



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم
Abdelhamid Ibn Badis University - Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculty of Sciences and Technology
قسم هندسة الطرائق
Process Engineering Department of



Department of Process Engineering

The Date

Ref :...../U.M/F.S.T/2023

قسم هندسة الطرائق

التاريخ :

رقم : / ج. م. ك. ع. ت. // 2023

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option : Génie des procédés des matériaux

Thème

Etude de la qualité du cuivre commercial

Présenté par

M^{elle} GUENOUNA Zahira

M^{elle} GORINE Chahrazed

Soutenu le 26/06/ 2023 devant le jury composé de :

Présidente :	Dr. SEFIR YAMINAA	M.C.A	Université de Mostaganem
Examinatrice :	Dr. BENATMANE SAADIA	M.C.A	Université de Mostaganem
Rapporteur :	Dr. FEDDAL IMENE	M.C.A	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2022/2023

Remerciements

Merci à **ALLAH** le tout puissant pour m'avoir toujours guidé dans mes choix afin de savoir classer mes priorités.

J'exprime mes sincères remerciements à, le doyen de la faculté des Sciences et Technologies, université Abd Elhamid Ibn Badis Mostaganem, de l'honneur qu'il m'a donnée d'avoir accepté de présider le jury de notre projet.

Mes remerciements vont à **Dr BENATMANE SAADIA** enseignante au département de Génies des Procédés, d'avoir acceptée d'examiner ce travail.

J'adresse mes plus sincères remerciements aux personnes qui m'ont encadrée durant cette période et de manière particulière :

Dr FEDDAL IMENE enseignante à la faculté des Sciences et Technologies, université Abd Elhamid Ibn Badis Mostaganem, pour l'honneur qu'elle m'a fait pour avoir accepté de m'encadrer durant l'élaboration de ce travail, pour ses conseils, pour sa patience et ses orientations scientifiques qui ont été un apport pour moi.

Dr SEFIR YAMINA maître de conférences à la faculté des Sciences et Technologies, université Abd Elhamid Ibn Badis Mostaganem, qui a contribué à la réalisation de ce projet, pour les idées techniques, pour ses conseils, pour sa disponibilité et le temps qu'il m'a consacré en dépit de sa charge pédagogique.



Dédicace

Je dédie ce fruit de mes efforts à la chose la plus précieuse que j'ai, « mes généreux parents », que Dieu les préserve e, prenne soin d'eux et les bénisse

À mes chères sœurs Kanza, Karima et à mon cher frère dans cette vie Lahcene, Houcine.

À ma sœur et collègue Gorine chahrazed, à mes compagnons nina , et à tous mes amis dans le parcours scolaire

À tous ceux qui ont un impact sur ma vie et à tous ceux que mon cœur aime.

ZAHIRA





Dédicace

Je dédie ce fruit de mes efforts à la chose la plus précieuse que j'ai, « mes généreux parents », que Dieu les préserve e, prenne soin d'eux et les bénisse

À mes chères sœurs et à mon cher frère dans cette vie.

À ma sœur et collègue Guenouna Zahira, à mes compagnons Shosho, Iman, Mamia et Zahra, et à tous mes amis dans le parcours scolaire

À tous ceux qui ont un impact sur ma vie et à tous ceux que mon cœur aime.

Chahrazed



Résumé :

Le cuivre tréfilé utilisé par le Groupe industriel de sidi bendhiba est obtenu par le procédé de la récupération des déchets. Ce cuivre contient des défauts et des impuretés susceptibles de diminuer certaines propriétés électriques et mécaniques. Le problème ici est l'étude de la qualité du cuivre commercial et l'influence de cette impureté et de prévoir comment les réduire et /ou les éliminer.

Nous avons réalisé des traitements thermiques et des compositions chimiques et des essais mécaniques sur un échantillon qui nous ont été fournis par le GISB.

Nous avons considéré une partie liée à l'aspect physique, électrique et métallurgique du cuivre et une partie sur le tréfilage.

Mots clés : cuivre, qualité, impuretés, affinage, recyclage, tréfilage.

الملخص:

النحاس المستخدم من قبل مؤسسة كابلات سيدي بن ذهبية يتم الحصول عليه من خلال عملية تدوير مخلفات وأسلاك النحاس المعطلة. يحتوي هذا النحاس على عيوب وشوائب قد تقلل من بعض الخواص الكهربائية والميكانيكية، تكمن المشكلة هنا في دراسة جودة هذا النحاس التجاري وتأثير هذه الشوائب وكيفية التقليل منها أو إزالتها.

من خلال إجراء اختبارات مثل المعالجة الحرارية وتجارب وتركيبات كيميائية واختبارات ميكانيكية على عينة قدمها لنا مجموعة سيدي بن ذهبية.

نظرنا في جزء متعلق بالجانب الفيزيائي والكهربائي والمعدني للنحاس وجزء على عملية سحب أسلاك النحاس.

الكلمات المفتاحية: النحاس، الجودة، الشوائب، التكرير، إعادة التدوير، سحب

الأسلاك.

Abstract :

The drawn Copper used by the Sidi Bendhiba Industriel Group is obtained through the waste recovery process. This copper contains defects and impurities that may reduce certain electrical and mechanical properties. The problem here is to study the quality of this commercial copper and the influence of this impurity and to predict how to reduce and/or eliminate them.

We carried out heat treatments and chemical compositions and mechanical tests on a sample provided to us by the GISB.

We considered a part related to the physical, electrical and metallurgical aspect of copper and a part on wire drawing.

Keywords : copper, quality, impurities, refining, recycling, wire drawing.

Sommaire

Introduction général.....	1
Chapitre I : Généralité et propriétés physique et mécanique de cuivre.....	2
I.1.Introduction.....	3
I.2.Définition.....	3
I.3.Cuivres industriels non alliés.....	3
I.4. Propriétés physiques et mécaniques.....	6
I.4.1. Caractéristiques physiques du cuivre.....	6
I.4.2. Caractéristiques mécaniques du cuivre.....	6
I.5. Alliages de cuivre.....	8
I.5.1. Cuivre faiblement allier.....	8
I.5.2. Cuivre fortement allier.....	9
I.6.Etude des impuretés.....	10
I.6.1-Influence du plomb :.....	11
I.6.2-Influence du soufre.....	11
I.6.3- Influence du bismuth.....	11
I.6.4-Influence de l’oxygène.....	11
I.7.Utilisation et application du cuivre.....	13
I.7.1. Application en construction mécanique et électrique.....	13
I.8. Le Recuit.....	14
I.8.1. Définition.....	14
I.8.2. Avantage.....	14
I.8.3. Application.....	14
I.8.4. Processus.....	14
I.9.L’Écroui.....	16
I.9.1. Définition.....	16

I.9.2. L'écrouissage d'un métal.....	16
I.10. Différence cuivre.....	17
I.11. Affinage du cuivre brut	18
I.11.1. L'affinage thermique.....	18
I.11.2. L'affinage électrolytique.....	18
I.12. Le four de réverbéré	18
I.12.1. Historique.....	18
I.12.2. Définition.....	19
I.12.3. Utilisation dans la métallurgie.....	19
I.13. Recyclage du cuivre.....	20
I.14. Procédé d'obtention de fil machine 8mm cuivre par fusion de déchets de cuivre dans four à réverbère.....	20
Chapitre II: Groupe industriel sidi Bendhiba.....	22
II.1- Présentation du GISB	22
II.2- La câblerie Sidi Bendhiba	23
II.3- Situation géographiques.....	24
II.4- Fonctionnement.....	24
II.5. La politique environnementale	25
II.6. Les normes.....	26
II.7. Les services de l'entreprise	26
II.7.1. Contrôle qualité.....	26
II.7.2. Bureau d'étude	26
II.7.3. Laboratoire contrôle qualité	27
II.8. Le Procédés de fabrication d'un Câble électrique.....	27
II.9. Notion sur la gamme de matières première utilisée	27
II.9.1. Traitement de la matière première.....	28
II.9.1.1. Four	28

II.9.2. Description de la production au niveau du site 2.....	30
II.9.2.1. Tréfilage.....	30
❖ Les tests après tréfilage	32
II.9.2.2. Câblage	33
II.9.3. Description de la production au niveau de site1	36
II.9.3.1. Isolation	36
II.9.3.2. Assemblage	37
II.9.3.3. Bourrage et Gainage	37
Chapitre III:Résultats et Discussions.....	41
III.1. Introduction.....	42
III.2. Analyse de la composition chimique	42
III.2.4. Observation de la qualité.....	47
III.3. Essai de traction.....	48
III.3.1. Résultat	50
III.4. Traitement thermique	52
III.5 Conclusion.....	52
Conclusion général.....	53

Liste des figures

Figure I.1 : Le métal et le symbole de cuivre.....	3
Figure I.2 : variation de la conductivité électrique en fonction des taux d'impureté.....	10
Figure I.3 : effet de l'oxygène sur la conductivité électrique du cuivre Cu-ETP.....	12
Figure I.4 : schéma de four et les étapes de fabrication du cuivre.....	21
Figure II.1: localisation de GISB.....	24
Figure II.2: Câble électrique.....	27
Figure II.3: Botte de fil machine 8mm.....	28
Figure II.4: Image d'une multi-fileuse montrant ses filières et cabestans.....	
.....	30

Figure II.5: Filière de tréfilage.....	31
Figure II.6: Une tréfileuse.....	32
Figure II.7: Processus de câblage.....	33
Figure II.8: Câblage des fils dans la machine JLK 61.....	34
Figure II.9: Mesure du pas d'un câble.....	35
Figure II.10: Mesure du diamètre d'un câble.....	35
Figure II.11: Mesure de la résistance d'un câble.....	36
Figure II.12: Isolation des câbles électriques.....	37
Figure II.13: Assemblage des câbles.....	37
FigureII.14 : Processus de Bourrage.....	38
Figure II.15: Marquage.....	38
FigureII.16 : Organigramme de la fabrication du câble.....	40
Figure III.1 : prélèvement avant coulée (1).....	42
Figure III.2 : Spectromètre d'analyse de la composition chimique GISB.....	43
Figure III.3 : Tendances des premiers éléments Du groupe.....	45
Figure III.4 : Tendances des deuxièmes éléments du groupe.....	46
Figure III.5 : prélèvement Avant coulé (2).....	46
Figure III.6 : Fil machine 8mm et fils tréfilés de cuivre étudiés.....	48
Figure III.7 : Machine de traction 100 KN du GISB.....	49
Figure III.8 : Courbe de traction obtenue, contrainte en fonction de l'allongement.....	51

Listes des tableaux

Tableau I.1 : Appellations et en impuretés des divers cuivres industriels non a liés.....	5
Tableau I.2 : Principales propriétés physiques et mécaniques des divers cuivres industriels non Alliés.....	7
Tableau III.1. Résultats du% d'impuretés le 23 mai2023.....	44
Tableau III.2. Résultats du% d'impuretés le 23 mai2023.....	47
Tableau III.3. Propriétés physique, mécanique et électrique.....	51

Introduction Général

Aujourd'hui, le cuivre c'est un métal très important dans le domaine industriel et il est L'objet de plusieurs Travaux de recherches scientifiques. Leurs excellentes propriétés mécaniques Et électriques ont permis de

L'utilisé dans différents domaines ; l'industrie D'automobile, le câblage électrique. La caractéristique principale du cuivre est sa qualité de bon conducteur del'électricité associée à une ductilité élevée. La conductibilité électrique du cuivrea été prise comme référence par la Commission Électrotechnique Internationale en 1913, et la résistivité du cuivre, d'une valeur de 1,724 microhm.cm à l'état recuit, est l'étalon de cette mesure. La solidité du fil de cuivre et la fiabilité des contacts électriques qu'il permet d'obtenir sont les raisons essentielles de l'emploi généralisé du cuivre dans toute l'industrie de la construction électrique, dans la distribution de l'énergie électrique ainsi que dans la fabrication dematériels électrique et de composants électronique. A titre d'exemple, 95% des fils conducteurs d'un airbus sont en cuivre. Malheureusement, cette propriéteest altérée par la présence de certaines impuretés apportées par la matière première, et ce même à des concentrations tolérées par la norme (ASTM B49) pour qualifier la qualité du cuivre (par exemple quelques ppm de S ou de Pb). Les impuretés retardent la recristallisation des fils de cuivre (importante pour lespropriétés mécaniques, en particulier la diminution de l'allongement à rupture).

Pour affiner la sélection des fils de cuivre en fonction de leur usage final, c'est ç dire pour prédire les caractéristiques du fil (propriétés mécaniques, microstructure...), il est nécessaire de pouvoir appréhender les mécanismes de déformation et de recristallisation du cuivre en présence d'impuretés, peu ou pas étudiés dans la littérature.

Dans ce contexte, le travail présenté dans ce mémoire de master a pour objectif d'étudier de la qualité du cuivre commercial et la composition chimique, sur le comportement après tréfilage et lors de recuit.

Nous avons effectué un stage technique dans la Câblerie Sidi Bendehiba (CSB) Ce travail est présenté sous forme de 3 chapitres

- Le chapitre premier présentera un aperçu sur le cuivre et ses Propriétés électrique et mécanique.
- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de la Câblerie Sidi Bendhiba (CSB).
- Le troisième chapitre sr la partie expérimentale résultats et discussion.

Enfin, une conclusion générale qui rassemble les principaux résultats decette étude

Chapitre I :

Généralité et

Propriétés physique,

Mécanique de cuivre

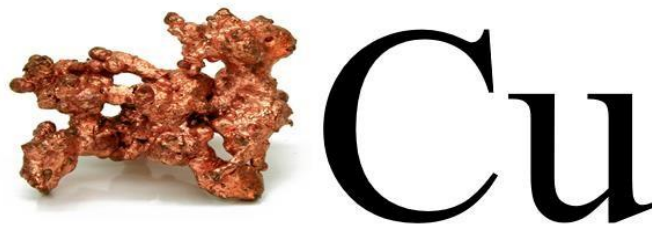
I.1.Introduction

Le cuivre (densité = 8.94g/cm³) appartient à la famille des métaux lourds qui sont naturellement présents Dans la croûte terrestre. En quantités variables sous forme de traces mélangées à d'autres minerais (Cadmium associé au zinc ou au Plomb, Arsenic présent dans les sulfures métallique) ou sous forme de gisements (mines de Crome, de Nickel...) [3]. Il est le deuxième en importance parmi les métaux non ferreux. À être consommé. Les déchets de fabrication, comme les produits de récupération en cuivre, fournissent un Tiers de la quantité de cuivre consommée. Le recyclage est effectué soit au niveau de l'affinage soit Par Procédés hydro métallurgique.

I.2.Définition

I.2.1. Le cuivre

Le cuivre est un élément chimique de symbole Cu et de numéro atomique 29 (figure II.1), il appartient au groupe 11 et de période 4. Sa masse atomique est de 63,45g/mol. Le cuivre est un métal rouge à cassure rose. La température de sa fusion : 1084 °C. il a réseau cristallin cubique à faces centrées à équidistance $a= 3,6074 \text{ \AA}$. Il est représenté par deux isotopes stables $^{63}_{29}\text{Cu}$ et $^{65}_{29}\text{Cu}$.A l'état élémentaire, le cuivre possède deux valences, +1(ions cuivreux Cu^+) et +2(ions cuivrique Cu^{2+}). La résistivité électrique du cuivre est 0.0178 ohm.mm²/m [1]. Le cuivre est un élément de transition indispensable à la vie en faible quantité, et toxique en quantité plus importante, il est classé comme oligo-élément [1].



FigureI.1 : Le métal et le symbole de cuivre [1].

I.3. Cuivres industriels non alliés

Les cuivres industriels non alliés peuvent, en général, être classés en trois grandes catégories qui sont, d'après la nomenclature française, **Cu-a**, **Cu-b** et **Cu-c** :

Le cuivre **Cu-a** contenant de l'oxygène, existe sous forme de trois nuances normalisées dépendant du procédé d'affinage : **Cu-a1**, **Cu-a2** et **Cu-a3**. Le cuivre **Cu-a1**, obtenu par affinage électrolytique, contient une teneur en cuivre supérieure ou égale à 99,90% en masse. C'est le cuivre le plus pur chargé en oxygène et aussi le plus couramment utilisé. Il a de hautes conductivités électrique et thermique et est destiné à des usages électriques (ou thermiques). Il est difficilement soudable et ne peut être utilisé sous vide. Les deux autres nuances (**Cu-a2** : $\text{Cu} \geq 99,90\%$ et **Cu-a3** : $\text{Cu} \geq 99,85\%$) sont obtenues par affinage thermique, seule la première étant de conductivité électrique garantie. Ces cuivres sont cependant moins utilisés que le cuivre **Cu-a1**, en raison de présence d'un taux d'impuretés plus élevé.

Le cuivre **Cu-b**, exempt d'oxygène et désoxydé au phosphore, contient au moins 99,90% en masse de cuivre et entre 0,013% et 0,050% (**Cu-b1**) ou entre 0,004% et 0,012% (**Cu-b2**) de phosphore. Ce cuivre présente de bonnes caractéristiques mécaniques (bonne soudabilité, meilleure tenue mécanique à température moyenne), mais sa conductivité électrique est limitée par rapport au cuivre Cu-a.

Le cuivre **Cu-c**, exempt d'oxygène et de désoxydant résiduel, se présente sous forme de deux nuances qui se distinguent par leur niveau de pureté, **Cu-c1** (cuivre pur) qui comprend 99,95 % de cuivre et **Cu-c2** (cuivre extra pur) qui en comprend 99,99 %. C'est l'équivalent des cuivres de marque OFHC (Oxygené Free High Conductivité) d'origine américaine. Ce cuivre est utilisé à la fois pour des usages électriques (ou thermiques) et mécaniques (conductivité élevée et aussi bonne soudabilité) [2].

La correspondance norme française/norme ISO 431 entre ces trois cuivres est présentée dans le Tableau I.1.

Tableau I.1 : Appellations et en impuretés des divers cuivres industriels non a liés [2].

Norm française	Cu-a1	Cu-a2	Cu-a3	Cu-b1	Cu-b2	Cu-c1	Cu-c2
Norm ISO 431	<u>Cu-ETP</u> <u>Electro-</u> <u>lyticTough</u> <u>Pitch</u>	Cu-FRHC Fire-Re- finedHigh- Conductiv- ityTough Pitch	Cu- FRTP Fire Re- fined Tough Pitch	Cu-DHP Deoxidized copper, High resid- ual Phos- phorus	Cu-DLP Deoxidized copper, Low residual Phos- phorus	Cu-OF OxygenFree	- Cu-OFE Oxygen Free Electroniccopper
Teneur en masse (ppm)	O2 50 à 400	O2 50 à 400	O2 150 à 400	P 130 à 500	P 40 à 120	P 30	P 30
Ag % S, Fe, Ni %	5-20 5-15 1-5	5-20 5-15 1-5	5-20 10-20 1-5				
As, Se, Sn, Pb % Te, Au, Bi %	<1	1-5	1-5				

I.4. Propriétés physiques et mécaniques

I.4.1. Caractéristiques physiques du cuivre

Le cuivre est le meilleur conducteur de chaleur et d'électricité après l'argent (6 %), d'où son usage comme chaudière à évaporer, serpentins, cuves, fils et câbles pour transport d'énergie électrique, enroulements de dynamos, etc.

La conductibilité, du cuivre est influencée par la température, les traitements mécaniques et les inclusions. Pour le cuivre pur, elle peut diminuer pour des températures de 100°C jusqu'à 78 % de sa valeur à 20°C, de même que la déformation à froid provoque des distorsions de réseau, ce qui diminue la conductibilité. Les distorsions peuvent être égalisées par un traitement thermique à 450°C de même que les inclusions agissent aussi dans le même sens [3].

I.4.2. Caractéristiques mécaniques du cuivre

Le cuivre est un matériau assez ductile et tenace, mais il est mou et de plus, il présente une faible limite élastique. C'est pour cette raison que dans beaucoup de cas, on l'utilise sous forme d'alliages. Le cuivre est malléable à froid et s'écroute facilement. Il se prête aisément au corroyage, mais son usinage est mauvais. A cause de sa grande ténacité, au cours du travail à froid, on doit procéder à un recuit pour faire cesser l'écroutissage, mais on peut également effectuer le travail à chaud de manière que le recuit compense l'écroutissage. Un fort retrait rend mauvaises, ses propriétés de fonderie. Le cuivre se prête bien au brasage et fendage à l'étain. Le cuivre à faible teneur en oxygène est plus élastique, il est le matériau principal de la fabrication des conducteurs de courant. La fluidité du cuivre fondu lui permettrait d'être facilement coulé, mais les soufflures (gaz dissous SO_2 , CO_2 , ...) inévitables, rendent l'opération difficile. Le cuivre peut être forgé et laminé vers 600°C, mais nécessite des recuits au rouge sombre avec un refroidissement à l'eau [3].

Tableau I.2: Principales propriétés physiques et mécaniques des divers cuivres industriels non alliés [3].

Elément Cu (M = 63,54, Z = 29)					
Propriétés physiques					
Enthalpie de fusion		211850 J/kg			
Température de fusion		1065° à 1083°C			
Coefficient de dilatation (en 10 ⁻⁶ K ⁻¹)	de -190° à 16°C		14,1		
	de 25° à 100°C		16,8		
	de 20° à 200°C		17,3		
	de 20° à 300°C		17,7		
Capacité thermique massique (en J/(Kg.K))	20°C		386		
	100°C		393		
	200°C		403		
	900°C		528		
Conductivité thermique (en W/(m.K))	20°C		400		
	100°C		385		
	200°C		381		
Conductivité électrique (%IACS)	(état recuit)	20°C		100 à 102,5	
		100°C		76	
		200°C		58	
	(état écroui)	20°C		97	
Résistivité électrique ρ (en $\mu\Omega \cdot \text{cm}$)	(état recuit)	20°C		1,724 à 1,682	
		100°C		2,27	
		200°C		2,95	
	(état écroui)	20°C		1,78	
Propriétés mécaniques					
Etat de livraison	Symbole AFNOR	Rp0,2 (MPa)	Rm (MPa)	Allongement (A %)	Dureté Vickers HV
Recuit	OS	70	230	45	50
¼ dur	H11	190	270	25	80
½ dur	H12	250	300	14	100

4/4 dur	H14	320	350	6	110
<p><i>L'état de recuit signifie 0% d'écrouissage : état AFNOR O</i></p> <p><i>¼ dur : 10% d'écrouissage : état AFNOR H11</i></p> <p><i>½ dur : 25% d'écrouissage : état AFNOR H12 4/4 dur : 50% d'écrouis-</i></p> <p><i>sage : état AFNOR H14 Rp_{0,2} limite élastique à 0,2% d'allongement</i></p> <p><i>Rm résistance mécanique</i></p>					

I.5. Alliages de cuivre

I.5.1. Cuivre faiblement allier

Aux teneurs employées (généralement 1 % au maximum), toutes ces additions (Ag, P, As, B, Te, Cd, Sn ou Mg), à l'exception du tellure, sont et restent solubles dans le cuivre de base : elles sont employées pour améliorer une propriété spécifique d'usage [4].

➤ **Cuivre à l'Argent (0,08 %)**

Température de recristallisation plus élevée, tenue au fluage améliorée.

➤ **Cuivre au Cadmium (0,7 à 1 %)**

Propriétés mécaniques très augmentées par rapport au Cu pur. Applications : fils et ressorts conducteurs (Exemples : « bronzes téléphoniques » pour les lignes électriques : Cu – Cd1 Sn 0,15 ou Cu – Cd 0,9 Sn 0,4).

➤ **Cuivre au Tellure (0,3 à 0,7 %)**

Meilleures propriétés mécaniques, et usinabilité améliorée ; idem pour les cuivres au soufre, au sélénium, au plomb.

➤ **Cuivre au Chrome (0,5 à 0,9 %)**

Alliage à durcissement structural, conservant ses propriétés mécaniques jusqu'à 450°C. Applications : pièces électriques et mécaniques utilisées à chaud (électrodes de soudage, pièces de freinage, contacteurs de puissance).

➤ **Cuivre au Béryllium (2 %)**

Alliage à durcissement structural, à propriétés mécaniques très élevées conservées jusqu'à 300°C. Nombreuses applications en électromécanique (variante Cu – Co 2,5 Be 0,5, à résistance mécanique plus faible, mais conductivité plus élevée) [5].

I.5.2. Cuivre fortement allier

On distingue deux groupes essentiels d'alliages de cuivre fortement alliés :

- **Les laitons** : composés de cuivre et de zinc (Cu-Zn).
- **Les bronzes** : composés de cuivre et d'étain (Cu-Sn) et d'autres éléments parmi lesquels peut être le zinc mais combiné à d'autres éléments.

Les alliages de cuivre sont caractérisés par de bonnes propriétés mécaniques et technologiques et une bonne tenue à l'usure et à la corrosion [6].

• 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-aluminiums et les cuivres au béryllium.

• Cupro-aluminiums

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 [7].

I.6. Etude des impuretés

Le cuivre utilisé pour des fins électriques doit être hautement pur. Le changement de la structure obtenue lors de la recristallisation en présence des impuretés affecte de manière directe les propriétés électriques et mécaniques. L'influence sur conductivité électrique dépend des impuretés présentes titre d'exemple, la présence de (0,04% de phosphore). Réduit la conductivité d'un échantillon de cuivre jusqu'à 80% (selon IACS).

La variation de conductivité électrique en doit pas dépasser (0,1%) pour considérer l'échantillon comme un cuivre de très haute conductivité électrique [4]. Les impuretés issues des matières premières Et/ou ajoutées en particulier l'oxygène au cours du procédé d'élaboration sont considérées comme un facteur détermination de la qualité du cuivre industriel. la plupart des auteurs considère que la présence des impuretés ralentit la cinétique de recristallisation [8].

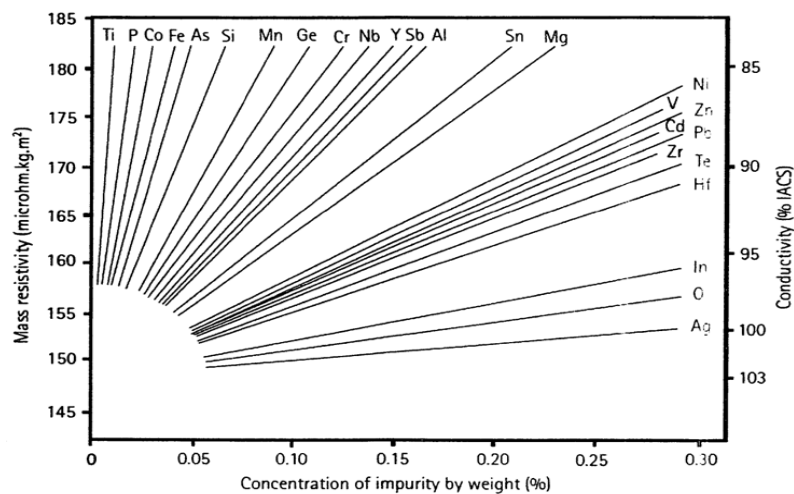


Figure I.2 : variation de la conductivité électrique en fonction des taux d'impureté [3].

Principales impuretés dans la littérature sont comme Suit : Te, Se, Bi, As, Pb, Fe, Ni, S et Ag. Elles représentent une teneur totale d'éléments étrangers hors oxygène d'environ 65 PPM dans le cuivre industriel. certaines d'entre elles comme : (P, Les Fe et Si) sont très néfastes pour les propriétés électriques. D'où la nécessité de conserver une teneur très faible. par contre, d'autres impuretés influent peu sur les propriétés électriques mais sont déterminantes pour les propriétés mécaniques du fil. C'est le cas du soufre et du plomb, qui gardent respectivement l'ALLONGEMENT à rupture (de 5ppm et 1 ppm). La variation de la résistivité électrique est également affectée par ces taux d'impuretés, [9].

I.6.1-Influence du plomb :

La solubilité du plomb dans le cuivre dépend fortement de la teneur en oxygène lorsque le cuivre contient 200 ppm d'oxygène, la solubilité du Pb est de l'Ordre de 10 PPM à 800 C°. Au-delà de 10 ppm, cet élément se trouve sous forme d'inclusions et a une influence notable sur la température de recristallisation.

En l'absence d'oxygène, la température de recristallisation croit fortement avec la teneur en plomb (environ +47°C pour 13ppm de plomb). En présence d'oxygène et après un recuit préalable à 600°C. La température de recristallisation devient proche de celle du cuivre pur (environ 116°C), [10].

I.6.2-Influence du soufre

Le soufre est considéré depuis longtemps comme un élément néfaste pour la recristallisation, sa limite de solubilité dans le cuivre est d'environ (2ppm à 600°C et 20 PPM à 800°C). Une addition de 10 PPM de soufre dans le cuivre pur augmente de 60 °C la température de recristallisation, [11].

I.6.3- Influence du bismuth

L'influence du bismuth se fait sentir dès les faibles teneurs (0,9 PPM, sa limite de solubilité é dans le cuivre est de 100ppm à 650°C. le cuivre se trouve ici sous forme de solution solide sa température de recristallisation augmente notablement, [12].

I.6.4-Influence de l'oxygène

La présence des impuretés dans le cuivre est modifiée par la présence de l'oxygène, du fer, du Zinc et de l'aluminium. Les impuretés métalliques ont un effet nuisible sur le cuivre. Ils retardent la recristallisation, accroît l'érouissage et par suite influe sur le tréfilage.

Pour éliminer une grande partie d'impuretés, le cuivre est chauffé à jusqu'à hauteur de 1200°C. A l'intérieur du four un air contenant 50% d'oxygène est injecté, ce qui provoque des réactions chimiques telles que sa combinaison avec du soufre pour former le dioxyde de soufre SO₂.

L'oxygène se combine également avec de l'hydrogène. Tous ces éléments et d'autres impuretés se détachent du cuivre et se font récupérer par la suite. Tel est le plus grand avantage de l'oxygène.

La figure 3 montre dans le cas du cuivre pur pour une présence de 200 PPM D4OXYG7N2, la conductivité électrique augmente, mais lorsqu'il a un excès d'oxygène, elle commence à chuter.

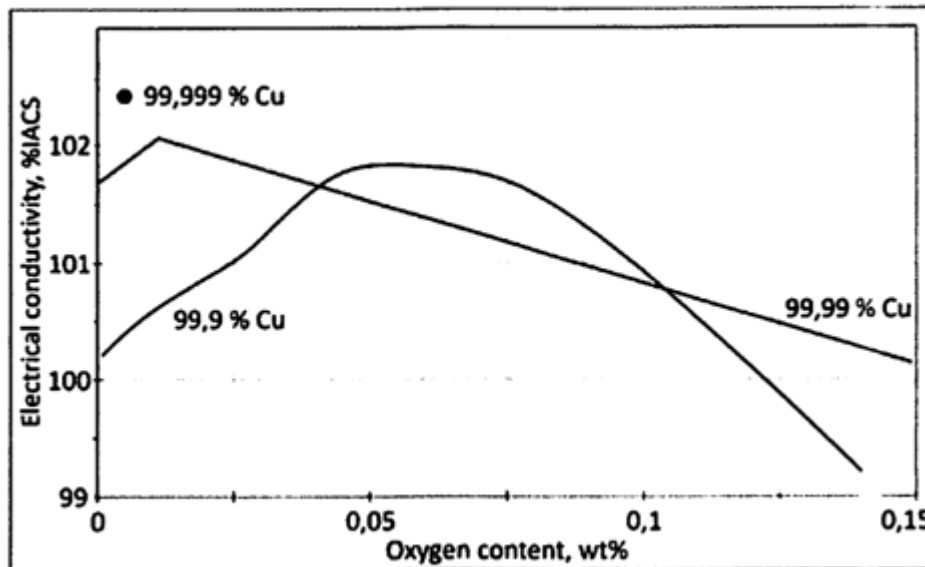


Figure I.3 : effet de l'oxygène sur la conductivité électrique du cuivre Cu-ETP, [13]

En conséquence, la teneur en oxygène dans le cuivre est généralement comprise entre (175 et 450 PPM). Des teneurs en oxygène au-dessus de cette gamme de concentration ne sont pas envisagées en raison d'un effet nuisible sur le comportement mécanique. La teneur optimale en oxygène est choisie pour avoir un bon comportement mécanique. La teneur recuit (durée de recuit plus courte) et à la déformation, et ce, afin d'éviter des problèmes possibles de fragilisation du matériau au cours de mise en forme.

Au cours de l'affinage, le cuivre se charge de (0,6 à 0,9% d'oxygène), le cuivre obtenu est pur car les oxydes que forme l'oxygène avec les impuretés se détachent sans qu'il soit utilisable à cause de la porosité.

Des inclusions d'air se forment à l'intérieur du cuivre ce qui le rend plus sensible à la rupture lors du tréfilage, la figure 4 montre un lingot de cuivre cassé à cause de ce fait, il a été impossible de produire du cuivre dans ce cas. Donc il est important d'éliminer cet air.

Généralement les industries procèdent à une opération de perchage pour évacuer l'oxygène contenu dans le cuivre.

I.7.Utilisation et application du cuivre

Les grecs possédaient également des techniques de coulée du bronze, hautement élaborées, dont le principe est encore utilisé aujourd'hui pour les coulées de précision. L'invention de la poudre à canon devait conduire à l'emploi du bronze en grandes quantités pour l'artillerie. Les premiers instruments scientifiques, boussoles, balances et une grande partie des pièces métalliques employées à bord des navires étaient en cuivre ou en laiton, alliage de cuivre et de zinc. On trouve souvent du cuivre dans les chaudières, les tuyaux et les soupapes. Lorsqu'il est à l'air et à l'eau, ce métal se couvre graduellement d'une patine, à savoir une fine couche de carbonate qui donne aux canalisations leur teinte verdâtre. De fait, c'est le cuivre qui confère à la toiture des édifices du parlement canadien sa célèbre couleur verte. De grande quantité de cuivre électrolytique (Près de 40% de la production totale) sont utilisés pour la fabrication de câbles électriques et divers équipements industriels [14].

I.7.1. Application en construction mécanique et électrique

Le cuivre est rarement utilisé pur, sauf pour les conducteurs électriques et dans le cas où l'on souhaite une grande conductivité thermique. Les alliages de cuivre par contre, sont très largement utilisés dans de nombreuses applications comme :

- Pièces de frottement et d'usure.
- Pièces devant résister à la corrosion. Synthèse

Sa grande aptitude à la construction d'alliages dont les laitons et les bronzes sont les plus répandus, et ses remarquables propriétés anti-corrosion lui confère des débouchés très importants dans l'industrie et le bâtiment. Ses domaines d'applications couvrent l'éventail complet des activités économiques, depuis les pièces et matériels les plus traditionnels jusqu'aux systèmes de haute technologie les plus évolués [14].

I.8. Le Recuit

I.8.1. Définition

Le recuit est un processus de traitement thermique utilisé pour réduire la dureté, augmenter la ductilité et faciliter l'élimination des contraintes

Internes [15].

I.8.2. Avantage

En fonction des propriétés désirées, les avantages varient et incluent :

Rectification plus aisée

Stabilité dimensionnelle

Amélioration des propriétés mécaniques et électriques [15].

I.8.3. Application

Principalement les produits semi-finis ; par exemple : les produits forgés, feuilletés et fils travaillés à froid, moulés, etc.... Des variations de recuit peuvent être appliquées à tous les métaux [15].

I.8.4. Processus

Le recuit est un terme générique et peut être classé en fonction de la température. Il est appliqué pour divers raisons :

Pour adoucir un métal afin de faciliter sa rectification

Pour libérer les contraintes internes induites par certains processus antérieurs (souvent afin de permettre un traitement ultérieur sans fracturation)

Pour corriger une structure à gros grains

Pour amener des éléments d'alliage dans une solution

Il peut s'effectuer sous vide ou dans une atmosphère réductrice (une finition brillante est requise), dans l'air (les pièces seront ultérieurement rectifiées) ou dans une atmosphère endothermique/neutre (sans décarburation, mais avec

une finition non brillante). Le recuit a donc pour but, séparément ou simultanément :

- De supprimer les effets sur la structure
- De la solidification
- D'une déformation plastique
- D'une soudure
- D'un traitement thermique antérieur

De mettre le métal dans un état adouci défini ou de le faire tendre vers un état si la structure a été perturbée par des traitements antérieurs.

De provoquer la formation de structures favorables à l'usinage ou à la déformation à froid.

De provoquer la formation d'une structure déterminée en vue, par exemple, de réaliser un traitement thermique ultérieur.

D'éliminer ou de réduire les contraintes internes de la pièce

D'atténuer l'hétérogénéité de la composition chimique

Le recuit comporte un chauffage et un maintien à une température égale ou supérieure à AC, suivi d'un refroidissement généralement lent. Cela dit, on distingue divers types de recuits, soit des recuits d'homogénéisation, de régénération, d'adoucissement, de détente, de sphéroïdisation, de normalisation, de recuit total, etc.[15].

I.9. L'Écroui

I.9.1. Définition

Écrouir : battre un métal à froid ou à une température inférieure à sa température de recuit, et éventuellement l'étirer ou le laminier, afin de le rendre plus dense, plus élastique et plus résistant [16].

I.9.2. L'écrouissage d'un métal

Est le durcissement d'un métal sous l'effet de sa déformation plastique. Ce mécanisme de durcissement explique en grande partie les différences entre les pièces métalliques obtenues par corroyage (c'est-à-dire par déformation plastique : laminage, tréfilage, forgeage) et les pièces de fonderie.

L'écrouissage ne se produit que sur les matériaux ductiles et dans le domaine plastique. Il ne concerne donc que les métaux, à l'exclusion des matières plastiques, des élastomères, des verres et des céramiques. Par ailleurs, ce phénomène est restreint aux métaux :

- ◆ Non-fragile : cela exclut les métaux à basse température (en dessous de la température de transition fragile-ductile) et les métaux non-plastique blés (par exemple les aciers martensitiques et certains fontes) ;
- ◆ Ne présentant pas de comportement rhéologique : cela exclut les vitesses de déformations très lentes (fluage) et les applications à haute température.

L'écrouissage correspond aux modifications que subit le métal lorsque les contraintes qui lui sont appliquées sont suffisamment fortes pour provoquer

Des déformations plastiques, permanente. Ces modifications sont d'ordre métallurgique (modification de la structure interne du métal) et ont généralement une influence sur ses propriétés mécaniques.

Le terme d'écrouissage est également utilisé pour désigner une opération de transformation des propriétés mécaniques du matériau : celui-ci est sollicité et une fois la limite d'élasticité dépassée, il subsistera toujours une déformation rémanente dite déformation plastique. Les effets conférés au matériau sont d'une part une augmentation de la limite d'élasticité (par

rapport au matériau initial) et de la dureté d'autre part ; le matériau devient aussi plus fragile. Suivant les métaux considérés, les propriétés mécaniques peuvent évoluer vers une augmentation de la résistance (cas des aciers alliés) jusqu'à un certain point (seuil de rupture), ou à l'inverse vers sa diminution (cas des aciers peu alliés)[16].

I.10. Différence cuivre

Écroui et recuit ; le cuivre utilisé pour faire des tubes rectilignes rigides, le cuivre écroui se vend en barre droites, de longueur en général de 4 mètres ; le cuivre recuit se vend en couronne, enroulé. La différence est que le recuit subit une 2eme cuisson en usine, pour devenir malléable, on peut le travailler, l'étirer, faire des collets, des cintrages à froid sans outil, etc..... Le tube écroui est brut, et il faut le réchauffer au rouge avant de le façonner, aux points nécessaires seulement [17].

I.11. Affinage du cuivre brut

I.11.1. 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.

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 [18].

I.11.2. 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 lingot [18].

I.12. Le four de réverbéré

I.12.1. Historique

Le terme de fourneau de réverbère est mentionné dans les traités de chimie ou de sculpture du XVII^e siècle pour désigner un four à fondre les émaux ou à décomposer les substances en laboratoire, et dans lequel la flamme n'est pas appliquée directement au produit à chauffer mais réverbérée par une voûte.

En métallurgie, le four à réverbère tel que nous l'entendons aujourd'hui apparaît en Grande-Bretagne, et plus précisément à la limite du pays de Galles et de l'Angleterre, dans le dernier tiers du XVII^e siècle. Il est dès ce moment-là caractérisé par la séparation entre chauffe et produit à chauffer et par une haute cheminée permettant d'activer le foyer par tirage naturel. Le combustible privilégié est la houille. Il est utilisé à la fois pour la métallurgie extractive

(réduction des minerais de cuivre ou de plomb, raffinage du plomb argentifère) et pour refondre la fonte de fer (notamment de vieux canons) pour produire des objets moulés.

Il est utilisé en France pour la réduction du plomb dès les années 1730, probablement avec une chauffe au bois ; les températures plus faibles que l'on obtient de cette manière expliquent sans doute que l'on ne l'ait pas alors utilisé pour la fonte.

À partir de 1750, le four à réverbère est associé aux hauts fourneaux au coke pour produire de grosses pièces en fonte (artillerie, corps de cylindres) dans des usines comme Carron (Écosse) ou Bersham (Pays de Galles). En 1775, la Marine française fait venir un maître de forges britannique, William Wilkinson, pour construire un four à réverbère pour la fabrication d'artillerie en fonte de fer : ce sera la fonderie d'Indre. Des fours du même type sont par la suite construits à Ruelle, en Angoumois, et au Creusot (Bourgogne)[19].

I.12.2. Définition

Un four à réverbère est un four dont la chaleur est réfléchi (réverbérée) par sa voûte vers une zone de réaction chimique séparée physiquement de celle où se produit la réaction de combustion fournissant l'énergie au système. Dans ce type de four, le combustible (charbon, gaz, fuel, etc.) est brûlé dans une chambre différente de celle des matières à traiter. Ainsi, on limite les contacts directs et les interactions indésirables entre le combustible et les matières à transformer ou à affiner [19].

I.12.3. Utilisation dans la métallurgie

Le four à réverbère peut être utilisé pour plusieurs types d'opérations comme le grillage (chauffage de matière solide comme les minerais), le réchauffage, la fusion. Les fours à réverbère ont connu diverses formes. Les premiers étaient un perfectionnement des fours à cuivre. Ils permettaient l'utilisation de combustibles comme le bois qui produisent des flammes. Dans les fours à réverbère primitif, les flammes occupent toute la cavité du four et les matières à chauffer sont placées au milieu. L'amélioration du four à réverbère a consisté à séparer les combustibles des matières à chauffer et en particulier à réaliser la chauffe sur un côté du four. Ainsi, les combustibles et les matières à chauffer sont séparés. En plus de l'amélioration de la chauffe, cela évite de

mélanger les matières métalliques avec les combustibles et donc de polluer ou de modifier le métal. Le four à réverbère est donc constitué d'un foyer où est brûlé le combustible, et d'un laboratoire où l'on place les métaux ou les minerais.

I.13. Recyclage du cuivre

Le recyclage implique la collecte, le démantèlement, le tri et la transformation d'un déchet qui peut ainsi faire à nouveau office de « matière première » destinée à un usage similaire. C'est le cas du cuivre[20].

I.14. Procédé d'obtention de fil machine 8mm cuivre par fusion de déchets de cuivre dans four à réverbère

Le four de fusion du cuivre déchet est un four de recyclage de déchet de cuivre en coulée continue de capacité de 70T.

L'installation comporte :

- Four de fusion avec 02 brûleurs à gaz.
- Souffleur d'air
- Pupitres de commande
- Cheminée et caniveau d'évacuation de fumées
- Station de traitement de fumée
- Capiston
- Laminoir
- Bâche pour l'eau de refroidissement du four et annexes
- Bâche pour lubrifiant
- Bâche pour l'alcool

Le chargement s'effectue par la porte de chargement où l'on charge du cuivre préalablement compressé en cube, après chargement de la totalité du cuivre qui prend dans les 9-10 heures, on entame la 2^{ème} étape qui est l'affinage du cuivre par oxydation (introduction de l'air dans le bain en fusion à l'aide de lances à air), l'oxygène contenu dans l'air entre en réaction avec les différents éléments contenus dans le bain (Fe, Sn, Pb, Zn,) en formant

des oxydes qui s'échappent par le biais de la cheminée vers la station de traitement de fumée, après oxydation et prise d'échantillon pour l'analyse spectrographique et une fois le degré de pureté atteint, on procède à l'élimination de l'oxygène en surplus dans le bain par l'opération de perchage qui consiste à introduire des troncs d'arbre humide dans le bain en vue de réduire le taux d'oxygène, cette opération prend dans le 6-7 heures, enfin, une fois la concentration de l'oxygène voulu sera atteinte, on procède à la coulé dans un chenal vers le capiston puis vers le laminoir pour finir en fil machine de 8mm de diamètre.

En ce qui concerne la fumée produite par le four à déchet, qui est chargée de poussière et de gaz nocifs, elle passe dans une station de traitement de fumée où ces poussières et ces gaz seront neutralisés avant d'être libéré dans l'atmosphère [20].

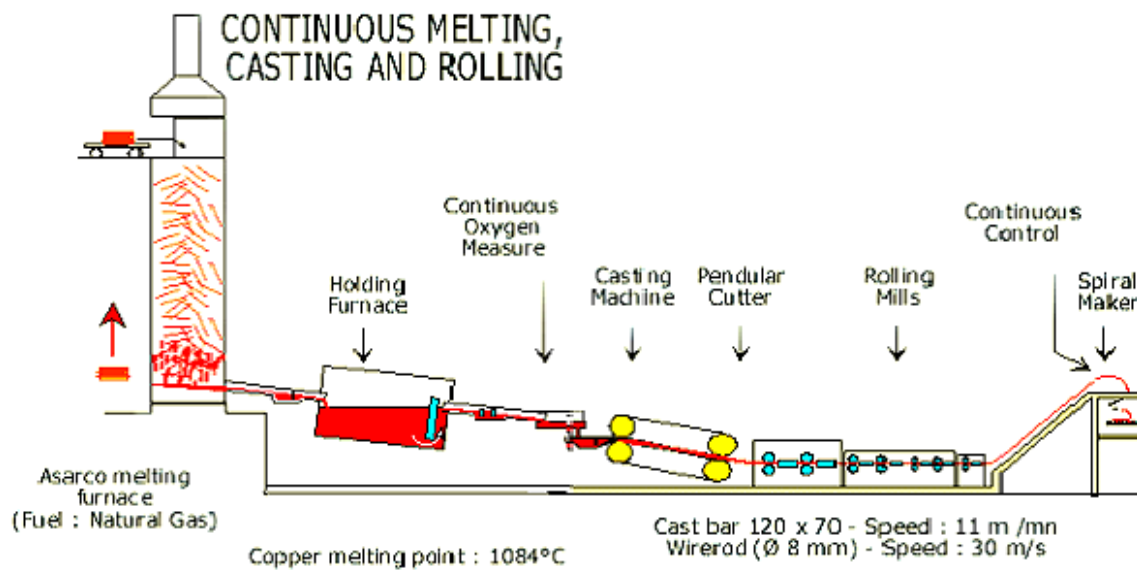


Figure I.4 : schéma de four et les étapes de fabrication du cuivre [20].

Chapitre II

Groupe industriel

Sidi Bendehiba

II.1. Présentation du GISB

GISB (groupe Industriel Sidi Bendehiba) est un groupe industriel diversifié implanté dans la zone d'activité de Mesra, Wilaya de Mostaganem, GISB a su profiter d'avantages géographique : une implantation dans une ville portuaire à proximité du port de Mostaganem (à 15 minutes).

Le groupe industriel GISB opère dans le domaine de l'énergie depuis 2009. Il est composé principalement du CSB (Câblerie Sidi Bendehiba) dont l'activité principale est la production et la commercialisation des câbles électriques de haute qualité afin de répondre aux besoins du marché national et 'international.

II.2- La câblerie Sidi Bendhiba

La société CSB regroupe environ 500 effectifs avec un capital social de 102.400.000 DA. D'une capacité de production importante (90.000 tonnes/an d'alliage de cuivre, 40000 tonnes/an d'alliage d'aluminium, 5000 tonnes/an de PVC granulé, avec une production annuelle prévisionnelle de 18000 tonnes/an), le groupe possède deux sites : l'un étant un atelier de métallurgie, de tréfilage et de câblage des câbles électrique et l'autre un atelier d'extrusion des câbles électriques. Ce complexe s'étend sur une superficie de 113000 m².

*Fiche technique du GISB

-Activités principale : Fabrication des câbles

- Production du fils machine en cuivre et aluminium et alliages d'aluminium
- Production fils et câbles électrique : câble de contrôle, câble basse et moyenne tension, câble et conducteur pour les lignes de transmission aérienne.

-Capitalesociale:102400000DA.

- Détenu à 100% par des investisseurs Algériens.

-Nombre d'employés : plus de 800 employés.

-Lieu d'implantation : siège et usine à la zone industrielle de Mesra -Mostaganem

-Superficie site 2: métallurgie, tréfilage et câblage : 72 000 m².

-Superficie site 1: extrusion et administration : 20 000 m

II.3- Situation géographiques

GISB diversifié implanté dans la zone d'activité de Mesra, Wilaya de Mostaganem.

GISB à profiter d'avantages géographiques une implantation dans une ville portuaire à proximité du port de Mostaganem (à 15 mn) et du port d'Oran (à 45 mn).

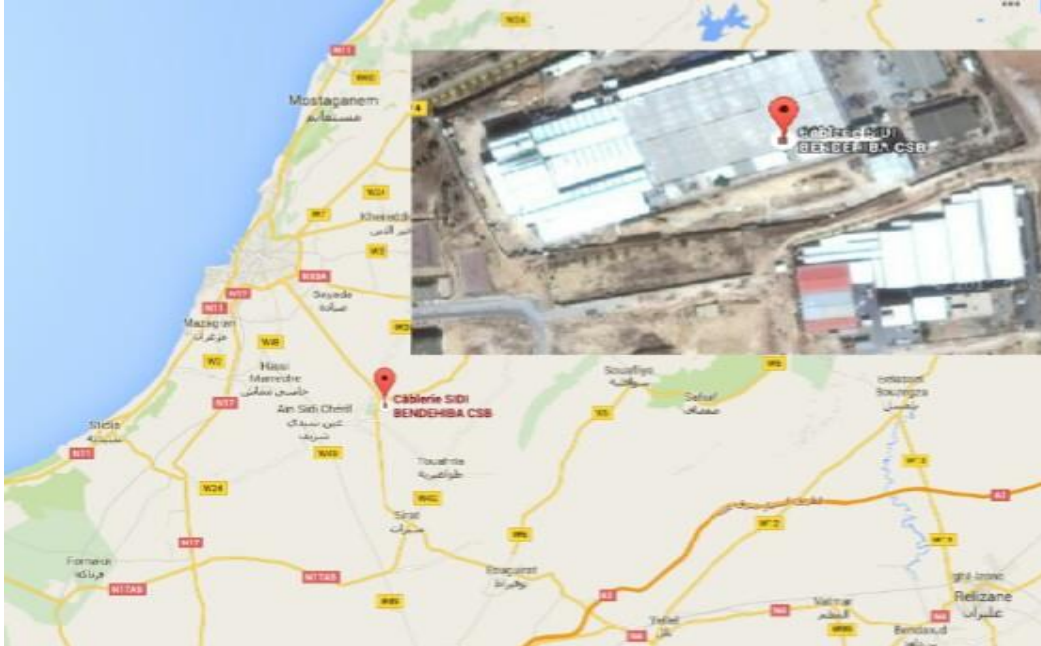


Figure II.1 : localisation de GISB

II.4- Fonctionnement

La Câblerie Algérienne Sidi Bendehiba est une société industrielle spécialisée dans la fabrication de différentes sortes de câbles, notre vaste gamme de câbles certifiée homologuée s'adapte aux besoins de tous nos clients quelles que soient leurs spécificités.

Grâce à une grande capacité, en production ; logistique et service après-vente, l'entreprise reste fidèle à ses valeurs et à son image pour pleinement satisfaire ses clients.

Les différents câbles d'entreprise câblerie industrielle sidi bendehiba est :

- Câbles BT domestiques : il ya deux types câbles domestique rigides et câbles domestique souples.
- Câbles BT aériens de distribution et Branchement : torsade de distribution et torsade de branchement
- Câbles de commande.
- Câbles Industriels.

La Câblerie Algérienne Sidi Bendehiba représente l'un des plus grands complexes industriels de production des câbles électriques en Algérie, qui a su s'imposer autant que spécialiste du câble en maîtrisant toute la chaîne de production. GISB a consolidé sa place de leader dans le marché grâce à une technologie de pointe, l'innovation, la qualité et le professionnalisme. Grâce à une large gamme de câblage cuivre, fil machine et câbles spéciaux.

Il dessert des clients dans les domaines commerciaux, industriels, de la distribution d'électricité, des télécommunications, de l'équipement d'origine, des industries militaires gouvernementales, du détail, de l'électricité et des communications à travers le pays, De ce fait, elle est leader dans l'industrie des câbles.

II.5. La politique environnementale

Dans le cadre de la conférence annuelle sur la sécurité, la câblerie algérienne examine et évalue régulièrement son comportement environnemental. Comme elle rentre dans le cadre légal pour réduire au maximum son impact sur l'environnement, grâce à un processus dédié à différents contrôles : qualité des déchets, des eaux usées et des émissions.

Grâce à des nombreux partenaires commerciaux, elle optimise son utilisation de la matière première et recycle ses déchets de cuivre la câblerie algérienne s'engage à utiliser moins d'eau fraîche possible grâce à un procès de traitement des eaux usées provenant des secteurs de production. Elle s'engage aussi à acheter des matières consommables compatibles avec la protection de l'environnement afin de réduire la part des déchets dangereux. De plus, elle utilise une technologie permettant de diminuer les émissions de cuivre et d'aluminium et ainsi donc diminuer les rejets de gaz, et contribue à la performance environnementale de ses clients. De plus, une mise en œuvre d'une démarche de transparence est établit vis-à-vis des clients sur les produits.

La câblerie algérienne réalise des recherches approfondies pour garantir la résistance des câbles dans les environnements difficiles : grandes profondeurs, fortes pressions, températures extrêmes, corrosion, tenue au feu, sollicitation mécaniques intenses.

Le choix de matériaux moins polluants pour les gaines des câbles et leur connectique ainsi que leur identification contribue à faciliter le recyclage des câbles en fin de vie. Sa mission est de fournir des informations fiables sur les impacts environnementaux des produits

Électriques et électroniques, la câblerie algérienne améliore ses procédés et modernise ses

Équipements.

II.6. Les normes

S'est engagé à rendre ses produits meilleurs, plus sûr et plus intelligents. Tout en respectant un ensemble des normes internationales et nationales, tel que :

- La Norme de la Commission Electrotechnique International(CEI).
- La norme Electrique NF.
- La Norme UTE (Union technique de l'électricité).
- La Norme CENELEC (Comité Européen de Normalisation pour l'Electrotechnique).
- Norme BS (British Standards Institution).
- Norme NE (Comité européen de normalisation).

II.7. Les services de l'entreprise

II.7.1. Contrôle qualité

La câblerie Sidi Bendehiba, certifié ISO 9001 /Version 2008, travaille suivant les normes internationales de gestion et suivant des procédures précises et élaborées afin de satisfaire les exigences de ses clients.

L'amélioration continue de la qualité de ses produits dans le domaine de la production du fil machine, câbles et produits qui en sont dérivés et associés est un des principaux piliers de la stratégie de GISB.

II.7.2. Bureau d'étude

Un bureau d'études peut désigner soit un cabinet indépendant, soit un département ou un service au sein d'une administration ou d'une entreprise. Il s'agit d'une structure où sont réalisées des expertises à caractère scientifique et/ou technique, généralement sous la responsabilité d'un ingénieur. Ces expertises peuvent recouvrir entre autres les champs de l'analyse de l'existant (état des lieux) ou bien la conception d'un produit ou l'organisation d'un service.

II.7.3. Laboratoire contrôle qualité

Tous les produits fabriqués sont soumis en laboratoire interne à tous les essais normalisés exigés avant leurs mises en consommation. Ceci nous permet de garantir la qualité de nos produits et d'assurer le consommateur sur leur conformité.

Le système de Management et de la qualité développé à GISB conformément à la norme ISO 9001 version 2008 est un élément de cette stratégie.

II.8. Le Procédés de fabrication d'un Câble électrique

Un câble électrique est constitué de trois éléments nécessaires :

- 1)-Conducteur (ou l'ame conductrice ou le cuivre) ;
- 2)-Isolant (le plastique généralement coloré, bleu, noir, etc.) ;
- 3)-La gaine de protection

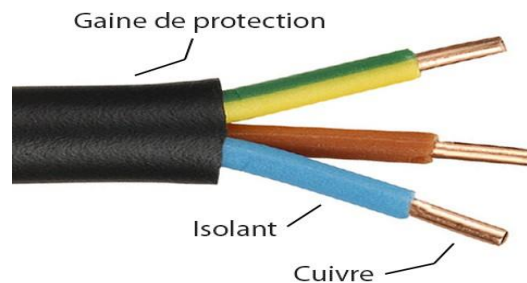


Figure II.2. Câble électrique

II.9. Notion sur la gamme de matières première utilisée

* Cuivre

Le cuivre est le métal le plus utilisé pour faire des fils et câbles électriques, car il a une excellente conductivité électrique. On l'utilise soit en fil de section cylindrique monobrin (rigide), soit en section toujours cylindrique mais multibrins ou (souple). Pour le rendre plus souple, il est utilisé en alliage avec d'autres métaux.

II.9.1. Traitement de la matière première

II.9.1.1. Four

Pour obtenir un fil machine de diamètre 8 mm, on a recouru à deux solutions ; soit il est importé et est directement prêt à l'emploi, soit on traite les déchets de l'usine ou celles de SONELGAZ.

On prend tous les déchets dans le four pour la fusion à la température 1200°C , On ajoute le bois pour le dégazage d'oxygène, et le verre pour l'élimination des impuretés, après un système de refroidissement On obtient le cuivre en forme de lingot. Cette forme sortie pour tréfiliez dans laminoir faire aménage pour obtenir un conducteur de diamètre 8mm.



Figure II.3. Botte de fil machine 8mm

❖ Les tests avant la coulée du cuivre

Le Taux d'oxygénation : grâce à un Analyseur d'oxygène. Si le pourcentage du (O_2) est élevé dans le cuivre, on a recouru à un dégazage, on rajoute des composants à base de Carbone tels que les troncs d'arbres.

La Composition chimique du cuivre : afin d'analyser le pourcentage de chaque composant et les impuretés, grâce à un « SPECTRO PHOTO-METRE » qui fait l'analyse Spectral.

❖ Les tests Après le Laminoir

-On prend échantillon de 1 m du ' fil machine ' afin d'effectuer les contrôles ci-dessous :

- Le poids
- Le Calcul du diamètre à partir d'une formule.
- La Résistance électrique : est une grandeur physique mesurant l'opposition qu'un élément dans un circuit électrique (un composant électrique ou une longueur de fil) oppose au passage du courant électrique. Elle se mesure en Ohm.
- La Résistivité : d'un matériau, représente sa capacité à s'opposer à la circulation du courant électrique. Elle correspond à la résistance 1 d'un tronçon de matériau d'un mètre de longueur et d'un mètre carré de section et est exprimée en ohm-mètre ($\Omega \cdot m$).
- La Conductivité électrique : est l'inverse de la résistivité. La conductivité d'un matériau homogène est égale à la conductance d'un conducteur cylindrique constitué de ce matériau, divisée par sa section, et multipliée par sa longueur.
- La Résistance à la Traction : correspond à la capacité d'un matériau à résister à des charges, à des forces sans rompre en raison d'une concentration de contrainte ou de déformation.
- L'Allongement à la Rupture : ou allongement pour cent noté A% est une caractéristique sans dimension des matériaux. Elle définit la capacité d'un matériau à s'allonger avant de rompre lorsqu'il est sollicité en traction. A% se détermine par un essai de traction.

II.9.2. Description de la production au niveau du site 2

II.9.2.1. Tréfilage

Le tréfilage est un procédé de mise en forme à froid qui consiste à réduire progressivement, sous l'action d'une traction continue, le diamètre d'un fil par un passage à travers une filière : dans une machine de tréfilage multi-passes, le fil est tiré entre chaque filière par des cabestans. Le fil, les filières, et les cabestans sont complètement immergés dans un bain d'émulsion (huile/eau ou huile) qui joue le rôle de lubrifiant et d'échangeur thermique.

-Ces différents éléments montrent l'importance des paramètres qui peuvent influencer sur les performances du procédé.

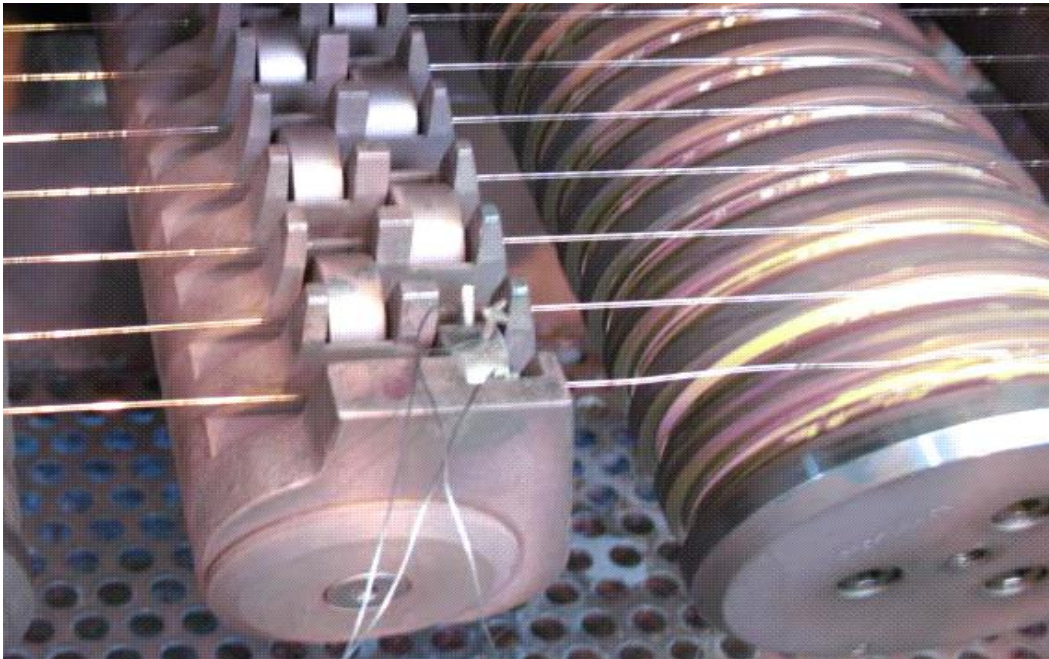


Figure II.4. Image d'une multi-fileuse montrant ses filières et cabestans

Le cuivre arrive du four de l'usine dans de grandes bobines de 5 tonnes. Ce cuivre de 8 mm de diamètre est appelé techniquement « fil machine ».

Le fil machine est enroulé sur un ou des cabestans, qui, par frottement, exercent une traction sur le fil. Le fil passe dans une filière, en amont du cabestan, qui impose au fil une déformation par réduction de section. La filière est abondamment lubrifiée, pour assurer le maintien d'un bon état de surface du fil métallique et pour assurer le refroidissement et contrer l'échauffement provoqué par l'écroutissage du métal.

Dans la dernière étape du tréfilage fin, tous les fils sont soumis à un traitement thermique appelé recuit. Le but de cette étape est d'augmenter la ductilité et la conductivité du cuivre.

❖ Définition du recuit

Les recuits consistent en un traitement thermique visant l'obtention d'états proches de l'équilibre thermodynamique, c'est-à-dire la restauration des propriétés originales du matériau. Ce procédé se déroule dans une atmosphère protégée (vapeur d'eau) pour prévenir l'oxydation de la surface métallique. Le recuit est utilisé donc pour réduire la dureté, augmenter la ductilité et faciliter l'élimination des contraintes internes. Le recuit du cuivre comporte un chauffage (jusqu'à 500° suivi d'un refroidissement généralement lent).

❖ Définition d'une filière

Une filière est une pièce mécanique très dure permettant de mettre en forme un matériau (acier, aluminium, cuivre, plastique) généralement par compression ; la matière est poussée à chaud ou à froid à l'intérieur d'une forme qui force la matière à prendre le profil voulu. On peut ainsi fabriquer des objets longs, de section constante, soit pleins (fils nus ou enduits, cordons, bandes, etc.) soit creux (tuyaux, profilés, ...).



Figure II.5. Filière de tréfilage

Plusieurs machines de Tréfilage (Tréfileuses) sont utilisées à GISB afin de réduire le diamètre du fil machines, telles que :

- 4 machines (D13) : chacune d'elles contient 13 filières et 13 cabestans, une utilisée pour le tréfilage du cuivre, et les autres pour l'aluminium. Elles permettent de réduire le diamètre du 'fil machine' jusqu'à 3,10 mm en générale. Si on veut obtenir des diamètres inférieurs, on doit utiliser d'autres tréfileuses plus appropriés
- 1 machine (D9) : qui contient 9 filières et 9 cabestans. Elle nous permet d'obtenir des fils avec un diamètre réduit.
- 3 machines (Z17) : contient 17 filières et 17 cabestans.
- 2 machines (XT24) : contient 24 filières et 24 cabestans. Utilisée pour réduire le diamètre du fils au minimum.
- Sampi : Utilisée pour réduire le diamètre du fil moyen et petit.

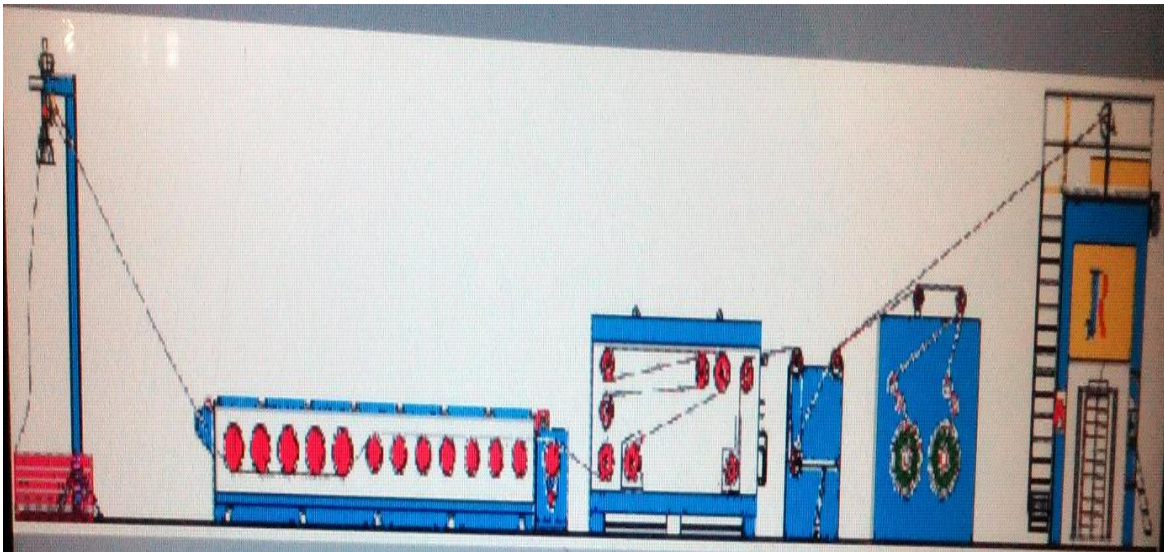


Figure II.6. Une tréfileuse

❖ Les tests après tréfilage

- L'Aspect
- Le Diamètre : « Micromètre » / « pied à coulisse »
- La Résistance : « Milli ohm mètre »

- L'Allongement / La Traction ; Grace à la machine de traction qui est connectée au PC via un logiciel.

II.9.2.2. Câblage

C'est le second processus qui vient Après le tréfilage, les fils obtenus sont regroupés afin de former les conducteurs à l'aide des filières spécifique et une boite de commande pour définir le pas et le sens de câblage (droite pour l'aluminium et gauchepour le cuivre et l'almélec.



Figure II.7. Processus de câblage

❖ Les câbleuses utilisées à GISB sont

- 2 Tubulaires (A) et (B) : elles font l'assemblage (câblage) de seulement 7 brins (âme), c'est à dire une âme centrale entourée de 6 autres brins.
- DTSL 1250 : elles font le câblage de seulement 7 brins de diamètre moyen.
- DTSL 630 : elles font le câblage de 7 brins de diamètre moyen.
- JLK (19) : peut contenir jusqu'a 19 bobines, qui font l'assemblage de 18 brins autour de l'âme centrale. (1+6+12)
- JLK (37) : contient 37 bobines, qui font l'assemblage de 36 brins autour de l'âme centrale.

(1+6+12+18)

- JLK (61) : contient 61 bobines, qui font l'assemblage de 60 brins autour de l'âme centrale.

(1+6+12+18+24)

- 2 GT (630) : une pour faire l'assemblage des fils souple, et l'autre pour les rigides.
- GT (500) : pour les fils souples.

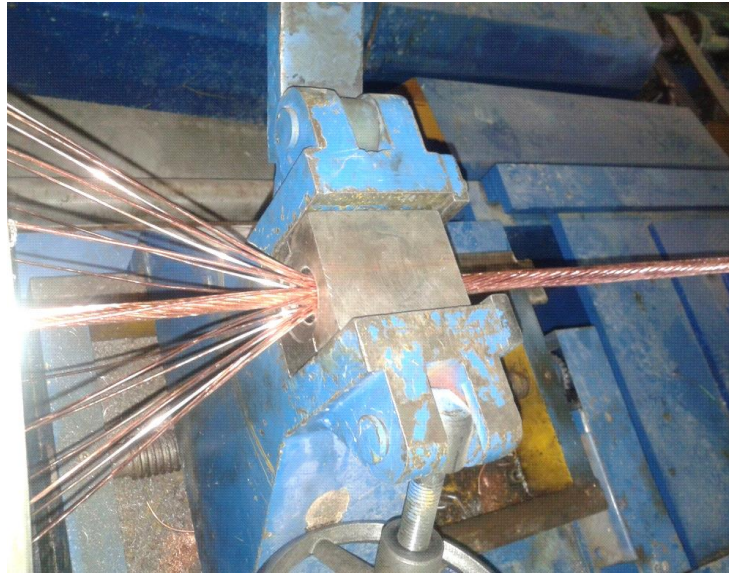


Figure II.8. Câblage des fils dans la machine JLK 61

❖ Les tests Après Câblage

- L'Aspect
- Le Nombre de brins
- Le Poids
- La Longueur du pas sur le câblage ; afin de calculer la rapporte du poids et le comparé au poids mesuré. (Rapport du Poids = Le pas / Le Diamètre)



Figure II.9. Mesure du pas d'un câble.

- Le Sens de câblage :(Droite / Gauche)

- Le Diamètre



Figure II.10. Mesure du diamètre d'un câble

- La Résistance



Figure II.11. Mesure de la résistance d'un câble

II.9.3. Description de la production au niveau de site1

II.9.3.1. Isolation

Elle est également appelée « enveloppe ». Son rôle est électrique. Le matériau d'isolation doit avoir des caractéristiques électriques appropriées avec l'utilisation du câble. Les isolations sont extrudées (PVC, XLPE). On réalise également des enveloppes-gaines. De nombreux matériaux sont employés pour constituer l'isolation des différents types de câbles. Les plus courants sont les matières plastiques comme le poly (chlorure de vinyle), le polyéthylène (XLPE). À la fin de cette opération on vérifie le diamètre, l'épaisseur et le poids.

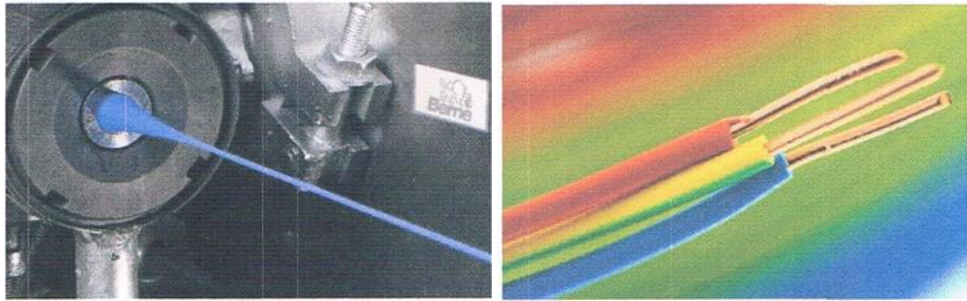


Figure II.12. Isolation des câbles électriques.

II.9.3.2. Assemblage

C'est l'assemblage de plusieurs câbles électriques isolés pour former un seul câble en multi-conducteur, dans cette étape et contrairement au câblage précédent on peut assembler des câbles électriques n'ont pas des mêmes sections ou diamètres. Durant l'assemblage il faut vérifier le sens, le pas d'assemblage et le diamètre du câble entier.

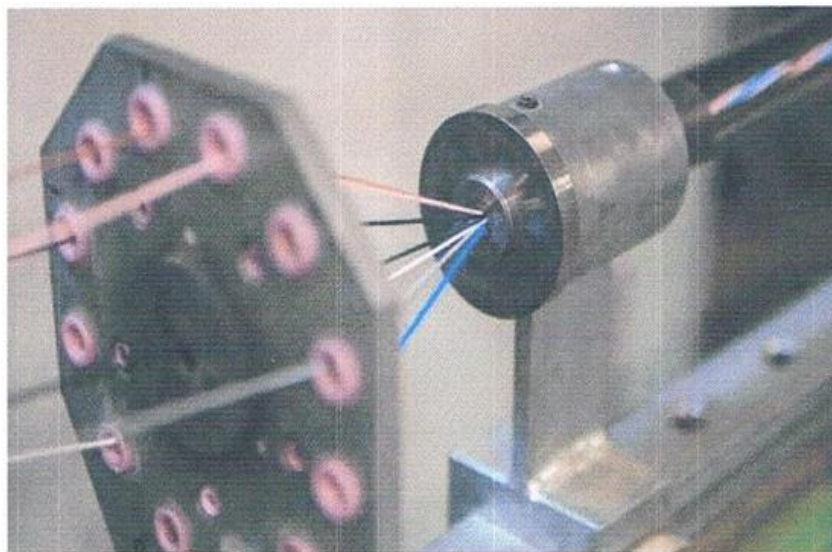


Figure II.13. Assemblage des câbles.

II.9.3.3. Bourrage et Gainage

Le bourrage a pour but de donner une forme ronde du câble. La gaine extérieure est un recouvrement polymérique il isole l'intérieur du câbled'éléments externes qui pourraient altérer ses propriétés électriques comme l'humidité et le protège des chocs qu'il peut recevoir durant son installation et utilisation.



FigureII.14. Processus de Bourrage

II.9.3.4. Marquage

Pour que les clients du Câblerie Sidi Bendehiba identifient correctement le câble, celui-ci est marqué avec les informations les plus importantes : fabricant, dénomination du câble, nombre de conducteurs, section, ... Et autres informations intéressantes. Le marquage se fait mètre par mètre ce qui facilite le contrôle du stock.

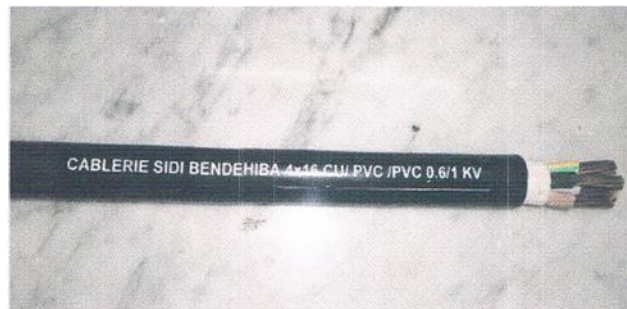


Figure II.15. Marquage.

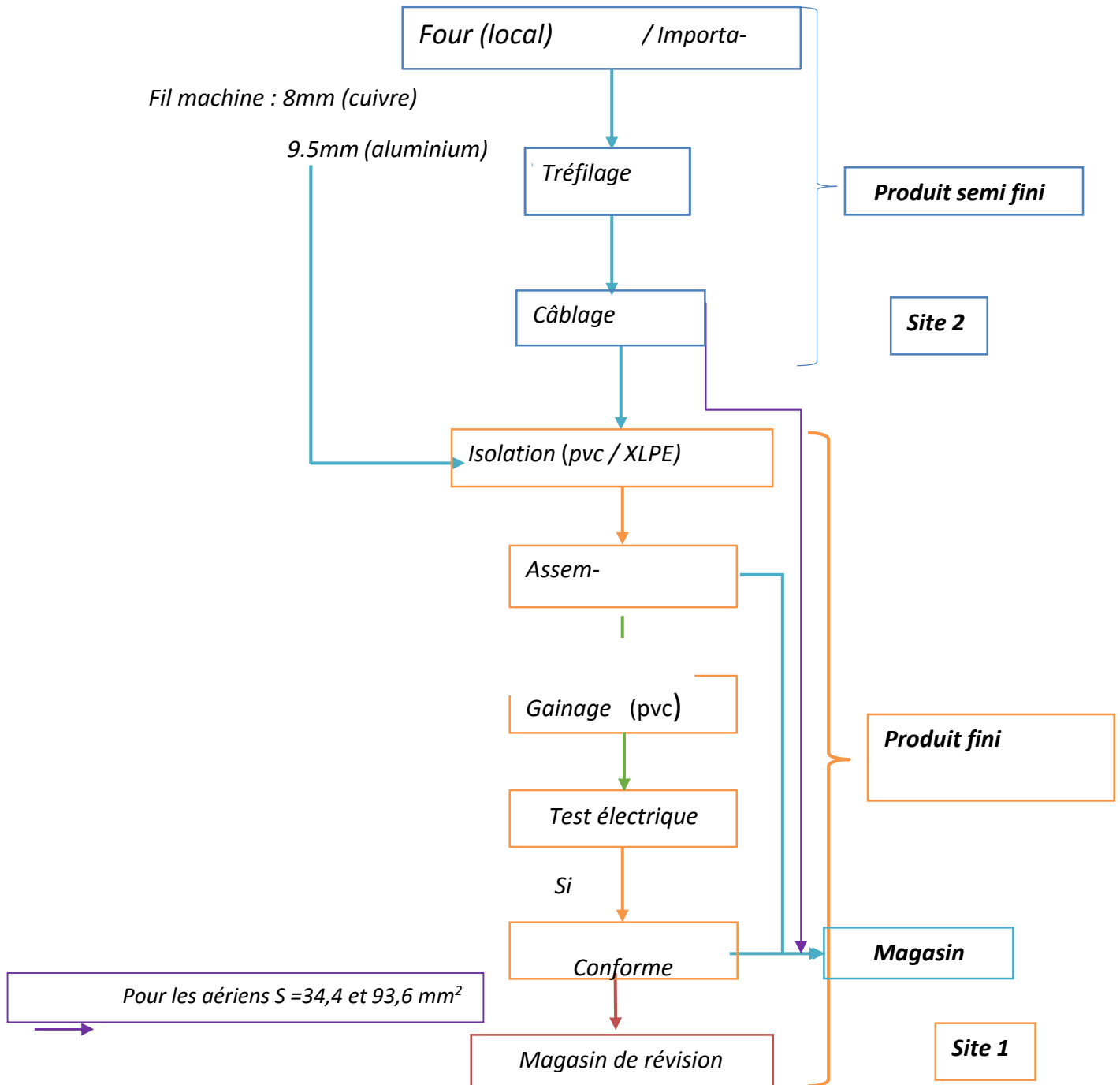
❖ Les tests après l'isolation, bourrage et gainage et quelle qui analyse effectués dans le site (1)

- L'Aspect du câble ; à l'œil nu.
- La Section ; de l'âme, de l'enveloppe isolante et de l'ensemble ; grâce à un pied à coulisse. On prend 6 valeurs différentes, puis on calcul la moyenne.
- L'Épaisseur de l'enveloppe isolant, du bourrage et de la gaine.
- L'Allongement à chaud : on prend un échantillon de l'enveloppe isolante sous forme d'une éprouvette d'haltère qu'on met ensuite dans une étuve électrique après avoir accroché une

charge sur celle-ci.

- L'Allongement résiduelle : après y avoir effectué l'essai de l'allongement sous chargement et laisser l'éprouvette pendant 15 minute dans l'étuve électrique, on coupe la charge puis on attend pendant 5 minute et on calcul la longueur avec laquelle l'éprouvette s'est rétrécit. (L'allongement à chaud et l'allongement résiduel sont effectués seulement sur l'XLPE).
On effectue aussi des tests et analyses sur la graisse afin de vérifier la bonne qualité de celle-ci :
- Le point de goutte ; à l'aide d'un testeur de point de goutte.
- La Pénétration ; à l'aide d'un Pénétrromètre.
- La séparation d'huile ; dans un bécher [21].

Organigramme de la fabrication du câble



FigureII.16. Organigramme de la fabrication du câble.

Chapitre III

Résultats

Et

Discussions

III.1. Introduction

Ce chapitre présente les résultats obtenus après traitement thermique de recristallisation et L'étude de la qualité de cuivre obtenu. Lors du stage que nous avons effectué au Groupe Industriel Sidi Bendhiba (GISB), Nous avons prélevé un échantillon de cuivre pour la réalisation de nos expériences. Dans ce travail, nous avons réalisé une analyse de la composition chimique et analyse de l'oxygène, des mesures des essais de traction.

III.2. Analyse de la composition chimique

Pour déterminer la quantité de chaque élément chimique compris dans un échantillon et assurer un contrôle des procédés et de qualité, les ingénieurs du CISB ont recours à des spectromètres d'émissions optiques à étincelles pour déterminer les taux de chaque élément chimique dans le matériau à analyser, figure III.2.

- **L'échantillon considéré dans ce travail est :**

Un prélèvement du cuivre recyclé obtenu localement à partir des déchets affinés Puis traités dans au niveau du GISB.



Figure III.1 : prélèvement avant coulée (1).

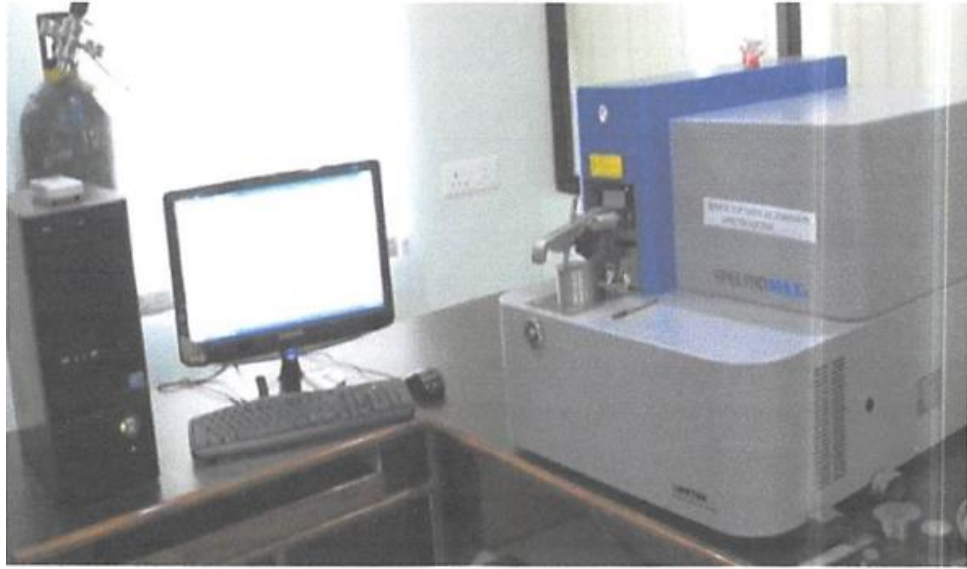


Figure III.2 : Spectromètre d'analyse de la composition chimique GISB.

Au moyen d'un spectromètre au laboratoire du GISB, nous avons effectué une analyse de la composition chimique de nos échantillons. Les résultats obtenus pour les teneurs des différents éléments sont donnés dans le tableau III.1.

III.2.1. Résultats

Nous présentons ci-dessous le tableau des impuretés influençant la qualité du cuivre en fonction de la date de prélèvement.

Tableau III.1. Résultats du% d'impuretés le 23 mai2023

Les éléments			Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni
Composition Chimique (%)	Arrivage(Kg)		0	0	0	0	0	0	0
	Echantillon (g)		0	0	0	0	0	0	0
	Valeur spécifique	Max(%)	....	0,005	....	....	....	0,001	....
	Valeur mesurée	(%)	0,013	0,3	0,02	0,0002	0,0001	0,003	0,05
Les éléments			Si	Mg	Cr	Te	As	Sb	Cd
Composition chimique (%)	Arrivage(Kg)		0	0	0	0	0	0	0
	Echantillon (g)		0	0	0	0	0	0	0
	Valeur Spécifique	Max(%)	....	....	....	0,0002	0,0005	0,0004	....
	Valeur Mesurée	(%)	0,0005	0,0001	0,0002	0,0003	0,0006	0,022	0,0004
Les éléments			Bi	Ag	Co	Al	S	Be	Zr
Composition chimique (%)	Arrivage(Kg)		0	0	0	0	0	0	0
	Echantillon (g)		0	0	0	0	0	0	0
	Valeur Spécifique	Max(%)	0,0001	0,002	...	....	0,0015	....	....
	Valeur Mesurée	(%)	0,002	0,004	0,0005	0,0003	0,0002	0,0001	0,0002
Les éléments			Au	Ti	Se	B	Pt	Cu	O
Composition chimique	Arrivage(Kg)		0	0	0	0	0	0	/
	Echantillon (g)		0	0	0	0	0	0	/
	Valeur Spécifique	Max(%)	....	....	0,0002	....	....	99,9	400ppm
	Valeur Mesurée	(%)	0,0005	0,0002	0,0004	0,0006	0,002	99,578	/

III.2.2. Observation de la qualité

Qualité : mauvaise qualité

Classe : D

Cu+ Ag= 99,6%

Remarque

Four réverbère (CSB) : Après 800 ppm d'oxygène et 4 paquettes des arbres.

D'après ces résultats on remarque que le pourcentage des impuretés suivants Zn, Pb, Sn, P, Fe, Ni, As et Sb est élevé par rapport la norme.

D'autre part on remarque aussi que le pourcentage de Cu = 99,57 est non conforme.

❖ Solution

Puisque pourcentage de cuivre est non conforme, nous le traitons en ajoutant d'oxygène en utilisant les tuyaux d'air et les baquettes d'arbres.

- Si les éléments résiduels appartiennent au premier groupe (Fe, Zn, Cd, Si, Al, Pb), avec la silice comme agent de décrassage, 8000 ppm d'oxygène suffiront.

- S'il y a une teneur élevée en Sn, As ou Sb (deuxième groupe) : dans ce cas, on préconise d'augmenter le temps d'oxydation qui peut atteindre jusqu'à 10000 ppm.

- Si les éléments résiduels appartiennent au troisième groupe, c'est-à-dire Ni, Cr, Bi, Te, il sera plus difficile d'atteindre les normes techniques, l'oxydation devra atteindre jusqu'à 12000 ppm.

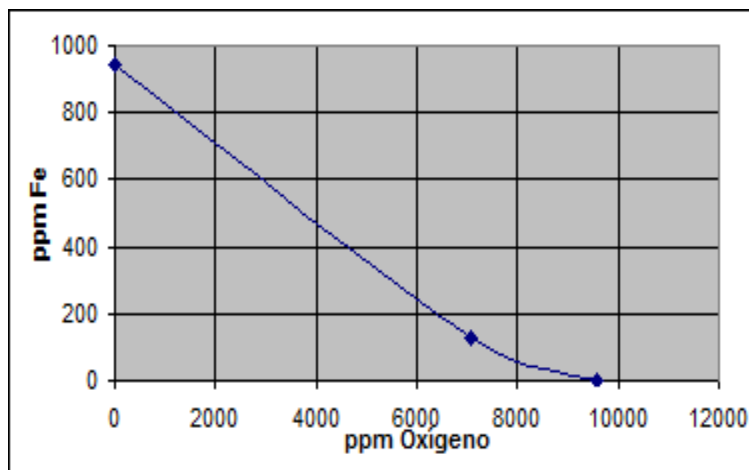


Figure III.3 : Tendances des premiers éléments du groupe

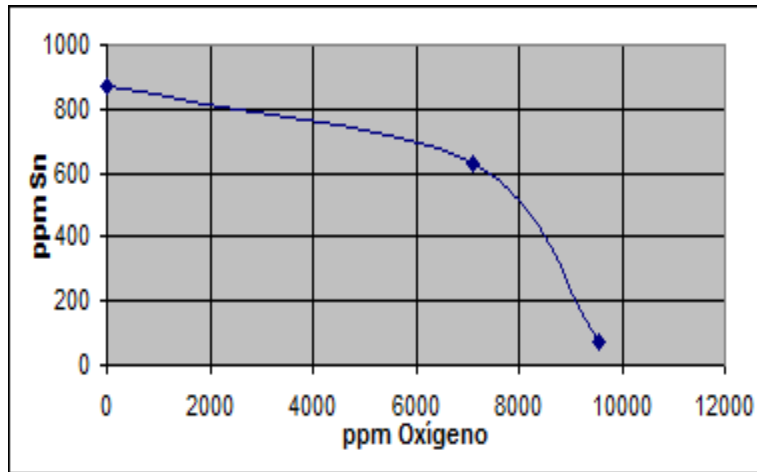


Figure III.4 : Tendances des deuxièmes éléments du groupe.

❖ L'échantillon après l'ajoutant d'oxygène



Figure III.5 : prélèvement Avant coulé (2).

III.2.3. Résultats

Type de matière : cuivre

L'étape de prélèvement : Avant coulé (2)

Tableau III.2. Résultats du% d'impuretés le 23 mai2023.

Les éléments			Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni
Composition Chimique (%)	Arrivage(Kg)		0	0	0	0	0	0	0
	Echantillon (g)		0	0	0	0	0	0	0
	Valeur spécifique	Max(%)	....	0,005	....	....	....	0,001	....
	Valeur mesurée	(%)	0,023	0,075	0,016	0,0002	0,0001	0,011	0,03
Les éléments			Si	Mg	Cr	Te	As	Sb	Cd
Composition chimique (%)	Arrivage(Kg)		0	0	0	0	0	0	0
	Echantillon (g)		0	0	0	0	0	0	0
	Valeur Spécifique	Max(%)	....	....	....	0,0002	0,0005	0,0004	....
	Valeur Mesurée	(%)	0,002	0,0006	0,0002	0,0003	0,0006	0,002	0,0001
Les éléments			Bi	Ag	Co	Al	S	Be	Zr
Composition chimique (%)	Arrivage(Kg)		0	0	0	0	0	0	0
	Echantillon (g)		0	0	0	0	0	0	0
	Valeur Spécifique		0,0001	0,002	...	....	0,0015	....	....
	Valeur Mesurée	(%)	0,002	0,003	0,0005	0,0003	0,0002	0,0001	0,0002
Les éléments			Au	Ti	Se	B	Pt	Cu	O
Composition chimique	Arrivage(Kg)		0	0	0	0	0	0	/
	Echantillon (g)		0	0	0	0	0	0	/
	Valeur Spécifique	Max(%)	....	....	0,0002	....	....	99,9	400ppm
	Valeur Mesurée	(%)	0,0005	0,0007	0,0005	0,0004	0,002	99,857	/

III.2.4. Observation de la qualité

Qualité : moyen et acceptable

Classe : B

Cu+ Ag= 99,86%

➤ **Remarque**

Four réverbère (CSB) : Après 12000 ppm d'oxygène et 6 paquettes des arbres.

On remarque que le pourcentage des impuretés a diminué par rapport au 1er essai. On remarque aussi que le pourcentage de Cu = 99,84 est conforme.

- ❖ Après la coulée On obtient le cuivre en forme de lingot. Cette forme sortie pour tréfiliez dans laminoir faire aménage pour obtenir un conducteur de diamètre 8mm.



Figure III.6 : Fil machine 8mm et fils tréfilés de cuivre étudiés.

III.3. Essai de traction

L'essai de traction permet de caractériser mécaniquement un matériau et de déterminer expérimentalement les propriétés nécessaires pour une meilleure utilisation.

Cet essai consiste à placer un barreau en cuivre recyclé et /ou pur, non recyclé. Ce barreau est fractionné jusqu'à atteindre son point de rupture en passant par le domaine élastique puis plastique. La courbe exprimant la force en fonction de l'allongement est obtenue au moyen d'un logiciel de pilotage et d'acquisition des données expérimentales, converties en contraintes en fonction des déformations.

La machine de traction utilisée est celle du laboratoire E3C. Elle est donnée par la figure 4. Un barreau est fixé entre les mors en cours de traction. Cette machine est équipée d'un extensomètre pour mesurer les déformations et développe des forces allant jusqu'à 100 KN.



Figure III.7 : Machine de traction 100 KN du GISB.

Les principales valeurs caractéristiques de traction que nous pouvons en déduire sont donc :

a. Résistance à la rupture R_m

La résistance à la traction ou tension de rupture souvent notée R_m , qui est la contrainte maximale atteinte en cours d'essais, elle est donnée par le quotient de l'effort de rupture F_m divisé par la section initial S_0 de l'éprouvette.

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

b. L'allongement à la rupture $A\%$

L'allongement à la rupture définit la capacité d'un matériau à s'allonger avant de rompre lorsqu'il est sollicité en traction. Elle est donnée par la relation :

$$A\% = \frac{L_u - L_0}{L_0}$$

Avec :

L_u : la longueur ultime, longueur de l'éprouvette juste avant la rupture.

L_0 : la longueur initiale, longueur de l'éprouvette avant le début de l'essai de traction.

c. la résistivité électrique

Les mesures de résistivité électrique ont été faites sur un pont de marque RESISTOMAT de type 2303. Ces techniques dépendent dans une certaine mesure de la géométrie de l'échantillon.

Pour déterminer la résistance des échantillons en fils de longueur on utilise une source stable fournissant un courant régulier connu et deux sondes mesurant la chute de tension entre les deux points dont l'espacement est exactement connu (L=1m). Grâce à cela, cette résistance peut être convertie en résistivité.

La résistivité électrique est calculée par la formule suivante :

$$r = \frac{R.S}{L} \left(\frac{m\Omega mm^2}{m} \right)$$

$$S = \frac{p}{D}$$

$$S = \frac{459.9}{8.94}$$

$$S = 51.712 mm^2$$

$$r = \frac{0.3361 * 51.712}{1}$$

R : résistance électrique (mΩ).

P : poids d'un fils du cuivre 8mm.

D : La densité du cuivre.

S : section du fil électrique (m²).

L : longueur du fil électrique (1m).

d. Conductivité électrique

$$IACS(\%) = \frac{\text{résistivité électrique (spécifique)}}{\text{résistivité électrique (mésure)}} * 100$$

$$IACS(\%) = \frac{0.017241}{0.01708} * 100$$

$$IACS(\%) = 100.94$$

III.4. Traitement thermique

Dans le présent travail, nous avons effectué des traitements thermiques de trempe sur un échantillon **Etudié**. Ces traitements comprennent les opérations de chauffage, maintiens et refroidissements. Les traitements thermiques ont pour but la recristallisation des grains du matériau (cuivre) ayant subi un écrouissage élevé. Ils permettent d'améliorer ses propriétés mécaniques en particulier sa limite d'élasticité de manière à le rendre plus ductile.

En général, les traitements thermiques ne changent pas la composition chimique mais l'état de sa Microstructure.

III.5 Conclusion

D'après les résultats obtenus de fil machines et les analyses qu'on a fait ont conclu que le fil Machine correspond à la date 23/05/2023 est le meilleur par rapport aux autres résultats.

Conclusion général :

Dans ce travail, nous avons considéré un thème ayant une relation directe avec le secteur industriel, Il s'agit de la récupération des déchets du cuivre utilisé pour le tréfilage par le groupe industriel sidi Bendhiba (GISB) Masra. Ceci suggérait une analyse fine des mécanismes de la recristallisation en présence de ces impuretés. En parallèle, nous avons essayé de mieux appréhender l'influence de l'oxygène sur la cinétique de recristallisation et la qualité du cuivre industriel.

D'après nos résultats on peut conclure que la présence des impuretés même a de très faibles quantités influe la qualité de cuivre en modifiant la résistance électrique de ce dernier, aussi la présence de l'oxygène est importante mais reste contrôlée.

Références bibliographiques

- [1]. Lakhtine. I : Métallographie et traitements thermiques des métaux ; 4ème Edition. Mir Moscou,1986. [2] INERIS-Données technico-économiques sur les substances chimiques en France, Aout
- [3]. Ghomari. F : Cours science des matériaux de construction ; Département de génie civil, universités Aboubeker Belkaid Tlemcen.
- [4]. Bensaada. S, Bouziane M.T : science des matériaux T2 ; Edition OPU, avril 2012.
- [5] Jakani, « Effet des impuretés sur le mécanisme de recristallisation du cuivre tréfilé », Thèse de doctorat, p.5, Paris XI,2004.
- [6]. Arnaud, Barbery. J, Biaï. R, Fargette, B, Nau ot. P : Propriétés du cuivre et de ses alliages ; Techniques de l'ingénieur (M430).
- [7]. Michel. Dupeux : Aide-mémoire Science des matériaux ; 2eme édition. Dunod Paris, 2008.
- [8]. Colombiéc. Michel, Coll : Matériaux métalliques ; 2ème édition Dunod ,2008.
- [9]. Laouini, Abd Eldjalil : Réalisation d'un appareil de fluage des métaux ; Mémoire de magister, Université Mohamed Khider Biskra ,2012.
- [10]. D. Champman et T. Norris, « Copper for busbars », p.8, 2014.
- [11] K.E. Mackay et G.A. Smith, « Trans. Inst. Min. Vol.75 », p.269, 1966.
- [12] J. Hérenguel, « Le cuivre et ses alliages, Métallurgie Spéciale », INSTN, Enseignement 3eme du cycle.
- [13] H. Pops, « The metallurgy of Copper wire », Etats-unis,1996.
- [14] S. Jakani, « Effet des impuretés sur le mécanisme de recristallisation du cuivre tréfilé », Thèse de doctorat, p.5, Paris XI, 2004.

[16].[PABC 2002] J. Philibert, A. Vignes, Y. Bréchet et P. Cambrage, *Métallurgie, du minéral au matériau*, Paris, Éditions Dunod, 2002, 2^e éd., 1177 p. (ISBN 978-2-10-006313-0), p. 781-794, 798-800, 822-829, 915-916

[17].J.-L. Fanchon, *Guide des sciences et technologies industrielles*, Paris, Afnor, Nathan, 2010, 592 p. (ISBN 978-2-09-178761-9 et 2-12-494112-7, OCLC 47854031, présentation en ligne), p. 144

[18]. Jacques Corbion – *Le savoir...fer : glossaire du haut fourneau* – 4^e édition – 11/2003 – édité par l'association *Le savoir...fer* (ISBN 2-9520787-0-X), en particulier les articles Four à réverbère (page 1609, Tome II), Pont de chauffe (page 2627 Tome IV), Autel (page 299, Tome I), Petit autel (page 2517, tome III), Grand autel (page 1736, Tome III), Tisard (page 3216, Tome IV).

[19].Gaspard Monge -*Description de l'art de fabriquer des canons* – Imprimerie du comité de salut public – an II (1793-1794) de la république française.

[20].E.L. Grüner : *Traité de métallurgie, tome premier, agent et appareils métallurgiques, principe de la combustion*. 1875, Dunod Éditeur

[21].A. Ledebur (traduit de l'allemand par Barbary de Langlade revu et annoté par F.Valton) - *Manuel théorique et pratique de la métallurgie du fer - Tome I* - Librairie polytechnique Baudry et Cie, éditeur - 1895.

[22].B.Bussard, H.Dubois, *Leçons élémentaires de chimie de l'enseignement secondaire des jeunes filles, cinquième édition*, Librairie classique Eugène Belin, 1906