

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-  
ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

FACULTE SCIENCE D'INGENIEUR  
DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE

## MEMOIRE DE MASTER

**FILIERE** Génie Mécanique

**OPTION** Mécanique Des Matériaux

### Thème

Caractérisation Mécanique de L'alliage de Cuivre CuSn

**Présenté par:**  
DOUGAT AFAF

**Dirigé par:**  
Dr. BENGHERSALLAH M.

#### **Jury de soutenance:**

**Président :** Pr. HAMADACHE H.

**Examineurs:** Pr. ZEMOURI Z.  
Dr. MERABTINE A.  
Dr. MENAIL Y.

ANNABA

Promotion : JUIN 2017

## *Dédicace*

Je dédie ce modeste travail à ceux que j'aime le plus au monde:

A celle qui m'a mise au monde, celle qui ma soutenance tout le long de  
Mes études scolaires et n'a jamais cessé de consentir pour ma réussite  
et mon bonheur : « ma mère » à qui je dois le respect pour sa  
gentillesse, sa noblesse, sa bonté et son amour.

A mon père à qui je dois tout ; en témoignage de mon profond respect,  
j'espère qu'il sera très fier de moi

A mes amis que j'estime beaucoup

D.AFAF

## *Remerciements*

J'exprime mes sincères remerciements à Allah le tout puissant

C'est avec un immense plaisir que je exprime toute mes gratuite me satisfaction à **Monsieur Benghersallah** qui m'encadré, dirigé et conseille dans le cadre de présentation de ce modeste travail

Je marque aussi me gratitude à tous ceux qui nous ferons l'honneur d'évaluer ce travail

En fin a grande remerciement à tous les enseignants du département de mécanique

D.AFAF

# *Sommaire*

**Dédicace**

**Remerciement**

**Introduction générale**

## **Chapitre I : Etude et analyse bibliographique**

<b>I.1. Alliages de cuivre</b> .....	1
a) Les laitons .....	1
b) Les bronzes .....	1
d) Le métal de base .....	2
1. Cuivre (Cu) .....	2
2.Étain (Sn) .....	3
3. Plomb (Pb) .....	3
❖ Les bronzes au plomb .....	4
❖ Propriétés physiques des bronzes .....	5
❖ Mise en œuvre des bronzes .....	5
1.le décapage .....	5
2.les traitements thermiques .....	6
3.l'usinage .....	6
4.les méthodes d'assemblage.....	6
<b>I.2.caractérisation mécanique des matériaux</b> .....	7
❖ La rigidité .....	7
❖ Elasticité :.....	7
❖ Résistance maximal .....	7
❖ Limite élastique .....	7
❖ Plasticité .....	7
❖ Ductilité .....	7
❖ Fragilité .....	7
❖ Ténacité .....	8

<b>I.3. Les essais mécanique</b> .....	9
I.3.1. Essai de traction .....	9
I.3.1.1. Intérêt et déroulement de l'essai.....	9
I.3.1.2. Propriétés de traction .....	10
I.3.2. Essais dureté .....	11
I.3.2.1. Domaines de la dureté .....	11
I. 3.2.2. Essai de dureté Brinell .....	12
I. 3.2.3. L'essai de dureté Vickers .....	13
I.3.2.4.Essai de dureté Rockwell .....	14
❖ Principe.....	15
❖ L'essai se déroule en trois phases .....	15
I.3.3.Essai de résilience .....	15
❖ Mouton de Charpy :.....	15
❖ Les éprouvettes :.....	17
<b>I.4.L'usinabilité des matériaux</b> .....	18
I.4.1. Evaluation de l'usinabilité .....	19
I.4.2.Méthodes d'évaluation de l'usinabilité.....	20

## **CHAPITRE II : PRESENTATION DU SUJET ET PARTIE EXPERIMENTALE**

<b>II.1.Problématique</b> .....	21
<b>II.2.Caractérisation du matériau (Alliage de cuivre)</b> .....	21
II.2.1.Préparation des éprouvettes .....	21
II.2.1.1.Tournage .....	22

✚ Calcul des paramètres de coupe.....	22
a) la vitesse de coupe.....	22
b) la vitesse d'avance.....	22
II.2.2. Tournage de l'éprouvette de l'essai de traction .....	23
II.2.3. Tournage de l'éprouvette de l'Essai de cisaillement .....	24
II.2.4. Essai de dureté Brinell .....	25
<b>II.3. Machine universelle d'essais mécaniques .....</b>	<b>26</b>
➤ Machine des essais universelle WP 310 .....	27
II.3.1. Essai de traction.....	29
II.3.2. Essai de cisaillement.....	30
➤ Dispositif d'essai de cisaillement .....	31
II.3.3. Essai de dureté .....	33
➤ Facteur de charge.....	34
➤ Forces d'essai.....	34
<b>II.4. Résultats des essais .....</b>	<b>35</b>
II.4.1. Résultats de l'essai de traction.....	35
✚ Interprétation des résultats de traction .....	36
II.4.2. Résultats de l'essai de cisaillement.....	36
✚ Interprétation .....	37
II.4.3. Résultats de mesure de la dureté (Brinell) .....	37
II.4.3.1. Mesure de la dureté avec le Microscope:.....	37
II.4.3.2. Mesure de la dureté avec le Duromètre Indentec.....	39

➤ Résultats de mesure .....	39
II.4.4. Etude de la Microstructure de l'alliage de cuivre .....	40
II.4.4.1. Microscope métallographique .....	40
II.4.4.2. Polisseuse:.....	41
II.4.4.3. Etude des microstructures.....	41

## **Conclusion**

## Résumé

Le sujet de notre mémoire de master porte sur l'étude des caractéristiques mécaniques d'un alliage de cuivre. Une étude bibliographique sur les différents alliages de cuivre particulièrement les bronzes et les laiton est passé en revue. Une caractérisation mécanique d'un barreau cylindrique laminé en alliage de cuivre non identifié est réalisée.

Sur une machine d'essai universelle, une série de tests de traction, de cisaillement double, de dureté Brinell et une étude de la microstructure d'un échantillon ont été réalisés.

L'analyse des résultats et leur interprétation a permis l'identification du matériau étudié et de le classer selon les caractéristiques normalisées.

**Mots clés:** Alliages de cuivre, essais mécaniques, microstructure.

## ملخص

تحتل السبائك المعدنية دورا هاما في التنمية الصناعية والتطبيقات المتعددة. الهدف من هذه الدراسة يكمن في تحديد الخصائص الميكانيكية لسبيكة النحاس و القصدير اعتمادا على قضيب نحاسي مجهول. بناءا على هذا الأخير تحصلنا على عينات قياسية من خلالها يتم إجراء اختبارات الشد ، القص ، الصلابة والمكونات المجهرية .

وأخيرا، سمحت دراسة تحليل المجهرية أن نتعلم كيفية تفسير مراحل مختلفة من المواد المعدنية.



# ***LISTE DES FIGURES***

## **Chapitre I**

Figure I.1 Diagramme de phase cuivre –zinc.....	2
Figure I.2 Diagramme binaire cuivre-étain pour la gamme de composition des bronzes..	3
Figure I.3 Minerai de cuivre.....	19
Figure I.4 Feuille d'étain pur à 99.9%.....	5
Figure I.5 Tuyaux en plomb utilisé à l'époque romaine à l'intérieur des thermes Bath, Angleterre.....	7
Figure I.6 Eprouvette de traction : a) cylindrique, b) prismatique.....	10
Figure I.7 Représentation d'une courbe de traction (matériau ductile).....	12
Figure I.8 Définitions des différents domaines de dureté.....	14
Figure I.9 Principe de dureté brinell.....	14
Figure I.10 Principe de dureté Vickers.....	15
Figure I.11 Principe de la dureté Rockwell (échelle B, bille en acier).....	17
Figure I.12 Schéma d'un mouton pendule et vue de dessus de l'éprouvette avant choc.....	18
Figure I.13 Eprouvettes Charpy standardisées. Le type le plus utilise est l'éprouvette ISO-V. Dimensions en mm.....	17
Figure I.14 Schéma structurel de l'usinabilité.....	20
Figure I.15 Schéma d'évaluation de l'usinabilité.....	21

# Chapitre II

Figure II.1. Machine outil (Tour IA616).....	23
Figure II.2.Préparation de l'éprouvette de l'essai de traction.....	25
Figure II.3. Coupeaux fragmenté.....	25
Figure II.4.Eprouvette finie pour la traction.....	26
Figure II.5.Préparation l'éprouvette de cisaillement.....	26
Figure II.6.Eprouvette finie pour de cisaillement.....	27
Figure II.7.préparation l'éprouvette de l'essai de dureté (Brinell).....	27
Figure II.8.Eprouvette finie pour la dureté Brinell.....	27
Figure II.9.Machine hydraulique des essais universelle, 50 kN.....	29
Figure II.10. Logiciel GUNT.....	31
Figure II.11.Diagramme force-allongement.....	31
Figure. II.12.Allongement à la rupture.....	32
Figure II.13.Placement de l'éprouvette dans la machine de traction.....	32
Figure.II.14.cisaillement à doubl section.....	33
Figure.II.15.dispositifdecisaillement.....	34
Figure. II.16.Placement de l'éprouvette.....	34
Figure II.17.Essai de dureté.....	35
Figure. II.18.Courbe de l'Essai de traction de L'Alliage de cuivre.....	37

Figure. II.19. a)Photo de la zone de rupture, b) Zone de rupture vue au microscope.....	38
Figure. II.20. a) photo de l'éprouvette cisailée, b) Zone de cisaillement vue au microscope.....	38
Figure. II.21. Photo des empreintes obtenues durant l'essai Brinell.....	39
Figure. II.22.Microscope.....	39
Figure. II.23.Tambour micrométrique.....	40
Figure. II.24.Duromètre indentec.....	41
Figure. II.25. Image de l'empreinte vue au microscope motic, HBW (Echelle 50).....	41
Figure. II.26.Microscope métallographique.....	42
Figure. II.27.polisseuse.....	43
Figure. II.28. Microstructure Echantillon CuSn x 500 Avant l'attaque chimique.....	43
Figure. II.29. Microstructure Echantillon CuSn x 500 Attaqué au chlorure de fer.....	44
Figure. II.30. Microstructure Echantillon CuSn x 1000 Attaqué au chlorure de fer.....	44

## ***LISTE DES TABLEAUX***

### **Chapitre I**

Tableau 1.Caractéristiques du bronze de fonderie.....	7
---	---

### **Chapitre II**

Tableau 1.Résultats de l'essai de dureté Brinell.....	40
Tableau. II .2. Les caractéristiques mécaniques des principaux corroyés et moulés.....	45

## **INTRODUCTION :**

La fabrication mécanique à une grande importance dans le domaine économique, elle participe au développement d'un pays. Elle contribue à l'amélioration des moyens de production locaux. La nouvelle stratégie industrielle mondiale est basée sur la haute technologie moderne acquise par les grands constructeurs internationaux. Il faut améliorer la qualité du produit, la productivité, le prix de revient et le temps d'exécution tout en consommant le minimum possible d'énergie et en respectant l'environnement.

Dans ce travail nous avons contribué à la détermination des paramètres d'emploi des matériaux dans la construction mécanique par l'étude de la caractérisation d'un alliage de cuivre (CuSn) et la présentation des résultats et leur interprétation.

L'étude est menée tout d'abord par une analyse bibliographique sur les alliages de cuivre et leurs caractéristiques.

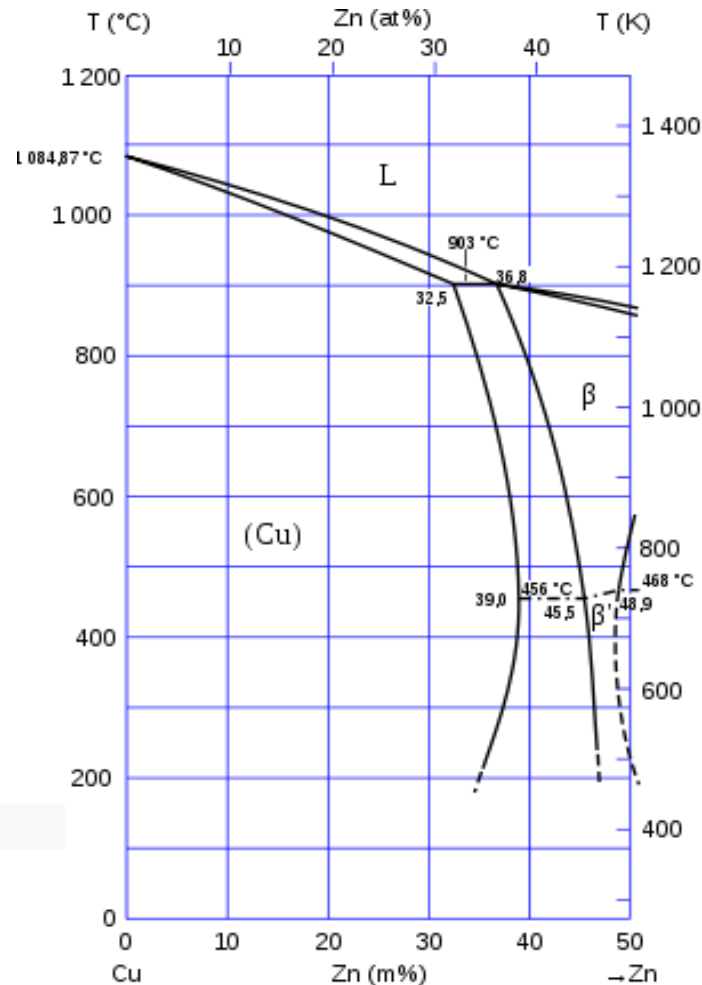
En second plan, une partie expérimentale qui concerne la fabrication des éprouvettes normalisées qui seront utilisées pour les tests de traction, cisaillement, test de dureté et microstructure et l'interprétation des résultats.

## **I.1. Alliages de cuivre [1] :**

La résistance mécanique du cuivre pur est relativement faible, comme beaucoup de métaux purs. Celle-ci peut être considérablement augmentée par l'addition d'autres métaux pour former des alliages. Les différences entre alliages sont dues essentiellement à l'élément d'addition principal mais aussi aux autres éléments d'addition, ajoutés en moindre quantité, les éléments secondaires. Tous les éléments jouent, par leur nature et leur teneur, sur plusieurs propriétés de l'alliage : les caractéristiques mécaniques (charge de rupture  $R_m$ , limite élastique  $R_{p0.2}$ , allongement à la rupture  $A\%$ , dureté HV), la masse volumique, les conductivités électrique et thermique, l'usinabilité, l'aptitude à la déformation à froid et à chaud. Le cuivre est capable de s'allier à bon nombre d'éléments donnant ainsi naissance à beaucoup d'alliages différents ayant un faisceau de propriétés très large, permettant de satisfaire un grand nombre d'applications. Parmi les alliages de cuivre en cite : laitons binaires (Cuivre + zinc), bronzes (cuivre + étain), chrysocales (cuivre + étain + zinc).

### **a) Les laitons:**

Les laitons sont les alliages de cuivre et de zinc contenant de 5 à 45% de zinc et éventuellement d'autres éléments : plomb, étain, manganèse, aluminium, fer, silicium, nickel, arsenic. Le laiton est l'alliage de cuivre le plus fabriqué. Il présente la plus grande facilité d'emploi. Il peut être utilisé sous toutes les formes de demi-produits, et sa mise en œuvre peut être opérée par tous les procédés : moulage, matriçage, décolletage, emboutissage, usinage, etc.... Pour être de qualité commerciale, la concentration limite en zinc est de 42%. Au delà de Cette limite, les alliages sont trop fragiles et n'ont d'intérêt notable.



**Figure I.1** Diagramme de phase cuivre –zinc.

### b) Les bronzes:

Les alliages de cuivre font partie des métaux et alliages non ferreux. Ils sont caractérisés par leur très bonne résistance à la corrosion : Leur résistance à la corrosion n'est pas le seul motif de leur emploi: On peut rechercher d'autres paramètres comme les facilités au moulage ou la conduction thermique ou électrique (ou la non conduction), la masse volumique plus faible que celle des aciers etc.

Les bronzes, alliages à base de cuivre et d'étain sont des alliages plus chers que les laitons. Le rôle de l'étain est sensiblement le même que celui du zinc dans les laitons, L'action est seulement plus forte.

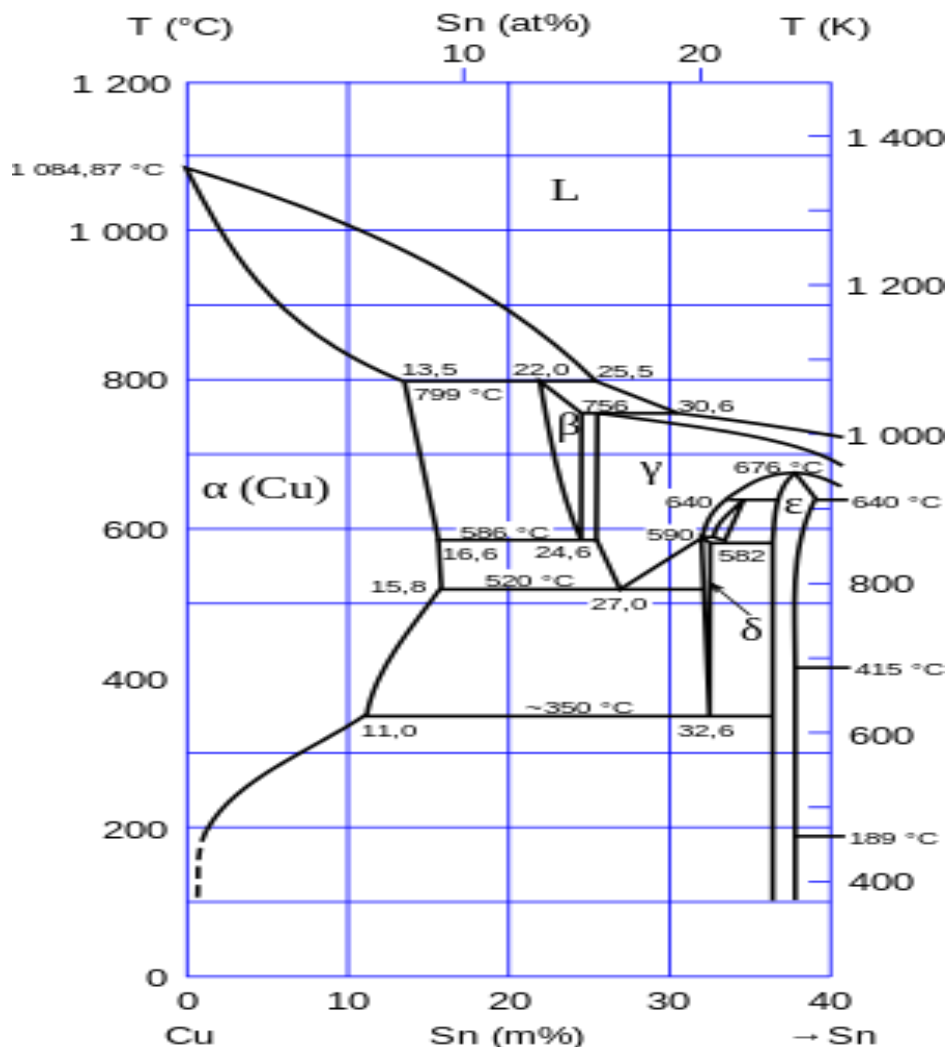
Industriellement les teneurs sont comprises entre 4 et 22 % de Sn. Le moulage est plus facile que celui des laitons, par contre les usinages sont plus difficiles.

## Chapitre I : Etude et analyse bibliographique

Les bronzes sont employés en mécanique pour leur bonne qualité de frottement (paliers de vilebrequin, coussinets etc..). Leur bonne résistance à la corrosion favorise aussi leur emploi.

Le moulage est la mise en forme des bronzes la plus employée à cause de leurs propriétés de moulabilité mais aussi parce que l'usinage est difficile. Les alliages de première qualité sont employés pour réaliser de la robinetterie, des accessoires de tuyauterie, des éléments de machine ou des coussinets contiennent 12 ou 10 % d'étain. On peut diminuer les prix avec des alliages avec 6% d'étain mais les propriétés mécaniques sont dégradées.

Les alliages pour monnaie contiennent 4 à 10 % de Sn Les bronzes à cloches contiennent au maximum 23 % de Sn.



**Figure I.2** Diagramme binaire cuivre-étain pour la gamme de composition des bronzes.



### d) Le métal de base [2]:

#### 1. Cuivre (Cu) :

Le cuivre pur est plutôt mou, malléable et présente sur ses surfaces fraîches une teinte rosée à pêche. C'est un métal ductile possédant une conductivité électrique et thermique particulièrement élevées qui lui confèrent des usages variés. Sa malléabilité permet de le déformer facilement pour en faire des tuyaux.

Le cuivre sert à fabriquer des pièces de monnaie et aussi des armes, des tuyaux, mais aussi des fils électriques. Leur température de fusion est 1 084,62 °C.

Il intervient également comme matériau de construction et entre dans la composition de nombreux alliages bronze (cuivre/étain) ; laiton (cuivre/zinc). Ils sont utilisés pour fabriquer des robinets et d'autres matériels de plomberie.



**Figure I.3** Minerai de cuivre.

#### 2.Étain (Sn):

L'étain est un métal gris-argent, très malléable et ductile. Il est très résistant à la corrosion mais peut être attaqué par les acides forts.

L'étain est utilisé pour :

Fer-blanc : tôles fines d'acier doux recouvertes d'une mince couche d'étain, généralement par électrodéposition. Le fer-blanc est surtout utilisé pour fabriquer les emballages métalliques (boîtes de conserve).

Étamage : l'étamage consiste à recouvrir une pièce métallique d'une fine couche d'étain pour garantir de bons contacts électriques.

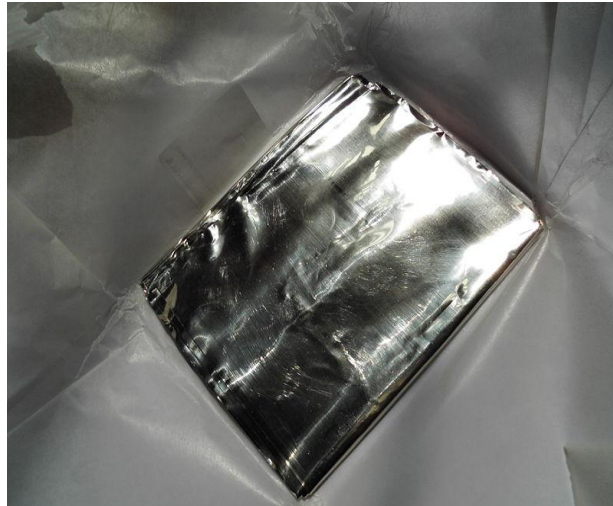
Monnaies : On incorpore souvent de l'étain dans les pièces de monnaie. Les pièces de 50 centimes, 20 centimes et 10 centimes d'Euro en contiennent 1 %.

## Chapitre I : Etude et analyse bibliographique

---

L'étain est également nécessaire à la vie : c'est un oligo-élément, leur température de fusion est 231,928 °C.

Les alliages plomb-étain, parfois aussi appelés métal blanc, sont des alliages très courants depuis l'Antiquité, notamment dans la vaisselle.



**Figure I.4** Feuille d'étain pur à 99,9 % (0,1x100 mm).

### **3. Plomb (Pb) :**

Le plomb est un métal gris bleuâtre, blanchissant lentement en s'oxydant. Il se présente sous la forme d'un métal mou à température ordinaire, il est très malléable, ductile et non corrosif ; on peut facilement le déformer et il fond à basse température, 327°C.

Sa masse volumique est de 11 kg/litre (c'est-à-dire 11 fois plus que l'eau, à titre de comparaison, Ag = 10,4, Cu = 8,7, Fe = 7,8 mais l'or = 19,2).

#### Le plomb est utilisé pour :

Canalisation par le passé. La principale utilisation du plomb aujourd'hui est à chercher dans les batteries de voiture. Il était aussi utilisé sous forme d'alliage par les dentistes pour soigner une carie (le plombage, qui renvoie à la racine plomb).

Il est capable d'absorber les rayons X et sert de protection contre les radiations en plaques métalliques.

En alliage avec l'étain et l'antimoine, il était utilisé pour la fabrication des caractères d'imprimerie. On l'appelle alors plomb typographique.



**Figure I.5** Tuyaux en plomb utilisé à l'époque romaine à l'intérieur des thermes de Bath, Angleterre.

### ❖ Les bronzes au plomb :

Le plomb est insoluble dans les bronzes et s'isole sous forme de globules dont la finesse et l'homogénéité de répartition constituent un important facteur de qualité de ces alliages. Pour les usages ne nécessitant pas de caractéristiques mécaniques particulières, le plomb est ajouté aux bronzes à des teneurs inférieures à 7 %, afin d'améliorer l'aptitude à l'usinage et l'étanchéité des pièces moulées.

Les bronzes renfermant de 6 à 30% de plomb, avec des teneurs en étain adaptées aux conditions de service, permettent de résoudre la majorité des problèmes de frottement doux dans un large domaine de charges et de vitesses.

Pour les teneurs élevées en plomb, la dissémination correcte de cet élément dans le bronze est réalisée soit par l'addition de 1 % de nickel, soit par l'emploi de techniques spéciales de coulée, telles que la coulée continue et la coulée centrifuge, dans lesquelles la solidification rapide évite la ségrégation du plomb.

Les deux nuances normalisées sont le CuSn10Pb10 et le CuSn5Pb20 qui peuvent chacun contenir jusqu'à 2 % de zinc et de nickel.

Ces alliages sont caractérisés par d'excellentes propriétés antifriction et sont utilisés pour la fabrication de coussinets.

A noter qu'il existe des alliages binaire cuproplomb qui possèdent des propriétés de frottement analogues.

### ❖ Propriétés physiques des bronzes :

Les bronzes sont de couleur rose lorsque la teneur en étain n'excède pas 5%, ils prennent une teinte or de plus en plus foncée jusqu'à 15 % d'étain, teinte qui pâlit lorsque le taux d'étain croît au-delà de 15%, le tableau suivant résume les propriétés physiques des principaux bronzes.

<i>Bronzes de fonderie</i>			
	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

**Tableau I.1** Caractéristiques du bronze de fonderie.

### ❖ Mise en œuvre des bronzes :

#### 1.le décapage :

L'opération de décapage est une opération particulièrement importante car l'oxyde stannique formé lors des recuits oxydants est abrasif et susceptible d'user les outils de découpe.

le décapage est généralement effectué ,comme pour le cuivre ,à l'aide d'acide sulfurique dilué.

Les oxydes d'étain,difficilement solubles dans l'acide,sont en partie éliminés sous forme de boues.les oxydes résiduels peuvent être complètement éliminés si nécessaire par un décapage complétemtaire dans un bain acide oxydant qui permet en outre d'éliminer le cuivre pulvérulent.

Un test d'usure,appelé « scroll test »,initialement mis au point pour le cupro-bérylium,a été adapté aux bronzes pour évaluer la qualité du décapage :il consiste à faire frotter sur la surface traitée par décapage,avec une pression constante,une bille de dureté donnée ; l'examen au

## Chapitre I : Etude et analyse bibliographique

---

microscope de la surface de la bille révèle ou non l'existence d'une facette traduisant les propriétés abrasives de la surface.

### **2.les traitements thermiques :**

Les traitements d'homogénéisation sont effectués entre 680 et 780°C.

Après écrouissage le recuit est pratiqué de 500 à 700°C.

### **3.l'usinage :**

La vitesse d'usinage est influencée par la teneur en phase  $\delta$ , qui est dure et fragile ainsi que par la teneur en plomb.

L'indice d'usinabilité par rapport au laiton de décolletage CuZn39Pb2, pris comme base 100, est de l'ordre de 20 pour les bronzes sans plomb et peu chargés en phase  $\delta$  et de 80 pour le bronze CuSn5Pb5Zn5.

### **4.les méthodes d'assemblage :**

Les bronzes se brasent facilement par brasage tendre. en revanche les assemblages par brasage fort ou soudage sont plus délicats en raison de leur tendance à la fissuration à chaud. les bronzes à faible et moyenne teneur en étain ( $sn < 8\%$ ) sont soudables à l'arc.

Les nuances à très bas taux de phosphore peuvent être soudées mais difficilement au chalumeau oxyacétylénique. les nuances contenant du zinc ou du plomb sont difficilement soudables. le soudage par résistance électrique des bronzes est possible en raison de la résistivité importante de ces alliages.

## **I.2.caractérisation mécanique des matériaux [3] :**

Ce sont des propriétés des propriétés relatives aux aspects de résistance aux efforts, des déformations résultantes des efforts, des déformations résultantes des efforts, des contacts entre solides (chocs, glissement....)

### **❖ La rigidité :**

C'est l'aptitude d'un matériau à se déformation de façon élastique (et donc réversible).

La rigidité est définie par le module d'élasticité E plus le matériau est rigide plus la force qu'on peut lui appliquer est importante.

### **❖ Elasticité :**

C'est l'aptitude d'un matériau à se déformer sous une charge (un effort) et de retourner à son état initial après décharge.

### **❖ Résistance maximal :**

C'est la charge maximale que peut supporter un matériau la charge peut être effort en traction le couple en torsion.

### **❖ Limite élastique :**

C'est la charge maximale que peut supporter un matériau pour se déformer d'une façon élastique.

### **❖ Plasticité :**

C'est la formation d'un matériau sous une charge sans revenir à son état initial après décharge.

### **❖ Ductilité :**

C'est l'aptitude d'un matériau à se déformer plastiquement avant rupture un matériau qui se déforme plus avant rupture est plus ductile qu'un matériau qui se déforme moins.

### **❖ Fragilité :**

C'est la facilité avec la quelle on peut fracturer un matériau fragile se déformer plastiquement.

# Chapitre I : Etude et analyse bibliographique

---

## Remarque :

La ductilité et la fragilité sont deux notions opposées, Elles peuvent être exprimées par :

- L'allongement à la rupture A%
- Le pourcentage de striction Z
- La résilience déterminée par essai Charpy

## ❖ **Ténacité :**

C'est l'aptitude d'un matériau à absorber l'énergie lors d'une déformation plastique

C'est une combinaison entre la bonne résistance à la rupture et la bonne ductilité. Une des façons de définir la ténacité est l'aire de la surface engendrée par la courbe de traction. La ténacité peut être mesurée par l'essai de résilience « Charpy ».

## I.3. Les essais mécanique :

### I.3.1. Essai de traction [4] [5] [6] :

-**But**: 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 ( $\sigma=E \cdot \epsilon =F/S$ ).

#### I.3.1.1. 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  $\sigma$  :

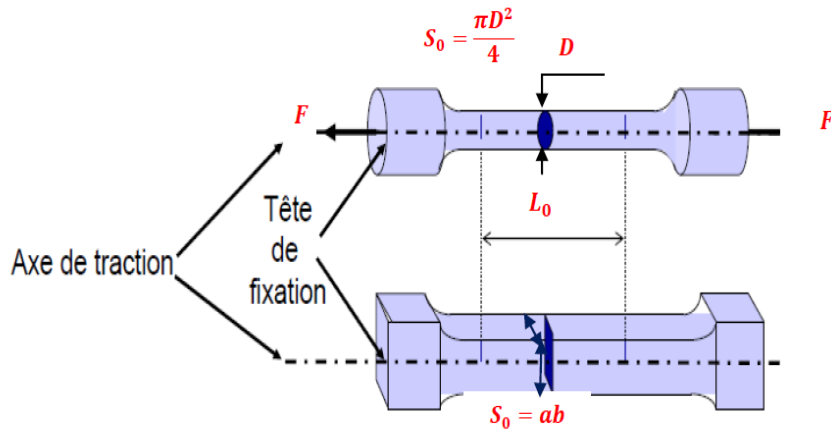
$$\sigma = F / S_0 \quad (I.1)$$

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.4).

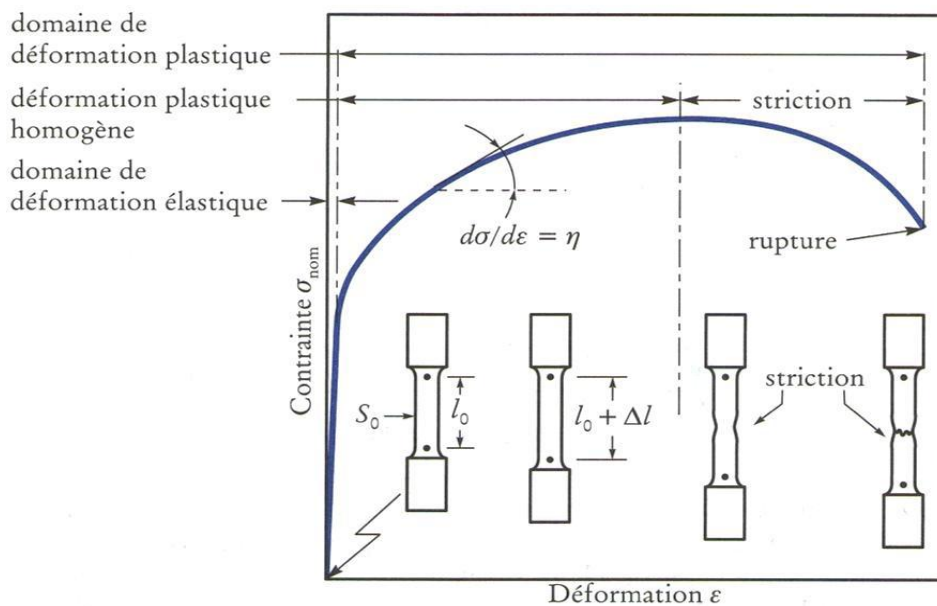




**Figure I.6** Eprouvette de traction : a) cylindrique, b) prismatique.

### I.3.1.2. 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.5).



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

### I.3.2. Essais dureté [5] :

**But:** mettre en évidence la résistance du matériau à la pénétration.

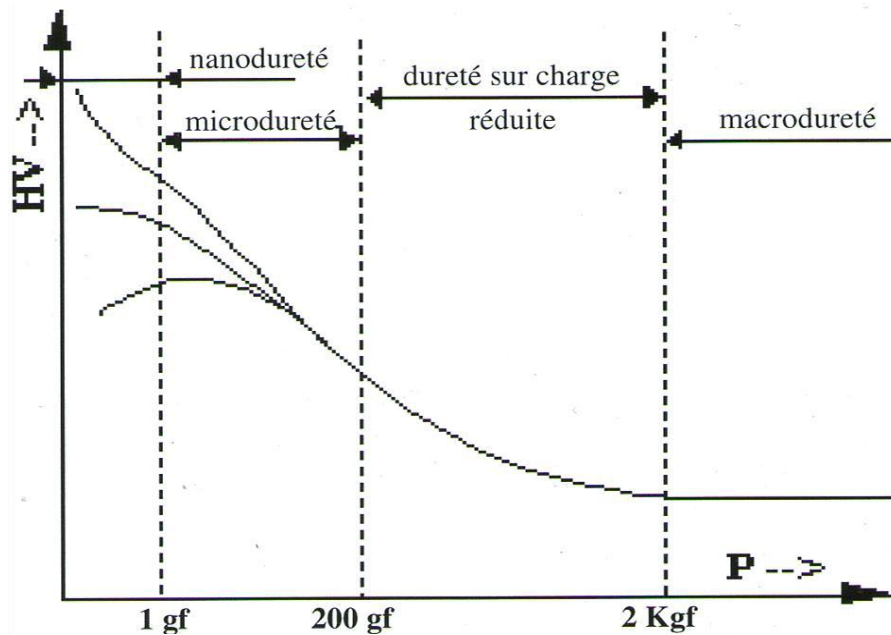
La dureté d'un matériau définit la résistance qu'oppose une surface de l'échantillon à la pénétration d'un poinçon, par exemple une bille en acier trempé (dureté Brinell) ou une pyramide en diamant (dureté Vickers). S'il y résister bien, il est dit dur, sinon il est dit mou. la dureté se mesure sur différentes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

#### I.3.2.1. Domaines de la dureté [6] :

La détermination des propriétés mécaniques des couches mince 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.

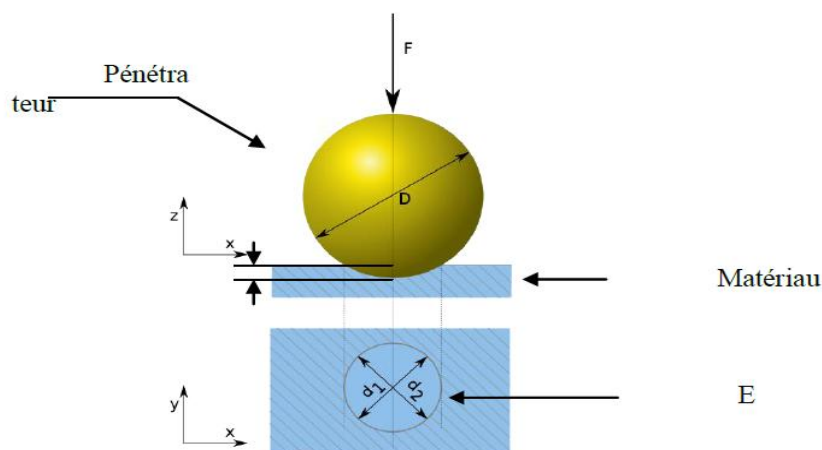
Plusieurs domaines de dureté peuvent être définis en fonction de la charge appliquée. Bücklea introduit en 1965 la notion de la macrodureté pour des charges supérieures à 3÷5 kgf et celle de microdureté pour des charges inférieures à 100÷200 gf. Le domaine intermédiaire étant celui de la dureté sous 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. 3.2.2. Essai de dureté Brinell [5] :

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.7). 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  $d$ .



**Figure I.9** Principe de dureté Brinell.

## Chapitre I : Etude et analyse bibliographique

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).

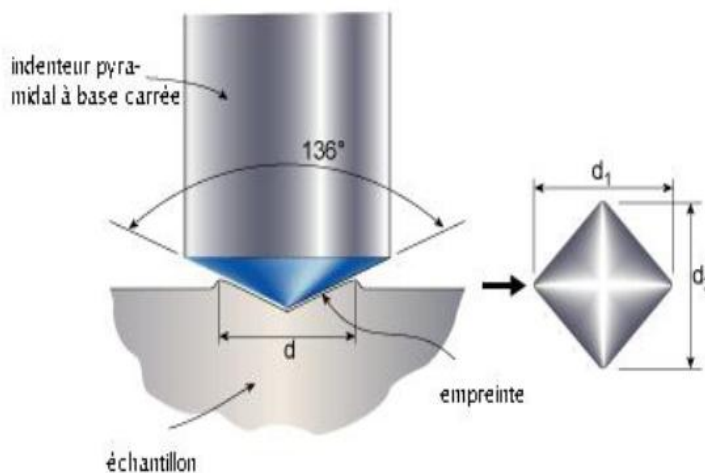
$$HB = \frac{2p}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

(I.3)

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

### I. 3.2.3. L'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°, sous l'action d'une force connue. On mesure la diagonale de l'empreinte carrée laissée par le pénétrateur (fig.I.8).



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

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.

## Chapitre I : Etude et analyse bibliographique

---

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).

$$HV = \frac{1.8454P}{d^2}$$

(I.4)

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

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.3.2.4.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 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° et dont l'extrémité est une calotte sphérique de rayon 0,1 mm =ROCKWELL c, pour les matériaux plus durs comme l'acier.

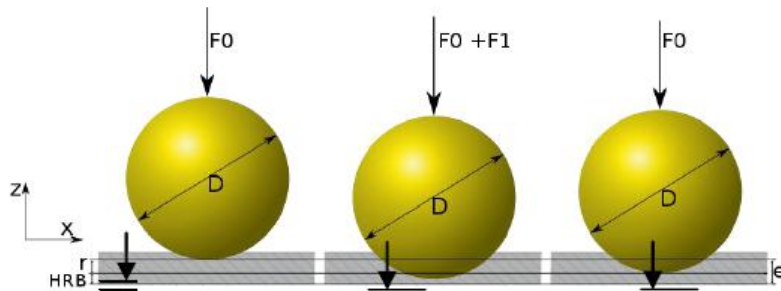
-recharge  $F_0$  faible de 10 daN=niveau de référence

-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).

Les essais 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.3.3. Essai de résilience [8] [9] :**

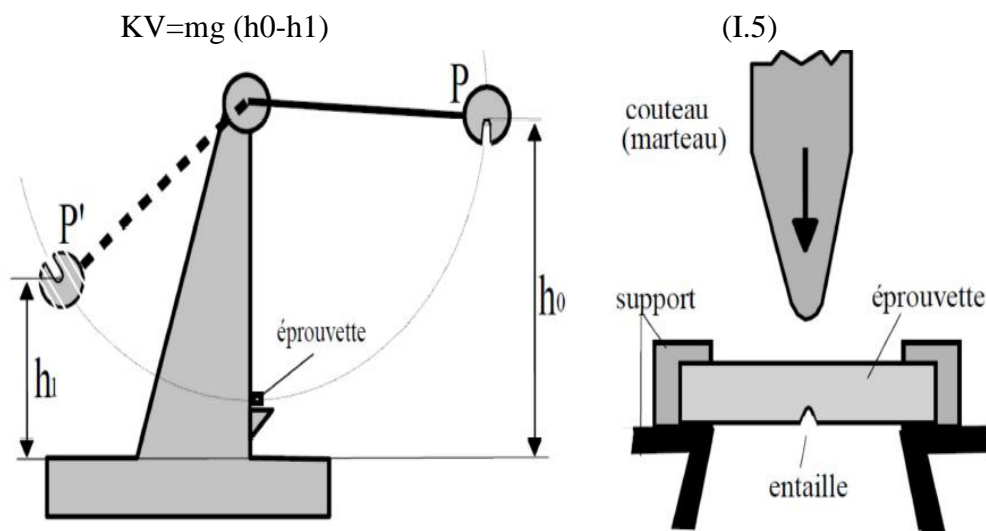
- **Mouton de Charpy :**

Un marteau de masse  $m$  est fixe à l'extrémité d'un pendule (fig. I.10). 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.

## Chapitre I : Etude et analyse bibliographique

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



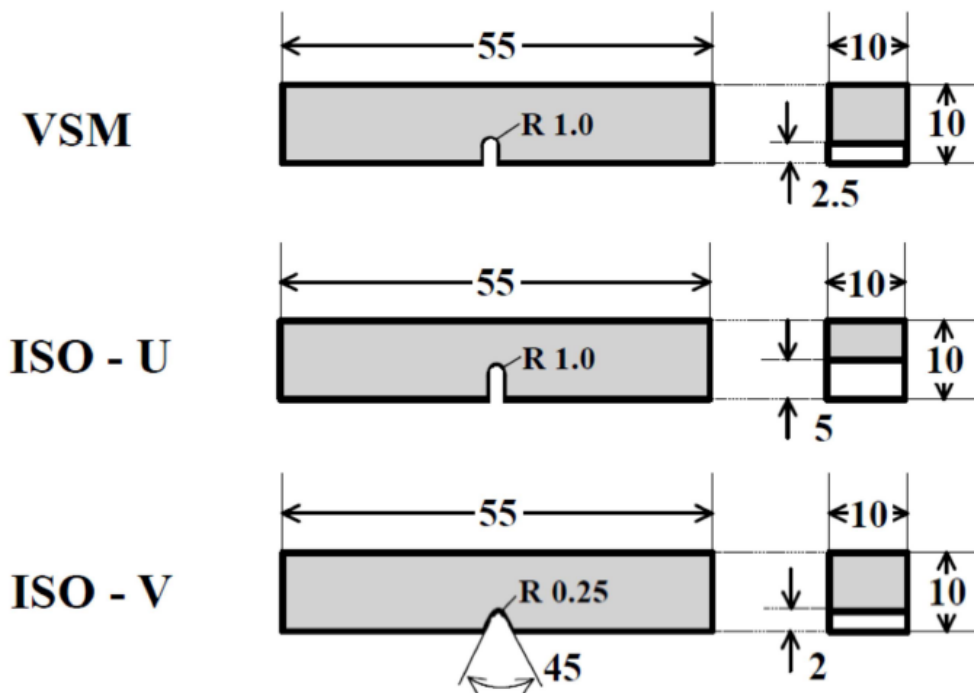
**Figure I.12** Schéma d'un mouton pendule et vue de dessus de l'éprouvette avant choc.

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.11). 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 prononcée. 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 10x10mm<sup>2</sup>, mais se distinguent dans leur forme et leur profondeur d'entaille qui se trouve sur le cote opposé à l'endroit où le marteau frappe (Fig. I.10). 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 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.



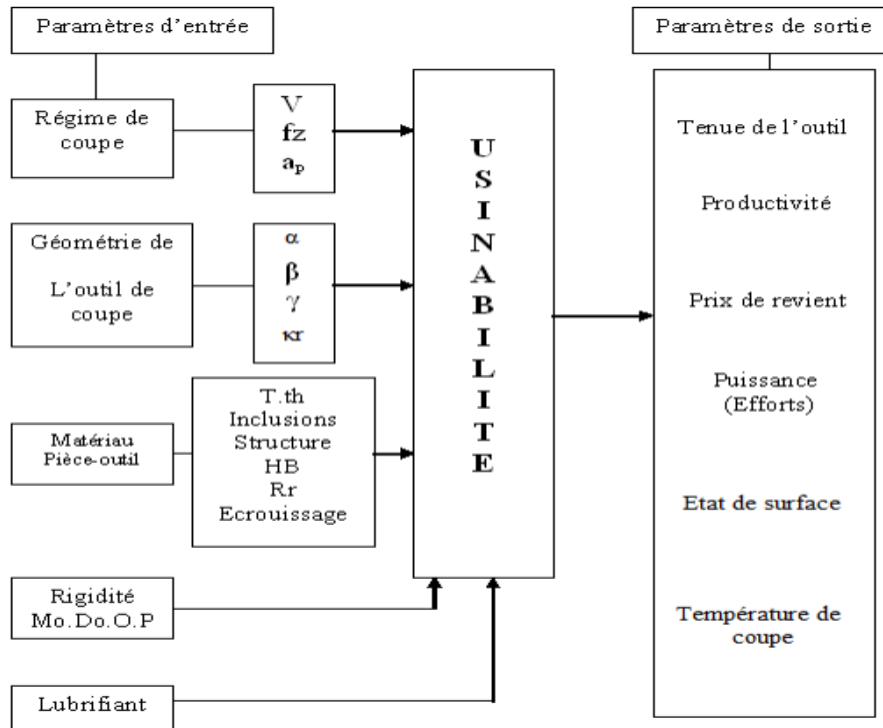
**Figure I.13** Eprouvettes Charpy standardisées. Le type le plus utilisé est l'éprouvette ISO-V.

Dimensions en mm.



## I.4.L'usinabilité des matériaux [9] :

L'usinabilité ou capacité d'un matériau d'être travaillé par outil de coupe est une propriété mécanique très complexe. Cette complexité vient du fait que l'usinabilité est une propriété qui est sensible à un nombre important de paramètres, que l'on peut mettre en évidence par le schéma suivant:



**Figure I.14** Schéma structurel de l'usinabilité.

L'usinabilité n'est donc pas une propriété scientifiquement définie et régie par les lois mathématiques fixées. C'est une caractéristique qui devient insignifiante si les conditions dans lesquelles elle à été appréciée ne sont pas précises.

Plusieurs chercheurs dans le domaine de la coupe des métaux définissent l'usinabilité comme étant l'aptitude à la coupe par enlèvement de copeaux est l'ensemble de propriétés complexes dont l'effet peut se ramener à l'obtention de deux valeurs principales:

- Précision des cotes macro et micro géométriques,
- Prix de revient.

L'usinabilité est l'aptitude d'un matériau à être amené à des dimensions et formes déterminées avec un état de surface défini par une ou plusieurs opérations d'usinage.

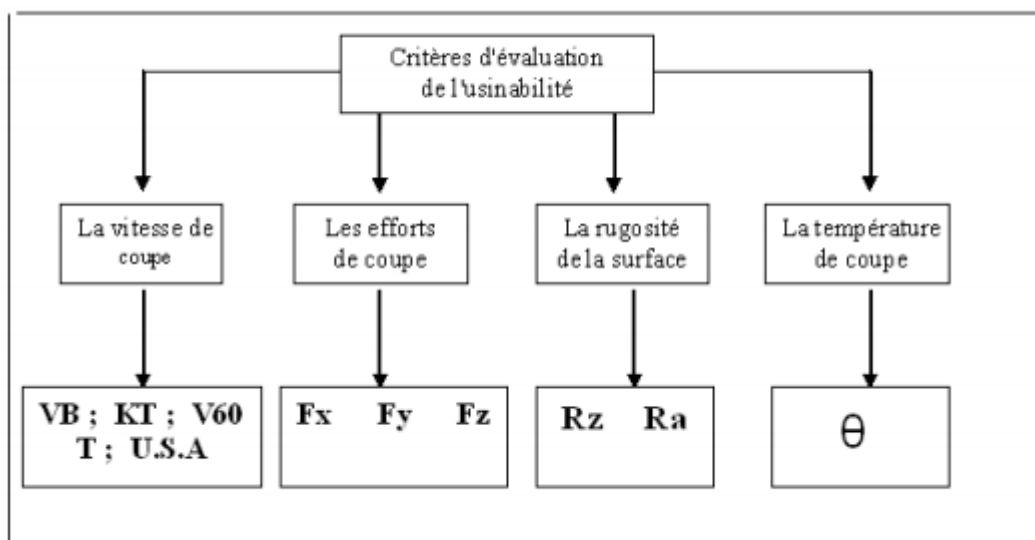
## Chapitre I : Etude et analyse bibliographique

L'usinabilité n'est pas une propriété simple de la matière, elle n'est pas directement mesurable. C'est une propriété mécanique complexe désignant la facilité plus ou moins grande d'un matériau à être amené par enlèvement de copeaux à une forme et cote fixées.

### I.4.1. Evaluation de l'usinabilité :

En construction mécanique, la réalisation d'un produit quelconque nécessite l'emploi de divers matériaux. La connaissance exacte des différentes caractéristiques du matériau est primordiale. Lorsqu'un matériau est transformé par usinage (enlèvement de copeaux), il est important de connaître son usinabilité. Plusieurs chercheurs et constructeurs notamment dans le domaine de la métallurgie ont étudié et évalué cette caractéristique.

L'usinabilité des matériaux est évaluée par un certain nombre de critères. Ces critères ont été classés différemment par les chercheurs en coupe des métaux, le schéma général sur lequel l'ensemble des études s'est basé pour évaluer l'usinabilité d'un matériau peut-être comme suit :



**Figure I.15** Schéma d'évaluation de l'usinabilité.

Les conclusions présentées par les chercheurs montrent que les critères d'évaluation de l'usinabilité peuvent être ordonnés comme suit :

- La vitesse de coupe,
- Les efforts de coupe,
- La rugosité de la surface usinée,
- La température de coupe.

Les différentes études présentées par les spécialistes de la coupe des métaux et relatives à l'évaluation de l'usinabilité des matériaux montrent que parmi tous les critères, le critère de la vitesse de coupe caractérisé par la tenue de l'outil ou par un critère dépendant soit (VB, KT ou V60) est le critère prépondérant de l'évaluation de l'usinabilité ; les autres critères sont considérés comme complémentaires.

### **I.4.2.Méthodes d'évaluation de l'usinabilité :**

L'usinabilité est une caractéristique mécanique complexe propre au matériau. Elle est évaluée par la réalisation d'un certain nombre de tests (essais pratiques). Ces tests consistent à l'étude de l'influence des critères considérés sur l'usinabilité.

Pour déterminer l'usinabilité d'un matériau, plusieurs méthodes ont été mises au point. Les plus significatives sont celles basées sur la mesure de l'usure plus réalisables en pratique. Selon la durée de l'essai nous avons deux types :

- Essais de longue durée,
- Essais rapides (accélérés).

### II.1.PROBLEMATIQUE :

Notre étude est basée sur la caractérisation mécanique d'un alliage de cuivre. L'objectif est de déterminer les caractéristiques mécaniques de cet alliage à partir d'une barre laminée non identifiée. A partir de cette barre, nous allons fabriquer des éprouvettes normalisées qui seront utilisées pour les tests de traction, cisaillement, test de dureté et microstructure.

### II.2.Caractérisation du matériau (Alliage de cuivre) :

#### II.2.1.Préparation des éprouvettes :

Nous avons décidé de fabriquer les éprouvettes destinées aux essais de traction, cisaillement et dureté Brinell par usinage à partir d'une barre laminée en alliage de cuivre.

- ✚ **Machine outil (Tour) :** est une machine outils destinée à fabriquer les pièces de forme cylindriques.
- L'usinage est réalisé sur un tour à charioter modèle (IA616) de puissance sur la broche égale à 5,5KW, qui se trouve dans la salle G17 de département.



**Figure II.1** Machine outil (Tour IA616).

### II.2.1.1. Tournage [10]:

Le tournage est un procédé d'usinage par enlèvement de matière qui consiste en l'obtention de pièces de forme cylindrique ou/et conique à l'aide d'outils coupants sur des machines appelées tourniquet. La pièce à usiner est fixée dans une pince, dans un mandarin, ou entre pointes.

#### Calcul des paramètres de coupe :

a) la vitesse de coupe  $V_c$  [m / min] :

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000} \quad (\text{II.1})$$

Le facteur 1000, correspond à la conversion des mm en m ou inversement.

D : le diamètre de la pièce à usiner en (mm).

N : la fréquence de rotation du moteur ou de la broche, exprimée en (tr/min).

$\pi$  : 3.14.

$$N = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D}$$

$$N = \frac{1000 \cdot 32}{3,14 \cdot 32} = 318,47 \text{ tr/min}$$

[La vitesse de coupe est choisie dans l'intervalle 32 à 70 m/mn (pour le tournage des alliages de cuivre en tournage avec un outil en acier rapide)].

b) la vitesse d'avance  $A$  [mm /min] :

$$A = f \cdot N \quad (\text{II.2})$$

$$A = 0,3355 \cdot 318,47 = 106,5 \text{ mm/min}$$

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

N : fréquence de rotation réglée sur la machine en tour/min.

### II.2.2. Tournage de l'éprouvette de l'essai de traction :

Préparation une éprouvette cylindrique bronze pour l'essai de traction

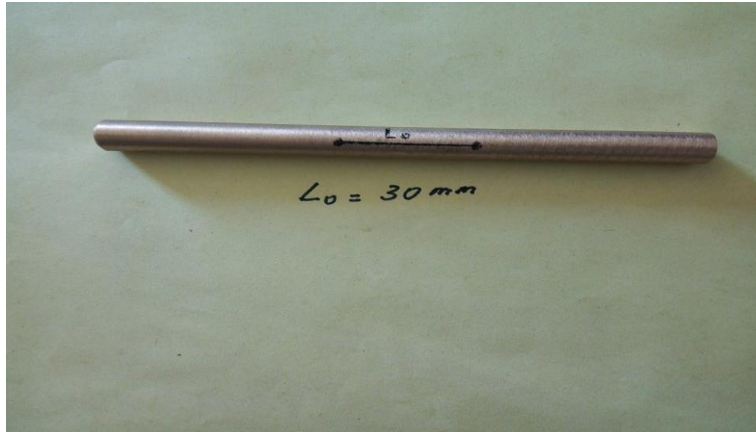
- Dimension  $L = 140\text{mm}$  /  $D = 10\text{mm}$ .



**Figure II.2** Préparation de l'éprouvette de l'essai de traction.



**Figure II.3** Coupeaux fragmenté.

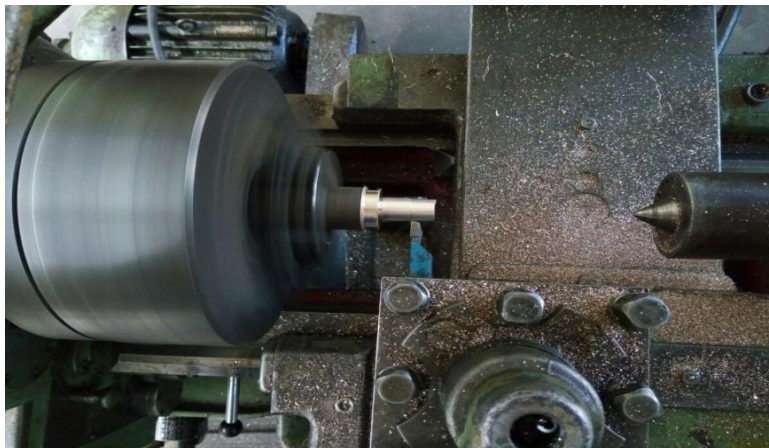


**Figure II.4** Epreuve finie pour la traction.

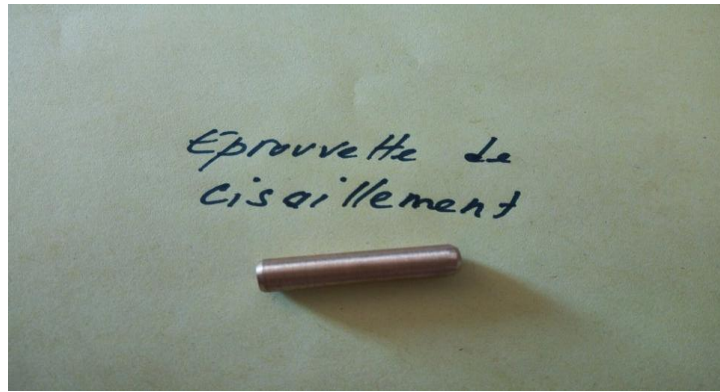
### II.2.3. Tournage de l'éprouvette de l'Essai de cisaillement :

Préparation une éprouvette cylindrique pour l'essai de cisaillement

- **Dimension L=26mm / D=6mm.**



**Figure II.5** Préparation l'éprouvette de cisaillement.

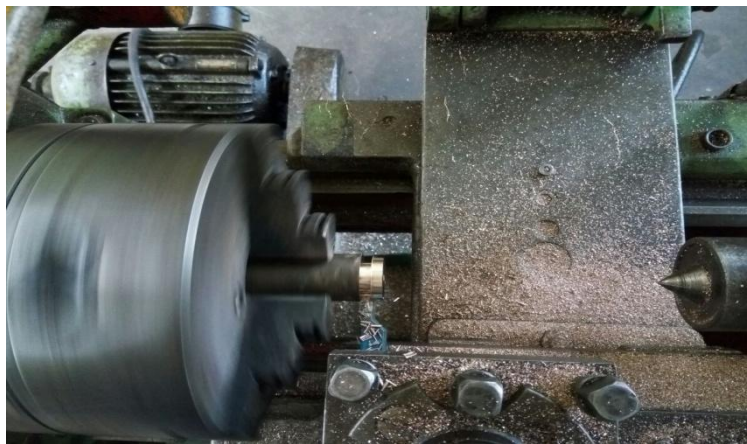


**Figure II.6** Epreuve finie pour de cisaillement.

### II.2.4. Essai de dureté Brinell :

Préparation d'éprouvette pour l'essai de la dureté

- **Dimension 30\*6mm.**



**Figure II.7** Préparation l'éprouvette de l'essai de dureté (Brinell).



**Figure II.8** Epreuve finie pour la dureté Brinell.





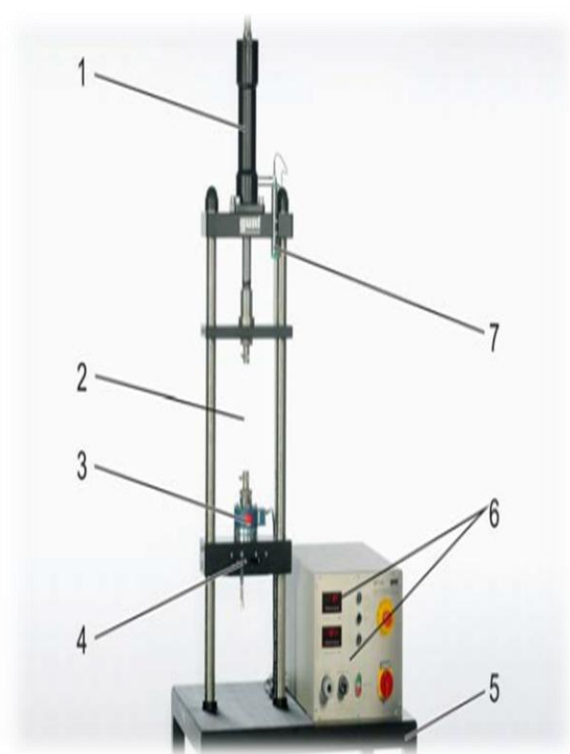
### II.3. Machine universelle d'essais mécaniques :

➤ **Présentation de logiciel :**

Via le point de menu Affichage, on peut sélectionner différentes représentations des résultats d'essais.

- /Affichage/...diagramme donne une représentation x-y des points de mesure. Cette représentation devrait être sélectionnée lors de la réalisation de l'essai.
- /Affichage/Tableaux donne une représentation numérique des points de mesure sous la forme d'un tableau
- /Affichage/rapport d'essais génère un rapport d'essais avec les valeurs caractéristiques essentielles de l'essai

➤ **Machine des essais universelle WP 310 [11]:**



**Figure II.9** Machine hydraulique des essais universelle, 50 kN.

## Chapitre II : Présentation Du sujet et partie Expérimentale

---

<b>1</b>	cyindre hydraulique à double effet,
<b>2</b>	zone de travail
<b>3</b>	capteur de force
<b>4</b>	Traverse inférieure réglable en hauteur avec verrouillage
<b>5</b>	Bâti
<b>6</b>	éléments d'affichage et de commande
<b>7</b>	capteur de déplacement

La structure simple et claire de cet appareil d'essai de matériaux permet d'observer tous les détails et toutes les phases des processus d'essai, ce qui est pratiquement impossible avec une machine d'essai industrielle. L'appareil est cependant suffisamment performant pour réaliser Des tests de niveau industriel.

Son utilisation simple et sa robustesse en facilitent l'utilisation pour les expérimentations. L'appareil d'essai est une machine d'essai verticale à montant hydraulique produisant directement aussi bien des forces de traction que des forces de compression. La traverse inférieure peut être déplacée en plusieurs positions pour le réglage approximatif de la hauteur. Des logements cylindriques sur les traverses permettent de changer facilement les différents éléments, comme les mâchoires à coins (WP 310.05).

Des éprouvettes DIN 50125 peuvent être utilisés. La force et le déplacement sont enregistrés par des capteurs, affichés et peuvent être traités sur un PC.

Système de base pour l'application d'efforts de compression et de traction pour les essais de matériaux.

Une gamme étendue d'accessoires permet d'effectuer

- essai de traction
- essai de dureté Brinell
- essai de compression
- essai de flexion
- essai de cisaillement
- essai d'emboutissage profond
- essai de ressort

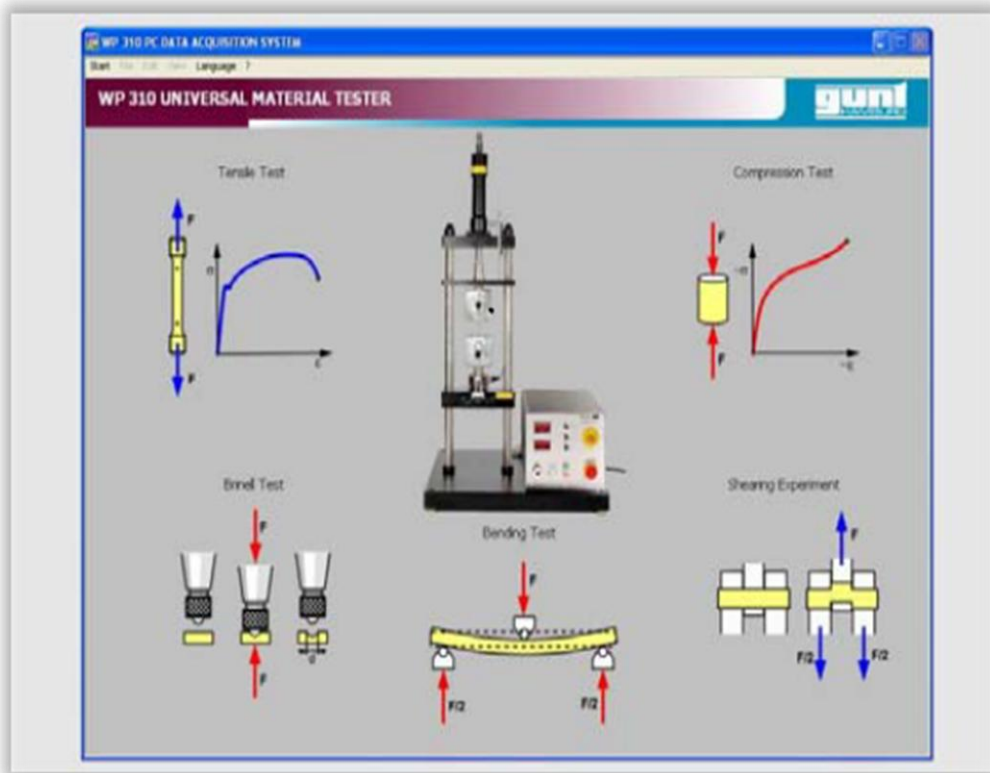


Figure II.10 Logiciel GUNT.

### II.3.1. Essai de traction :

La charge de l'éprouvette est augmentée lentement et progressivement jusqu'au point de déchirure de cette dernière. La force d'essai maximale appliquée en la circonstance détermine la résistance du matériau. La résistance à la traction  $R_m$  en  $N/mm^2$  se calcule à partir de la force d'essai maximale  $F_B$  en N et de la section initiale  $A_0$  en  $mm^2$  de l'éprouvette.

La force d'essai maximale  $F_B$  est déterminée à partir du diagramme force-allongement.

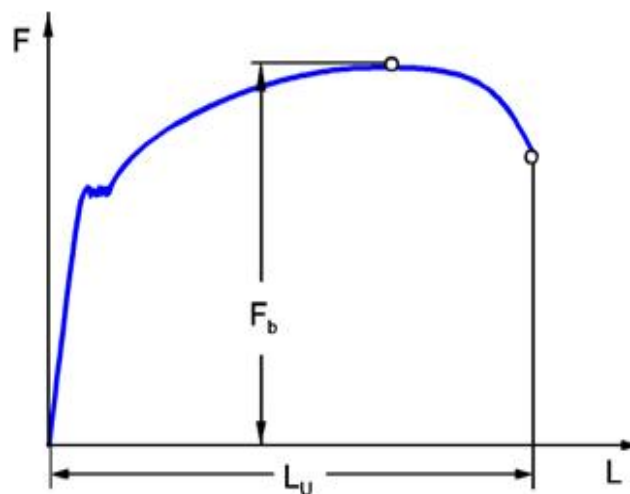


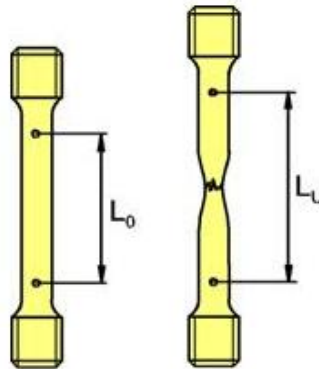
Figure II.11 Diagramme force-allongement.

## Chapitre II : Présentation Du sujet et partie Expérimentale

---

Lors de l'essai de traction proprement dit, la section de l'échantillon se réduit, l'échantillon se rétrécit et les contraintes effectives sont nettement plus élevées.

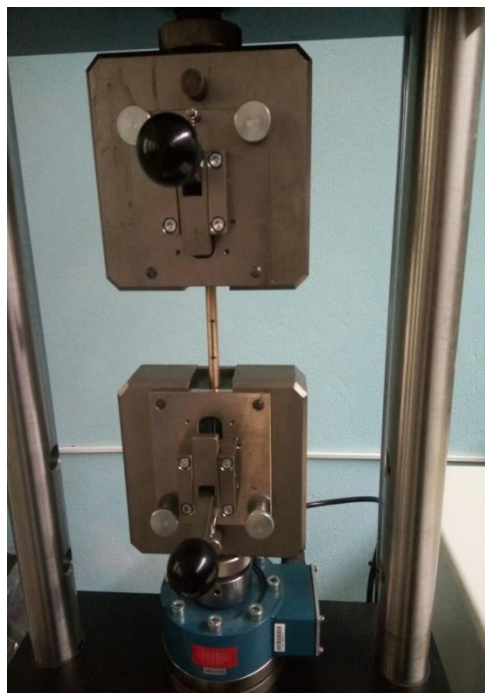
L'allongement à la rupture  $A$  rapporte la modification de longueur de l'éprouvette à sa longueur initiale  $L_0$  et se calcule à l'aide de la longueur  $L_u$  de l'éprouvette après la rupture.



**Figure. II.12** Allongement à la rupture.

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} 100\% \quad (\text{II.3})$$

Deux repères de mesure sont placés sur l'éprouvette (barreau d'essai) pour la mesure des longueurs. Après la rupture, les deux extrémités de l'éprouvette sont soigneusement assemblées au niveau du point de rupture et la distance entre les deux repères est mesurée.



**Figure II.13** Placement de l'éprouvette dans la machine de traction.

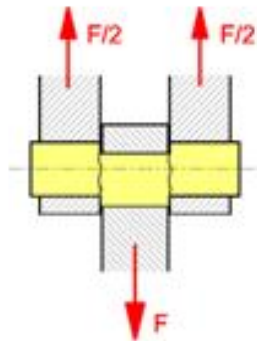
### II.3.2.Essai de cisaillement:

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.



**Figure II.14** Cisaillement à double section.

Lors du contrôle de matériau, on utilise le **cisaillement à double section** (voir schéma). 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.

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

$$\tau_{AB} = \frac{F_B}{A_0} = \frac{2 \cdot F_B}{\pi \cdot d^2} \quad (\text{II.4})$$

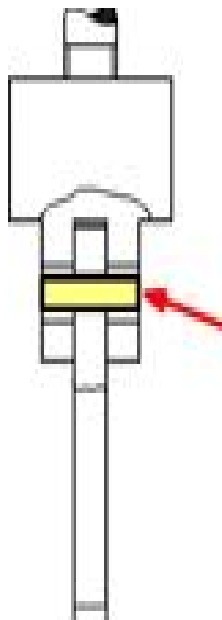
La résistance au cisaillement déterminée lors de l'essai de cisaillement est importante pour le dimensionnement de boulons, rivets et broches ainsi que pour le calcul de la force nécessaire lors du cisaillement et du poinçonnage.

➤ Dispositif d'essai de cisaillement :



**Figure. II.15** Dispositif de cisaillement.

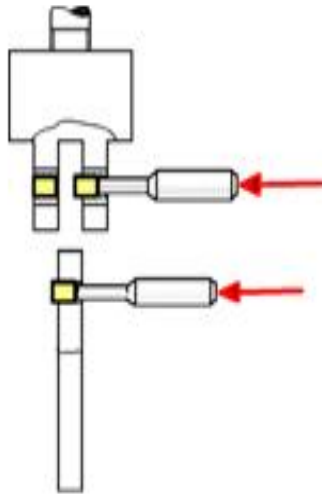
1	Socle de cisaillement
2	Lame de cisaillement
3	Palier inférieur
4	Eprouvette de cisaillement



**Figure II.16** Placement de l'éprouvette.

## Chapitre II : Présentation Du sujet et partie Expérimentale

Après la rupture, Enlever les morceaux d'éprouvette des socles de cisaille et de la lame de cisaille. Utiliser éventuellement un mandrin pour repousser les morceaux.



### II.3.3. Essai de dureté :

Lors de l'essai de dureté selon Brinell, le bloc d'essai utilisé est une bille en acier trempé.

La bille est pressée contre l'échantillon à une force d'essai définie en fonction du diamètre de la bille et du matériau de l'échantillon. Au terme d'une certaine durée d'application, le diamètre de l'empreinte permanente de la bille est mesuré.

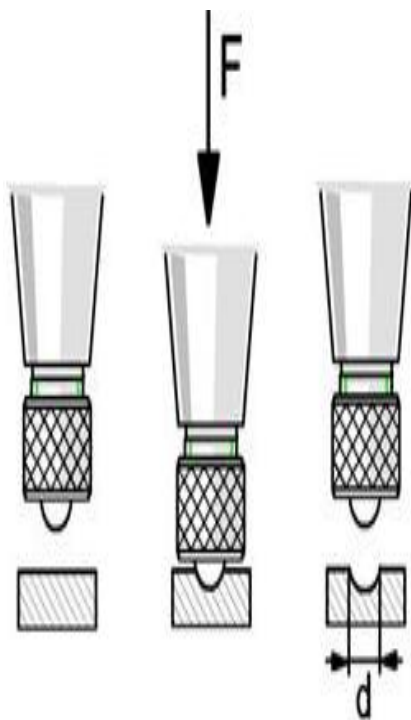


Figure II.17 Essai de dureté.



## Chapitre II : Présentation Du sujet et partie Expérimentale

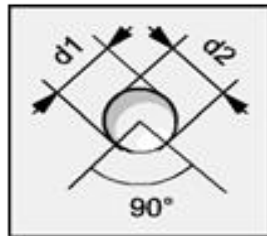
---

La dureté Brinell HB se calcule à partir de la force d'essai  $F$  et de la surface d'empreinte  $A_B$  de la calotte sphérique de contact. Avec le diamètre de la bille  $D$  et le diamètre de l'empreinte  $d$ , on obtient

$$HB = \frac{0.102.F}{A_B} = \frac{0.102.F}{0.5\pi.D.(D-\sqrt{D^2-d^2})} \quad (\text{II.5})$$

Conditionné historiquement, le facteur 0,102 prend en compte la transposition  $\text{kgf/mm}^2$  vers  $\text{N/mm}^2$ .

Si l'empreinte de la bille ne revêt pas une forme circulaire, il convient d'utiliser la valeur moyenne issue de deux mesures superposées verticalement.



$$d = \frac{d1+d2}{2} \quad (\text{II.6})$$

Pour que les valeurs de dureté de divers matériaux, modèles d'échantillon et diamètres de bille restent comparables, certaines règles doivent être observées.

➤ **Facteur de charge :**

Afin d'obtenir une empreinte de bille facilement lisible et reproductible, le diamètre de l'empreinte doit se situer entre  $d = 0,2$  et  $0,7 D$ . Afin de respecter ces valeurs pour des matériaux plus ou moins durs, il est recommandé d'appliquer différentes pressions superficielles. Autrement dit, un certain rapport de corrélation doit exister entre la force et le carré du diamètre de la bille. Ce rapport est appelé facteur de charge  $x$ .

$$X = \frac{0.102.F}{D^2} \quad (\text{II.7})$$

## Chapitre II : Présentation Du sujet et partie Expérimentale

Le facteur 0,102 provient à nouveau de la conversion kgf - N. Le tableau suivant indique les facteurs de charge de divers matériaux.

### ➤ Forces d'essai :

Les forces d'essai découlent du facteur de charge. La force d'essai maximale pour WP300 est 9800 N, correspondant à un facteur de charge maximal de  $x=10$ .

### II.4.Résultats des essais :

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

##### ➤ Vitesse de déplacement $V_d=50\text{mm/min}$ .

$\Delta L(\text{mm})$	0	0.1	0.2	0.5	1.5	2.5	3.5	4.6	5.2
F(KN)	0	14000	27475	29400	30500	32100	33100	35475	30500

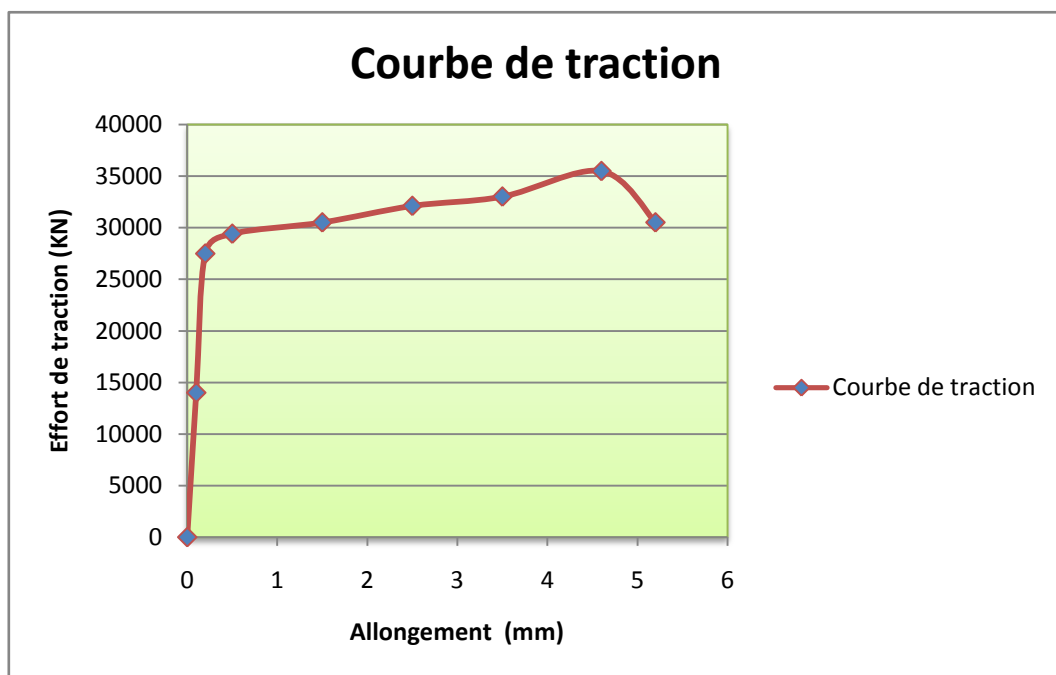


Figure. II.18 Courbe de l'Essai de traction de L'Alliage de cuivre.

##### ➤ Contraintes d'après l'essai :

$$\sigma = \frac{F}{S_0} [\text{Mpa}] \quad (\text{II.8})$$

$$\sigma_e = \frac{27.475 \times 4}{3.14 \times 100} = 350 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_m = \frac{35.325 \times 4}{3.14 \times 100} = 450 \text{ Mpa}$$

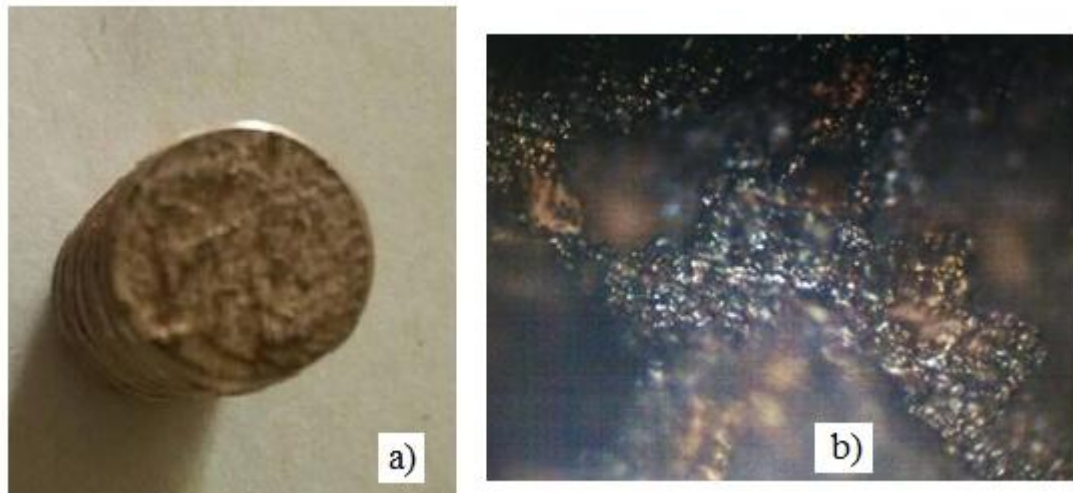
## Chapitre II : Présentation Du sujet et partie Expérimentale

$L=34.5\text{mm}$ ,  $L_0=30\text{mm}$

$$A\% = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100 = 20\%$$

### ✚ Interprétation des résultats de traction :

Le matériau testé est écroui suite au procédé de laminage (corroyage). Il présente une certaine résistance à l'écoulement plastique et subi une rupture fragile brusque.



**Figure II.19** a)Photo de la zone de rupture, b) Zone de rupture vue au microscope.

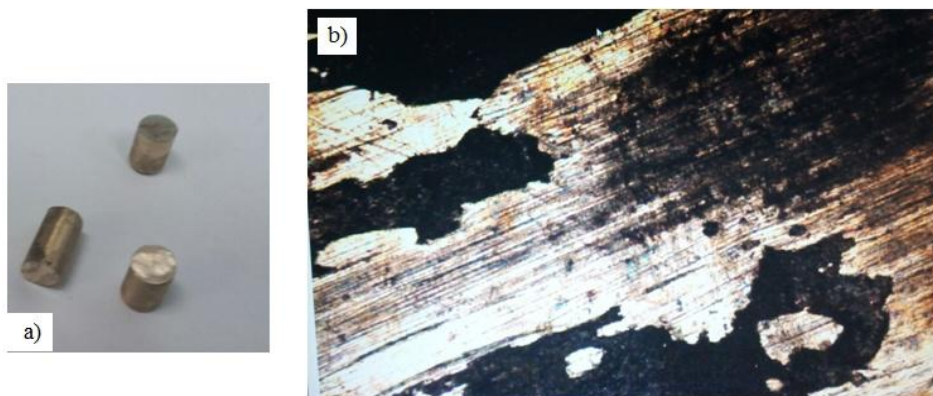
### II.4.2.Résultats de l'essai de cisaillement :

$F=15.6 \text{ KN} = 15600 \text{ N}$ .

$d= 6 \text{ mm}$ .

$$A_0 = \frac{3,14 \cdot 36}{4} = 12.56 \text{ mm}^2.$$

$$\tau_{AB} = \frac{F_B}{A_0} = \frac{2 \cdot F_B}{\pi \cdot d^2} = 276 \text{ N /mm}^2 = 276 \text{ Mpa}$$



**Figure II.20** a) photo de l'éprouvette cisailée, b) Zone de cisaillement vue au microscope.

### **Interprétation :**

La partie blanche brillante montre la zone de cisaillement plastique, on observe bien les bande de cisaillement. La zone sombre montre une rupture fragile, avec dislocation.

### **II.4.3. Résultats de mesure de la dureté (Brinell) :**



**Figure II.21** Photo des empreintes obtenues durant l'essai Brinell.

### **II.4.3.1. Mesure de la dureté avec le Microscope:**

- Les diamètres  $d_1$  et  $d_2$  de l'empreinte ont été mesurés grâce au microscope ayant une précision de 0.005mm.



**Figure II.22** Microscope.



**Figure II.23** Tambour micrométrique.

<b>N° Essai</b>	<b>K</b>	<b>Fp</b>	<b>d<sub>1</sub></b>	<b>d<sub>2</sub></b>	<b>d</b>	<b>HB</b>
<b>1</b>	<b>5</b>	<b>4900</b>	<b>2.94</b>	<b>2.840</b>	<b>2.89</b>	<b>69</b>
<b>2</b>	<b>5</b>	<b>4900</b>	<b>3.220</b>	<b>3.250</b>	<b>3.235</b>	<b>74</b>
<b>3</b>	<b>5</b>	<b>4900</b>	<b>3.150</b>	<b>2.99</b>	<b>3.07</b>	<b>69</b>
<b>4</b>	<b>2.5</b>	<b>2450</b>	<b>2.40</b>	<b>2.30</b>	<b>2.35</b>	<b>68</b>

**Tableau II.1** Résultats de l'essai de dureté Brinell.

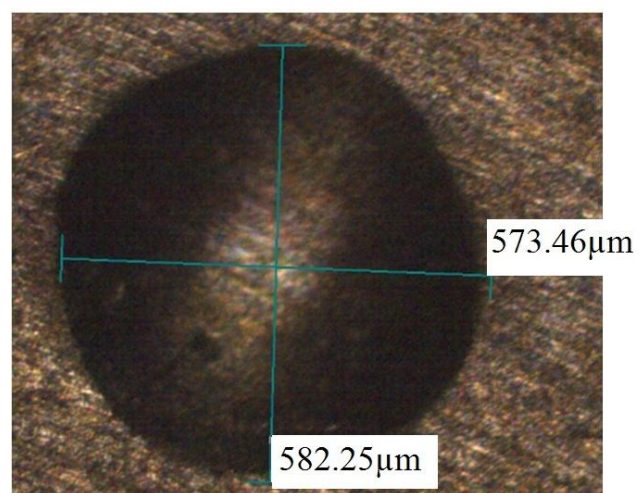
### II.4.3.2. Mesure de la dureté avec le Duromètre Indentec:



**Figure II.24** Duromètre indentec.

➤ **Résultats de mesure :**

40.9 HBW 2.5 mm / 62.5 kg /30 s.



**Figure II.25** Image de l'empreinte vue au microscope motic, HBW (Echelle 50).

### II.4.4. Etude de la Microstructure de l'alliage de cuivre :

Les bronzes de corroyage ne peuvent être élaborés qu'en phase  $\alpha$ . ils contiennent la plupart du temps moins de 10% et en pratique entre 2 et 9% d'étain. En effet, aux fortes teneurs en étain les bronzes contiennent la phase  $\delta$  dure et fragile qui limite les possibilités de déformation.

On trouve encore cette phase  $\delta$  à l'état résiduel dans les bronzes à moins de 10% d'étain.

Cette phase  $\delta$  résiduelle, conséquence des ségrégations de fonderie, doit être éliminée par un traitement d'homogénéisation à 680-780°C.

Ces bronzes sont très difficiles à corroyer à chaud. On préfère généralement utiliser le procédé de coulée continue des fils ou bandes qui permet d'obtenir directement des ébauches de faible section d'excellente qualité métallurgique.

Les bronzes de corroyage binaires présentent une bonne aptitude à la déformation à froid et de meilleures caractéristiques mécaniques que le cuivre ou le laiton. les principales nuances sont CuSn4P, CuSn6P et CuSn9P.

#### II.4.4.1. Microscope métallographique :

La métallographie est la technique consistant à déterminer la structure d'un métal en l'observant avec un microscope optique.



**Figure II.26** Microscope métallographique.

## Chapitre II : Présentation Du sujet et partie Expérimentale

---

### II.4.4.2.Polisseuse:

On a fait le polissage à l'aide d'une polisseuse et abrasifs. Ces papiers sont montrés sur des tourets de polissage. On a fait l'arrosage par l'eau pour éviter l'échauffement des échantillons.



Figure II.27 Polisseuse.

### II.4.4.3.Etude des microstructures :

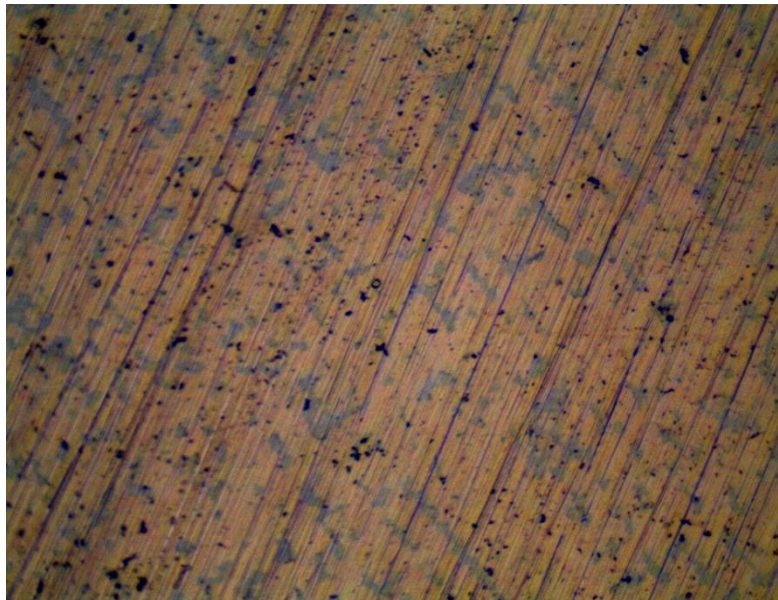
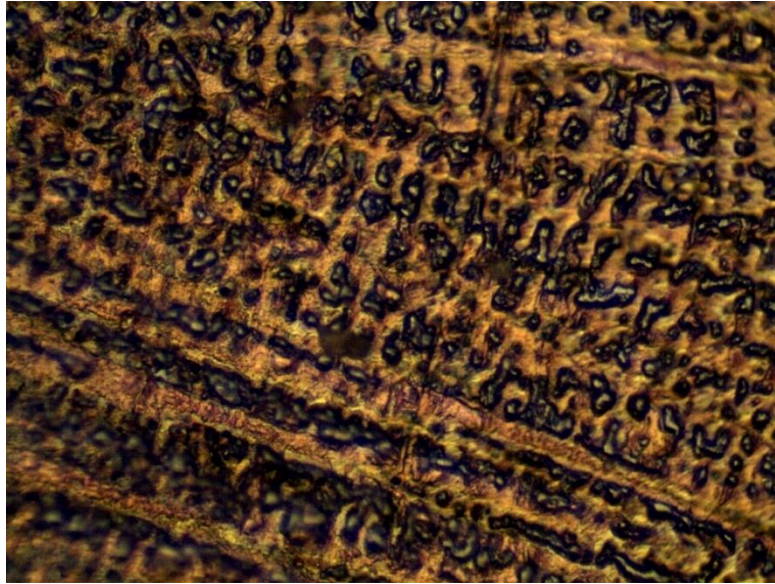
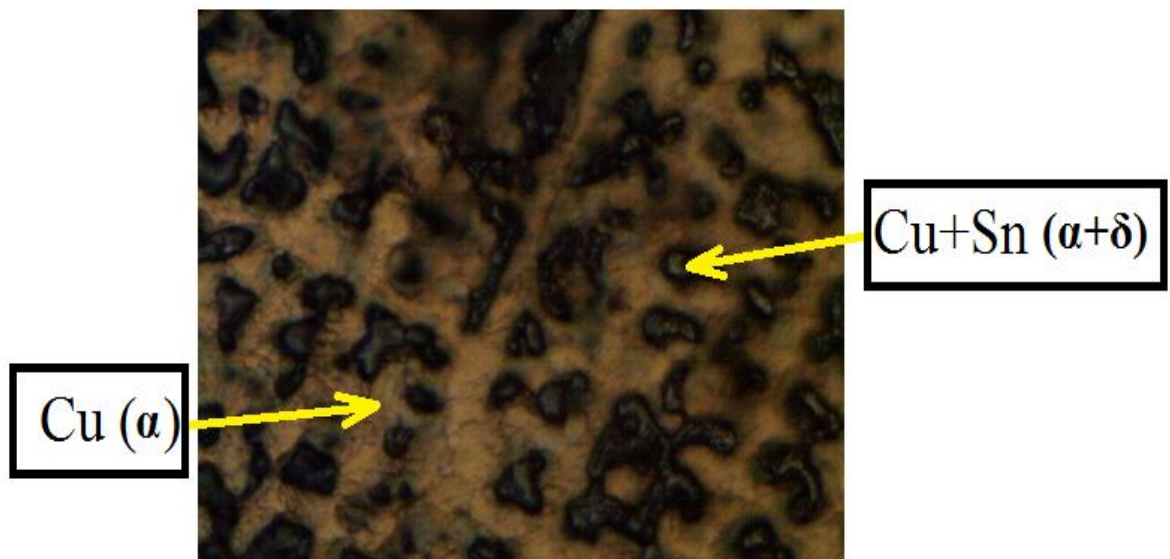


Figure II.28 Microstructure Echantillon CuSn x 500  
Avant l'attaque chimique.





**Figure II.29** Microstructure Echantillon CuSn x 500  
Attaqué au chlorure de fer.



**Figure II.30** Microstructure Echantillon CuSn x 1000  
Attaqué au chlorure de fer.

### Interprétation :

L'image montre une structure dendritique composée de  $\alpha$  et de l'eutectoïde ( $\alpha+\delta$ ). La zone claire est la matrice cuivre et les dendrites un mélange cuivre –étain.

## Chapitre II : Présentation Du sujet et partie Expérimentale

- Les caractéristiques mécaniques des principaux corroyés et moulés sont suivantes :

Notre matériau est situé dans la plage délimitée par le cadran rouge, d'après les résultats des essais mécaniques notre alliage de cuivre est le bronze CuSn<sub>6</sub>P H12.

Caractéristiques mécaniques des bronzes					
<i>Bronzes de corroyage</i>					
	Etat	Charge de rupture (MPa)	Limite élastique à 0,2 % (MPa)	Allongement <sup>(1)</sup> (A%)	Dureté Vickers
CuSn4P	Recuit	345	180	50	95
	H 12	460	380	30	155
	H 14	600	550	5	190
	H 15	740	710	—	215
CuSn6P	Recuit	375	190	50	105
	H 12	500	400	20	165
	H 14	660	620	5	205
	H 15	770	740	—	235
CuSn9P	Recuit	405	210	50	110
	H 12	570	490	20	180
	H 14	740	730	5	225
	H 15	820	800	—	250
CuSn3Zn9	Recuit	355	180	40	90
	H 12	510	440	15	155
	H 14	645	620	4	205
	H 15	715	690	—	220
CuSn5Zn4	Recuit	355	—	50	95
	H 12	460	—	15	155
	H 14	610	—	5	195
	H 15	680	—	—	220
CuSn4Zn4Pb4	Recuit	345	—	—	90
	H 12	430	—	25	140
	H 14	550	—	3	170

**Tableau II .2** Les caractéristiques mécaniques des principaux corroyés et moulés.

## **Conclusion :**

A L'issue de ce travail dans lequel nous avons présenté une étude sur la caractérisation de l'alliage de cuivre, Nous pouvons affirmer que ce thème nous a permis dans le premier chapitre de passer en revue une bibliographie concernant les différents alliages de cuivre.

Nous Avons aussi acquis une expérience pratique dans l'instrumentation des essais mécaniques particulièrement la machine de traction, cisaillement et dureté brinell. Cette technique nous a permis d'apprendre la méthodologie expérimentale.

L'analyse de la microstructure nous a permis d'apprendre comment interpréter les différentes phases de la métallurgie du matériau.

En conclusion ce travail de fin de cycle nous a permis de consolider notre formation.

## *Bibliographiques*

- [1] A. Assouli, Thèse de Doctorat, INSA, Lyon, 2002.
- [2] Les métaux au fil de l'Histoire – Dossier CNHS.
- [3] Tableau des références matières catalogue Stellram.
- [4] Essais de dureté par Dominique François, Techniques de l'ingénieur M4160-1.
- [5] Résistance des matériaux par G.Gonnet université de Bourgogne2003.
- [6] Essais de rupture, dans Matériaux métalliques, Techniques de l'ingénieur, Paris 1996, cahier : M 126.
- [7] Mécanique de la rupture les essais et leurs significations, Ecole des mines, Nancy, Éditons 1988.
- [8] J.P. Bailon, JU-M-Dorlot, Des Matériaux, presses internationales polytechniques, 2007.
- [9] M. Benghersallah. Etude de l'usinabilité des Aciers au cours du fraisage, Thèse de Magister Juin 1995 Département de mécanique, Université de Annaba.
- [10] Y. Schoefs, S. Fournier, J. C. Leon, « Productique mécanique », Delagrave, 1994, France.
- [11] A. Mazouzi Caractérisation mécanique d'un Acier A50 pour la fabrication de l'anneau d'attelage à Ferrovial, projet de fin d'étude de master Juin 2016 Département de mécanique, Université de Annaba.