

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

MEMOIRE
PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER
FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE
SPÉCIALITÉ : CONSTRUCTION MÉCANIQUE

PAR:
M^R. AGGOUNE AMAR
M^R. BACHIOUA NADIR

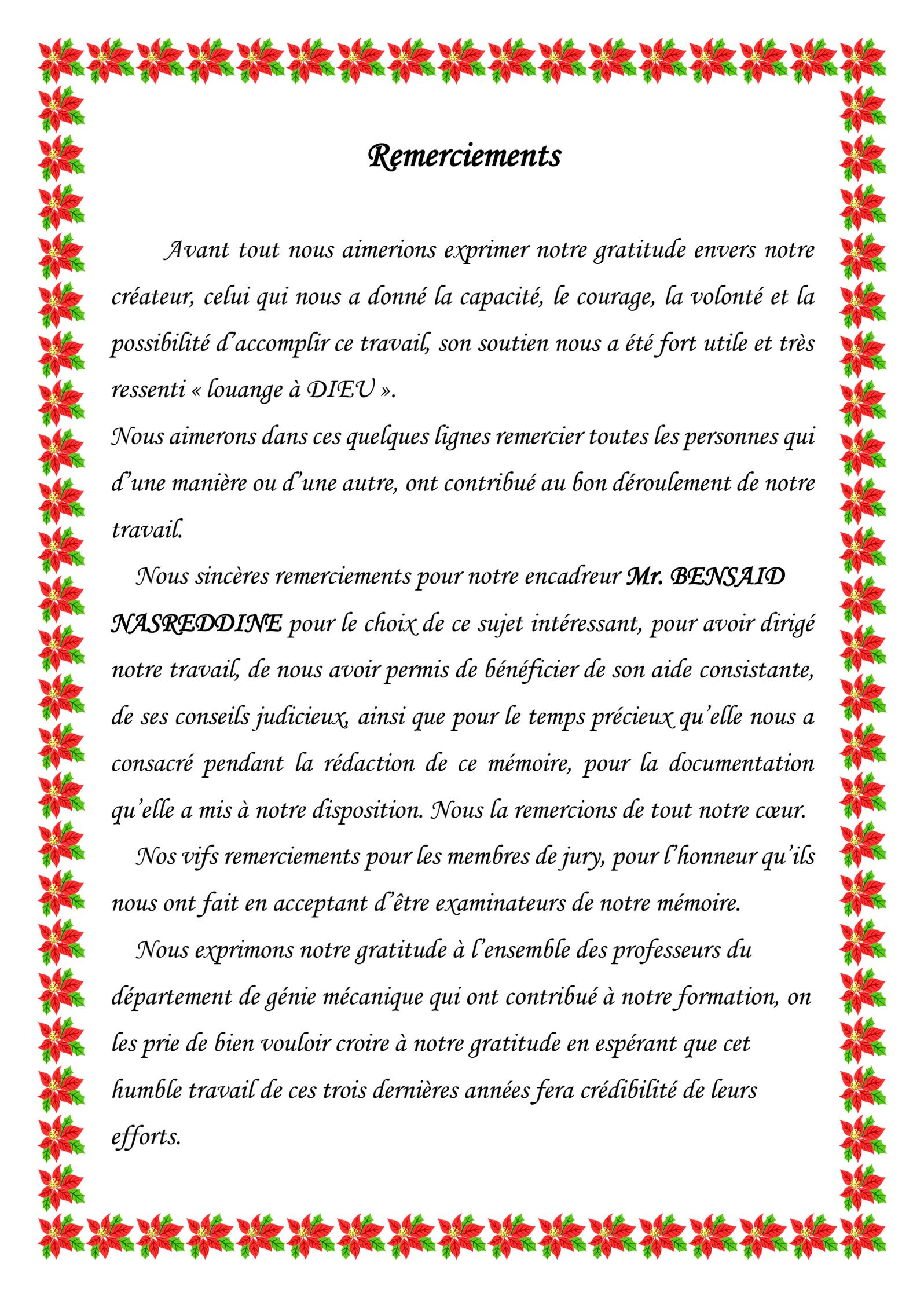
Thème

**CARACTÉRISATION DU ZINC DE « OUED AMIZOUR (TALA HAMZA) »,
POTENTIEL ET PERSPECTIVES.**

SOUTENU LE 20/09/2022 DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE:

MR. BENS Aid	NASREDDINE	ENCADREUR
MR. BOUTAANI	SAID	RAPPORTEUR
MR. HARROUCHE	FATEH	EXAMINATEUR

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2021-2022



Remerciements

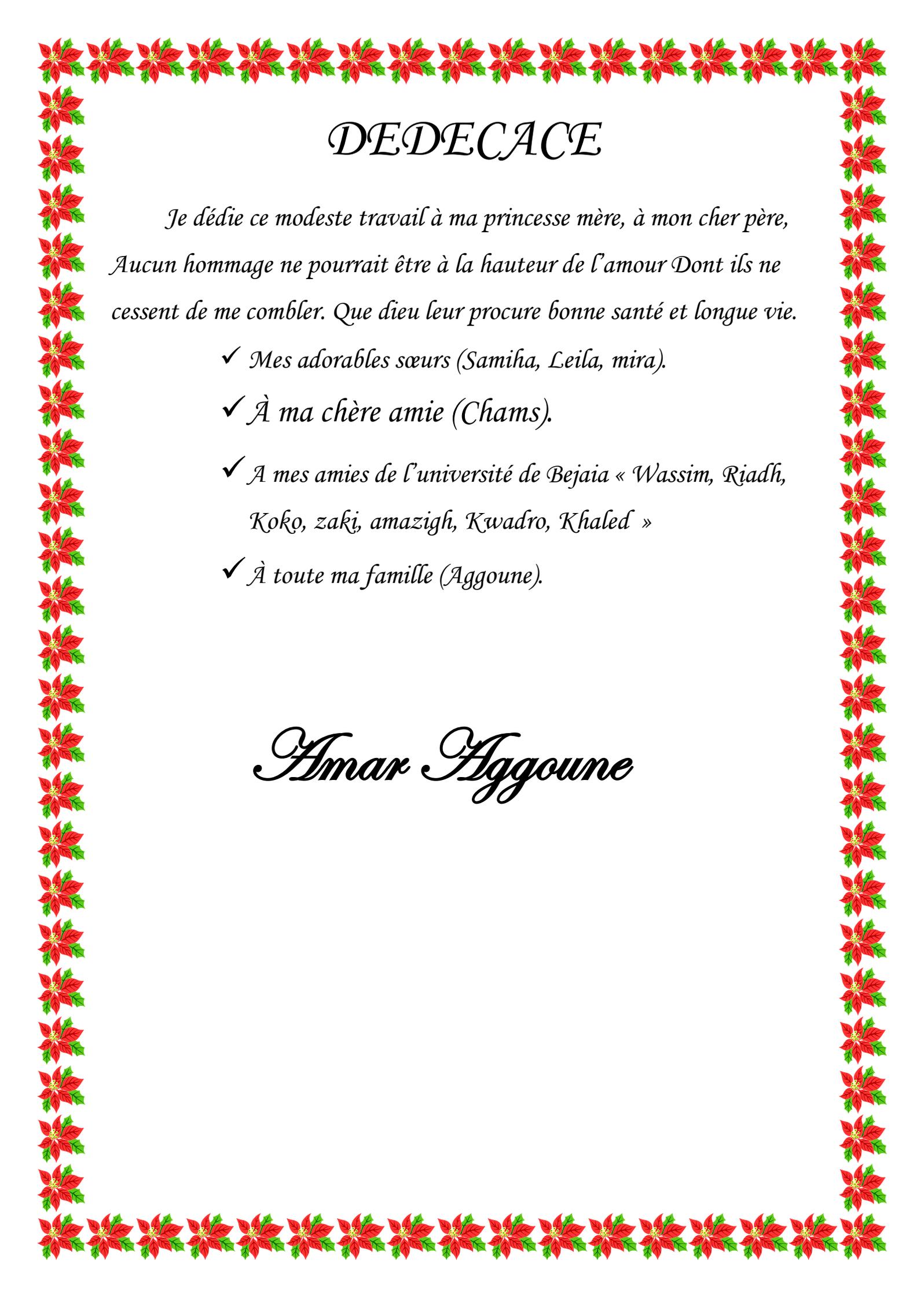
Avant tout nous aimerions exprimer notre gratitude envers notre créateur, celui qui nous a donné la capacité, le courage, la volonté et la possibilité d'accomplir ce travail, son soutien nous a été fort utile et très ressenti « louange à DIEU ».

Nous aimerons dans ces quelques lignes remercier toutes les personnes qui d'une manière ou d'une autre, ont contribué au bon déroulement de notre travail.

*Nous sincères remerciements pour notre encadreur **Mr. BENSALD NASREDDINE** pour le choix de ce sujet intéressant, pour avoir dirigé notre travail, de nous avoir permis de bénéficier de son aide consistante, de ses conseils judicieux, ainsi que pour le temps précieux qu'elle nous a consacré pendant la rédaction de ce mémoire, pour la documentation qu'elle a mis à notre disposition. Nous la remercions de tout notre cœur.*

Nos vifs remerciements pour les membres de jury, pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'être examinateurs de notre mémoire.

Nous exprimons notre gratitude à l'ensemble des professeurs du département de génie mécanique qui ont contribué à notre formation, on les prie de bien vouloir croire à notre gratitude en espérant que cet humble travail de ces trois dernières années fera crédibilité de leurs efforts.



DEDECACE

Je dédie ce modeste travail à ma princesse mère, à mon cher père, Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

- ✓ *Mes adorables sœurs (Samihā, Leila, mira).*
- ✓ *À ma chère amie (Chams).*
- ✓ *A mes amies de l'université de Bejaia « Wassim, Riadh, Koko, zaki, amazigh, Kwadro, Khaled »*
- ✓ *À toute ma famille (Aggoune).*

Amar Aggoune



Dédicace

Tout d'abord je tiens a remercié DIEU, de m'avoir donnée la force et la patience de bien mener mon projet de fin d'étude.

Je dédie ce modeste travail :

A Ma chère maman

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour toi Maman. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.

A Mon cher père

L'homme de ma vie, mon exemplaire, mon soutien moral, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir que dieu te protège

A mes sœurs et mes frères

Pour leurs amour et leurs encouragement et leurs soutienne que dieu vous gardes et protèges.

Je vous souhaitant tout le bonheur dans la vie.

A tous mes enseignants.

A tous mes collègues de l'université

Enfin à toute personne qui a contribué de prêt ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

WADJR Bachioua

SOMMAIRE

Introduction	Error! Bookmark not defined.
I. Introduction	1
I.1 Définition des alliages	2
I.2 Les propriétés des alliages :	2
I.3 L'aluminium et ses alliages	3
I.3.1 Historique	3
I.3.2 Définition d'alliage d'aluminium	3
I.3.3 Propriétés physico-chimiques de l'aluminium	4
I.3.4 Structure de l'aluminium	4
I.3.5 Désignation des alliages d'aluminium	5
I.3.6 Production de l'aluminium	6
I.3.7 Principales caractéristiques d'aluminium	6
I.3.8 Propriétés mécaniques	7
I.3.9 Les différents domaines d'utilisation [7]	8
I.3.9.1 Le transport	8
I.3.9.2 Le bâtiment	9
I.3.9.3 L'électricité	10
I.3.9.4 L'alimentation	10
I.3.9.5 Autres utilisations	11
I.4 L'alliage de cuivre	11
I.4.1 Historique	11
I.4.2 Définition d'alliage de cuivre	12
I.4.3 Propriétés physico-chimiques de cuivre	13
I.4.4 Principaux alliages de cuivre	13
I.4.5 Propriétés mécaniques	14
I.4.6 Structure cristalline d'alliage du cuivre	14
I.4.7 Désignation conventionnelle du cuivre et de ses alliages	15
I.4.8 Désignation des états métallurgiques	16
I.4.9 Applications	16
I.4.10 Production des différentes nuances de cuivre	18
I.5 L'alliage du zinc	19
I.5.1 Historiques et présentation de l'élément	19
I.5.2 Carte d'identité du zinc	20
I.5.3 Généralités sur le zinc	21

SOMMAIRE

1.5.4	Etat naturel	21
1.5.5	Les différentes étapes de la production de zinc [19]	22
1.5.6	Propriétés de zinc	25
1.5.7	Structure cristalline de zinc	29
1.5.8	Les alliages de zinc	29
1.5.9	Les propriétés des alliages du zinc	30
1.5.10	Utilisations et applications du zinc	33
II.	Chapitre	37
II.1	Présentation du gisement de minerai Pb/Zn d'amizour	38
II.1.1	Situation Géographique	38
II.1.2	Réserve géologique de gisements de Pb/Zn d'amizour	39
II.1.3	Liaisons avec déférents Infrastructure	39
II.2	Aperçu sur la minéralisation de minerai	39
II.2.1	Caractérisation du minerai (Composition minéralogique)	40
II.2.2	Analyse chimique du minerai	41
II.2.3	Distribution des teneurs	42
II.3	La Méthode d'exploitation	43
II.4	Transport et logistique de zinc	44
II.5	Les valeurs ajoutées pour la ressource humaine et l'économie nationale	45
II.6	Capacité de production et besoins nationaux en matière de concentré de zinc	45
	Conclusion	46
III.	[1] : Mahmoud Naji, Mines (Université de Damas, 1990/1991).	47

LISTE DES FIGURES

Figure I-1: Morceau d'aluminium.	4
Figure I-2: Projection et Perspective.....	5
Figure I-3: Janet d'aluminium.	9
Figure I-4: fenêtre d'aluminium.....	10
Figure I-5: les conducteurs en aluminium.....	10
Figure I-6: feuille d'aluminium de la cuisine.	11
Figure I-1: Cuivre pure	12
Figure I-2: Structure cristalline du cuivre. [12]	15
Figure I-3: fil de cuivre alliée et tube de cuivre.	17
Figure I-4: objets utilisation des alliages de cuivre	18
Figure I-1: Tranche de zinc à côté d'une pièce d'un pence (Zn recouvert de cuivre).	20
Figure I-2: processus pyrometallurgique du zinc [19]	25
Figure I-3: Structure cristalline de zinc[23]	29
Figure I-4: Plaque de zinc centimétrique et seau en zinc, ustensile agricole.....	33
Figure I-5: Couverture en zinc à joint-debout.....	34
Figure I-6: Un alliage de zinc	35
Figure II-1: Situation Géographique de gisement d'Amizour (vue par satellite)	38
Figure II-2: Situation du gisement de Zn/Pb	39
Figure II-1: Présentation des sondages en fonction des teneurs maximales de Pb et Zn. [29]	43
Figure II-1: Chambre Remblayée Descendante (CRD) [30]	44
Figure II-1: Conteneurs rotatifs empilés au port en attente de chargement au navire	44
Figure II-2: Conteneur en cours de chargement	45

LISTE DES TABLAUX

Tableau 1: Propriétés physico-chimique de l'aluminium	4
Tableau 2: Désignation des Alliages d'aluminium.	6
Tableau 3: Propriétés mécaniques d'aluminium pur [5]	8
Tableau 4: Propriétés physico-chimiques de cuivre [10].....	13
Tableau 5 : Propriétés physiques du zinc.....	26
Tableau 6: Propriétés physiques des principaux alliages de zinc	30
Tableau 7: Propriétés physiques des principaux alliages de zinc	31
Tableau 8: Minéraux essentiels et secondaires hypogènes et supergène[27]	40
Tableau 9: Minéraux rares hypogènes et supergène. [27]	41
Tableau 10: Résultats d'analyse par ICP du minerai [27]	41
Tableau 11: Composition chimique du minerai tout venant donnée par FX [28]	42
Tableau 12 : Teneurs maximales en Pb et Zn en fonction des sondages [29]	42

LISTE DES ABREVIATIONS

CFC : Cubique à face centré.

Na₃AlF₆ : hexafluorure de sodium et d'aluminium.

AL : aluminium.

Cu : cuivre.

TIG : TungstenInert Gaz.

MIG : MetalInert Gaz.

NF EN : Normes Européennes et Internationales.

Cu(CH₃COO)₂ : Acétate de cuivre.

CuCl₂ : Chlorure de Cuivre.

Cu₂O : Oxyde de Cuivre.

Cu (NO₃)₂ : Nitrate de Cuivre.

Cu₂Cl(OH)₃ : Copper Chloride hydroxide.

CuSO₄ : Sulfate de Cuivre.

Ca(OH)₂ : hydroxyde de calcium.

ZnCO₃ : carbonate de zinc.

ZnSiO₄ : silicate de zinc.

Zn₄Si₂O₇ (OH)₂, H₂O : L'hémimorphite.

ZnO : l'oxyde de zinc.

Pb: plomb.

Cd: Cadmium.

Fe: fer.

Bi: Bismuth.

Sb: l'antimoine.

As: Arsenic.

Ge: Germanium.

In: Indium.

Ag: Argent.

Au: Or.

Co: Cobalt.

Ni: Nickel.

ZL ou **ZP**: ZAMAK.

WMZ: Western Mediterranean Zinc.

ORGM : Office National de la Recherche Géologique et Minière.

LISTE DES ABREVIATIONS

ICP : Plasma Copulé avec Inductance.

FX : Fluorescence X

INTRODUCTION

I. Introduction

Les céramiques sont un peu plus complexes que les structures métalliques, elles sont composées d'éléments métallique et de substance non métalliques tels que des oxydes, des nitrites et des silicates, un alliage est la combinaison d'un élément métallique avec un ou plusieurs métaux par fusion, les caractéristiques mécaniques des métaux purs sont la plupart du temps relativement faibles, le fait d'ajouter d'autres éléments permet de « durcir » le métal en augmentant ses caractéristiques mécaniques. Outre les renforcements mécaniques engendrés par déformation, tel que l'écroutissage, il existe des durcissements chimiques par addition d'éléments en solution solide ou par précipitation de phases secondaires durcis telles que les carbures. Ces ajouts permettent également de modifier les caractéristiques chimiques, telle que la résistance à la corrosion, ou d'améliorer d'autres caractéristiques, par exemple la coulabilité dans un alliage, l'élément métallique majoritaire, c'est-à-dire constituant la plus importante partie du mélange, est appelé « métal de base » ou « base ».

Les éléments ajoutés volontairement sont appelés « éléments d'alliage » ou « éléments d'addition » et les éléments non désirés sont appelés « impuretés ».

Les éléments d'alliage sont le plus souvent des métaux, mais peuvent également être d'autres éléments chimiques tels que le carbone dans l'acier ou la fonte, le silicium dans l'aluminium, etc.

A se effet on fait le choix de traitiez le thème de :

Caractérisation du zinc de oued Amizour « talla hamza » potentiel et perspectives

Pour atteindre les objectifs de ce présent travail, nous avons structuré notre mémoire en deux parties :

- ✓ Une recherche bibliographique représente par le 1^{ère} chapitre, dont nous avons présenté des généralités sur les alliages, propriétés physique et chimique des alliages (Al, Cu, Zn) et ses propres caractéristiques.
- ✓ Pour la partie expérimentale, elle constituée par le 2^{ème} chapitre, dont nous avons présenté le gisement d'oued amizour, avec tous les informations techniques et perspectives

Et enfin, nous clôturons par une conclusion

CHAPITRE I
GÉNÉRALITÉS SUR
LES ALLIAGES

I.1 Définition des alliages

Un alliage est une substance composée d'un métal et d'au moins un autre élément. La plupart des alliages contiennent une grande quantité de métal principal ou de métal de base, et de plus petites quantités d'autres composants, qui peuvent être des métaux ou des non-métaux tels que le carbone et le silicium. De nombreux métaux purs sont trop mous, rouillent facilement ou présentent d'autres défauts. Mais ces inconvénients peuvent être surmontés en mélangeant ces métaux avec d'autres éléments.

Un seul lingot peut contenir trois ou quatre matériaux différents, voire plus. Les gens fabriquent généralement des lingots en faisant fondre le métal de base, en y ajoutant d'autres composants et en laissant le lingot liquide refroidir et se solidifier. De nombreux alliages sont formés dans une forme finale après refroidissement. D'autres alliages sont fabriqués sans fondre le métal de base. Les fabricants, par exemple, mélangent les poudres de certains métaux et les chauffent sous pression, ce qui provoque le mélange des particules de poudre pour former l'alliage. [1]

I.2 Les propriétés des alliages :

Les alliages sont constitués de cristaux minuscules appelés granules. Les atomes de chaque grain sont empilés dans un arrangement géométrique spécial, et chaque grain est incliné d'une manière différente de l'inclinaison des grains voisins. Les fabricants contrôlent la taille des particules par la manière dont ils chauffent, façonnent et refroidissent le matériau. Les petits grains, par exemple, forment des alliages solides. Les limites entre les grains déterminent également les propriétés de l'alliage, car elles peuvent devenir des zones de faiblesse lorsque l'alliage contient des impuretés ou lorsque des personnes utilisent l'alliage à des températures élevées ou avec des produits chimiques nocifs. [2]

Les propriétés des alliages ne sont pas intermédiaires entre celles de leurs différents constituants. Par exemple, le point de fusion d'un alliage est toujours inférieur à celui des métaux purs qui le constituent. En revanche, les alliages sont souvent plus durs, moins malléables et moins ductiles que les matériaux de base.

De même, ils sont en général nettement moins bons conducteurs de l'électricité que leurs constituants. Mais certains alliages (Invar, constantan) offrent des exceptions à ces constatations générales. L'intérêt principal des alliages est qu'ils présentent des propriétés physiques (masse volumique, conductivité thermique, conductibilité électrique, propriétés magnétiques, couleur), mécaniques (résistance à la traction, à la dureté, au fluage, à la résilience) ou chimiques (résistance à la corrosion) différentes de celles des métaux purs. Leurs propriétés usuelles dépendent de nombreux facteurs : composition nominale et équilibre entre

les différentes phases solides, structure micrographique, mécanismes de durcissement employés lors de la fabrication. [3]

I.3 L'aluminium et ses alliages

I.3.1 Historique

La première apparition de l'aluminium était en 1854 lors d'une présentation à l'académie des sciences par le chimiste français Sainte-Claire Deville, sous la forme d'un lingot. Cette pièce avait été obtenue par voie chimique. En 1886 il y'a eu l'invention du procédé d'électrolyse l'aluminium par Paul Héroult (France) et Charles Martin Hall (USA).

Depuis, l'aluminium a connu un développement très important grâce notamment à son utilisation dans les industries ayant attrait au transport: aviation, automobile, marine .Il est aussi employée dans l'emballage, le bâtiment, l'électricité, la mécanique. [3]

I.3.2 Définition d'alliage d'aluminium

Est une composition chimique ou d'autres éléments sont ajouter à l'aluminium pour améliorer ces propriétés, la principale raison est d'augmenter sa résistance mécanique, c'est éléments comprennent le fer, le silicium, le cuivre, le magnésium, le manganèse, et le zinc a des concentrations combinées pouvant représenter jusqu'à 15% de l'alliage en poids .les alliages sont identifier par un numéro à quatre chiffre dans lequel le premier chiffre identifier une série caractérisée par ces principaux éléments d'alliage. [4]

Seuls neuf éléments sont capables de s'allier à l'aluminium parce qu'ils ont une solubilité dans l'aluminium à l'état solide supérieure à 0,5 %. Ce sont : l'argent, le cuivre, le gallium, le germanium, le lithium, le manganèse, le magnésium, le silicium et le zinc. Pour diverses raisons de coût (l'argent), de disponibilité (le gallium, le germanium) et de difficultés de mise en œuvre (le lithium), la métallurgie de l'aluminium est fondée, depuis son début, sur uniquement cinq éléments d'alliage qui sont:

- Le cuivre.
- Le silicium.
- Le manganèse.
- Le silicium.
- Le zinc.

Ces cinq éléments sont à la base des huit familles d'alliages d'aluminium. L'action d'un élément sur les propriétés de l'aluminium dépend bien évidemment de sa nature et de la quantité ajoutée.

Mais, pour certains d'entre eux, leur influence sur les propriétés de l'alliage peut aussi dépendre de la présence d'un, ou plusieurs autres éléments. [5]



Figure I-1: Morceau d'aluminium.

I.3.3 Propriétés physico-chimiques de l'aluminium

L'aluminium est un élément métallique, ductile très malléable, parmi les métaux les plus abondants dans la croûte terrestre.

Tableau 1: Propriétés physico-chimique de l'aluminium

Propriétés	Valeur
Structure cristalline	Cubique à face centré
Masse atomique	26,9815 g/mol
Paramètre de maille (à 298.15°K)	4.05 Å
Point de fusion	660°C
Point ébullition	2467°C
Capacité thermique massique C_p (à 298.15°K)	897 J kg ⁻¹ k ⁻¹
Conductivité thermique (à 298.15K)	237 W m ⁻¹ k ⁻¹
Résistivité électrique (à 298.15 K)	2,6548. 10 ⁻² μΩ.m
Module d'élasticité (MPa)	70 000
Charge de rupture (MPa)	70 à 80
Limite d'élasticité 0.2% (MPa)	10 à 20
A (%)	50 à 60
Coefficient de dilatation linéique (à 20 °C)	23,1. 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Coefficient de poisson ν	0.34

I.3.4 Structure de l'aluminium

La structure de l'aluminium émane de celle du CFC, c'est-à-dire cubique à faces centrées (compact).

Le CFC correspond donc à la maille présentée en figure I.2 qui montre la structure en perspective.

De plus, pour simplifier schématisation, cette maille peut être réalisée en projection afin de faciliter la lecture, et donc se « dessine » sous la forme d'un cube, représentée en figure I.3 [6].

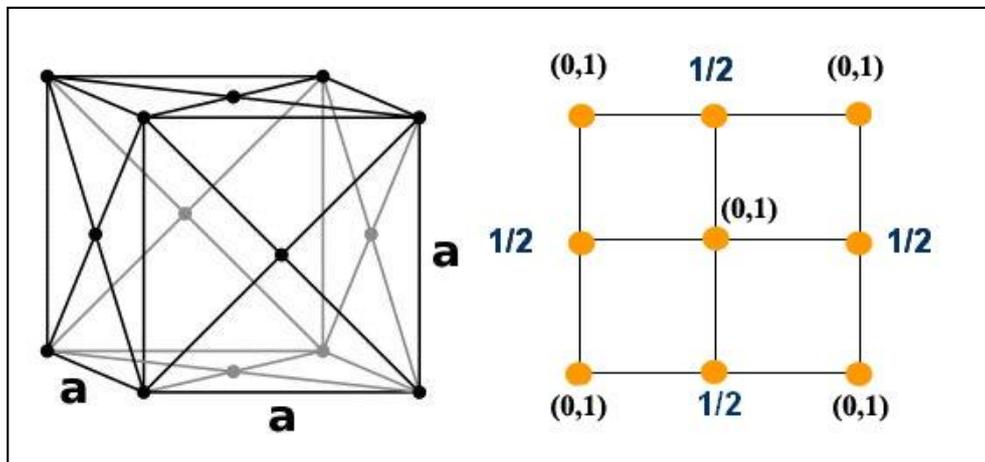


Figure I-2: Projection et Perspective

I.3.5 Désignation des alliages d'aluminium

On distingue les deux grandes classes d'alliages d'aluminium suivantes :

- **Les alliages corroyés** : produits obtenus par des procédés de déformation plastique à chaud ou à froid tels que le filage, le laminage,
- **Les alliages de moulage**, obtenus directement par fonderie.

La désignation de ces alliages est faite suivant des règles très précises que nous rappelons ci-après.

Les alliages d'aluminium corroyés sont référencier par une désignation à 4chiffre.cette désignation est conforme aux directives de l'aluminium association (Washington DC 20006, USA) ce qui donne par exemple : 7075, les quatre chiffres sont parfois précédés par les lettres AA (exemple : AA 6061)

Les quatre chiffres parfois suivis par une lettre qui indique une variante nationale d'une composition existante. Le premier chiffre désigne le principal élément ajoutes. Le second chiffre permet d'identifier les variantes successives d'un alliage.

Dans la famille 1000, les deux derniers chiffres désignent le pourcentage en aluminium au-delà de 99%. Dans les autres familles, ils sont choisis de manière aléatoire.

Tableau 2:Désignation des Alliages d'aluminium.

Série	Désignation	Principaux éléments ajoutés	Exemple
1000	1XXX	Aluminium pur à 99% minimum	1050,1080,1200
2000	2XXX	Aluminium+ cuivre	2017,2030,2618
3000	3XXX	Aluminium+Manganèse	3003,3005,3105
4000	4XXX	Aluminium+ silicium	4047,4015,4925
5000	5XXX	Aluminium+magnésium	5754,5083,5086
6000	6XXX	Aluminium+magnésium+silicium	6060,6061,6082
7000	7XXX	Aluminium+zinc+ magnésium	7075,7020,7049
8000	8XXX	Aluminium+fer+ silicium	8011,8019

I.3.6 Production de l'aluminium

L'aluminium est produit par électrolyse de l'alumine dans de la cryolithe (Na_3AlF_6) fondue, à environ 1000°C dans une cuve comportant un garnissage intérieur en carbone. L'aluminium se dépose au fond de la cuve avec un titre de 99,7% (les principales impuretés étant le fer et le silicium). Plusieurs procédés de raffinage permettent d'obtenir un titre plus élevé sachant que pour fabriquer une tonne d'aluminium, il faut deux tonnes d'alumine et quatre tonnes de bauxite. [5]

I.3.7 Principales caractéristiques d'aluminium

En tonnage, la production d'aluminium ne représente que 2% environ de celle des aciers. Cependant, ce métal et ses alliages arrivent en seconde position dans l'utilisation des matériaux métalliques. L'aluminium doit cette place à un ensemble de propriétés qui en font un matériau remarquable. L'aluminium et ses alliages prennent encore aujourd'hui une place importante dans les différents domaines de l'industrie. Son utilisation s'accroît de jour en jour grâce à ses propriétés particulières.

Intermédiaire nécessaire à la fabrication de l'aluminium. La bauxite contient de 40 à 60% d'oxyde d'aluminium hydraté mélangé à de la silice et à de l'oxyde de fer. [5]

I.3.7.1 Résistance à la corrosion

La très bonne tenue à la corrosion de l'aluminium explique le développement de ses nombreuses applications dans le bâtiment, les transports, l'équipement du territoire, la construction navale... milieux dans lesquels les conditions d'emploi peuvent être sévères.

La tenue à la corrosion dépend des paramètres suivants :

- Le métal lui-même : sa composition, son état métallurgique, l'état de surface.
- Les caractéristiques du milieu dans lequel il est exposé : humidité, température, présence d'agents agressifs...
- Les conditions de services prévues.
- Le mode d'assemblage éventuel des structures, les dispositions constructives.
- La durée de vie espérée, la fréquence d'entretien.

Il n'y a pas de métal ou d'alliage universel du point de vue tenu à la corrosion. Pour un même matériau, toutes les nuances n'ont pas la même résistance aux différentes formes de corrosion.

[5]

I.3.7.2 Mise en forme

L'aluminium a une température de fusion relativement basse ce qui résulte une facilité de fusion qui présente un avantage certain pour les opérations de fonderie. Les alliages d'aluminium sont faciles à laminier (coefficient d'écroutissage $n = 0.2$ à 0.3), facile à emboutir [5].

I.3.7.3 Soudage

Le soudage est facile si l'on tient compte de la présence de la couche protectrice d'alumine. Les procédés sont donc des procédés sous gaz protecteur (TIG, MIG) ou sous vide (faisceaux d'éleva contre des problèmes peuvent exister pour les alliages trempant ayant une vitesse de trempe élevée (série 2000 ou Al-Cu). [5]

I.3.7.4 Conductibilité électrique

La conductibilité électrique de l'aluminium commercialement pur atteint 62 % de celle du cuivre. Par ailleurs, la masse volumique du cuivre est plus élevée que celle de l'aluminium. Un conducteur en aluminium, dont la masse est inférieure à celle d'un conducteur en cuivre, s'échauffe moins. [5]

I.3.8 Propriétés mécaniques

L'aluminium commercialement pur possède, à l'état recuit, des propriétés mécaniques faibles. On peut toutefois améliorer considérablement ces propriétés par écroutissage, addition d'éléments d'alliage ou traitements thermiques, selon les cas. L'aluminium et ses alliages ont une structure cristalline cubique à faces centrées. Ils font donc preuve, à l'état recuit, d'une excellente ductilité à toute température. [5]

Tableau 3: Propriétés mécaniques d'aluminium pur [5]

Etat du métal	Charge de rupture à la traction	Allongements de rupture à la traction
Coulé	5 à 9 kg/mm ²	0 à 5 %
Laminé et recuit	8 à 10 kg/mm ²	30 à 40 %
Laminé et écroui	20 à 25 kg/mm ²	2 à 5 %

I.3.9 Les différents domaines d'utilisation [7]

L'aluminium est malléable et ductile ce qui permet un usinage facile. Avec un point de fusion bas 660°C contre 1500°C pour le fer il se prête facilement au moulage de petites pièces, de plus l'économie d'énergie faite lors de sa fabrication est considérable.

Depuis l'apparition de l'électrolyse en 1887 le coût de production de l'aluminium a chuté. Les secteurs des transports, de la construction, de l'emballage et de la vie quotidienne constituent les marchés les plus importants pour les produits en aluminium.

Les autres utilisations concernent les équipements électriques, la mécanique, la chimie et la pharmacie.

I.3.9.1 Le transport

Aéronautique, automobile, train, bateau...

Il est apprécié dans ce domaine grâce à sa légèreté qui permet de réduire la consommation et les émissions de carburant. De plus il se lie facilement avec du cuivre de silicium ou de magnésium pour former des alliages résistants qui évacuent bien la chaleur, idéal pour les moteurs. Son utilisation réduit également le bruit et les vibrations.

Dans l'aéronautique il est indispensable de par sa légèreté et la robustesse des alliages existants, il permet donc de réduire la consommation de carburant et d'augmenter la charge utile de l'appareil. Ainsi en 35 ans, le poids de la structure d'un avion a été divisé par deux.

Dans le domaine des automobiles encore une fois sa légèreté réduit la consommation, les émissions de polluants et les distances de freinage, ses propriétés améliorent l'absorption d'énergie cinétique en cas d'accident ce qui augmente la sécurité des usagers.

De plus l'aluminium ne rouillant pas comme l'acier, la longévité d'une pièce en aluminium est triplée par rapport à ce dernier. Dans le domaine ferroviaire on notera sa tenue à la corrosion

qui permet de transporter facilement des produits corrosifs, sa légèreté est toujours aussi appréciée.

Pour finir, dans le naval, l'aluminium a permis le développement des navires à grande vitesse. Il entre dans la composition des coques, mats, ponts et superstructures de tous types de navire et sa résistance à la corrosion sera une parfaite protection naturelle contre l'usure des métaux en milieu marin. Une coque en aluminium peut tenir plus de 30 ans sans s'user et ce sans aucun entretien.



Figure I-3:Janet d'aluminium.

I.3.9.2 Le bâtiment

Facilement malléable et résistant en alliages, l'aluminium permet de réaliser des formes complexes dans une gamme étendue de coloris. Il est donc très apprécié en architecture moderne et ne nécessite que très peu d'entretien. Ces atouts en font un matériau polyvalent utilisé dans tous types de bâtiments, il entre par exemple dans la composition des structures vitrées, des cloisons, des portes, des gouttières...

Autre intérêt, l'aluminium fait partie des métaux non combustibles : L'aluminium ne s'enflamme pas, même après avoir fondu (au-delà de 650°). Sa grande conductivité thermique permet de faciliter la dissipation de chaleur lors d'un incendie. (Sa diffusivité thermique est 6 fois supérieure à celle de l'acier). Ces deux caractéristiques en font un matériau avantageux et pratique dans la lutte incendie.



Figure I-4:fenêtre d'aluminium.

I.3.9.3 L'électricité

L'aluminium est particulièrement apprécié dans ce domaine grâce à sa conductivité électrique élevée, son absence de magnétisme et son inertie chimique. L'aluminium a remplacé le cuivre dans les lignes à haute tension et est aujourd'hui la manière la plus économique de transmettre l'énergie électrique. Depuis les années 50 l'aluminium a pratiquement remplacé le laiton comme base standard pour l'ampoule électrique. Des milliers d'antennes de télévision et beaucoup d'antennes paraboliques sont également faits d'aluminium.

I.3.9.4 L'alimentation



Figure I-5:les conducteurs en aluminium

L'emballage en aluminium est largement répandu du fait de son faible coût de production, sa légèreté et son caractère isolant. Une mince feuille d'aluminium (0.1 mm environ) suffit à isoler le produit du monde extérieur : Imperméabilité à la lumière, à l'air, aux rayons ultraviolets, à la vapeur d'eau, à l'oxygène et aux micro-organismes. Autant de facteurs pouvant diminuer la durée de conservation des aliments.

En outre, la résistance à la corrosion et la stabilité métallurgique de l'aluminium le protège des détériorations infligées par certains produits. L'exemple majeur de l'emballage en aluminium est la canette, elle n'altère nullement le goût des aliments, robuste, légère et recyclable, elle est le type d'emballage le plus répandu pour les boissons. Prudence néanmoins, plusieurs études scientifiques ont démontré que l'aluminium n'est pas éliminé par l'organisme, à forte dose il a un effet néfaste sur le système nerveux et le tissu osseux. Dans l'alimentation les doses ingérées sont jugées négligeables, néanmoins son utilisation comme conduite d'eau est prohibée.



Figure I-6:feuille d'aluminium de la cuisine.

I.3.9.5 Autres utilisations

Filtrant dans les crèmes solaires, texturant et colorants alimentaires dans les laitages, immunisant dans les vaccins et purifiant dans le traitement des eaux, l'aluminium est également utilisé à plus faibles quantités dans l'industrie chimique.

On le retrouve dans les CD pour son caractère conducteur, dans les équipements sportifs de pointe ainsi que pour les coques de portable pour sa légèreté.

I.4 L'alliage de cuivre

I.4.1 Historique

Bien que divers outils et objets décoratifs en cuivre remontent à 9000 av. J.-C., les découvertes archéologiques suggèrent que ce sont les premiers Mésopotamiens qui, il y a 5000 à 6000 ans, furent les premiers à exploiter pleinement la capacité d'extraire et de travailler le cuivre.

Manquant de connaissances modernes de la métallurgie, les premières sociétés, y compris les Mésopotamiens, les Égyptiens et les Amérindiens, prisé le métal principalement pour ses qualités esthétiques, en utilisant comme l'or et l'argent pour la production d'objets décoratifs et d'ornements.

Le cuivre est considéré comme l'un des premiers métaux utilisés par les humains. La principale raison de sa découverte et de son utilisation précoces est que le cuivre peut naturellement apparaître sous des formes relativement pures.

La première production organisée et l'utilisation de cuivre dans différentes sociétés ont été approximativement datées comme:

Mésopotamie, vers 4500 av.

Egypte, vers 3500 avant JC

Chine, vers 2800 av. J.-C.

Amérique centrale, vers 600 après JC

Afrique de l'Ouest, vers 900 après JC. [8]

I.4.2 Définition d'alliage de cuivre

L'alliage est identifié par la lettre de liaison métallique. L'alliage peut être une solution solide d'éléments métalliques ou un mélange de phases métalliques. Les composés entre alliages métalliques sont des alliages qui ont une structure chimique et une structure cristalline spécifiques.

Les alliages sont principalement constitués de cuivre et de divers éléments ajoutés. Alliages de cuivre ce sont des alliages non ferreux qui ne contiennent pas de fer, car le cuivre peut se former avec une large gamme d'autres métaux : zinc, étain et aluminium. [9]



Figure I-7: Cuivre pure

I.4.3 Propriétés physico-chimiques de cuivre

Tableau 4: Propriétés physico-chimiques de cuivre [10]

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

I.4.4 Principaux alliages de cuivre

- * **Laitons** : Ce sont les alliages de cuivre et de zinc, contenant de 5 à 45 % en poids de zinc et éventuellement d'autres éléments tels que le plomb, l'étain, le manganèse, l'aluminium, le fer, le silicium, le nickel ou l'arsenic qui, ajoutés en faible proportion, améliorent certaines propriétés.
- * **Bronzes** : Il s'agit des alliages de cuivre et d'étain et des alliages ternaires cuivre, étain, zinc. La dénomination bronze est parfois abusivement employée pour désigner d'autres alliages tels que les cupro-aluminums et les cuivres au béryllium.
- * **Cupro-aluminums** : Ce sont les alliages de cuivre et d'aluminium contenant de 4 à 14 % d'aluminium et la plupart du temps des additions de fer, nickel ou manganèse qui améliorent leurs propriétés.
- * **Cupro-nickels** : Le nickel est soluble en toutes proportions dans le cuivre. En pratique, les alliages de cuivre et de nickel contiennent de 5 à 44 % de nickel et certains autres éléments comme le fer, l'aluminium, le manganèse et le silicium.

* **Maillechorts** : Les maillechorts sont des alliages ternaires cuivre-nickel-zinc contenant parfois de petites quantités de plomb pour favoriser l'usinage. Les teneurs sont comprises dans les fourchettes suivantes :

- **cuivre** : 45 à 65 % ;
- **nickel** : 10 à 25 % ;
- **zinc** : 20 à 45 %.

* **Cu pro-siliciums** : Ce sont des alliages de cuivre comprenant de 2 à 4 % de silicium ainsi que d'autres éléments tels que manganèse, aluminium, fer en faibles teneurs. [11]

I.4.5 Propriétés mécaniques

Point de fusion: Le point de fusion du cuivre est mesuré en versant son fondu dans l'eau, puis en mesurant l'élévation de la température de l'eau et en calculant la température initiale de la fonte en fonction de la température spécifique connue de l'alliage à l'origine, et de la fusion. Le point des alliages de cuivre varie en fonction des rapports de cuivre et de zinc qu'ils contiennent, allant de 900 à 940 degrés Celsius.

Densité : La densité des alliages de cuivre varie en fonction des proportions des éléments dans chaque alliage, et la densité moyenne du cuivre est de $8,3 \text{ g / cm}^3$

Capacité du cuivre à conduire : Les deux caractéristiques de la conductivité thermique et de la conductivité électrique sont caractéristiques du cuivre, ce qui en fait un choix approprié pour une utilisation dans la fabrication d'échangeurs de chaleur.

Flexibilité : le cuivre est plus ductile que le bronze et le zinc.

Frottement : Le cuivre est connu pour avoir un faible coefficient de frottement.

Propriétés magnétiques : Le cuivre n'a pas de propriétés magnétiques, ce qui permet de le séparer facilement des autres métaux lors du recyclage.

Résistance à la corrosion : Le cuivre est connu pour ses propriétés de résistance à la corrosion, en particulier la corrosion galvanique due à l'exposition à l'eau salée.

Mouldability: Le cuivre est facile à verser dans des moules.

Ductilité : le cuivre est un métal souple et moulable. [9]

I.4.6 Structure cristalline d'alliage du cuivre

Le cuivre cristallisé dans le système cubique à face centrée (C.F.C) le paramètre de maille est $a=3,60 \cdot 10^{-10} \text{ m}$. on supposera que le contact se fait entre entités de cuivre supposée

sphérique. Par ailleurs, le cuivre peut former de nombreux alliages, par insertion à la substitution.

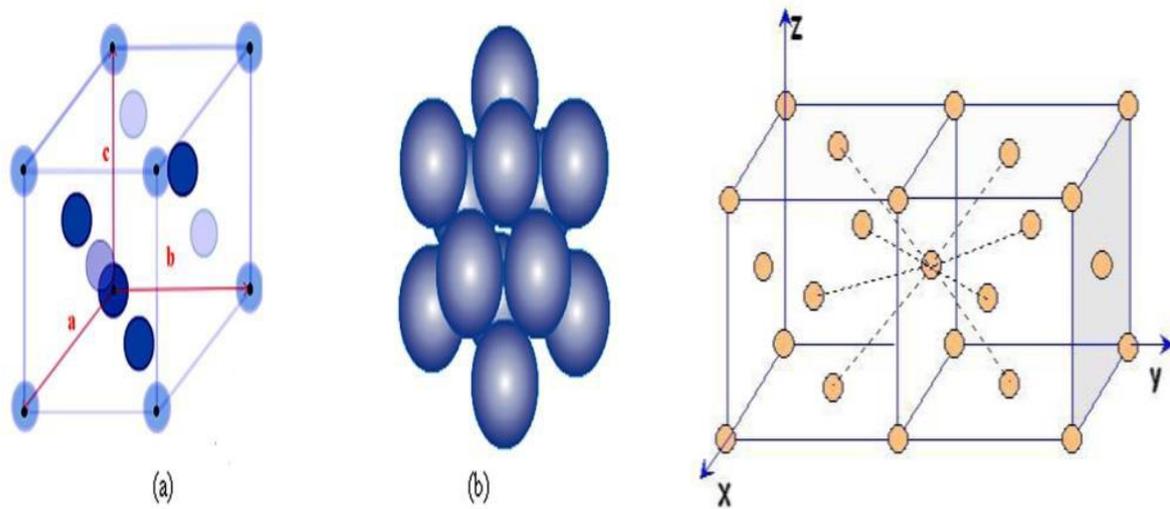


Figure I-8: Structure cristalline du cuivre. [12]

I.4.7 Désignation conventionnelle du cuivre et de ses alliages

La désignation du cuivre et ses alliages fait l'objet de la norme NF EN 1412 (indice de classement A 02-006).

Les alliages de cuivre ont désormais une désignation composée de six caractères. Le premier emplacement comporte la lettre C (désignant le cuivre). Le caractère situé en deuxième position est une lettre dont la signification est la suivante :

B : matériaux sous forme de lingot pour refusions en vue de la production de produits moulés.

C : matériaux sous forme de produits moulés.

F : matériaux d'apport pour brasage et soudage.

M : alliages-mères.

R : cuivres bruts raffinés.

S : matériaux sous forme de matières premières recyclables.

W : matériaux sous forme de produits corroyés.

X : matériaux non normalisés.

Les caractères des troisième, quatrième et cinquième emplacements sont des chiffres formant un nombre compris entre 000 et 999 sans qu'aucune signification ne soit apportée à l'un de ces caractères :

Le caractère destiné au sixième emplacement est une lettre désignant l'un des groupes de matériaux donnés dans la liste suivante :

A ou **B** : Cuivre.

C ou **D** : Cuivres faiblement alliés, (moins de 5 % d'éléments d'alliages).

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

G : Cuivre-aluminium.

H : Cuivre-nickel.

J : Cuivre-nickel-zinc.

K : Cuivre-étain.

L ou **M** : Cuivre-zinc binaires.

N ou **P** : Cuivre-zinc-plomb.

R ou **S** : Cuivre-zinc complexes.

I.4.8 Désignation des états métallurgiques

Ils sont définis par la norme NF EN 1173 (indice de classement A 02 008). La désignation de l'état métallurgique comporte en général quatre caractères. Le premier est une lettre et les trois suivants des chiffres. Un traitement supplémentaire est indiqué par une lettre venant ensuite.

La lettre indiquée en première position à la signification suivante :

A : Allongement.

B : limite de flexion élastique.

D : Brut d'étirage, sans spécification de caractéristiques mécaniques.

G : Grosseur de grain.

H : Dureté (Brinell ou Vickers).

M : Brut de fabrication, sans spécification de caractéristiques mécaniques.

R : Résistance à la traction.

Y : Limite conventionnelle d'élasticité à 0,2 %. [13].

I.4.9 Applications

Le cuivre et ses composés ont de nombreuses applications industrielles:

- * Fabrication de nombreux alliages à base de cuivre : bronze (avec l'étain), laiton (avec le zinc), cupro-alliages tels que constantan, monel (avec le nickel), maillechort (avec le nickel et le zinc), alliage de Devarda (avec l'aluminium et le zinc), alliages de joaillerie (avec l'or et l'argent).

- * Utilisation dans la fabrication de matériels électriques, électroniques, de matériels de plomberie et pour l'automobile ainsi que l'équipement industriel et la fabrication de pièces de monnaie.



Figure I-9: fil de cuivre allié et tube de cuivre.

- * Fabrication de catalyseurs en synthèse organique (Cu , $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, CuC_{12} , CuCl , Cu_2O , $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$).
- * Fabrication de bains colorants pour métaux, de pigments pour le verre, les céramiques, les émaux, les peintures, encres et vernis ($\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, CuC_{12} , Cu_2O , CuO , $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, CuSO_4).
- * Industrie pétrolière : agents désodorisants, désulfurant, agents de flottation (CuCl_2 , CuCl , CuSO_4).
- * Industrie textile : teinture des textiles, tannage du cuir (CuSO_4 , $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, CuCl_2 , $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$).
- * Hydrométallurgie : raffinage des métaux (Cu_2O , CuO , CuCl_2).
- * Galvanoplastie, traitement de surfaces (CuCl_2 , CuCl), électrodes de galvanisation bains électrolytiques (CuCl , CuSO_4).
- * Fabrication de produits phytopharmaceutiques : herbicides, fongicides (anti-mildiou) (Cu_2O , $\text{Cu}(\text{OH})_2$), bouillie bordelaise (CuSO_4 avec hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$, sulfate de cuivre tribasique. [14]

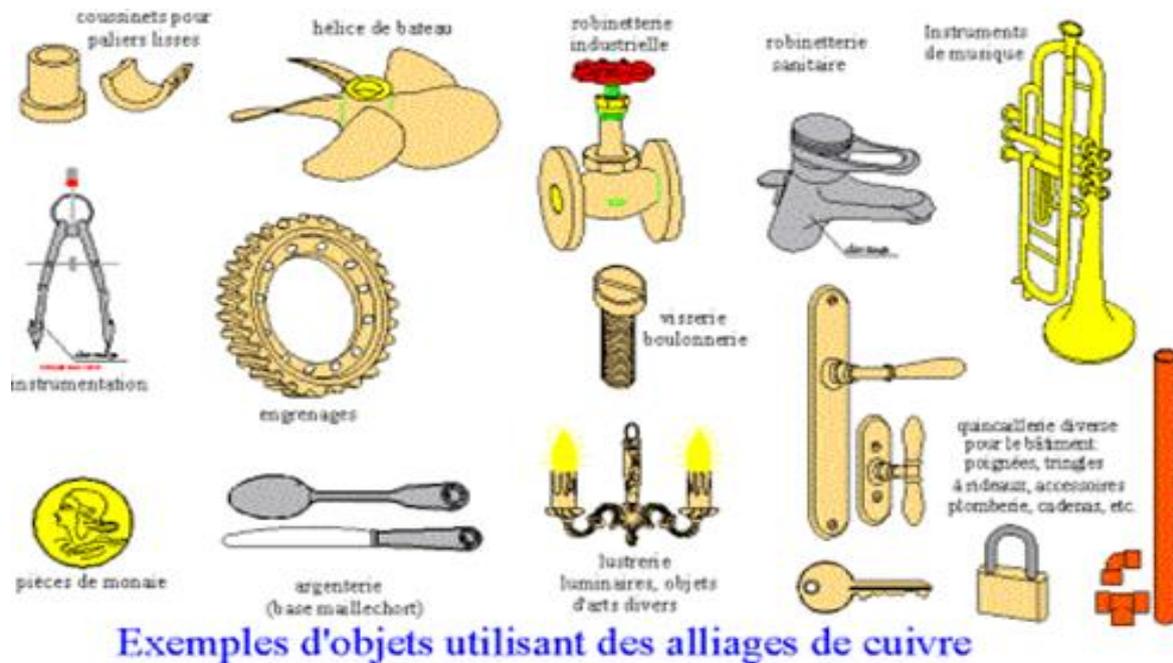


Figure I-10: objets utilisation des alliages de cuivre

I.4.10 Production des différentes nuances de cuivre

Le cuivre, produit à partir de l'extraction du minerai, est affiné par deux voies principales : L'affinage thermique et l'affinage électrolytique.

- ✓ **L'affinage thermique** : on met à profit dans cette opération le fait que l'oxygène a une plus grande affinité pour les impuretés que pour le cuivre. On réalise une fusion oxydante

En four à réverbère au cours de laquelle la plupart des impuretés oxydées sont éliminées soit par volatilisation (zinc, arsenic, antimoine), soit par scorification (béryllium, fer, nickel, cobalt, étain, plomb).

Une partie du cuivre s'oxyde en Cu_2O que l'on réduit par « perchage » en introduisant des troncs d'arbres verts dans le bain. Ce procédé n'est plus beaucoup utilisé aujourd'hui car le cuivre obtenu contient des porosités et des impuretés comme le silicium, le sélénium, le tellure, l'arsenic, le plomb, le nickel, le cobalt, qui rend la transformation délicate et qui diminuent la conductivité électrique.

- ✓ **L'affinage électrolytique** : c'est le procédé de base du raffinage du cuivre. Il consiste à dissoudre électro chimiquement le « blister » obtenu à partir des minerais sulfurés et qui contient

De 98 à 99,5 % de cuivre. Ce blister, coulé sous forme d'anodes, est dissous par électrolyse.

Le cuivre raffiné se dépose sur les cathodes alors que la plupart des impuretés restent dans le bain (zinc, fer, nickel, cobalt, étain, plomb). D'autres telles que l'argent, l'or et le platine, insolubles dans l'électrolyse, s'accumulent dans les boues. Enfin, quelques-unes (arsenic, antimoine, bismuth) se déposent avec le cuivre sur les cathodes et devront être éliminées par la suite. Les cathodes obtenues sont directement utilisables dans les charges de fonderie mais ne peuvent se prêter au laminage et au filage du fait de la présence de porosités.

Quel que soit le procédé d'affinage, on refond les lingots obtenus par affinage thermique et les cathodes obtenues par affinage électrolytique, afin de disposer des ébauches directement utilisables dans la transformation du cuivre. L'opération de refusions conduit, sans précaution particulière, à la dissolution dans le métal liquide de faibles quantités d'oxygène désirables ou non suivant le type d'application. On est amené, dans certains cas, à disposer de nuances de cuivre sans oxygène que l'on obtient :

- soit par ajout d'un désoxydant lors de la refusions.
- soit par une protection efficace contre l'oxygène quand le métal est à l'état liquide.

On distingue ainsi trois nuances de cuivre suivant la présence ou non d'oxygène et son Procédé d'élimination :

- le cuivre contenant de l'oxygène.
- le cuivre désoxydé avec désoxydant résiduel.
- le cuivre exempt d'oxygène ou désoxydé sans désoxydant résiduel. [15]

I.5 L'alliage du zinc

I.5.1 Historiques et présentation de l'élément

Le zinc est un élément de transition de numéro atomique $Z = 30$, il appartient au groupe II B de la classification périodique des éléments.

Connu depuis fort longtemps ; en particulier, l'oxyde de zinc ZnO est employé depuis l'antiquité comme pigment blanc, sous le nom de blanc de zinc ou blanc de Chine, des siècles avant d'être découvert sous sa forme pure, le zinc était connu à l'état d'alliage avec le cuivre pour former le laiton principalement.

Il était également utilisé dans les soins des douleurs oculaires. On retrouve des exemples de ces différents emplois sous le règne de l'empereur romain Augustus, qui régna de l'an vingt avant Jésus Christ à l'an quarante après JC.

Les premières expériences de fonte et d'extraction étaient réalisées en Chine et en Inde (1000 après JC).

Décrit depuis le XVIème siècle⁽¹⁾, mais la connaissance moderne du zinc est attribuée au chimiste allemand : Andréas Marggraf qui a pu l'isoler en 1746.

D'ailleurs le mot zinc vient de l'Allemand « zinke » qui signifie pointe en Français. Le premier procédé industriel fut inventé par le chimiste liégeois l'abbé Daniel Dony, à qui Napoléon 1^{er} avait concédé la mine de Moresnet (Namur), à charger pour lui de rechercher le moyen d'en extraire le minerai. La première usine de fusion de zinc à grande échelle dans le monde occidental a été construite à Bristol, en Angleterre, en XVIIIème siècle [16]



Figure I-11: Tranche de zinc à côté d'une pièce d'un pence (Zn recouvert de cuivre).

I.5.2 Carte d'identité du zinc

Symbole : Zn

Couleur : blanc et légèrement bleuâtre et brillant

Date de la découverte : 18ème siècle, plus précisément en 1746 par le chimiste allemand Andreas Marggraf.

Propriétés : comme tous les métaux, il est conducteur de la chaleur et de l'électricité.

Comportement à l'air : il est peu altérable de façon générale mais exposé à l'air, il forme une mince couche d'oxyde imperméable, parfois appelée rouille blanche.

Prix au kilogramme (septembre 2008) : environ 1,40 € le kilogramme.

Nom du minerai : on le trouve dans la nature sous deux formes :

- A l'état de sulfure dans la blende (sulfure de zinc)
- A l'état de carbonate dans la calamine (carbonate de zinc).

Régions du monde où on le trouve principalement : Chine, Australie, Pérou, Canada et États-Unis.

Production mondiale annuelle en tonne : 10 millions de tonnes

Un métier lié à ce métal : couvreur ou zingueur : c'est un ouvrier qui pose les matériaux de surface de la couverture d'un bâtiment et assure la réparation de celle-ci : il faut avoir un *CAP* de couvreur.

I.5.3 Généralités sur le zinc

Le zinc est un métal blanc bleuâtre, sa métallurgie repose sur deux groupes de Procédés:

- ✓ L'extraction par voie sèche, appelée plus souvent voie thermique, dans laquelle l'oxyde de zinc est réduit en présence de carbone à haute température ;
- ✓ L'extraction par voie humide, ou procédé électrolytique, dans laquelle l'oxyde de zinc est mis en solution dans l'acide sulfurique dilué, et le zinc extrait par électrolyse.

Le zinc entre dans la constitution de nombreux alliages ou il n'est pas l'élément le plus abondant : laitons que nous verrons par la suite, maillechorts et antifrictions. [17]

Le zinc est connu depuis la plus haute Antiquité. Il est presque aussi lourd que l'acier (densité 7,13). Sa température de fusion est basse (419°C), de ce fait il est largement utilisé en fonderie (production de masse pour l'automobile et les fournitures industrielles). Il présente une bonne résistance à la corrosion, d'où son emploi dans le bâtiment.

Principales utilisations :

- Alliages pour la fonderie sous pression (zamaks...) : carburateurs, boîtiers très complexes...
- Les zincs laminés pour le bâtiment : éléments et accessoires pour couvertures...
- Le zinc est le principal élément d'alliage des laitons (cuivre plus 10 à 40% de Zn),
- Poudres et revêtements de zinc pour protéger de la corrosion : métallisation, galvanisation, zingage, shérardisation, pigments pour peintures antirouille. [18]

I.5.4 Etat naturel

Le zinc est le vingt-quatrième élément le plus important de la croûte terrestre où il représente environ 0.02% de la lithosphère(2); il est donc relativement abondant. Ses principaux minerais, tous à l'état d'oxydation (+II) sont, par ordre d'importance quantitative décroissante :

- La blende : sulfure de zinc ZnS ;
- La smithsonite : carbonate de zinc $ZnCO_3$;
- La willémitte : silicate de zinc $ZnSiO_4$;
- L'hémimorphite : calamine $Zn_4Si_2O_7(OH)_2, H_2O$;

- La zincite : oxyde de zinc ZnO ;
- La franklinite : oxyde mixte de zinc et de fer $Zn(FeO_2) O_2$.

En fait, les métallurgistes désignent par bleds tous les minerais sulfurés et donnent le nom de calamines aux autres.

Dans les minerais, Zn est très souvent associé à Pb et Cd ainsi qu'à Fe, Cu, Bi, Sb, As, Ge, In, Ag, Au... La teneur en Zn des minerais tout venant est de 4 à 20%. Les grandes exploitations se situent notamment, au Canada, aux états unis (Colorado, Utah), en Australie et au Pérou.

I.5.5 Les différentes étapes de la production de zinc [19]

L'extraction du zinc peut s'effectuer dans des mines à ciel ouvert ou dans des gisements en profondeur.

Le choix du type d'exploitation découle de l'environnement, ainsi que des moyens financiers investis. Lorsque la décision d'exploiter une mine à ciel ouvert est prise, les mineurs creusent des trous à l'aide de forets pneumatiques manuels, dans lesquels ils vont placer les charges explosives.

Les roches sont extraites, puis transportées jusqu'à une usine de transformation qui se trouve généralement sur le site même de l'exploitation. C'est à ce stade que commence la phase de concentration.

I.5.5.1 Séparation des concentrés de zinc

A ce stade, le minerai est broyé afin d'obtenir de très fines particules qui vont être soumises à divers traitements chimiques, selon la nature du minerai. L'objectif est d'en retirer le maximum d'éléments étrangers et d'impuretés. Les différents concentrés présents dans la roche sont ensuite séparés par un procédé de flottation.

Cette technique est basée sur le fait que lorsqu'elles sont en suspension, les particules minérales recouvertes de certains produits chimiques s'agglutinent aux bulles d'air qui sont insufflées par le bas de la cellule de flottation et remontent en surface. Un dépôt mousseux se forme alors à la surface. Il sera récupéré et envoyé à travers plusieurs filtres. A la sortie de ce processus, on recueille plusieurs concentrés différents de zinc.

I.5.5.2 Affinage

C'est certainement l'étape la plus importante du processus. Afin d'obtenir du métal brut, l'industrie métallurgique du zinc utilise deux procédés : l'hydro et la pyrometallurgie.

I.5.5.3 L'extraction par voie humide (par hydrométallurgie)

L'hydrométallurgie consiste à la production, la purification ou l'élimination de métaux ou de composés de métaux au moyen de réactions chimiques, cette méthode est principalement utilisée dans le traitement des roches faisant apparaître une forte teneur en fer, elle se déroule en quatre volets qui sont respectivement : le grillage, la lixiviation, la purification l'électrolyse.

I.5.5.4 Grillage

Le grillage pourra transformer le sulfure oxyde. Le minerai de zinc, après grillage, est appelé calcine.

(Le dioxyde de soufre que l'on obtient grâce à ce procédé est transformé en acide sulfurique, réutilisé dans le processus vers l'étape suivante dite de lixiviation)

I.5.5.5 Lixiviation

le but de la lixiviation est de mettre en solution 80% du zinc sous forme de l'ion Zn^{+2} en obtenant la transformation de l'oxyde de zinc (calcine) issu du grillage en sulfate de zinc ($ZnSO_4^{+2}$), l'attaque de la calcine se fait à l'aide d'une solution diluée d'acide sulfurique (180 à 190 g/l), cette opération s'effectue aux environs de 60 c et dure entre une et trois heures, A ce stade, il reste encore entre 10 à 25 % de zinc insoluble qui va être récupéré grâce à une opération complémentaire, on injecte des ions ferreux (Fe^{+2}) qui précipitent en hydroxyde de fer ($Fe(OH)_3$) en entraînant certaines impuretés métalliques : arsenic, germanium et indium

I.5.5.6 Cémentation

Après lixiviation, quelques éléments extérieurs (Co, Ni, Cd, Cu) sont encore présents dans la solution. Cette élimination va se faire grâce à de la poudre de zinc fine. Le principe est de mettre en contact l'ion métal (exemple Cu^{+2}) avec un métal ayant un pouvoir réducteur plus important (moins électronégatif)

Equation 1



L'opération se fait par plusieurs cémentations successives. La difficulté d'extraire les éléments suit l'ordre suivant par difficulté croissante : Cuivre, Cadmium, Nickel, Cobalt On joue en particulier sur la température (entre 45° et 65°c pour le cadmium 75°-95°c pour le cobalt). Cette purification dure entre une et huit heures. A la fin du processus, les particules de zinc sont récupérées par filtrage.

I.5.5.7 Electrolyse

Une fois la solution purifiée, elle est versée dans des réservoirs d'électrolyse (cuves en ciment revêtue de PVC) constitués d'anodes en plomb et de cathodes en aluminium dans la

solution de sulfate de zinc. Cette opération se déroule entre 30 et 40°C et va permettre au zinc de se déposer sur la cathode d'où il sera décollé par pelage (ou stripping) toutes les 24, 48 ou 72 heures selon le cas.

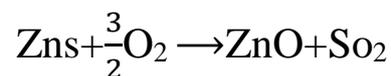
Equation 2



- La production par cellules qui contiennent jusqu'à 86 cathodes de 1,6 m², peut atteindre 3T/JOUR.
- Le zinc obtenu est très pur (99,995 %). Il contient moins de 50 ppm d'impuretés, la principale étant le plomb.
Finalement, le zinc obtenu est fondu et moulé en plaques. C'est sous cette forme qu'il sera mis sur le marché industriel.

I.5.5.8 L'extraction par voie sèche (pyrométallurgique)

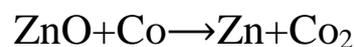
- soit par décomposition de la calamine à température modérée,
- soit par grillage entre 910° à 980°C pour la blende :



La réaction est exothermique.

Le métal est ensuite obtenu en réduisant l'oxyde par du coke à une T. > 907°C T. de vaporisation du Zinc en vue de le transformer en gaz :

Equation 3



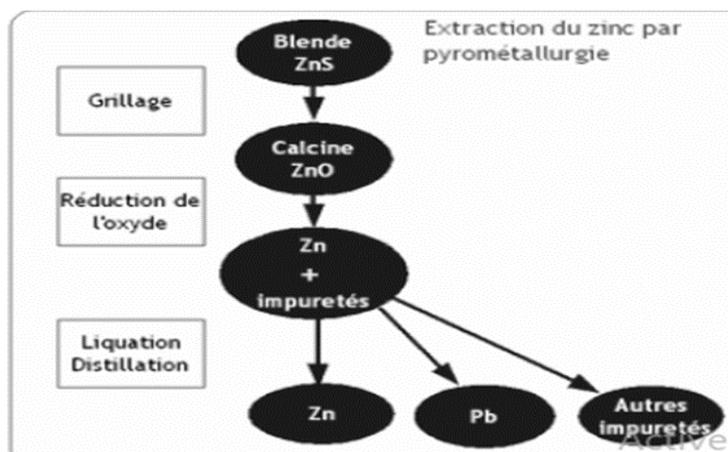


Figure I-12: processus pyrometallurgique du zinc [19]

Le zinc est capté en haut du four et récupéré par condensation. A ce stade, il contient encore des impuretés.

Le zinc obtenu lors des opérations précédentes contient encore du plomb et d'autres impuretés (fer, cadmium dans des proportions de l'ordre de 0,1%). Pour augmenter le titre en zinc du métal, il est affiné par deux opérations : la liquation et la distillation.

La liquation est basée sur une différence de miscibilité entre le plomb et le zinc à une température comprise entre 430 et 440°C. En traitant le zinc issu des opérations précédentes dans un four à réverbère pendant un à deux jours on sépare : le zinc qui contient encore 0,9 % de plomb de ce qui s'appelle la "matte de zinc" contenant du plomb, 5 à 6 % de zinc et un composé ferreux de composition $FeZn_{13}$.

Pour obtenir un zinc pur, il faut passer par une opération de distillation fractionnée qui permet de séparer le différent constituant métallique en jouant sur leurs températures de fusion. Pour cela, on chauffe le mélange de métaux pour le rendre gazeux. A l'aide de diverses colonnes de distillation on sépare les métaux en les condensant. [19]

I.5.6 Propriétés de zinc

Le zinc est caractérisé par ses propriétés physiques, chimiques, mécaniques et biologiques.

I.5.6.1 Propriétés physiques

Le zinc est un métal blanc, légèrement bleuâtre et brillant, à texture hexagonale, et à cassure cristalline lamellaire. Il est cassant à la température ordinaire.

Ses principales caractéristiques sont les suivantes: [13]

Tableau 5 : Propriétés physiques du zinc.

Propriétés	Caractéristiques
Numéro atomique	30
Masse atomique	67,37
Rayon de covalence	$1,31 \times 10^{-10}$ m
Valence	2
Structure a c c/a	hexagonal compact 0,2665 nm (à 25 °C) 0,4947 nm (à 25 °C) 1,856 (à 25 °C)
Masse volumique (à 25 °C) (solide à 419,5 °C) (liquide à 419,5 °C)	7,14 g/cm ³ 6,83 g/cm ³ 6,62 g/cm ³
Température de fusion	419,5 °C
Température d'ébullition	907 °C
Tension de vapeur	0,139 mmHg (à 419,5 °C)
Conductivité thermique (à 18 °C) (solide à 419,5 °C) (liquide à 419,5 °C)	113 W/(m*K) 96 W/(m*K) 61 W/(m*K)
Coefficient de dilatation thermique linéaire (monocristal selon l'axe a) (monocristal selon l'axe c) (polycristal)	15 µm/(m*K) (0 à 100 °C) 61 µm/(m*K) (0 à 100 °C) 39,7 µm/(m*K) (20 à 250 °C)

Coefficient de dilatation thermique volumique	$0,89 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (20 à 400 °C)
Chaleur latente de fusion	100,9 kJ/kg (à 419,5 °C)
Chaleur latente de vaporisation	1,782 kJ/kg (à 906 °C)
Capacité thermique molaire (solide) (liquide)	25,7 J/ (mol*K) 31,4 J/ (mol*K)
Résistivité électrique (à 20°C) (liquide à 419,5 °C)	5,9 $\mu\Omega \cdot \text{m}$ 37,4 $\mu\Omega \cdot \text{m}$
Coefficient de température de la résistivité	0,0419 $\text{n}\Omega \cdot \text{m}/\text{K}$ (0 à 100 °C)
Susceptibilité magnétique	$- 0,123 \times 10^{-6}$

I.5.6.2 Propriétés mécaniques

Le zinc est malléable et peut être lamine, suivant sa composition, entre 100 et 200°C. Il devient cassant à une température supérieure. Cependant, vers 50°C, il est relativement souple et peut être embouti. Il est peu ductile, mais on arrive à l'étirer en fils vers 50°C : ces fils servent à la métallisation au pistolet ou, après reprofilages, sont mêlés à l'amiante pour la fabrication du Ferraud. La densité du zinc s'est élevée par martelage ou laminage jusqu'à 7.25. Sa résistance à la traction pour la qualité ordinaire 97.75 % est de 16 à 20 kg/mm² avec un allongement de 25 à 40 % .plus le métal est pur, moindre sa résistance à la traction et plus élevé l'allongement. Ainsi, pour le zinc à 99%, la résistance descend à 12 kg et l'allongement s'accroît jusqu'à 50%.

Il est malléable entre 100 et 150°C et devient cassant au-dessus de 200°C ainsi qu'au-dessous de 5°C. Généralement caractérisé par une faible dureté et une ténacité médiocre. [20]

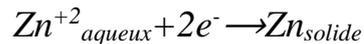
I.5.6.3 Propriétés chimiques

Le zinc est un métal bivalent, à caractère amphotère et réducteur, il se dissout dans les acides, avec dégagement d'hydrogène, et dans les bases fortes.

Dans l'air sec, il est inaltérable et ne s'oxyde pas. A l'air humide, il se recouvre d'une mince couche d'hydrocarbonate de zinc qui préserve le reste du métal de l'oxydation. Ce sel est insoluble et protège le zinc, ce qui explique l'utilisation de celui-ci dans le bâtiment. Le zinc est insensible à la plupart des substances organiques. [20]

Au point de vue électrochimique, le zinc est un réducteur vis-à-vis de la plupart des métaux sauf de l'aluminium et le magnésium. Son potentiel normal par rapport à l'électrode à l'hydrogène est -0,76V:

Equation 4



Par rapport au fer, il présente un potentiel normal inférieur de 0.32 V, d'où ces emplois pour la protection des métaux ferreux contre la corrosion

Les acides minéraux attaquent presque tous le zinc. La vitesse de la réaction dépend de son degré de pureté, de la nature des impuretés qu'il contient et de l'état de sa surface. Les objets en zinc pur, à surface polie, résistent plus longtemps que ceux en zinc ordinaire à la corrosion par les acides. L'action des acides gras et organiques est beaucoup plus faible, suffisante toutefois pour nécessiter certaine précaution de protection.

Le zinc est dissous par les bases fortes pour donner des zincates tels que ZnONa_2O . Les solutions de sels de métaux lourds (Pb, Cd, Cu) et précieux (Au, Ag) sont décomposées par le zinc. Cette action de précipitation le fait utiliser dans la métallurgie des métaux précieux. Il est employé également pour la désargentation du plomb.

Le zinc est insoluble à la plupart des substances organiques, telles que les hydrocarbures, les éthers, les cires, les goudrons, les huiles lourdes, l'essence de térébenthine, le tétrachlorure de carbone, le trichloréthylène, l'alcool pur à condition que ces produits soient exempts d'acidité et d'humidité.

Dans ses rapports avec les matériaux de construction, il est indispensable de savoir que le zinc se corrode lentement au contact du plâtre maintenu à l'état humide. La corrosion est même rapide si la pièce de zinc est reliée au plâtre par une pièce en fer ou en cuivre. Cette corrosion de nature électrochimique est due à un effet de pile. On l'évite par la pose de colliers qu'éloignent les tuyaux en zinc des murs, ou par l'interposition d'une matière inerte isolante entre les deux métaux. [21]

a) Action des halogènes:

A froid et en absence d'humidité, les halogènes réagissent peu, et de moins en moins en allant du fluor à l'iode. En présence d'humidité, l'action est un peu plus rapide [22]

b) Action des acides:

En milieu non oxydant, les acides attaquent le zinc à une vitesse qui dépend de la pureté du métal, certaines impuretés, comme le plomb, le cadmium, le mercure, l'indium, jouent un rôle d'inhibiteur. D'autre comme le fer, le cobalt, le nickel, provoquent une accélération de l'attaque. L'acide nitrique attaque le zinc quelle que soit la pureté [22]

c) Action des bases:

Les solutions alcalines dissolvent le zinc avec la formation de zincate et dégagement d'hydrogène. En solution suffisamment diluée (pH inférieur à 12), le zinc n'est pratiquement pas attaqué [22]

I.5.7 Structure cristalline de zinc

Le zinc (Zn) se cristallise dans une structure hexagonale compacte. Dans cette structure: au plan A on trouve 6 atomes de Zinc aux sommets de l'hexagone et un atome au centre de l'hexagone. Au plan B. On trouve 3 atomes de Zinc Cette structure est Une empliment ABABABAB..... [23]

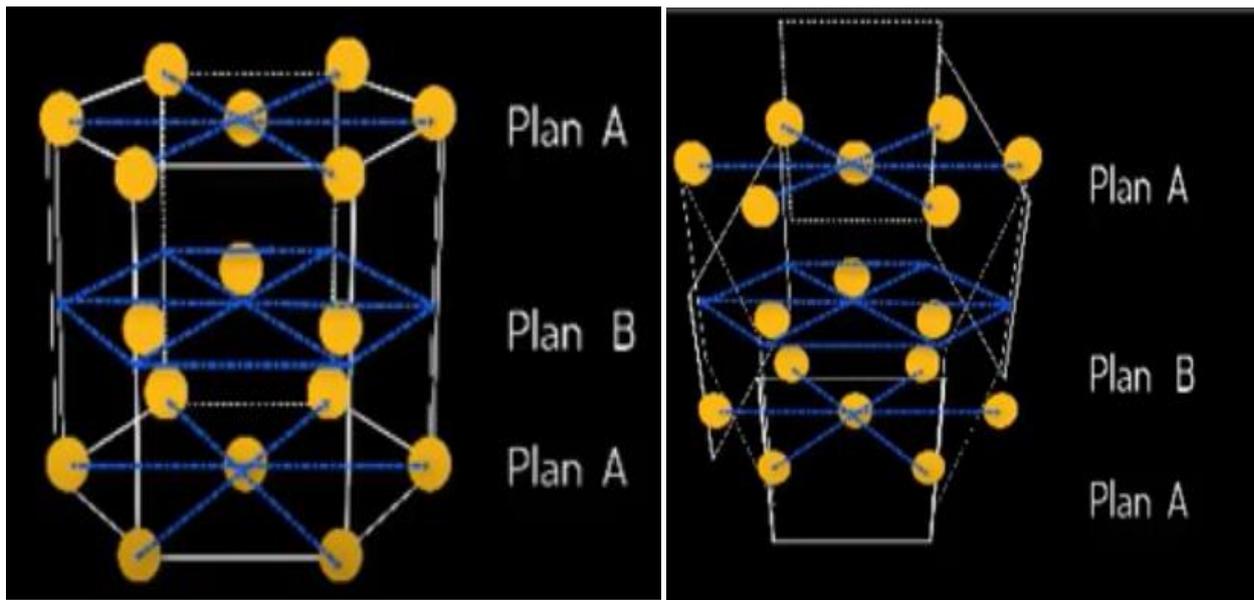


Figure I-13: Structure cristalline de zinc [23]

Le magnésium Mg et le cobalt Co ont la même structure. Dans cette maille hexagonale compacte, on compte : $12 \cdot (1/6) + 2 \cdot (1/2) + 3 = 6$ atomes de zinc car chaque sommet est partagé par 6 mailles et l'atome au centre de l'hexagone est partagé par 2 mailles.

I.5.8 Les alliages de zinc

Les alliages de zinc sont surtout employés en fonderie sous pression.

Les principaux sont :

- **Les zamaks (Z-A4G Zamak 3; Z-A4U1G Zamak 5)**, Ces alliages sont caractérisés par un point de fusion relativement bas (385 C), une coulabilité excellente et une agressivité faible vis-à-vis de l'acier, ce qui permet d'obtenir de 200000 à 400000 pièces avec le même moule. Leurs propriétés mécaniques sont excellentes et permettent une multitude d'applications. Ces alliages se prêtent particulièrement aux traitements de surface par galvanoplastie.

- **Les kayems (Z-A4U3G; Z-A4U3G2)** qui ont une résistance à l'usure beaucoup plus grande (Utilisés dans la réalisation par fonderie d'outillages complexes de presses, matrices, poinçons ou moules pour matières plastiques).
- **Les ILZRO (Z-A12U1G)** excellente coulabilité, insensibles à la vitesse de refroidissement ce qui permet de les mouler en sable. (Pièces prototype, petites séries).
- **Alzen305:** 35% d'aluminium, 2.5% à 5% de cuivre utilisés dans des organes de frottement. (Leur structure permet de retenir un film d'huile en surface).

Le zinc entre pour 10 à 40% dans la composition des laitons, des maillechorts (Cuivre, Zinc, Nickel imitant l'argent) et de certains alliages d'aluminium (Zicral).

Le zinc laminé est utilisé pour la **couverture** (toits, gouttières) et la fabrication d'accessoires pour le bâtiment. Cet emploi est fondé sur deux propriétés : la facilité de travail du zinc laminé (formage, pliage, soudure) et sa très bonne résistance à la corrosion atmosphérique (toitures). [24]

I.5.9 Les propriétés des alliages du zinc

I.5.9.1 Propriétés physiques des principaux alliages de zinc

Les propriétés physiques des principaux alliages de zinc, les plus importantes pour l'utilisateur, sont données dans le (**Tableau I.6**) [13]

Tableau 6: Propriétés physiques des principaux alliages de zinc

Désignation abrégée ou type d'alliage	Masse volumique (g/cm ³)	Intervalle de solidification (°C)	Coefficient de dilatation linéique (10 ⁻⁶ m/K)	Conductivité électrique (% IACS)	Conductivité thermique (W/ (m.K))	Capacité thermique massique (J/ (g.K))
ZL3	6,6	381-387	27,4	27	113	0,4187
ZL5	6,7	380-386	27,4	26	109	0,4187
ZL 2	6,7	379-390	27,8	25	105	0,4187
Kayem 1	6,7	378-390	28	25	104,7	0,418
Kayem 2	6,6	353-358	28	25	104,7	0,418
Zl 6	6,5	375-395	25	27	115	-

ZL 8	6,3	375-404	23,3	27,7	114,7	0,435
ZL 12	6	377-432	24,2	28,3	116,1	0,450
ZL 27	5	375-484	26	29,7	125,5	0,525
Ilzro 14	7,1	416-418	27	-	104,7	0,402
ZL 16	7,1	416-418	27	-	104,7	0,402

I.5.9.2 Propriétés mécaniques des principaux alliages de zinc [13]

Les propriétés mécaniques des principaux alliages de zinc, les plus importantes pour l'utilisateur, sont données dans le (Tableau I.7)

Tableau 7: Propriétés physiques des principaux alliages de zinc

Propriétés physiques	Unité de mesure	Zamak			Kayem		Alliages ZA		
		ZL3	ZL5	ZL2	ZL6	ZL16	ZL8	ZL12	ZL27
Résistance à la traction	Mpa	280	330	355		220	370	400	425
Limite d'élasticité 0,2 %	Mpa	200	250	270			220	300	370
Allongement à (50 mm)	%	10	5	5			8	5	2,5
Résistance à la flexion par choc (éprouvette non entaillée 6,3 mm*6,3 mm)	J	57	58	59			40	30	10
Résistance à la compression (à 0,1 %)	Mpa	450	600	640	800	680	250		385
Résistance au cisaillement	Mpa	220	270	317			275	248 à 262	325
Résistance à la fatigue (10 ⁸ cycles)	Mpa	48	56	60			100		145
Dureté brinell 500-10-30 HBS		83	92	102			100	100	120
Dureté vickers sous 5 kg	HV	80 à 90	85 à 95	100 à 110	100 à 110	140 à 150	100	105 à 125	120
Module de Young	Gpa	85	85	85			86	82	78

Résistance au fluage pour allongement à 0,5 % (3000 h)	Mpa	80	100	130			160		100
---	-----	----	-----	-----	--	--	-----	--	-----

I.5.9.3 Désignation des alliages de zinc

I.5.9.3.1 Désignation conventionnelle

La désignation suit l'ancienne norme **NF A 02-004** et comprend dans l'ordre : le symbole Afnor du zinc (Z) ou du magnésium (G) ;

- suivi des symboles Afnor des éléments d'alliage dans l'ordre décroissant des teneurs, chacun étant accompagné de la teneur exprimée en pourcentage.

Exemple :

Z-A4G, G-A3Z1.

I.5.9.3.2 Désignation des alliages de zinc pour la fonderie

La norme **NF EN 1774** définit les désignations, compositions chimiques, marquages

Et autres exigences des alliages de zinc en lingots ou liquide destinés à la fonderie.

La désignation par symbole est issue du système de désignation donné par la norme ISO 301.

Par exemple :

ZnAl4Cu1 désigne un alliage de zinc contenant nominale 4 % d'aluminium et 1 % de cuivre.

I.5.9.3.3 La désignation numérique

L'alliage doit être composé des deux lettres **ZL** (signifiant alliage de zinc) et de quatre chiffres correspondant aux indications suivantes :

- les deux premiers chiffres indiquent la teneur nominale de l'aluminium ;
- le troisième chiffre indique la teneur nominale du cuivre ;
- le quatrième chiffre indique la teneur nominale de l'élément d'alliage suivant en teneur la plus importante. Si sa teneur est inférieure à 1 %, le quatrième chiffre doit être « 0 ».

Par exemple :

ZL0430 désigne un alliage contenant nominale 4 % d'aluminium et 3 % de cuivre.

Les pièces moulées en alliages de zinc suivent une désignation numérique voisine de la précédente : on remplace **ZL** par **ZP**.

Exemple: le Zamak 5 (nom commercial) est un ZP0410 ; le Kayem1 (nom commercial) est un ZP0430. [13]

I.5.10 Utilisations et applications du zinc

Le zinc est particulièrement apprécié dans différents secteurs où ses caractéristiques chimiques et physiques lui permettant d'être associé à de nombreuses applications. Il bénéficie d'une réputation «métal écologique».



Figure I-14: Plaque de zinc centimétrique et seau en zinc, ustensile agricole.

I.5.10.1 Principales applications

Le zinc est particulièrement apprécié dans différents secteurs où ses caractéristiques chimiques et physiques lui permettant d'être associé à de nombreuses applications. Il bénéficie d'un «métal écologique». 75% du zinc est consommé sous sa forme métallique, les 25% restant sont employés, soit sous la forme d'oxyde, soit sous celle de sulfure de zinc. Le sulfure de zinc quant à lui, est principalement employé dans la confection de peintures peu toxiques.

* Galvanisation :

Le zinc sous forme métallique est principalement utilisé comme revêtement protecteur contre la corrosion du fer et des aciers, à cause de sa température de fusion relativement basse, une couche de zinc est obtenue par immersion de l'acier dans un bain de zinc fondu, alors l'acier est dit galvanisé. [26]

* Electrozingage :

L'électro zingage en continu concerne principalement les tôles destinées à l'automobile, il y a dépôt électrochimique sur la pièce métallique à traiter qui est en cathode. [26]

* Métallisation directe :

Projection au pistolet de métal fondu (procédé shop) ou peintures antirouille, contenant environ 92% de zinc. [26]

* Anodes sacrificielles :

Cette application découle des positions relatives du potentiel standard du zinc ($E^\circ = -0,76 \text{ v}$) et du fer ($E^\circ = -0,44 \text{ v}$), et du faible coût du métal, le zinc est anode lorsqu'un conducteur le relie au fer ou à l'acier. Ainsi un bloc de zinc est sacrifié pour protéger cathodiquement une installation en acier. Les anodes sacrificielles qui ont protégées ou protègent les rails de chemin de fer, les citernes enterrées, les coques de navires...

* Bâtiment :

Le zinc laminé est utilisé pour la couverture (toiture) dans le bâtiment du fait de sa bonne résistance à la corrosion. Il est aussi employé pour construire des accessoires d'évacuation des eaux pluviales et les gouttières. [26]



Figure I-15:Couverture en zinc à joint-debout.

I.5.10.2 Autres applications

- ❖ La poussière de zinc est utilisée pour la fabrication de l'aniline, la cémentation de des métaux précieux, la purification des solutions d'électrolyses, comme agent réducteur dans la fabrication du formaldéhyde.
- ❖ Au début des années 80, aux Etats unis, les pièces de 1 cent qui étaient traditionnellement en cuivre, ont été remplacées par les pièces de zinc recouvertes de cuivre, la consommation de ces pièces est particulièrement importante, plusieurs milliers de tonnes par an, du fait de la tradition de jeter ces pièces dans les fontaines.
- ❖ Sel, poudre et Zn laminé utilisé pour les anodes des piles salines, alcalines et boutons. Dans ces piles, le pôle négatif est en zinc. Dans le cas des piles salines cylindriques, l'électrolyte est du chlorure de zinc, le pôle négatif est constitué par un alliage de zinc et du plomb à 0,2%. Pour les piles alcalines, dans lesquelles l'électrolyte est KOH le pôle négatif, axiale, est constitué par un crayon de zinc entouré d'un aggloméré de poudre de zinc.
- ❖ Oxyde de zinc: de couleur blanche, généralement préparé par oxydation des produits de récupération et de déchets de zinc, après vaporisation de zinc. Il entre dans la fabrication des caoutchoucs et pneumatique car il accélère la vulcanisation (1), et améliore la résistance à l'usure du caoutchouc, il est aussi utilisé dans la fabrication des peintures, en agriculture et l'alimentation animale (Oligo-élément), en pharmacie (élément cicatrisant), les parafoudres moyenne tension du réseau électrique.

Autres dérivés du zinc :

Le sulfate de zinc $ZnSO_4$ est employé dans le textile comme coagulant des bains, pigment blanc destiné à la peinture, et comme électrolyte de la pile Daniell.

Le sulfure de zinc ZnS est blanc phosphorescent, il entre dans la composition d'enduit d'écrans de télévision.

Le chlorure de zinc est utilisé en galvanisation et entre dans l'industrie du bois où il protège contre les attaques des insectes. [26]



Figure I-16:Un alliage de zinc

PARTIE II
ETUDE
EXPÉRIMENTALE

II.1 Présentation du gisement de minerai Pb/Zn d'Amizour

Le gisement plomb-zincifère d'Amizour est considéré comme les plus grands gisements polymétallique en Algérie, intrusives et couvrant une superficie de 70 km².

Le minerai Pb/Zn comporte certaines quantités de substances lourdes (gangue), ce qui consiste à les séparer des substances valorisables par une technique d'enrichissement qui est la flottation. Dans le cas de minéral métallique on présentera le gisement d'Amizour du point de vue géographique, sa géologie ainsi que sa réserve géologique sa minéralogie. On parlera également de la distribution des teneurs ainsi que sa valeur ajoutée pour la ressource humaine et l'économie nationale.

II.1.1 Situation Géographique

Le gisement de Tala Hamza est situé à l'intérieur du projet de zinc d'Oued Amizour, lui-même situé sur la côte nord de l'Algérie, à environ 10 km au sud-ouest de la ville portuaire de Bejaïa et à environ 270 km à l'est de la capitale Alger. (**Figure II.1**)



Figure II-1: Situation Géographique de gisement d'Amizour (vue par satellite)

Ce gisement est limité au Nord par l'Oued Soummam, à l'Ouest par Oued Amizour, à l'Est par oued djemââ, et au sud par les monts de Barbacha. (**Figure II.2**)

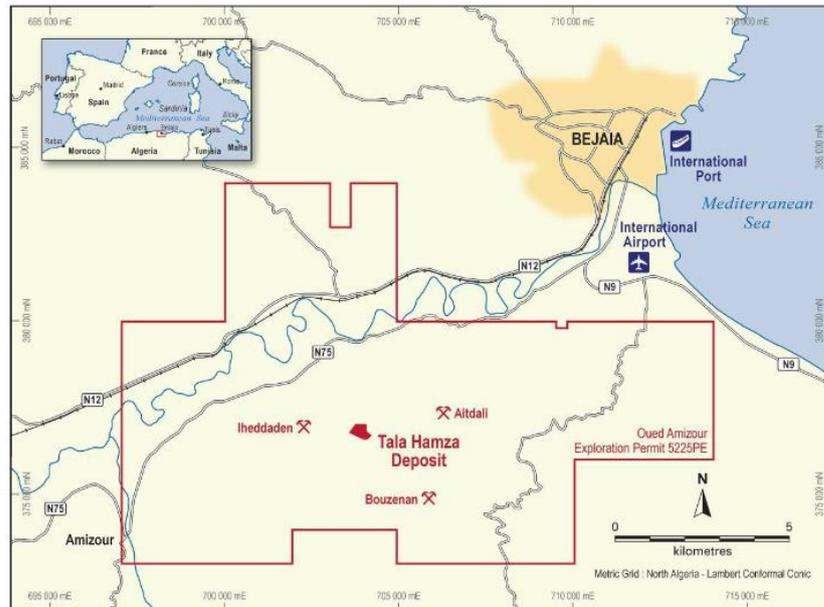


Figure II-2: Situation du gisement de Zn/Pb

II.1.2 Réserve géologique de gisements de Pb/Zn d'amizour

Le potentiel en zinc/ plomb en Algérie est évalué à 150 millions de tonnes de minerai. Il est localisé principalement au nord du pays les perspectives de développement sont principalement contenues dans la mise en valeur du gisement d'oued Amizour (Bejaia) dont les réserves totales sont estimées à 34 millions de tonnes dont 10 millions de tonnes à 11 % Zn et 3.2 % Pb.

(Épaisseur moyenne de 49 m). Une étude de faisabilité réalisée par **WMZ** est sur le point d'être lancée pour déterminer les paramètres technico-économiques et déboucher sur la réalisation d'un module de production de 100.000 tonnes/ans de concentré de zinc et de plomb.

II.1.3 Liaisons avec différents Infrastructures

Le traitement du minerai à Oued Amizour utilisera la technologie de flottation conventionnelle. L'infrastructure de l'usine de traitement a été entièrement confinée dans la vallée B et fournit des options d'extension à l'avenir.

II.2 Aperçu sur la minéralisation de minerai

Le minerai se caractérise par la présence principalement de la « pyrite, sphalérite, la galène, marcassite, melnicovite ».

Les minéraux de gangue sont représentés par le quartz, la séricite, la kaolinite et la calcite.

II.2.1 Caractérisation du minerai (Composition minéralogique)

La composition minéralogique, à travers les études faites par l'ORGM, fait distinguer 43 minéraux. Beaucoup d'entre eux appartiennent à différentes phases de formation du gisement. De ce fait, ils sont considérés comme minéraux à plusieurs générations.

Le groupe génétique est représenté par 29 minéraux dont 9 sont essentiels, 6 secondaires et 14 rares, Un bon nombre de minéraux existent en plusieurs générations, Le groupe génétique supergène réunit 14 types de minéraux dont 3 sont essentiels, 4 secondaires et 7 rares.

Tous les minéraux résultent de l'action des altérations hypergènes postérieures aux minéraux du groupe génétique hypogène.

Ces groupes génétiques sont représentés dans (**Tableau II.1** et le **Tableau II.2**)

Tableau 8:Minéraux essentiels et secondaires hypogènes et supergène[27]

Groupes génétiques	Essentiels	Formules	Secondaires	Formules
Hypogènes Hydrothermales	Quartz Séricite Kaolinite Calcite Sphalérite Galène Marcasite Melnicovite Pyrite	SiO ₂ Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ CaCO ₃ ZnS PbS Fe ₃ S ₄ FeS ₂	Epidote Alunite Tennantite Sidérose Baritine	K ₂ SO ₄ (Al ₂ SO ₄) 2Al ₂ O ₃ 6H ₂ O. (Cu, Fe) ₁₂ Sb ₄ Si ₃ FeCO ₃ BaSO ₄
Supergène	Anglésite Cérusite Smithsonite	PbSO ₄ PbCO ₃ ZnCO ₃	Malachite Hydrozincite Limonite	Cu ₂ CO ₃ (OH) ₂ Zn ₅ (CO ₃) ₂ (OH) ₆ Fe ₂ O ₃ (OH) ₃

Tableau 9:Minéraux rares hypogènes et supergène. [27]

Groupes génétiques	Rares	Formules chimique
Hypogènes Hydrothermales	Hématite Magnétite Soufre natif S Dickite Nacrite muscovite Mackinovite Pyrrhotite Chalcopyrite Bismutite Anhydrite Casolite	Fe ₂ O ₃ Fe ₃ O ₄ S FeS Fe (1.X)S CuFeS ₂ Bi ₂ S ₃ CaSO ₄
Supergène	Hémimorphite Chalcosite Statefildite Goethite Cimacite Djarlite	Cu ₂ S.

II.2.2 Analyse chimique du minerai

Le dosage de la totalité des éléments minéraux contenus dans le minerai a été réalisé à l'aide d'un spectromètre d'émission atomique à source plasma couplée avec inductance (ICP). Le minerai a subi un traitement mécanique (concassage, broyage et homogénéisation). Les résultats d'analyse par ICP et la composition chimique du minerai donné par FX sont résumés dans les (Tableaux II.3 et II.4).

Tableau 10:Résultats d'analyse par ICP du minerai [27]

Eléments	Teneurs %	Eléments	Teneurs %
Al	3.8	Mg	0.12
Ba	<0.01	Cu	<0.01
Pb	0.7	Zn	4.4
Cd	0.1	Sn	<0.01
Ca	0.6	Si	0.17
Cr	0.1	Zr	0.01
Fe	5.5	Tl	<0.01
K	1.7	Hg	0.015
Na	0.05	Mn	0.66
Ti	0.02	Ag	<0.01

Tableau 11:Composition chimique du minerai tout venant donnée par FX [28]

Composé	Teneurs	Composé	Teneurs
Na ₂ O	1.552	TiO ₂	0.557
MgO	0.270	MnO	12.34
Al ₂ O ₃	12.741	Fe ₂ O ₃	6.849
SiO ₂	49.994	CuO	0.069
P ₂ O ₅	0.334	ZnO	5.965
SO ₃	0.578	As ₂ O ₃	0.178
K ₂ O	1.896	Rb ₂ O	0.022
CaO	8.038	SrO	0.021
PbO	0.498		

II.2.3 Distribution des teneurs

Les teneurs en élément Pb/Zn dans le minerai d'Amizour pour les différents sondages sont inégalement réparties. L'amplitude de variation des teneurs est importante dans le même sondage et d'un sondage à un autre. (**Tableaux II.5**)

Tableau 12 : Teneurs maximales en Pb et Zn en fonction des sondages [29]

Sondage S	% max Pb	% max Zn	Sondages	% max Pb	% max Zn
S55	0,64	6,53	S80	0,49	3,9
S63	0,77	3,82	S81	0,57	6
S64	1,49	7,77	S82	1,03	4,5
S66	1,12	5,56	S83	1	18,5
S67	0,53	4,33	S90	1,02	26
S69	0,19	4,2	S93	0,8	4,2
S71	0,18	2,74	S94	1,2	9,1
S73	0,17	3,38	S95	5,1	21
S74	0,41	4,86	S97	1,5	23
S75	0,53	5,5	S98	2,9	21,9
S76	0,66	5,99	S100	21	24
S78b	0,8	26,5	S102	18	38
S79	1,6	36	S104	5,9	11,6
			Moyenne	2,676	12,649

Les calculs statistiques, effectués à travers l'ensemble des sondages, montrent une teneur moyenne en Pb de 2,67% et 12,65%Zn. Le coefficient de variation des teneurs en Pb et en Zn varie en fonction de la profondeur du sondage et diffère d'un sondage à un autre.

Le Tableau 12 : Regroupe les teneurs maximales en plomb et en zinc dans l'ensemble des sondages.

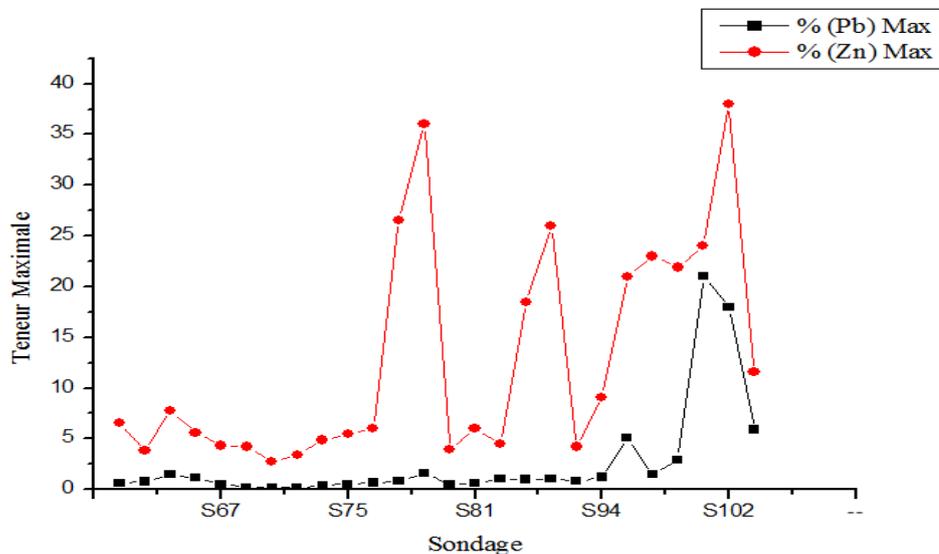


Figure II-3:Présentation des sondages en fonction des teneurs maximales de Pb et Zn. [29]

Dans la **figure II.3**, nous remarquons que la teneur en plomb est plus au moins stable pour les Sondages 55 à 94 et à partir du sondage 95 on remarque une importante fluctuation avec un Maximum de teneur en Pb de 21% au niveau du sondage 100.

La teneur en zinc est maximale pour le sondage 79 et elle est minimale pour le sondage 71. L'amplitude de variation de la teneur en Zn sur l'ensemble des sondages atteint 32 %. Ce Qui peut poser des problèmes pour la stabilité et la qualité du minerai.

II.3 La Méthode d'exploitation

Chambre Remblayée Descendante (CRD)

Cette méthode d'exploitation permet l'extraction du minerai dans des types de roches de Faible résistance, elle consiste à utiliser un remblai cimenté associé à un renforcement en acier, elle utilisera 75 % des rejets de traitement de l'usine comme remblais et rend inutile l'utilisation d'un barrage à résidus. **Figure II.4**

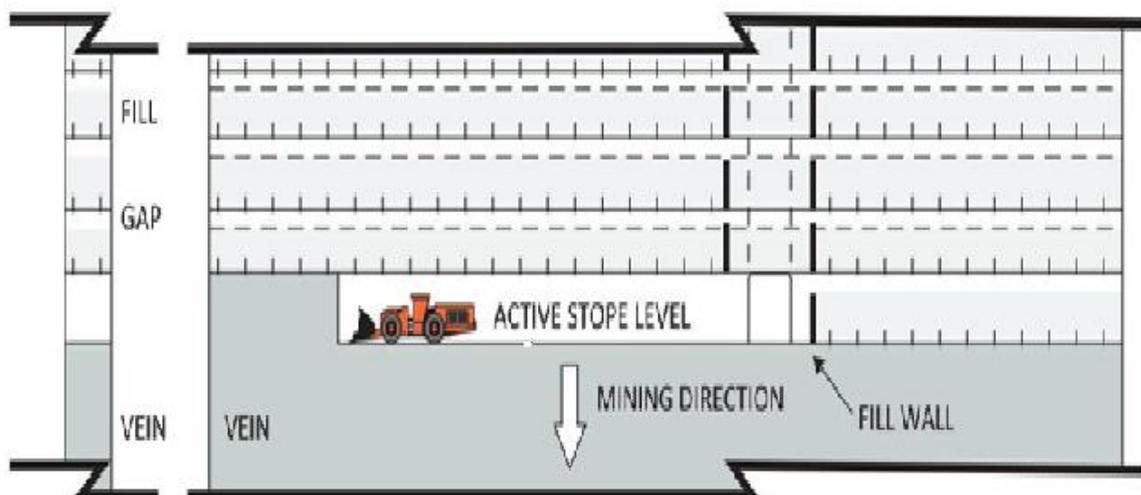


Figure II-4:Chambre Remblayée Descendante (CRD) [30]

II.4 Transport et logistique de zinc

- Le transport par camions des conteneurs du concentré vers le port de Bejaia a été choisi comme la méthode la plus efficace. [30]
- Les conteneurs rotatifs évitent des investissements supplémentaires au port de Bejaia



Figure II-5:Conteneurs rotatifs empilés au port en attente de chargement au navire



Figure II-6:Conteneur en cours de chargement

II.5 Les valeurs ajoutées pour la ressource humaine et l'économie nationale

L'importance de ce projet qui permettra d'alléger la facture des importations en répondant aux besoins du marché national et d'augmenter les recettes en devises par l'exportation de la production excédentaire. Le projet permettra l'emploi des diplômés universitaires et des centres de formation professionnelle, en créant près de 786 emplois directs (dont 670 Algériens) selon l'entreprise **WMZ**, sans compter l'impact positif du projet sur le développement économique de la région.

II.6 Capacité de production et besoins nationaux en matière de concentré de zinc

Le seul consommateur national potentiel en matière du concentré de zinc est la société Alzinc. La moyenne annuelle de sa consommation est de 50 000 tonnes. La production nationale actuelle ne dépasse pas le seuil de 3 000 tonnes/an, le reste est importé par la société Alzinc, L'entrée en production du projet d'Oued Amizour prévue pour l'exercice 2024, permettra de couvrir les besoins nationaux en cette matière et d'exportation du produit fini, (semi fini ou brut).

CONCLUSION

Conclusion

Après deux mois de préparation de ce présent mémoire de fin d'étude au niveau de ce présent mémoire de fin d'étude au niveau de l'université de Bejaia, un ensemble de conclusions peuvent être tirées suite au traitement de ce thème d'étude qui porte sur caractérisation de zinc potentiel et perspectives, aux niveau de gisement d'oued Amizour (Talla Hamza), et à base des informations et données présentées ont permis de tirer les conclusions suivantes :

Ce gisement du minerai de Zinc offre un important potentiel d'exploitation et d'exportation du produit fini, semi fini ou brut.

Vu la concentration assez grande de ce matériau dans la pièce brute, elle améliore ses propriétés mécaniques de façon remarquable.

Le Zinc d'oued Amizour contribue au développement de la zone tout entière coté urbanisme routier, industriel, main d'œuvre et même touristique, sachant qu'il se trouve à proximité du littoral.

Le gisement ouvre une perspective de richesse de la wilaya toute entière et une valeur ajoutée à l'économie nationale, la spécificité de ce Zinc d'après l'analyse chimique présentée, peut lui donner une dimension mondiale. et ouvre une possibilité de développer une multitude de petites industries autour du site.

En conclusion le zinc d'oued Amizour offre multitude avantages spécifiques à l'exploitation et l'exportation.

Enfin, en perspective on envisage une collaboration de recherches et d'amélioration de propriétés avec le secteur de l'enseignement supérieur.

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUE

- III. [1] : Mahmoud Naji, Mines (Université de Damas, 1990/1991).**
- [2]:**<https://mawsoati.com/new/%D8%A7%D9%84%D8%B3%D8%A8%D9%8A%D9%83%D8%A9.html>
- [3] : Gérard. Hartmann.** L'Aluminium historique. Larousse des industries, 2004.
- [4]: The Aluminum Association.** (2017). Aluminum Alloys 101. En ligne. <http://www.aluminum.org/resources/industry-standards/aluminum-alloys-101>
- Beaulieu, D. (2013). Les caractéristiques de l'aluminium structural (2e éd.) Montréal, Québec : Les presses de l'aluminium. Pages 23 à 26.
- [5] : Asma Haddouche.** « *Caractérisation physico-chimique des alliages d'Aluminium utilisés comme matériau de revêtement mural Mémoire de fin d'étude en Master* », Université Med Khider Biskra 2006.
- [6] : Document technique de l'ingénieur:** titre "Propriétés générales de l'aluminium et de ses Alliages " par Christian VARGEL.
- [7] : M. Léon GUILLET"** L'aluminium et ses alliages "directeur de L'Ecole Centrale, Membre de l'institut.
- [8] : Smith, B. Webster.** Soixante siècles de cuivre. UK Copper Development Association (1965) Copper Development Association Inc. Histoire du cuivre.
- [9] : Yakoubi Ali.** « Les alliages de cuivre Département de l'ingénieur Mécanique » Université Moustafa Ben Boulaide-Batna 2021.
- [10] : « Aide-mémoire »** science des matériaux 2e édition Par Michel Dupeux.
- [11] : Métallurgie spéciale,** Tome II, Le cuivre et ses alliages –HERENGUEL J
- [12] : TIGHILT Djamel** « Etude de l'influence de la température de frittage sur l'alliage Ni-Cu35% Mémoire de fin d'étude en Master académique En génie Mécanique » Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
- [13] : Michel Colombié**« MATERIAUX METALIQUES », Dunod
- [14] : Information on registered substances,** ECHA (Europeanchemicalsagency), (2003).
- [16] : metallurgica,** ouvrage du médecin et philosophe suisse Théophraste Von Hœnheim ou Paracelse (1493-1 541).

- [17] : **AMIRAT Boukhalfa** « Etude et caractérisation mécanique du filélectrode à base de Cu-Zn utilisé sur la machine ROBOFIL 290P (BCR) » Mémoire de fin d'étude en Master Académique En Génie Mécanique 2013.
- [18] : http://joho.p.free.fr/EC/COURS%20DOC/MATERIAUX/ZINC%20ET%20ALLIAGES%20ECMET_07.htm
- [19] : **De.GHOMARI Fouad** « SCIENCE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION » Université Aboubeker Belkaid.
- [20] : **J. Duchaussoy**, « le zinc », presses universitaires de France, 1971.
- [21] : E:\Métallurgie extractive du zinc - Wikipédia_222\Zinc - Wikipédia.html
- [22] : **H. Ramdani**, l'amélioration de la mise en solution de l'oxyde de zinc au niveau de la lixiviation, Projet de fin d'étude, 2005.
- [23] <https://www.youtube.com/watch?v=at63qoCyBA4>
- [24] : **Les Alliages De Zinc** « lycée RAYMOND LOEWY »
- [25] : [https://www.outillageprogress.com/img/cms/Caract%C3%A9ristiques%20techniques%20du%20zamak%20\(1\).pdf](https://www.outillageprogress.com/img/cms/Caract%C3%A9ristiques%20techniques%20du%20zamak%20(1).pdf)
- [26] : <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/1121/6/chapitre%202.pdf>
- [27] : **SAIDI Leila**, 2012 : Caractérisation et valorisation des rejets issus du traitement du minerai Pb/Zn (mine d'Amizour), mémoire de Magister, Université Abderrahmane Mira de Béjaia.
- [28] : **L. Mahtout, D. Merabet**, 2004 : Caractérisation du minerai plomb zinc d'Amizour en vue d'un enrichissement par flottation, les techniques de l'industrie minérale n° 22.
- [29] : **Mahtout Laila**, 2009 : Influence de la consommation des réactifs de la flottation sur la sélectivité des métaux Pb/Zn (Mine AMIZOUR), Thèse doctorat, Université de Sétif.
- [30] : <http://webtv.univ-bejaia.dz/wp-content/uploads/2021/01/Presentation-du-Projet-de-zinc-de-Tala-Hamza-Decembre-2020.pptx>

Résumé

Le gisement plomb-zinc d'Amizour est l'un des plus grands gisements d'Algérie. Sa minéralisation est constituée principalement de galène, de sphalérite et de certains éléments en faibles proportions tels que cadmium, thallium et cuivre. Les analyses effectuées par diverses méthodes physico-chimiques ont permis de déterminer la composition minéralogique et chimique de ce minerai. Puis des essais d'enrichissement par flottation de la sphalérite ont démontré la possibilité d'éliminer la pyrite et d'extraire le zinc avec un rendement favorable.

Summary

The Amizour lead-zinc deposit is one of the largest deposits in Algeria. Its mineralization consists mainly of galena, sphalerite and certain elements in small proportions such as cadmium, thallium and copper. The analyzes carried out by various physico-chemical methods made it possible to determine the mineralogical and chemical composition of this ore. Then sphalerite enrichment tests by flotation demonstrated the possibility of eliminating pyrite and extracting zinc with a favorable yield