

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE BLIDA 1**



**Faculté de Technologie / Département Génie des Procédés**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

**Pour l'obtention du diplôme Master en génie des procédés**

**Option : Gestion durable de déchets et procédés des traitements**

**Thème**

**Traitement et valorisation des déchets de  
cuivre au niveau de l'entreprise Arab  
Metals spa Médéa.**

Réaliser par :  
LEMITI Amel  
MEGHERBI Kawther

Encadré par :  
M. CHANANE Kamal

Promotion 2023

## **Résumé :**

Le cuivre est un métal très demandé en industrie, la demande algérienne en cuivre atteint 30.000 tonnes chaque année avec un taux de recyclage de 50%, pour un marché annuel estimé à 75 millions de dollars. Notre travail consiste à faire une étude sur la récupération des déchets de cuivre au niveau de l'entreprise Arab Metals à Médéa. L'entreprise récupère et traite 13.000 tonnes de cuivre annuellement. Le cuivre récupéré est classé en 3 catégories selon sa pureté. Il subit une série de traitement pour produire principalement du fil de cuivre de 8 et 14 mm destiné à la production de fil électrique.

**Mots clés :** Cuivre, recyclage, Arab Metals spa.

## **ملخص:**

النحاس معدن مطلوب بشدة في الصناعة، ويصل الطلب الجزائري على النحاس إلى 30 ألف طن كل عام بمعدل إعادة تدوير 50%، لسوق سنوي يقدر بنحو 75 مليون دولار. يتمثل عملنا في إجراء دراسة حول استعادة نفايات النحاس على مستوى شركة المعادن العربية في بولاية المدية. تقوم الشركة باسترداد ومعالجة 13000 طن من النحاس سنويا. يصنف النحاس المسترجع إلى 3 فئات حسب نقاوته بعد إخضاعها لسلسلة من المعالجة لإنتاج سلك نحاسي 8 مم و 14 مم لإنتاج الأسلاك الكهربائية.

## **Abstract:**

Copper is a metal in great demand in industry, in Algeria, the demand reaching 30,000 tons every year, with 50% recycling rate and the annual market is estimated at 75 million dollars. The aim of this work involves a study of copper scrap recovery at the ARAB METAL company in Medea. The company recovers and processes 13.000 tonnes of copper annually. The recovered copper is classified into 3 categories according to its purity. It undergoes a series of treatments to produce mainly 8 and 14 mm copper wire for electrical wire production.

**Keywords:** Copper, recycling, Arab Metals spa.

## Liste des tableaux

|   | Page |
|---|------|
| Tableau 2.1 : Composition chimiques du laiton.                                      | 17   |
| Tableau 4.1 : Classification des déchets de cuivres.                                | 23   |
| Tableau 4.2 : Type et classe des déchets du cuivre.                                 | 23   |
| Tableau 4.3 : Classification du déchet de cuivre selon la convention de Bâle.       | 28   |
| Tableau 4.4 : Résultats d'analyse par spectroscopie d'émission optique du groupe 1. | 28   |
| Tableau 4.5 : Résultats d'analyse par spectroscopie d'émission optique du groupe 2. | 29   |
| Tableau 4.6 : Résultats d'analyse par spectroscopie d'émission optique du groupe 3. | 30   |
| Tableau 4.7 : Compilation des résultats d'analyse.                                  | 33   |

## Liste des figures

|  | Page |
|--|------|
| Figure 1.1 : : Les mineraux de cuivre  | 5    |
| Figure 1.2 : la production des concentrées par le procédé de flottation                | 6    |
| Figure 1.3 : séparation de sulfure de fer pour obtenir le cuivre brut                  | 7    |
| Figure 1.4 : l'affinage thermique du cuivre brut                                       | 8    |
| Figure 1.5 : l'affinage électrolytique du cuivre                                       | 8    |
| Figure 1.6 : les ululation du cuivre   | 10   |
| Figure 1.7 : processus de recyclage du cuivre  | 11   |
| Figure 1.8 : évolution de la production minière mondial de cuivre                      | 15   |
| Figure 1.9 : Evolution de la fraction des métaux dans les déchets ménagers en Algérie  | 17   |
| Figure 1.2 : la production des concentrées par le procédé de flottation                | 20   |
| Figure 2.1 : Déchets de cuivre issus de plomberie, moteurs électriques et câbles.      | 20   |
| Figure 2.2 : Déchets de zinc issus de toitures et de gouttières.                       | 21   |
| Figure 2.3 : Produits finaux de Arab Metals spa, Cuivre.                               | 22   |
| Figure 2.4 : Produits finaux de Arab Metals spa, Laiton.                               | 22   |
| Figure 2.5 : Utilisation du laiton dans la boulonnerie, robinetterie et quincaillerie. | 23   |
| Figure 2.6 : four de fusion du cuivre au niveau de Arab Metals spa.                    | 24   |
| Figure 2.6 : Coulée du cuivre après purification.                                      | 27   |
| Figure 3.1 : Spectrophotomètre FOUNDRY-MASTER Xpert                                    | 29   |
| Figure 3.2 : Appareil Oxygen/Nitrogen System   | 30   |
| Figure 3.3 : Appareil pour test d'élongation   | 31   |

|   |    |
|---|----|
| Figure 3.4 : Test Micro-Ohmmètre.   | 37 |
| Figure 4.1 : Extrait de classification des déchets de cuivres du décret 06-104. | 39 |
| Figure 4.2 : Photo de l'échantillon du groupe 1.                                | 39 |
| Figure 4.3 : Photo de l'échantillon du groupe 2.                                | 40 |
| Figure 4.4 : Photo de l'échantillon du groupe 3                                 | 41 |
| Figure 4.5 : Courbe d'analyse de la teneur en oxygène dans le cuivre.           | 42 |
| Figure 4.6 : Test d'élongation d'un fil de cuivre de 8 mm.                      | 42 |

## Nomenclatures

|          |  |
|----------|--|
| G1       | Groupe de déchets de cuivre de classe G1 ><br>99,94% |
| G2       | Groupe de déchets de cuivre de classe G1 ><br>99,92% |
| G3       | Groupe de déchets de cuivre de classe G1 ><br>99,89% |
| ISC<br>G | L'international Copper Study Group                   |
| SM<br>M  | Shanghai Metals Market                               |
| spa      | Société par action                                   |

## **Remerciements**

*Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance envers Monsieur CHNANE KAMEL , mon professeur à l'Université saad dahleb blida . Sa passion pour l'enseignement, sa patience et ses conseils éclairés ont joué un rôle déterminant dans ma formation. Grâce à ses enseignements, j'ai pu acquérir les connaissances nécessaires pour réussir mon stage et me développer professionnellement.*

*Je tiens également à remercier chaleureusement monsieur AOUDJIT ABD EL MALEK , et les ingénieurs RIYADH,HICHAM,RIMA au sein de l'entreprise ARAB METALS SPA . Son expertise, sa disponibilité et son soutien constant ont été essentiels à ma réussite lors de mon stage. Ses conseils éclairés et sa confiance en mes capacités m'ont permis d'aborder les défis avec confiance et d'atteindre mes objectifs.*

*Je souhaite adresser mes remerciements sincères à tous les professeurs qui m'ont accompagné tout au long de mon parcours académique. Leur dévouement, leur expertise et leur passion pour l'enseignement ont été une source d'inspiration pour moi. Leurs enseignements m'ont permis de développer mes compétences et de me préparer au mieux pour ma carrière professionnelle.*

*Enfin, je voudrais exprimer ma gratitude envers mes parents, mes sœurs et mes amis. Leur soutien inconditionnel, leurs encouragements et leur amour indéfectibles ont été essentiels pour surmonter les obstacles et persévérer dans mes études. Leur présence et leurs conseils précieux ont été d'une valeur inestimable tout au long de mon stage.*

*Je tiens à remercier du fond du cœur toutes les personnes qui ont contribué à ma réussite, que ce soit sur le plan académique ou personnel. Leur soutien et leurs encouragements m'ont permis de grandir et de m'épanouir. Je suis extrêmement reconnaissant(e) d'avoir eu la chance d'avoir de telles personnes extraordinaires dans ma vie.*

***Amel & Kawther.***

## *Dédicaces*

*Je n'aurais jamais pu atteindre ce point sans l'aide d'Allah, je peux donc dédier ce diplôme et ce succès à **mes chers parents** qui m'ont élevé dans une maison pleine d'amour et de gentillesse, je veux leur rendre la monnaie de leur pièce en les rendant fiers.*

***Mon père**, l'homme qui m'a donné mon nom et qui n'a jamais hésité à travailler des jours et des nuits pour obtenir ce que je veux et qui m'a appris à faire face à mes problèmes et à mes peurs, et aucun homme ne peut être grand et m'aimer comme lui.*

*Mon inspiration ultime vient de **ma mère**, la femme éblouissante de qui j'ai reçu le sang de ma vie et donné de la sueur, des larmes et du sang pour que je puisse devenir une femme forte comme elle. Ma mère ne m'a jamais donné l'idée que je ne pouvais pas faire ce que je voulais faire ou être qui je voulais être.*

*À mes sœurs **Hadil** et **Rania**, qui sont des personnes gentilles, décentes et d'une générosité sans faille. Elles sont mes piliers jumeaux, sans lesquels je ne pourrais pas tenir debout. Je suis fière d'être leur sœur.*

*A mon frère **Oussama** qui est le seul homme en qui j'ai confiance dans cette vie et qui est mon bras droit.*

*A mes chers amis **Fella** et **Hamida** qui ne m'ont jamais laissée sans aide et qui ont toujours été à mes côtés.*

*A la personne qui m'a soutenu et encouragé et supporté dans les moments difficiles durant mes années d'étude **Mehdi** merci pour ta confiance totale.*

*A ma partenaire dans ce travail **Kawther**.*

*A mon Professeur **M. CHANANE Kamal** qui m'a aidé dans tous les processus de réussite et m'a encouragé, c'est un professeur fabuleux.*

**Amel.**



## Références bibliographiques

- [1] ISCG, International Copper Study Group, [www.iscg.org](http://www.iscg.org), 2023.
- [2] Ministère de l'énergie et des mines, Algérie, [www.energy.gov.dz](http://www.energy.gov.dz), 2023.
- [3] Anonyme, « Recyclage les nouveaux défis » Technique de l'ingénieur ; 2017.
- [4] P. Weiss « Le cuivre, origine, gisements, propriétés physiques et chimiques, métallurgie, marché du cuivre » Ed. Hachette, 2018.
- [5] P. Blazy, E. Jdid « Recyclage du cuivre et environnement », Technique de l'ingénieur ; 2002.
- [6] AND « Etude et caractérisations des déchets ménagers et assimilés en Algérie », 2014.
- [7] AND « Caractérisations des déchets ménagers et assimilés en Algérie, compagnes nationale 2018-2019 », 2019.
- [8] AND « Rapport sur l'état de la gestion des déchets en Algérie », 2020.

# **Annexes**

## Annexes

Annexe 1 : Rapport d'analyse des échantillons de cuivre.



# ARAB METALS COMPANY

## Analysis Report

|           |               |           |       |
|-----------|---------------|-----------|-------|
| Sample ID | Date          | 12-Feb-23 |       |
| Customer  | 02 FLAT BARRE | Furnace   |       |
|           |               | Opertaor  | RIADH |
|           | GRADE         | G1        |       |

|   | Cu [%]  | Zn [%]  | Pb [%]  | Sn [%]  | P [%]   | Mn [%]  | Fe [%]  |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 99.93   | 0.0027  | 0.0018  | <0.0001 | 0.0022  | <0.0001 | 0.0011  |
| 2 | 99.93   | 0.0029  | 0.0017  | <0.0001 | 0.0025  | <0.0001 | 0.0022  |
| 3 | 99.93   | 0.0041  | 0.0013  | <0.0001 | 0.0026  | <0.0001 | 0.0009  |
| ∅ | 99.93   | 0.0032  | 0.0016  | <0.0001 | 0.0024  | <0.0001 | 0.0014  |
|   | Ni [%]  | Si [%]  | Mg [%]  | Cr [%]  | Al [%]  | S [%]   | As [%]  |
| 1 | <0.0005 | 0.0010  | 0.0002  | <0.0002 | 0.0077  | 0.0017  | 0.0008  |
| 2 | 0.0018  | 0.0002  | 0.0002  | <0.0002 | 0.0022  | 0.0016  | 0.0013  |
| 3 | <0.0005 | 0.0002  | 0.0001  | <0.0002 | 0.0027  | 0.0012  | 0.0006  |
| ∅ | 0.0009  | 0.0005  | 0.0002  | <0.0002 | 0.0042  | 0.0015  | 0.0009  |
|   | Be [%]  | Ag [%]  | Co [%]  | Bi [%]  | Cd [%]  | Sb [%]  | Zr [%]  |
| 1 | <0.0001 | 0.0011  | 0.0009  | 0.0001  | <0.0001 | <0.0005 | <0.0002 |
| 2 | <0.0001 | 0.0012  | 0.0010  | <0.0001 | <0.0001 | <0.0005 | <0.0002 |
| 3 | <0.0001 | 0.0010  | 0.0010  | 0.0003  | <0.0001 | <0.0005 | <0.0002 |
| ∅ | <0.0001 | 0.0011  | 0.0010  | 0.0002  | <0.0001 | <0.0005 | <0.0002 |
|   | B [%]   | Se [%]  | Te [%]  | Au [%]  | O [%]   |         |         |
| 1 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0005 | <0.0002 | >0.0500 |         |         |
| 2 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0005 | <0.0002 | >0.0500 |         |         |
| 3 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0005 | <0.0002 | >0.0500 |         |         |
| ∅ | <0.0001 | <0.0001 | <0.0005 | <0.0002 | >0.0500 |         |         |

Annexe Commerciale  
 153, Rue Ali Khoudja, El Biar, Alger, Algeria  
 Tel: (+213) 23058400  
 Fax: (+213) 23058490  
 Siege Social

*Quality Manager*

## Annexe 2 : Rapport d'analyse des échantillons de cuivre.



# ARAB METALS COMPANY

## Analysis Report

Date 12-Feb-23  
 Sample ID 01  
 Furnace  
 Customer Opertaor RIADH  
 GRADE G2

|   | Cu [%]  | Zn [%]  | Pb [%]  | Sn [%]  | P [%]   | Mn [%]  | Fe [%]  |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 99.92   | 0.0086  | 0.0018  | <0.0001 | 0.0030  | <0.0001 | 0.0038  |
| 2 | 99.92   | 0.0091  | 0.0018  | <0.0001 | 0.0035  | <0.0001 | 0.0039  |
| 3 | 99.92   | 0.0081  | 0.0018  | <0.0001 | 0.0034  | <0.0001 | 0.0037  |
| Ø | 99.92   | 0.0086  | 0.0018  | <0.0001 | 0.0033  | <0.0001 | 0.0038  |
|   | Ni [%]  | Si [%]  | Mg [%]  | Cr [%]  | Al [%]  | S [%]   | As [%]  |
| 1 | <0.0005 | <0.0002 | <0.0001 | <0.0002 | 0.0079  | 0.0016  | 0.0007  |
| 2 | 0.0012  | <0.0002 | <0.0001 | <0.0002 | 0.0064  | 0.0015  | 0.0006  |
| 3 | 0.0007  | <0.0002 | <0.0001 | <0.0002 | 0.0050  | 0.0016  | 0.0006  |
| Ø | 0.0008  | <0.0002 | <0.0001 | <0.0002 | 0.0064  | 0.0016  | 0.0006  |
|   | Be [%]  | Ag [%]  | Co [%]  | Bi [%]  | Cd [%]  | Sb [%]  | Zr [%]  |
| 1 | <0.0001 | 0.0016  | 0.0005  | 0.0003  | <0.0001 | <0.0005 | <0.0002 |
| 2 | <0.0001 | 0.0017  | 0.0008  | 0.0007  | <0.0001 | <0.0005 | 0.0002  |
| 3 | <0.0001 | 0.0016  | 0.0006  | <0.0001 | <0.0001 | <0.0005 | <0.0002 |
| Ø | <0.0001 | 0.0016  | 0.0007  | 0.0004  | <0.0001 | <0.0005 | 0.0002  |
|   | B [%]   | Se [%]  | Te [%]  | Au [%]  | O [%]   |         |         |
| 1 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0005 | <0.0002 | >0.0500 |         |         |
| 2 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0005 | <0.0002 | >0.0500 |         |         |
| 3 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0005 | <0.0002 | >0.0500 |         |         |
| Ø | <0.0001 | <0.0001 | <0.0005 | <0.0002 | >0.0500 |         |         |

Annexe Commerciale  
 153, Rue Ali Khoudja, El Biar, Alger, Algeria  
 Tel: (+213) 23058400  
 Fax: (+213) 23058490  
 Siege Social

*Quality Manager*

### Annexe 3 : Rapport d'analyse des échantillons de cuivre.



## ARAB METALS COMPANY

### Analysis Report

Date: 12-Feb-23  
 Sample ID: 03 FILLE DE  
 Customer: RIADH  
 GRADE: G3  
 Furnace:  
 Opertaor:

|   | Cu [%]  | Zn [%]  | Pb [%]  | Sn [%]  | P [%]   | Mn [%]  | Fe [%] |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | 99.78   | 0.0092  | 0.0452  | 0.0329  | 0.0023  | <0.0001 | 0.0150 |
| 2 | 99.77   | 0.0113  | 0.0464  | 0.0323  | 0.0025  | <0.0001 | 0.0152 |
| 3 | 99.78   | 0.0095  | 0.0439  | 0.0265  | 0.0025  | <0.0001 | 0.0088 |
| Ø | 99.78   | 0.0100  | 0.0452  | 0.0306  | 0.0024  | <0.0001 | 0.0130 |
|   | Ni [%]  | Si [%]  | Mg [%]  | Cr [%]  | Al [%]  | S [%]   | As [%] |
| 1 | 0.0321  | 0.0065  | 0.0008  | <0.0002 | 0.0031  | 0.0057  | 0.0014 |
| 2 | 0.0319  | 0.0064  | 0.0009  | <0.0002 | 0.0027  | 0.0067  | 0.0011 |
| 3 | 0.0310  | 0.0036  | 0.0009  | <0.0002 | 0.0156  | 0.0028  | 0.0010 |
| Ø | 0.0317  | 0.0055  | 0.0009  | <0.0002 | 0.0071  | 0.0051  | 0.0011 |
|   | Be [%]  | Ag [%]  | Co [%]  | Bi [%]  | Cd [%]  | Sb [%]  | Zr [%] |
| 1 | <0.0001 | 0.0162  | 0.0011  | 0.0003  | <0.0001 | <0.0005 | 0.0002 |
| 2 | <0.0001 | 0.0158  | 0.0005  | 0.0019  | <0.0001 | <0.0005 | 0.0003 |
| 3 | <0.0001 | 0.0157  | 0.0005  | 0.0006  | <0.0001 | <0.0005 | 0.0002 |
| Ø | <0.0001 | 0.0159  | 0.0007  | 0.0009  | <0.0001 | <0.0005 | 0.0002 |
|   | B [%]   | Se [%]  | Te [%]  | Au [%]  | O [%]   |         |        |
| 1 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0005 | <0.0002 | >0.0500 |         |        |
| 2 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0005 | <0.0002 | >0.0500 |         |        |
| 3 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0005 | <0.0002 | >0.0500 |         |        |
| Ø | <0.0001 | <0.0001 | <0.0005 | <0.0002 | >0.0500 |         |        |

Annexe Commerciale  
 153, Rue Ali Khoudja, El Biar, Alger, Algeria  
 Tel: (+213) 23058400  
 Fax: (+213) 23058490  
 Siege Social

*Quality Manager*

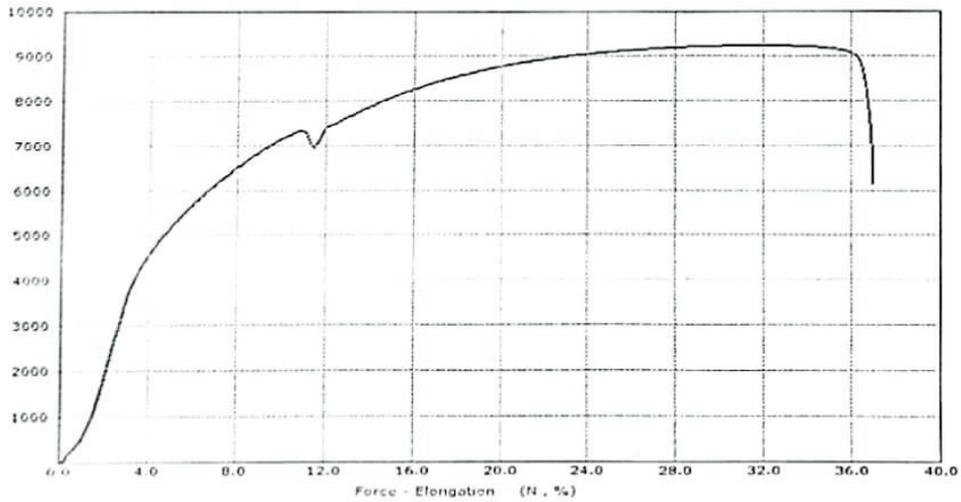
### Annexe 4 : Rapport d'essai de traction du matériau de cuivre.

# Material Tensile Test Report

|           |                 |           |      |
|-----------|-----------------|-----------|------|
| Test Type | XXXX            | Operator  | XXX  |
| Mat. Name | ryadh boudouani | Mat. Type | XXXX |
| Make Date | 2022/07/26      | Test For  |      |
| Temp (°C) | 20              | Humi (%)  | 45   |
| Lo (mm)   | 100             |           |      |

| 序号<br>No | Dia<br>mm | Fmax<br>N | Stress Max<br>MPa | Lmax<br>mm | Elong Percent<br>% |
|----------|-----------|-----------|-------------------|------------|--------------------|
| 1        | 8.00      | 9223.0    | 183.50            | 36.96      | 36.96              |

|        |      |        |        |       |       |
|--------|------|--------|--------|-------|-------|
| Avg    | 8.00 | 9223.0 | 183.50 | 36.96 | 36.96 |
| Median | 8.00 | 9223.0 | 183.50 | 36.96 | 36.96 |
| StdDev | 0.00 | 0.0    | 0.00   | 0.00  | 0.00  |
| CV %   | 0.0  | 0.0    | 0.0    | 0.0   | 0.0   |



# **Introduction Générale**

## **Introduction générale**

Le cuivre est le troisième métal utilisé dans le monde après le fer et l'aluminium. Sa consommation dans le monde atteint les 24 millions de tonnes annuellement avec un taux de croissance annuelle de 3,4% [1]. L'industrie électrique qui s'est développée ces dernières années avec la téléphonie mobile, les voitures électriques et les équipements informatiques est la principale cause de ce développement.

Notre travail consiste à suivre les étapes de recyclage du cuivre dans une entreprise de collecte et de recyclage du cuivre au niveau de la wilaya de Médéa. L'entreprise en question, Arab Metals spa, est spécialisée dans le recyclage et la production de matière première du cuivre et du laiton dans le monde arabe et en Algérie.

Notre mémoire est divisé en deux parties, la première est consacrée au recyclage du cuivre dans le monde et en Algérie pour le premier chapitre. Dans le deuxième chapitre nous avons présenté l'entreprise Arab Metals spa, ses équipements, ses infrastructures, sa capacité de production et le procédé utilisé dans le traitement du cuivre.

La deuxième partie comporte deux chapitres, le premier est intitulé matériels et méthodes et le second, résultats et discussions. Dans le premier chapitre nous avons décrit le matériels d'analyse que nous avons utilisés (Spectroscopie d'émission optique SEO, Oxygen/Nitrogen System, Micro-Ohmmètre et le test d'élongation).

Dans le dernier nous avons développé les analyses effectuées en les comparant aux spécifications de l'entreprise et aux normes.

Notre travail ne sera pas achevé sans faire une compilation de toutes les analyses effectuées et leurs conformités mais aussi sur les recommandations requises dans la gestion des déchets de cuivre et leur classification. Nous avons également souhaité proposer une gestion qui respectera l'environnement, la traçabilité des déchets et leurs classifications selon la réglementation algérienne et internationale.

# **Chapitre 1**

## **Le Recyclage du Cuivre**

## **I.1. Introduction**

L'Algérie est un pays riche en minerais métalliques. Pratiquement tous les métaux sont à exploiter comme le fer, le plomb, du cuivre, du zinc, de l'antimoine, du mercure, de l'arsenic, du chrome, du manganèse et beaucoup d'autres minerais. L'Algérie était réputée dès la plus haute antiquité pour ses mines de cuivre. Elle le fut sous les Phéniciens et les Carthaginois, puis sous les Romains.

Ainsi entre 1911 et 1929 l'Algérie exportait déjà, une moyenne de 2.500 tonnes de minerais de cuivre par an [2]. 5 mines sont déjà connues pour extraire le cuivre, il s'agit :

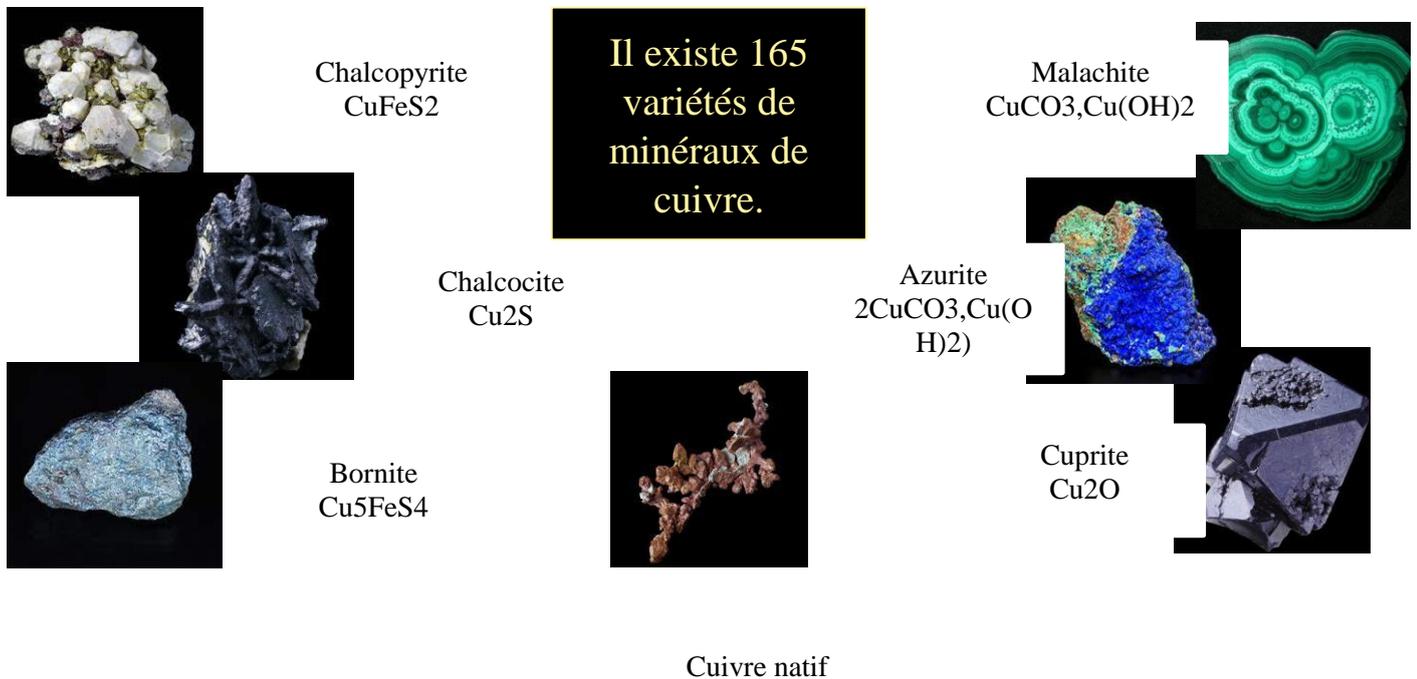
- Mine de Boussoufa
- Mine d'Aïn Barbar
- Mine de Chaab et El Hamra
- Mine d'El Abed
- Mine de Oued Amizour

## **1.2. Procèdes de traitement du cuivre**

Quand nous parlons du cuivre, il faut remonter à sa forme minérale. A ce titre, les minerais de cuivre se présentent généralement sous 2 formes :

- Les minerais sulfurés,
- Les minerais oxydés.

# Les minerais de cuivre



**Minerais sulfurés**  
**80 % de la production mondiale**

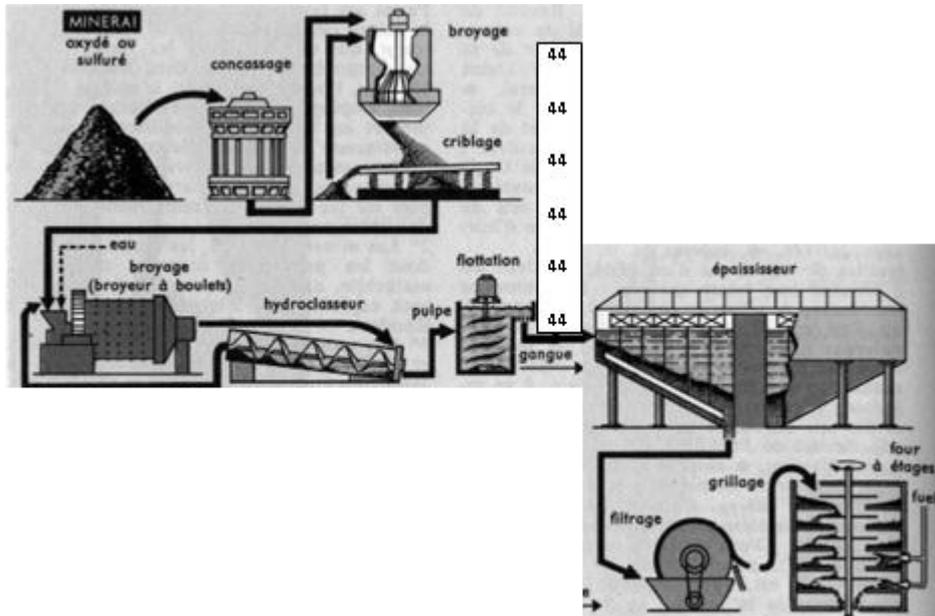
**Minerais oxydé**  
**20 % de la production mondiale**

**Figure 1.1 :** Les minerais de cuivre

Cette différenciation définit le processus à suivre pour l'obtention du cuivre pur : hydrométallurgie pour les minerais oxydés et pyrométallurgie pour les minerais sulfurés. La mine n'extrait qu'un mélange de minéraux à faible teneur en cuivre, qu'il faudra concentrer [3].

Le processus suivant décrit la production des concentrés par le procédé de flottation. La première étape du traitement des minerais sulfurés en vue de l'obtention de concentrés consiste en des opérations successives de concassage, broyage, tamisage et triage, qui les transforment en poudre grossière, sur laquelle on projette de l'eau. Par un traitement de flottation dans l'eau puis de décantation, qui consiste à faire remonter à la surface la partie la

plus riche du minerai pour le séparer des boues qui restent au fond du bain, on obtient un concentré contenant 25 à 40 % de cuivre [3].



**Figure 1.2** : la production des concentrés par le procédé de flottation

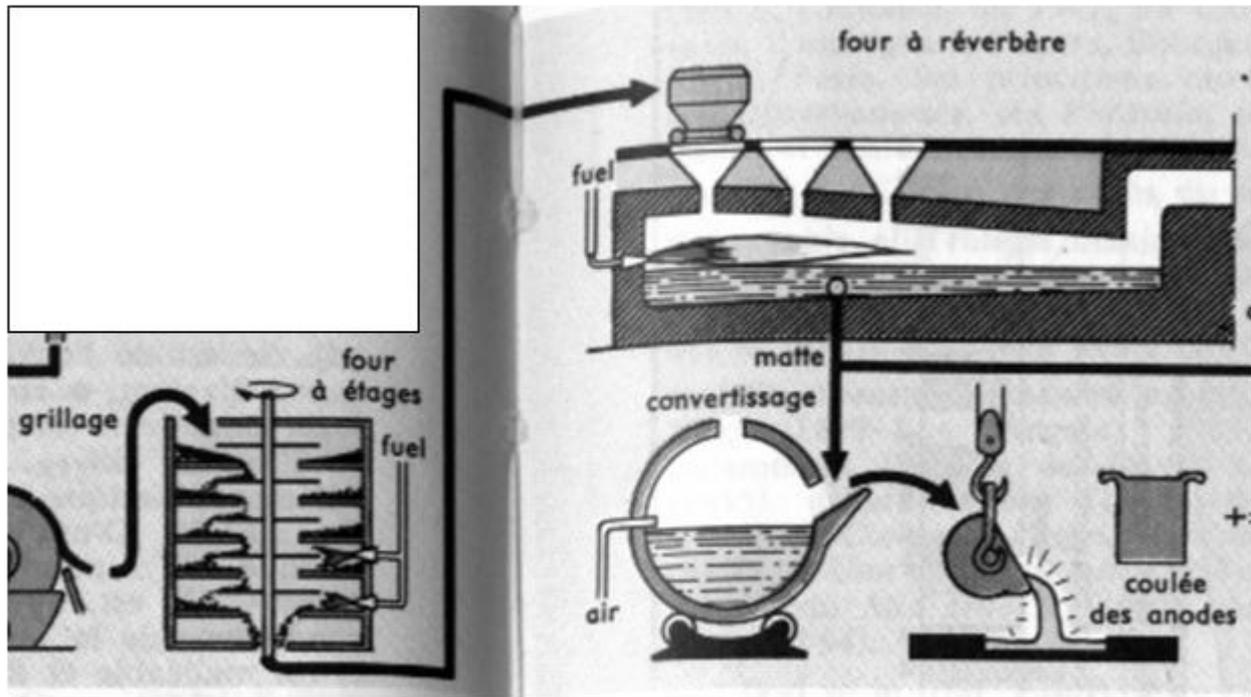
### 1.2.1. Traitement des minerais oxydés

La méthode par voie sèche se pratique au water-jacket, par réduction en présence de carbone du minerai fondu. L'addition de fondant (alumine ou chaux) permet d'éliminer la gangue du minerai sous forme de scories [3].

### 1.2.2. Traitement des minerais sulfurés

La méthode consiste à séparer le fer du cuivre par voie sèche, en utilisant d'une part la grande affinité du cuivre pour le soufre, d'autre part celle du fer pour l'oxygène.

Après un grillage oxydant partiel transformant une partie du sulfure de fer en oxyde, une fusion scorifiant au four à réverbère ou au water-jacket, en présence de silice, donne une motte dont on sépare le sulfure de fer dans un convertisseur à revêtement basique, pour obtenir le cuivre brut qui titre à 99%. [3]



**Figure 1.3 :** séparation de sulfure de fer pour obtenir le cuivre brut

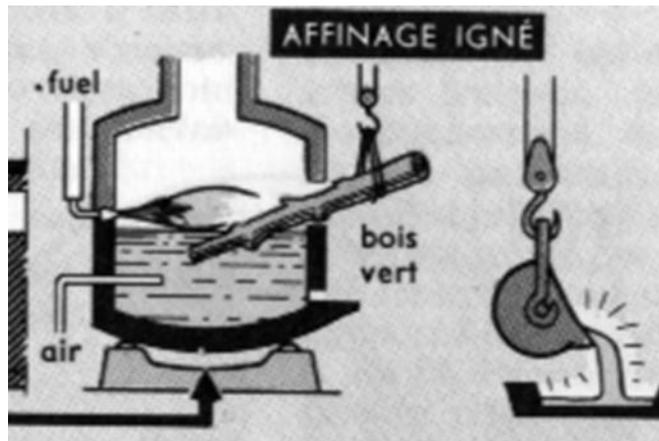
### 1.2.3. Affinage du cuivre brut

Cet affinage présente le double avantage :

- obtenir du cuivre pur,
- récupérer des impuretés de grand intérêt : or, argent, bismuth, etc.

Il existe deux procédés d'affinage :

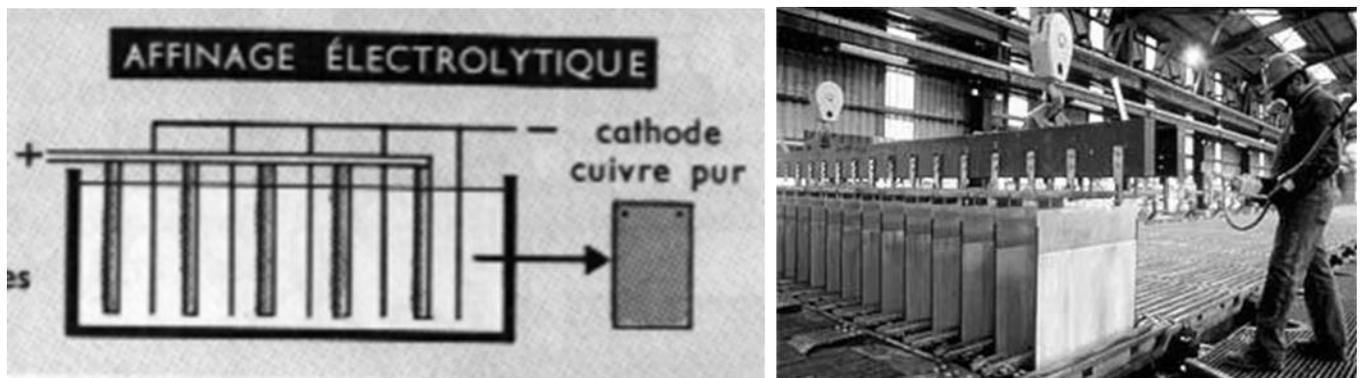
L'affinage thermique : qui consiste à refondre le cuivre brut en l'oxydant pour éliminer les impuretés sous forme d'oxyde qui se volatilisent. Au cours de ce traitement, le cuivre se charge de 0,6 à 0,9% d'oxygène dont il faut éliminer l'essentiel par une opération de perchage, qui consiste à introduire des troncs de bois vert dans le bain de cuivre.



**Figure 1.4** : l'affinage thermique du cuivre brut

On obtient alors un cuivre de qualité thermique titrant à 99,5%, qui contient encore de 0,02 à 0,04 % d'oxygène et un peu d'hydrogène, et qui, de ce fait, n'a que peu d'applications dans l'industrie.

L'affinage électrolytique : permet d'obtenir du cuivre d'une pureté supérieure à 99,95%. Le cuivre brut, coulé en anodes sous forme de plaques est électrolysé dans une solution de sulfate de cuivre acide. Le cuivre pur se dépose sur des cathodes qui sont refondues ultérieurement en lingots.



**Figure 1.5** : l'affinage électrolytique du cuivre

### 1.3. Propriétés du cuivre

#### 1.3.1. Propriétés chimiques

Le cuivre ne s'altère pas à l'air sec. A l'air humide, grâce à la présence de l'oxyde de carbone, il se recouvre d'une couche superficielle de carbonate basique hydratée (vert de gris). Les acides n'altèrent le cuivre qu'à chaud à l'exception de l'acide nitrique. En revanche, l'affinité du cuivre pour le soufre est remarquable. Il est toxique à

des niveaux élevés d'absorption. [4]

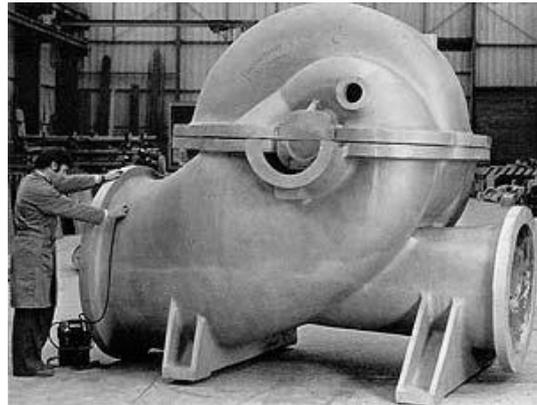
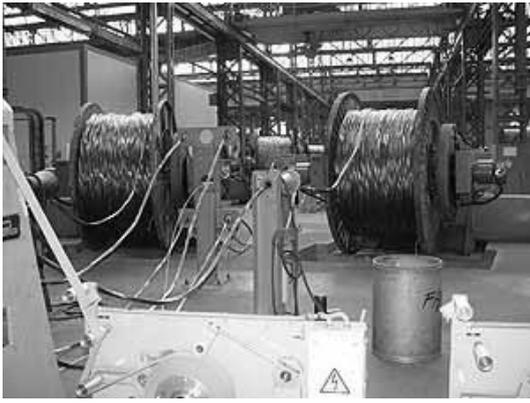
### **1.3.2. Physiques et mécaniques**

Le cuivre est de couleur brun-rouge, a pour densité 8,92 et fond à 1.084°C. Il est, après l'argent, le meilleur conducteur de la chaleur et de l'électricité. Il est malléable et ductile. Le module d'Young varie entre 105 et 132 GPa et le coefficient de Poisson est de 0,34 à 20°C. A l'état recuit, sa charge de rupture est de 220 MPa. Le cuivre et ses alliages se soudent bien, qu'il s'agisse de soudage autogène, de soudure électrique, de brasage ou de soudage à l'étain. [4]

### **1.4. Utilisations du cuivre**

Les usages du cuivre interviennent dans la fabrication d'un grand nombre d'appareils de chaufferie industriels de tuyauteries, de gouttières, châteaux, descentes d'eau sans oublier l'industrie électrique, tel que la câblerie et autres équipements électriques.

Il est surtout utilisé pour la fabrication d'alliages importants tels que les laitons (cuivre zinc) et les bronzes (cuivre étain), etc. Il intervient également comme métal d'addition en faible quantité dans les aciers pour obtenir des aciers inoxydables. Ses oxydes sont utilisés comme colorant dans l'industrie du verre par exemple.



**Figure 1.6 :** les ululation du cuivre

### **1.5. Traitement des déchets de cuivre**

Par recyclage on entend la récupération d'un produit de base à partir de matières, articles et produits qui ne servent plus aux fins auxquelles ils ont été fabriqués, et de matières autres que ce produit résultant d'opérations manufacturières. On considère dans les deux cas qu'il s'agit de déchets destinés à la valorisation car, après avoir été soumis à un procédé ou à une série de procédés, ils sont susceptibles de

fournir une matière pouvant être utilisée ensuite à une autre fin.



**Figure 1.7 :** processus de recyclage du cuivre

S'agissant du recyclage des métaux, la valorisation ne comprend pas des opérations telles que l'affinage ou l'enrichissement de minerais ou la production de matières intermédiaires lors d'opérations d'extraction minière ou de métallurgie.

On estime à l'heure actuelle qu'au niveau de la production mondiale totale, environ 38% de cuivre, 50% de plomb et 23% de zinc sont, en fait, d'origine secondaire (recyclé) [1]. Il est admis qu'en dehors des considérations financières, les principaux avantages écologiques ainsi obtenus comportent, entre autres :

- Economie de matières premières, donc un besoin moindre de puiser encore dans les ressources naturelles ;
- Détournement de déchets de l'élimination finale, donc une charge polluante potentielle moindre pour l'environnement ;
- Economies d'énergie, qui se situeraient dans bien des cas, d'après diverses évaluations, entre 40 et 85% de l'énergie utilisée, ce qui réduirait d'autant le dioxyde de carbone émis dans l'environnement.

En outre, il est possible de produire en même temps des métaux qui sont conformes aux exigences techniques et en tout point semblables aux mêmes métaux extraits du minerai.

### **1.5.1. Pratiques écologiquement rationnelles**

Pour tous les déchets, l'étude des procédés de recyclage qui sont envisageables

et considérés comme écologiquement rationnels commence sur place, chez le producteur de déchets. Il convient, dans toute la mesure du possible, de séparer à la source les différentes catégories et formes de déchets. Ne pas le faire pourrait empêcher certaines matières d'être recyclées.

### **1.5.2. Collecte et tri des déchets**

Une activité importante de l'industrie du recyclage de ferraille consiste à rassembler des déchets. Les moyens de confinement utilisés doivent respecter les conditions de transport établies. Les déchets sont ensuite soumis à diverses procédures de tri, de sélection et de calibration visant à les mettre sous des formes respectant les normes établies pour les échanges, puis ils sont accumulés en quantités convenables pour le recyclage.

Certaines formes de déchets peuvent nécessiter un traitement chimique (hydrométallurgie) pour en éliminer des produits contaminants ou les mettre sous une forme et leur conférer une composition se prêtant à un traitement ultérieur.

Un autre secteur de l'industrie du recyclage se spécialise dans la séparation des métaux présents dans les résidus. Les métaux récupérés à partir de tels résidus sont obtenus par des procédés de fusion, lixiviation et/ou d'électrolyse

#### **a) Tri des déchets**

Le tri des déchets est une étape importante dans le recyclage des matériaux. Les moyens utilisés peuvent être extrêmement variés, allant du simple tri manuel et emballage mécanique à des méthodes perfectionnées de séparation telles que broyage suivi de répartition par élutriation et/ou induction linéaire, dissolution et précipitation chimiques, séparation des différentes phases liquides, etc. Entre-temps, il est nécessaire, dans le cas des câbles électriques, de détacher et de séparer le cuivre central de la gaine (éventuellement, tissu, fil d'acier ou plomb) et de l'isolant (d'ordinaire, caoutchouc ou matières plastiques ou papier).

Du point de vue de l'innocuité pour l'environnement, il est préférable, dans bien des cas, de réduire les câbles en granulés puis de séparer leurs composants au moyen

d'appareils classeurs. Les locaux destinés au stockage et au traitement des déchets doivent offrir des conditions d'entreposage similaires à celles précédemment décrites comme indispensables pour les locaux du producteur. En outre, l'installation doit comporter des équipements de surveillance et de contrôle permettant de démontrer que les divers processus se déroulent de façon compatible avec l'environnement. [5]

### **b) Prétraitement**

Bien souvent, les déchets destinés au recyclage seront des résidus hétérogènes. Il est donc important que la composition physique et chimique du déchet ait été déterminée et qu'éventuellement des essais de traitement soient effectués à l'échelle du laboratoire pour vérifier que le matériau convient et se prête parfaitement bien aux procédés envisagés. Cela suppose que des échantillons représentatifs auront été fournis pour permettre d'établir les informations requises afin que le traitement puisse se dérouler de façon compatible avec l'environnement. [5]

### **c) Traitement**

Comme on l'a vu précédemment, il est nécessaire de procéder à des passages, généralement successifs, dans diverses sortes de fours qui permettent d'extraire le cuivre, le plomb et le zinc à partir de résidus déjà préparés. Dans le cas du cuivre, il faut un haut-fourneau suivi, soit d'un convertisseur et/ou d'un four à réverbère, et un four de coulée d'anode.

Dans tous les cas, les fours doivent être équipés de dispositifs de filtration, ou raccordés à de tels dispositifs, qui collectent et piègent fumées, vapeurs et poussières à tous les endroits de l'installation et les empêchent de s'échapper dans l'atmosphère de manière incontrôlée. D'ordinaire, il faut de hautes cheminées pour assurer une bonne dispersion des gaz et des particules dans l'atmosphère afin que les concentrations au sol respectent les normes atmosphériques pour l'environnement.

Les procédés de valorisation des métaux consomment d'énormes quantités d'eau. Pour faire des économies, les eaux effluentes et de drainage en surface sont souvent recueillies, traitées et réutilisées. Les boues produites lors du traitement des effluents peuvent habituellement être conditionnées et introduites à une étape

appropriée du processus de valorisation des métaux. Toute eau de refroidissement utilisée dans des systèmes indirects peut être réutilisée après passage dans des échangeurs de chaleur ou dans des tours de refroidissement. Toute eau rejetée dans l'environnement naturel doit être d'une température et d'une qualité telle qu'il ne puisse y avoir de pollution thermique. [5]

### **1.5.3. Le recyclage de cuivre dans le monde**

Le recyclage occupe une place importante et sans cesse croissante sur le marché de cuivre cela inclus les déchets neufs généralement les chutes de fabrication lors des procédés et les vieux déchets produit en fin de vie.

#### **a) Les déchets neufs**

L'international COPPER STUDY GROUP (ICSG) a évalué la quantité de ces déchets neufs à environ 5,7 MT en 2018 à noter que certaines études se concentrent sur les vieux déchets et passent un peu sous silence la boucle des déchets neufs est propre et pure et réinjectée directement en boucle courte, une autre partie peut être non utilisable directement. [4]

#### **b) Les vieux déchets**

Il est communément admis que 85% du cuivre en circulation dans les produits finis peut être récupéré. Leur durée de vie peut s'étaler de quelques années comme l'industrie électronique à plus de 100 ans comme les constructions.

Lorsque le cuivre est non-allié et relativement pur, il est réutilisé directement par les industriels pour obtenir des anodes. Les alliages de type bronze ou laiton sont fondus et réutilisés comme alliages, puisque les propriétés et la chimie sont conservées.

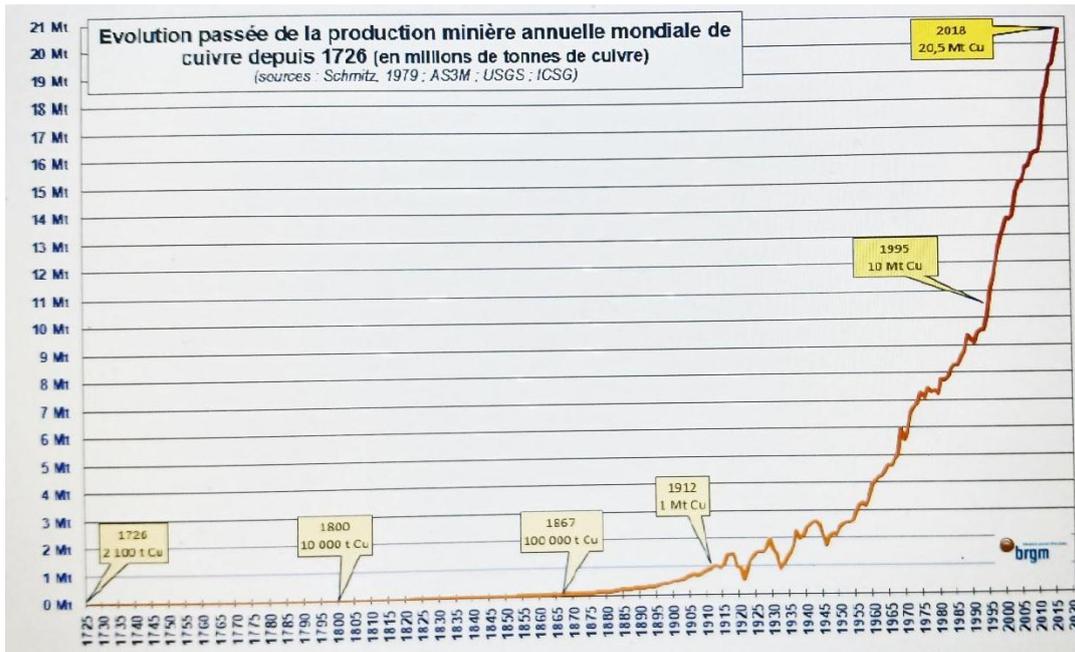
L'ICSG estime qu'environ 3 MT de vieux déchets ont été utilisés par les fondeurs et 4MT par les affineurs en 2018. [1]

En additionnel tous les types de déchets. C'est environ 9,7 MT (5,7MT issus de déchets neufs et 4MT de vieux déchets utilisés par les affineurs) de cuivre secondaire

qui a été consommé en 2018, soit environ 1/3 du cuivre total consommé dans le monde qui avoisine les 30 MT environ. [1]

La quantité de cuivre recyclé dépend des prix de la matière première du cuivre. Lorsque les cours sont élevés, les fondeurs et affineurs utilisent plus de déchets. Lorsque les prix chutent, ils les réduisent.

### c) Place du cuivre secondaire dans la production mondiale



**Figure 1.8 :** évolution de la production minière mondiale de cuivre

Le cuivre est recyclable et réutilisable à l'infini sans perte de performance ni de propriétés. En 2017 l'ISCG estimait que 33% de la demande mondiale en cuivre était satisfaite grâce au cuivre recyclé. Environ 9,5 MT de cuivre provenant de produits en fin de vie et de la refonte directe de chute d'usine ont été utilisés en 2017. Cette utilisation est de 9,7MT en 2018.

La production mondiale de cuivre raffiné secondaire, c'est-à-dire issu principalement de la collecte de produits mis au rebut, s'élevait à 4MT en 2017 et s'est maintenue à ce niveau en 2018 ; elle représentait 17% de la production totale de cuivre raffiné cette même année.

Pour sa part, la Chine en a produit 2,2 MT à partir de déchets importés ou générés sur place, soit 24% de sa production totale de métal raffiné [1]. La part de la

production chinoise de cuivre raffiné secondaire à diminué depuis quelques années-elle s'élevait à 32% en 2012 suite à la mise en place de normes environnementales plus contraignantes pour les raffineries. Pour comparaison, la production secondaire de cuivre raffiné représentait 41% de la production allemande.

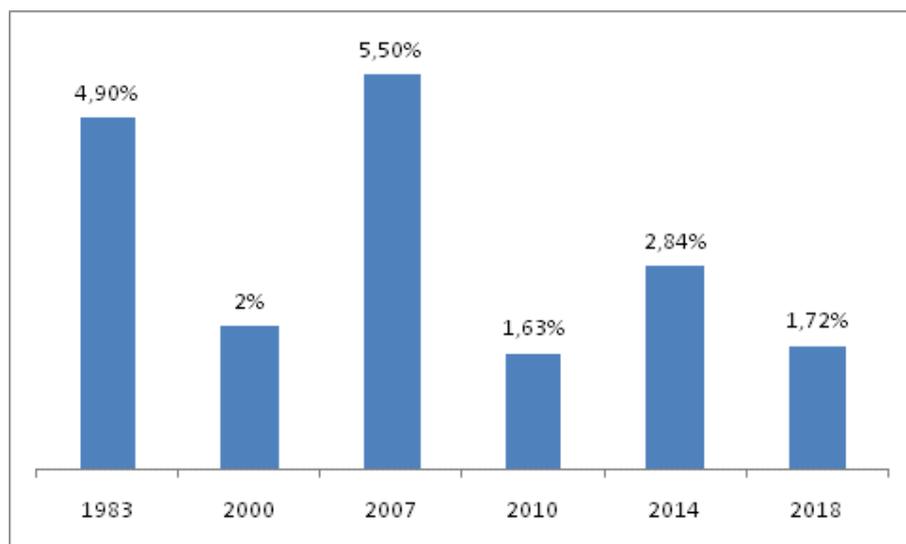
Les fabricants de semi-produits utilisaient également moins de déchets (8% en 2017) selon le SHANGHAI METALS MARKET (SMM), car le faible écart entre le prix des cathodes et celui des déchets ne les incite pas à utiliser ces derniers.

## **1.6. Recyclage de cuivre en Algérie**

Dans les rapports sur les déchets de l'AND [6,7,8], il n'est pas spécifié les quantités recyclées des déchets métalliques par type. La composition des déchets de métaux dans analyse par tri est très variable mais elle est remplacée de plus en plus en plus par du plastique. Ainsi la fraction des métaux ferreux et non ferreux était de 4,90 dans les années 80, elle est aujourd'hui de 1,72%. (voir figure 1.1)

Dans le dernier rapport de l'AND [8], les quantités de métaux valorisées en Algérie pour l'année 2019 sont de 628 915 T pour les déchets ferreux et 66 392 T pour les déchets non ferreux.

Le cuivre est classé parmi les déchets non ferreux comme l'aluminium. Dans ce rapport il n'est pas spécifié la fraction du cuivre dans ces déchets. Mais on suppose que l'aluminium est très majoritaire puisqu'il est très utilisé en emballage et que le cuivre est un déchet purement industriel.



**Figure 1.9 :** Evolution de la fraction des métaux dans les déchets ménagers en Algérie

**Chapitre 2**  
**Présentation de Arab Metals**  
**spa.**

## **2.1. Présentation de l'entreprise Arab Metals spa**

L'entreprise ARAB METALS s'est spécialisée dans la récupération des déchets de métaux, principalement le cuivre. Notre stage au sein de cette entreprise nous a permis de comprendre et de mesurer l'importance du recyclage du cuivre dans l'industrie métallurgique.

ARAB METALS est une société de droit algérien sous la forme d'une SPA au capital social de 620 millions de dinars, créée en 2012 dans la wilaya de Médéa, elle s'étend sur une superficie de 28.000 m<sup>2</sup> dans la zone industrielle d'Oued Harbi à wilaya Médéa.

ARAB METALS est aussi une expertise internationale jouissant de 70 années de savoir-faire dans l'industrie de métal, employant 140 travailleurs directes formés et qualifiés et plus de 100 employés indirects.

### **2.1.1. Laboratoire**

ARAB METALS dispose d'un laboratoire d'analyse et de contrôle qualité, doté des équipements à la pointe de la technologie afin d'assurer à ses produits la qualité conforme aux normes internationales.

Le laboratoire dispose principalement :

- Un spectrophotomètre d'émission optique
- Un analyseur de pureté du cuivre
- Une Micro Ohmmètre
- Appareil de test d'élongation
- Four de fusion
- Equipements de contrôle (température, combustion,...)

### **2.1.2. Matières premières**

Deux matières sont utilisées pour produire le cuivre à l'état presque pur et le zinc pour produire du laiton, un alliage de cuivre et de zinc à 75% et 20% respectivement. D'autres métaux peuvent être additionnés à 5% environ, comme le

plomb ou le nickel.

Toutes les matières proviennent des déchets industriels ou des déchets issus des ménages sous forme de pièces métalliques, de câbles électriques ou de toiture en zinc. Elles sont triées et classées avant toute utilisation.



**Figure 2.1** : Déchets de cuivre issus de plomberie, moteurs électriques et câbles.



**Figure 2.2** : Déchets de zinc issus de toitures et de gouttières.

### **2.1.3. Capacités de production et produits finis**

Arab Metals spa est spécialisée dans le recyclage des déchets de métaux non ferreux et particulièrement le cuivre et le zinc. Dotée d'une capacité de production de 13.000 tonnes par an, 10.000 T de cuivre et 3.000 T de laiton.

Les 10.000 T de cuivre sont destinées au marché national, commercialisés sous forme de :

- Fil de cuivre
- Fil conducteur
- Piquets de terre
- Jeux de barres rondes

- Jeux de barres plates
- Lingots

Ces produits sont destinés essentiellement aux industries électriques.

Fil de cuivre



Fil conducteur



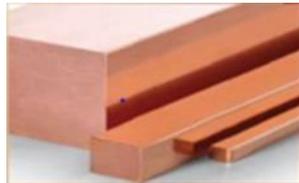
Piquets de terre en cuivre



Jeux de barres rondes



Jeux de barres méplates



Lingots de cuivre



**Figure 2.3 :** Produits finaux de Arab Metals spa, Cuivre.

Les 3.000 T de laiton, sont destinées en partie au marché local qui consomme 1.000 T

/ an (fabricants de robinetterie et quincaillerie), 2.000 T sont destinées à l'exportation.

Les produits laiton sont fabriqués selon les normes CW612N, CW614N et CW617N.



**Figure 2.4 :** Produits finaux de Arab Metals spa, Laiton.



**Figure 2.5 :** Utilisation du laiton dans la boulonnerie, robinetterie et quincaillerie.

## 2.2. Procédés utilisés

### 2.2.1. Procédé de purification du cuivre

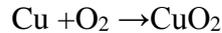
Le procédé utilisé se déroule en deux étapes, l'étape d'oxydation et l'étape de réduction.

Etape 1 : Oxydation du cuivre.

On prend une quantité de déchets de cuivre, on met le cuivre dans un four de capacité 3 T afin de fondre et chauffer le cuivre métal par oxydation en y introduisant de

l'oxygène. Le

pourcentage d'oxygène est réglé selon le besoin mais il est toujours en excès par rapport au gaz brûlé, selon l'équation suivante :



Lorsqu'on remarque une montée des impuretés au-dessus du cuivre, et cela indique son oxydation, car la densité du cuivre est supérieure à la densité des impuretés.

L'élimination des impuretés se fait par le verre, le sable et la soude. Le verre est saupoudré sur le métal. Il se dissout et forme une pâte avec les impuretés, car il contient du silicium, qui réagit chimiquement avec les impuretés qui contiennent du plomb (Pb), du zinc (Zn), de l'étain (Sn), du fer (Fr) et de l'aluminium (Al) afin de s'oxyder. La température est supérieure à 1200°C.

Après ce processus, nous prélevons un échantillon pour analyse pour voir si le cuivre est devenu pur. Si au contraire il est constaté qu'il n'est pas encore purifié, nous répétons les étapes à nouveau jusqu'à ce que nous atteignons le cuivre pur, c'est-à-dire l'apparition d'oxydation.



**Figure 2.6 :** four de fusion du cuivre au niveau de Arab Metals spa.

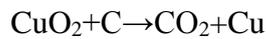
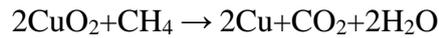
#### Etape 2 : Réduction du cuivre.

La réduction réduit au maximum les impuretés dans le cuivre, et c'est un processus d'inversion de l'oxydation en éliminant l'oxygène du métal par le gaz et le charbon, en introduisant du gaz butane dans le métal et le gaz carbonique. On prélève un échantillon pour analyse toutes les 15 minutes pour suivre la désoxygénation, car elle doit être

inférieure à 200 ppm.

La réduction se fait par le gaz et le charbon afin d'enlever complètement l'oxygène du métal. L'analyse d'un échantillon au microscope est utilisée pour voir les défauts sur sa surface.

Les réactions chimiques associées dans cette étape sont :



Etape 3 : La coulée du cuivre.

Lorsque le niveau d'oxygène atteint 200 ppm à 500 ppm, on ajoute 1 kg de bore dans le four, puis on ajoute 04 sacs de charbon de bois en chauffant pendant 30 minutes. L'échantillon final d'oxygène et de cuivre est prélevé pour s'assurer que le niveau d'oxygène est inférieur à 200 ppm, puis la charge est versée avec l'ajout de 500 grammes de bore par cuillère.



**Figure 2.7** : Coulée du cuivre après purification.

### **2.2.2. Procédés de fabrication du laiton**

Dans le four où on met du cuivre pur et du zinc à la température de fusion pour obtenir du laiton. Lorsque le mélange ou l'alliage fond, on prélève un échantillon afin de déterminer sa composition par analyse électronique pour connaître le pourcentage de cuivre qui doit être compris entre 57% et 59%.

A ce stade, le métal est bon pour la coulée, on ajoute alors du zinc ou du plomb, et s'il est inférieur à 57,% on ajoute du cuivre.

Lorsque les résultats d'analyse sont conformes, le métal est versé dans un tube alimenté en eau de refroidissement qui coule dans un tube de diamètre donnée pour produire des tubes de laiton plein de 3 à 3,5 m. La composition du laiton se présente alors comme suit.

**Tableau 2.1 :** Composition chimiques du laiton.

| Composé       | Cu    | Pb      | Al   | Fe  | Ni  | Sn  | Autres | Zn              |
|---------------|-------|---------|------|-----|-----|-----|--------|-----------------|
| Fractions (%) | 57-59 | 1,6-2,5 | 0,05 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,2    | Restant (40,25) |

# **Chapitre 3**

## **Matériels et Méthodes**

### 3.1. Introduction

Les analyses que nous avons effectuées ont été réalisées au niveau du laboratoire de contrôle qualité de Arab Metals spa. Ce laboratoire est équipé pour répondre à toutes les analyses qui sont liées à la production, au contrôle des matières premières et des produits finis. Les appareils du laboratoire sont d'une qualité très élevée, ils sont étalonnés, vérifiés par des experts et soumis aux dispositifs de qualité et normes nationales et internationales.

Pour la réalisation de ce mémoire, nous avons utilisé un spectrophotomètre d'émissions optique pour l'analyse de la composition chimique, un appareil Oxygen/Nitrogen Sytem pour déterminer le taux d'oxygène dans le cuivre, un test d'élongation et un Mico- Ohmmètre pour la détermination de la résistance électrique.

### 3.2. Spectroscopie d'émission optique

Dans toutes les métallurgiques, en particulier au niveau des impuretés dans les métaux de recyclage, La spectroscopie d'émission optique, ou SEO, est une technique d'analyse de référence et largement employée pour déterminer la composition chimique d'une grande variété de métaux.



**Figure 3.1 :** Spectrophotomètre FOUNDRY-MASTER Xpert

FOUNDRY-MASTER Xpert est la référence des analyseurs OES de paillasse. Il offre une grande précision dans les résultats analytiques, assure une identification précise des matériaux et couvre même les éléments critiques tels que Pb (Plomb), Se (Sélénium) et La (Lanthane) avec des limites de détection très basses.

#### Réactifs :

- Eau ultrapure (conductivité  $\leq 0,1 \mu\text{S}/\text{cm}$ );
- Acide chlorhydrique, 37 % de qualité pour analyse;
- Acide nitrique, 65 % de qualité pour analyse;

- Echantillon à analyser

#### Mode opératoire :

Pour le dosage des métaux dissous l'échantillon est dissous dans un mélange d'acide chlorhydrique et d'acide nitrique. Il est filtré à travers une membrane filtrante de 0,45 µm dès que possible après le prélèvement. Ces échantillons doivent être incolores. Le filtrat est acidifié avec de l'acide nitrique 65 % afin que le pH de l'échantillon soit  $\leq 2$ .

Avant de commencer l'analyse, laisser l'appareil atteindre une certaine stabilité thermique; Lancer la configuration de fonctionnement appropriée de l'ordinateur;

- Régler et étalonner l'instrument à l'aide des solutions d'étalonnage.
- Rincer le système avec la solution de blanc réactif entre chaque étalon;
- Avant d'analyser les échantillons, analyser la solution de contrôle comme s'ils'agissait d'un échantillon.
- La valeur doit se situer dans les limites de contrôle établies pour 2 écarts-types de valeur moyenne.
- Si ce n'est pas le cas, répéter l'analyse 2 fois et calculer la moyenne des 3 résultats.
- Si la moyenne n'est pas correcte, terminer l'analyse, remédier au problème et étalonner à nouveau l'instrument;
- Commencer l'analyse de l'échantillon en rinçant le système avec la solution de blanc réactif, puis entre chaque échantillon.
- Analyser la solution contrôle tous les 10 échantillons;
- Essai à blanc : Procéder à l'analyse de l'essai à blanc obtenu en remplaçant l'échantillon par de l'eau ultrapure;

### **3.3. Appareil Oxygen/Nitrogen System**

Le système oxygène/azote ON736 est conçu pour la mesure simultanée de la teneur en oxygène et en azote dans les métaux et autres matériaux inorganiques par infrarouge. L'instrument dispose d'un logiciel personnalisé conçu spécifiquement pour les besoins de l'entreprise.



**Figure 3.2 :** Appareil Oxygen/Nitrogen System.

Réactifs :

- Echantillon à analyser
- Gaz Argon pur

à 99% Mode opératoire :

Un gramme échantillon est placé directement sur le porte échantillon de l'appareil pour être analysé. Les résultats de l'analyse sont reportés directement sur l'écran. Le pourcentage de l'oxygène et de l'azote dans l'échantillon est affiché.

### **3.4. Test d'élongation**

Un test d'élongation sur le fil de cuivre est mené de manière à déterminer la résistance à la traction/la charge de rupture et l'allongement d'un conducteur. Ces propriétés dépendent de l'alliage et de l'état métallurgique.

Ce test est réalisé au niveau du laboratoire sur un appareil de test d'élongation comme le montre la figure 3.4.

Mode opératoire :

Ce test est réalisé en mettant 50 cm d'un fil en cuivre de diamètre bien déterminé. Pour les matériaux métalliques présentant une limite d'élasticité prononcée, la

résistance à la traction est définie comme la force la plus élevée approchée après la limite d'élasticité supérieure. La limite de l'élasticité et la résistance à la traction sont mesurées directement sur l'appareil qui comporte un extensomètre.



**Figure 3.3 :** Appareil pour test d'élongation.

### **3.5. Analyse de la résistance électrique**

L'analyse de la résistance électrique du cuivre est réalisée sur un Micro-Ohmmètre. 1 mètre de fil de cuivre est accroché entre deux électrodes de l'appareil. La mesure est effectuée par le passage de plusieurs courants électriques, elle est affichée directement sur le cadran de l'appareil. La mesure est très précise afin de déterminer si le cuivre comporte des impuretés ou pas. Une valeur comprise entre 6 et 8 Ohm/km indique une bonne qualité du produit.



**Figure 3.4 :** Test Micro-Ohmmètre.

#### **4.1. Collecte et tri et classification des déchets du cuivre**

Le processus de collecte et de tri est important et essentiel pour le processus de recyclage des déchets. L'entreprise Arab Metals collecte les déchets de cuivre dans le cadre d'accords avec des entreprises privées, étatiques conventionnées. Le prix du cuivre est fixé chaque année et reste inchangé durant toute l'année en cours. Les entreprises qui alimentent Arab Metals fournissent les déchets déjà triés à la source pour obtenir le meilleur prix. Plus les déchets sont triés plus leur prix augmente.

Le processus de tri est un processus important pour connaître les types de déchets. Une entreprise qui fait du tri manuel utilise des ouvriers où ils trient les déchets de cuivre selon les formes comme première étape. La deuxième étape consiste à prélever un échantillon de tous les déchets afin de faire une analyse et les classer en trois catégories ou groupes représentés dans le tableau suivant.

**Tableau 4.1 :** Classification des déchets de cuivres.

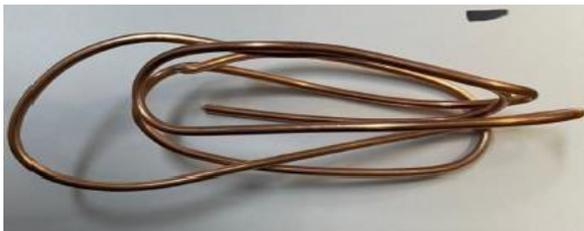
| Groupe | % de pureté |       |
|--------|-------------|-------|
| G1     | 99,94       | 99,99 |
| G2     | 99,90       | 99,93 |
| G3     | 99,60       | 99,89 |

#### **4.2. Origines des déchets de cuivre**

Dans le tableau suivant nous avons analysé tous les types de déchets de cuivre

que nous avons examinés au niveau de Arab Metals. Pour chaque déchet, nous lui avons attribué son groupe et son pourcentage d'impureté.

**Tableau 4.2 :** Type et classe des déchets du cuivre.

| Groupe | Nom    | Pourcentage d'impureté | Photo  |
|--------|--------|------------------------|--|
| G1     | Câbles | 0%                     |  |

|    |                           |       |  |
|----|---------------------------|-------|--|
| G1 | Feuille de cuivre 0,40 mm | 0,18% |    |
| G1 | Feuille de cuivre 1,00mm  | 0,33% |    |
| G1 | Barres plates             | 0,27% |   |
| G1 | Plume rouge               | 0,98% |  |
| G2 | Plume rouge Câble médical | 0,34% |  |
| G2 | Câbles G2                 | 1,2%  |  |

|    |                |       |  |
|----|----------------|-------|--|
| G2 | Filet G2 de G1 | 0,05% |    |
| G2 | Coup de poing  | 10%   |    |
| G2 | Coup de poing  | 8,5%  |   |
| G2 | Bobine Bange   | 6%    |  |
| G2 | Tuyaux         | 0,05% |  |

|    |                     |       |  |
|----|---------------------|-------|--|
| G2 | Antenne<br>aérienne | 1,34% |    |
| G2 | Bol en cuivre       | 0,6%  |    |
| G3 | Coup de<br>poing    | 25%   |   |
| G3 | Brulé               | 3,7%  |  |
| G3 | Tuyaux              | 0,8%  |  |

# **Chapitre 4**

## **Résultats et Discussions**

## 4.3. Classification des déchets de cuivre

### 4.3.1. Classification selon la réglementation algérienne

Les déchets de cuivre sont classés comme étant des déchets spéciaux pour l'environnement. Une classification par un code permet de les identifier directement par étiquetage soit par le décret 06-104 du 28 février 2006 fixant la nomenclature des déchets y compris les déchets spéciaux dangereux.

|        |                                   |   |  |
|--------|-----------------------------------|---|--|
| 17.4   | Métaux (y compris leurs alliages) |   |  |
| 17.4.1 | Cuivre, bronze, laiton            | S |  |

**Figure 4.1 :** Extrait de classification des déchets de cuivres du décret 06-104.

Selon ce décret, les déchets de cuivre sont classés comme étant des déchets spéciaux sans critère de dangerosité sous le code 17.4.1. Il est classé avec le bronze et le laiton, tous les deux sont des alliages du cuivre.

### 4.3.2. Classification selon la convention de Bâle

La Convention de Bâle, officiellement Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination est un traité international qui a été conçu afin de réduire la circulation des déchets dangereux entre les pays. La Convention a été ouverte à la signature le 22 mars 1989 et est entrée en vigueur le 5 mai 1992 pour les 166 États parties à la convention.

La classification est basée sur les critères suivants :

- Origine du déchet (activité génératrice du déchet)
- Mode de traitement
- Mode d'élimination
- Mode de stockage
- Liste de code de la convention pour

déchets Pour les déchets de cuivre le code est

le suivant :

## **R4//Y22//Y23//B1010//B1070//B1050**

**Tableau 4.3 :** Classification du déchet de cuivre selon la convention de Bâle.

| <b>Code</b> | <b>Désignation</b>   |
|-------------|--|
| R4          | Recyclage ou récupération des métaux ou des composés métalliques.  |
| Y22         | Composés du cuivre   |
| Y23         | Composés du zinc   |
| B1010       | Déchets de métaux et de leurs alliages sous forme métallique, non dispersible : Débris cuivre et zinc  |
| B1070       | Déchets de cuivre et d'alliages de cuivre sous forme dispersible, sauf s'ils possèdent des constituants figurant à l'annexe I à des concentrations telles qu'ils présentent l'une des caractéristiques de danger figurant à l'annexe III |
| B1050       | Débris de métaux non-ferreux mélangés.   |

### **4.4. Analyse des échantillons de cuivre**

#### **4.4.1. Analyse d'échantillon de groupe 1**

Des échantillons de plusieurs clients analysés pour déterminer leur classification se le groupement G1, G2 et G3. L'analyse effectuée est la spectrophotométrie d'émission optique pour déterminer leurs compositions et leur degré de pureté. Les résultats de 3 échantillons sont groupés dans le tableau suivant.

**Tableau 4.4 :** Résultats d'analyse par spectroscopie d'émission optique du groupe 1.

| <b>Echantillon</b> | <b>Cu[%]</b> | <b>Zn[%]</b>  | <b>Pb[%]</b>  | <b>Sn[%]</b>      | <b>P[%]</b>   | <b>Mn[%]</b>      | <b>Fe[%]</b>  |
|--------------------|--------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|
| <b>1</b>           | 99,93        | 0,0027        | 0,0018        | <0,0001           | 0,0022        | <0,0001           | 0,0011        |
| <b>2</b>           | 99,93        | 0,0029        | 0,0017        | <0,0001           | 0,0025        | <0,0001           | 0,0022        |
| <b>3</b>           | 99,93        | 0,0041        | 0,0013        | <0,0001           | 0,0026        | <0,0001           | 0,0009        |
| <b>Moyenne</b>     | <b>99,93</b> | <b>0,0031</b> | <b>0,0016</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>0,0024</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>0,0014</b> |

#### Commentaire :

Pour les 3 échantillons analysés, le résultat a montré une forte proportion de cuivre de l'ordre de 99,93%. Cette proportion indique une pureté très élevée par conséquent on peut classer ce déchet de cuivre comme étant un déchet du groupe G1

destiné directement au four pour la production de barre de cuivre (produit final).

L'échantillon issu de ce déchet est identifié comme étant un bon produit et sera suivi par la suite.



**Figure 4.2 :** Photo de l'échantillon du groupe 1.

#### 4.4.2. Analyse d'échantillon de groupe 2

Une deuxième analyse par spectroscopie d'émission optique est réalisée sur des échantillons de groupe 2 illustré par la figure suivant.



**Figure 4.3 :** Photo de l'échantillon du

groupe 2. Les résultats de cette analyse sont groupés sur le tableau suivant.

**Tableau 4.5 :** Résultats d'analyse par spectroscopie d'émission optique du groupe 2.

| Echantillon | Cu [%] | Zn[%]  | Pb[%]  | Sn[%]   | P[%]   | Mn[%]   | Fe[%]  |
|-------------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|--------|
| 1           | 99,92  | 0,0081 | 0,0018 | <0,0001 | 0,0030 | <0,0001 | 0,0038 |
| 2           | 99,92  | 0,0091 | 0,0018 | <0,0001 | 0,0035 | <0,0001 | 0,0039 |
| 3           | 99,92  | 0,0081 | 0,0018 | <0,0001 | 0,0034 | <0,0001 | 0,0037 |

|                |              |               |               |                   |               |                   |               |
|----------------|--------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|
| <b>Moyenne</b> | <b>99,92</b> | <b>0,0086</b> | <b>0,0018</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>0,0033</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>0,0038</b> |
|----------------|--------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|

Commentaire :

Les analyses des déchets issus d'un échantillon, ont montré une teneur en cuivre de 99,92%. Ce déchet est donc classé dans le groupe G2, il doit subir un traitement pour élever sa classe au groupe G1.

Ce traitement s'effectue dans un four à 1170°C en présence de l'oxygène pour réduire les autres métaux comme le zinc ou le fer. Des analyses sont effectuées une deuxième fois pour vérifier si la fraction en cuivre est passée à 99,94%. Le pourcentage d'oxygène est lui aussi déterminé après analyse, il doit être compris entre 5 et 10 ppm.

#### 4.4.3. Analyse d'échantillon de groupe 3

De la même façon, nous avons effectué des analyses sur des échantillons pour déterminer leur groupe. Une photo des échantillons ainsi que le tableau des résultats sont illustrés comme suit.



**Figure 4.4 :** Photo de l'échantillon du groupe 3.

**Tableau 4.6 :** Résultats d'analyse par spectroscopie d'émission optique du groupe 3.

| <b>Echantillon</b> | <b>Cu [%]</b> | <b>Zn[%]</b>  | <b>Pb[%]</b>  | <b>Sn[%]</b>  | <b>P[%]</b>   | <b>Mn[%]</b>      | <b>Fe[%]</b>  |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|
| <b>1</b>           | 99,78         | 0,0092        | 0,0452        | 0,0329        | 0,0023        | <0,0001           | 0,0150        |
| <b>2</b>           | 99,77         | 0,0113        | 0,0464        | 0,0323        | 0,0025        | <0,0001           | 0,0152        |
| <b>3</b>           | 99,78         | 0,0095        | 0,0439        | 0,0265        | 0,0025        | <0,0001           | 0,0088        |
| <b>Moyenne</b>     | <b>99,78</b>  | <b>0,0100</b> | <b>0,0452</b> | <b>0,0306</b> | <b>0,0024</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>0,0130</b> |

### Commentaire :

Les analyses des déchets issus du client 3, ont montré elles aussi une teneur en cuivre de 99,78% inférieur aux deux autres échantillons ce qui classe le produit dans le groupe G3, il doit subir lui aussi un traitement pour élever sa classe au groupe G1.

Ce traitement s'effectue de la même manière que le déchet du groupe G2, c'est-à-dire, dans un four à 1170°C en présence de l'oxygène pour réduire les autres métaux. Des analyses sont encore effectuées pour vérifier si la fraction en cuivre est passée à 99,94%. Une fois encore l'oxygène doit être compris entre 5 et 10 ppm.

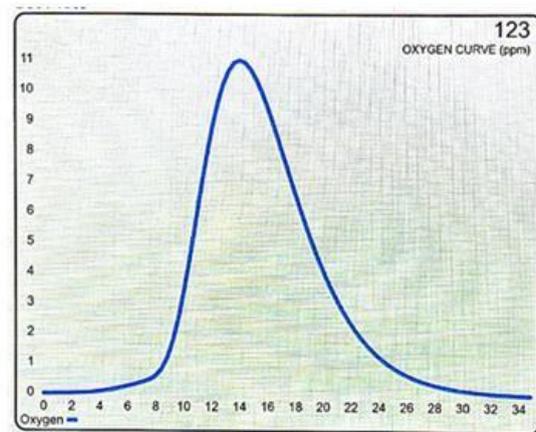
## **4.5. Analyse des échantillons de Laiton**

Le laiton est un alliage sous-produit, utilisé dans la fabrication de la robinetterie. Il présente des caractéristiques plus dures que le cuivre. Il est composé principalement de 57% de cuivre et 40% de zinc.

Les analyses effectuées par spectroscopie d'émission optique sur le laiton sont entre 57 et 59% de cuivre et 40 à 44% de zinc. On ajoute aussi du plomb pour ajuster ses deux composés. Ces analyses sont donc conformes aux spécifications requises.

## **4.6. Analyse de la teneur en oxygène**

Cette analyse est effectuée sur l'appareil Oxygen/Nitrogen System. Les résultats sont directement traduits sur le graphe suivant.



**Figure 4.5 :** Courbe d'analyse de la teneur en oxygène dans le cuivre.

### Commentaire :

L'échantillon montre une teneur maximum de 10 à 11 ppm, ce qui démontre que la réaction de réduction est arrivée à son terme et que la présence d'oxyde de cuivre est très faible. Pour ce type d'échantillon, le pourcentage de cuivre est supérieur à 99,97% ce qui le classe dans le groupe 1.

## 4.7. Test d'élongation

Ce test est effectué pour déterminer 2 paramètres, la limite d'élasticité et la résistance à la traction.

### Commentaire :

Selon la figure ci-dessous, le test montre un pourcentage d'élongation de 36,96% pour le fil de 8 mm. Ce pourcentage ne dépasse pas la valeur de 38% fixée pour la conformité du produit.

On peut aussi déterminer sur le test le pourcentage d'élongation de la zone élastique et le module de Young. Ces deux paramètres sont des caractéristiques essentielles pour les matériaux en général.

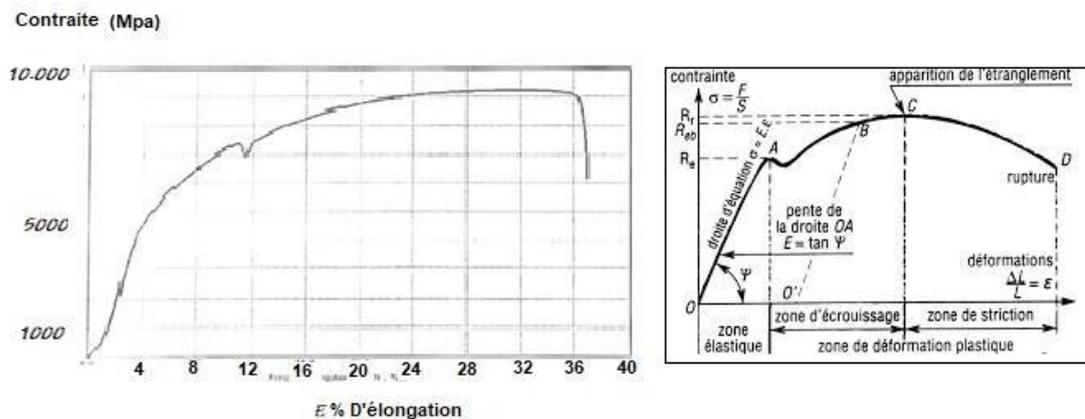


Figure 4.6 : Test d'élongation d'un fil de cuivre de 8 mm.

## 4.8. Analyse de la résistance électrique

Le fil de cuivre de diamètre 8 mm est testé sur Micro-Ohmmètre numérique

pour déterminer sa résistance. Cette propriété est déterminante, elle doit être comprise entre 6 et 8 Ohm/km. Les analyses effectuées sur notre échantillon final ont présenté une valeur égale à 7,060  $\Omega$ / km conforme aux spécifications du fil de cuivre.

#### 4.9. Compilation des analyses effectuées

Pour voir la qualité des produits, nous avons groupé toutes les analyses dans un seul tableau afin de déterminer si nos produits sont conformes aux normes et spécifications de l'entreprise. Le tableau suivant regroupe toutes les analyses requises.

**Tableau 4.7 :** Compilation des résultats d'analyse.

| Analyses              | Résultats              | Spécifications/<br>Normes | Observations                                       |
|-----------------------|------------------------|---------------------------|--|
| SEO Groupe 1          | 99,93%                 | 99,94-99,98%              | Conforme, le produits de subira pas de traitement. |
| SEO Groupe 2          | 99,92%                 | 99,90-99,93%              | Produit de groupe 2 doit subir un traitement.      |
| SEO Groupe 3          | 99,78%                 | 99,60-99,89%              | Produit de groupe 3 doit subir un traitement.      |
| SEO Laiton            | 57% Cuivre<br>40% Zinc | 57-59%<br>40-44%          | Conforme.<br>Conforme.                             |
| Oxygène               | 10 ppp                 | 5-10 ppm                  | Conforme.  |
| Test d'élongation     | 36,96%                 | <38%                      | Conforme.  |
| Resistance électrique | 7,060 $\Omega$ /km     | 6-8 $\Omega$ /km          | Conforme.  |

Commentaire : Sur la base de ces résultats on peut affirmer que l'entreprise Arab Metals produit du cuivre et du laiton conformes aux normes et aux spécifications de l'entreprise.

# **Conclusion Générale**

## Conclusion générale

Le stage que nous avons effectué nous a montré l'importance du cuivre dans l'industrie. Il est utilisé dans l'industrie électrique principalement mais aussi en quincaillerie comme alliage avec le zinc pour donner le Laiton.

L'entreprise Arab Metals spa, est leader en Algérie dans le domaine du recyclage du cuivre et la fabrication de matière première. Elle produit annuellement plus de 13.000 T de cuivre et 3.000 T de laiton dont une partie est exportée vers l'étranger.

Les analyses que nous avons effectuées au niveau du laboratoire de Arab Metals (ESO, Oxygen/Nitrogen System, Resistance électrique, test d'élongation) des produits finis ont tous étaient conformes aux spécifications de l'entreprise et aux normes.

Nous avons également procédé à une classification des déchets selon leur groupe en fonction de leur pureté en cuivre. En général, les déchets sont d'un degré de pureté supérieur à 99%.

Pour finaliser ce mémoire nous recommandons :

- Étiqueter clairement les bacs de collecte du cuivre et du zinc.
- Utiliser des codes sur les bacs pour faciliter la traçabilité des déchets et gérer les quantités collectés.
- Identifier clairement les clients qui ramènent les déchets à l'aide d'étiquettes ou de codes pour assurer le suivi de l'approvisionnement et maintenir des registres précis.

# **Sommaire**

## Sommaire

### Résumé :

#### *Dédicaces*

### Annexes

|   |           |
|---|-----------|
| Introduction générale .....                                     | 1         |
| I.1. Introduction.....  | 3         |
| 1.2. Procèdes de traitement du cuivre.....                      | 3         |
| 1.2.1. Traitement des minerais oxydés .....                     | 5         |
| 1.2.2. Traitement des minerais sulfurés .....                   | 5         |
| 1.2.3. Affinage du cuivre brut.....                             | 6         |
| 1.3. Propriétés du cuivre.....                                  | 7         |
| 1.3.1. Propriétés chimiques .....                               | 7         |
| 1.3.2. Physiques et mécaniques .....                            | 8         |
| 1.4. Utilisations du cuivre .....                               | 8         |
| 1.5. Traitement des déchets de cuivre .....                     | 9         |
| 1.5.1. Pratiques écologiquement rationnelles .....              | 10        |
| 1.5.2. Collecte et tri des déchets .....                        | 11        |
| a) Tri des déchets.....   | 11        |
| b) Prétraitement .....  | 12        |
| c) Traitement .....   | 12        |
| 1.5.3. Le recyclage de cuivre dans le monde.....                | 13        |
| a) Les déchets neufs.....                                       | 13        |
| b) Les vieux déchets .....                                      | 13        |
| c) Place du cuivre secondaire dans la production mondiale ..... | 14        |
| 1.6. Recyclage de cuivre en Algérie.....                        | 15        |
| <b>Présentation de Arab Metals spa.....</b>                     | <b>17</b> |
| 2.1. Présentation de l'entreprise Arab Metals spa.....          | 18        |
| 2.1.1. Laboratoire .....  | 18        |
| 2.1.2. Matières premières .....                                 | 18        |
| 2.1.3. Capacités de production et produits finis .....          | 19        |
| 2.2. Procédés utilisés .....                                    | 21        |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.2.1. Procédé de purification du cuivre .....                     | 21        |
| 2.2.2. Procédés de fabrication du laiton.....                      | 23        |
| <b>Matériels et Méthodes</b> .....                                 | <b>25</b> |
| 3.1. Introduction.....   | 26        |
| 3.2. Spectroscopie d'émission optique .....                        | 26        |
| 3.3. Appareil Oxygen/Nitrogen System .....                         | 27        |
| 3.4. Test d'élongation.....  | 28        |
| 3.5. Analyse de la résistance électrique.....                      | 29        |
| 4.1. Collecte et tri et classification des déchets du cuivre ..... | 30        |
| 4.2. Origines des déchets de cuivre .....                          | 30        |
| <b>Résultats et Discussions</b> .....                              | <b>35</b> |
| 4.3. Classification des déchets de cuivre .....                    | 36        |
| 4.3.1. Classification selon la réglementation algérienne .....     | 36        |
| 4.3.2. Classification selon la convention de Bâle .....            | 36        |
| 4.4. Analyse des échantillons de cuivre .....                      | 37        |
| 4.4.1. Analyse d'échantillon de groupe 1 .....                     | 37        |
| 4.4.2. Analyse d'échantillon de groupe 2 .....                     | 38        |
| 4.4.3. Analyse d'échantillon de groupe 3 .....                     | 39        |
| 4.5. Analyse des échantillons de Laiton .....                      | 40        |
| 4.6. Analyse de la teneur en oxygène.....                          | 40        |
| 4.7. Test d'élongation.....  | 41        |
| 4.8. Analyse de la résistance électrique.....                      | 41        |
| 4.9. Compilation des analyses effectuées .....                     | 42        |
| Conclusion générale.....   | 44        |