

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master en physique

Option : **physique des matériaux**

THEME :

Réalisation et caractérisation d'un alliage binaire à base de
cuivre et de zinc

Etudiante : « **Makeboul Fatima** »

Encadrant : « **Dr. Meskine Saïd** »



Laboratoire d'Elaboration et Caractérisation Physico Mécanique et Métallurgique des Matériaux
ECP3M

Année Universitaire 2018-2019

DÉDICACE

Je dédie mon travail à :

Mon dieu

Mes chères parant ma mère Zohra et mon père Abdelkader

Mes chères sœurs (Jamila, Nebia et Noura) et mes frères (Hicham, Abdeilah,

Younes et Ibrahim)

Mon cher ami intime Khalida

Mes chères amies

Tous mes proches

REMERCIEMENT

*Je remercie, en premier lieu, **Allah** le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a donnée pour terminer ce mémoire.*

Ce travail a été effectué à laboratoire d'Elaboration et Caractérisation Physico Mécanique et Métallurgie des Matériaux, l'université de Mostaganem, faculté des sciences et de Technologies.

*Je remercie le directeur de laboratoire **Boukortt Abdelkader**, à l'université de Mostaganem, faculté des sciences et de Technologie, qui nous a donné la permission de réaliser ce travail au sein du laboratoire ECP3M.*

*Je remercie Monsieur **Meskine Said**, à l'université de Mostaganem, qui a accepté de m'encadrer.*

*Je suis reconnaissante à Monsieur **Hammou Abdel Hadi**, ingénieur du laboratoire ECP3M, pour m'avoir aidé dans la partie pratique de ce travail.*

*Je remercie Madame **Hantit Hafida** à l'université de Mostaganem, faculté des sciences exactes et l'informatique, qu'il a accepté de présider le jury de ce travail.*

*J'adresse mes sincères remerciements à Monsieur **Bouattou Bazaine** maître de conférence à l'université de Mostaganem, faculté des sciences exactes et l'informatique, pour accepté d'examiner mon travail.*

*Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué, d'une manière ou d'une autre, à la réalisation de ce travail particulièrement l'ingénieur de la tournerie **Belayachi** qui réalise les éprouvettes*

Sommaire

Dédicace

Remerciement

Introduction générale

Chapitre I : généralité sur les alliages

I.1.Introduction	01
I.2. Les type des alliages	02
<i>I.2.1.Les alliages semi-conducteurs</i>	02
I.2.1.1. Les alliages SC binaires	02
➤ Alliage binaire de la forme $A^N B^{8-N}$	02
➤ Alliage binaire de la forme $A^N B^{10-N}$	02
➤ Alliage binaire de la forme $A^N B^{7-N}$	02
I.2.1.2.Les alliages ternaire	02
I.2.1.3.Les alliages quaternaires	03
<i>I.2.2. Les alliages métalliques</i>	03
I.2.2.1.Les alliages binaires	04
I.2.2.2. Les alliages ternaires	04
➤ Les alliages de Heusler	04
➤ Les alliages à mémoire de forme	04
I.3. Diagrammes de Phases	05

Chapitre II : méthodes de réalisation

II.1.Généralités sur les alliages à base de Cu et Zn (les laitons)	08
II.1.1.Définition du laiton	08
II.1.2.Les type des laitons	08
II.1.2.1.Les laitons simples	08
II.1.2.2.Les laitons complexes	08
II.1.3.Les propriétés des laitons binaires	09
II.1.3.1.Propriétés physiques	09
II.2. Description du diagramme de phase de Cu Zn	10
1-Laiton « 1er titre » monophasé α : CuZn5 à CuZn35	11
2-Laiton « 2nd titre » biphasé $\alpha + \beta$: CuZn40	12
3-Passage de la solution β désordonnée à la solution stable β'	12
II.3.Réalisation de notre alliage Cu Zn	13
II.3.1.Préparation des éléments	13
II.3.1.1.Le Cuivre	13
II.3.1.2.Le Zinc	14
II-3-2 pesage	15
II.3.3.Moulage	16
II.3.4.Procédés de fusion	17
II.3.5.Le traitement thermique	18

Sommaire

II.3.6. Le traitement de surface des laitons	18
II.3.6.1. Décapage	19
II.3.6.1.1. Taches rouges des laitons décapés	19
II.3.6.2. Polissage mécanique	20

Chapitre III : résultats et discussion

III.1. Introduction	22
III.2. Calcul la masse volumique	22
III.3. Caractérisation mécanique de notre laiton CuZn25	25
III.3.1. la traction	25
III.3.1.1. Courbe de l'essai de traction	26
III. 3.2. La compression	26
III.3.3. la micro dureté	28
III.3.3.1. Principe de mesure de dureté	28
III.3.3.2. Dureté Vickers	29
III. 3.4. Préparation des éprouvettes	30
III.3.4.1. Le tournage	31
❖ Tournage de l'éprouvette de l'essai de traction	31
❖ Tournage de l'éprouvette de l'essai de compression	32
❖ Tournage de l'éprouvette de l'essai de la micro dureté	32
III.3.5 Résultats des essais de traction	33
III.3.5.1 Caractéristiques conventionnelles	33
III.3.5.2 Exploitation des essais de traction	34
• CuZn25 échantillon- 3 -	34
• CuZn25 échantillon- 4-	35
III.3.5.3 Exploitation des essais de compression	37
• CuZn25 échantillon -2- a-	37
• CuZn25 échantillon -2- b-	38
III.3.5.4 Exploitation des essais de Micro dureté	39
• CuZn25 échantillon -1-	40

Conclusion générale

Références bibliographiques

Liste des figures

I-1	Diagramme de phase d'un alliage binaire AB.	06
II-1	Diagramme de phase Cu-Zn.	11
II-2	Les copeaux de cuivre.	13
II-3	Les lingots du Zinc.	14
II-4	Mesure de la masse -a- de Cuivre -b- de Zinc.	15
II-5	Le moule -a- dans du plâtre,-b-dans du brique réfractaire.	16
II-6	Four a chambre électrique.	17
II-7	Creuset en graphite, contenance de 1litre.	17
II-8	Les échantillons du laiton dans l'acide sulfurique H ₂ SO ₄ .	21
III-1	Les échantillons obtenons .	22
III-2	Echantillons après découpe et les différents traitements.	22
III-3	l'échantillon -1- dans l'éprouvette d'eau.	23
III-4	La machine de traction.	25
III-5	Représentation d'une courbe de traction (matériau ductile).	26
III-6	La machine de compression	27
III-7	Photo du micro dureté Digital Micro Vickers Hardness Tester.	28
III-8	Indentation Vickers.	28
III-9	la machine de tour	30
III-10	Préparation de l'éprouvette de l'essai de traction.	31
III-11	L'éprouvette finie de traction.	32
III-12	L'éprouvette finie de la compression.	32
III-13	L'éprouvette finie de la micro dureté.	33
III-14	Illustration d'une courbe caractéristique de traction.	34
III-15	Essai de traction échantillon -3-.	35
III-16	Courbe conventionelle de traction pour CuZn25 echantillon 3 ($\sigma=f(\varepsilon)$ à gauche, $F=f(\Delta l)$ à droit).	35
III-17	essai de traction échantillon -4-	36
III-18	Courbe conventionelle de traction pour CuZn25 echantillon 4 ($\sigma=f(\varepsilon)$ à gauche, $F=f(\Delta l)$ à droit).	36
III-19	Essai de compression échantillon -2-a-	37
III-20	Courbe conventionelle de compression pour CuZn25 échantillon 2a ($\sigma=f(\varepsilon)$ à gauche, $F=f(\Delta l)$ à droit).	37
III-21	Essai de compression échantillon -2-b	38

Liste des figures

III-22	Courbe conventionnelle de compression pour CuZn25 échantillon 2a ($\sigma=f(\varepsilon)$ à gauche, $F=f(\Delta l)$ à droit).	38
III-23	Empreinte du test de micro dureté sur l'échantillon- 1-	39
III-24	Empreinte du test de micro dureté sur l'échantillon -4-	40

Liste des tableaux :

tableau	Titre	Page
II-1	Les propriétés physiques du laiton.	09
II-2	Degré de pureté de nos éléments chimiques utilisés.	15
III-1	Dimension et masse de nos échantillons.	23
III-2	Le volume de nos échantillons.	24
III-3	Les résultats de la masse volumique.	24
III-4	Caractéristique mécanique (essai de traction) échantillon 4.	36
III-5	Caractéristiques mécanique (essai de compression) échantillon 2a et 2b.	38
III-6	. Valeurs de la micro dureté.	39
III-7	les résultats de la micro dureté pour l'échantillon 4	40

Introduction générale :



Introduction générale :

En général, les propriétés des alliages sont très différentes de celles de leurs éléments constitutifs. Par exemple, la résistance mécanique et la résistance à la corrosion d'un alliage peuvent être considérablement supérieures à celles de ces constituants pris séparément. C'est pourquoi on utilise plus fréquemment les métaux alliés que les métaux purs. Cependant, les propriétés d'un alliage n'évoluent pas de façon linéaire avec celles des constituants qui le composent. Il est donc difficile de prévoir les caractéristiques d'un alliage à partir des propriétés de ses composants. Ainsi, on détermine expérimentalement les propriétés d'un alliage donné. En général, les alliages ont une température de fusion inférieure à celle de leurs constituants.

Durant l'histoire de l'industrie et de la technologie, on a souvent rencontré des endommagements et des détériorations de certaines pièces utilisées dans des systèmes mécaniques. Il est donc normal que les constructeurs cherchent des matériaux qui seront, dans les conditions considérées, les moins susceptibles de s'endommager. En utilisant des alliages, les performances peuvent être étendues pour répondre à de nombreuses applications industrielles.

Le cuivre a des propriétés remarquables telles que son importante conductibilité électrique et thermique et sa grande résistance à la corrosion. Mais il faut ajouter la résistance mécanique, d'aptitude à l'usinage, que le cuivre possède, mais insuffisamment : alors on utilise ses alliages.

Le cuivre au béryllium est l'alliage le plus performant, qui peut atteindre des caractéristiques mécaniques analogues à celles de certains aciers, sur lesquels il présente en outre de nombreux avantages limite d'élasticité élevée, meilleure résistance à la corrosion, excellente aptitude au moulage.... Les applications de cet alliage remarquable sont très nombreuses : contacts, ressorts, pièces complexes, diaphragmes...

Les technologies de pointe et en particulier l'électronique connaissent un foisonnement de découvertes dans ce domaine, et on peut dire que c'est presque quotidiennement que sont déposés dans le monde des brevets pour des nouveaux alliages de ce type.

Le laiton est un alliage de cuivre qui contient de 5 à 45% du zinc. On peut trouver d'autres éléments d'addition qui visent à lui conférer certaines propriétés particulières. L'élément d'addition le plus courant est le plomb. Le laiton est l'alliage de cuivre le plus fabriqué.

Introduction générale :

Ses nombreuses qualités de base sont à l'origine de la grande étendue de ses applications.

De tous les alliages de cuivre, les laitons sont ceux qui présentent la plus grande facilité d'emploi. Ils peuvent être utilisés sous toutes les formes de demi-produits, et leur mise en œuvre peut être opérée par tous les procédés : moulage, matriçage, décolletage, emboutissage, usinage, etc ...

Le laiton est par excellence l'alliage du décolletage, c'est-à-dire de l'usinage de pièces sur tour automatique.

Notre travail de master consiste à **réaliser et étudier** les propriétés mécaniques un alliage de cuivre avec du zinc comme élément d'addition.

Le mémoire présenté et organisé de la manière suivante :

Dans le premier chapitre on aborde des généralités sur les alliages que ce soit alliage semi-conducteur ou métalliques. Dans ce chapitre on essaye de décrire d'une façon simple le diagramme de phase en générale.

Le deuxième chapitre est débuté par une description générale des laitons ainsi leur diagramme de phase. Le reste du chapitre est consacré à notre méthode de d'élaboration de notre alliage.

Le troisième chapitre regroupe nos résultats de réalisation ainsi que les résultats des caractérisations mécaniques (essai de traction, essai de compression et dureté Vickers) de nos échantillons.

Le travail est finalisé par une conclusion générale.

Chapitre I :

Généralité sur les alliages.

Chapitre I : généralités sur les alliages :

I.1.Introduction

La synthèse d'un alliage de haute pureté consiste à mélanger des matériaux très purs en proportions voulues. Si l'on veut obtenir un produit homogène, il est souhaitable de réaliser le mélange à l'état liquide, c'est-à-dire de disposer d'une technique de fusion. Le fer raffiné par exemple, est obtenu par voie chimique, et se présente comme une éponge poreuse, légèrement oxydée, qui ne peut guère être mise sous forme d'un produit utilisable que par une fusion.

L'opération de fusion doit satisfaire à trois impératifs : limiter au maximum les risques de pollution, permettre une ultime purification, et assurer enfin une bonne homogénéité au lingot [1].

Le moment de la découverte des alliages est approximatif et leur utilisation va se répandre dans le monde avec des vitesses variables. Ils apparaissent pour la plupart en Mésopotamie, un des foyers de la civilisation. Précisons que d'autres métaux sous une forme non pure sont déjà utilisés dans l'Antiquité ou au Moyen Age, comme le zinc ou le nickel. Les forgerons de l'époque n'ont pas encore réussi à les isoler : ils les emploient de manière périphérique, en utilisant par exemple le zinc contenu dans la calamine pour créer le laiton (cuivre + zinc).

Les métaux seront si importants pour l'humanité qu'on les compare souvent aux sept piliers de la civilisation et que des périodes de l'Histoire porteront le nom de certains d'entre eux (âge du fer, âge du cuivre).

La métallurgie et les premières utilisations du métal apparaissent au Proche-Orient dans le courant du 5e millénaire avant Jésus-Christ. Les peuples néolithiques du Croissant fertile vont alors s'intéresser à certains « cailloux » ayant des propriétés particulières : elles brillent quand elles sont frottées et présentent un toucher agréable

L'amélioration des fours et des combustibles (en utilisant le charbon de bois) entrainera la possibilité d'atteindre des températures plus hautes et donc de pouvoir travailler d'autres métaux. Dès le 3e millénaire, le métallurgiste peut aussi purifier ces métaux précieux par couple laiton c'est-à-dire en fondant le minerai dans un vase poreux pour faire disparaître les impuretés.

I.2. Les type des alliages

On peut classifier les alliages en deux catégories : les alliages semi-conducteurs et les alliages métalliques.

I.2.1. Les alliages semi-conducteurs

Les alliages semi-conducteurs, avec la richesse de leurs structures électroniques et autres propriétés, ont trouvé une large application dans les dispositifs optiques et électroniques. Ces dernières décennies, la littérature sur les propriétés fondamentales de ces matériaux a rapidement augmenté et beaucoup de progrès et de découvertes majeures ont été réalisés.

Les alliages semi-conducteurs sont classés en plusieurs groupes suivant le nombre de constituants [2]:

I.2.1.1. Les alliages SC binaires

➤ **Alliage binaire de la forme $A^N B^{8-N}$**

Le « N » dans la formule représente la colonne dans le tableau périodique des éléments.

$A^I B^{VII}$: AgCl, CuBr, KBr, LiF, ...

$A^{II} B^{VI}$: CdS, CdSe, CdTe, ZnS, ZnO, ZnSe, HgTe, HgSe, ..

$A^{III} B^V$: les antimoniures, les arséniures, les phosphures, et les nitrures des éléments : Aluminium, Gallium, Indium et Bore (GaAs, InSb, BN, AlAs, InP,.....).

$A^{IV} B^{IV}$: SiC, SiGe, ...

➤ **Alliage binaire de la forme $A^N B^{10-N}$**

$A^{IV} B^{VI}$: PbS, PbSe, PbTe, ...

➤ **Alliage binaire de la forme $A^N B^{7-N}$**

$A^I B^{VI}$: CuS, CuO, Cu₂O.....

I.2.1.2. Les alliages ternaire

Lorsque les éléments binaires $A^N B^{8-N}$ et $A^N C^{8-N}$ sont associés, l'alliage formé peut être soit :

➤ **Alliage ternaire anionique : $A^N B_x^{8-N} C_{1-x}^{8-N}$.**

Chapitre I : généralités sur les alliages :

- Alliage ternaire cationique: $A_x^N B_{1-x}^N C^{8-N}$.

Ces alliages sont caractérisés par la présence du coefficient stœchiométrique x.

I.2.1.3. Les alliages quaternaires

Cependant, il existe également un autre type d'alliages semi-conducteurs : il s'agit des matériaux "quaternaires". Ce type d'alliages semi-conducteurs fait intervenir deux composés binaires et ils sont caractérisés par la présence de deux coefficients stœchiométriques x et y. Un intérêt particulier a été porté récemment aux alliages quaternaires principalement à cause de l'avantage qu'ils offrent, celui de concevoir des dispositifs avec les propriétés physiques souhaitées.

Ces alliages peuvent être divisés en deux classes [3],[4]:

- Les solutions quadratiques : ces alliages ont la forme $A_{1-x}^N B_x^N C_y^{8-N} D_{1-y}^{8-N}$
- Les solutions triangulaires dans cette classe, deux cas se présentent, les solutions purement anioniques $A^N B_x^{8-N} C_y^{8-N} D_{1-x-y}^{8-N}$ et les solutions purement cationiques $A_x^N B_y^N C_{1-x-y}^{8-N} D^{8-N}$

Les alliages quaternaires quadratiques ont été les premiers et les plus recherchés et étudiés, particulièrement $Ga_x In_{1-x} As_y P_{1-y}$, $Ga_{1-x} In_x As_y Sb_{1-y}$. Néanmoins, les alliages triangulaires semblent devenir tous aussi importants. Les critères concernant l'accord des paramètres de maille ainsi que l'identité des structures cristallines des éléments binaires parents restent toujours valables dans le cas des alliages quaternaires.

I.2.2. Les alliages métalliques

Les métaux purs sont des matériaux présentant à la fois des caractéristiques mécaniques relativement faibles et plus ou moins de facilité de mise en forme à chaud ou à froid. L'addition d'un métal pur ou plus à un autre métal pur (alliages binaires, ternaires et d'ordre supérieur) a pour effet d'améliorer les propriétés physico-chimiques de celui-ci. Ces propriétés observées dans un alliage dépendent essentiellement de la nature du métal de base, de l'élément ou des éléments d'addition, du mode et des paramètres d'élaboration.

Les métaux purs et leurs alliages sont très utilisés dans des applications très variées à une très grande échelle industrielle. Ils ont fait irruption au début dans de larges applications à usages domestiques et puis à grande échelle dans les ménages avec l'électroménager et les constructions à bases de métaux.

Chapitre I : généralités sur les alliages :

Bien que plusieurs produits à base de métaux sont de plus en plus remplacés par des matières plastiques. Cependant, les matériaux métalliques restent indispensables en tant que conducteurs d'électricité ou de chaleur (radiateurs, échangeurs,...) même à très haute température dans les réacteurs nucléaires aux inconvénients des irradiations[5].

I.2.2.1. Les alliages binaires

Un alliage binaire est un composé formé d'un métal et d'un deuxième élément qui peut être un autre métal en peut citer par exemple :

- les alliages à base de Fer :
Fe Ti : Fer + titane.
Fonte: Fer+Carbone.
- les alliages à base de Cuivre :
Laiton : Cuivre + Zinc.
Cu Al : Cuivre + Aluminium.
Bronze : Cuivre + Etain.

I.2.2.2. Les alliages ternaires

Un alliage ternaire est un alliage composé de trois éléments :

➤ Les alliages de Heusler

Les alliages de Heusler sont des alliages métalliques ferromagnétiques basés sur une composition particulière, de structure cristallographique cubique à faces centrées. La famille de ce type d'alliages compte plus de mille composés : Cu_2MnAl , Ni_2MnGa , Co_2MnAl , Pd_2MnSn , Fe_2VAl , Mn_2VGa , ...

➤ Les alliages à mémoire de forme (AMF)

Les alliages à mémoire de forme sont caractérisés par un effet mémoire de forme. C'est la faculté d'un matériau de retrouver une forme bien précise par un simple chauffage. Ce phénomène a été découvert en 1932 par **Chang et Read [6]** sur un alliage or-cadmium. Cet effet fut ensuite observé en 1938 sur un alliage de cuivre-zinc. Mais les premières études ont été réalisées en 1962, puis en 1963 l'effet mémoire a été mis en évidence sur un alliage nickel titane. Les alliages à mémoire de forme peuvent être classés en plusieurs catégories suivant différents critères (similitude de la transformation de phase, matériau, types d'applications, performances, prix, ...). Trois principales familles des AMF sont les plus étudiées, les alliages

Chapitre I : généralités sur les alliages :

à base de Ti-Ni (Ti-Ni-Cu, Ti-Ni-Fe, Ti-Ni-Al), les alliages à base de Cu (Cu-Zn-Al, Cu-Al-Ni, Cu-Al-Be....), et les alliages à base de Fe (Fe-Pt, Fe-Mn-Si,

I.3. Diagrammes de Phases

Les diagrammes de phases sont des représentations, dans le plan isobare (T, X) (température - composition), de la constitution physico-chimique d'un alliage dans son état thermodynamique d'équilibre. Il fournit en fonction de la température la nature, la composition chimique et les fractions massiques des phases en présence pour un alliage de concentration déterminée. Les diagrammes de phases décrivent les équilibres liquides ↔solide et solide ↔solide qui régissent la solidification des alliages.

À titre d'exemple, la figure ci-dessous donne l'allure d'un diagramme de phases : il s'agit d'un diagramme fictif d'alliage binaire AB mettant en évidence des domaines monophasés, biphasés et triphasés en accord avec la règle de Gibbs ($v=3-\phi$).

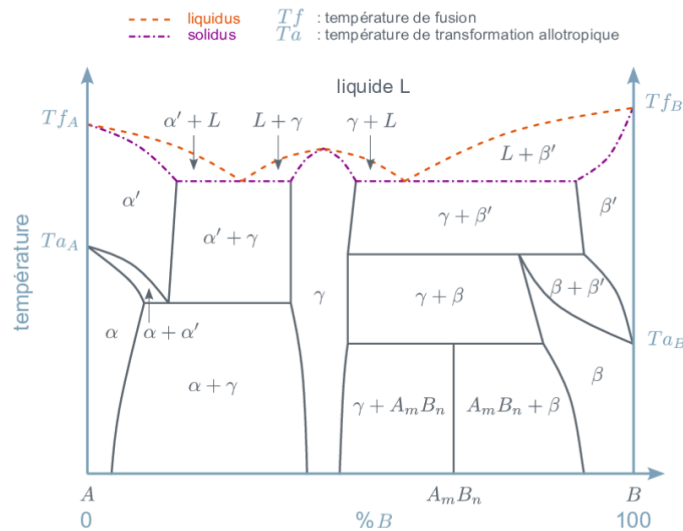


Figure I-1-diagramme de phase d'un alliage binaire AB

Dans le cas envisagé, l'élément A présente deux formes cristallines notées $A\alpha$ et $A\alpha'$, de même pour l'élément B : $B\beta$ et $B\beta'$

Le diagramme de phases présente six phases différentes :

- la phase liquide (présente au-dessus du liquidus, qui définit la limite au-dessus de laquelle il n'y a que du liquide).
- α solution solide primaire de B dans $A\alpha$.
- α' solution solide primaire de B dans $A\alpha'$.
- β solution solide primaire de A dans $B\beta$.

Chapitre I : généralités sur les alliages :

- β' solution solide primaire de A dans B β' .
- γ solution solide intermédiaire.
- $A_m B_n$ composé défini.

Remarquons que le solidus définit la limite en dessous de laquelle il n'y a plus de liquide [7].

Chapitre II :

Méthodes de réalisation.

II.1.Généralités sur les alliages à base de Cu et Zn (les laitons)

II.1.1.Définition du laiton

Le Laiton est un alliage de cuivre et de zinc contenant de 5 à 45% de zinc et éventuellement d'autres éléments comme le plomb, étain, manganèse, aluminium, fer, silicium, nickel, arsenic. Le laiton est l'alliage de cuivre le plus fabriqué. Il peut être utilisé sous toutes les formes, 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, l'alliage est très fragile et il n'a pas d'intérêt notable [8].

II.1.2.Les type des laitons

II.1.2.1.Les laitons simples

Les laitons simples ou binaires, ils ont pour seuls constituant le cuivre et le zinc. Au fur et à mesure que la teneur en zinc augment la température de fusion et la conductibilité électrique de l'alliage diminuent alors que ses qualités de résistance mécanique et de dureté augmentent. Ils sont parmi les matériaux ceux qui présentent la meilleure aptitude au décolletage. En effet, le plomb étant pratiquement insoluble dans les laitons est disséminé en fins nodules qui provoquent une bonne fragmentation des copeaux lors des opérations de décolletage sur tour automatique. Les laitons au plomb possèdent d'autre part une excellente malléabilité à chaud mise à profit lors d'opérations de matriçage. [9]

II.1.2.2.Les laitons complexes

Un certain nombre d'éléments d'addition comme l'étain, l'aluminium, le manganèse, le nickel, le fer, le silicium, ou même l'arsenic peuvent être introduits dans les laitons simples en quantités suffisamment faibles pour améliorer certaines propriétés des laitons, en particulier leurs caractéristiques mécaniques. Ils contribuent en même temps, dans la plupart des cas, à l'augmentation de leur résistance à la corrosion [10], comme par exemple: CuZn30As, CuZn22Al, CuZn35 Pb avec : 30, 22, et 35 les pourcentages de Zinc.

As : l'arsenic, Al : aluminium et Pb le plomb.

Chapitre II: Méthode de réalisation

II.1.3.Les propriétés des laitons binaires

II.1.3.1.Propriétés physiques

La plupart des propriétés physiques des laitons simples sont influencées par la teneur en zinc. Les Additions de plomb, contrairement aux autres éléments d'addition (des traces), ne modifient pratiquement pas ces propriétés. Les propriétés physiques des principaux laitons binaires sont les suivantes [11] :

Laiton	Propriétés physiques				
	Intervalle de fusion	de	Conductivité thermique	Conductivité électrique	Résistivité électrique
	$^{\circ}\text{C}$		$\frac{\text{Kcal. m}}{\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}}$	% IACS*	$\frac{\Omega\text{cm}^2}{\text{cm}}$
CuZn5	1050-1065		202	56	$3.2 \cdot 10^6$
CuZn10	1035-1045		162	44	$3.9 \cdot 10^6$
CuZn15	1010-1025		137	37	$4.7 \cdot 10^6$
CuZn20	985-1000		119	32	$5.4 \cdot 10^6$
CuZn30	920-955		104	28	$6.2 \cdot 10^6$
CuZn33	903-935		101	28	$6.2 \cdot 10^6$
CuZn36	903-920		101	28	$6.2 \cdot 10^6$
CuZn40	895-900		104	28	$6.2 \cdot 10^6$

Tableau II-1-Les propriétés physiques du laiton.

(*)% International Annealed Copper Standard-Standard international (de conductivité électrique) pour le cuivre recuit. Par convention, une résistivité de $1.7241 \mu\Omega \cdot \text{cm}^2/\text{cm}$ correspond à une conductivité électrique de 100% IAC.

Nous avons défini que 5, 10, 15, 20, 30, 33,36et40 les pourcentages de Zinc.

Le laiton offre des propriétés plus intéressantes en termes de plasticité, de déformabilité, de résistance à l'usure ou encore de performance en corrosion. Ces avantages font du laiton un excellent candidat pour la fabrication dans certaines parties de composants de machines industrielles, de type tubes, condensateurs décentrés électriques et échangeurs de chaleur pétrochimiques. Les laitons sont utilisés sous forme de barres, pièces de monnaie,

éléments de précision (industrie du décolletage), les robinets, fils et pièces moulées, instrument en musique, élément décoratifs pour le mobilier. [12], [13].

II.2. Description du diagramme de phase de Cu Zn

La solubilité du zinc dans le cuivre varie de 39 % à 35,2 % entre 454 °C et l'ambiante (Fig. II.1). La structure cristalline de la phase α dans les laitons est cubique à faces centrée (c.f.c). Le paramètre de maille *a* varie de 360 à 369 pm pour les teneurs en zinc de 0 à 36 %. Il croit avec la teneur en Zinc et suit la loi de Vegard. Les structures cristallines des phases β et β' sont c.c. la phase γ est cubique centré (c.c) complexe [7].

On distingue les laitons monophasés α qui contiennent plus de 64 % de cuivre; les laitons diphasés $\alpha - \beta'$, contenant de 54 à 64 % de cuivre, et les laitons monophasés β' . A la température ambiante, la phase β' est trop fragile pour la plupart des applications industrielles.

La phase β' des laitons diphasés $\alpha - \beta'$ s'attaque plus rapidement au réactif au chlorure ferrique. Elle apparaît très généralement couleur chamois plus ou moins foncée, alors que la phase α reste claire.

La solidification d'un Cu-Zn40 commence par la formation de la seule phase β . A 750 °C, la phase α germe à partir de la phase β et cette germination a lieu préférentiellement aux joints des grains ou, suivant certains plans cristallographiques à l'intérieur des grains.

La règle des segments inverses permet de calculer la teneur en zinc d'un laiton diphasé $\alpha + \beta'$. Soit x le pourcentage moyen de la phase β' , évalué sur une micrographie suffisamment représentative par la méthode des pointés. Au moyen d'une pointe fine, piquer au hasard sur la micrographie en comptant pour 1 la phase β' , pour 0 la phase α et pour 1/2 un pointé à la limite des plages de la phase β' . Après cent pointés, le nombre trouvé est égal au pourcentage recherché [14].

$$\frac{x}{100} = \frac{(Zn \% - 39)}{(45 - 39)}, Zn \% = 39 + 0,06x \quad \text{l'équation II-1}$$

Cette formule est valable pour les alliages refroidis rapidement. Pour les alliages refroidis lentement, la formule devient :

$$\frac{x}{100} = \frac{(Zn \% - 36)}{(47 - 36)}, Zn \% = 36 + 0,11x \quad \text{l'équation II-2-}$$

Les laitons monophasés β' ont une structure très grossière et présentent le faciès des solutions solides à pavage continu de cristaux. Le grossissement des grains est caractéristique

Chapitre II: Méthode de réalisation

de la phase β' fragile. Les différences de coloration entre les grains illustrent le phénomène d'anisotropie cristalline [8].

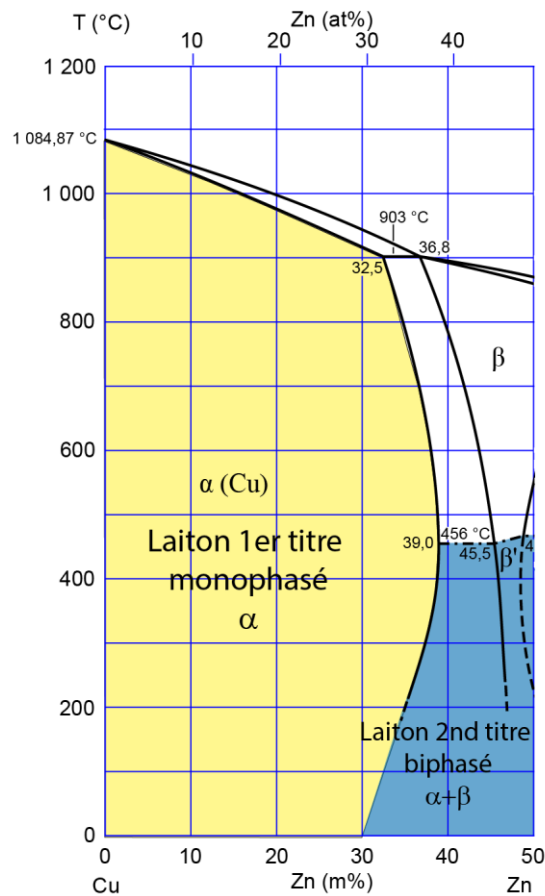


Figure II-1: Diagramme de phase Cu-Zn [14].

On peut introduire dans le cuivre jusqu'à 100 % de nickel, 40 % de zinc, 25 % d'étain et 15 % d'aluminium. 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 diagramme d'équilibre Cu-Zn indique une solubilité maximale de 39 % de Zn vers à 456°C : phase α de structure c.f.c. Mais en pratique industrielle : la phase β de structure c.c, hors équilibre, apparaît au-delà de 35 % de Zn.

1- Laiton « 1er titre » monophasé α : CuZn5 à CuZn35

Les alliages contenant jusqu'à 35 % de Zinc sont monophasés. Ils sont réputés pour leurs propriétés de ductilité et leur aptitude à la déformation à froid. L'alliage de type alpha le plus largement utilisé est l'alliage 64/36 "commonbrass". Il est l'alliage le meilleur marché (le zinc

Chapitre II: Méthode de réalisation

est généralement moins cher que le cuivre). Toutefois, l'alliage à 30 % de zinc "cartridgebrass" offre une meilleure ductibilité et une résistance à la corrosion supérieure.

2- Laiton « 2nd titre » biphasé $\alpha + \beta$: CuZn40

Au-delà de 35 % de Zinc : la phase β apparaît et la dureté augmente. La ductibilité à froid des alliages $\alpha + \beta$ n'est pas très bonne, mais ils présentent une excellente ductibilité à chaud en raison de la plasticité de la phase β à haute température.

3- Passage de la solution β désordonnée à la solution stable β'

Aux environs de 450° C à 470 °C la phase β se transforme pour donner la phase β' . Cette modification de structure est liée au passage des atomes de Zinc d'une structure aléatoire à une structure ordonnée dans le réseau. L'aspect de la microstructure n'est pas affecté par ce changement dont l'influence sur les propriétés mécaniques est négligeable.

C'est donc toujours cette phase β' qui est présente dans l'alliage à température ambiante. La phase β' est dure et fragile. En ce sens, elle ne permet pas de déformation à froid, et favorise donc le fractionnement des copeaux et, par conséquent, l'usinabilité du métal.

L'alliage à deux phases le plus répandu est le laiton 60/40. Les laitons duplex présentent une excellente ductilité aux températures de déformation à chaud.

II.3.Réalisation de notre alliage Cu Zn

II.3.1.Préparation des éléments

Les éléments chimiques constituant notre alliage sont issus de l'entreprise allemande MERCK. Le laboratoire ECP3M a mis à notre disposition ces éléments.

Nous avons pris le Cuivre sous deux formes extra pur: copeaux et poudre, et le Zinc sous forme de lingots.

II.3.1.1.Le Cuivre

Le cuivre est un élément chimique de symbole **Cu** et de numéro atomique **29**, il appartient au groupe **11** et de période **4** dans le tableau périodique. Sa masse atomique est de **63,546 g/mole**.

Le cuivre est intéressant pour plusieurs raisons :

- sa faible résistivité électrique (cuivre pur : $\rho_e = 16.8 \cdot 10^{-9} \Omega \cdot m$) ;
- sa faible température de fusion ($T_f = 1\ 084\ ^\circ C$) ;
- sa grande conductivité thermique ($\lambda = 401\ W/(m \cdot K)$) ;
- sa faible limite élastique (cuivre pur recuit : **7 MPa**) et sa grande ductilité (**A%** jusqu'a **50 %**), donc sa grande formabilité ; sa résistance naturelle a la corrosion : il réagit avec le dioxygène de l'air pour former une couche d'oxyde **Cu₂O** compacte et protectrice, de couleur noire ; il réagit également avec le dioxyde de carbone pour former le Vert-de-gris [15].

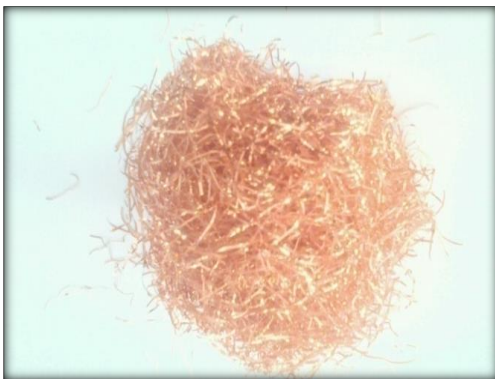


Figure -II-2 : Les copeaux de cuivre.

Chapitre II: Méthode de réalisation

II.3.1.2.Le Zinc

Le zinc est un métal argenté bleu-gris avec un point de fusion relativement de 419.5°C. Sa résistance mécanique et sa dureté sont plus importantes que l'étain ou le plomb mais nettement moins importantes que l'aluminium ou le cuivre. Le zinc est fragile à température ambiante et devient malléable aux alentours de 100°C. Le zinc n'est pas considéré comme filé toxique, Toutefois, lorsque de l'oxyde de zinc à peine formé est inhalé, des troubles physiologiques peuvent être observés. De ce fait, le taux maximum d'oxyde de zinc recommandé est de 5mg par m³ d'air dans les lieux de son traitement [16].

Quelques données Physiques du Zinc : [16].

- Numéro atomique: 30
- Masse molaire atomique:65,39g/mol
- Volume molaire : 9,16 cm³/mol
- Densité:7.14
- Température de fusion: 419 °C
- Vitesse de propagation sonore: 3700m /s
- Module d'Young : 108 GPa
- Module de rigidité : 43 GPa
- Coefficient de poisson:0.25
- Résistivité électrique: 5.9 10⁻⁸m



Figure -II-3 les lingots du Zinc

Chapitre II: Méthode de réalisation

Le tableau ci-dessous récapitule le degré de pureté de nos éléments chimiques utilisés :

Composition	Elément	
	Cuivre	Zinc
Cuivre	99.8 %	0.0005 %
Zinc	--	99.95 %
Plomb	0.005 %	0.005 %
Fer	0.005 %	--
Argent	0.005 %	--
Nickel	0.005 %	0.005 %
Cadmium	--	0.0005 %
Cobalt	--	0.005 %

Tableau II- 2-Degré de pureté de nos éléments chimiques utilisés.

II.3.2. pesage

Nous avons utilisés pour la pesé des éléments une balance de précision électronique.

Pour notre travail nous avons opté pour un alliage de 75% en masse de Cuivre et de 25% en masse de Zinc (CuZn25). Nous avons préparé deux mélanges :

La masse totale du premier mélange est de 116.10 g avec une masse de cuivre de 87.20 g et une masse de Zinc de 28.90 g.

La masse totale du deuxième mélange est de 124.0g avec une masse de Cuivre poudre + des copeaux de 111g parce que la masse de la boîte est 13g, et une masse de Zinc de 37g.



-a-



-b-

Figure –II-4.Mesure de la masse -a- de Cuivre -b- de Zinc.

II.3.3.Moulage

Chapitre II: Méthode de réalisation

Nous avons réalisé quatre moules au totale. Deux moules dans du plâtre et les deux autres dans du brique réfractaire. Pour les deux premiers moules, nous avons introduit deux tiges de 8 et 10 mm dans du plâtre mou. Après séchage les deux tiges sont retirées délicatement **Figure II-5-a-**. Pour les moules dans du brique réfractaire, et vue la fragilité de ce dernier, nous avons découpé la brique en deux morceaux pour ensuite les trouser soigneusement et séparément avec une perceuse équipé avec une fois mèche de 8mm puis de 10 mm **Figure II-5 -b-**.



-a-



-b-

Figure II-5.Le moule **-a-** dans du plâtre,**-b-**dans du brique réfractaire.

II.3.4.Procédés de fusion :

Dans notre laboratoire nous disposons d'un four à chambre universel électrique de marque CARBOLITE GERO modèle CWF 1200, contenance de 13 litre. Il peut atteindre une température de 1200 °C pour une puissance maximale de 3000 W **Figure-II-6** .



Figure-II-6.Four a chambre électrique.

Dans un creuset en graphite, spécialement conçu pour élaborer des alliages réactifs

Figure-II-7, nous avons déposé seulement la quantité du cuivre du premier mélange 87.20 g, vue que le Cuivre possède une température de fusion la plus élevé de 1080°C. Le creuset ainsi que les moules sont introduit dans le four pour subir la même monté en température afin d'éviter le choc thermique lors de la coulé. Le four est réglé sur une température de 1100 °C pour une durée de 3 heures avec une vitesse de chauffe de 30°/min.



Figure-II-7. Creuset en graphite, contenance de 1litre.

Chapitre II: Méthode de réalisation

Après avoir assuré la fusion de la totalité du cuivre, le Zinc est introduit pour une durée de seulement 20 min (température de fusion 419°C).le mélange est ensuite homogénéisé avec une tige de fer.

Le tout (creuset et moules) est retiré du four où nous avons procédé à la coulée. Le mélange est laissé refroidir lentement à l'air libre.

II.3.5.Le traitement thermique

Les traitements thermiques modifient un grand nombre de propriétés parfois très importantes pour les utilisateurs telles que l'aptitude à la transformation à chaud ou à froid, la résistance à la corrosion, à la fatigue, au fluage, l'aptitude à l'oxydation anodique, la conductivité électrique, la stabilité dimensionnelle, etc.

Dans le but d'améliorer les caractéristiques mécaniques des matériaux, soit l'homogénéisation des compositions et la stabilisation des microstructures des alliages, un traitement thermique a été appliqué à nos échantillons. Les conditions du traitement thermique ont été choisies afin d'obtenir tout d'abord un bon compromis résistance mécanique/ductilité et puis stabilité des phases. [5].

Nous avons adopté pour nos échantillons, un traitement thermique à 600°C pour une durée d'une heure et 30minutes. Le refroidissement se fait d'une façon lente à l'intérieur du four éteint. Ce type de traitement favorise une assez bonne stabilité microstructurale et une résistance mécanique.

II.3.6.Le traitement de surface des laitons : [17]

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.

Chapitre II: Méthode de réalisation

II.3.6.1. Décapage

Nos échantillons sont plongés simplement dans l'acide sulfurique H_2SO_4 dilué à 20%. Après cette étape nous avons remarqué des taches rouges sur nos échantillons.



L'échantillon – 1- et -2-



l'échantillon-4-

Figure –II-8- les échantillons du laiton dans l'acide sulfurique H_2SO_4 .

II.3.6.1.1. Taches rouges des laitons décapés [17]

Le phénomène plus communément appelé « tache rouges » se produit uniquement pendant l'opération de décapage lorsque certaines conditions sont réunies. Ces taches rouges sont en fait constituées de dépôts locaux de cuivre résultant d'une réaction électrochimique dans laquelle les oxydes de cuivre jouent le rôle d'anode tandis que le laiton est cathodique, l'électrolyte étant le bain de décapage, solution d'acide sulfurique riche en ions cuivre. Ces taches rouges n'ont aucune influence sur les caractéristiques mécaniques, mais elles nuisent à la présentation, notamment lorsque les pièces doivent subir un traitement de surface ultérieur (polissage, coloration chimique, patine, etc.). La tendance à la formation des taches rouges est d'autant plus marquée que le laiton est plus riche en zinc, que la température du bain de décapage sulfurique est plus élevée et que les pièces sont plus oxydées. Ces taches peuvent généralement être évitées en opérant à des températures inférieures à 30-40°C ; en particulier, il est déconseillé de plonger dans le bain des pièces encore chaudes, immédiatement après matriçage par exemple. Il est également important de veiller à ce que les traitements thermiques ne soient pas exagérément oxydants.

Chapitre II: Méthode de réalisation

A noter que ce procédé est dangereux et qu'il doit être mis en œuvre avec les plus grandes précautions vue qu'il y a un dégagement du gaz d'hydrogène.

II.3.6.2. Polissage mécanique :

Les préparations en laboratoire des échantillons d'alliages pour les différentes caractérisations de surface nécessitent un polissage mécanique. Celui-ci a consisté en une série consécutive de polissage au papier abrasif de granulométrie de plus en plus fine (120 jusqu'à 4000) suivi à chaque fois d'un nettoyage de surface à l'acide sulfurique la fin de chaque étape de polissage pour enlever les plus grosses particules qui pourraient griffer la surface [17].

Chapitre III :

Résultats et discussion.

III.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons exposer nos résultats de la réalisation et les résultats des caractérisations mécanique faite au niveau du laboratoire élaboration et caractérisation physico-mécanique et métallurgique des matériaux ECP3M de l'université de Mostaganem.

Tout d'abord on présente nos résultats de calcul de la masse volumique ensuite on expose les résultats de la caractérisation mécanique avec au premier les essais de traction puis les essais en compression et on termine avec la dureté Vickers.

III.2. Calcul la masse volumique

Notre méthode d'élaboration nous a permis de concevoir 4 différents échantillons de CuZn25, **figure III.1**

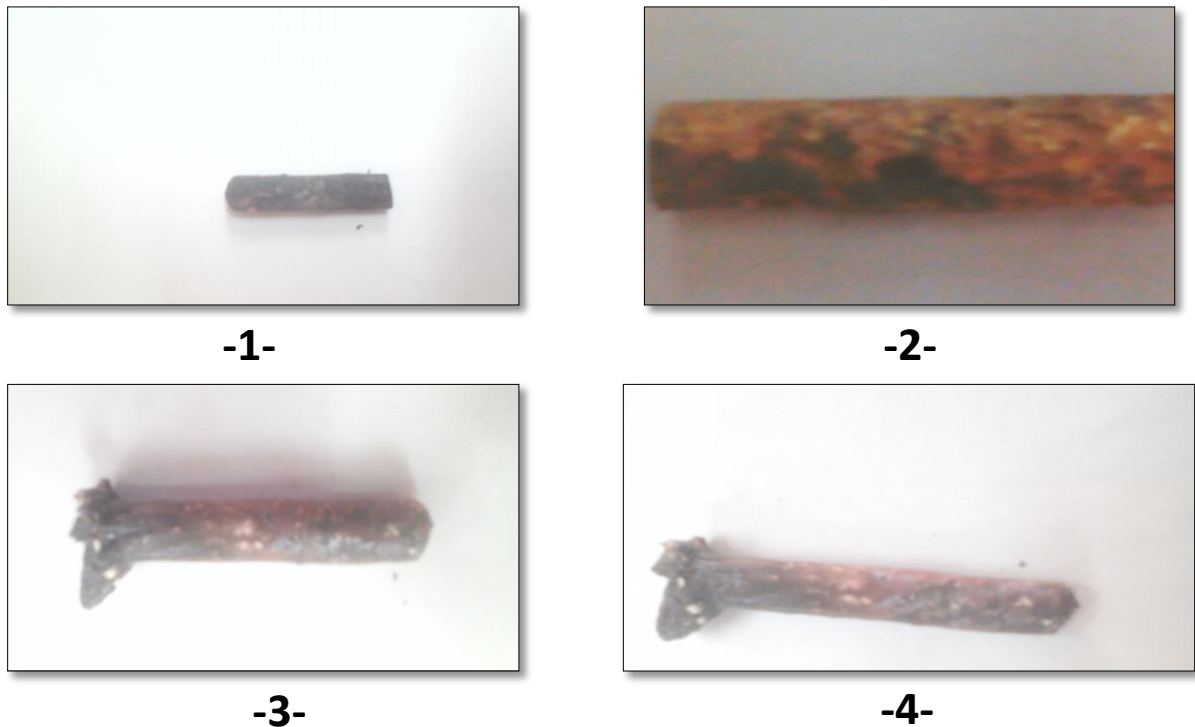


Figure III.1. Echantillons obtenus (brut).



Figure III.2. Echantillons après découpe et les différents traitements.

Chapitre III : Résultats et discussion

Le tableau **III-1** résume les dimensions ainsi que la masse de chaque échantillon afin de calculer la masse volumique de chacun.

Echantillon	1	2	3	4
Longueur (cm)	3.50	1.40	5.00	7.00
Diamètre (cm)	0.80	1.00	0.80	0.90
Masse(g)	18	14	33	67

Tableau III-1. Dimension et masse de nos échantillons.

❖ Nous avons calculé la masse volumique de ces échantillons

La masse volumique est une propriété physique des corps. Elle permet de juger les propriétés mécaniques de ce corps.

Les techniques de mesure des masses volumiques sont très variées, les plus utilisées sont :

- ❖ Méthode d'Arthur,
- ❖ Méthode d'Archimède .
- ❖ La méthode de l'éprouvette (utilisé dans ce travail).

Dans cette méthode nous allons calculer le volume d'eau déplacé par l'échantillon dans une éprouvette graduée où on note le volume initial (volume d'eau sans échantillon V_1) puis le volume final (volume d'eau avec échantillon V_2).

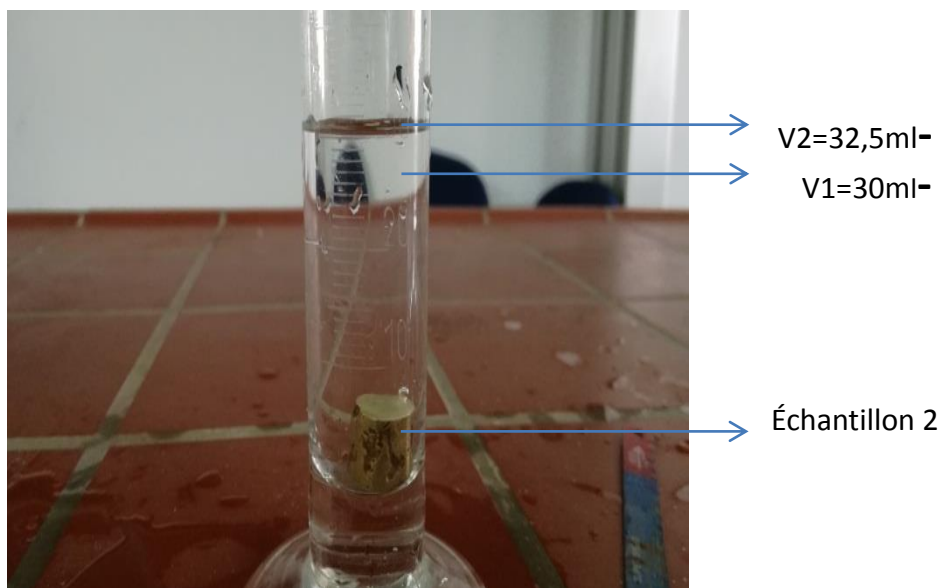


Figure III-3- l'échantillon -2- dans l'éprouvette d'eau.

Chapitre III : Résultats et discussion

Le **Tableau III-2**- résume les différentes mesures pour les quatre échantillons.

Les échantillons	1	2	3	4
Masse(g)	14	18	33	67
V1 (cm ³)	30	30	50	90
V 2 (cm ³)	32.5	33	55	99

Tableau III-2- le volume et la masse de nos échantillons.

Le volume déplacé par l'échantillon est obtenu par la différence suivante :

$$V=V_2-V_1 \qquad \text{l'équation -III-1-}$$

Alors la masse volumique peut être déduite:

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad \text{L'équation -III-2-}$$

Nous résumons les résultats de la masse volumique de nos échantillons sur le tableau **III-3-**

Echantillon	1	2	3	4
m(g)	14	18	33	67
V (cm ³)	2.5	3.0	5.0	9.0
ρ (g/cm³)	5.6	6.0	6.6	7.4
ρ (g/cm³) littérature	8.9-7.1			

Tableau III-3- Résultats de la masse volumique.

Et d'autre part, on a la masse volumique théorique pour les laitons s'écrit sous la forme :

$$\rho = \frac{100}{\left(\frac{x}{8920}\right) + (100-x)/7140} \quad \text{en kg/cm}^3 \qquad \text{l'équation -III-3-}$$

Avec x le pourcentage de Cuivre. Pour notre cas :

- On pose x=75% le pourcentage de Cuivre

$$\rho = \frac{100}{\left(\frac{x}{8920}\right) + (100-x)/7140} \rightarrow \rho = \frac{100}{\left(\frac{75}{8920}\right) + (100-75)/7140}$$

$$\rightarrow \rho = 8409 \text{ Kg/cm}^3 = 8.409 \text{ g/cm}^3$$

Nous remarquons que seul la masse volumique de l'échantillon -4- qui s'approche le mieux du résultat théorique ainsi que les valeurs dans la littérature.

Nous ne pensons que la matière de fabrication des moules influe grandement dans la composition de nos alliages.

III.3. Caractérisation mécanique de notre laiton CuZn25

Nous avons utilisé trois essais mécaniques : l'essai de traction, l'essai de compression et l'essai de la micro dureté.

III.3.1. la traction

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 Δl , 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 $\sigma = F/S_0$.

Et on apporte l'allongement Δl à la longueur initiale entre repères l_0 , pour obtenir la déformation nominale $\varepsilon = \Delta l/l_0$. [18].

La figure III.4. Présente la machine de traction disponible au laboratoire.



Figure III.4. La machine de traction.

III.3.1.1. Courbe de l'essai 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. III.5).

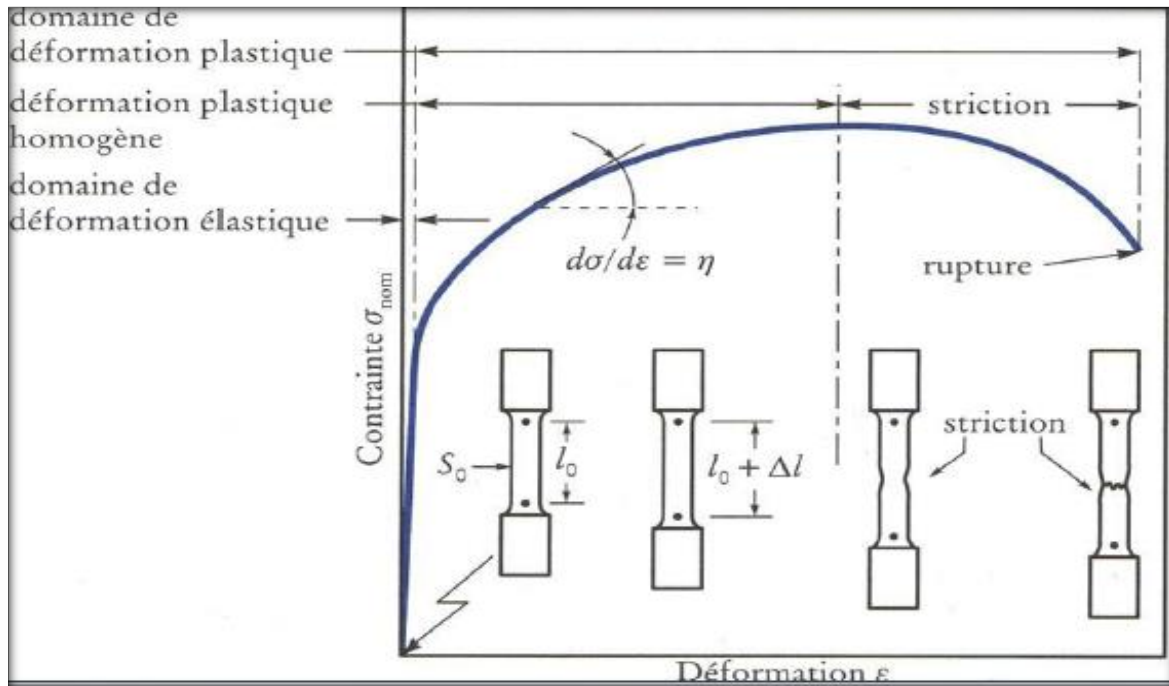


Figure III.5 .Représentation d'une courbe de traction (matériau ductile).

III. 3.2. La compression

L'essai de compression est l'un des essais les plus faciles à réaliser : il consiste à soumettre une éprouvette de forme cylindrique ou prismatique, placée entre les plateaux d'une presse, à deux forces axiales égales et directement opposées, qui tendent à la comprimer (fig.III.6). Si le matériau étudié est ductile, la rupture ne peut être atteinte avec ce test.

L'essai de compression est surtout utilisé pour déterminer la contrainte de rupture des matériaux fragiles (céramiques, verres, pierres, fonte, ...).

Les machines utilisées pour l'essai de compression sont similaires à celles utilisées pour les essais de traction ; souvent la même machine peut être employée pour effectuer les deux essais.

❖ Bien que les essais de compression soient simples et faciles à réaliser, ils sont rarement effectués en comparaison des essais de traction. Cela peut être expliqué de la manière suivante En ce qui concerne les matériaux ductiles, les deux essais (traction et compression) fournissent presque les mêmes valeurs pour le module de Young E , la limite d'élasticité σ_e et

Chapitre III : Résultats et discussion

la limite d'écoulement σ_e . De plus, il est impossible d'obtenir la résistance ultime pour ces matériaux, puisque l'éprouvette ne se détruit guère, mais elle s'élargit avec l'accroissement de la force de compression tout en prenant la forme d'un tonneau. Il en est de même des propriétés de ductilité qui ne peuvent pas être obtenues pour les matériaux ductiles.

De sorte que l'essai de compression est, souvent, réalisé sur les matériaux fragiles pour lesquels la résistance à la compression est beaucoup plus importante que la résistance à la traction. [19].



Figure III.6. La machine de compression.

III.3.3. la micro dureté

III.3.3.1.. Principe de mesure de dureté

La dureté mécanique d'un matériau solide caractérise la résistance de ce matériau à la déformation sous l'effet d'une charge **rigide P**. Les tests de mesure de dureté, qui consistent à enfoncer un pénétrateur rigide (en général en diamant) dans le matériau solide, doivent avoir un caractère peu destructif et utiliser une charge normale et constante et à mesurer les dimensions de l'empreinte laissée par le pénétrateur rigide sur la surface plane du matériau solide indenté [20],[21].

Le nombre de dureté H, ayant la dimension d'une pression, s'exprime alors par le rapport entre la force de la charge appliquée P et l'aire de surface de contact A_c projetée de l'empreinte $H = P / A_c$.

Pendant l'essai de dureté, cycle charge-décharge, il se forme une empreinte d'indentation entourée d'une zone déformée plastiquement. Plus la dureté n'est élevée, plus l'empreinte et la zone déformée sont réduites.

Dans notre cas, nous avons utilisé pour la mesure de dureté de l'alliage binaire Cu-Zn un microduromètre « Digital Micro Vickers Hardness Test ». **La figure III.7** est une photo du dispositif de mesure de dureté Vickers.



Figure III.7. Photo du micro dureté Digital Micro Vickers Hardness Tester.

III.3.3.2. Dureté Vickers

La méthode d'indentation Vickers qui est une technique de mesure de dureté non destructive, est généralement utilisée pour des pièces de petites dimensions où la lecture des longueurs de diagonale est généralement lente.

Le principe de base d'un essai de dureté Vickers consiste à imprimer dans le matériau solide, à l'aide d'un pénétrateur rigide (diamant) en forme de pyramide droite à base carrée d'angle au sommet 136° , sous une charge normale et constante et mesurer la diagonale de l'empreinte laissée sur la surface après annulation de la charge (retrait du pénétrateur).

Le temps d'application de la charge est entre 10 et 15 secondes.

On applique une charge normale et suffisamment faible pour que l'empreinte (déformation) induite par la pression de la pyramide Vickers soit localisée au-dessus de la surface plane de l'échantillon de matériau solide à tester, on mesure les longueurs respectives des 2 diagonales D_1 et D_2 de l'empreinte carrée à l'aide d'un appareil d'observation optique. On obtient la valeur d , moyenne de D_1 et D_2 , qui sera utilisée pour le calcul du nombre de dureté Vickers caractéristique de la dureté du matériau.

Il est nécessaire d'avoir une épaisseur suffisante afin que la pénétration ne déforme le matériau. Il faut une épaisseur de l'échantillon solide indenté de au moins huit fois la profondeur h de l'empreinte [22],[23].

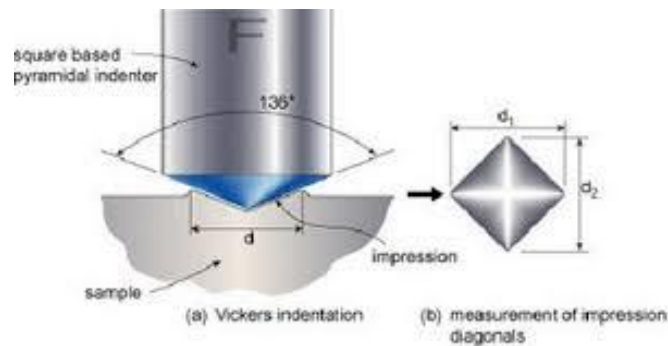


Figure III.8. Indentation Vickers.

Généralement, la dureté Vickers H_v est définie par ISO 6507-1 [24] et est exprimée par l'équation III.4 comme étant :

$$H_v = 0.102 \frac{2P \sin\left(\frac{2\alpha}{2}\right)}{d^2} \quad \text{l'équation III-4}$$

Chapitre III : Résultats et discussion

Ainsi, la dureté Vickers Hv est définie en MPa avec la charge appliquée en kilogram force (kgf) et la diagonale en micromètre (μm) par l'équation III-5:

$$Hv(\text{Mpa})=1854*10^6 \frac{P(\text{Kgf})}{2d^2(\mu\text{m}^2)} \quad \text{l'équation III-5}$$

Ce microduromètre utilise toute une gamme de charges entre 0,2kgf (200 g) et 100 kgf. Les échantillons destinés pour les mesures de micro dureté sont préparés auparavant par polissage mécanique et attaque chimique par réactif. Les mesures consistent en 2 ou 3 tests sur des endroits différents de la surface de l'échantillon, la durée d'application est de l'ordre 10 secondes sous une charge fixe, ensuite la valeur moyenne des mesures représentera la valeur de micro dureté Vickers du matériau testé.

III. 3.4. Préparation des éprouvettes

Nous avons décidé de fabriquer les éprouvettes destinées aux essais de traction, compression et dureté Vickers par usinage à partir d'une barre laminée de notre alliage CuZn25, nous avons pris les échantillons -3- et -4- pour l'essai de traction, l'échantillon -1- découpé en deux pour l'essai de compression et l'échantillon -2- pour l'essai de la micro dureté.

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



Figure III.9. La machine de tour

III.3.4.1. Le tournage

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 mandrin, ou entre pointes. [25].

❖ Tournage de l'éprouvette de l'essai de traction

Préparer une éprouvette cylindrique pour l'essai de traction obéissant à la loi suivante qui oblige que les dimensions de l'éprouvette soit normalisée.

$$l_0 = 5 \times D_0$$

Alors les dimensions de nos éprouvettes sont :

$$l_0 = 15\text{mm} / D_0 = 3\text{mm}.$$

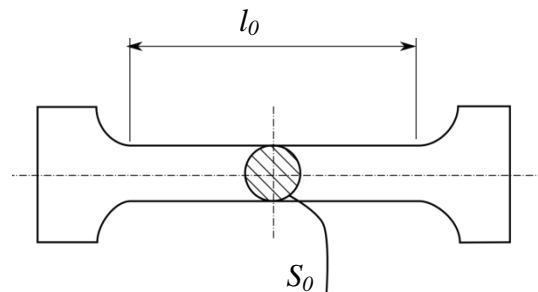


Figure III.10. Préparation de l'éprouvette de l'essai de traction.

Et le **figure III.11** qui présente nos éprouvettes finie de traction.



-3-



-4-

Figure III.11. L'éprouvette finie de traction.

❖ Tournage de l'éprouvette de l'essai de compression

Préparation d'une éprouvette cylindrique pour l'essai de compression.

✓ Dimension $l_0=10\text{mm}$ / $D_0=9\text{mm}$.

Et la **figure III.12**. Représente l'éprouvette finie de la compression.



Figure III.12. L'éprouvette finie de la compression.

❖ Tournage de l'éprouvette de l'essai de la micro dureté

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

✓ Dimension $l_0=10\text{mm}$ / $D_0=9\text{mm}$.

La **figure III.13**. Représente l'éprouvette finie de la micro dureté.



Figure III.13. L'éprouvette finie de la micro dreté.

III.3.5 Résultats des essais de traction

Au cours de l'application de l'effort, on doit observer :

- Un domaine linéaire où l'éprouvette s'allonge de manière élastique et réversible en deçà d'une valeur critique de la contrainte appelée limite élastique (exprimée en méga Pascal) et définie comme le rapport entre la force et la section;
- Un domaine parabolique caractéristique d'une déformation plastique et irréversible, au-delà de cette valeur critique. La déformation est uniformément répartie et conduit à un allongement de l'éprouvette ;
- Un domaine de décroissance de la charge lorsque la déformation se localise au-delà du point de striction.
- le point de rupture, pour lequel l'allongement ultime de l'éprouvette s'exprime par ϵ_u , sa section est S_0 .

III.3.5.1 Caractéristiques conventionnelles

Sur le diagramme charge-allongement, qui est enregistré ou tracé par points, on utilise les coordonnées suivantes :

En abscisse, l'allongement relatif $\Delta l/l_0$ de l'éprouvette ou plutôt d'une certaine base de mesure l_0 ; $\epsilon (\%) = 100 \Delta l/l_0$.

En ordonnée : la charge unitaire, définie à tout instant de l'essai, c'est le quotient de la charge par la section initiale de l'éprouvette S_0 ; $\sigma(\text{GPa})=F/ S_0$.

Le point A sur la figure représente la limite d'élasticité ou résistance élastique à la traction $R_e(\text{GPa})=F_e/ S_0$:

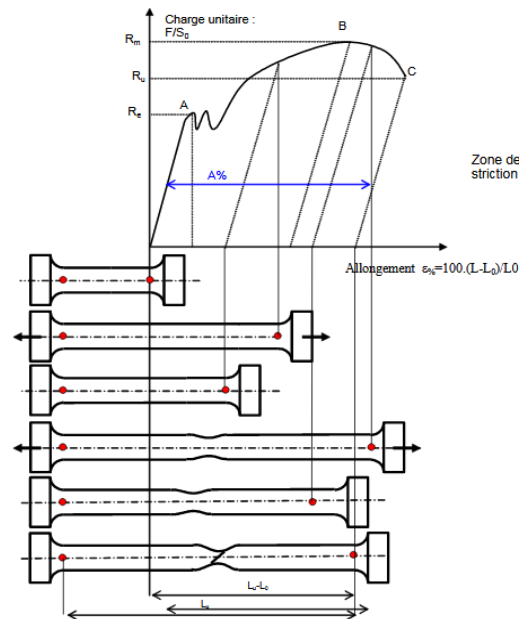


Figure III-14. Illustration d'une courbe caractéristique de traction.

Le point B correspond à la charge maximale; il est appelé résistance à la traction ou résistance à la rupture (bien qu'il n'y ait pas encore rupture) $R_m(\text{GPa}) = F_m / S_0$;

Dans la première portion de la courbe, il y a proportionnalité entre charge unitaire et déformation, au moins en première approximation : c'est la loi de Hooke . La caractéristique d'élasticité est la pente de cette droite qui est le module d'élasticité E (Coefficient d'élasticité longitudinal ou module d'Young) ; il exprime le rapport entre la charge unitaire appliquée et la déformation longitudinale de l'éprouvette $\sigma(\text{GPa}) = \varepsilon E$.

III.3.5.2 Exploitation des essais de traction

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

- **CuZn25 échantillons 3**

Lors du test et par une mauvaise fixation l'éprouvette se détache des mors de la machine. Nous l'avons remis dans la machine. La figure **III.15** donne une courbe inexploitable. Mais on peut déterminer la résistance à la rupture pour cet échantillon détruit $R_m = 340 \text{ MPa}$.

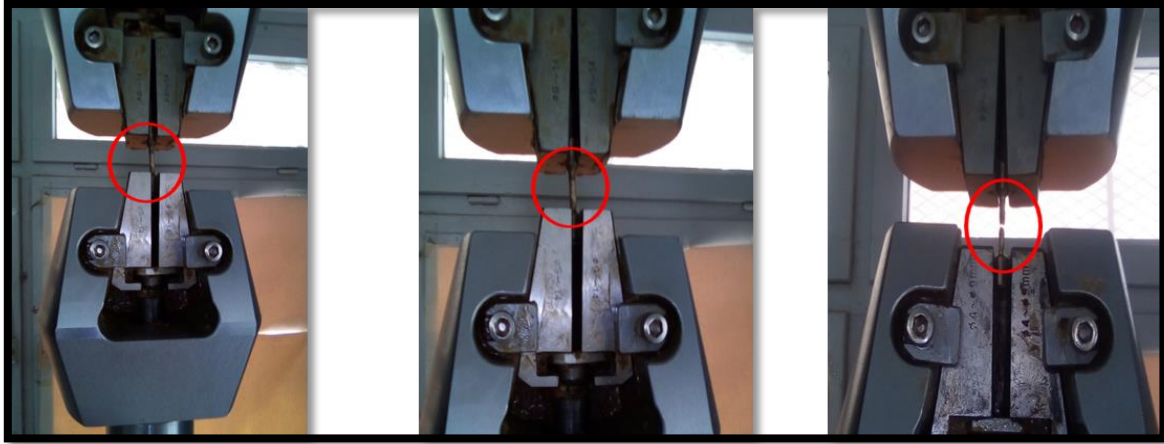


Figure III.15. Essai de traction échantillon -3-.

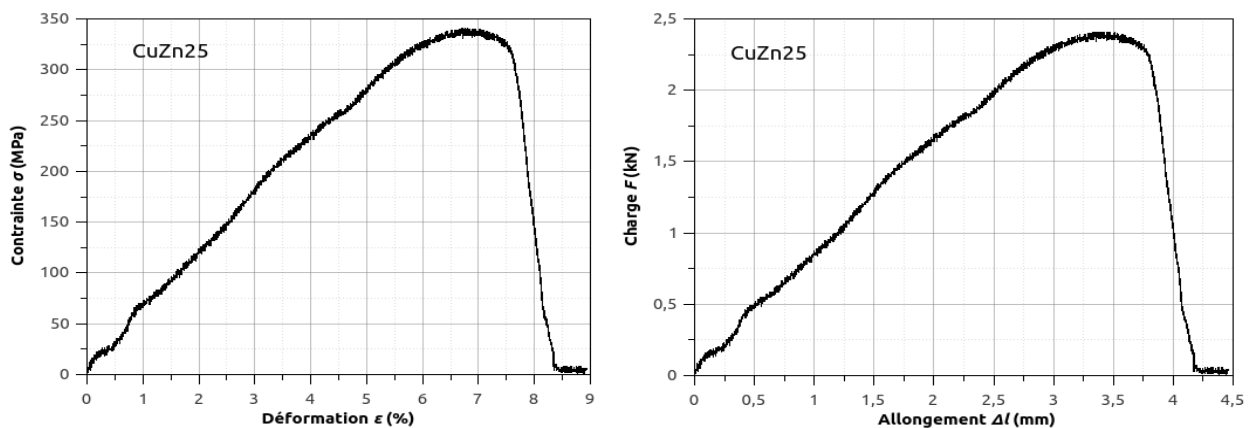


Figure III.16. Courbe conventionnelle de traction pour CuZn25 échantillon 3 ($\sigma=f(\epsilon)$ à gauche, $F=f(\Delta l)$ à droite).

- **CuZn25 échantillons 4:**

Après une bonne fixation cette fois, l'essai est réussi. La courbe conventionnelle est caractéristique d'un matériau ductile. Avec cette courbe on observe clairement le domaine élastique de l'échantillon avec une variation linéaire de la contrainte σ par rapport à l'allongement relatif ϵ . Le tableau III.4 résume les caractéristiques de cet échantillon.



Figure III.17. Essai de traction échantillon -4-

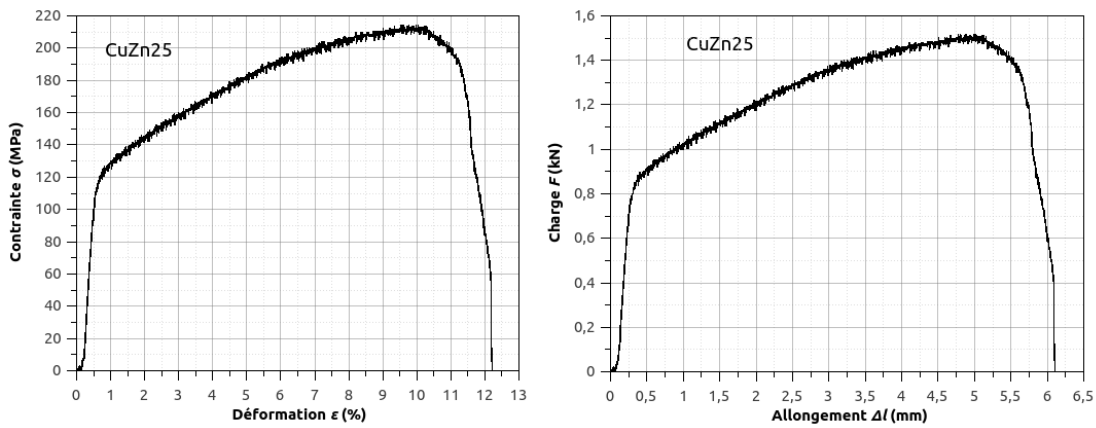


Figure III.18. Courbe conventionnelle de traction pour CuZn25 échantillon 4 ($\sigma=f(\varepsilon)$ à gauche, $F=f(\Delta l)$ à droite).

Le domaine au-delà de R_e est connu comme la déformation plastique. Dans ce domaine l'échantillon perd son élasticité.

	R_e	$R_{e0.2}$	R_m	E
Echantillon 4	100 MPa	123 Mpa	215 Mpa	23 Gpa
CuZn33 Littérature	--	--	280 / 360	104/120

Tableau III.4 Caractéristique mécanique (essai de traction) échantillon 4.

Chapitre III : Résultats et discussion

En toute rigueur la contrainte à partir de laquelle le comportement du matériau n'est plus linéaire est en pratique très difficile à déterminer. La déviation de comportement se fait progressivement et on définit une limite élastique conventionnelle à 0.2% de déformation plastique $R_{e0.2}$.

III.3.5.3 Exploitation des essais de compression

Cet essai est généralement le même de traction. Dans ce cas R_m est représenté la résistance à la compression.

La résistance à la compression d'un matériau est l'effort de compression uniaxial atteint à la rupture complète du matériau. Si le matériau est ductile cette rupture n'aura pas lieu mais le matériau se déformera de manière irréversible, de sorte que la résistance à la compression est assimilée à l'effort atteint à la limite de la déformation.

- **CuZn25 échantillon -1- a-**



Figure III.19. Essai de compression échantillon -1-a-

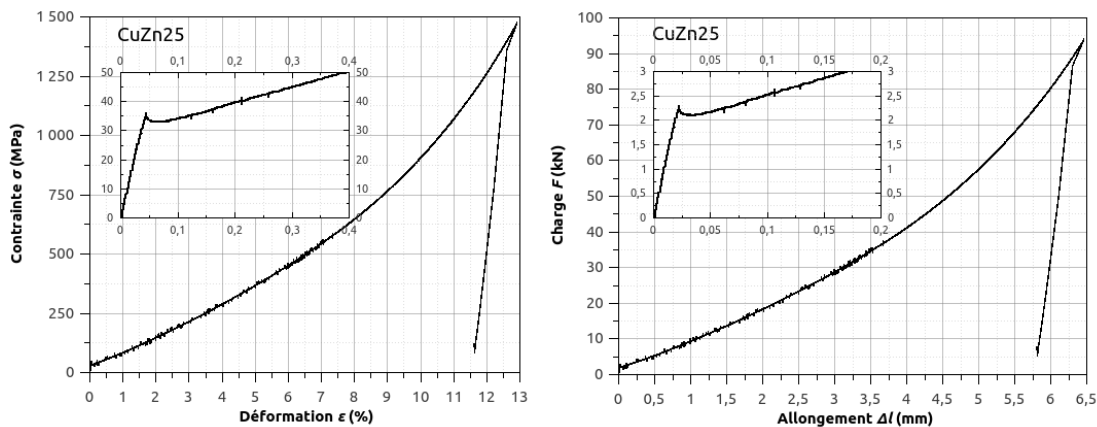


Figure III.20. Courbe conventionnelle de compression pour CuZn25 échantillon 1a ($\sigma=f(\epsilon)$ à gauche, $F=f(\Delta l)$ à droite).

Chapitre III : Résultats et discussion

- CuZn25 échantillon -1- b-



Figure III.21. Essai de compression échantillon -1-b

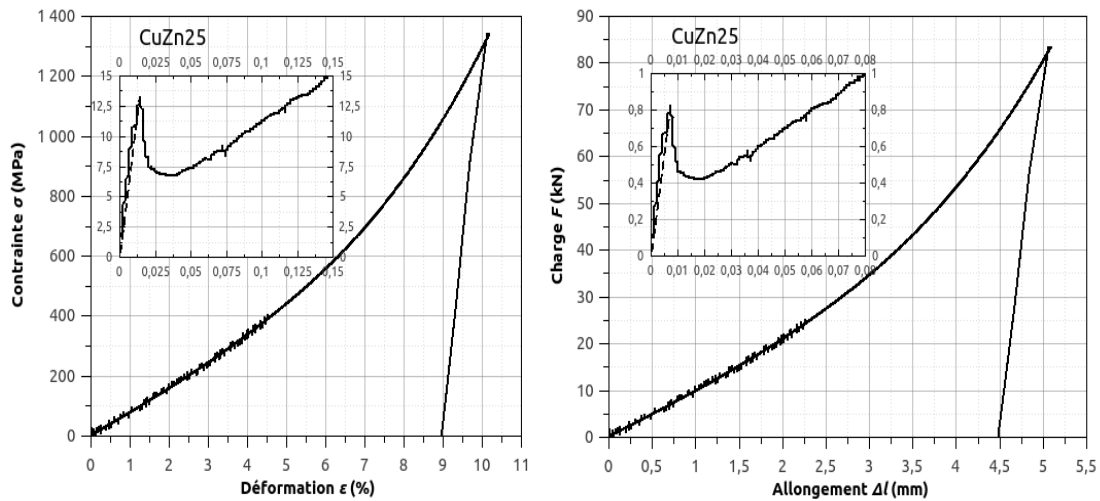


Figure III.22. Courbe conventionnelle de compression pour CuZn25 échantillon 1b ($\sigma=f(\epsilon)$ à gauche, $F=f(\Delta l)$ à droite).

Les caractéristiques de ces deux échantillons sont regroupées dans le tableau **III.5**

	R_e	$R_{e0.2}$	R_m	E
Echantillon 1-a	56 MPa	1360 MPa	1470 MPa	11 GPa
Echantillon 1-b	42 MPa	910 MPa	1340 MPa	13 GPa

Tableau III.5 Caractéristiques mécanique (essai de compression) échantillon 1a et 1b.

III.3.5.3 Exploitation des essais de Micro dureté

Pour cet essai et après un polissage et une attaque chimique de la surface des échantillons concernés nous avons pris plusieurs mesures de dureté sur la même surface dans différent endroit pour les deux échantillons.

- **CuZn25 échantillon -1-**

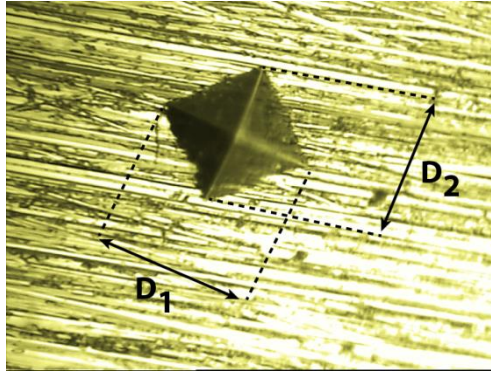


Figure III.23. Empreinte du test de micro dureté sur l'échantillon- 2-
Le tableau résume les différentes valeurs mesurées

Tests	D1 (μm)	D2 (μm)	Hv (MPa)	Hv(MPa) moyenne	Hv CuZn36 littérature
1	66.00	72.94	115.4	98.2	104/140
2	78.88	84.50	83.37		
3	77.75	73.75	96.95		
4	69.38	79.56	100.4		
5	75.38	79.44	92.92		
6	72.44	81.31	94.13		
7	70.19	70.13	104.0		

Tableau III -6- Valeurs de la micro dureté.

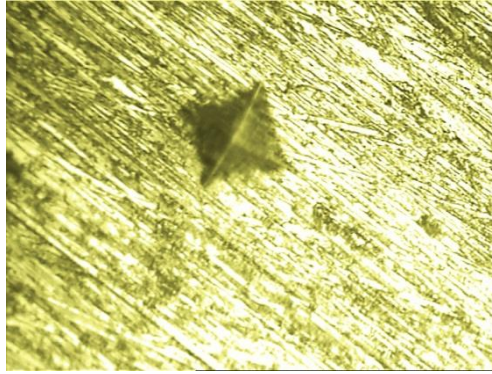


Figure III.24. Empreinte du test de micro dureté sur l'échantillon -4-

Le tableau résume les différentes valeurs mesurées

Tests	D1 (μm)	D2 (μm)	Hv (MPa)	Hv(MPa) moyenne	Hv CuZn36 littérature
1	45.81	42.94	94.17	90	104/140
2	44.50	45.44	91.83		
3	46.31	47.44	84.39		
4	47.69	46.94	82.84		
5	45.00	42.69	96.61		

Tableau III -7- les résultats de la micro dureté pour l'échantillon 4.

Il est clair que nos résultats de caractérisation sont loin devant d'autres travaux, et ça peut être expliqué par le fait que :

Les moules ne sont pas adaptés pour ce genre de fusion, sans oublier que le travail a été fait sous atmosphère oxydante qui est un paramètre à ne pas négliger.

Conclusion générale :

Conclusion générale

L'objectif de ce travail ,dans lequel nous avons présenté une étude sur la réalisation et la caractérisation de l'alliage de cuivre. Dans le premier chapitre on a passé des généralités sur les alliages. Nous avons acquis une expérience pratique dans l'instrumentation de réalisation de notre alliage, ce dernier est caractérisé par les essais mécaniques particulièrement la traction, la compression et dureté Vickers.

Dans ce travail on a réalisé un alliage binaire à base de cuivre et de zinc. Pour arriver à notre objectif on a utilisé le procédé de fusion afin d'élaborer cet alliage, par le biais d'un four à chambre. L'alliage élaboré contient 25% en masse de zinc. L'alliage ainsi réalisé appartient à la famille des laitons.

Nous avons pu élaborer 4 échantillons avec deux moules différents un en plâtre et le deuxième en brique réfractaire. Après les différents traitements appliqués et façonnage des échantillons, nous avons procédé à la caractérisation de nos échantillons.

Les essais de traction et de compression on révélés que notre alliage et pour tous les échantillons, à un caractère ductile vue la manière de rupture. Les courbes tracé sont caractéristique des essais de traction et de compression.

L'exploitation des essais nous a révélé un module de Young très petit 11/22 GPa comparé avec des alliages de même famille qui autour de 104/120GPa.

La dureté Vickers nous a donnée des résultats assez proches des valeurs trouvées dans la littérature Hv autour de 90/98 MPa.

Ce décalage de nos résultats par rapport aux travaux expérimentaux et due probablement à la nature de la matière des moules utilisés. Nous pensons qu'il avait des diffusions lors du moulage une conséquence confirmé par la faible masse volumique mesurée.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1]. T. Wyjadlowski, « Etude des sulfures dans des alliages de fer de haute pureté », Thèse de doctorat d'états sciences physiques, Université de Paris (1973).
- [2]. P. Kiréev, « La Physique des semi-conducteurs », édition Mir, Moscou (1975).
- [3]. F. Aymerich, Phys. Rev. B26, 1968 (1982).
- [4]. H. Abid, Thèse de doctorat d'état, Université de Sidi Bel-Abbes, (1997).
- [5]. H. Bedboudi, « Etude de développement de structures dans les alliages à base d'aluminium : Al-Zn et Al-Cu-Zn », Thèses de doctorat, Université de Badji Mokhtar, Annaba, 116 p, (2010- 2011).
- [6]. CHANG L.C., READ T.A., " Plastic deformation and diffusion less phase changes in metals – The gold-cadmium beta phase". Trans AIME, 189, 47-52, (1951).
- [7]. <http://nte.mines-albi.fr/SciMat/co/SM4ac3.html>.
- [8]. D. Afaf, « Caractérisation Mécanique de L'alliage de Cuivre Cu Sn », Mémoire de master, Université Badji Mokhtar, Annaba, 60p,(2017).
- [9]. A. Cormet Et Françoise Halwka, Science des matériaux : « Métallurgie mécanique du microscopique à macroscopique », Nouvelle édition, p116-117.
- [10]. A. Cormet Et Françoise Halwka, Science des matériaux « Métallurgie mécanique d u microscopique à macroscopique », Nouvelle édition, p116-117.
- [11]. Centre d'Information du Cuivre, Laitons et Alliages17, Rue Hamelin75016 PARIS dans:
- [12]. J. Andrade-Gamboa , F.C. Gennari , P.A. Larochette , C. Neyertz , M. Ahlers , and J.L. Pelegrina , "Stability of Cu-Zn phases under low energy ball milling", Mater Sci Eng A, 447(1-2), p. 324-331 ,(2007).
- [13]. Y.F. Sun, N. Xu, and H. Fujii, "The microstructure and mechanical properties of friction stir welded Cu-30Zn brass alloys", Mater Sci Eng A, 589, p. 228-234, (2014).
- [14]. Ch. Bouchy, F. Gobin, « Métallurgie, 1- Métallurgie Structurale », ARMAND COLIN ,109.
- [15]. Métallurgie générale, Introduction à la science des matériaux, Les métaux et alliages non ferreux, Le cuivre et ses alliages.
- [16]. G. Vincent, « Textures, microstructures propriétés mécaniques d'alliages zinc en feuillard est en revêtement », Thèse de Doctorat, Université de Metz, 140p, (2004).
- [17]. La brochure «Traitements de surface», édition par le Centre d'Information Cuivre, Laitons, Alliages, Rue Hamelin75016 PARIS dans: www.copperbenelux.org.
- [18]. Essais de rupture, dans Matériaux métalliques, Techniques de l'ingénieur, Paris 1996, cahier : M 126.

Références bibliographies

- [19]. L. Weber, J.-M. Drezet, Travaux pratiques – Matériaux TPI (MX2) et Métaux et alliages (GM2), Polycopie EPFL, Edition 2010.
- [20]. A.R. Franco Jr , G. Pintaude , A. Sinatora , C.E. Pinedo and A.P. Tschitschin, Material Research 7(3) São Carlos July/Sept. (2004), p. 483.
- [21]. A. Bourbia, H.Bedboudi, M. Draissia and M.Y. Debili, Journal of NanoResearch 3 (2008), p. 33.
- [22]. M. Draissia, M.Y. Debili, Journal of Crystal Growth 270 p. 150, (2004).
- [23]. M. Draissia, M.Y. Debili, CSM, 18-20 Novembre 2006 C.U. Oum El Bouaghi, Algérie.
- [24]. Norme NF EN ISO 6507-1 matériaux métalliques essai de dureté Vickers partie : 1 méthode d'essai, Lavoisier(2005).
- [25]. Y. Schoefs, S. Fournier, J. C. Leon, « Productique mécanique », Delagrave, (1994), France.