

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira De Béjaïa



Faculté des technologies
Département de génie des procédés
Option : Génie des procédés Matériaux
Présenté pour l'obtention du diplôme de master
Thème :

***Caractérisation physico-chimique
des alliages intermétalliques de
type Cu-Cr***

Réalisé par :

KORRICHE Wissame

Membres de jury :

Mr. KHELFAOUI Youcef

Président

Mr. AMARI Djamel

Rapporteur

Mr. RASSIM Younes

Examineur

Année Universitaire 2022-2023

Remerciements

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements et ma gratitude à Allah, le Tout-Puissant, pour m'avoir donné la force et le courage nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je souhaite également exprimer ma profonde reconnaissance au M.C.B. **Amari Djamel** pour son encadrement constant, son aide, ses conseils, son encouragement et ses précieuses orientations qui ont grandement contribué à la réalisation de ce mémoire.

Je suis très honorée que le Professeur **Khelfaoui Youcef** Ait accepté d'être le président de notre jury de mémoire, je le prie de trouver ici l'expression de mes remerciements les plus sincères.

Je remercie vivement le Dr **Rassim Younes** qui a bien voulu examiner ce travail, qu'il soit assuré de ma sincère appréciation et de mon respect.

Je tiens aussi à remercier madame **Bradai.Fatima** qui travaille dans le laboratoire de génie des procédés.

Je remercie aussi nos enseignants du département de génie des procédés de l'université de Béjaïa qui m'ont guidé pendant cinq années d'étude. Ce projet est le fruit des efforts de nombreuses personnes qui m'ont énormément aidé, notamment ceux qui ont facilité mon accès à l'information nécessaire et à l'élaboration de cette dernière.



Dédicace

Dédicace

Au nom du Dieu le clément et le Miséricordieux et En terme d'amour et de fidélité, je dédie ce présent mémoire.

Aux deux êtres les plus précieux au monde :

A ma très chère mère ; quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurais point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon très cher père, tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

A ma grand-mère et mon grand-père,

A mes chers frères et sœurs,

A mon amie Anissa,

A mes amis (es),

A moi-même.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

A vous cher lecteur.



Liste des abréviations

Abréviations

HV : la dureté Vickers.

F : force appliquée.

Cr : chrome.

Cu : Cuivre.

N : nombre d'atomes.

N0 : nombre totale des atomes.

e : énergie d'activation.

K : constant de Boltzmann.

W : tungstène.

WC : carbure de tungstène.

Mo : molybdène.

Ag : argent.

MEB : microscopie électronique à balayage.

Al : aluminium.

Fe : fer.

Na Cl : chlorure de sodium.

Liste des figures

Chapitre I : Etude bibliographique

Figure I.1 : Solution ordonnée des matériaux intermétalliques.....	5
Figure I.2 : procédé de fabrication des poudres.....	10
Figure I.3 : Schéma du principe de la compression à froid.....	12
Figure I.4 : Diagramme de phase binaire Cu/Cr.....	13
Figure I.5 : les différents types de frittage	17
Figure I.6 : Différents stades du frittage en phase solide.....	17
Figure I.7 : premier stade frittage	18
Figure I.8 : phase intermédiaire de frittage.....	19
Figure I.9 : phase finale de frittage.....	19
Figure I.10 : les trois étapes du frittage en phase liquide.....	20
Figure I.11 : Variation de teneur d'oxygène d'un métal dans un acide.....	24
Figure I.12 : Diagramme de Pourbaix (tension-pH) du cuivre.....	25
Figure I.13 : Diagramme de Pourbaix (tension-pH) du chrome.....	26

Chapitre II : Matériaux et Techniques expérimentales

Figure II.1 : Poudre de chrome (Cr).....	30
Figure II.2 : Poudre de cuivre (Cu).....	31
Figure II.3 : Grains de poudre Cr au microscope optique.....	31
Figure II.4 : Grains de poudre Cu au microscope optique.....	32
Figure II.5 : Moules à pastilles utilisé.....	34
Figure II.6 : Presse de laboratoire.....	34
Figure II.7 : les pastilles après le processus de compression.....	35
Figure II.8 : les fours de traitement thermique.....	37
Figure II.9 : ensemble micrographique optique.....	37
Figure II.10 : Principe de l'essai Vickers.....	38
Figure II.11 : Test de dureté Vickers.....	39

Figure II.12 : Préparer une solution de Na Cl.40

Figure II.13 : Les échantillons émergés dans la solution Na Cl, avant la corrosion.....41

Chapitre III : Résultat et discussion

Figure III.1 : Image de l'échantillon 1(100%Cr) avant le frittage.....44

Figure III.2 : Image de l'échantillon 2 (100%Cu) avant le frittage.....45

Figure III.3 : Image de l'échantillon 3 (50%Cr et 50%Cu) avant le frittage.....45

Figure III.4 : Image de l'échantillon 4 (12.5%Cr et 87.5%Cu) avant le frittage.46

Figure III.5 : Image de l'échantillon 5 (35.5%Cr et 64.5%Cu) avant le frittage.....46

Figure III.6 : Les pastilles obtenues après le frittage.....47

Figure III.7 : Image de l'échantillon 1 (100%Cr) après le frittage.....47

Figure III.8 : Image de l'échantillon 2 (100%Cu) après le frittage.....48

Figure III.9 : Image de l'échantillon 3 (50%Cr et 50%Cu) après le frittage.....48

Figure III.10 : Image de l'échantillon 4 (12.5%Cr et 87.5%Cu) après le frittage.....49

Figure III.11 : Image de l'échantillon 5 (35.5%Cr et 64.5%Cu) après le frittage.....49

Figure III.12 : Image de l'échantillon 1 (100%Cr) après test Vickers.....50

Figure III.13 : Image de l'échantillon 2 (100%Cu) après test Vickers.50

Figure III.14 : Image de l'échantillon 3 (50%Cr, 50%Cu) après test Vickers.....51

Figure III.15 : Image de l'échantillon 4 (12.5%Cr, 87.5%Cu) après test Vickers.....51

Figure III.16 : Image de l'échantillon 5 (35.5%Cr, 64.5%Cu) après test Vickers.....52

Figure III.17 : Résultat de dureté Vickers de nos pastilles.....53

Figure III.18 : Les échantillons émergés dans la solution NaCl, après la corrosion.....54

Figure III.19 : Résultat de perte de masse (Cr /Cu).....56

Liste des tableaux

Chapitre I : Etude bibliographique

Tableau I.1 : Comparaison des propriétés physiques des métaux, composés intermétalliques et céramiques.....	6/7
Tableau I- 2 : Applications des intermétalliques	7
Tableau I.3 : Propriété de (Cr/Cu).....	15/16
Tableau I.4 : Différents facteurs influençant la corrosion.....	28

Chapitre II : Matériaux et Techniques expérimentales

Tableau II.1 : différents mélanges de poudre.....	33
Tableau II. 2 : différents mélanges en fonction de leurs poids.....	33
Tableau II.3 : les températures de chauffages des pastilles dans l'état mélange (Cr/Cu).....	36
Tableau II.4 : les températures de chauffages des pastilles dans l'état pur (Cr/Cu).....	36

Chapitre III : Résultat et discussion

Tableau III.1 : Les résultats des essais de dureté Vickers.....	52/53
Tableau III.2 : Perte de masse des alliages (Cu et Cr) plongés dans une solution NaCl à 3%	56

Sommaire

Remerciements

Dédicace

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : Etude bibliographique	4
I.1 Introduction	5
I.2 Généralités sur les intermétalliques	5
I.3 Quelques propriétés des intermétalliques	8
I.3.1 Propriétés mécaniques	8
I.3.2 Propriétés physiques	8
I.3.3 Propriétés magnétiques	9
I.3.4 propriétés électriques	9
I.4 La métallurgie des poudres	9
I.5 Elaboration des poudres métalliques.....	10
I.5.1 Le procédé physique	11
I.5.2 Le procédé mécanique	11
I.5.3 Le procédé chimique	11
I.6 Procédés de mise en forme des poudres.....	11
I.7 Diagramme de phase binaire Cu et Cr	13
I.8 Le chrome (Cr)	14
I.8.1 Utilisation du chrome	14
I.9 Le cuivre (Cu)	14
I.9.1 Domaines d'application du cuivre	14
I.10 Propriété physiques des éléments Cr et Cu	15
I.11 Frittage	16
I.11.1 Les différents types de frittage	16
I.11.2 Paramètres de frittage	20
I.12. Généralités sur La corrosion	21
I.13 Les différents types de corrosion	22
I.13.1 Corrosion généralisée	22
I.13.2 Corrosion inter granulaire	22
I.13.3 Corrosion par piqûres	23
I.14 Facteurs d'influence sur la corrosion	23
I.14.1 Influence du milieu	23
I.14.2 Facteurs métallurgiques	27
I.15 Conclusion	28

Chapitre 2 : Matériaux et techniques expérimentales.....	29
II.1 Introduction	30
II.2 Morphologie de nos poudres (Cr/Cu)	30
II.3 Elaboration d'alliage (Cr/Cu)	32
II.3.1 Mélange de poudre	32
II.3.2 La préparation des pastilles	33
II.3.3 Frittage des pastilles	35
II.4 Micrographique optique.....	37
II.5 Test de dureté Vickers	38
II.5.1 Le principe de l'essai Vickers	38
II.6 Les équations (Cr/Cu)	40
II.7 Préparer une solution de NaCl de 250 ml à 3 %	40
II.8 Conclusion	42
Chapitre 3 : Résultat et discussion	43
III.1 Introduction	44
III.2 Discussions sur les résultats de frittages	44
III.2.1 Micrographe optique avant de frittage des alliages (Cr/Cu)	44
III.2.2 Les pastilles produites après le frittage	47
III.2.3 Micrographes optique après de frittage des alliages (Cr/Cu)	48
III.3 Discussions sur les résultats test de dureté Vickers	51
III.4 Étude de perte de masse des alliages (Cr/Cu)	55
III.5 conclusion	60
Conclusion générale.....	61
Références	63

Introduction générale

Les intermétalliques sont des composés obtenus par combinaison de deux ou plusieurs éléments métalliques et qui présentent une structure cristalline différente de celle des éléments qui les composent. La nature non directionnelle des liaisons métalliques est perdue partiellement donnant lieu à des structures chimiquement ordonnées qui procurent à ces composés des propriétés particulières. Initialement, ces composés étaient employés comme phases durcissantes, puis ils ont été isolés afin de les développer comme principal composant dans différentes applications.

Le composé existe à une composition précise (composé stœchiométrique) ou dans un domaine de composition (composé non-stœchiométrique) défini et distinct des domaines de solutions solides basés sur les éléments purs.

Il se forme également sous certaines conditions de pression et de température. La structure des intermétalliques est généralement ordonnée ce qui veut dire qu'en principe chaque élément occupe des sites particuliers ou possède au moins une préférence pour des sites particuliers. Il y a alternance périodique d'atomes. Les différentes propriétés des intermétalliques (chimiques, physiques, mécaniques, etc.) sont en discontinuité avec celles des éléments qui le constituent. C'est cette discontinuité des propriétés ainsi que la discontinuité de la composition qui marque la différence entre les alliages et les composés intermétalliques.

La métallurgie des poudres est un ensemble de procédés technologique permettant non seulement la fabrication de pièces mécaniques destinés à différents secteurs d'activité mais aussi un moyen efficace pour la synthèse de nouveaux matériaux exigés par l'industrie de pointe, tel que le nucléaire, l'aérospatiale et l'automobile.

Le frittage est l'étape clé du procédé de fabrication de pièces par métallurgie de poudres. C'est un traitement thermique au-dessous de la température de fusion du matériau, pendant lequel les particules en contact se soudent les unes aux autres par des mécanismes de diffusion de matière. Ces mécanismes et leur effet sur le frittage ont été largement étudiés depuis un demi-siècle.

La corrosion d'un matériau est la dégradation de celui-ci ou de ses propriétés mécanique sous l'effet de l'environnement immédiat qui peut être le sol, l'atmosphère, l'eau ou d'autres fluides. Compte tenu du nombre important de paramètres intervenant dans le

processus électrochimique, la corrosion est un phénomène très complexe. La corrosion peut être vue sous sa forme globale comme une réaction spontanée d'échange d'électrons à l'interface métal/environnement. C'est un phénomène naturel qui tend à faire retourner les métaux à leur état d'oxyde par une attaque plus ou moins rapide du milieu corrosif.

Le présent travail consiste à étudier les caractéristiques physico-chimiques des alliages intermétalliques. L'originalité de l'étude réside sur :

- Les raisons pour lesquelles nous nous intéressons à l'étude des alliages intermétalliques, à leurs caractéristiques physico-chimiques et leurs avantages.
- L'étude de comportement la corrosion de cuivre dans Na Cl à 3% aéré.

Dans le premier chapitre seront présentées les composés intermétalliques et leurs propriétés, les différentes étapes du processus de fabrication de pièces par la technique de métallurgie de poudres. Nous insisterons évidemment sur l'étape de frittage et détaillerons la corrosion.

Dans le deuxième chapitre, nous mettrons en œuvre une série d'expériences de frittage, d'imagerie optique, de dureté Vickers et de corrosion. Nous avons mené ces expériences dans le but d'étudier les caractéristiques physico-chimiques de nos échantillons.

Le troisième et dernier chapitre présentera les résultats du frittage, d'imagerie optique avant et après le frittage, les résultats de la dureté Vickers ainsi que les résultats de la corrosion.

Chapitre I

Etude bibliographique

I.1 Introduction

Ce chapitre s'intéresse dans un premier lieu aux généralités sur les composés intermétalliques ainsi qu'aux propriétés des intermétalliques (physiques, mécaniques, électriques, magnétiques), ensuite nous passons à la métallurgie des poudres, nous allons aussi définir nos poudres (Cr/Cu), et nous passons à présenter les diverses méthodes utilisées pour l'élaboration des poudres métalliques : le procédé physique, le procédé mécanique, le procédé chimique ; ainsi que les techniques des mises en forme de ces poudres : compression uniaxiale, compression isostatique à chaud, compression isostatique à froid ; et nous finirons par définir le frittage et la corrosion.

I.2 Généralités sur les intermétalliques

Lorsque deux éléments A et B sont miscibles en toutes proportions et forment une solution solide continue pour certain domaine de concentration, il peut se former des structures. Les composés A_3B , AB , AB_3 sont des exemples de ces nouvelles phases. Le nom de phases intermédiaires est plutôt réservé à celles qui possèdent des structures différentes de celles des métaux de base ou des solutions solides terminales. On parle de Composé intermétallique lorsque la phase intermédiaire n'existe qu'à l'état ordonné, d'où elle peut être définie comme une phase ordonnée d'un matériau formé entre deux ou plusieurs éléments métalliques et présente une structure cristallographique différente de celles des éléments qui la composent. Dans ces composés, les forces de liaison entre atomes de natures différentes (A-B) sont plus fortes que celles entre atomes similaires (A-A ou B-B), leur température de fusion est élevée et leur structure cristallographique ordonnée (Fig. I-1) [1].

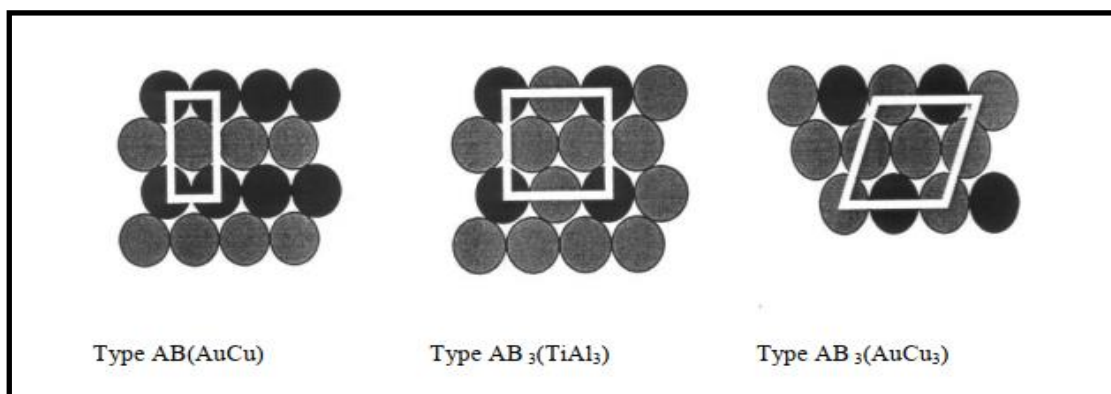


Figure I-1 : Solution ordonné des matériaux

Les composés intermétalliques peuvent être soit stœchiométriques soit non stœchiométriques :

- **Les composés stœchiométriques** sont des solides monophasés qui se forment par réaction entre deux éléments. Leurs compositions et leurs structures sont bien définies: ils apparaissent comme des lignes verticales dans le diagramme de phase, divisant le diagramme en sous domaines.
- **Les composés intermétalliques non stœchiométriques** (ou phases intermédiaires) sont des phases uniques qui apparaissent dans les régions centrales d'un diagramme de phase, ils peuvent tolérer des variations de composition chimique. Ils apparaissent comme une région dans les diagrammes de phase [2].

Les différents types de liaison rencontrés confèrent aux intermétalliques des propriétés qui sont intermédiaires entre celles des métaux et celles des céramiques (Tableau 1).

Tableau I.1 : Comparaison des propriétés physiques des métaux, composés intermétalliques et céramiques [3].

Intermétalliques
<ul style="list-style-type: none"> • densités élevées. • Module d'élasticité intermédiaire ductile (à l'ambiante). • résistance à la traction et à la compression modérément haute (à ambiante). • résistance à chaud limitée par la température de fusion. • résistance à l'oxydation à chaud faible. • conductivité électrique élevée. • résistance à la rupture élevée (à ambiante).
Alliages métalliques
<ul style="list-style-type: none"> • densités intermédiaires. • module d'élasticité assez élevé peu ductile (à ambiante). • résistance à la traction variable et résistance à la compression assez élevée (à ambiante). • résistance à chaud élevée au voisinage du point de fusion.

<ul style="list-style-type: none"> • résistance à l'oxydation à chaud assez élevée. • conductivité électrique moyenne. • résistance à la rupture faible (à ambiante).
Céramiques
<ul style="list-style-type: none"> • densités faibles. • module d'élasticité élevé fragile (à ambiante). • résistance à la traction variable et résistance à la compression élevée (à ambiante). • résistance à chaud très élevée (pas vrai en fluage). • résistance à l'oxydation à chaud élevée. • conductivité électrique très faible. • résistance à la rupture faible (à ambiante).

Ces matériaux sont intéressants à plus d'un titre. Outre le fait qu'ils possèdent souvent un point de fusion élevé (un grand nombre de composés intermétalliques ont des températures de fusion supérieures à 2000 °C). Stolof et al. ont décrit les applications industrielles des composés intermétalliques, Tableau I.2.

Tableau I- 2 : Applications des intermétalliques [4].

APPLICATIONS DES INTERMETALLIQUES	
Structural	Automobile
	Aérospatial
Magnétique	
Stockage d'énergie	Batteries
	Stockage d'hydrogène
Outils et matrices	éléments de chauffe
Matériel de four	Résistant à la corrosion
	tuyauterie pour des industries chimiques
	Revêtement
Dispositifs électroniques	Enduits

I.3 Quelques propriétés des intermétalliques

La variété de ces matériaux et le nombre élevé de leurs structures a pour conséquence une richesse et une diversité considérable de leurs propriétés :

I.3.1 Propriétés mécaniques

Parmi les propriétés attribuées aux intermétalliques en ingénierie sont leur résistance spécifique élevée (module d'élasticité/densité) et leurs grands modules d'élasticité à température élevée. Le module d'élasticité pour plusieurs intermétalliques est compris entre 150 GPa à 400 GPa pour les matériaux qui ont de basses densités entre 2 à 5g/cm³. Une grande rigidité combinée avec une basse densité est rare dans un métal normal. Cette combinaison des propriétés produit une rigidité spécifique. La grande rigidité minimise la flexibilité et la distorsion des pièces sous chargées, ce qui facilite pour l'ingénieur l'établissement des montages de pièces qui fonctionnent compatiblement.

L'habilité de maintenir un grand module d'élasticité à température élevée est particulièrement valable et ici encore les intermétalliques ont un avantage majeur par rapport aux matériaux ordinaires. Le module d'élasticité des matériaux ordinaires diminue plus rapidement contrairement aux intermétalliques autant la température s'élève. Cela résulte de leurs liaisons partielles non métalliques et leurs températures de fusion élevées [5].

I.3.2 Propriétés physiques

Lors de la formation des composés intermétalliques les principales propriétés physiques à savoir la dureté, la conductivité thermique et électrique, la susceptibilité magnétique..., seront modifiées de manière significatives de celles de leurs métaux constituants .par exemple les propriétés physiques du Cu/Sn, Cu/Ni.

La dureté des intermétalliques est plus grande que celles des métaux indiquant leur grande fragilité. De même le module d'élasticité est plus grand pour les intermétalliques, provoquant une ductilité inférieure. Le coefficient de dilatation thermique est similaire à celui

des métaux. D'autre part les conductivités thermiques et électriques sont généralement basses pour ces alliages [6].

I.3.3 Propriétés magnétiques

Plusieurs composés sont ferromagnétiques, comme ceux à base de métaux ferromagnétiques. Ces composés présentent des propriétés intéressantes pour de nombreuses applications. Les composés intermétalliques sous forme de particules dispersées dans une matrice métalliques (phénomène de précipitation) sont la source de durcissement structurale. Lorsque les composés intermétalliques sont disséminés dans une matrice métallique pure ou solution, ils freinent le mouvement des dislocations, leur utilisation comme constituant principale d'alliages à haute résistance à la température élevée fait l'objet de nombreuses recherches, Certains composés intermétalliques sont ferromagnétiques comme SmCO_5 [5].

I.3.4 propriétés électriques

Ils ont une liaison métalliques avec une densité électronique souvent anisotrope (caractère partiellement covalent de la liaison), Certains composés de structure A15 sont des supraconducteurs comme le matériau Nb_3Al au-dessous de 20K.

I.4 La métallurgie des poudres

La métallurgie des poudres (MDP) est une technique utilisée pour la fabrication de pièces en partant de poudres. C'est un ensemble de procédés (métalliques, céramiques ou composites), dont la granulométrie et la composition sont maîtrisées. Dans un premier temps, la forme du composant est donnée par l'intermédiaire d'une matrice, avec possibilité de démoulage.

La métallurgie des poudres peut être caractérisée par les trois mots clés suivants : poudre, pression et température. Les différents modes de fabrication sur laquelle repose, permettent l'obtention de pièces poreuses ou non, de formes, de dimensions et masses variés. Les techniques intervenantes successivement au cours de l'élaboration d'un composant peuvent se résumer de façon suivante :

- ✓ Elaboration de la poudre,

- ✓ Densification et mise en forme,
- ✓ Frittage,
- ✓ Calibrage,
- ✓ Traitements thermiques,
- ✓ Finitions.

I.5 Elaboration des poudres métalliques

Intéressant d'en savoir plus sur le processus d'utilisation des poudres afin que nous puissions planifier ses propriétés physico-chimiques et mécaniques lors de la production et utiliser les matériaux produits. La poudre est généralement constituée de mécanique, physique et chimie. Chacune de ces méthodes affecte les grains, leur répartition, leur forme et leur microstructure.

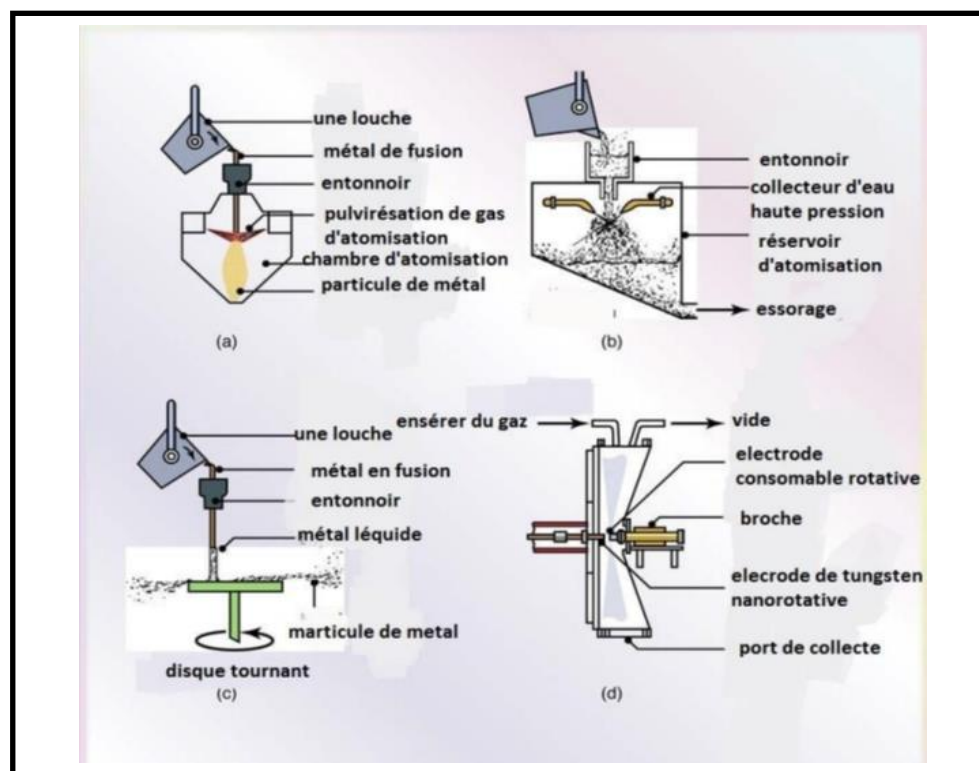


Figure I.2 : procédé de fabrication des

I.5.1 Le procédé physique

Les méthodes physiques se réfèrent essentiellement aux techniques Atomisation. Le principe du procédé est de faire couler le métal en fusion et accepte les jets de fluide (eau, gaz, huile) dans le but d'isoler les gouttelettes qui constituent ainsi les grains solides.

I.5.2 Le procédé mécanique

Basé sur l'impact (broyage) pour réduire la taille des particules par fragmentation, et la synthèse mécanique est également utilisée. Le broyage est un procédé dans lequel la production de choc conduit à une succession de fractures et de soudure des grains de poudres à des températures relativement modérées. Il en résulte un mélange à l'échelle atomique des différents constituants élémentaires des poudres initialement dans les conteneurs de broyage [8].

I.5.3 Le procédé chimique

Il existe différentes méthodes de préparation chimique des poudres, parmi lesquelles consiste à faire intervenir un réactant et un réactif. L'une des méthodes chimiques la plus employée pour l'élaboration des poudres métalliques est la réduction des oxydes qui consiste à réduire les oxydes métalliques par chauffage à une température inférieure à la température de fusion du constituant en présence d'agents réducteur. D'autres méthodes existent comme : l'électrolyse d'une solution liquide d'un sel de métal désiré, nous avons également la décomposition des complexes carbonyles de métaux [9].

I.6 Procédés de mise en forme des poudres

❖ Compression uniaxiale

La compression à froid uni axiale est la technique de mise en forme la plus courante pour l'industrie. Son but consiste à consolider la poudre pour obtenir une pièce aux formes et dimensions désirées. Le compacté vert ou cru, obtenu par compaction un axiale à froid présente une tenue mécanique suffisante grâce à des microsoudures entre les grains. Dans l'industrie, la compaction à froid se fait au moyen de presses automatique disposant de deux

pistons coulissant dans le corps de la pastilleuse (moule) auxquels une pression de compactage est communiquée. (Figure I.3) montre les étapes de compaction pour un tel système.

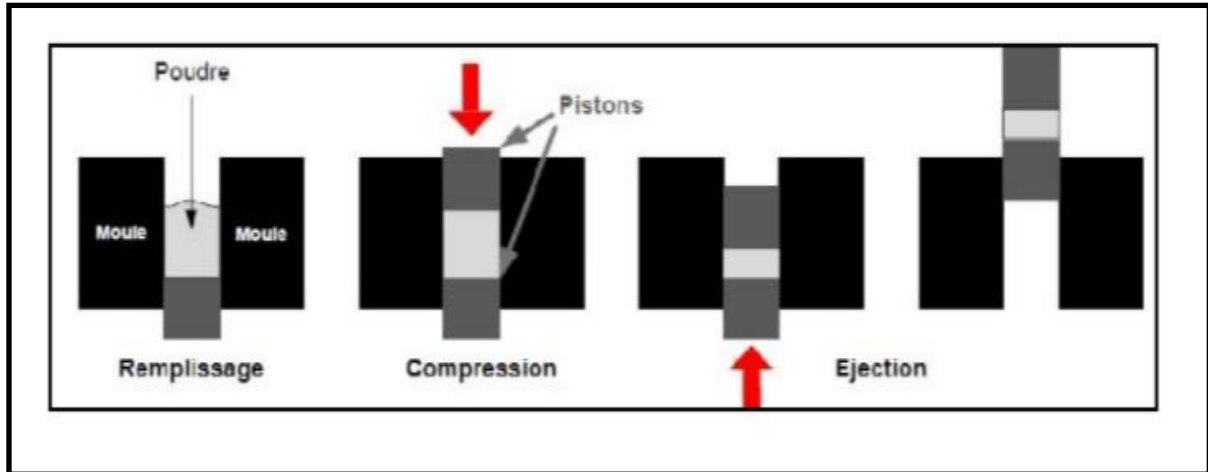


Figure I.3 : Schéma du principe de la compression à froid.

Les étapes de compression sont :

- **Le remplissage** : première étape du cycle de compression ; elle consiste à introduire la quantité nécessaire de poudre dans un moule dans lequel coulissant deux pistons (poinçons) de compression.
- **La compression** : application d'une pression uniaxiale, généralement par le poinçon supérieur.
- **L'éjection** : application d'un effort axial dans le sens inverse à la compression afin d'éjecter la pièce dans le moule.
- ❖ **Compression isostatique à chaud**

Ce procédé combine des sollicitations mécaniques et thermiques, son principe consiste à placer de la poudre dans un conteneur sur lequel est appliquée une pression isotrope. Celle-ci est portée à une température proche de la température de fusion de matériau. La méthode est utilisée pour la consolidation de matériau telle que les outils en acier, le super alliage à base de nickel, titan, et composite à matricé en aluminium. Les pièces obtenues par ce procédé ont

des propriétés physiques et mécaniques isotrope avec une porosité minime, en particulier pour les pièces massives.

❖ Compression isostatique à froid

Le principe de l'opération repose sur le compactage de la poudre Contenu à l'origine dans un contenant en polyuréthane souple et étanche Rempli de poudre, généralement imbibé d'huile. L'intégration La poudre est fabriquée par transfert isostatique d'huile comprimée aux parois du récipient, ce qui se traduit par une bonne uniformité de densité dans la salle [10].

I.7 Diagramme de phase binaire Cu et Cr

Dans cette configuration, le premier composant assure une résistance élevée aux chocs électriques et le second assure des propriétés mécaniques élevées et constantes (résistances à la traction et élasticité) du contact. Dans le présent travail, nous étudions la microstructure et les propriétés mécaniques d'un alliage Cu-Cr sélectionné. Cet alliage peut être renforcé par précipitation d'une phase Cr dans une matrice de cuivre par traitement thermique. Selon le diagramme binaire Cu-Cr lorsque la teneur en Cr est comprise entre 1,7 et 40 % at., les microstructures ordinaires d'un échantillon coulé sont constituées de b.c.c. Dendrites riches en Cr distribuées dans un f.c.c. Matrice de solution solide riche en Cu [11].

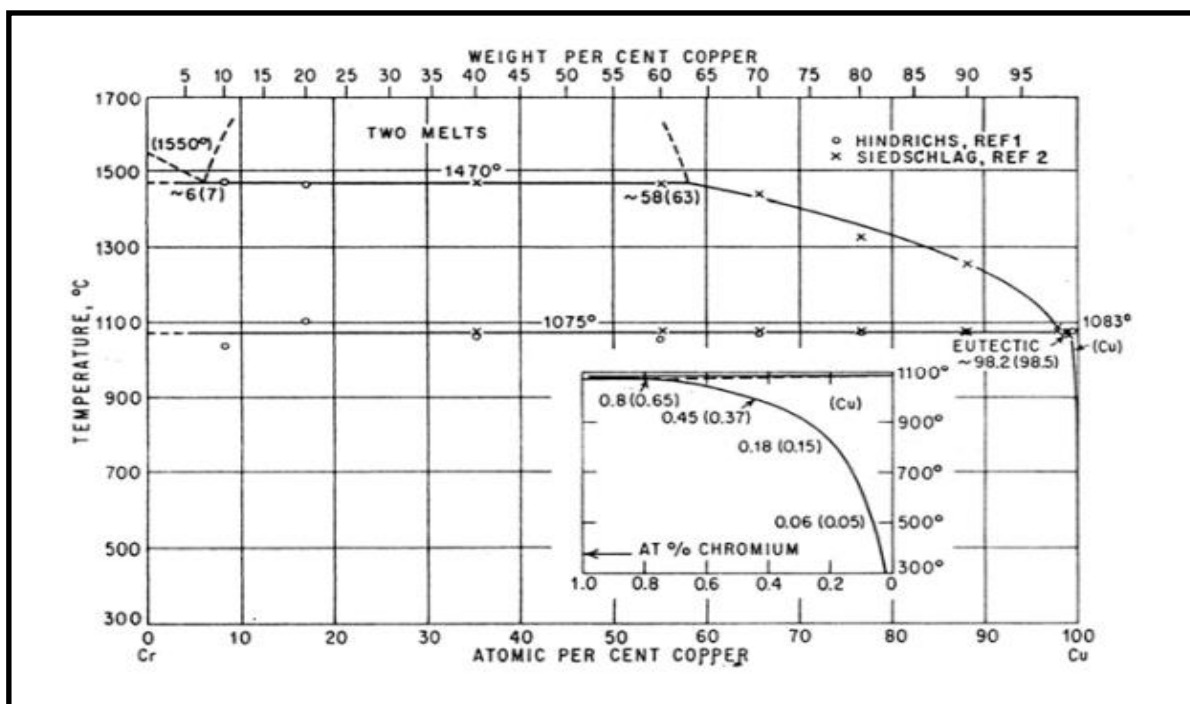


Figure I.4 : Diagramme de phase binaire Cu/Cr [12].

I.8 Le chrome(Cr)

Métal blanc, analogue au fer et au manganèse. Elément chimique de symbole Cr, de numéro atomique 24, de masse atomique 51,996(g/mol). Il est résistant à la corrosion, ce qui en fait un bon choix pour une utilisation dans l'industrie des alliages afin d'augmenter sa résistance et son endurance.

I.8.1 Utilisation du chrome

Les utilisations du chrome métal sont variées. Le ferrochrome, matière intermédiaire déjà présentée, est l'intermédiaire classique pour la fabrication des aciers spéciaux, comme les aciers inoxydables, les aciers au Cr et Ni, etc.

L'utilisation la plus connue du chrome est sans doute en métallurgie, donner un rendu en plus d'améliorer la résistance à la corrosion, il a également une finition brillante. Le chrome est également utilisé comme catalyseur dans certaines réactions d'hydrogénation. Différentes couleurs de chromate (nuances de jaune dans chromates de plomb) sont présentes dans les peintures, mais ils sont toxiques. Dans un verre, saler Chrome ajoute une touche de vert.

I.9 Le cuivre (Cu)

Le cuivre est un élément chimique de symbole Cu et de numéro atomique 29, il appartient au groupe 11 et de période 4. Sa masse atomique est de 63,546(g/mole), il est représenté sur notre planète par deux isotopes stables : ^{63}Cu (69.17%), ^{65}Cu (30.83%).

Le cuivre existe sous trois degrés d'oxydation : 0, +1 et +2. C'est l'un des métaux les plus anciennement connus et utilisé par l'homme. Sa malléabilité, la fiabilité des contacts qu'il permet ainsi que sa bonne conductivité électrique et thermique sont les raisons essentielles de l'emploi généralisé de cuivre dans l'industrie électrique et chimique.

I.9.1 Domaines d'application du cuivre

Les propriétés du cuivre (haute conductibilité électrique et thermique, résistance à la corrosion, recyclabilité) font de ce métal une ressource naturelle très utilisée. Dans

l'électricité, l'électronique, les télécommunications (réseaux câblés, microprocesseurs, batteries), dans la construction (tuyauterie d'eau, couverture), dans l'architecture, les transports (composants électromécaniques, refroidisseurs d'huile, réservoirs, hélices), les machines-outils, des produits d'équipement (plateformes pétrolières) et de consommation (ustensiles de cuisine) mais aussi des pièces de monnaie comme l'euro [13].

Le domaine d'application des alliages de cuivre et en particulier du laiton est immense:

Les laitons sont utilisés sous forme de tôles, bandes, barres, profilés, tubes, fils et pièces moulées.

Toutes les propriétés des bronzes qui s'ajoutent à une bonne conductibilité électrique, les désignent naturellement pour la fabrication de tous les ressorts, bagues, rondelles et contacts pour les industries mécaniques, électriques ou électroniques.

L'utilisation des cupro-aluminiums les plus fréquentes concernent des pièces ou ensembles destinés à évoluer en milieu marin (hélices de navire, gouvernails, pompes...).

L'ensemble de propriétés destinent les cupro-nickels à des utilisations en milieu marin, comme la protection des coques de navires, les unités de dessalement, les canalisations, les parcs à huîtres et cages à poissons pour l'aquaculture.

Les maillechorts sont très utilisés en orfèvrerie et décoration (plats, couverts, boîtiers de montre...) [14].

I.10 Propriété physiques des éléments Cr et Cu

Le tableau ci-dessous résume les propriétés générales de (Cr/Cu).

Tableau I.3 : Propriété de (Cr/Cu).

Propriétés	Cr	Cu
Numéro atomique (Z)	24	29
Masse atomique (A)	51.996 g/mol	63.54 g/mol
Masse volumique	7.19g.cm ⁻³ à 20 °C	8.96g.cm ⁻³ à 20 °C
Température de fusion	1875 °C	1083 °C
Température d'ébullition	2672 °C	2562 °C

Rayon atomique	0.127 nm	0.128 nm
Rayon ionique	0.061nm (+3); 0.044 nm (+6)	0.096 nm (+1) ; 0.069 nm (+3)
Energie de première ionisation	651.1 KJ/mol	745.49 KJ/mol
Potentiel standard	$E_{Cr^{3+}/Cr} = 0.71V$	$E_{Cu^{2+}/Cu} = 0.337V$
Configuration électronique	$[Ar] 3d^5 4s^1$	$[Ar] 3d^{10} 4s^1$

I.11 Frittage

La dernière étape dans la production des matériaux par (MDP) est la consolidation par frittage. Le frittage est un traitement thermique qui vise la consolidation par action de chaleur d'un agglomérat granulaire plus ou moins compact, avec ou sans fusion d'un ou de plusieurs de ses constituants. Le cycle de température imposé lors de l'opération implique des changements de la microstructure et la composition qui déterminent par la suite les propriétés physique et mécaniques du produit final.

I.11.1 Les différents types de frittage

Il existe deux types de frittage : le frittage naturel qui effectue sans contrainte mécanique (chauffage sous aire ou sous atmosphère contrôlé). Le deuxième type est le frittage sous charge, qui effectué en appliquant une pression extérieur simultanément au chauffage. Ce dernier est utilisé pour les matériaux difficiles à fritter ou pour obtenir des densités proches de la densité maximale théorique. D'un point de vue physico-chimique, on distingue deux types de frittage : le frittage en phase solide et le frittage en phase liquide.

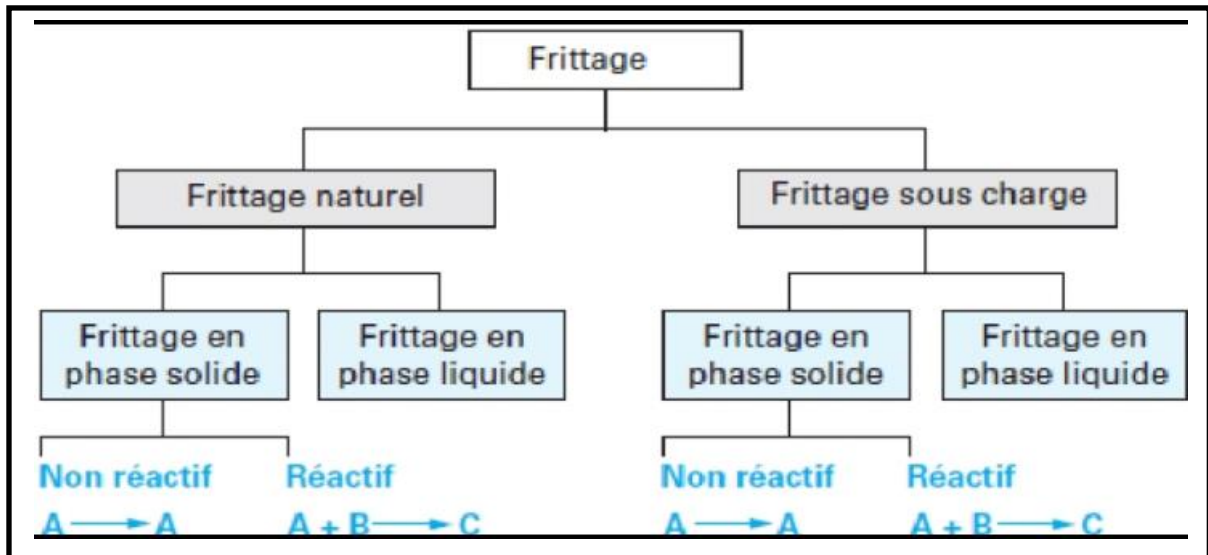


Figure I.5 : les différents types de frittage [15].

➤ Frittage en phase solide

Le frittage en phase solide est type de frittage au cours duquel tous les constituants restent solides. L'évolution microstructurale menant à la densification du matériau est assurée par un déplacement d'atomes via des mécanismes de transports de masse tels que la diffusion ou l'évaporation –condensation. Le frittage en phase solide se déroule en trois différents stades : le stade initial, le stade intermédiaire et le stade final [16].

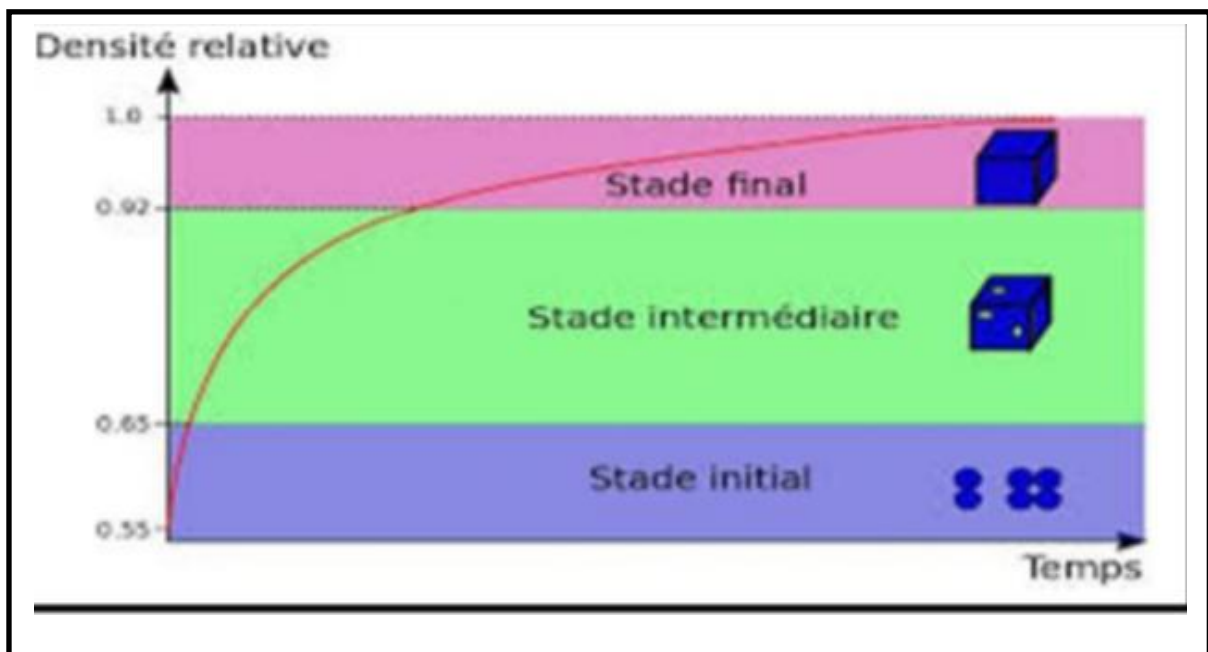


Figure I.6 : Différents stades du frittage en phase solide [16].

❖ Stade initial

Ce stade correspondant au développement rapide de ponts de matière entre particules en contact. Différents mécanismes, pouvant être modélisés à partir de particules tangentes, sphériques et de taille identique. Permettent d'expliquer la formation des cous. Ils font état d'un transport de matière de la surface des grains ou des joints de grains vers les ponts. La diffusion de la matière peut se faire en surface en volume, en phase vapeur ou encore aux joints de grains.

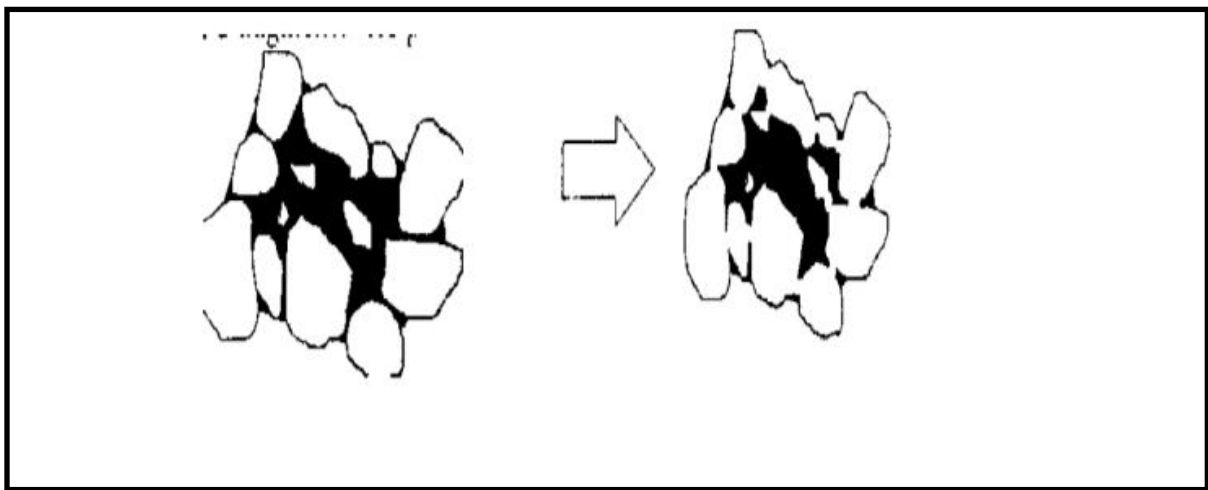


Figure I.7 : premier stade frittage [17].

❖ Stade intermédiaire

C'est au stade intermédiaire que la densification massive, les grains commencent à grossir et à s'adapter à la forme des pores. Densification continué essentiellement en transportant de gros volumes de matériel. Grossissement souvent observé vers la fin du stade intermédiaire est du la mobilité des joints de grains dans le matériau déjà densifié et constitué d'une aire importante d'interfaces solide-solide. A la fin de ce stade le système est décrit comme un empilement de grains polyédriques liés par leurs faces, dans le quel passe un réseau de pores assimilés à des canaux cylindriques situés le long des arêtes des grains [18].

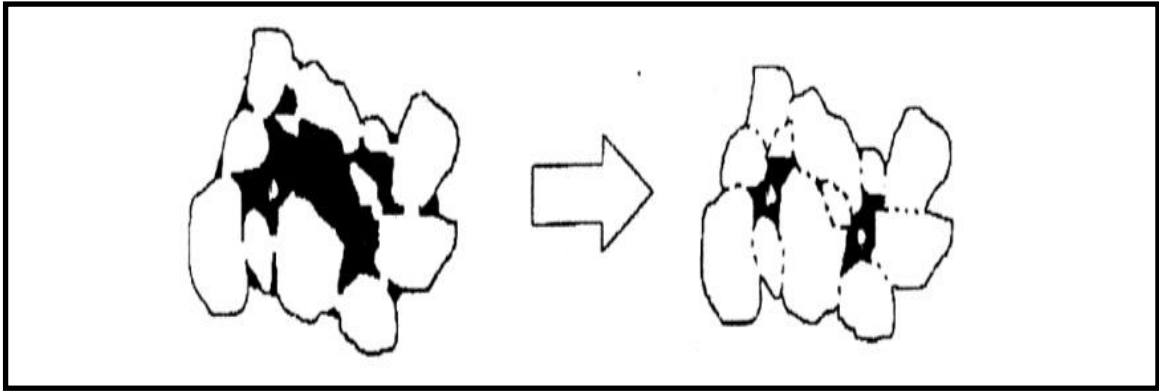


Figure I.8 : phase intermédiaire de frittage [19].

❖ Stade final

Cette étape de grossissement des grains ne prend pas le relais de la densification. Cela fait le réseau poreux laissé à l'étape précédente après réduction du rayon est géométriquement instable la courbure du canal poreux cylindrique et l'augmentation de la longueur des pores. Cette instabilité géométrique à pour conséquence de la séparation des pores et des joints de grains suivant une séquence proposée à la (figure I.9) ou un joint de grain se courbe et se sépare d'un pore, situé à son extrémité, qui ralentit son déplacement [18].

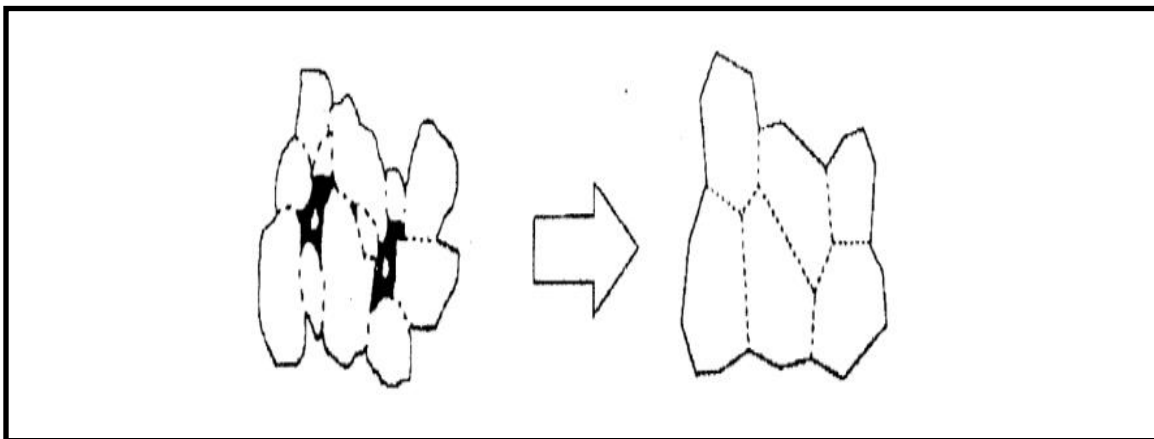


Figure I.9 : phase finale de frittage [17].

➤ Frittage en phase liquide

Le frittage en phase liquide est un processus qui nécessite au moins deux composants et la présence d'une phase liquide assure la densification du matériau. La force motrice de ce

type de frittage est la réduction de l'énergie d'interface et le transport de matière s'effectue via la phase liquide à des cinétiques plus élevées que celles observées en phase en phase solide. Le frittage en phase liquide se déroule en trois principaux stades [16].

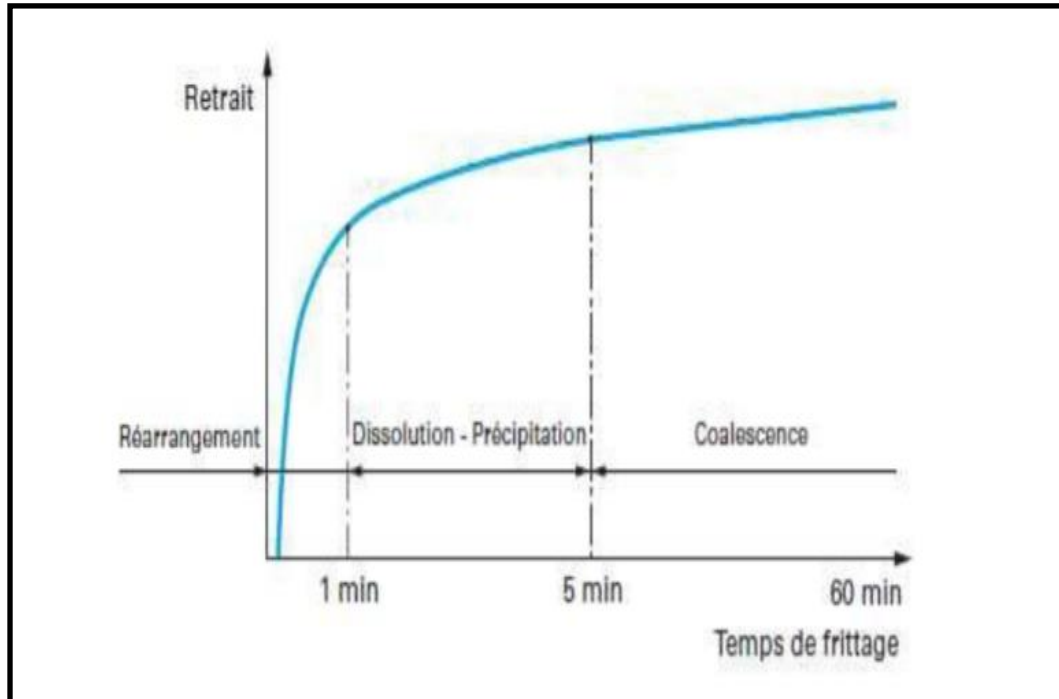


Figure I.10 : les trois étapes du frittage en phase liquide [9].

- ✓ Le stade initial : réarrangement des particules ;
- ✓ Le stade intermédiaire : dissolution-précipitation ;
- ✓ Le stade final : frittage du squelette solide.

I.11.2 Paramètres de frittage

❖ Atmosphère de frittage

Le frittage peut être effectué sous différentes atmosphères et chacune d'elle influe sur la qualité du produit final. Les pièces frittées sous air sont exposées à l'oxygène et à la vapeur d'eau ce qui altère considérablement les propriétés physico-chimiques des produits frittés par l'inclusion des oxydes qui sont souvent fragiles et ils modifient ainsi les propriétés mécaniques. Par contre une atmosphère neutre ou contrôlée (à titre d'exemple l'azote ou

l'argon) protège la composition d'une corrosion à haute température durant le frittage mais les oxydes existant avant le frittage restent [20].

❖ **Température de frittage**

La température idéale est de l'ordre de $\frac{2}{3}$ ou $\frac{3}{4}$ de la température de fusion. Comme de nombreux phénomènes faisant appel à des mouvements d'atomes, la température fait augmenter rapidement la vitesse de frittage que l'on peut caractériser par la valeur du retrait [21].

❖ **Durée de frittage**

C'est le temps nécessaire pour atteindre une densification complète. Elle est liée à la température de frittage, qui à son augmentation, la durée du frittage diminue. Cependant un long frittage grossit le grain et augmente la taille du pore.

I.12. Généralités sur La corrosion

La corrosion constitue un enjeu économique, environnemental et sécuritaire important et affecte de nombreuses structures, particulièrement les matériaux métalliques. C'est l'une des principales causes de l'altération et de la destruction de la plupart des installations et des équipements. Les phénomènes de corrosion dépendent d'un grand nombre de facteurs qui interviennent non pas individuellement, mais en relation plus ou moins complexes les uns avec les autres : la nature et la structure du matériau, les traitements de surface (mécaniques, chimiques, électrochimiques...), l'environnement et ses caractéristiques chimiques, la température, les microorganismes, le régime hydrodynamique auquel est soumis le matériau, les contraintes qui lui sont imposées... Le milieu agressif constitue un environnement particulièrement favorable à la détérioration des matériaux métalliques. Des facteurs inhérents au milieu peuvent influencer sur leur déroulement et peuvent également être une source de variations importantes des cinétiques de corrosion : forte teneur en ions (chlorure, sulfate, nitrate, ammonium, carbonate...), oxygène dissous, pH, aération, conditions hydrodynamiques. Le cuivre est souvent utilisé pour leur propriété de résistance à la corrosion. Cependant, ce métal n'est pas totalement immunisé contre la corrosion et des

dégradations par piqûres sont fréquemment observées. Les endommagements de nombreuses installations causés par la corrosion, la mise hors service de certaines d'entre elles et leur coût de fonctionnement ainsi que la pollution des eaux si le matériau est utilisé dans les canalisations justifient les efforts déployés pour la prévention et la lutte contre la détérioration des matériaux métalliques. En effet, les problèmes de corrosion sont de mieux en mieux pris en compte et maîtrisés. Les articles et les ouvrages publiés, évoquant ce sujet, témoignent d'un grand développement technologique et scientifique en matière d'inhibition. Notre travail s'inscrit dans cette problématique [22].

I.13 Les différents types de corrosion

I.13.1 Corrosion généralisée

La corrosion électrochimique fait appel à la notion de pile électrique et donc à des échanges de charges électriques et de matière. Ces quantités de charges échangées permettent de définir une densité de courant (quantités de charges rapportées à la surface). Cette densité de courant sera d'autant plus importante que les zones cathodiques seront de grandes surfaces. Si les surfaces anodiques sont de grandes dimensions, la corrosion sera généralisée : répartition sur une grande surface avec une vitesse uniforme. L'épaisseur de métal dissoute sera alors faible, et donc la corrosion sera superficielle [22].

I.13.2 Corrosion inter granulaire

Elle est due en générale à la précipitation d'une phase ou à la formation préférentielle d'un produit de corrosion aux joints de grains. C'est un type de corrosion particulièrement dangereux car, bien que la quantité de métal attaqué soit faible, les caractéristiques mécaniques du métal sont altérées car les fissures ainsi produites affaiblissent mécaniquement le métal. En effet, la charge de rupture et l'allongement des échantillons corrodés prennent alors une valeur plus faible. La corrosion intergranulaire concerne également une grande variété de familles d'alliages : alliages cuivreux, aciers de construction, etc [22].

I.13.3 Corrosion par piqures

Elles se localisent en certains points de la surface métallique. Ce type de corrosion peut avoir plusieurs origines, en particulier l'existence d'une solution de discontinuité dans la couche protectrice recouvrant le métal et dans la solution contenant des ions Cl^- . Bien que la quantité de métal consommée soit faible, ce type de corrosion est très dangereux car il se produit en profondeur et peut conduire à la perforation rapide de tôles épaisses. Les piqûres peuvent s'amorcer en des endroits qui sont liés soit aux défauts de la couche de passivation, soit aux hétérogénéités (inclusions de sulfures) ou aux défauts physiques du métal (joints de grains, dislocations). Cette forme de corrosion affecte essentiellement les métaux passivables et plus particulièrement dans les solutions contenant des ions chlorure. Il existe bien entendu d'autres types de corrosion, à savoir : la corrosion galvanique, la corrosion cavernueuse, la corrosion sous-contrainte, etc [22].

I.14 Facteurs d'influence sur la corrosion

Les différents types de corrosion peuvent être accélérés ou au contraire freinés par l'action de paramètres d'ordre physique ou chimique

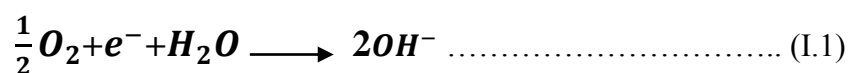
I.14.1 Influence du milieu

➤ Milieu basique

L'oxygène est à la fois un accélérateur et un ralentisseur de la corrosion, l'oxygène est un ralentisseur de corrosion car l'aération massive élimine l'aération différentielle, mais le deuxième aspect de l'oxygène est qu'il agit comme un dépolarisant.

Lorsque la concentration de l'oxygène augmente, il va réagir avec l'hydrogène, et par conséquent, la concentration de l'hydrogène va diminuer. On dit que l'oxygène est un dépolarisant.

La dissolution de l'oxygène :



➤ **Milieu acide**

L'Hydrolyse résulte du comportement électrolytique de l'eau faiblement dissociée en ions OH⁻ et H⁺. Ce sont les conditions de concentration d'une solution en ions H⁺ qui sont exprimées par le pH. Autrement dit une eau est d'autant plus acide qu'elle contient plus de (H⁺); .inversement elle est d'autant plus alcaline qu'elle contient plus de (OH⁻) [23].

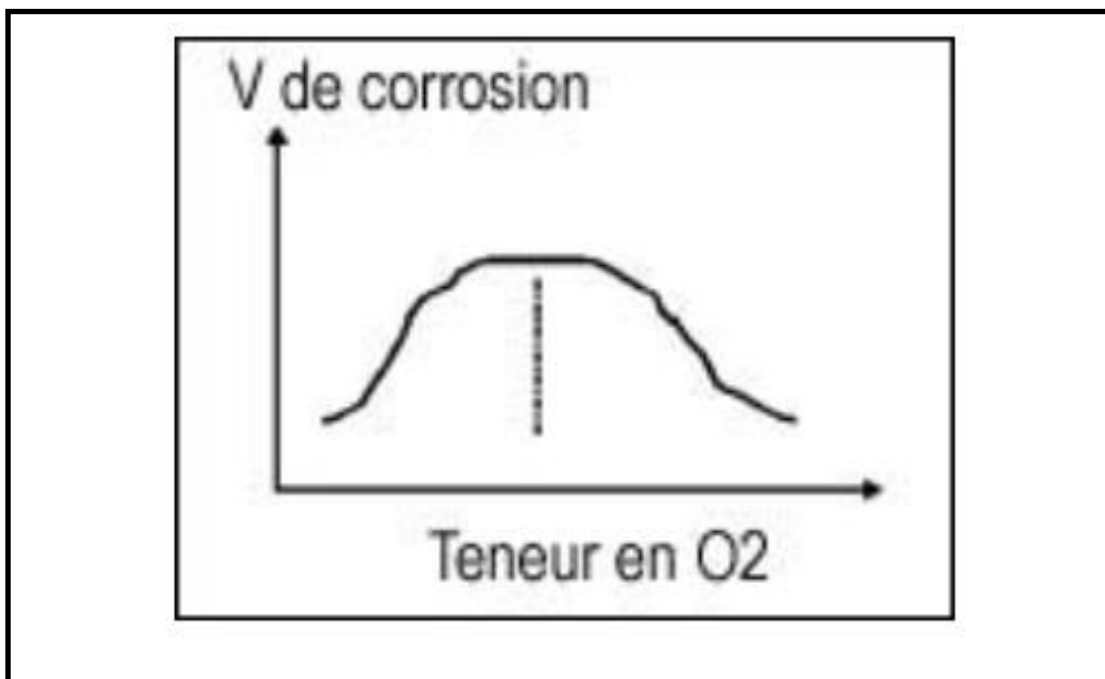
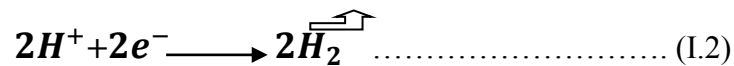


Figure I.11 : Variation de teneur d'oxygène d'un métal dans un acide.

La corrosion croît en fonction de la teneur en oxygène jusqu'à une valeur maximale puis diminue lorsque le métal forme une couche protectrice (Fig. I.11). Ce n'est pas le cas si cette couche n'est pas étanche. C'est pourquoi, de l'eau agitée peut être plus corrosive que l'eau stagnante, par suite de la dissolution plus importante d'oxygène, selon les métaux. L'action de l'oxygène peut aussi se traduire en présence d'une différence d'aération.

➤ **Influence du pH du milieu**

De nombreuses réactions chimiques ou électrochimiques interviennent dans les phénomènes de corrosion. Pourbaix a établi des diagrammes tension-pH qui délimitent différents domaines dans le métal : corrosion, immunité et passivation (Fig. I.12).

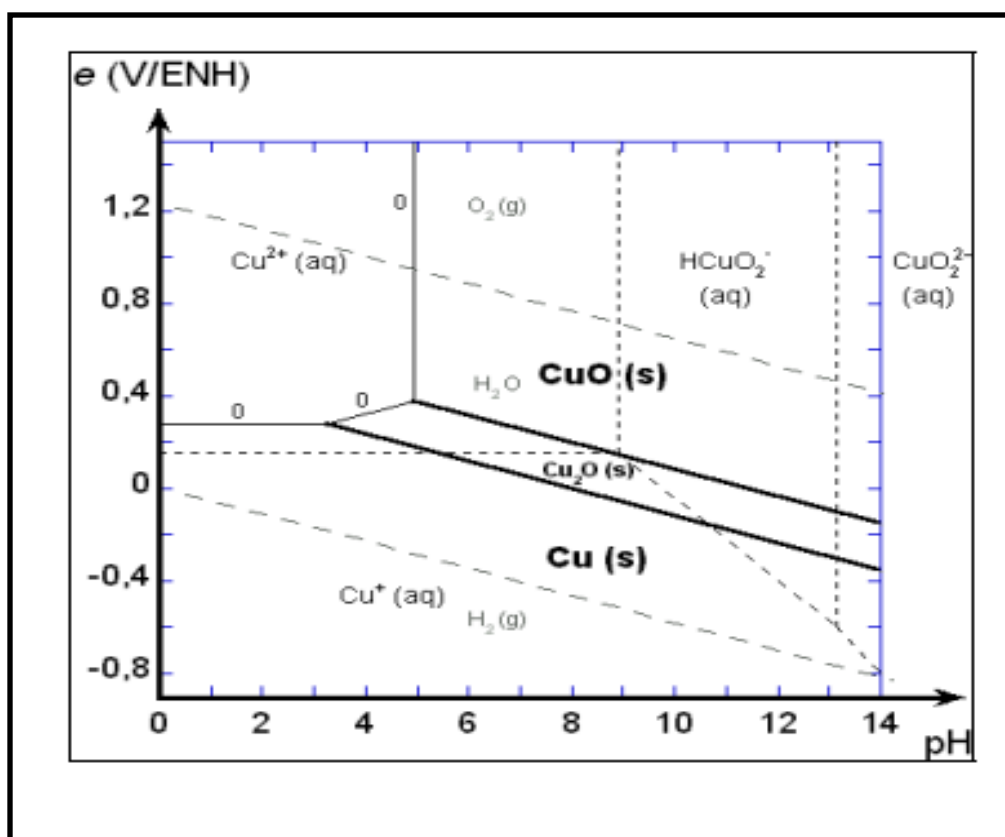


Figure I.12 : Diagramme de Pourbaix (tension-pH) du cuivre.

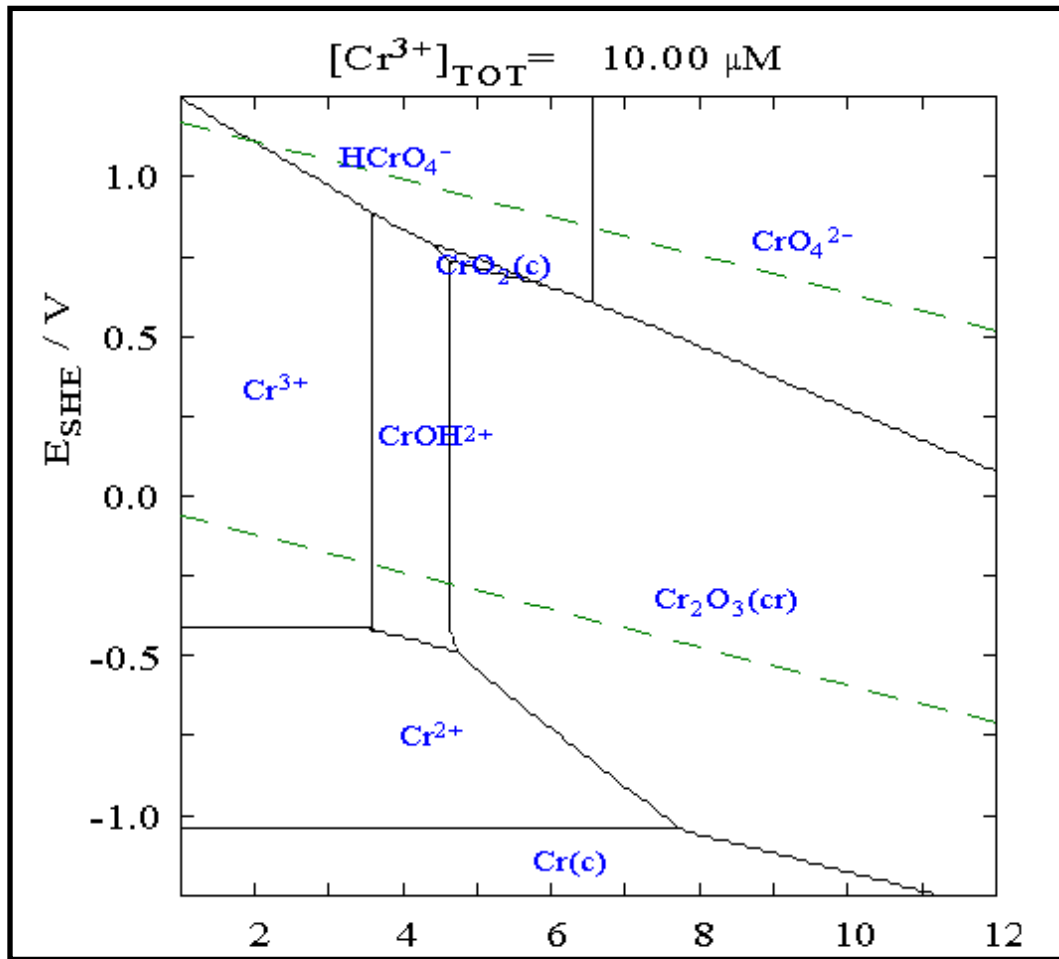


Figure I.13 : Diagramme de Pourbaix (tension-pH) du chrome.

➤ Actions des chlorures

Les ions Cl^- ont pour caractéristique d'être extrêmement mobiles et de pouvoir en particulier se concentrer dans les micro-fissures de la surface du métal. Ils favorisent localement une chute importante du pH qui favorise à son tour une corrosion acide. De plus, ils s'adsorbent facilement à la surface des métaux et rendent les dépôts poreux.

➤ Minéralisation

La minéralisation de l'eau va avoir deux actions sur le processus de corrosion : action directe et action indirecte. Une eau très minéralisée sera très conductrice et favorisera les échanges de charges, permettant une dissolution plus facile des métaux. Par contre, une eau

trop déminéralisée est tout aussi gênante car elle possède insuffisamment d'ions susceptibles de former avec le métal une couche protectrice.

➤ Influence de la température

La température influe sur la vitesse des réactions chimiques. En théorie, la vitesse est doublée pour une augmentation de 8°C de la température. L'élévation de température favorise le dégazage de l'eau. Des alternances chauffage/refroidissement créent des tensions pouvant amener la destruction des couches protectrices déjà formées. Des gradients de température peuvent sur un même métal engendrer des couples galvaniques et donc une corrosion (il faut tout de même des écarts de températures très élevés que l'on peut rencontrer dans des chaudières à haute température).

I.14.2 Facteurs métallurgiques

La corrosion est le résultat de l'action que développent à la surface du métal des hétérogénéités de natures diverses entraînant le risque de la formation de piles électrochimiques pour diverses raisons, à savoir :

- Différence microstructurale ou de composition ;
- Différence d'orientation cristallographique des grains ;
- Joints de grains qui sont des zones particulièrement vulnérables, du fait de leurs structures moins bien organisées, et de présence d'impuretés ségréguées ;
- Différences entre zones écrouies et zones non écrouies ;
- Différence locale de la température du matériau, etc. Ces facteurs ne sont pas indépendants et il peut bien entendu exister des couplages entre eux [22].

Tableau I.4 : Différents facteurs influençant la corrosion [22].

Facteurs définissant les modes d'attaque	Facteurs métallurgiques	Facteurs définissant les conditions d'emploi	Facteurs dépendant du temps
-concentration du réactif. -teneur en oxygène. -pH du milieu. -additions d'inhibiteurs. -pression. -température.	-composition de l'alliage. -procédé d'élaboration. -impuretés. -traitement thermique et mécanique. -addition protectrice.	-état de surface. -forme des pièces. -emploi des inhibiteurs. - procédés d'assemblages. -solicitation mécanique.	-vieillessement. - tension mécanique. -température. -modification des revêtements protecteurs.

I.15 Conclusion

Dans cette partie bibliographique nous avons décrit la procédure pour fabriquer une pièce par métallurgie des poudres. Les caractérisations physico-chimiques des poudres intermétalliques les plus étudiés de type (Cu-Cr). Et l'importance du frittage dans le procédé. Le frittage en phase solide a été détaillé profondément. Enfin, nous avons étudié la corrosion, ses différents types et les facteurs d'influence sur la corrosion.

Chapitre II
Matériaux et
Techniques expérimentales

II.1 Introduction

Dans cette partie, nous avons réalisé une série d'expériences de frittage, d'imagerie optique, de dureté Vickers et de corrosion des échantillons d'alliages en poudre (Cr/Cu). Reconnaître l'effet de la température de frittage et son rôle dans les particules de (Cr/Cu) est un processus important. L'imagerie optique représente la distribution des grains Cr et Cu dans la matrice (Cr/Cu). La mesure de la dureté Vickers nous indique l'ordre de grandeur de la dureté de ses particules. Concernant la corrosion, nous avons préparé la solution NaCl nécessaire pour cette expérience.

II.2 Morphologie de nos poudres (Cr/Cu)

La morphologie de nos poudres (Cr/Cu) est représentée sur les figures suivantes.

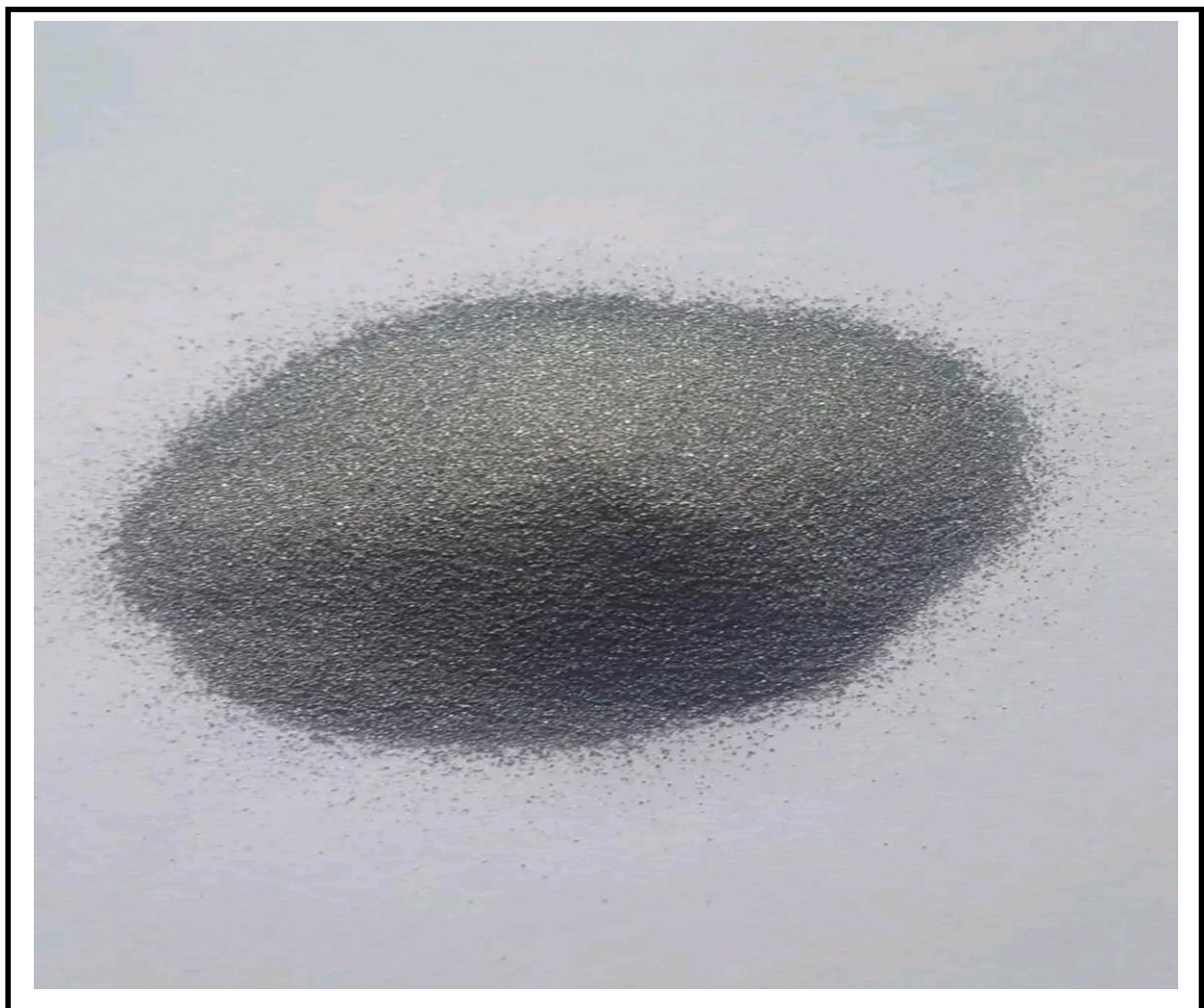


Figure II.1 : Poudre de chrome (Cr).



Figure II.2 : Poudre de cuivre (Cu).

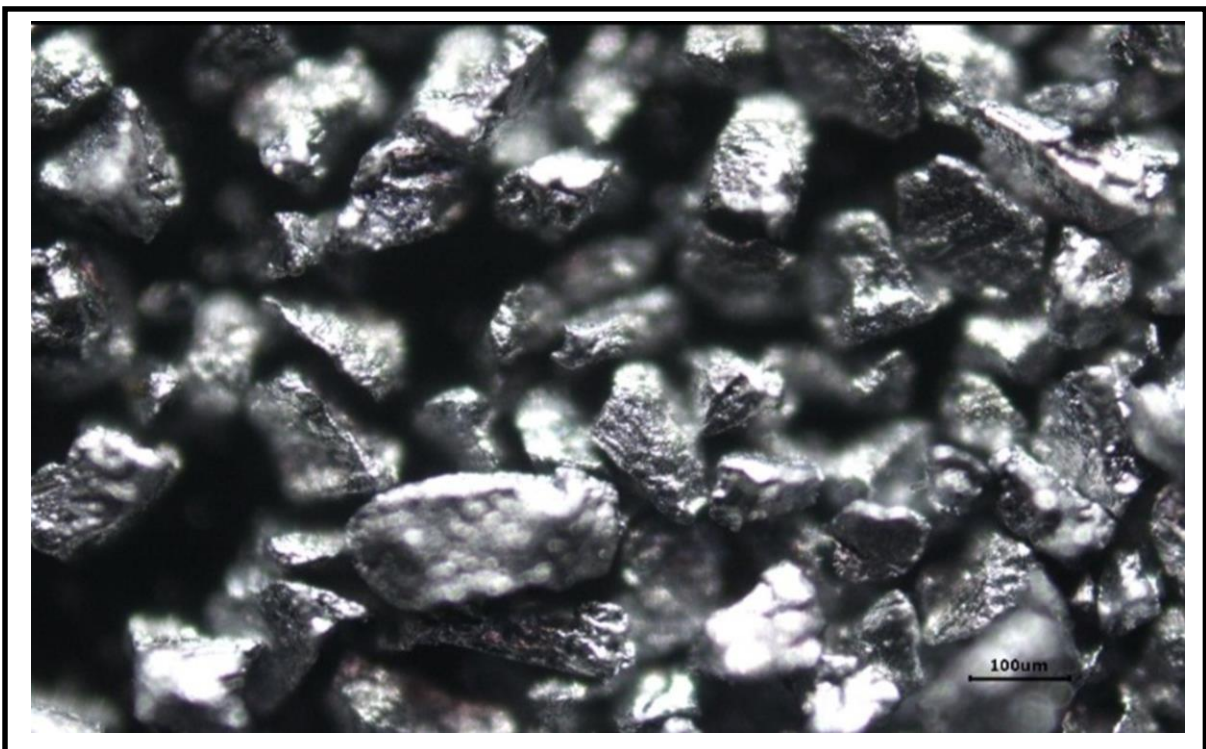


Figure II.3 : Grains de poudre Cr au microscope optique.

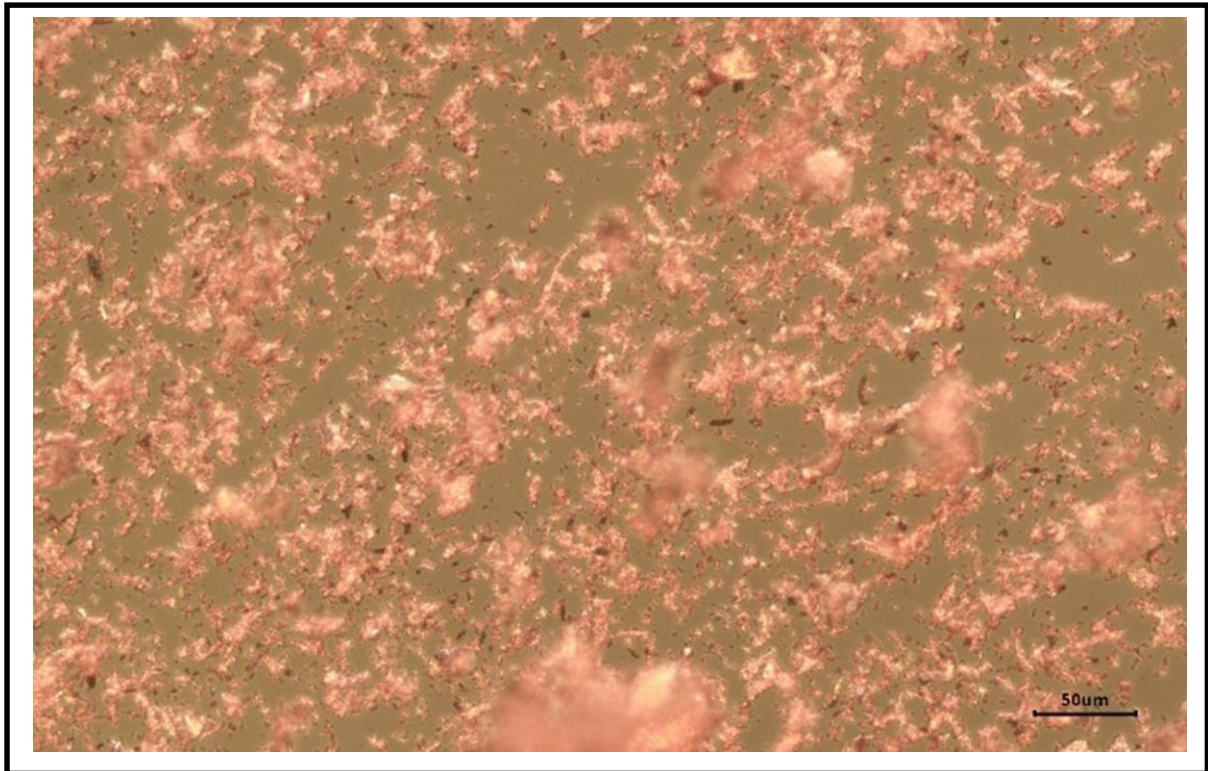


Figure II.4 : Grains de poudre Cu au microscope optique.

- La morphologie de poudre de chrome est de forme irrégulière.
- La morphologie de poudre de cuivre est de forme irrégulière.

La taille et la forme des particules jouent un rôle très important sur les résultats de frittage et la nature de ces formes est utile lors de l'étape de compactage.

II. 3 Elaboration d'alliage (Cr/Cu)

II.3.1 Mélange de poudre

Le mélange est une étape fondamentale dans la préparation d'une poudre composée de plusieurs constituants. Nous allons maintenant réaliser des échantillons d'alliage de poudre (Cr/Cu), afin de procéder à une étude comparative entre celle-ci. Pour commencer nous allons réaliser des pastilles par des mélanges différents des deux poudres (Cr/Cu) pendant 10 minutes, représentées dans le tableau suivant.

Tableau II.1 : différents mélanges de poudre.

Échantillon	Pourcentage poudre de Cr	Pourcentage poudre de Cu
1	100%	0%
2	0%	100%
3	50%	50%
4	12,5%	87,5%
5	35,5%	64,5%

Nous avons donc bien mélangé nos poudres dans des récipients différents, ensuite, nous avons passé à l'étape de compression et frittage de nos pastilles.

II.3.2 La préparation des pastilles

Avant de commencer à peser la poudre, nous calculons la masse de chacune d'elles en fonction du pourcentage précédemment donné. Sachant que chaque comprimé perforé contient 0,82 g. Ici dans le tableau suivant (Tableau II.1).

On a la relation suivante :

Voici dans le tableau qui suit les différents mélanges en fonction de leurs poids.

Tableau II. 2 : différents mélanges en fonction de leurs poids.

Poudre	Échantillon 1 (Cu 100%)	Échantillon 2 (Cu100%)	Échantillon 3 (Cu50%, Cr50%)	Échantillon 4 (Cu87.5%, Cr12.5%)	Échantillon 5 (Cu64.5%, Cr35.5%)
Cr(g)	0.82g	0g	0.41g	0.102g	0.291g
Cu(g)	0g	0.82g	0.41g	0.717g	0.529g

Pour chaque échantillon, nous avons préparé à la machine une pastille compression. Nous remplissons donc de petites préformes (moules) avec chaque échantillon avant de les mettre dans la presse. Voici les photos suivantes de la machine utilisée :



Figure II.5 : Moules à pastilles utilisé.

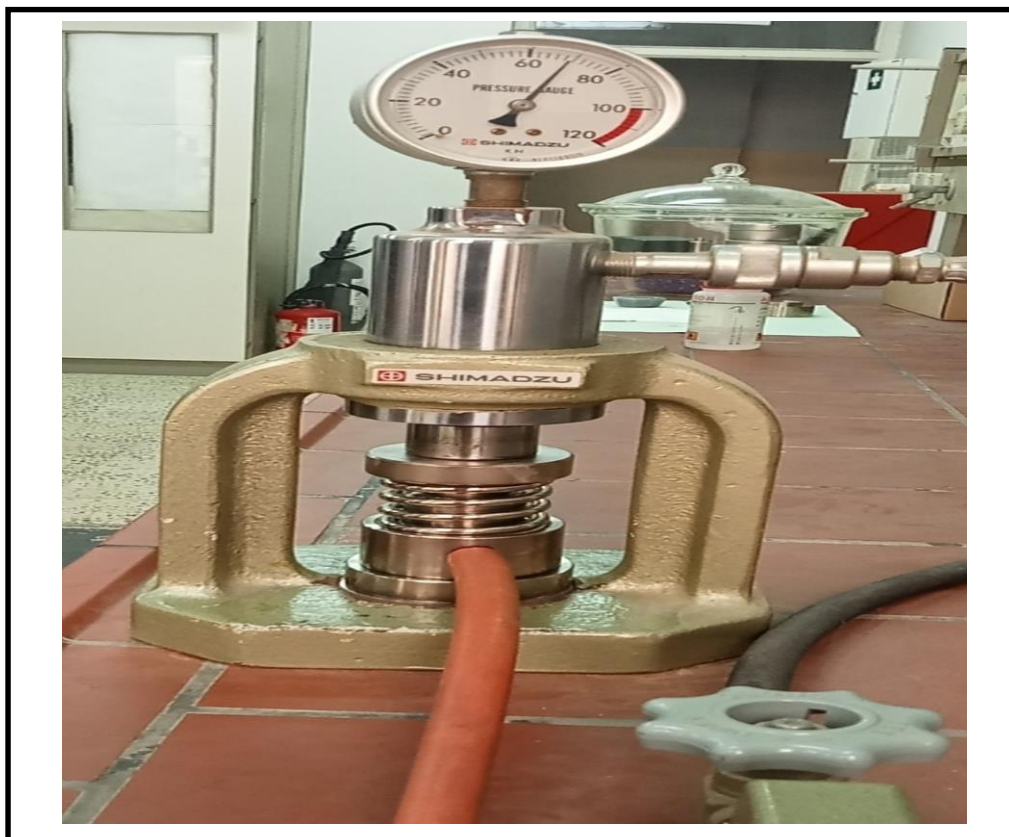


Figure II.6 : Presse de laboratoire.

Une fois les moules sont mis dans la presse hydraulique manuelles, nous avons compressé à 70 (KN), pendant deux minute (t=2min) a froid. Après la compression nous avons finis par avoir des pastilles avec déférente épaisseurs.

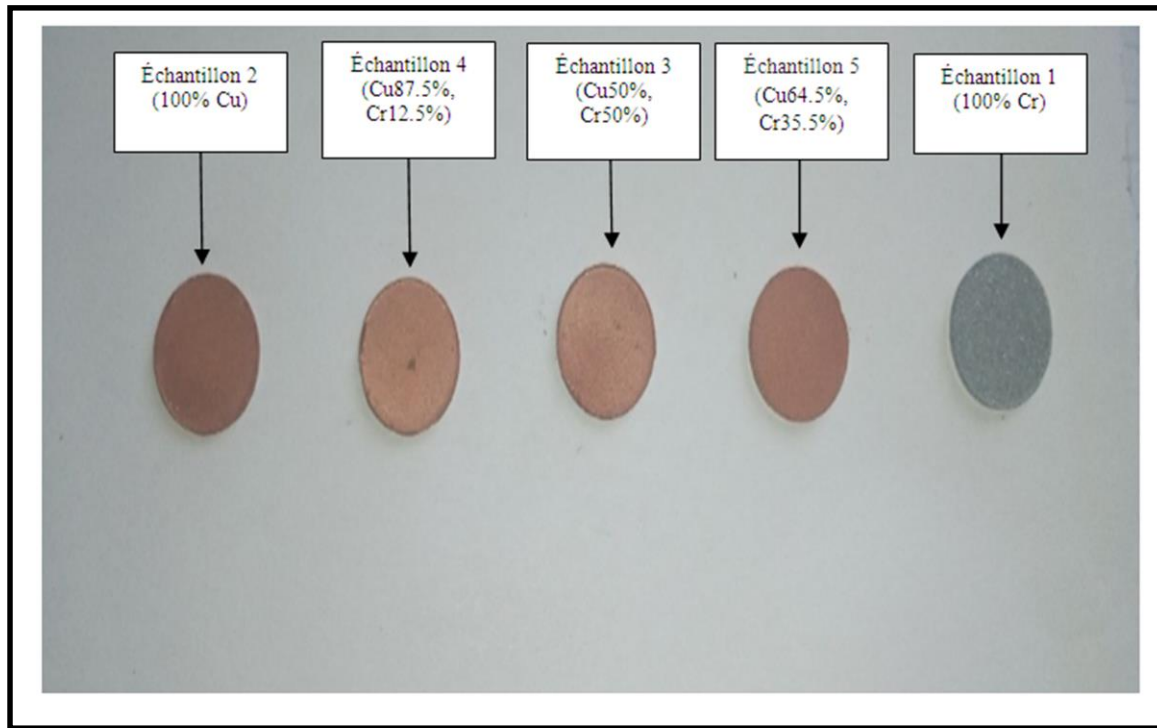


Figure II.7 : les pastilles après le processus de compression.

II.3.3 Frittage des pastilles

La température de frittage est un élément essentiel dans on ne peut se passer et pour commencer à la calculée nous devons avoir la température de fusion des deux éléments (Cr/Cu).

- Dans l'état mélange : la température de frittage s'effectue à une température inférieure de $\frac{2}{3}$ de celle de constituantes principales.

$$T_{ch} = \frac{2}{3} \cdot T_{fusion} \dots \dots \dots (II.1)$$

- Dans l'état pur : la température de frittage ne dépasse pas la température de fusion.

$$T_{ch} = \frac{1}{4} \cdot T_{fusion} \dots \dots \dots (II.2)$$

T_{ch} : Température de chauffage.

$T_{fusion} (^{\circ}C)$: La température de fusion de constituant principale.

Le tableau suivant représente les températures de chauffages nécessaires pour chaque échantillon.

Tableau II.3 : les températures de chauffages des pastilles dans l'état mélange (Cr/Cu)

Poudre	Échantillon 3 (Cu50%, Cr50)	Échantillon 4 (Cu87.5%, Cr12.5)	Échantillon 5 (Cu64.5%, Cr35.5%)
Le constituant principal	Cu	Cu	Cu
$T_{fusion} (^{\circ}C)$	1083	1083	1083
$T_{ch} (^{\circ}C)$	722	722	722

Tableau II.4: les températures de chauffages des pastilles dans l'état pur (Cr/Cu)

Poudre	Échantillon 1(Cr100%)	Échantillon 2(Cu100%)
Le constituant principal	Cr	Cu
$T_{fusion} (^{\circ}C)$	1083	1875
$T_{ch} (^{\circ}C)$	270,75	468,75

$T_{fusions} (Cr) = 1875^{\circ}C$.

$T_{fusions} (Cu) = 1083^{\circ}C$.

$T_{fusions}(Cr) > T_{fusion}(Cu)$.

Lorsque nous calculons les températures de chauffage des pastilles, Nous avons mis nos pastilles une par une dans le four, et régler la température en suivant respectivement le tableau précédent, Et enfin maintenir la température maximale 15 min dans le four.

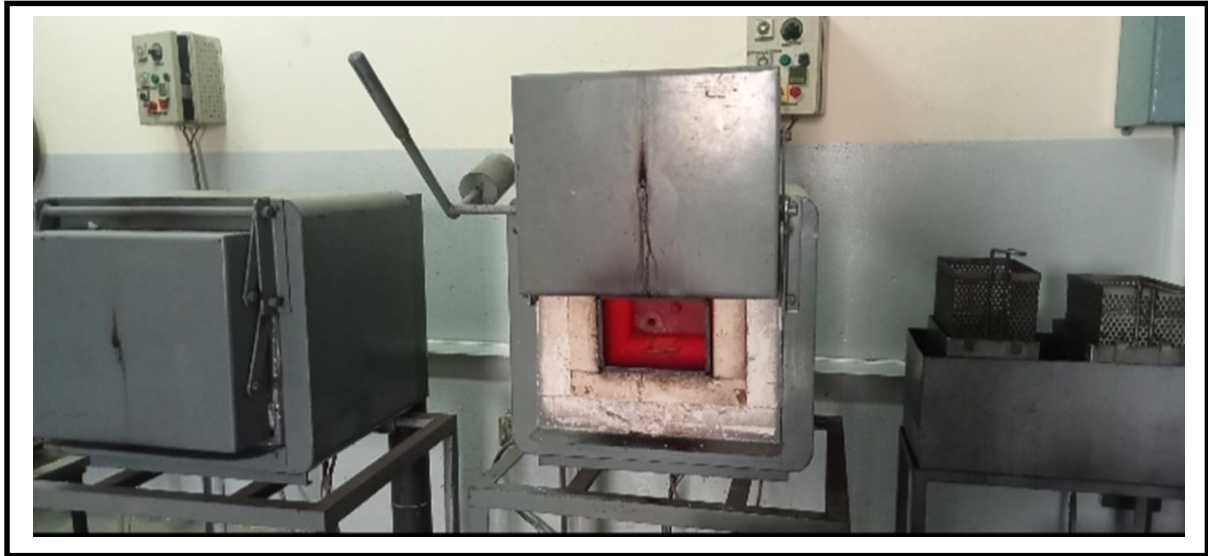


Figure II.8 : Les fours de traitement thermiques.

II.4 Micrographie optique

Il a été utile pour identifier l'emplacement des régions composées des phases (grains) et la porosité et d'observer les échantillons avec un grossissement x10. Le microscope optique présenté sur La (Figure II.9) est utilisé pour identifier l'emplacement de porosité et observer les phases des différents alliages.

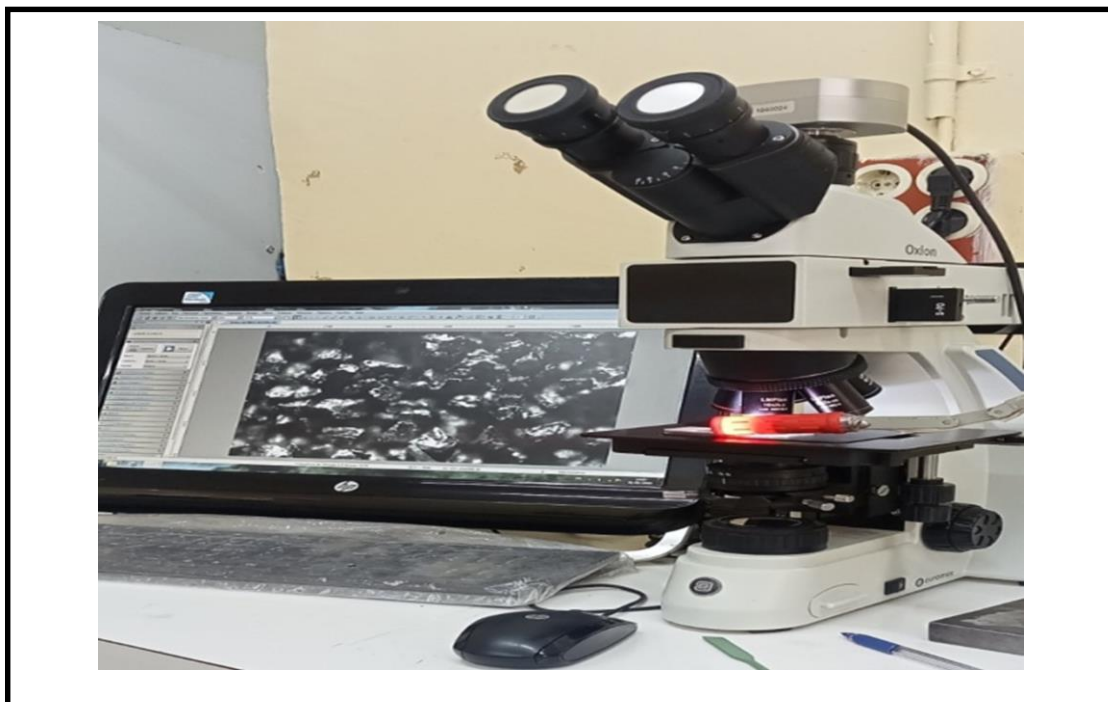


Figure II.9 : Ensemble Micrographique optique

II.5 Test de dureté Vickers

II.5.1 Le principe de l'essai Vickers

Le principe de l'essai de dureté Vickers est le même que celui de l'essai Brinell mais le pénétrateur est ici une pyramide en diamant à base carrée d'angle au sommet 136° . Appliquée avec une charge $F=0.1 \text{ Kgf} = 1 \text{ N}$. On mesure la longueur d moyennes des deux diagonales de l'empreinte, à l'aide d'un système optique approprié. Généralement la gamme des forces utilisables (5 à 100 kgf) permet d'appliquer cette méthode avec toutes les dimensions d'échantillons. En choisissant la force donnant une empreinte telle que la diagonale d doit être inférieure aux deux tiers de l'épaisseur.

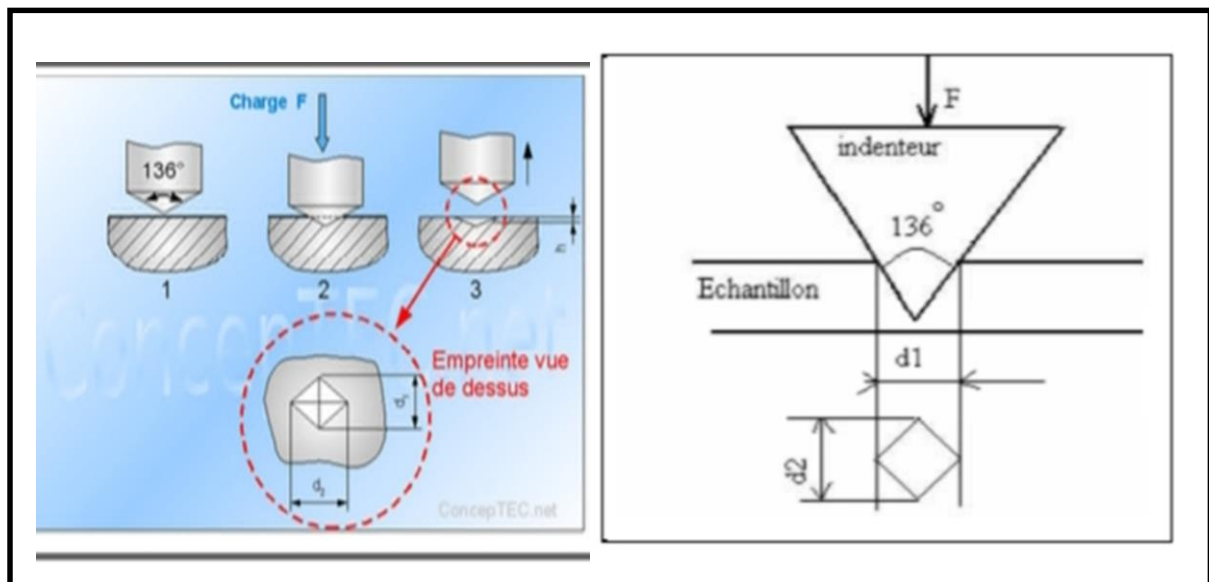


Figure II.10 : Principe de l'essai Vickers.

Nous avons emmené un essai Vickers sur nos échantillon en suivant soigneusement les étapes suivantes :

- Placer l'échantillon sur la platine
- Utiliser le glisser-déposer de la souris pour mettre l'échantillon en position.
- Mettre au point avec la molette.
- Sélectionner la méthode d'essai et la charge.
- Choisir un objectif et un nom de tâche.
- Utiliser la caméra d'observation macro pour positionner le pénétrateur.
- Démarrer l'essai.

La dureté Vickers HV est un nombre proportionnel au rapport $\frac{F}{S}$, où S est la surface de l'empreinte considérée comme pyramide droite.

$$HV = \frac{2F \sin\left(\frac{136^\circ}{2}\right)}{d^2} = \frac{1,854.F}{d^2} \dots\dots\dots (II.3)$$

$$HV = 0,189 \cdot \frac{F}{d^2} \dots\dots\dots (II.4)$$

Avec :

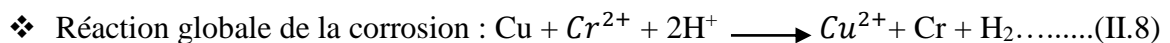
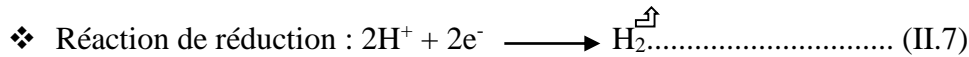
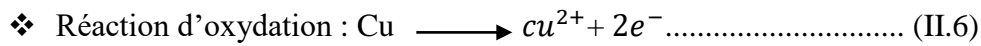
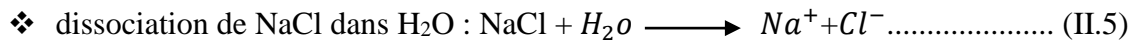
- F = charge d'essai en Newton(N).
- d = diagonale de l'empreinte = $\frac{(d1+d2)}{2}$ en (mm)



Figure II.11 : Test de dureté Vickers.

II.6 Les équations (Cr/Cu)

Les échantillons immergés dans une solution de NaCl sont soumis à des phénomènes de corrosion. Les réactions qui se produisent peuvent être décrites par les équations chimiques suivantes :



II.7 Préparer une solution de NaCl de 250 ml à 3 %

Afin de préparer une solution de 250 ml de chlorure de sodium, NaCl à 3%, nous suivons les étapes suivantes :

- On calcul d'abord la masse de NaCl que l'on veut préparer. On trouve que sa masse est de 7,5 g.
- Dans un appareil volumétrique. Flacon d'une contenance de 250 ml, on met 7,5 g de chlorure de sodium (a).
- Nous ajoutons une petite quantité d'eau distillée, puis fermons la fiole jaugée et agitions bien jusqu'à ce que le solide (b) se dissolve.
- Ensuite, nous ajoutons de l'eau distillée à la solution jusqu'à obtenir un volume de 250 ml (jusqu'à la ligne de mesure) (d et c).

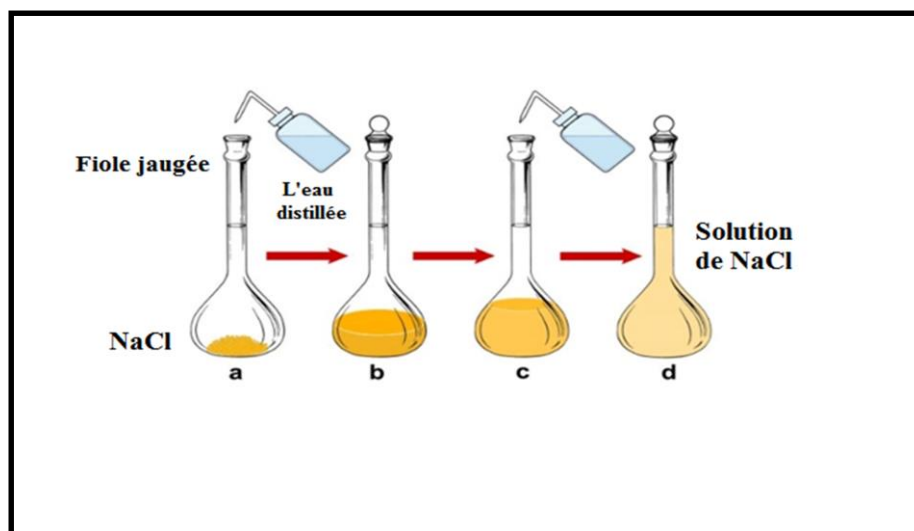


Figure II.12 : Préparer une solution de NaCl.

Après avoir terminé la préparation de la solution de NaCl, nous passons aux étapes suivantes :

- Nous apportons cinq béchers en verre inclus.
- Nous mettons 10 ml de solution de NaCl dans chaque bécher.
- Nous nettoyons les échantillons que nous voulons mettre à l'intérieur de la solution de NaCl avec de l'éthanol.
- Nous les laissons sécher pendant environ 10 minutes et les plaçons dans la solution pendant 7 jours.
- Nous mettons des échantillons préalablement préparés à l'intérieur des béchers.
- Après une semaine, nous retirons les échantillons et les nettoyons bien avec de l'éthanol.
- Nous pesons les échantillons, puis reconstituons les solutions avec du NaCl à nouveau.
- Nous suivons les mêmes étapes pendant 21 jours.



Figure II.13 : Les échantillons émergés dans la solution NaCl, avant la corrosion.

II.8 Conclusion

Ce chapitre nous a permis de connaître les procédures expérimentales qu'il faut entamées pour caractériser nos poudres. Tout d'abord, la préparation des pastilles, ensuite le choix des températures et le procédé de frittage ainsi que le test de dureté Vickers. Nous avons aussi étudié le comportement du cuivre en milieu NaCl 3%. Tout ceci nous a permis de découvrir quelques caractéristiques physico-chimiques de nos échantillons.

Chapitre III

Résultat et discussion

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons tous les résultats expérimentaux. D'abord, ceux du micrographe optique avant et après le frittage des alliages (Cr/Cu). Ensuite, nous discutons les résultats de test de la dureté Vickers. Enfin, nous étudions les résultats de la corrosion des alliages (Cr/Cu).

III.2 Discussions sur les résultats de frittages

III.2.1 Micrographe optique avant frittage des alliages (Cr/Cu)

À la fin du processus de compression, nous avons pris des images au microscope optique pour les différentes pastilles. Nous remarquons des grains dispersés, non soudés avec la présence de porosités.

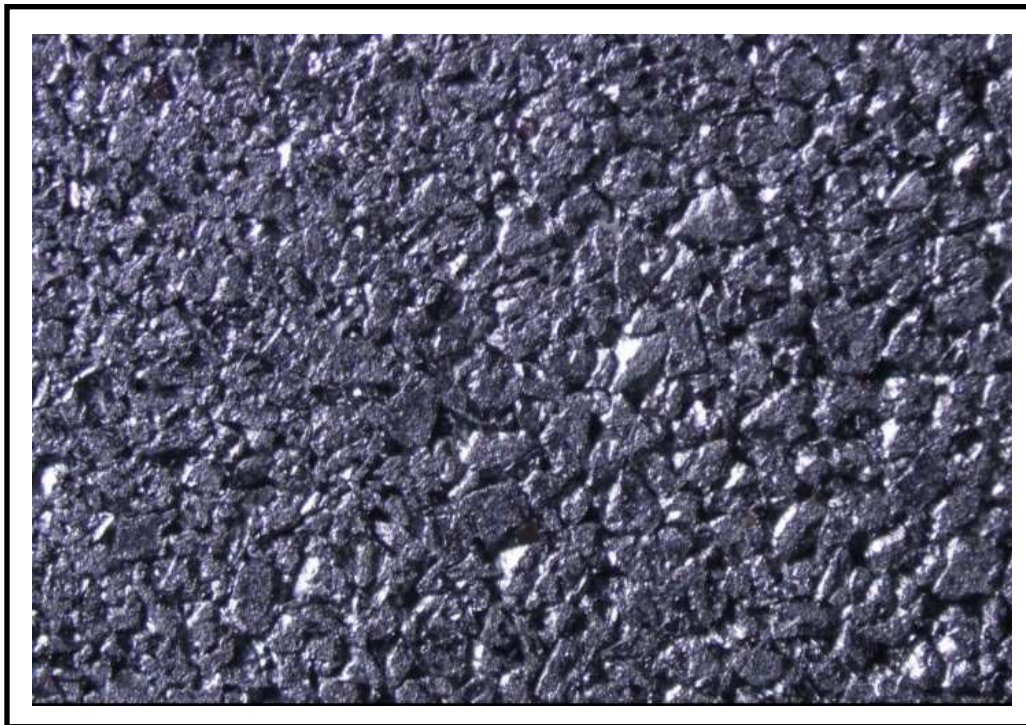


Figure III.1 : Image de l'échantillon 1(100%Cr) avant le frittage.

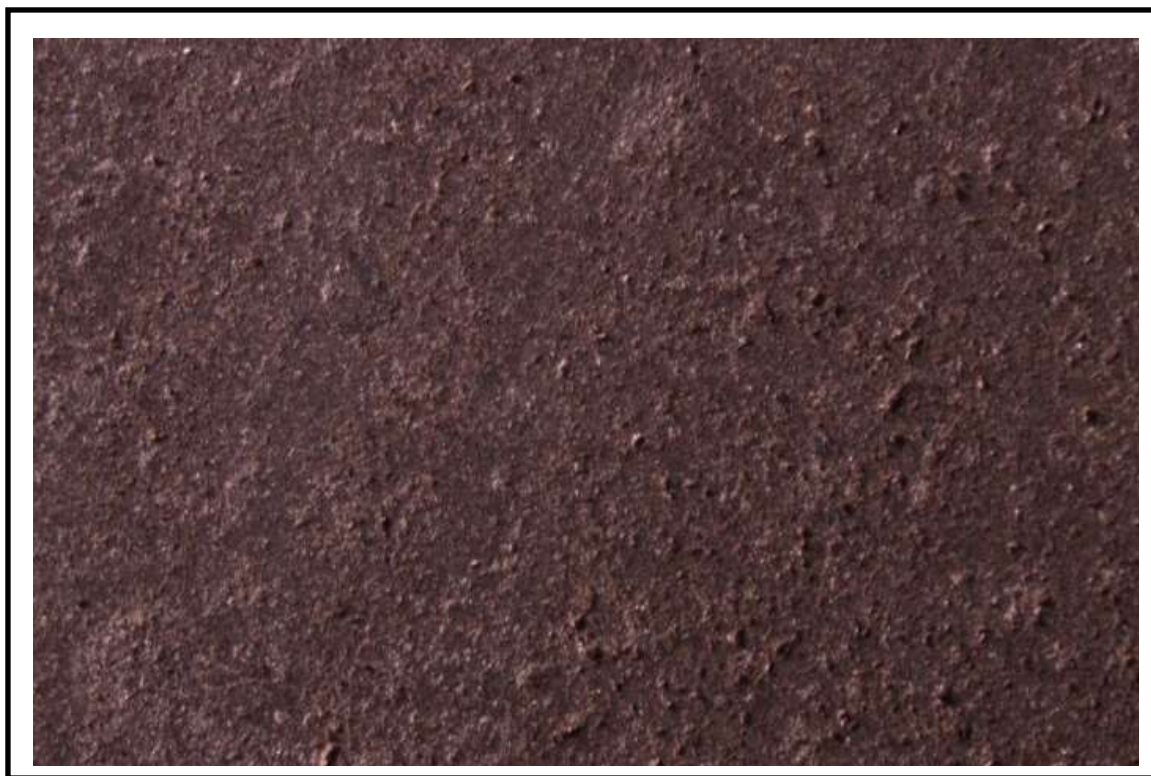


Figure III.2 : Image de l'échantillon 2 (100%Cu) avant le frittage.

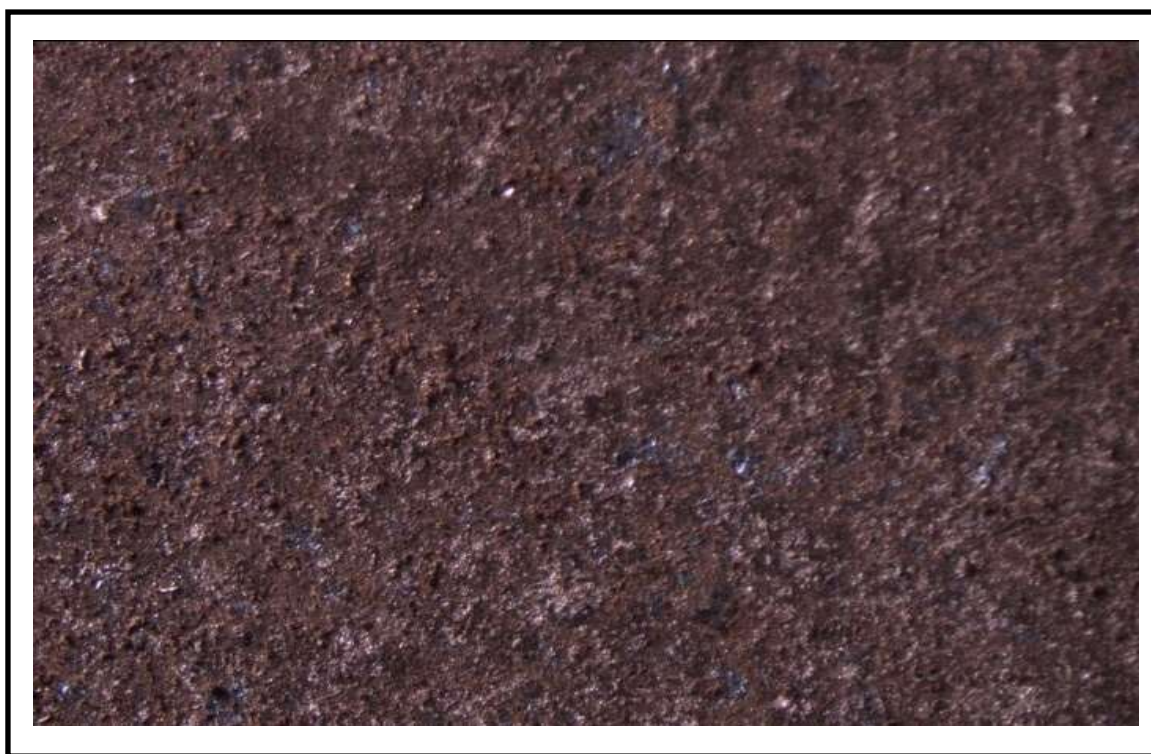


Figure III.3 : Image de l'échantillon 3 (50%Cr et 50%Cu) avant le frittage.



Figure III.4 : Image de l'échantillon 4 (12.5%Cr et 87.5%Cu) avant le frittage.



Figure III.5 : Image de l'échantillon 5 (35.5%Cr et 64.5%Cu) avant le frittage.

Avant de passer à l'observation micrographique des pastilles après frittage, les surfaces doivent être polies légèrement aux papiers abrasifs de finition (1500).

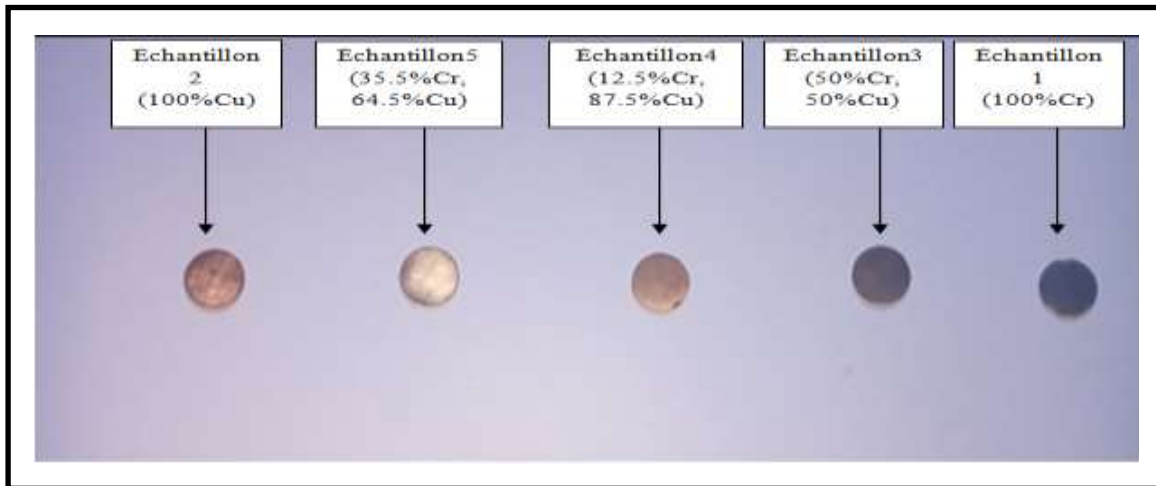


Figure III.6 : Les pastilles obtenues après le frittage.

III.2.3 Micrographes optique après frittage des alliages (Cr/Cu)

Les images ci-dessous nous montrent l'état de surface des pastilles après frittage. Nous remarquons une cohésion des grains et diminutions du taux de porosité par rapport aux images prises avant frittage.



Figure III.7 : Image de l'échantillon 1 (100%Cr) après le frittage.



Figure III.8 : Image de l'échantillon 2 (100%Cu) après le frittage.



Figure III.9 : Image de l'échantillon 3 (50%Cr et 50%Cu) après le frittage.



Figure III.10 : Image de l'échantillon 4 (12.5%Cr et 87.5%Cu) après le frittage.

La pastille (12.5%Cr, 87.5%Cu), on remarque une distribution homogène des grains de Cu dans la matrice de Cr.



Figure III.11 : Image de l'échantillon 5 (35.5%Cr et 64.5%Cu) après le frittage.

III.3 Discussions sur les résultats test de dureté Vickers

Les micrographies suivantes nous montrent les empreintes après le test de dureté Vickers que nous avons effectué sous une charge de 100g ($HV_{0.1}$).

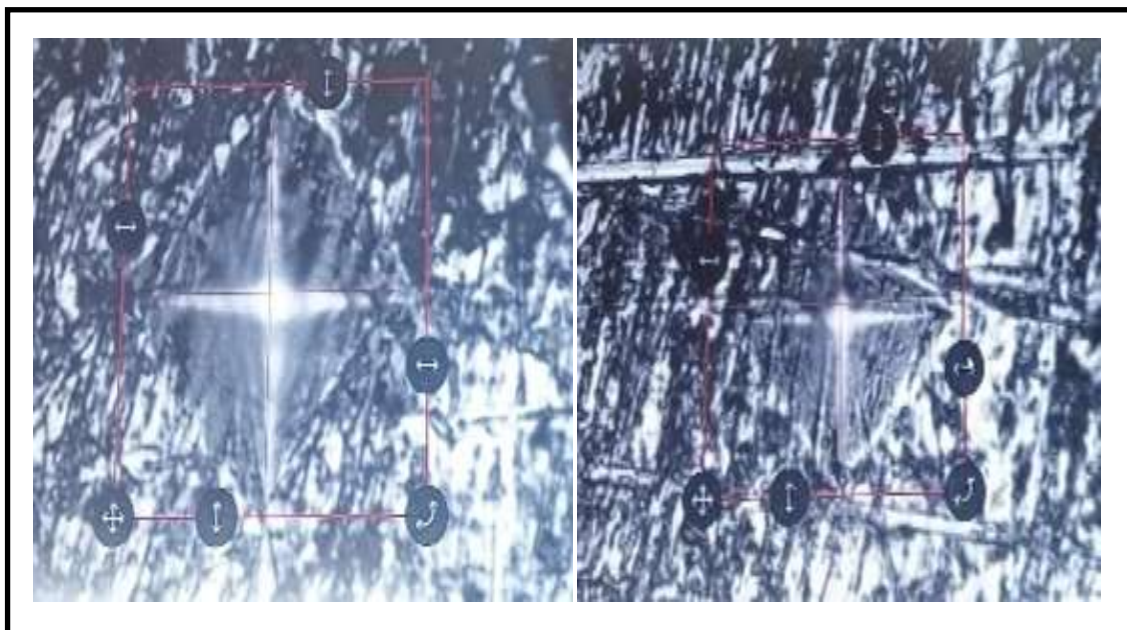


Figure III.12 : Image de l'échantillon 1 (100%Cr) après test Vickers.

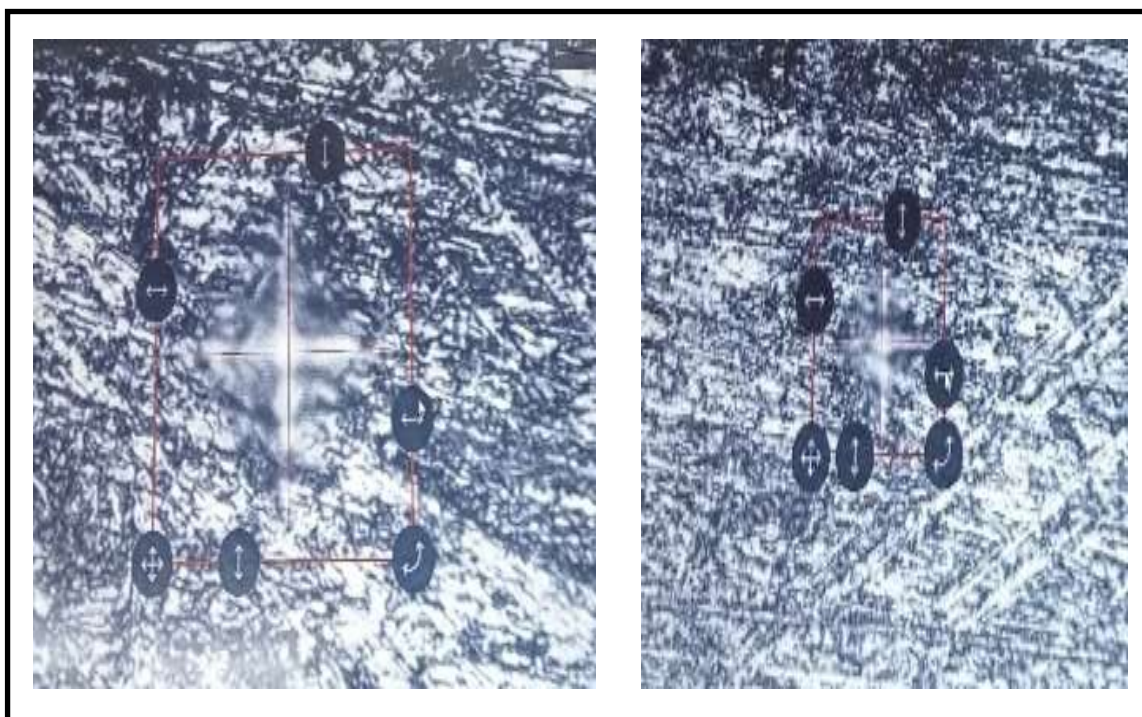


Figure III.13 : Image de l'échantillon 2 (100%Cu) après test Vickers.

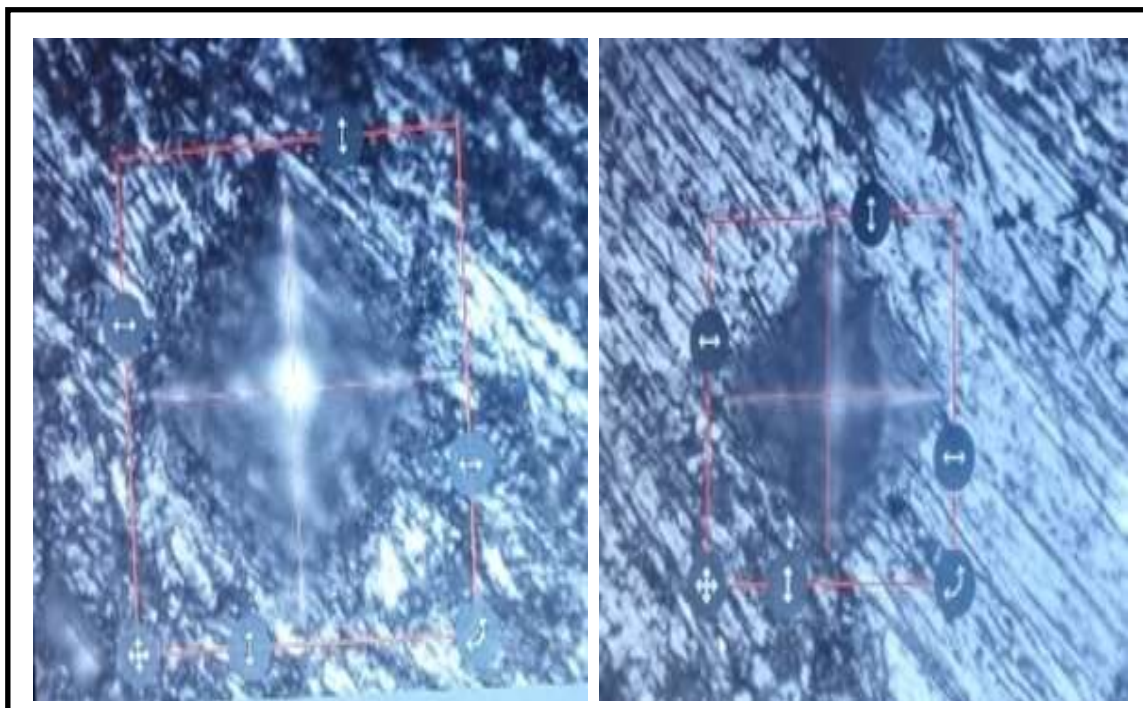


Figure III.14 : Image de l'échantillon 3 (50%Cr, 50%Cu) après test Vickers.

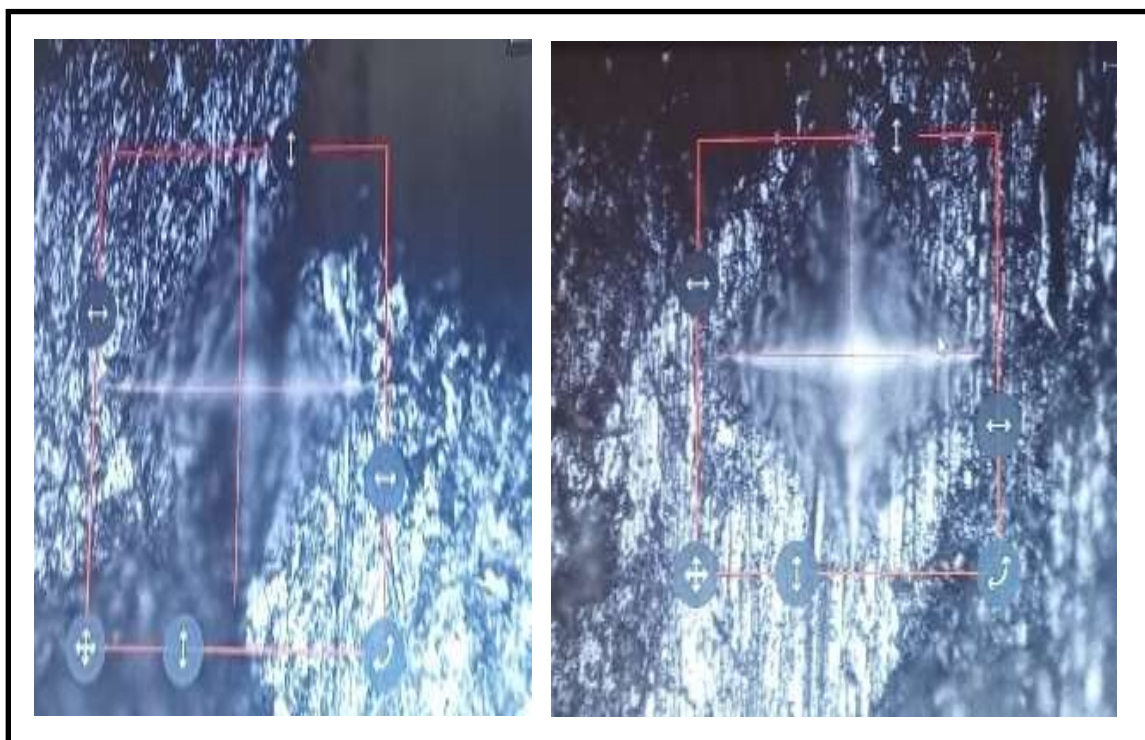


Figure III.15 : Image de l'échantillon 4 (12.5%Cr, 87.5%Cu) après test Vickers.

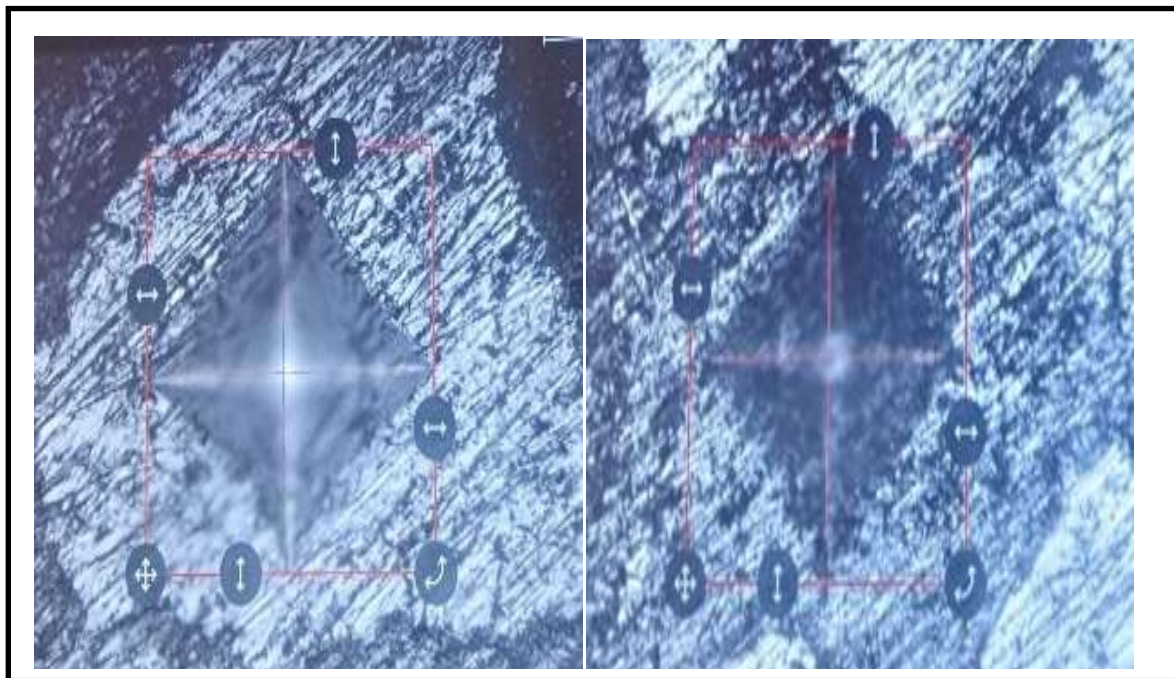


Figure III.16 : Image de l'échantillon 5 (35.5%Cr, 64.5%Cu) après test Vickers.

Les résultats des essais de nos tests de dureté Vickers sont rassemblés dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : Les résultats des essais de dureté Vickers

Échantillon	Nombre d'essai	Dureté Vickers	Moyenne
Échantillon 1 (100%Cr)	Essai 1	169HV : $d_1=33,26 \mu\text{m}$; $d_2=32,93 \mu\text{m}$	192,5 HV
	Essai 2	216HV : $d_1=28,77 \mu\text{m}$; $d_2=29,79\mu\text{m}$	
Échantillon 2 (100%Cu)	Essai 1	117HV : $d_1=39,83 \mu\text{m}$; $d_2=39,77 \mu\text{m}$	119,5 HV
	Essai 2	122HV : $d_1=39.41 \mu\text{m}$; $d_2=38,66 \mu\text{m}$	
Échantillon	Essai 1	143HV : $d_1=37,79 \mu\text{m}$;	

3 (50%Cr, 50%Cu)		$d_2 = 34,23 \mu\text{m}$	128 HV
	Essai 2	113HV : $d_1 = 41,58 \mu\text{m}$; $d_2 = 39,55 \mu\text{m}$	
Échantillon 4 (12.5%Cr, 87.5%Cu)	Essai 1	128HV : $d_1 = 85,23 \mu\text{m}$; $d_2 = 84,67 \mu\text{m}$	141 HV
	Essai 2	154HV : $d_1 = 79,20 \mu\text{m}$; $d_2 = 78,18 \mu\text{m}$	
Échantillon 5 (35.5%Cr, 64.5%Cu)	Essai 1	151HV : $d_1 = 79,34 \mu\text{m}$; $d_2 = 77,51 \mu\text{m}$	109.85 HV
	Essai 2	68,7HV : $d_1 = 118,75 \mu\text{m}$; $d_2 = 113,56 \mu\text{m}$	

d_1 et d_2 sont les longueurs des deux diagonales de l'empreinte.

L'histogramme ci-dessous présente l'ensemble des résultats de la dureté Vickers des différents échantillons.

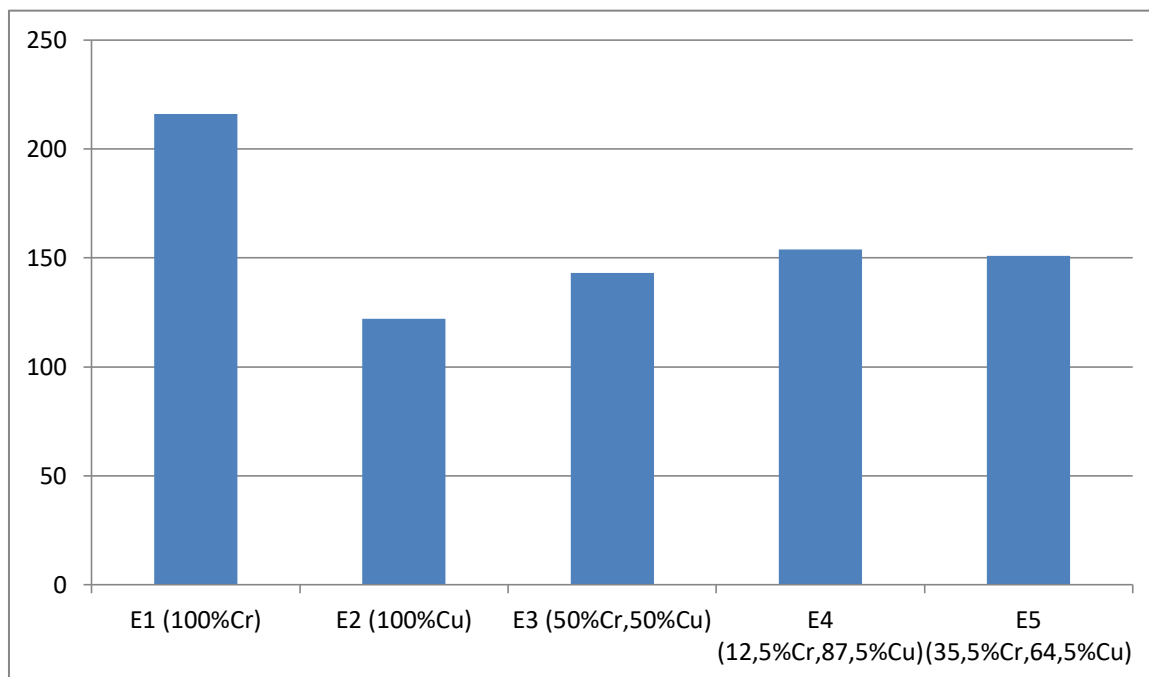


Figure III.17 : Résultat de dureté Vickers de nos pastilles.

Après avoir réalisé le test Vickers, nous remarquons que l'échantillon 1 (100%Cr) présente une meilleure dureté Vickers (192,5HV) par rapport aux autres échantillons. Suivi par l'échantillon 4 (12.5%Cr, 87.5%Cu) qui présente une dureté Vickers (141HV), cela peut être expliqué par le fait que la matrice en Cu est renforcée par des particules de Cr. Cette forte dureté est due au phénomène de concentration de contraintes causées par l'introduction des particules de Cr. Nous remarquons aussi que l'échantillon 3 (50%Cr, 50%Cu) présente aussi une dureté relativement élevée (128HV). La même explication peut être appliquée à ce résultat. Par contre, les deux autres échantillons 2 (100%Cu) et 5 (35.5%Cr, 64.5%Cu), nous remarquons une faible dureté comparativement aux autres échantillons. Cela est dû à la ductilité du cuivre.

III.4 Étude de perte de masse des intermétalliques (Cr/Cu)

La méthode de la masse perdue pour surveiller le taux de corrosion en raison de sa simplicité d'application et de sa fiabilité. L'objectif de cette méthode est de déterminer et de comparer la masse des échantillons dans un milieu NaCl à 3%. Nous avons utilisé les alliages Cu et Cr plongé dans le même milieu (NaCl à 3%). La masse est déterminée après chaque 7 jours d'immersion, à une température ambiante à l'air atmosphérique pendant 21 jours.



Figure III.18 : Les échantillons émergés dans la solution NaCl, après la corrosion.

Nous remarquons un changement de couleur des solutions vers le vert, ce qui témoigne de la corrosion du cuivre. La solution qui n'a pas changé de couleur était la solution qui contenait l'échantillon 1 (100%Cr), tandis que la solution qui avait le plus de couleur était la solution qui contenait l'échantillon 3 (50%Cr, 50%Cu). Echantillon 4 (12.5%Cr, 87.5%Cu) n'a pas changé de couleur de manière significative. On constate aussi une diminution de la quantité de solution NaCl, ce qui témoigne de son interaction avec le milieu extérieur. Nous remarquons un changement de couleur des échantillons car ils ont été exposés à la rouille. Le plus exposé à la rouille était l'échantillon 3 (50%Cr, 50%Cu). Après avoir mesuré la masse des échantillons, on constate une diminution de celle-ci, ce qui témoigne de sa corrosion. L'échantillon qui a perdu une grande quantité de masse était l'échantillon 3 (50%Cr, 50%Cu), tandis que l'échantillon qui n'a pas perdu de masse était l'échantillon 4 (12.5%Cr, 87.5%Cu).

- pH = 5.
- Conductivité électrique = $33,4 \left(\frac{mS}{cm}\right)$.
- Température = 28 °C.

La valeur de perte de masse est donnée par la relation suivante :

$$\Delta m = m_0 - m_f \dots\dots\dots(III.1)$$

Le tableau suivant représente la perte de masse des alliages Cu et Cr plongés dans une solution NaCl à 3% :

Tableau III.2 : Perte de masse des intermétalliques (Cu/Cr) plongés dans une solution NaCl à 3%, pH = 5, T = 28°C.

Échantillon	m_0	m_1	m_2	m_3	$\frac{\Delta m_1}{m_0}$	$\frac{\Delta m_2}{m_0}$	$\frac{\Delta m_3}{m_0}$
Échantillon1 (100%Cr)	0,7508	0,7492	0,7432	0,7410	0,00213	0,00800	0,00296
Échantillon2 (100%Cu)	0,7307	0,7290	0,7274	0,7259	0,00233	0,00219	0,00206
Échantillon3 (50%Cr, 50%Cu)	0,7689	0,7655	0,7564	0,7382	0,00442	0,0119	0,0241
Échantillon4 (12.5%Cr, 87.5%Cu)	0,7004	0,6986	0,6861	0,6842	0,00257	0,0179	0,00277
Échantillon5 (35.5%Cr, 64.5%Cu)	0,7247	0,7242	0,7218	0,7180	0,00069	0,00331	0,00526

La figure ci-dessous représente la perte de masse relative $\frac{\Delta m}{m_0}$ de l'alliage Cr/Cu plongés dans une solution NaCl à 3% pendant 3 semaines.

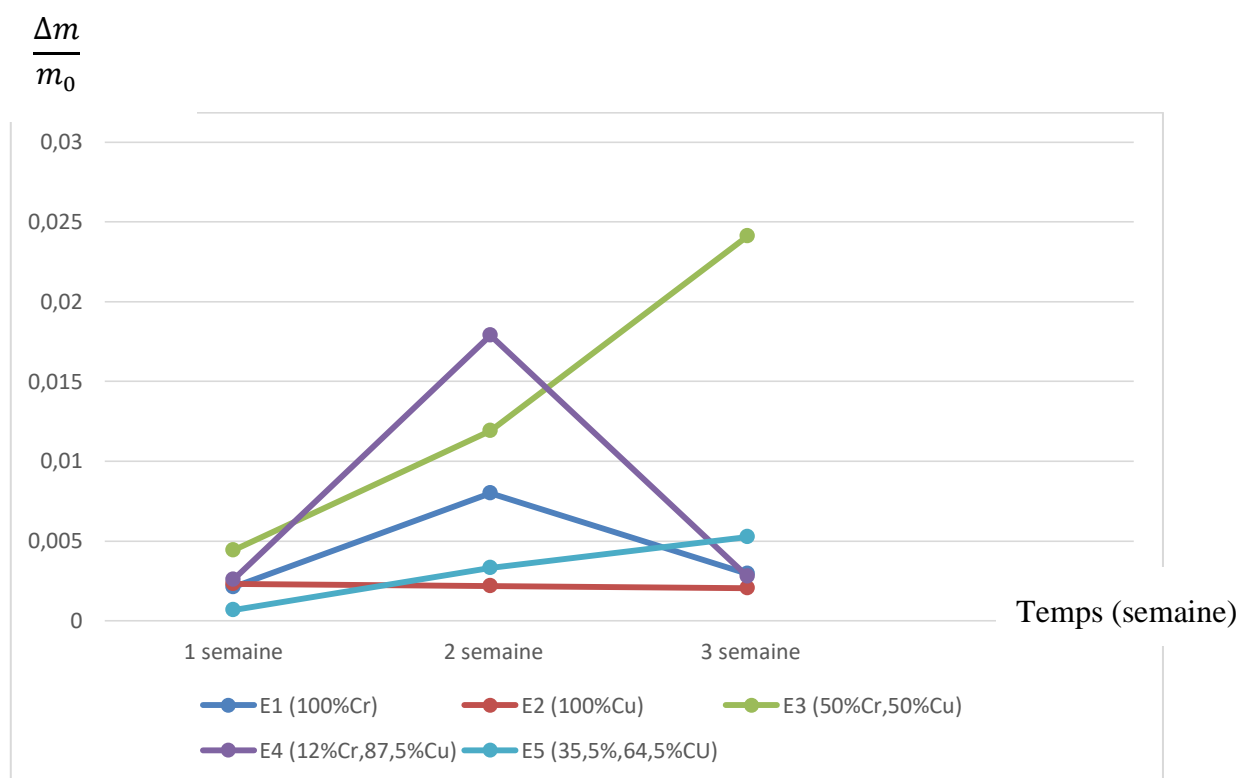


Figure III.19 : Résultat de perte de masse relative de l'alliage (Cr /Cu).

- Échantillon1 (100%Cr): Augmentation jusqu'à la deuxième semaine, perte de masse augmente à partir de la deuxième semaine jusqu'à la troisième semaine, nous remarquons une diminution de cette perte de masse. Cette diminution est due probablement à la formation d'une couche protectrice de type Cr_2O_3 .
- Échantillon2 (100%Cu): corrosion uniforme stationnaire.
- Échantillon3 (50%Cr, 50%Cu): augmentation de la perte de masse, la vitesse de la corrosion jusqu'à la deuxième semaine est inférieure à celle de la deuxième jusqu'à la troisième semaine.
- Échantillon4 (12.5%Cr, 87.5%Cu): Augmentation jusqu'à la deuxième semaine, perte de masse augmente à partir de la deuxième semaine jusqu'à la troisième semaine, nous remarquons une diminution de cette perte de masse. Cette diminution est due probablement à la formation d'une couche protectrice de type Cr_2O_3 .
- Échantillon5 (35.5%Cr, 64.5%Cu): augmentation uniforme de la perte de masse.

Conclusion

Ce chapitre nous a permis de voir de près la morphologie des pastilles élaborées après frittage, et de constater la différence entre les morphologies des alliages Cu et Cr. Le frittage nous a permis de réaliser des changements, par action de chaleur, de la microstructure et la composition qui déterminent les propriétés physique et mécaniques des alliages Cu et Cr. Le test de dureté Vickers nous a permis de voir l'influence du Cr à forte teneur dans les pastilles. Et grâce à la corrosion, nous avons étudié la perte de masse de nos échantillons. Cet ensemble de tests nous ont permis de déterminer l'échantillon le mieux adapté à la création d'alliage Cr/Cu, avec des propriétés physico-chimiques améliorées.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le but de notre étude était d'élaborer des pastilles en poudres (Cr/Cu) par la métallurgie des poudres, contrairement aux méthodes conventionnelles d'élaboration des alliages par fonderie ; comprendre leur morphologie et solidification lors du frittage.

Ce travail nous a permis de conclure les points suivants :

- À la fin du processus de compression, et grâce aux images de microscope optique des différentes pastilles, nous remarquons des grains dispersés, non soudés avec la présence de porosités.
- Après le frittage, nous remarquons une cohésion des grains et diminutions du taux de porosité par rapport aux images prises avant frittage.
- La pastille 4 (12.5%Cr, 87.5%Cu), on remarque une distribution homogène des grains de Cu dans la matrice de Cr.
- La pastille 3 (Cr50%, Cu50%) et la pastille 5 (Cr 35,5%, 64,5% Cu) sont formées d'îlots denses parce qu'il y a une formation des ponts entre les deux constituants au fur et à mesure que le frittage se produit, c'est pour cela qu'on observe une croissance des grains.
- Concernant le test Vickers, nous remarquons que l'échantillon 4 (12.5%Cr, 87.5%Cu) présente une dureté Vickers élevée (141 HV), cela peut être expliqué par le fait que la matrice en Cu est renforcée par des particules de Cr. Nous remarquons aussi que l'échantillon 3 (50%Cr, 50%Cu) présente aussi une dureté relativement élevée (128 HV). Contrairement à l'échantillon 5 (35.5%Cr, 64.5%Cu) qui présente une faible dureté (109,85 HV).
- Après le test de la corrosion, il s'est produit un changement de couleur des solutions vers le vert. On constate aussi une diminution de la quantité de solution NaCl, ce qui témoigne de son interaction avec le milieu extérieur. Nous remarquons un changement de couleur des échantillons car ils ont été exposés à la rouille. La solution qui avait le plus de couleur était la solution qui contenait l'échantillon 3 (50%Cr, 50%Cu). L'échantillon 4 (12.5%Cr, 87.5%Cu) n'a pas changé de couleur de manière significative.
- Après avoir mesuré la masse des échantillons, on constate une diminution de celle-ci, ce qui témoigne de sa corrosion. L'échantillon qui a perdu une grande quantité de

masse était l'échantillon 3 (50%Cr, 50%Cu), tandis que l'échantillon qui n'a pas perdu de masse était l'échantillon 4 (12.5%Cr, 87.5%Cu).

En conclusion du travail effectué, les résultats obtenus sont très prometteurs. L'alliage Cr/Cu de pastille 3 offrent des meilleures caractéristiques physico-chimiques, une forte dureté et une meilleure résistance à la corrosion.

Références

- [1] D.Mehl, J. A.Singh , Papaconstantopoulos: Properties of ordered intermetallic alloys: first-principles and approximate methods, M. J.
- [2]K.AoKi,and, O.Izumi,Improvement in Room Temperature Ductility of the L12 Type Intermetallic Compound Ni₃Al by Boron addition .Nippon Kinzoku Gakkaishi.
- [3] Structure-property relations in nonferrous metals. Par Alan M. Russell, Kok Loong Lee.
- [4] N.Stoloff, S.Liu, C.T.and Deevi S.C.Emerging applications of intermetallics, Intermetallics, 2000.
- [5] G.Sauthoff .Multiphase intermetallic alloys for structural plications.Intermetallics,2000.
- [6] The mechanics of solder alloy interconnects Par D.R.Frear,Steve Burchett,Harold S .Morgan,John H .Lau
- [7] A. Redjehta, Etude microstructurale ET mécanique des alliages Cu-Zn frittés sous pression ET par électrodéposition, 2015, pp 12.
- [8] Frédéric Bernard, Eric Gaffet: Intérêt de l'activation mécanique dans la production de poudres nanostructurées par SHS. Laboratoire de recherches sur la réactivité des solides. UMR 5613. CNRS. Université de Bourgogne.
- [9] Didier Bernache-Assollant : Frittage en phase liquide technique de l'ingénieur AF 6621.
- [10] A. FRACHON, Modélisation ET Simulation Numérique de la Compression en Matrice de Poudres Métalliques, thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, septembre 2002.
- [11] Fan Zhi-kang, Liang Shu-hua, and Yang Hong-wang: The effects of Cr on properties of Cu-Cr alloys and bond of W-Cu/CuCr interface [J]. Electric Engineering Alloy, 1999;
- [12] M.Hansen,,K. Anderko, Constitution of binary alloys, New York, Mc Graw-Hill Book Co. Inc., 1958;
- [13]. J.L. Ortiz-Aparicio , Y. Meas , G. Trejo , R. Ortega , T.W. Chapman , E. Chainet b, P. Ozil Electrochimica Acta 52 (2007) 4742–4751.

- [14].E.Gomez, X. Alcobe, E. Vallès Journal of Electroanalytical Chemistry N°505 (2001) pp 54-61.
- [15]: Didier Bernache-Assollant et Jean-Pierre Bonnet: Frittage: Aspects physico- chimique : partie 1 : Frittage en phase solide. AF6620. Techniques de l'ingénieur.
- [16] ARNAUD. NDAYISHIMIYE: Sur UN nouveau procédé de frittage de céramiques à basse température: le frittage hydrothermal. Développement ET approche mécanistique. UNIVERSITÉ DE BORDEAUX. Année 19 décembre 2017.
- [17] S Boudebane, Dpt de Métallurgie et Génie des Matériaux chapitre 1, page 6.
- [18] ARNAUD. NDAYISHIMIYE: Sur un nouveau procédé de frittage de céramiques à basse température: le frittage hydrothermal. Développement ET approche mécanistique. UNIVERSITÉ DE BORDEAUX. Année 19 décembre 2017.
- [19] F. Parhamiet R.M. McMeeking. A network model for initial stage sintering. Mechanic of Materials.1998.
- [20] Didier Bernache-Assollant et Jean-Pierre Bonnet: Frittage : Aspects physico- chimique : partie 2 : Frittage en phase liquide. AF6621. Techniques de l'ingénieur.
- [21] Michel Eudier : fabrication des produits frittés. Technique de l'ingénieur .M864
- [22] S. MAMMERI: Corrosion des solutions solides des alliages Cu-6, 5 % (wt), Ag ET Cu-15 % (wt) qui subissent la précipitation discontinue, UNIVERSITE de CONSTANTINE, 2008.
- [23] M. BOYE, ETUDE DE L'AGRESSIVITE DES SOLS ET DES EAUX DE LA VILLE DE CAYENNE, OFFI(E DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER. T. 1, p. 21. Bordeaux 1962.

Résumé

L'objectif de ce travail est d'élaborer des pastilles en poudres Cr/Cu par la métallurgie des poudres, contrairement aux méthodes conventionnelles d'élaboration des alliages par fonderie, comprendre leur morphologie et solidification lors du frittage.

La poudre sera divisée en 5 échantillons, 3 parmi eux seront un mélange de Cr/Cu, et les deux autres échantillons sont Cr et Cu à l'état pur. Ils seront soumis à une pression afin de les préparer sous forme de pastilles, ces dernières seront traitées par frittage sans dépasser la température de fusion de constituant principale. Ensuite elles seront exposées à la dureté Vickers et à la corrosion afin de déterminer leur tolérance à ces tests. Enfin, ces résultats seront comparés pour extraire l'échantillon le plus tolérant.

Abstract

The objective of this work is to elaborate pellets in Cr/Cu powders by powder metallurgy, contrary to the conventional methods of elaboration of alloys by foundry, to understand their morphology and solidification during sintering. The powder will be divided into 5 samples, 3 of them will be a mixture of Cr/Cu, and the other two samples are pure Cr and Cu. They will be subjected to pressure in order to prepare them in the form of pellets; the latter will be treated by sintering without exceeding the melting temperature of the main constituent. Then they will be exposed to Vickers hardness and corrosion to determine their tolerance to these tests. Finally, these results will be compared to extract the most tolerant sample.