (Brinell ou Vickers).

**M** : Aucune propriété mécanique spécifiée au moment de la fabrication.

**R** : Résistance à la traction.

**Y** : Limite d'élasticité conventionnelle à 0,2%. [15].

### I.1.2.5. Structure cristalline des alliages de Cuivre :

Cuivre cristallisé dans un système cubique à faces centrées (CFC), paramètre de maille  $a = 3,60 \cdot 10^{-10} \text{m}$ , et le contact est supposé être entre des unités de cuivre éventuellement sphériques. De plus, le cuivre peut former de nombreux alliages

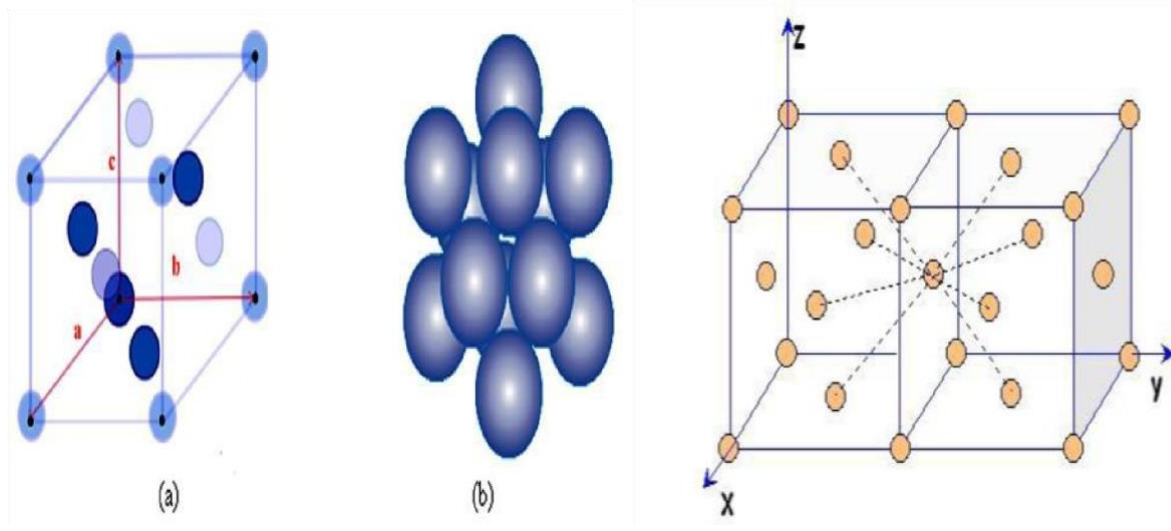


Figure I.5: Structure cristalline du Cuivre. [16]

## I.2. Propriétés mécaniques :

### I.2.1. Caractérisations mécanique [17]:

Ce sont les propriétés des propriétés liées aux aspects de résistance à la force, de déformation induite par la force, de déformation induite par la force et de contact solide à solide (impact, glissement, etc.).

❖ **Rigidité :**

## Chapitre I. Etude bibliographique

---

C'est la capacité d'un matériau à se déformer élastiquement (et donc de manière réversible).

La rigidité est définie par le module d'élasticité  $E$ , plus le matériau est rigide, plus la force appliquée est importante.

### ❖ **Élasticité :**

Capacité d'un matériau à se déformer sous une charge (force) et à revenir à son état d'origine après décharge.

### ❖ **Résistance maximale :**

Contrainte de traction, moment de torsion, charge maximale qu'un matériau peut supporter.

### ❖ **Limite élastique :**

Contrainte maximale que peut supporter un matériau pour se déformer élastiquement.

### ❖ **Plasticité :**

Il s'agit de la formation d'un matériau sous contrainte sans revenir à son état d'origine après décharge.

### ❖ **Ductilité :**

Capacité d'un matériau à se déformer plastiquement avant rupture. Un matériau qui se déforme davantage avant rupture est plus ductile qu'un matériau qui se déforme moins.

### ❖ **Fragilité :**

Les matériaux fragiles sont fragiles et sujets à la déformation plastique. J'ai compris : La ductilité et la fragilité sont deux concepts opposés qui peuvent être exprimés comme suit :

- Allongement à la rupture  $A\%$
- Pourcentage de striction  $Z$
- Élasticité mesurée par le test Charpy

### ❖ **Ténacité :**

Capacité d'un matériau à absorber de l'énergie lors d'une déformation plastique.

IL combine une bonne résistance à la traction avec une bonne ductilité. Une façon de définir la ténacité est la surface créée par la courbe de traction. La ténacité peut être mesurée avec le test d'impact Charpy.

## I.2.2. Essais mécanique :

### Introduction :

Le but des essais mécaniques est de déterminer un nombre spécifique, propriétés des métaux et alliages, aptitude à se déformer par traction ou compression, Résistance à la pénétration, etc.

Les résultats obtenus à partir de ces différents tests mettent en œuvre la technologie.

Elle est directement liée à la structure des métaux et permet leur prédiction

Fonctionnement en conditions réelles d'exploitation.

### I.2.2.1 Essai de traction [18] [19] [20]:

#### Objectif :

Mettre en évidence les caractéristiques suivantes :

- Résistance à la traction :
- $R_m$ ,  $\sigma_m$  ou  $f_u$  (limite ultime).
- Caractéristiques d'élasticité ( $R_e$ ).
- Capacité d'allongement ( $\sigma = E \cdot \epsilon = F/S$ ).

#### 1) Intérêt et déroulement de l'essai :

L'essai de traction est l'essai mécanique le plus fréquemment utilisé. Il consiste à soumettre une éprouvette du matériau à étudier à deux efforts  $F$  de tension de sens opposés et de même valeurs absolues. La ligne d'action étant confondue avec l'axe de symétrie ou de rotation de l'éprouvette. On mesure instantanément l'allongement  $\Delta l$ , correspondant.

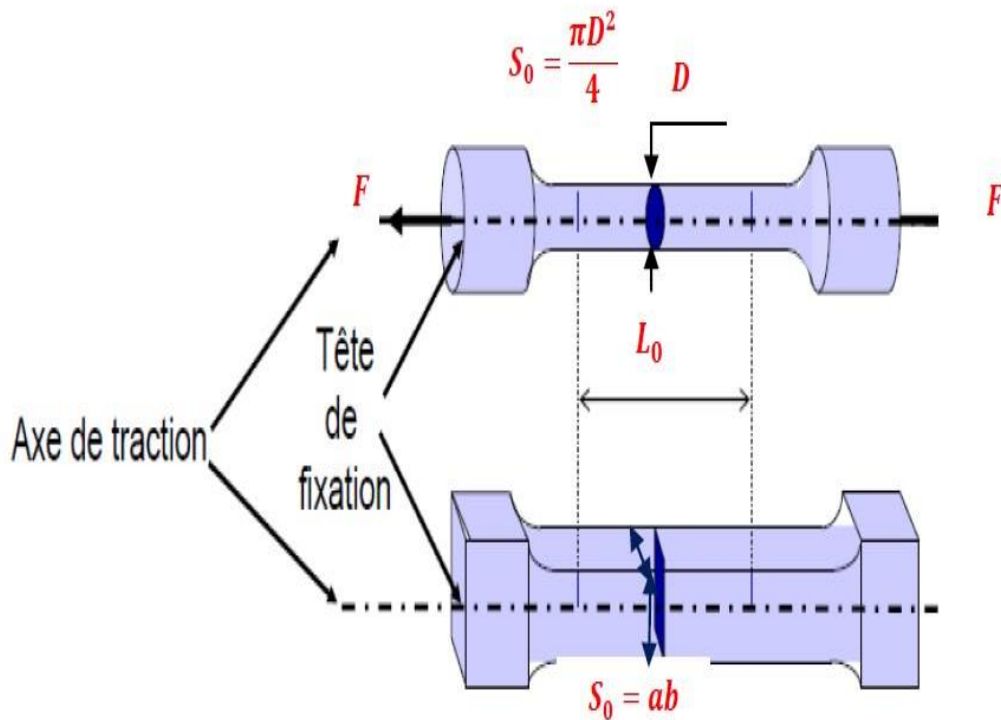
Afin de pouvoir utiliser les courbes brutes de traction, on doit les modifier pour que les résultats obtenus ne soient fonction que du matériau étudié et non de la géométrie de l'éprouvette. Pour ce faire, on rapporte la charge  $F$  à la section initiale  $S_0$  de l'éprouvette en vue d'obtenir la contrainte nominale  $\sigma$  :

$$\sigma = F/S_0 \quad (I.1)$$

Et on rapporte l'allongement  $\Delta l$  à la longueur initiale entre repères  $l_0$ , pour obtenir la déformation nominale  $\epsilon$

$$\epsilon = \Delta l/l_0 \quad (I.2)$$

L'essai est le plus souvent normalisé. La forme de l'éprouvette est soit cylindrique, soit prismatique (fig. I.6).



**Figure I.6** Eprouvette de traction : a) cylindrique, b) prismatique.

## 2) Propriétés de traction :

D'une façon générale, on peut estimer les principales propriétés mécaniques à partir d'une courbe conventionnelle de traction  $\sigma = f(\epsilon)$  d'un matériau à comportement ductile en traction.

(Fig. I.7).

## Chapitre I. Etude bibliographique

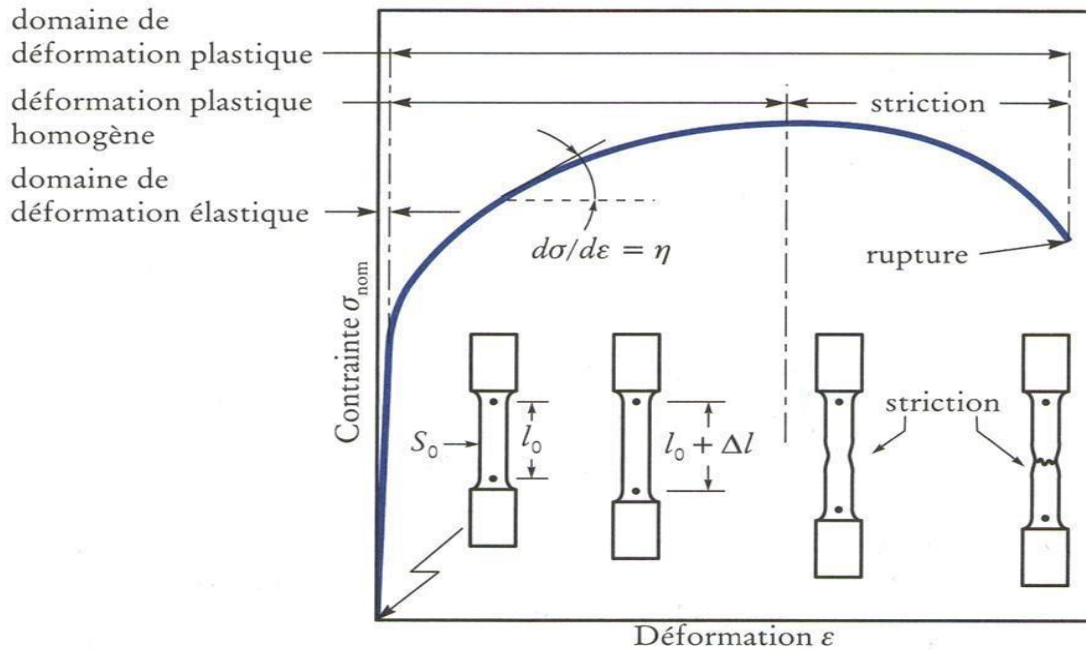


Figure I.7 Représentation d'une courbe de traction (matériau ductile).

### I.2.2.2 Essai de dureté [19] :

#### Objectif :

Mettre en évidence la résistance du matériau à la pénétration. La dureté d'un matériau définit la résistance qu'oppose une surface de l'échantillon à la pénétration d'un poinçon, par exemple une bille en acier trempé (dureté Brinell) ou une pyramide en diamant (dureté Vickers). S'il y résister bien, il est dit dur, sinon il est dit mou. la dureté se mesure sur différentes échelles selon le type de matériau considéré.

#### ❖ Domaine de dureté [20] :

La détermination des propriétés mécaniques des couches minces et de la surface des matériaux est souvent délicate. Les raisons principales en sont les hétérogénéités de la matière.

L'essai de dureté consiste à mesurer l'effet occasionné par le contact, sous une pression donnée, d'un matériau de géométrie définie (indenteur) et de la surface d'un échantillon. De nouvelles techniques ont élargi le champ d'application de l'essai de dureté. Ainsi les fabricants proposent maintenant des appareils permettant de mesurer quelques caractéristiques supplémentaires (module Young, module de Coulomb, coefficient de Poisson, viscosité, forces d'adhésion (entre la pointe et le substrat) ou encore ténacité et énergie de rupture, etc.) à partir de l'enregistrement de la courbe force-déplacement.



## Chapitre I. Etude bibliographique

Plusieurs domaines de dureté peuvent être définis en fonction de la charge appliquée. Bückle a introduit en 1965 la notion de la macrodureté pour des charges supérieures à 3÷5 kgf et celle de microdureté pour des charges inférieures à 100÷200 gf. Le domaine intermédiaire étant celui de la dureté sous charge réduite. Dans les années 80, est apparu le domaine de nanodureté qui correspond à des charges appliquées inférieures à 1gf.

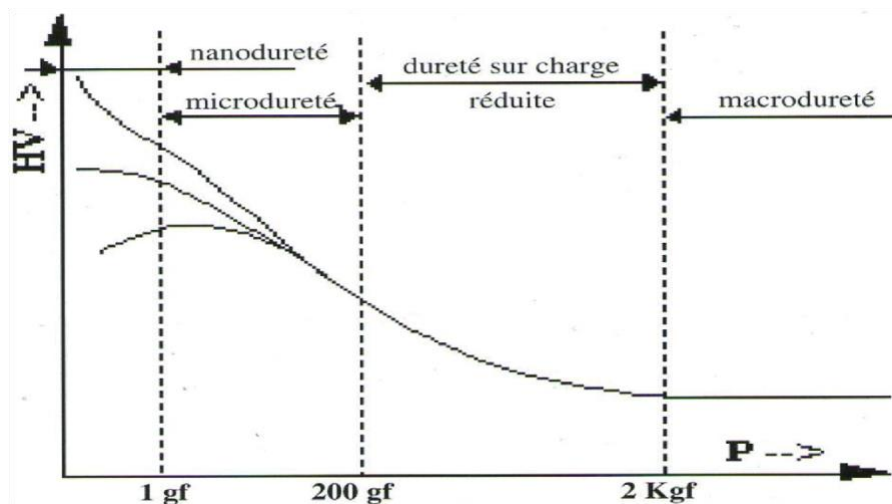


Figure I.8 Définitions des différents domaines de dureté.

### I.2.2.2.1 Essai de dureté Brinell [19] :

L'essai a été édité dès 1924. Il consiste à faire pénétrer dans le métal à tester, une bille polie de forme sphérique en acier trempé ou en carbure de tungstène (Fig. I.9). Le diamètre D utilisé peut valoir 1 mm, 2,5 mm, 5mm et 10mm. La charge appliquée sur le métal est maintenue pendant 15 à 30 s selon le solide. Après l'annulation de la charge, la bille laisse dans le métal une empreinte circulaire permanente dont on mesure le diamètre d.

La force  $F$  étant exprimée en kgf, le diamètre de l'empreinte d en mm et la dureté Brinell  $HB$  est exprimée en kgf/mm<sup>2</sup> selon la relation suivante (I.3).

$$HB = \frac{2p}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

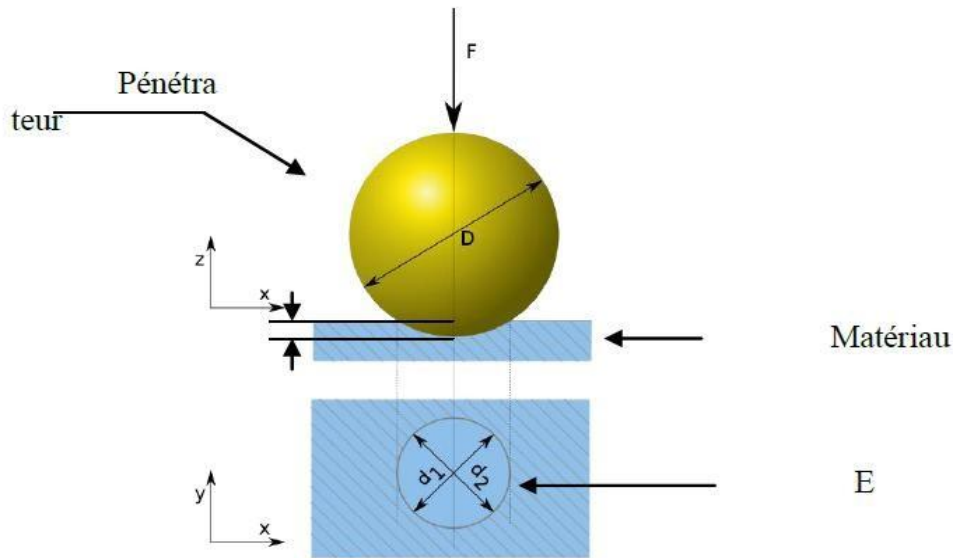


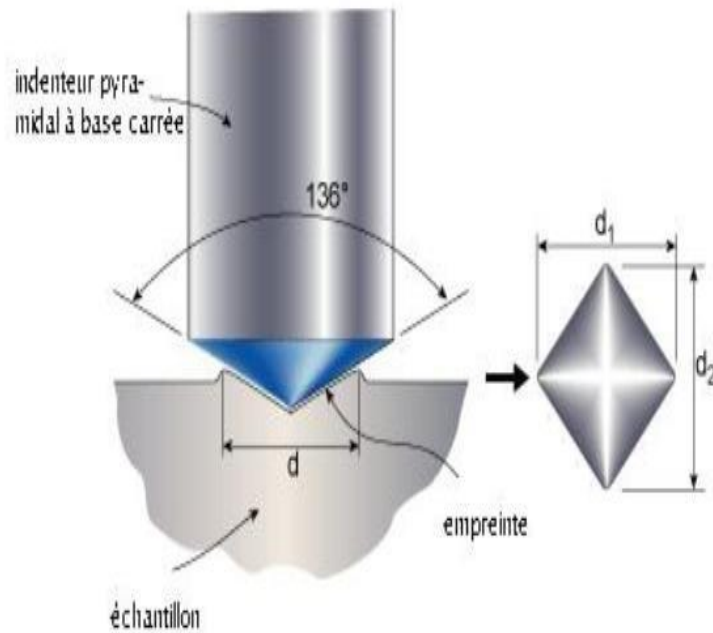
Figure I.9 Principe de dureté Brinell.

#### I.2.2.2.2 Essai de dureté Vickers :

Il consiste à imprimer dans le métal testé une empreinte avec un pénétrateur en diamant de forme géométrique pyramidale à base carrée et d'angle au sommet entre deux faces opposées de  $136^\circ$ , sous l'action d'une force connue. On mesure la diagonale de l'empreinte carrée laissée par le pénétrateur (fig.I.10).

Généralement la gamme des forces utilisables (5 à 100 kgf) permet d'appliquer cette méthode avec toutes les dimensions d'échantillons. Pour des raisons de fiabilité de l'essai, la force est choisie de telle manière à donner une empreinte ayant la diagonale moyenne inférieure aux deux tiers de l'épaisseur. D'autres sources préconisent que la profondeur de pénétration ne dépasse pas le huitième de l'épaisseur de la pièce à tester.

La force  $F$  étant exprimée en kgf, le diamètre de l'empreinte  $d$  en mm et la dureté Vickers est exprimée en kgf/mm<sup>2</sup> selon la relation suivante (I.4).



**Figure. I.10** Principe de dureté Vickers.

$$HV = \frac{8454P}{d^2}$$
$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

(I.4)

L'essai de Vickers celui qui fournit la plus grande diversité de renseignement. Il possède deux avantages principaux : être souvent non destructifs et pouvoir être répété un grand nombre de fois ; c'est-à-dire se prêter à une interprétation statistique (dislocation des diagonales d'empreinte suivant une loi gaussienne).

### **I.2.2.2.3 Essai de dureté Rockwell :**

Stanley ROCKWELL travaille comme métallurgiste dans une usine de roulements à billes. Il vérifié les traitements par des tests de dureté. L'essai BRINNEL donne une indentation trop grosse. L'essai VICKERS est trop long. En 1922, ROCKWELL

## Chapitre I. Etude bibliographique

conçoit un nouveau système avec différents pénétrateurs, adapté aux métaux et aux plastiques avec une large gamme de matériaux testés.

### Pénétrateur :

-soit bille en acier de diamètre 1.59mm=ROCKWELL b pour les matériaux mous comme les alliages de cuivre.

-soit cône en diamant d'angle au sommet  $120^\circ$  et dont l'extrémité est une calotte sphérique de rayon 0,1 mm =ROCKWELL c, pour les matériaux plus durs comme l'acier.

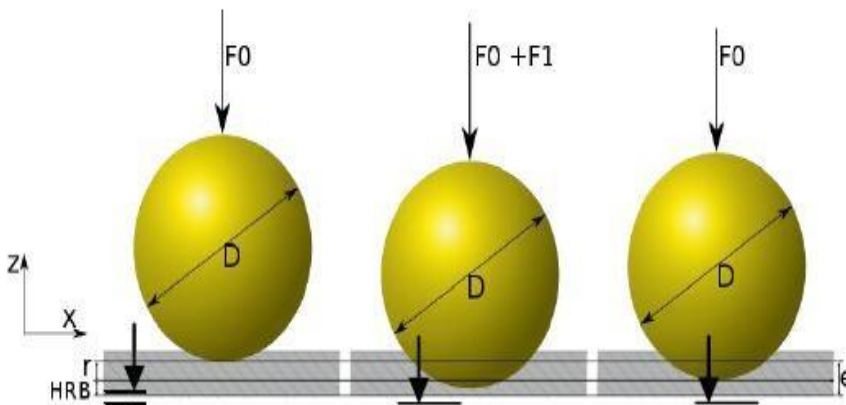
-recharge  $F_0$  faible de 10 daN=niveau de référence

-surcharge  $F_1$  de 60 à150 daN

-charge  $F_2=F_0$  à nouveau de 10 daN

On mesure la profondeur de l'empreinte =différence des 2 positions

### ❖ Principe



**Figure I.11** Principe de la dureté Rockwell (échelle B, bille en acier)

## Chapitre I. Etude bibliographique

---

de dureté ROCKWELL sont des essais de pénétration. Il existe en fait plusieurs types de pénétrateurs qui sont constitués d'un cône en diamant ou d'une bille en acier trempé polie.

Pour obtenir une valeur de dureté ROCKWELL, on mesure une pénétration rémanente du pénétrateur sur lequel on applique une faible charge.

### **L'essai se déroule en trois phases :**

- Application sur le pénétrateur d'une charge initiale  $F_0 = 98\text{N}$  (10 kgf). La profondeur de pénétration étant l'origine qui sera utilisée pour la mesure de la dureté.
- Application d'une force supplémentaire  $F_1$ , le pénétrateur s'enfonce d'une profondeur  $P$ .
- Relâchement de la force  $F_1$  et lecture de l'indicateur d'enfoncement.

La valeur de  $r$  étant l'enfoncement rémanent obtenu en appliquant puis en relâchant la force  $F_1$ .

### **I.2.2.3 Essai de résilience [21] [22] :**

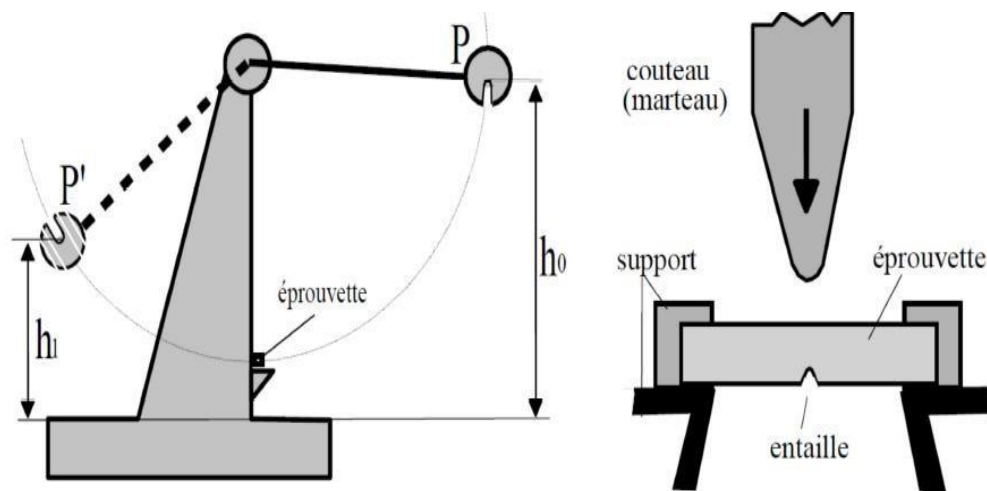
#### **❖ Mouton de Charpy:**

Un marteau de masse  $m$  est fixe à l'extrémité d'un pendule (fig. I.12). Ce pendule peut tourner dans le plan vertical autour d'un axe horizontal. L'éprouvette repose sur un support et se trouve au point le plus bas sur la trajectoire du marteau.

Pour effectuer un essai, on écarte le bras jusqu'à ce que le marteau atteigne sa position initiale  $P$  et on le lâche. Quand le pendule vient frapper l'éprouvette, il a une énergie cinétique qui est égale à l'énergie potentielle qu'il avait à sa position de départ  $mgh_0$ ,  $h$  étant la hauteur du marteau par rapport à sa position d'équilibre. Après la rupture, le marteau remonte. Dans son point culminant (hauteur  $h_1$ ), l'énergie cinétique résiduelle s'est de nouveau transformée en énergie potentielle  $mgh_1$ .

L'énergie  $K$  dépensée pour rompre l'éprouvette vaut alors

$$KV = mg(h_0 - h_1) \quad (I.5)$$



**Figure I.12** Schéma d'un mouton pendule et vue de dessus de l'éprouvette avant choc.

Comme l'énergie cinétique emportée par les débris après la rupture est négligeable, c'est l'énergie de rupture que l'on indique comme résultat de l'essai de résilience. De plus il faut absolument mentionner le type d'échantillon norme qu'on a utilisé pour sa détermination. Les éprouvettes les plus fréquemment utilisées aujourd'hui sont les types ISO-V et ISO-U (Fig. I.13). Ils ont une entaille en forme de V ou U pour fixer l'endroit de la fissure. L'énergie de rupture est finalement indiquée en J (Joule), précédée par les lettres KV ou KU pour désigner qu'il s'agit d'une énergie de rupture (K, de l'allemand: Kerbschlagzähigkeit) mesurée avec une éprouvette ayant une entaille en forme de V ou U.

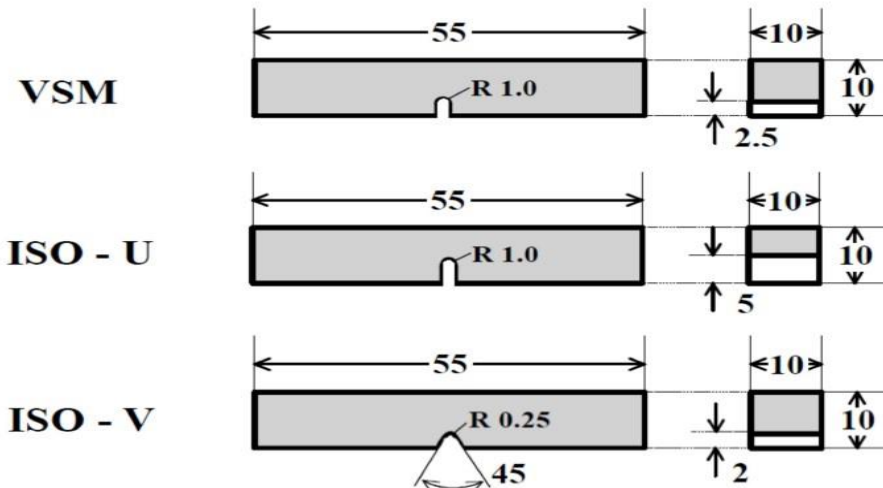
Pour obtenir la résilience  $aK$  on divisera encore cette valeur par la section de l'échantillon à l'endroit de la fissure. L'unité habituelle pour exprimer la résilience  $aK$  est le  $J/cm^2$  tandis que l'énergie de rupture KV est indiquée en J. Comme la valeur  $aK$  ne présente aucun avantage sur l'indication de l'énergie de rupture, on indique aujourd'hui uniquement l'énergie de rupture K (souvent directement appelée résilience).

### ❖ Les éprouvettes :

L'effet de la forme de l'éprouvette sur l'énergie de rupture est très prononcé. La (Fig. I.11) montre les formes et dimensions géométriques de 3 types d'éprouvettes standardisées. Elles ont toutes une longueur de 55mm et une section nominale de  $10 \times 10 mm^2$ , mais se distinguent dans leur forme et leur profondeur d'entaille qui se trouve sur le côté opposé à l'endroit où le marteau frappe (Fig. I.12). Elle a pour objet de garantir un état de contrainte triaxiale, déjà lors de l'amorçage de la fissure, plutôt que de provoquer l'effet d'entaille. C'est pour cette raison que le fond

## Chapitre I. Etude bibliographique

de l'entaille n'est pas pointue mais cylindrique (rayon de 0.25 ou de 1mm selon type d'éprouvette). L'aire de la section restant à l'endroit de l'entaille est, selon la définition de la résilience  $aK$ , la section à utiliser pour le calcul de sa valeur.



**Figure I.13** Eprouvettes Charpy standardisées. Le type le plus utilise est l'éprouvette ISO-V.

A/S: Dimensions en mm.

### I.3.Présentation de l'entreprise

Filiale de groupe FONDAL, Algérienne des Fonderies D'El-Harrach (ALFEL) fut fondée en 1950 afin de répondre à la demande nationale des produits de fonderie (pièces moulées en fonte et métaux non ferreux).



**Figure I.15:** L'entreprise ALFEL

## Chapitre I. Etude bibliographique

---

### ❖ Historique

**1950** : création de la fonderie d'el Harrach sous l'appellation d'unité industrielle africaine UIA.

**1974** : Nationalisation des unités des fonderies El Harrach.

**1980** : initialisation du projet de modernisation.

**1983** : Création de l'EPE ENF suite à la restructuration de la SN-Métal et de SONACOME

**1987** : individualisation et mise à disposition de crédit.

**1994** : Arrêt total de production et démarrage de modernisation de l'unité.

**1995** : Passage à l'autonomie de l'ENF (Entreprise nationale des Fonderies) avec sa transformation en Société par actions (SPA) dotée d'un Conseil d'administration **1999** :

Création du Groupe Industriel FONDAL suite à la restructuration de l'EPE ENF et à la Filialisation de ses trois (3) Unités de production (ALFEL, ALFON et ALFET).

**2016** : Transformation du Groupe Industriel FONDAL Spa en Société dénommée « Entreprise Nationale des Fonderies Algériennes », par abréviation « EPE FONDAL

SPA » suite à l'engagement de la procédure de « Fusion – Absorption » par l'EPE FONDAL SPA des Filiales qui lui sont rattachées (Résolution du CPE N° 09/146/05/11/ 2015)

#### ❖ Activités principale d'ALFEL :

- La Production et commercialisation de produits de fonderie (pièces moulées en fonte et métaux non ferreux).
- Etude et conception d'outillages.
- La Fabrication de Pièces diverses sur demande.

#### ❖ Activités Secondaires :

- Usinage mécanique et Chaudronnerie industrielle.
- Pose et Installation de Produits d'Embellissement et Mobilier urbain.
- Importation et Revente en l'état de Produits d'Embellissement, de Mobilier urbain et de Voirie.



### ❖ **Produits :**

- Regards de trottoirs de 500\*500 à 1050\*1050
- Regards de chaussée de 500\*500 à 1050\*1050
- Bouches d'égout siphoides I.S.O de 350\*350 à 500\*500
- Grilles carrées plates de 300\*300 à 500\*750
- Grilles caniveaux plates de 190\*500 à 300\*500
- Grilles carrées concaves 500\*500
- Bouches à clé Modèles Eau et Gaz
- Grilles d'arbres ø500 et 800\*1240
- Ralentisseurs Modèles ALFEL – Selon besoin clients

---

*Chapitre II*  
*Élaboration de L'alliage CuZn36*

---

## Chapitre II.Élaboration de l'alliage CuZn36

### II.1. Matériau étude :

Le Laiton CuZn36 contient 36% de Zinc et 64 % de Cuivre. Il est facile à couper, à souder et à usiner et possède une bonne résistance à la corrosion [24].

Dans toutes nos expériences, nous avons utilisé l'alliage de Cuivre CuZn36, contenant 64% de Cuivre en pourcentage massique, et de 36% en masse de Zinc (CuZn36).

Cet alliage de Cuivre obtenus par deux coulées différentes coulées en sable et coulée en en brique réfractaire.

#### II.1.1. Composition chimique :

Le tableau II.1 donne les compositions chimiques en pourcentage des matériaux utilisés selon la norme NF A 51-104 et selon l'analyse effective à l'ALFL d'El-Harrach

**Tableau II.1:** Composition chimique de l'alliage CuZn36

	Cu %	Zn%
CuZn36	<b>64</b>	<b>36</b>

#### II.1.2. Propriétés physiques :

**Tableau II.2:**propriété physiques de l'alliage CuZn36 [25]

	$\rho$ [g/dm <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [ w / m . k ]	E[Gpa]	Cp[J/Kg . k]
CuZn36	<b>8 ,451</b>	<b>121</b>	<b>376</b>	<b>110</b>

#### II.1.3. Propriétés et utilisations:

Le Laiton CuZn36 possède de nombreuses propriétés telles qu'une excellente déformation à froid, une bonne résistance à la corrosion et une excellente usinabilité à l'état écroui.

Le laiton CuZn36 est utilisé dans les domaines suivants :

- Les matériels de plomberie
- Les matériels de construction
- Les matériels de fixation
- Les matériels industriels [24]

## Chapitre II.Élaboration de l'alliage CuZn36

---

### II.2. Matière première CuZn36 :

La matière première est composé de cuivre et zinc, nous avons le cuivre sous deux formes extra pur : copeaux et poudre et le Zinc sous forme de lingots.

#### II.2.1 Le Cuivre:

Le Cuivre est un élément chimique avec le symbole Cu et le numéro atomique 29 et appartient au groupe 11, période 4 du tableau périodique. Sa masse atomique est de 63,546 g/mol.

Le Cuivre est intéressant pour plusieurs raisons.

- ✓ Faible résistance électrique (Cuivre pur :  $\rho_e = 16,8 \cdot 10^{-9} \Omega \cdot m$ ).
- ✓ Basse température de fusion ( $T_f = 1084^\circ C$ ).
- ✓ Haute conductivité thermique ( $\lambda = 401 \text{ W}/(m \text{ K})$ ).
- ✓ Formabilité élevée grâce à une faible limite élastique (Cuivre recuit pur : 7 MPa) et une ductilité élevée (A% à 50%).
- ✓ Résistant à la corrosion naturelle: réagit avec l'oxygène de l'air pour former une couche d'oxyde de  $Cu_2O$  noire dense et protectrice.

Il réagit également avec le dioxyde de carbone pour former une patine[26].



**Figure -II-1 :** Les copeaux de Cuivre.

### II.2.2 Le Zinc:

Le Zinc est un métal blanc argenté, gris bleuâtre avec un point de fusion relativement bas de 419,5 C°. Sa résistance mécanique et sa dureté sont meilleures que celles de l'Etain et du Plomb, mais bien inférieures à celles de l'Aluminium et du Cuivre. Le Zinc est cassant à température ambiante, mais devient malléable vers 100 C°.

Le Zinc n'est pas considéré comme un film toxique. Cependant, des perturbations physiologiques peuvent être observées lors de l'inhalation d'Oxyde de Zinc, qui est rarement produit. Par conséquent, la teneur maximale recommandée en oxyde de zinc est de 5mg/m<sup>3</sup> d'air au site de traitement

### Données physiques pour le Zinc:

- Numéro atomique: **30**
- Masse molaire atomique: **65,39 g/mol**
- Volume molaire: **9,16 cm<sup>3</sup>/mol**
- Densité: **7,14**
- Température de fusion: **419 C°**
- Vitesse de propagation du son: **3700 m/s**
- Module d'élasticité: **108 GPa**
- Facteur de rigidité: **43 GPa**
- Coefficient de Poisson: **0,25**
- Résistance électrique: **5,9×10<sup>-8</sup>m [27]**



**Figure -II-2:** les lingots du Zinc

### II.3. Moulage :

Nous avons réalisé quatre moules au totale deux moules dans de la brique réfractaire et les deux autres dans du sable.

#### II.3.1Moulage en sable :

Ce moulage est composé de deux demi-empreintes laissées par le modèle dans le sable tassé, Le sable de moulage est composé de trois élément principaux qui sont :

##### A/Sable neuf :



Figure -II-3: sable neuf

##### A .1 Caractéristiques du sable neuf:

- Grains arrondis et couleur jaune.
- Indice de finesse: 50-55 AFS
- Diamètre moyen: 0.24 - 0.28 mm
- Granulométrie relativement concentrée: 90 % sur trois tamis
- Taux de fine: < 0.5 % - ph < 8.5
- sable neuf doit être exempt de Calcium.

### **B/ Noir minéral:**

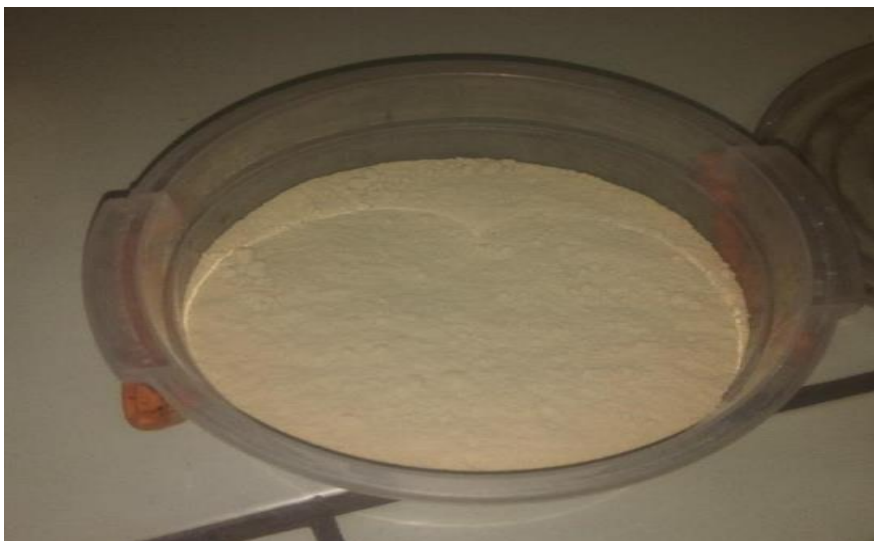


**Figure -II-4:** noir minéral

### **B.1 Caractéristiques du noir minéral:**

- Matières Taux Cendre 10%
- Matières volatiles 30% min – 40 % max
- $H_2O_3$  % max
- Soufre 1 % max

### **C/La Bentonite:**



**Figure-II-5 :** la bentonite.

## Chapitre II.Élaboration de l'alliage CuZn36

C'est une argile (Phylosilicate double d'Aluminium) et de Manganèse hydratés  $O_2Al_2O_3$  qui associe avec une quantité appropriée d'eau (qui fait gonfler) est utilisée comme liant minéral réfractaire dans l'application du moulage à vert. A partir de  $500\text{ C}^\circ$  pour la majorité des bentonites de fonderie l'eau de constitution quitte les feuillettes de la Bentonite. C'est l'apparition de la chamotte (ou l'argile morte) qui s'apparente à la brique qui enrobe le grain de Silice. Paramètres de qualité de sable préparé à atteindre :

- Perte par ignition (feu): **3 à 8 %**
- Argile totale **11 à 13 %** - Teneur en argile active: **> à 8%**
- Noir minéral: **3.4 à 4 %** - Matières volatiles: **1.5 à 3 %**
- Taux des fines inactives: **2.4 à 4 %**
- Taux des fines totales: **11 à 14 %** (taux d'argile active + taux des fines inactives) Caractéristique à atteindre :

Résistance à la traction humide	<b>0.2 à 0.25 N/cm<sup>2</sup></b>
Résistance à compression à vert	<b>12 à 18 N/cm<sup>2</sup></b>
Résistance à la traction	<b>&gt; 3 N/cm<sup>2</sup></b>
Résistance au cisaillement	<b>&gt; 5 N/cm<sup>2</sup></b>
Perméabilité	<b>&gt; 80</b>
Aptitude au serrage (compressibilité)	<b>38 à 42 %</b>
Pert par ignition (feu)	<b>3.5 à 7.5%</b>



Figure -II-6. Le moule dans du sable

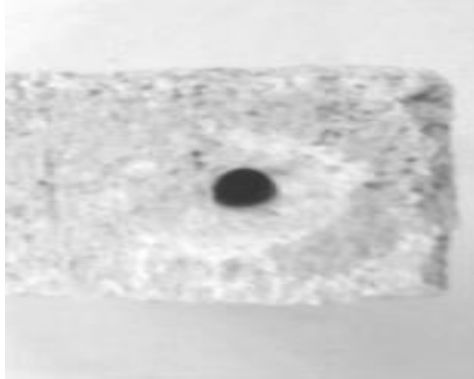
### II.3.2 Moulage en brique réfractaire:



## Chapitre II.Élaboration de l'alliage CuZn36

---

Pour les deux moules dans du brique réfractaire, J'ai coupé la brique en deux et j'ai fait un trou Soigneusement et individuellement une fois avec une perceuse équipée d'un foret de 7mm, puis 9mm



**Figure -II-7** Le moule dans du brique réfractaire.

### II.4.Procédés de fusion:

Dans laboratoire (ALFL)nous disposons d'un four à chambre électrique de marque moufle thermolyne de contenance de 5,8 L ,Il peut atteindre une température de  $1100^{\circ}\text{C}$  pour une puissance maximale de 1060W.



**Figure-II-8** Four a chambre électrique.

Nous avons opté pour un alliage de 64% en masse de cuivre et de 36% en masse de Zinc (CuZn36). Et nous avons préparé le mélange:

La masse totale du 1<sup>ier</sup> mélange est de **117g** avec une masse de Cuivre de **74,88g** et une masse de Zinc de **42,12g**.

La masse totale du 2eme mélange est de **120g** avec la masse de Cuivre de **76,8g** et une masse de Zinc de **43,2g**.

## Chapitre II.Élaboration de l'alliage CuZn36

---

Je n'ai mis que la quantité de Cuivre qui était dans le mélange

Le Cuivre a un point de fusion maximum de  $1080^{\circ}\text{C}$ , soit 81,9g.

Le creuset et le moule sont insérés dans le four où ils sont assemblés

Température pour éviter les chocs thermiques lors du coulage. le four est  
Chauffé à une température de  $1100^{\circ}\text{C}$  pendant 3 heures à une vitesse de chauffe  
de  $30^{\circ}/\text{min}$ .

Après avoir confirmé la dissolution de tout le Cuivre, on introduit le Zinc  
pendant un certain temps.

Cela dure seulement 20 minutes (point de fusion  $419^{\circ}\text{C}$ ).

### **II.5. la coulée:**

Sortir le moule du four procéder au coulage.

Ensuite le mélange refroidit lentement à l'air libre.

### **II.6.Le traitement thermique de CuZn36:**

Suite au processus d'homogénéisation le traitement Thermique de Recuit permet  
de réduire la dureté et augmenter la ductilité de l'alliage CuZn36. Les  
échantillons subissent un traitement Thermique dans un four électrique à un  
température de  $550^{\circ}\text{C}$  et un temps de maintien de 30 minutes..

D'abord pour obtenir un bon compromis entre résistance mécanique et ductilité,  
puis pour assurer la stabilité de phase.

### **II.7.Le traitement de surface des CuZn36:**

Les traitements de surface appliqués aux laitons ont principalement pour  
objet soit d'éliminer les oxydes superficiels due aux chauffages en cours de  
travail et gênants pour la poursuite des opérations (décapage), soit de donner  
aux produits finis un aspect agréable (brillantage, polissage) ou une  
présentation particulière (coloration, patines), soit, enfin, de les protéger contre  
une éventuelle oxydation ultérieure en service (dépôts électrolytiques, vernis  
transparents).

Par manque de moyen nous nous sommes contentés dans cette étape, d'un  
décapage chimique et un polissage mécanique à la main.

#### **II.7.1 Décapage:**

Nos échantillons sont simplement immergés dans de l'acide Sulfurique dilué à  
20%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Après cette étape, j'ai remarqué des taches rouges sur l'échantillon. Plus grande  
tendance à développer des taches rouges

## Chapitre II.Élaboration de l'alliage CuZn36

Plus le laiton est visible, plus il contient de Zinc et plus la température du bain est élevée. Le décapage au Soufre est plus poussé et les pièces sont plus oxydées. Ces corps généralement évités en fonctionnant à des températures inférieures à 30-40C°. en particulier, L'immersion immédiate des pièces encore chaudes dans le bain n'est pas recommandée Par exemple des timbres. Assurer le traitement est également important. La chaleur ne sur-oxyde pas.

### II.7.2 Polissage mécanique:

Préparation en laboratoire de divers échantillons d'alliage

Un polissage mécanique est nécessaire pour la caractérisation de surface. c'est, continuez à poncer avec du papier de verre plus fin (120).

(jusqu'à 4000), nettoyage final de la surface à l'acide Sulfurique

Polissez chaque étape de polissage pour éliminer les grosses particules qui peuvent rayer votre appareil. surface de l'eau



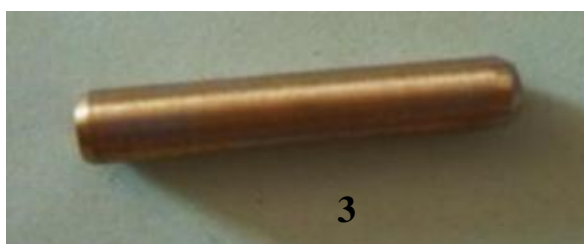
**Figure-II-9** Polisseuse

Nous avons élaboré à 04 différents échantillons de coulée, coulée en sable figure **II-10** et en brique réfractaire figure **II-11** de CuZn36.

**Figure II-10.** Echantillons après les différents traitements, en sable 1, et 2



**Figure II-11.** Echantillons après les différents traitements en brique réfractaire 3 et 4



---

*Chapitre III*  
*Résultats et Discussions*

---

## Chapitre III. Résultats et Discussions

### III.1. Introduction:

Dans ce chapitre on présentera les résultats et discussion des caractéristiques mécaniques fait au niveau de l'entreprise portuaire de skikda, de l'alliage cuzn36 pour les deux modes de coulée (sable et prique réfractaire) à partir des essais mécaniques suivants : traction, cisaillement, micro dureté.

### III.2. Caractérisation mécanique de laiton CuZn36:

Nous avons utilisé 03 essais mécaniques : l'essai de traction, l'essai de cisaillement et l'essai de micro dureté.

#### III. 2.1 Préparation des l'éprouvettes:

Nous avons décidé de fabriquer les éprouvettes destinées aux essais de traction, de cisaillement et micro dureté par usinage à partir d'une barre laminée en alliage CuZn36, nous avons pris les échantillons (1) en sable et (3) en brique réfractaire pour l'essai de traction, l'échantillon (4) en brique réfractaire pour l'essai de cisaillement et l'échantillon (2) En sable pour l'essai de la micro dureté.

La machine de tour: est une machine outils destinée à fabriquer les pièces de forme cylindriques.



Figure III-1 la Machine-outil (Tour)

## Chapitre III. Résultats et Discussions

### III.2.1.1 le tournage:

Le tournage est un procédé d'usinage par enlèvement de matière qui consiste à obtenir Pièces cylindriques et/ou coniques à l'aide d'outils coupants sur machines appelé tourniquet. La pièce est maintenue dans un montage, dans un mandarin ou entre pointes. [26]

#### ❖ Calcul des paramètres de coupe :

**A) Vitesse de coupe  $V_c$  [m/min]:** Tension = Un facteur 1000 correspond à la conversion des millimètres en mètres et inversement.

D : Le diamètre de la pièce (mm).

N : fréquence de rotation du moteur ou de la broche, l'unité est (tr/min).  $\pi : 3,14$ . 318,47 tours [Les vitesses de coupe ont été choisies dans la plage de 32 à 70 m/min (pour le tournage des alliages de cuivre avec des outils en acier rapide)].

**B) Vitesse d'avance  $A$  [mm/min] :**  $A=f.N$ (II.2)  $A=0.3.355=106.5$ mm/min  $f$  : L'avance par tour (mm/tr) est la valeur du déplacement de l'outil lorsque la pièce tourne d'un tour. C'est un chiffre clé pour la qualité de la surface usinée. N : La fréquence de rotation réglée sur la machine, l'unité est le tr/min.

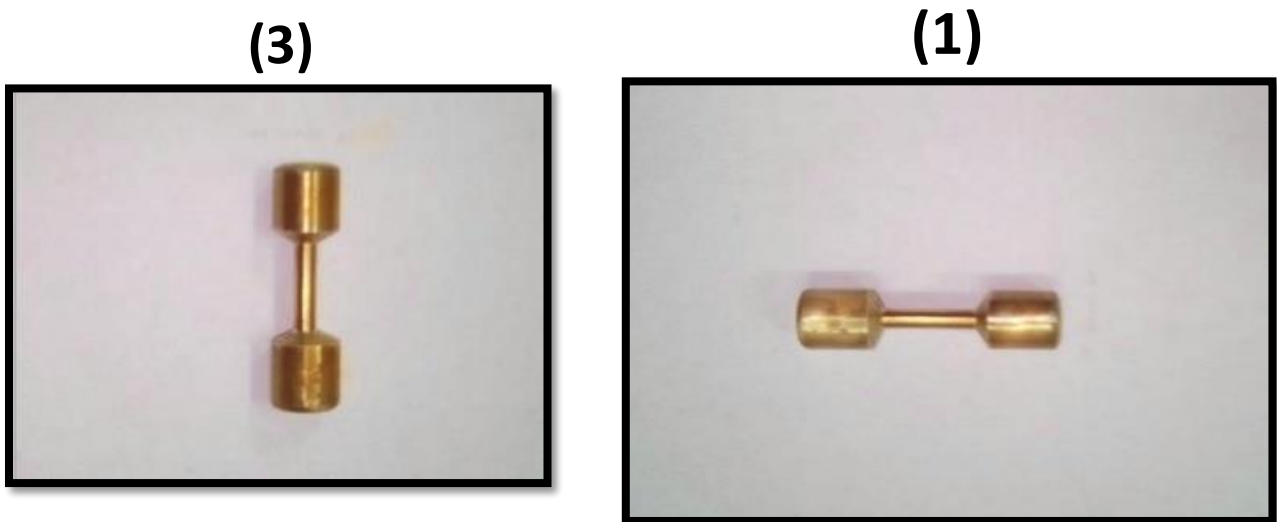
#### III.2.1.1.1 Tournage de l'éprouvette de l'essai de traction:

Préparation une éprouvette cylindrique laiton pour l'essai de traction

✓ Dimension  $L = 20$ mm /  $D = 4$ mm.



Figure III.2 Préparation l'éprouvette de l'essai de traction.



**Figure III.3** Epreuve finie pour la traction

**III.2.1.1.2 Tournage de l'éprouvette de l'essai de cisaillement:**

Préparation une éprouvette cylindrique pour l'essai de cisaillement

✓ Dimension  $L=11\text{mm}$  /  $D=10\text{mm}$



**Figure III.4** Epreuve finie pour de cisaillement

**III.2.1.1.2 Tournage de l'éprouvette de l'essai de micro dureté:**

Préparation une éprouvette cylindrique pour l'essai de micro dureté.

✓ Dimension  $L=10\text{mm}$  /  $D=9\text{mm}$ .

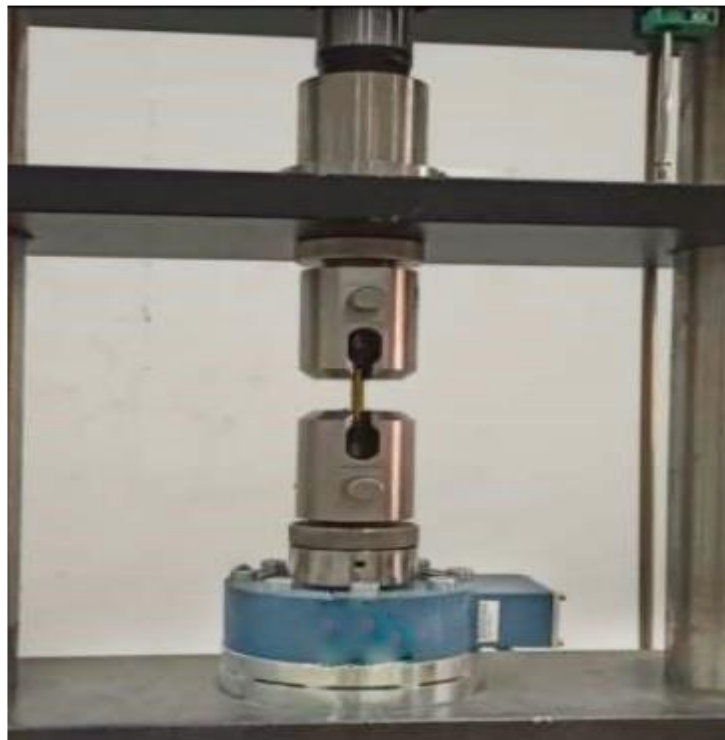


**Figure III.5** Eprouvette finie pour de la micro dureté.

### **III.3 essai de traction:**

#### **III.3.1 Méthode d'essai de traction:**

a) Fixer l'échantillon dans les deux mors de la machine de traction (Fig. III.6)



**Figure III.6:** Eprouvette fixée dans les deux mors.

**b)** Entrez les paramètres qui identifient l'essai au fonctionnement de comportement de la machine, de matériaux, etc.

**C)** Vérifiez les données que vous avez déjà saisies avant de commencer l'essai.

c) L'interface visualise la forme incurvée comme une mors mobile.



## Chapitre III. Résultats et Discussions

---

La machine se déplace à une vitesse de traction de 1,5 mm/min jusqu'à la rupture de l'échantillon.

d) Enregistrement des courbes : forces/Allongements et contrainte/déformation.

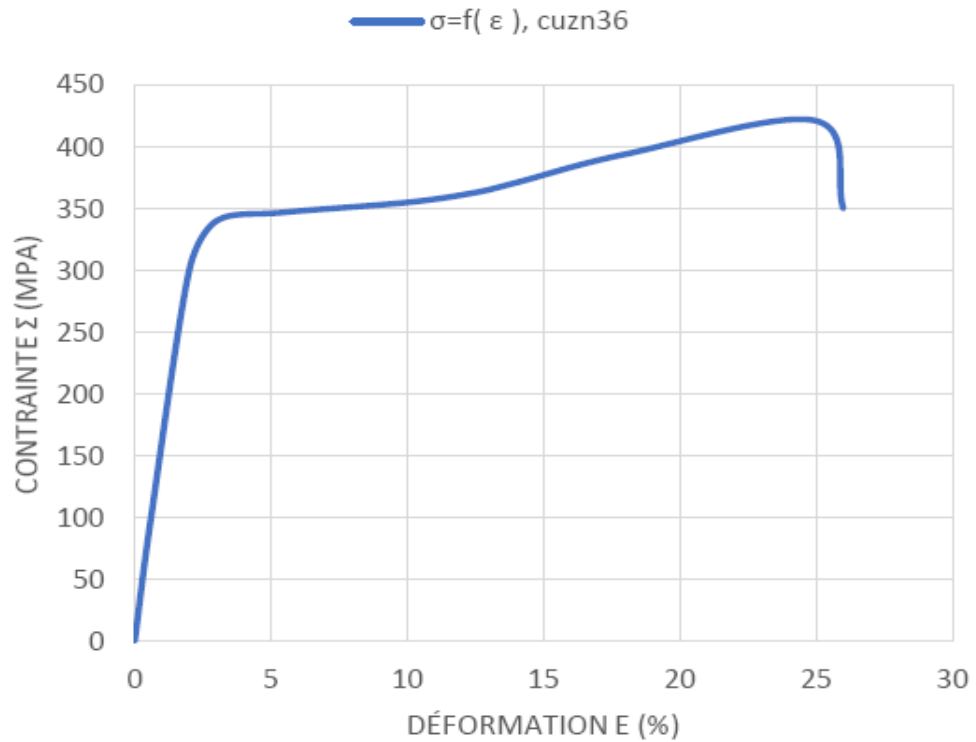
### III.3.2 Caractéristiques de traction:

Les résultats de ces essais sont présentés dans les Figures **III.7** et **III.8** en utilisant des courbes contrainte-déformation conventionnelles.

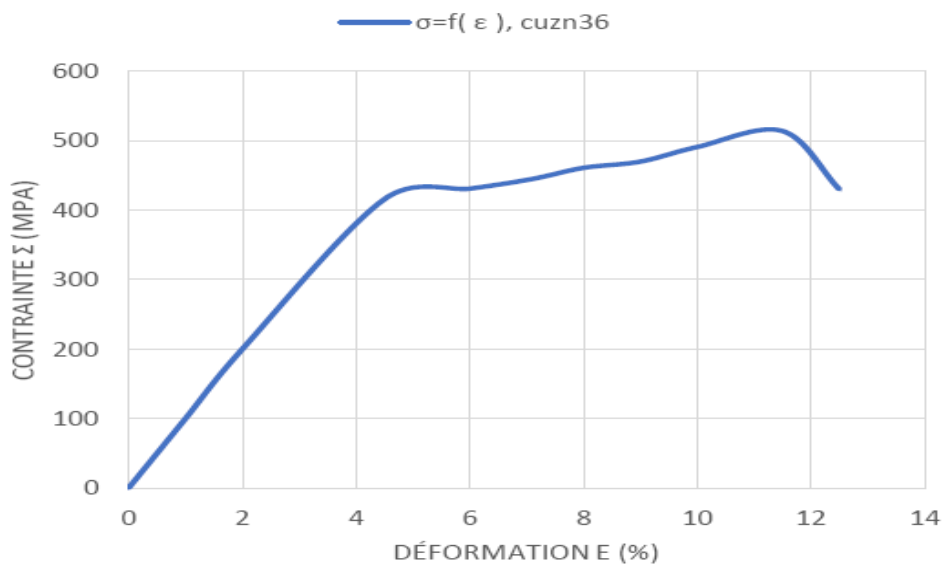
A noter que les deux courbes enregistrées après essai de traction ont la même allure, reflétant le comportement mécanique du matériau en traction.

Chaque courbe montre qu'il existe une zone linéaire représentant la zone élastique. Dans cette zone, la suppression de la charge de traction ramènera au point zéro par le même chemin la déformation est réversible. Au-delà de ce point, la charge augmente au maximum. C'est le début de la déformation plastique. La charge augmente au maximum. Après cela, la déformation est concentrée dans une zone de striction. La force enregistrée diminue, puisque la section diminue dans la zone de striction. C'est le domaine plastique homogène où la déformation est permanente jusqu'à la rupture de l'éprouvette (fin de la courbe).

La machine de traction universelle nous a permis grâce à un dispositif d'acquisition de tracer les courbes de traction.



**Figure III.7** Courbe conventionnelle de traction pour CuZn36 échantillon en brique réfractaire 3.



**Figure III.8** Courbe conventionnelle de traction pour CuZn36 échantillon sable1.

### III.3.3 Résultats de l'essai de traction:

## Chapitre III. Résultats et Discussions

Les caractéristiques mécaniques obtenues par les essais de traction sur le matériau étudié (CuZn36) sont regroupées dans le tableau III.9.

Dans ce tableau, sont reportées les valeurs suivantes :

**R<sub>e0,2</sub>**: limite élastique.

**R<sub>m</sub>**= La résistance à la traction.

**E**: module élastique

**A%** : L'allongement à la rupture

**Tableau III.1** Caractéristiques mécanique de traction sable 1 et prique 3.

Etat	R <sub>e0,2</sub>	R <sub>m</sub>	E	A%
Echantillon -3 -	340 Mpa	421MPa	106GPa	23
Echantillon -1-	416MPa	514MPa	93 GPa	8

### III.3.4 Interprétation de l'essai de traction

L'allongement pour les deux échantillons est supérieur à 5 (A% > 5), montre la ductilité d'un notre alliage de laiton CuZn36 . On a observé que les échantillons moulés en brique réfractaire sont plus ductiles que les échantillons moulés en sable.

### III.4 essai de cisaillement:

Lors de l'essai de cisaillement, on détermine la résistance d'un matériau vis-à-vis d'une sollicitation au cisaillement.

Les contraintes de cisaillement sont générées par des forces transversales extérieures agissant sur l'éprouvette.

La nature de la sollicitation correspond à celle d'un rivet ou d'une broche. L'essai de cisaillement a dès lors une grande proximité avec la réalité de la pratique.

Le schéma ci-dessous montre comment l'éprouvette est sollicitée par les forces transversales F. En cas de défaillance, elle est cisailée, les particules de matière glissent les unes sur les autres.

Lors du contrôle de matériau, on utilise le **cisaillement à double section** . Au cours de celui-ci, l'éprouvette est cisailée selon deux sections. La contrainte supplémentaire en flexion, qui fausse le résultat, est plus faible dans ce cas. La force d'essai F se divise en deux charges transversales F/2 pour l'éprouvette.

## Chapitre III. Résultats et Discussions

La résistance au cisaillement se calcule à partir de la charge de rupture  $F_B$  et de la section transversale  $A_0$  (pour le cisaillement à double section,  $A_0$  est le double de la section de

l'éprouvette  $\frac{\pi \cdot d^2}{4}$ )

$$\tau_{AB} = \frac{F_B}{A_0} = \frac{2 \cdot F_B}{\pi \cdot d^2}$$

La résistance au cisaillement déterminée lors de l'essai de cisaillement est importante pour le dimensionnement de boulons, rivets et broches ainsi que pour le calcul de la force nécessaire lors du cisaillement et du poinçonnage.



**Figure III.9** Dispositif pour l'essai de cisaillement.

### II.4.1 Résultats de l'essai de cisaillement:

$$F=27,47$$

$$d=10\text{mm}$$

$$A_0 = \frac{3,14 \times 100}{4} = 78,5\text{mm}^2$$

$$\tau_{AB} = \frac{2F_B}{A_0} = \frac{2F_B}{\pi d^2} = 350\text{Mpa}$$

### III.4.2 Interprétation de l'essai de cisaillement

La valeur de contrainte de cisaillement montre la ductilité d'une notre alliage de laiton CuZn36 .

### III.5 essai de micro dureté :

Les tests de micro dureté nécessitent une surface bien polie pour éviter les rayures qui peuvent empêcher la pénétration du pénétrateur. Les échantillons ont été polis à l'aide d'une polisseuse mécanique et d'un papier de verre de grain différent (200, 400, 600, 800, 1200). Après chaque polissage, les échantillons sont lavés à l'eau distillée et séchés.

Les valeurs de dureté Vickers (HV) ont été mesurées à l'aide d'un testeur de micro dureté Zwick/Roell (Fig. III.10).



**Figure III. 10 :** Microduromètre Zwick/Roell.

### III.5.1 Résultats de l'essai de micro dureté:

La micro dureté obtenue à partir des empreintes obtenues est mesurée sur une face de l'échantillon après plusieurs charges (minimum 5) de 200 grammes pendant 10 secondes (Fig. III.11). Et prendre la moyenne.



**Figure III. 11 :** Empreinte de du l'essai de micro dureté sur l'échantillon -2-

Dans ce test ,la surface de l'échantillon a été polie et attaquée chimiquement, suivie de plusieurs mesures de dureté à différents endroits sur la même surface de deux échantillons

❖ **CuZn36 échantillon -3-**

Le tableau **III.4** résume les différentes valeurs mesurées

**Tableau III.2** les résultats de la micro dureté pour l'échantillon 3.

Tests	D1 ( $\mu\text{m}$ )	D2 ( $\mu\text{m}$ )	Hv (MPa)	Hv(MPa) moyenne
1	64,00	73,94	116,92	<b>98,896</b>
2	76,87	82,50	87,60	
3	78,74	75,76	93,20	
4	68,34	77,54	104,54	
5	77.32	78,00	92,22	

❖ **CuZn36 échantillon -2-**

**Tableau III.3** les résultats de la micro dureté pour l'échantillon 2.

## Chapitre III. Résultats et Discussions

Tests	D1 ( $\mu\text{m}$ )	D2 ( $\mu\text{m}$ )	Hv (MPa)	Hv(MPa) moyenne
1	48,71	45,00	84,47	<b>87,76</b>
2	46,30	43,50	91,96	
3	47,30	48,55	80,70	
4	46,81	42,99	91,96	
5	47,16	43,77	89,71	

### III.5.2 Interprétation de l'essai de micro dureté

On observe que l'échantillon -3- moulés en brique réfractaire est plus dur que l'échantillon -2- moulés en sable montre la bonne fixation de l'éprouvette.

On remarque que L'alliage cuzn36 est situé dans la plage délimitée par le rouge. les résultats obtenus dans les échantillons moulés e brique réfractaire sont meilleurs que les résultats dans les échantillons moulés en sable.

**Tableau III .4** Les caractéristiques mécaniques des laiton binaire.

Caractéristiques mécaniques des laitons					
Laitons binaires (valeurs moyennes)					
	Etat	Charge de rupture (MPa)	Limite élastique à 0,2% (MPa)	Allongement (A%)	Dureté Vickers
CuZn10	Recuit	275	100	45	65
	H 11	320	250	25	85
	H 12	370	320	12	105
	H 14	430	380	5	127
CuZn33	Recuit	340	120	60	80
	H 11	375	280	42	105
	H 12	430	360	22	125
	H 14	525	430	8	150
CuZn36	Recuit	350	120	60	80
	H 11	375	280	43	105
	H 12	430	350	23	122
	H 14	520	425	8	150
CuZn40	Recuit	370	160	40	90
	H 11	390	265	30	120
	H 12	440	314	25	135
	H 14	510	440	8	162

**Tableau III.5** Les constantes d'élasticité des laiton binaire.

## Chapitre III. Résultats et Discussions

Constantes d'élasticité des laitons				
	Module d'Young (MPa)		Module de torsion (MPa)	
	État		État	
	Recuit	Ecroui	Recuit	Ecroui
<i>Laitons binaires</i>				
CuZn5	128000	121000	47000	45000
CuZn10	125 000	118 000	46 000	43 000
CuZn15	122 000	112 000	45 000	41 000
CuZn20	119 000	104 000	44 000	38 000
CuZn30	115 000	97 000	42 000	36 000
CuZn33	112 000	95 000	41 000	35 000
CuZn36	109 000	95 000	40 000	35 000
CuZn40	102 000	94 000	37 000	35 000

Les caractéristiques mécaniques obtenus dans les échantillons moulés en brique réfractaire s'approche le mieux des résultats du **tab III.4** ceci montre que la matière de fabrication des moules influe grandement dans la caractérisation mécanique d'alliage CuZn36 et montre la bonne fixation des éprouvettes avec observe ductilité de matériau étudié.



---

## *Conclusion générale*

---

## Conclusion Générale

---

### Conclusion Générale

Le travail que nous avons réalisé dans ce mémoire a pour objet de mieux comprendre l'Etude de la caractérisation mécanique d'un notre alliage de cuivre cuzn36 pour les deux modes de coulée (sable et brique réfractaire) à partir des essais mécanique suivant :traction, cisaillement, micro dureté.

Pour cela, plusieurs dispositifs et techniques expérimentales ont été mises en œuvre, La recherche bibliographique a montré que les essais de tractions sont très importants dans Les caractérisations des matériaux et la détermination de ses propriétés mécaniques.

Nous avons procédé à la caractérisation de nos échantillons.

Ce travail peut nous donner les conclusions Suivantes :

L étude bibliographique a montré que les essais de tractions sont très importants dans les caractérisations des matériaux et la détermination de ses propriétés mécaniques.

Le laiton CuZn36 possède de nombreuses propriétés telles qu'une excellente déformation à froid, une bonne résistance à la corrosion et une excellente usinabilité à l'état écroui.

Les essais de traction et cisaillement ont montré que les échantillons de l'alliage CuZn36, à un caractère ductile vue la manière de rupture.

La matière de fabrication des moules influe grandement sur Les valeurs des caractéristiques mécaniques (dureté, allongement, résistance à la traction...etc.) les résultats obtenus dans les échantillons moulés en briques réfractaires sont meilleurs que leurs résultats dans les échantillons moulés en sable.

---

*Références  
Bibliographiques*

---

### Références bibliographiques

- [1] D. Arnaud, Technique d'ingénieur, M431 (1985).
- [2] M. Bernard, Chimie minérale, Dunod, 1990.
- [3] P. Pascal, Nouveau Traité de chimie minérale, Tome II, Ed. Masson et Cie, 1957.
- [4] <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-cuivre-14798/> consulte le 05/06/2019 à 23 :00.
- [5]: « Aide-mémoire » science des matériaux 2<sup>e</sup> édition Par Michel Dupeux
- [6] Ahlem BELAÏB “ étude de la gestion et de la valorisation par compostage des déchets organiques génères par le restaurant universitaire aicha Oum Elmouminine (willaya de CONSTANTINE)”. These de magister, 2012, Constantine
- [7] Information on registered substances, ECHA (Europeanchemicalsagency), (2003).
- [8] : Yakoubi Ali. « Les alliages de cuivre Département de l'ingénieur Mécanique » Université Moustafa Ben Boulaide-Batna 2021.
- [9]-César Henrique GONZALEZ, Thèse de doctorat, Etude des comportements electro- thermomécaniques et de la stabilisation martensitique d'alliage monocristallins à mémoire de forme base cuivre, Univ. Lyon- France (2002).
- [10]-CopperBenelux, les laitons, [www.copperbenelux.org](http://www.copperbenelux.org), (30/09/2007).
- [11]- MAZILLE H. Corrosion galvanique et corrosion sélective .In : DABOSI F., BERANGER G., BAROUX B. Corrosion localisée. Paris : Editions de physique, 1994, 380 p.
- [12]- BADAUWY W.A., EL EGAMY S.S., EL AZAB A.S. The electrochemical behaviour of leaded brass in neutral Cl<sup>-</sup> and SO<sub>4</sub><sup>-</sup> media. Corrosion Science, 1995, vol. 37, n°12, pp. 1969-1979.
- [13] A. Assouli, Thèse de Doctorat, INSA, Lyon, 2002.
- [14]: Métallurgie spéciale, Tome II, Le cuivre et ses alliages –HERENGUEL J
- [15]: Michel Colombié « MATERIAUX METALIQUES », Dunod
- [16]: TIGHILT Djamel « Etude de l'influence de la température de frittage sur l'alliage Ni-Cu35% Mémoire de fin d'étude en Master académique En génie Mécanique » Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
- [17] Tableau des références matières catalogue Stellram.
- [18] Essais de dureté par Dominique François, Techniques de l'ingénieur M4160-1.
- [19] des matériaux par G.Gonnet université de Bourgogne2003.

## Références bibliographiques

---

- [20] Essais de rupture, dans Matériaux métalliques, Techniques de l'ingénieur, Paris 1996, cahier : M 126.
- [21] J.P. Bailon, JU-M-Dorlot, Des Matériaux, presses internationales polytechniques, 2007.
- [22] M. Benghersallah. Etude de l'usinabilité des Aciers au cours du fraisage, Thèse de Magister Juin 1995 Département de mécanique, Université de Annaba.
- [23]- ZUCCHI F., TRABANELLI G., FONSATI M., GIUSTI A. Influence of P, As and Sb on the Susceptibility to SCC of alpha-béta brasses. Materials and Corrosion, 1998, vol. 49, n°12, pp. 864-869.
- [24] <https://www.metal-rolling-services.fr>
- [25] <https://www.depoilly-coquel.fr>
- [26]. Métallurgie générale, Introduction à la science des matériaux, Les métaux et alliages non ferreux, Le cuivre et ses alliages.
- [27]. G. Vincent, « Textures, microstructures propriétés mécaniques d'alliages zinc en feuillard est en revêtement », Thèse de Doctorat, Université de Metz, 140p, (2004).
- [28] Y. Schoefs, S. Fournier, J. C. Leon, « Productique mécanique », Delagrave, 1994, France.
- [29] C. Rotty, "Étude de l'électropolissage d'alliages horlogers issus de fabrication additive en milieu aqueux et solvant non-conventionnel.," UTINAM, BESANCON, 2018.