



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Mécanique

# MÉMOIRE DE MASTER

**Domaine : Sciences et Techniques**  
**Filière : Métallurgie**  
**Spécialité : Génie Métallurgie**

Réf. :

---

Présenté et soutenu par :  
AMRANE Aissa

Le : lundi 8 juillet 2019

## **Caractérisations des fils d'acier doux utilisés pour la fabrication des baguettes de soudage**

---

### **Jury :**

Dr.	Bentrah Hamza	MCA	Université de Biskra	Président
Dr.	Karima OUNESS	MCB	Université de Biskra	Examineur
Dr.	Salim MESSAOUDI	MCB	Université de Biskra	Rapporteur

Année universitaire : 2018 - 2019

## **Dédicaces**

Je dédier ce travail de recherche a mère et à la mémoire de mon père et tous mes frères et sœurs

Je dédier aussi ce travail a ma femme et mes chères enfants Adlane, Marame et Djihane.

Je dédier aussi ce travail de recherche a toute ma famille et mes amies

## Remerciements

Je remercie infiniment mon encadreur, Docteur **MESSOAUDI Salim** qui m'a proposé ce thème de recherche et aussi sa disponibilité et son soutien durant toute cette année universitaire.

Je remercie les membres de jury (Monsieur **Bentrah Hamza** et Madame **OUNESS Karima**) pour avoir accepté d'expertiser et jugé mon travail de recherche.

Je remercie **MAOUCHE Fouad**, **DJAHRA Houssam**, **KHIIR EDDINE Abed El Basat** et **TRIR Abou Bakre** du laboratoire de métallurgie pour toutes les facilités et même leurs aides techniques pendant toute cette période.

Je tiens aussi à remercier tout le personnel de TREFISOUD, spécialement **Ms ABIDE Taher** pour son assistance.

Je remercie mes enseignants de la filière métallurgie qui ont contribué à ma formation.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail de recherche de près ou de loin.

## **Liste des tableaux**

Tableau 1: Les systèmes de glissement des différentes structures [ 4]. .....	5
Tableau 2: La composition chimique de fil machine .....	21
Tableau3 : les taux de déformation de la gamme 3 passes.....	22
Tableau4 : les taux de déformation de la gamme 4 passes.....	22
Tableau 5: résultat de la dureté HV par rapport a la déformation de la gamme 3 passe.....	29
Tableau 6: résultat de la micro dureté par rapport à la déformation de la gamme 4passe. ....	29
Tableau 7: resultat de l'essai de traction sur la gamme de 4 passe.....	30
Tableau 8: résultat de l'essai de traction sur la gamme 3 passe.....	30

## Liste des figures

Figure 1: Les différentes zones de déformation. ....	4
Figure 2: Fonctionnement d'une source de Frank- Read.[5].....	6
Figure 3: Observation en microscopie électronique à transmission in situ d'une source de dislocations dans le silicium (clichés F.Louchet, lab.optique électronique, CNRS, Toulouse) [6]. ....	7
Figure 4: Modification de la forme d'un grain sous l'effet du glissement (le pointillé visualise le joint de grain déformé qui semble régulier par des dimensions infimes des paquets de glissement) [7]. ....	8
Figure 5: Représentation schématique de la microstructure de déformation : (a) pour des déformations faibles à moyennes, avec de longues microbandes de déformation et des murs denses de dislocations (DDW), et (b) pour des déformations importante [1] avec une structure lamellaire parallèle à la direction de sollicitation et les micrographies par MET correspondantes de l'alliage d'aluminium [2]. ....	9
Figure 6: schéma du principe de tréfilage [2] .....	10
Figure 7: Schéma et machine multi passes [2]. ....	11
Figure 8: La configuration de tréfilage mono passe [10]. ....	11
Figure 9: Outils de tréfileuse [11]. ....	12
Figure 10: Schéma d'une filière de tréfilage [12]. ....	12
Figure 11: Coupe de la filière[3] .....	13
Figure 12: Evolution de la rhéologie du savon lors d'une opération de tréfilage élémentaire [13] .....	14
Figure 13: Les électrodes enrobées. [15] .....	16
Figure 14: Fonctionnement de l'électrode enrobée. [18] .....	17
Figure 15: Code à base de couleurs ce la N.E.M.A[11].....	18
Figure 16: Schéma explicatif d'une Tréfileuse à trois passes .....	23
Figure 17: Schéma explicatif d'une Tréfileuse à quatre passes .....	23
Figure 18: resultat de l'enrobage des echontillons .....	24
Figure 19: schéma descriptif de la méthode Vickers [21].....	26
Figure 20: Photo de machine de traction zwick/ roell ( Z 100) utilisée dans ce travail .....	27
Figure 21: microstructure du fil machine $\epsilon=0\%$ (agrandissement X500). ....	28
Figure 22 : microstructure des échantillons de la gamme 3 passes coupe transversal (A: 1ere passe, $\epsilon=31\%$ )(B: 2eme pass $\epsilon= 47.43\%$ ) agrandissement X500.....	28
Figure 23: microstructure des échantillons de la gamme 4 passes coupe transversal (A : 1ere passe $\epsilon= 32.33\%$ , B :2eme passe $\epsilon= 49,63\%$ ) agrandissement X500.....	28
Figure 24: Variation de la micro dureté Vickers en fonction du taux de réduction (4passe et 3 passes) .....	30

Figure 25: Courbe de variation de contrainte ( $R_e/R_m$ ) en fonction du taux de reduction ( 4pass et 3 pass).....	32
Figure 26: .Courbe de variation de Allongement (%) en fonction du taux de reduction ( 4 passes et 3 passes). ....	33

## Sommaire

-Introduction générale.....	2
-----------------------------	---

### **Chapitre I :Etude Bibliographique**

I.1-Introduction .....	4
I.2-Déformation plastique des métaux .....	4
I.2.1-Mécanismes de la déformation plastique.....	5
I.2.1.1-Déformation par glissement.....	5
I.2.1.2-Multiplication des dislocations par le mécanisme de Franck et Read .....	6
I.2.2-Effet de la déformation plastique sur les cristaux.....	7
I.2.3-Effet de la déformation plastique.....	9
I.3-Le Tréfilage des aciers.....	9
I.3.1-Le tréfilage.....	9
I.3.2-Machines de tréfilage.....	10
I.3.2.1-Machine multi passe .....	10
I.3.2.2-Machine mono passe .....	11
I.3.3-La filière .....	12
I.3.4- Lubrifiant .....	13
I.4-Les électrodes enrobées .....	15
I.4.1-Descriptif d'une électrode enrobée .....	15
I.4.2-Rôle de l'enrobage .....	15
I.4.2.1-Rôle mécanique et physique .....	15
I.4.2.2-Rôle métallurgique .....	16
I.4.3-Type D'Electrodes .....	16
I.4.4-Propriétés des électrodes .....	16
I.4.5Identification des électrodes .....	17
I.4.5.1-Le code à base de couleurs de la N.E.M.A. ....	18
I.4.5.2-Explication du code à base de couleurs .....	19

### **Chapitre II: Etude Expérimentale**

II.1-Introduction .....	21
II.2-Matériau étudié.....	21
II.3-Taux de déformation des fils tréfilés .....	22
II.4-Le tréfilage multi-passe .....	23
II.5-Préparation métallographique des échantillons.....	24
II.5.1-Découpage, enrobage et polissage .....	24

II.5.2-Attaques chimiques .....	24
II.6-Techniques d'analyse et de caractérisation .....	25
II.6.1-Microscopie optique .....	25
II.6.2-Micro dureté .....	25
II.6.3-Essai Vickers .....	25
II.6.4-Essai de traction .....	26
II.7-Résultats et interprétation.....	27
II.7-1-Observation au microscope optique.....	27
II.7.2-Evolution des propriétés mécaniques .....	29
II.7.2.1-Evolution de la micro dureté .....	29
II.7.2.2-Evolutions des contraintes mécaniques.....	30
II.7.2.3-evolution de l'allongement.....	32
Conclusion générale.....	35
références bibliographique .....	37



# **INTRODUCTION GENERALE**

# Introduction générale

---

## Introduction générale

Le tréfilage connu comme procédé de mise en forme révolutionnaire, permet d'obtenir des fils métalliques de section et de forme bien déterminée.

Il s'agit d'un procédé de transformation à froid consistant à faire passer le métal à travers un orifice calibré, appelé filière (qui peut être assimilée à un cône) sous l'action d'une traction continue. Cette technique utilise l'aptitude à la déformation plastique du métal pour la mise en forme.

Lors de la déformation, les lois du comportement élastique sont faciles à déterminer et très compliquées dans la partie plastique ou le comportement peut varier d'un point à un autre de la déformation.

Dans ce travail, nous allons suivre l'évolution des propriétés mécaniques des fils tréfilés de deux gammes de tréfilage. Et tenter de voir l'effet de la déformation sur la réponse du fil vis-à-vis une sollicitation appliquée. Cette analyse nous dira si une loi de comportement peut être associée à une opération de mise en forme comme le tréfilage.

Ce manuscrit comporte deux parties :

Une partie recherche bibliographique où l'on présente quelques généralités sur la déformation plastique et un extrait sur le procédé de tréfilage de l'acier.

Et une partie expérimentale dédiée au travail exécuté, dans laquelle on présente le matériau étudié, les préparations, les analyses et caractérisation effectuées, ainsi que les résultats et les interprétations associées.

Pour clôturer cette étude, on termine ce manuscrit par une conclusion générale où l'on résume l'essentiel des résultats obtenus.

# **Chapitre I**

## **Etude Bibliographique**

## I.1-Introduction

La malléabilité des métaux leur confère une position privilégiée dans tous les domaines de la technologie et de l'industrie ; leur capacité d'être déformables sans rupture sous l'effet de sollicitations mécaniques plus ou moins intenses. [1]. Cette aptitude à la mise en forme à chaud ou à froid a permis l'apparition et le développement de plusieurs procédés de fabrication de pièces et d'objets de formes diverses. Parmi ces procédés, on cite le tréfilage, procédé qui consiste à fabriquer des fils de différents diamètres. Ces fils sont omniprésents dans notre quotidien et remplissent diverses tâches dans plusieurs secteurs d'activités.

La mise en forme est basé essentiellement sur le principe de la déformation plastique des métalliques.

## I.2-Déformation plastique des métaux

Tout solide auquel est appliqué un effort mécanique se déforme. Différents essais de laboratoire (traction, compression, torsion...) permettent d'étudier les modes de déformation des matériaux d'un point de vue macroscopique et phénoménologique, et de déterminer leurs lois de comportement. Lors de tels essais, tant que le matériau est soumis à une contrainte inférieure à une valeur spécifique (appelée limite d'élasticité), il va se comporter de manière réversible si l'on effectue une décharge (annulation de la contrainte appliquée), le matériau recouvre sa forme initiale. A l'inverse, si l'on contraint le matériau au-delà de sa limite d'élasticité, une déformation persiste après la décharge c'est la déformation plastique (figure.1). La déformation plastique est donc (essentiellement) irréversible En général elle est isochore le volume de l'objet qui se déforme reste inchangé tout au long du processus de déformation plastique [2].

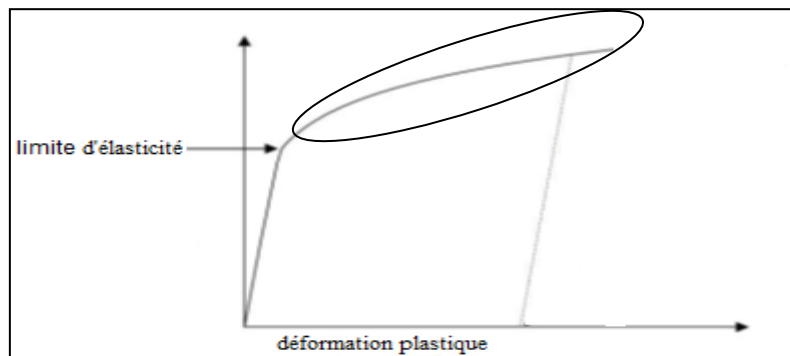


Figure 1: Les différentes zones de déformation.

## I.2.1-Mécanismes de la déformation plastique

Dans les cristaux réels, les défauts sont toujours présents, on cite les lacunes, les dislocations, les macles, les joints de grains, etc. Le matériau écroui est caractérisé par une densité très élevée de dislocation. Les déplacements relatifs des atomes sous l'effet des contraintes externes se font principalement par glissement ou par maclage selon le matériau et les conditions expérimentales de la déformation. Ces deux derniers, étant les deux mécanismes essentiels de déformation plastique à froid, auxquels on peut ajouter pour certains matériaux la transformation martensitique, qui résulte d'une modification de structure cristalline sous contrainte mécanique ou thermique [3].

### I.2.1.1-Déformation par glissement

La possibilité de la déformation par glissement des dislocations sur des plans et le long des directions privilégiés est liée, d'une part à une forte densité atomique de ces plans (nombres d'atomes par unité de surface plus élevé) et dans ces directions (distance interatomique la plus courte) (Tableau 1) et d'autre part à la présence des défauts dans le réseau. Les défauts sont de natures diverses :

- Défauts d'origine purement cristallographiques où il y a absence d'atomes dans certains sites (lacunes), des domaines complets peuvent être vacants.

Il peut exister des anomalies de distribution dites dislocations.

- Défauts induits par des impuretés (inclusions) ou atomique (solution solide) [1].

**Tableau 1: Les systèmes de glissement des différentes structures [ 4].**

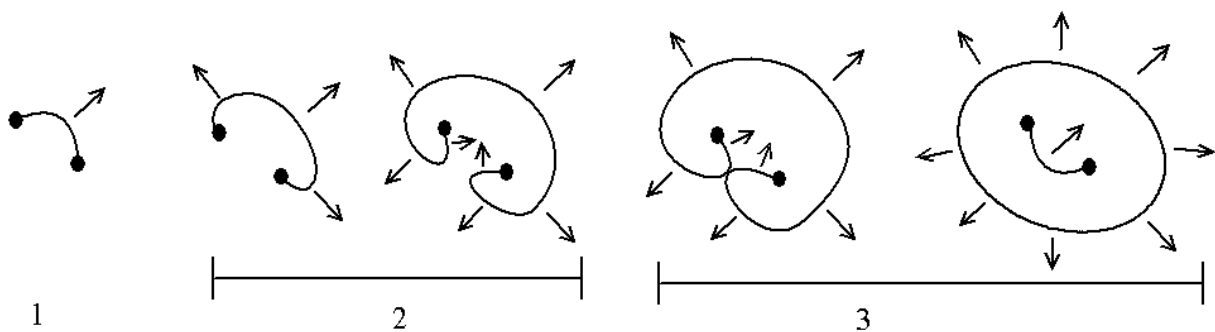
Structure	Direction de glissement	Plan de glissement	Nombre de systèmes de glissement
c.f.c	$\langle 110 \rangle$	$\{111\}$	12
c.c	$\langle 111 \rangle$	$\{110\}$	12
	$\langle 111 \rangle$	$\{112\}$	12
	$\langle 111 \rangle$	$\{123\}$	24
	$\langle 111 \rangle$	$\{11\bar{2}\}$	12
h.c. dépend du	$\langle 0001 \rangle$	$\{11\bar{2}0\}$	3
rapport c/a	$\langle 0001 \rangle$	$\{11\bar{2}3\}$	6

## I.2.1.2-Multiplication des dislocations par le mécanisme de Frank et Read

La découverte du mécanisme de Frank et Read pour la multiplication des dislocations a constitué un pas décisif dans l'application de la théorie des dislocations à la plasticité. Le mécanisme de Frank et Read, également appelé moulin de Frank-Read, est un mécanisme de multiplication de dislocations intervenant dans la déformation plastique. Il permet d'expliquer comment la déformation plastique est possible alors que les cristaux contiennent peu de dislocations après solidification, ainsi que le durcissement par écrouissage. Il a été proposé par les physiciens Frederick Charles Frank (britannique) et William Thornton Read (américain).

1. Les dislocations sont épinglées (par des défauts ponctuels, des précipités ou d'autres dislocations normales au plan de mouvement)
2. Les parties épinglées restent fixes, les parties mobiles s'étendent autour de l'épinglage
3. Lorsque les parties mobiles se rejoignent, cela forme une boucle de dislocation qui bouge (s'étend) librement tandis que la partie épinglée recommence le cycle.

Le mouvement de la dislocation se poursuit inexorablement, le moulin fonctionne (Figure 2), les brins de la ligne de dislocation se recombinent (car quoique ces brins aient le même  $\mathbf{b}$ , ils sont d'orientation inverse ce qui conduit à leur annihilation mutuelle) le moulin émet une boucle de dislocation libre en recréant le segment source, puis une seconde boucle et cela jusqu'à ce que le développement des contraintes internes ou la multiplication des obstacles entravent le fonctionnement de la source.



**Figure 2: Fonctionnement d'une source de Frank- Read.[5]**

La série de photos de la (Figure 3) montre le fonctionnement d'une source de Frank Read sur une lame mince de germanium observée et traction menée simultanément à haute température dans le microscope électronique en transmission.

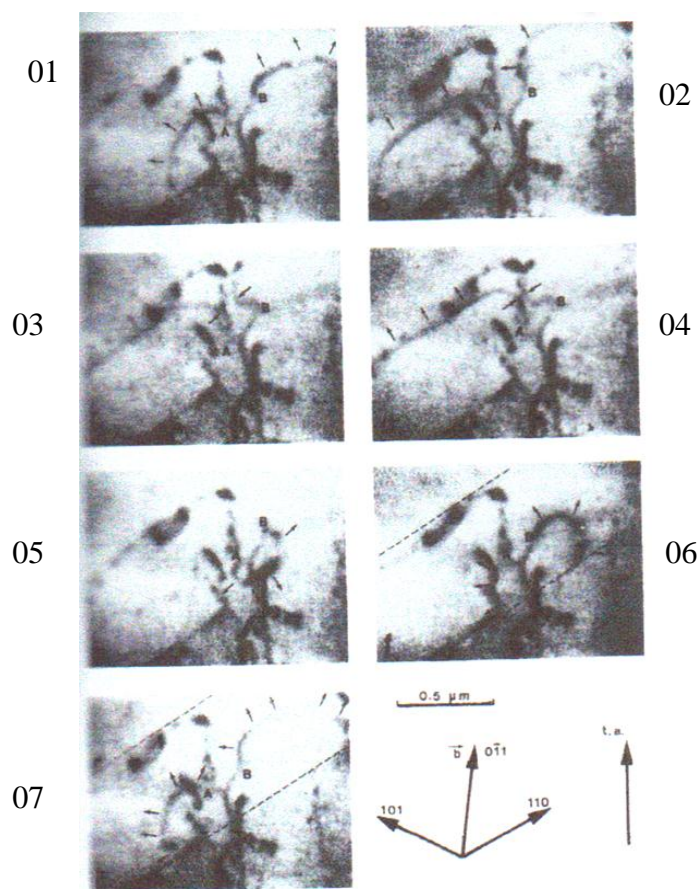
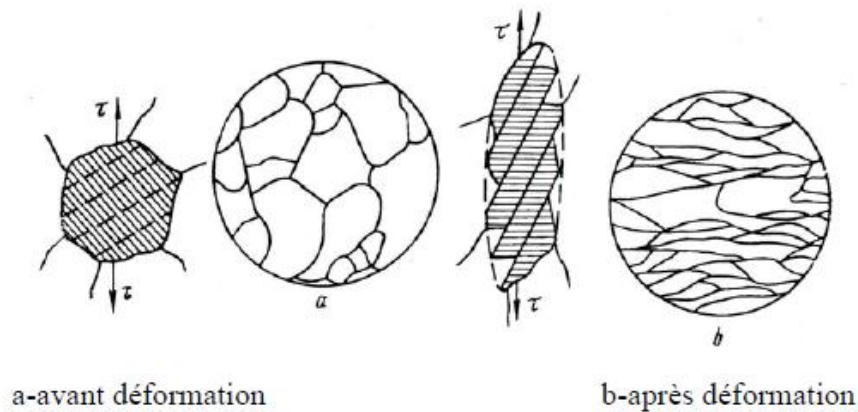


Figure 3: Observation en microscopie électronique à transmission in situ d’une source de dislocations dans le silicium (clichés F.Louchet, lab.optique électronique, CNRS, Toulouse). [6]

### I.2.2-Effet de la déformation plastique sur les cristaux

La déformation plastique à froid est due essentiellement au mouvement de dislocations par glissements. Ce mode de déformation conduit à une modification de la forme des grains qui génèrent une structure fibreuse comme illustrée sur la (figure 4) qui est liée au mode de déformation appliqué [7].

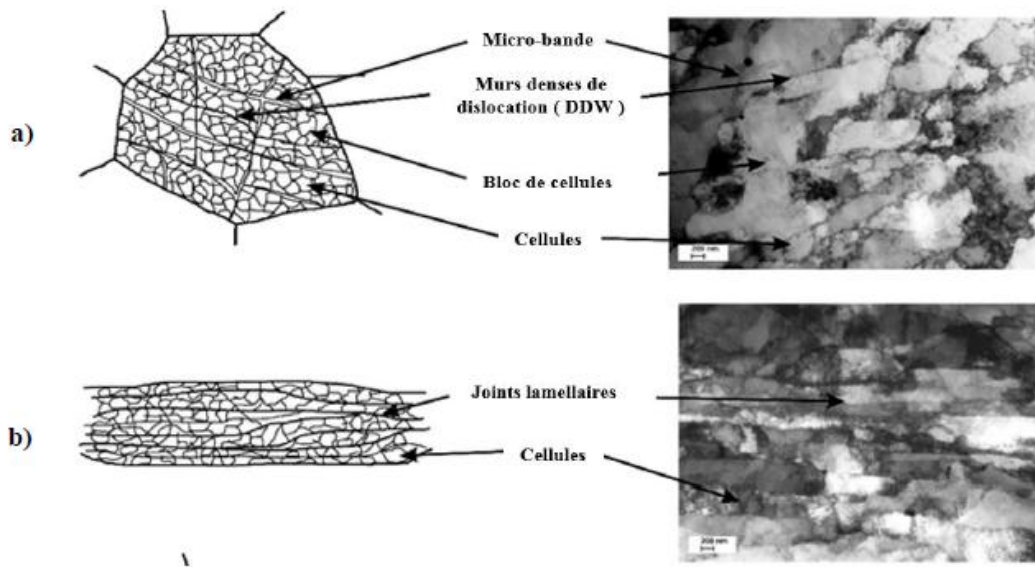


**Figure 4:** Modification de la forme d'un grain sous l'effet du glissement (le pointillé visualise le joint de grain déformé qui semble régulier par des dimensions infimes des paquets de glissement) [7].

### **I.2.2.1-Apparition d'une sous-structure de dislocations aux faibles déformations :**

Au cours du premier stade de déformation, les grains se subdivisent, changent de forme et s'allongent selon la direction de sollicitation. Une sous-structure de dislocations apparaît à l'intérieur des grains, dépendant de leur orientation cristallographique. La subdivision des grains donne lieu à une configuration cellulaire constituée de « parois » à forte densité de dislocations entourant des volumes à faible densité de dislocation. Quand le taux de déformation augmente, les parois des cellules s'affinent pour former des sous-joints. Cette transformation est accompagnée par une diminution de la taille des cellules ainsi que par une augmentation progressive de leur désorientation ( $1^\circ$  à environ  $5^\circ$ ). Les joints de blocs des cellules sont identifiés comme étant des murs denses de dislocations. La (figure.5) montre (un exemple schématique de la microstructure de déformation reconstruite par MET [2])





**Figure 5:** Représentation schématique de la microstructure de déformation : (a) pour des déformations faibles à moyennes, avec de longues microbandes de déformation et des murs denses de dislocations (DDW), et (b) pour des déformations importantes ( $\epsilon > 1$ ) avec une structure lamellaire parallèle à la direction de sollicitation et les micrographies par MET correspondantes de l'alliage d'aluminium [2].

### 1.2.3-Effet de la déformation plastique

En conclusion, la déformation plastique à froid conduit à l'écrouissage du matériau, donc à son durcissement. Cet écrouissage dépend de la composition chimique du matériau, du taux de déformation appliqué et des conditions de déformation (température, vitesse et mode de déformation). En effet, la déformation à froid entraîne une importante augmentation de la densité de dislocations (i.e. énergie élastique stockée) dans le matériau. Il s'ensuit une hétérogénéité de la microstructure, et de la texture cristallographique à l'intérieur des grains

## 1.3-Le Tréfilage des aciers

### 1.3.1-Le tréfilage

Le tréfilage est une technique de mise en forme à froid des métaux qui permet de réduire la section d'un fil, par déformation plastique, en le tirant à travers l'orifice calibré d'une filière sous l'action d'une force de traction et en présence d'un lubrifiant (figure 6). Cette technique permet d'obtenir des fils de différents diamètres. Les matériaux les plus utilisés dans le cadre d'applications industrielles sont l'acier, le cuivre, l'aluminium et le tungstène. Les applications des produits mis en œuvre par cette technique (qui peuvent être utilisés en l'état, assemblés ou transformés) sont nombreuses : clôtures, armatures pour béton, électrode de soudage, câbles,

agrafes, vis et boulons, ressorts, aiguilles, anneaux, boucles et crochets, armatures de pneumatiques [2].

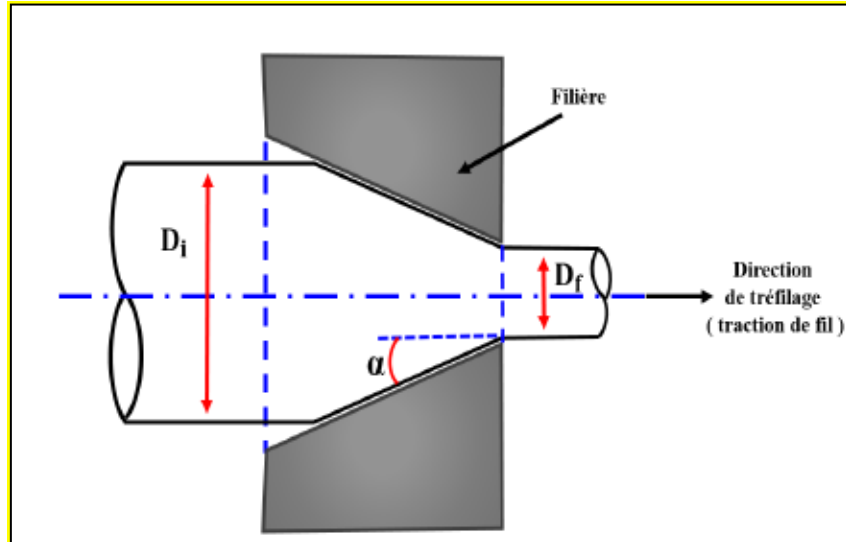


Figure 6: schéma du principe de tréfilage[2]

## I.3.2-Machines de tréfilage

Il existe différents types de machines

### I.3.2.1-Machine multi passe

Elles permettent des réductions de section importantes grâce à un enchaînement de filières (figure 7).

Il existe trois types de machines multiples :

- **Les machines continues ou à passage direct** : Ce sont les équipements les plus modernes et les plus répandus. Ces bancs travaillent en général à des vitesses élevées et sans glissement du fil sur les bobines grâce à un équilibrage rigoureux des vitesses. En effet, chaque bobine voit sa vitesse contrôlée par un moteur séparé dans le but d'assurer un débit

Massique de fil identique dans toutes les filières. Les bobines n'accumulent que 5 ou 6 spires de fil. [8]

- **Les machines à accumulation** : Il n'y a pas d'équilibrage automatique des vitesses. Les passes sont calculées pour que chaque filière débite plus de fil que ce qui est nécessaire à la suivante d'où une accumulation du fil sur la bobine. Cette dernière favorise le refroidissement du fil, problématique du point de vue métallurgique pour les aciers au carbone, et permet de ne pas interrompre la production de bobines aval en cas de problème sur les bobines amont.
- **Les machines à glissement** : Dans ces machines dédiées au tréfilage humide, il n'y a ni équilibrage des vitesses, ni accumulation de fil. Le glissement du fil sur les bobines compense les différences de vitesses. [9]

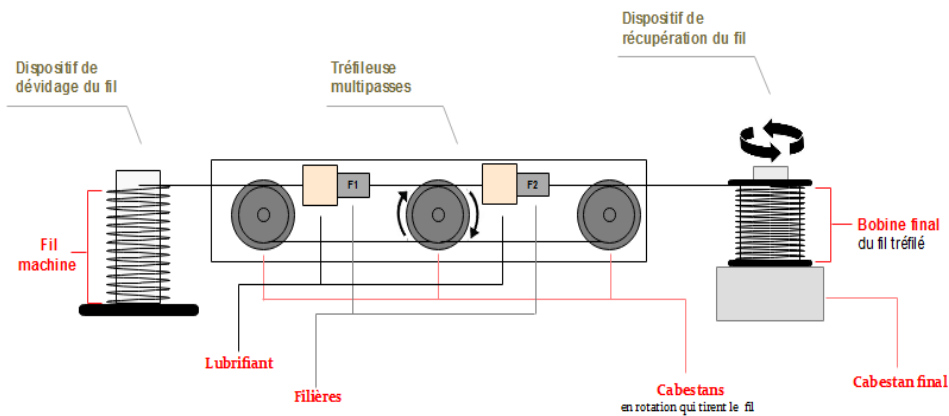


Figure 7: Schéma et machine multi passes [2].

### I.3.2.2-Machine mono passe

Elle ne comporte qu'une bobine est ajusté pour des réductions de section de l'ordre de 35% c'est la configuration de base qui ne peut effectuer qu'une seule réduction. Elle se compose d'un système de dévidage du fil, d'un bloc à tréfiler et d'un dispositif de traction /réception [10] (figure 8) et (figure 9).

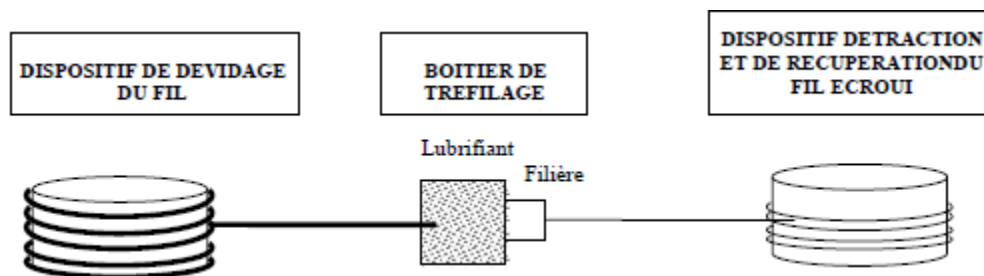


Figure 8: La configuration de tréfilage mono passe [10].

Le boîtier de tréfilage comprend le réservoir de lubrifiant et le support de filière dans lequel est logé l'outil calibrant

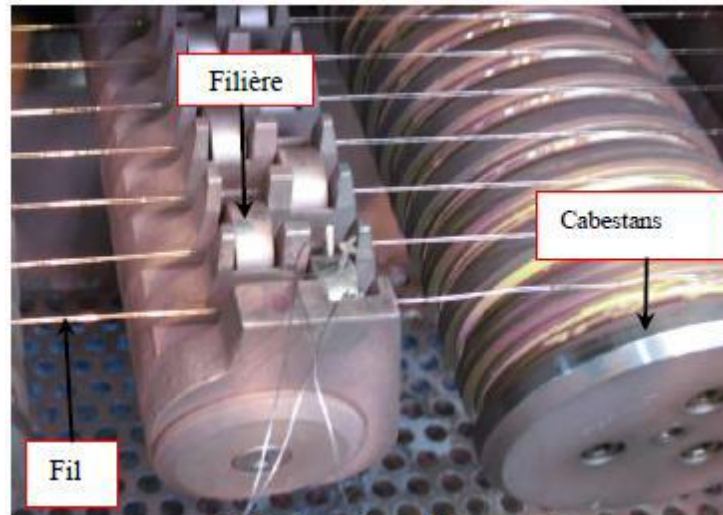


Figure 9: Outils de tréfileuse d'un mono passe [11].

### I.3.3-La filière

Une filière de tréfilage est constituée d'un noyau dur en carbure de tungstène lié au cobalt assurant la réduction de section (figure 10). Dans certains cas, pour limiter l'usure des filières et leur échauffement au passage du fil, des noyaux en diamant peuvent être utilisés. Une monture en acier ou en aluminium vient enserrer le noyau pour lui permettre de résister aux fortes pressions appliquées au cours du tréfilage [2].

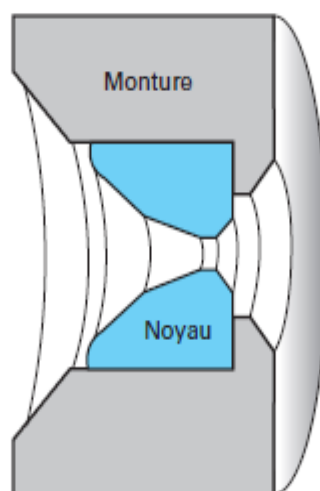


Figure 10: Schéma d'une filière de tréfilage [12].

De plus, la filière (Figure 11) est un bloc en général cylindrique percé en orifice calibré ayant les dimensions et la forme que l'on désire du produit à tréfiler. Elle est composée de quatre parties :

- Le cône d'entrée qui contribue à entraîner le lubrifiant dans la filière.
- Le cône de travail partie essentielle dans laquelle le métal subit sa déformation par compression.
- La portée, qui guide le fil après déformation.
- Le cône de sortie [3].

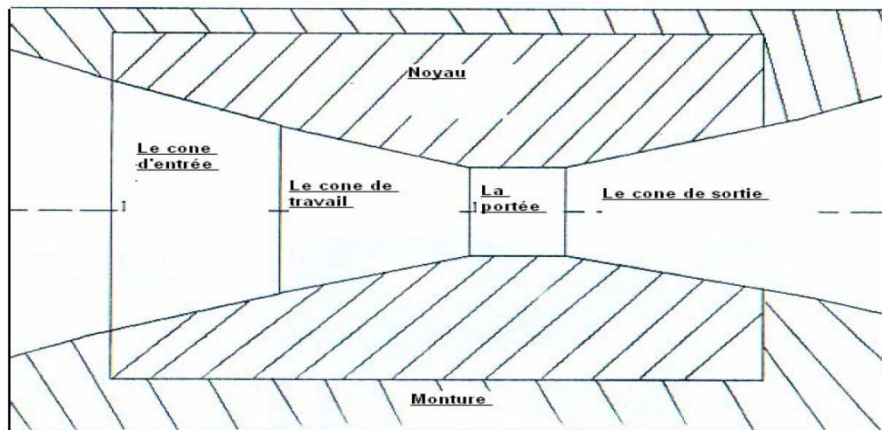


Figure 11: Coupe de la filière[3]

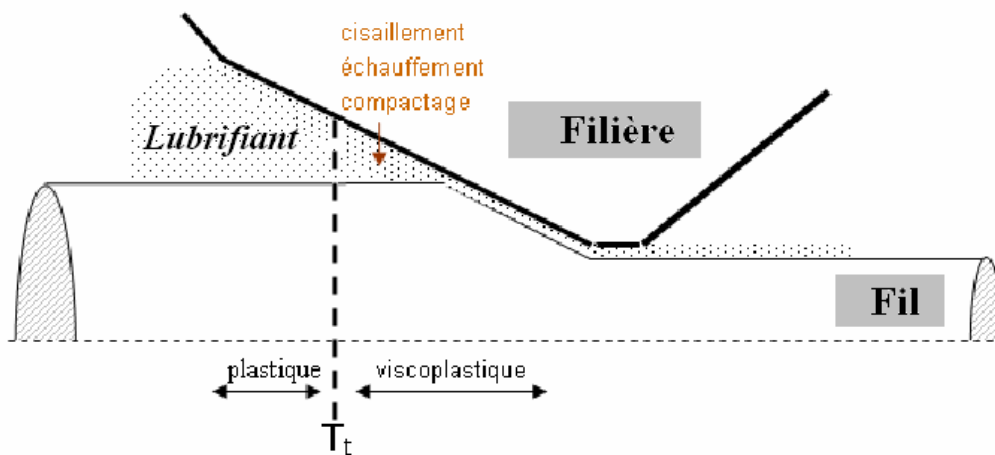
### I.3.4- Lubrifiant

Parmi les techniques permettant de maîtriser le frottement, l'adhésion et l'usure entre deux corps, la lubrification est certainement la plus courante et la plus anciennement pratiquée. Elle consiste à intercaler entre les deux corps un troisième corps (Figure 12) de faible cession (propre à minimiser le frottement) et (ou) de contrainte de rupture faible (propre à minimiser l'adhésion).

Toutefois, formuler rationnellement un lubrifiant pour une opération de mise en forme donnée pose un ensemble de problèmes très spécifiques. L'analyse scientifique de ces problèmes est difficile et ne fournit le plus souvent que des indications semi-quantitatives. C'est l'expérience qui reste un critère de choix décisif, d'où l'intérêt de bien concevoir et interpréter les tests de frottement et d'usure. Le lubrifiant doit offrir un film épais pour couvrir la rugosité du fil, et obtenir une bonne séparation entre le fil et la filière afin de minimiser le frottement. Ce dernier, produit un échauffement du fil, par conséquent le fil est rayé et la filière est usée

d'une part, d'autre part cette chaleur peut activer une restauration puis recristallisation partielle entre différentes passes.

La viscosité du lubrifiant lui permet d'être entraîné dans l'interface (fil/filière) au cours du passage du fil dans la filière et de supporter une partie ou la totalité de la charge appliquée. Ainsi se forme un film de lubrifiant, assurant une séparation entre le fil et la filière. Les lubrifiants de mise en forme ont en général très variés et interviennent à divers moments : pendant et après la mise en forme. Le lubrifiant doit être présent à l'interface métal outil il faut donc que le métal l'y entraîne [1].



**Figure 12: Evolution de la rhéologie du savon lors d'une opération de tréfilage élémentaire [13]**

En général, la lubrification de surface frottantes lors de la mise en forme des métaux est un sujet très complexe mettant en jeu un nombre important de variables souvent difficilement contrôlables (se reporter pour plus amples renseignements dans le présent traité en). Dans la pratique, le choix du lubrifiant, pour une opération donnée est presque exclusivement fondé sur une approche empirique. Pour tréfilage à froid, les fonctions essentielles du lubrifiant liquide sont :

- De réduire les frottements entre le fil et les surfaces frottantes telles que les filières, les cabestans ;
- De dissiper la chaleur créée par la déformation plastique du matériau ;
- D'empêcher la formation de dépôts à l'entrée des filières pouvant provoquer des casses.

Le lubrifiant de tréfilage est, réalité, une émulsion généralement composée d'eau dé-ionisée et d'huile minérale pétrolière ou d'huile synthétique à base d'esters ou de poly glycols.

Dans ces huiles sont intégrés différents additifs tels que détergent, dispersant, épaississant, antioxydant, stabilisant, inhibiteurs de corrosion, etc., afin de se garantir des propriétés complémentaires pouvant faire face à différents besoins spécifiques. Une telle émulsion est souvent caractérisée par la viscosité cinématique, le ph et la concentration donnés par le fournisseur. Mais l'expérience montre que ces paramètres sont, en réalité loin d'être suffisants pour la définition exacte d'un produit. En fait, l'effet de lubrification peut être très différent d'une formulation à une autre malgré des caractéristiques voisines.

Dans le cas particulier du tréfilage des fils ultra -fins, les fonctions de la l'urtication deviennent d'autant plus importantes que ces fils sont plus vulnérables aux sollicitations mécaniques engendrées par l'opération. C'est pour cela que, parallèlement aux efforts pour minimiser les contraintes mécaniques à tous niveaux, on recherche une huile émulsionnable ayant un bon pouvoir lubrifiant et détergent au niveau de l'interface fil-filière [14].

### **I.4-Les électrodes enrobées**

#### **I.4.1-Descriptif d'une électrode enrobée**

Les électrodes enrobées (voir le schéma ci-après) sont constituées par une baguette métallique appelée âme, entourée d'un revêtement adhérent appelé enrobage. Cet enrobage est constitué par des poudres de composition complexe, parfaitement homogénéisées et assemblées par un liant, généralement du silicate de soude ou de potasse.

Une extrémité de l'électrode est dénudée pour assurer un bon contact électrique avec le porte-électrode et l'autre extrémité est conditionnée pour faciliter le premier amorçage, comme le montre la (figure 13)

#### **I.4.2-Rôle de l'enrobage**

##### **I.4.2.1-Rôle mécanique et physique**

Le retard à la fusion de l'enrobage provoque à l'extrémité de l'électrode la formation d'un cratère plus ou moins important, qui contribue à la stabilité mécanique de l'arc. Avec certains types d'électrodes, ce cratère est suffisamment dur et profond pour permettre l'appui permanent de l'électrode sur la pièce. Les phénomènes de tension superficielle sont particulièrement importants et c'est par un choix précis de leur action, qu'il est possible d'éviter la formation de caniveaux et d'obtenir un aspect de cordon satisfaisant.

### I.4.2.2-Rôle métallurgique

La fusion de l'enrobage produit un gaz et un laitier qui protègent le bain liquide et le métal durant le refroidissement. Le laitier qui assure des échanges avec le métal fondu. Il compense les pertes en silicium et manganèse et apporte éventuellement des éléments d'addition tels que le chrome, le nickel, le molybdène, qui sont introduits dans l'enrobage sous forme de ferro-alliages. Cette possibilité d'apport par l'enrobage prend une place importante dans la conception des électrodes modernes. Il est possible de fabriquer des électrodes dites de synthèse ou synthétiques, dont l'âme est en acier non allié, mais qui déposent un métal fortement allié. Les éléments d'addition sont alors apportés en totalité par l'intermédiaire de l'enrobage sous forme de poudre métallique. [15]

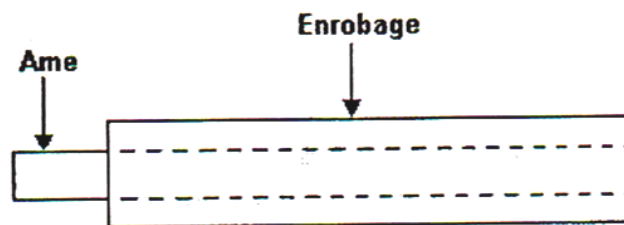


Figure 13: Les électrodes enrobées. [15]

### I.4.3-Type D'Electrodes

- Electrodes pour aciers ordinaires
- Electrodes à haut rendement
- Electrodes pour aciers faiblement alliés et à haute limite élastique
- Electrodes pour aciers inoxydables et spéciaux
- Electrodes pour rechargement dur
- Electrodes pour soudage de la fonte [16].

### I.4.4-Propriétés des électrodes

L'âme de l'électrode conduit l'énergie électrique jusqu'à l'arc et fournit le métal d'apport nécessaire à la soudure. L'enrobage remplit plusieurs fonctions que nous allons maintenant expliquer. Le métal en fusion réagit très facilement avec l'oxygène et l'azote pour se transformer en un produit peu résistant, d'où la nécessité de la protéger le métal de base et le



métal d'apport si l'on veut obtenir une soudure de bonne qualité. La protection provient de la fusion de l'enrobage. Une autre fonction de l'enrobage est la suivante : l'âme en fondant plus rapidement que l'enrobage que le métal fondu se recouvre de laitier celui-ci protège la soudure lors du refroidissement et en améliore la forme. On l'enlève quand le métal s'est refroidi.

En résumé, l'âme conduit l'énergie et fournit le métal d'apport ; l'enrobage empêche le métal de réagir avec les autres gaz, concentre et dirige la chaleur de l'arc sur l'endroit voulu et forme un laitier protecteur qui améliore la forme de la soudure.[17] (Figure 14)

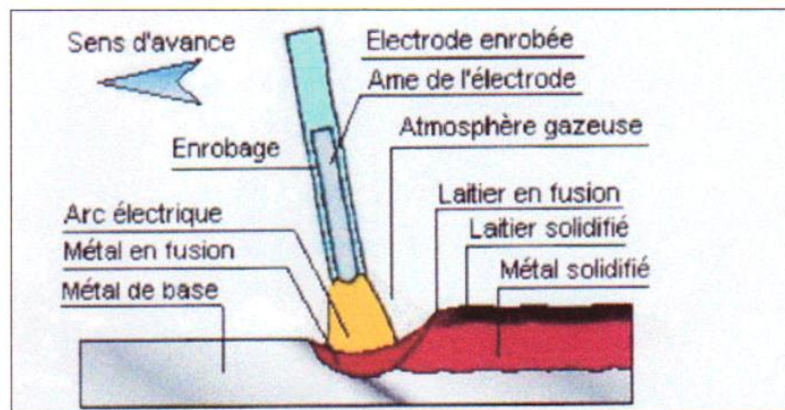


Figure 14: Fonctionnement de l'électrode enrobée. [18]

### I.4.5 Identification des électrodes

Le choix de la bonne électrode pour un certain travail peut être très difficile à cause de la multiplicité des types et des marques. Dans le but de simplifier cette tâche, l'A.W.S (American Welding Society) a établi un code à base de chiffres qui est accepté et utilisé dans l'industrie on aura par exemple E6014, ou E6011.

La lettre E indique qu'il s'agit d'une électrode pour souder à l'arc. Les deux premiers chiffres (s'il y en a quatre en tout) ou les trois premiers (s'il y en a cinq) multipliés par 1000 donnent la résistance à la traction  $\text{psi}^*$  du métal de la soudure. Le chiffre suivant (l'avant-dernier) indique dans quelle position on peut souder avec cette électrode. Il existe quatre positions de soudage : à plat, en corniche, au plafond et verticale.

Quand on a un 1, cela veut dire que l'on peut souder dans n'importe quelle position 2 signifie que seul le soudage à plat est autorisé. Le dernier chiffre dépend de la polarité et du type de courant de soudage.

Celui-ci peut être alternatif ou continu s'il est continu la polarité peut être normale ou inversée. Ce dernier renseignement a perdu beaucoup de son importance et de sa signification avec les électrodes modernes.

Prenons comme exemple une électrode E6024. Nous pouvons déduire de ces chiffres les renseignements suivants :

- E électrode pour souder à l'arc
- 60 multiplié par 1000 donne 60000 psi qui est résistance à la traction
- 2 soudage à plat
- 4 courants alternatif et continu (polarité indifférente)

L'électrode E6024 est donc employée pour souder à l'arc. Elle donne une soudure dont la résistance à la traction est de 60000 psi et ne peut être utilisée que dans le soudage à plat. Le courant peut être alternatif ou continu et la polarité est indifférente. Toutefois certains fabricants recommandent d'inverser la polarité quand le courant est continu.

### I.4.5.1-Le code à base de couleurs de la N.E.M.A.

Le code de l'A.W.S. apparaît sur les boîtes d'électrodes de tous les fabricants. Mais quand l'électrode est sortie de sa boîte il est évidemment plus difficile de la reconnaître. A cause de cela un deuxième code à base de couleurs a été mis au point par la N.E.M.A (National Electrical Manufacturers Association [17]).

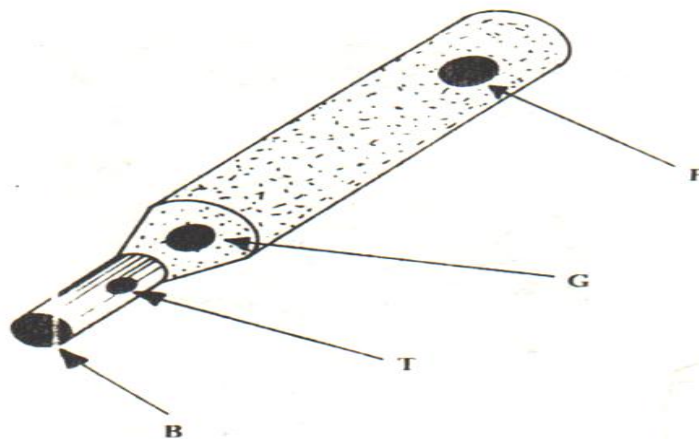


Figure 15: Code à base de couleurs de la N.E.M.A [17].

### I.4.5.2-Explication du code à base de couleurs

La (figure 15) met en évidence les marques que l'on trouve sur les électrodes.

La lettre **B** (bout) désigne la couleur au bout de l'électrode.

La lettre **T** (tache) désigne une tache de couleur sur la partie non enrobée.

La lettre **G** (groupe) désigne une autre tache située sur l'enrobage à deux ou trois pouces de l'extrémité non enrobée. La couleur en G est fonction du groupe auquel l'électrode, appartient.

La lettre **F** (fabricant) désigne une tache de couleur propre à certains fabricants pour identifier leurs électrodes. F ne fait pas partie du code de la N. E. M. A [17].

# **Chapitre II**

## **Etude Expérimentale**

### II.1-Introduction

Dans ce chapitre nous allons examiner les propriétés mécaniques des fils tréfilés.

En premier lieu, nous allons présenter et caractériser le matériau étudié. Ensuite, nous passerons à l'analyse et à l'examen de quelques propriétés mécaniques des fils tréfilés. Les techniques et les moyens d'analyse et de caractérisations utilisés dans cette étude sont : la microscopie optique, le microduromètre et l'essai de traction.

### II.2-Matériau étudié

Le matériau étudié est un acier doux qui sert à la fabrication des électrodes de soudage. Ce matériau nous a été fourni, par la l'entreprise TREFISOUD implantée à El-Eulma, sous forme de fils de différents diamètres répartis en deux groupes suivant la gamme du tréfilage subit.

Le fil machine duquel sortent les fils tréfilés est élaboré par TOSYALI-ALGÉRIE selon le procédé de coulée et laminage continu.

Et sa composition chimique est donnée par le (tableau 2)

Tableau 2: La composition chimique de fil machine

Elément	c	Si	Mn	P	Cr	Mo	Ni	Cu	Fe
teneur %	0.071	0.087	0.45	0.008	0.014	0.003	0.018	0.014	99.3
ma									

Selon les données de l'analyse chimique, une teneur de 0,071% massique correspond plutôt à un acier mi- doux qu'un acier doux. La présence du manganèse

Le fil machine a été réalisée avec un acier doux contenant 0.07% en masse de carbone,

Les teneurs en Si, Mn, S et P sont celles des nuances industrielles. Elles sont reproductibles d'une coulée à l'autre. La composition exacte est donnée dans le (tableau 2).

### II.3-Taux de déformation des fils tréfilés

Les taux de déformation des fils tréfilés étude sont calculé à partir de l'équation suivante :

$$[(S_0 - S)/S_0] \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

S<sub>0</sub>: section Avant deformation

S : section après déformation

Le (tableau 3et 4) résume les taux de déformation des fils tréfilé des deux gammes.

#### Gammes 3 passes

**Tableau3 : les taux de déformation de la gamme 3 passes.**

déformation	Diamètre (mm)	ε
ε0	6,20	0
ε1p3	5,15	31 %
ε2p3	4,5	47 %
ε3p3	3,9	60,43 %

#### Gammes 4 passes

**Tableau4 : les taux de déformation de la gamme 4 passes.**

Déformation	Diamètre (mm)	ε
ε0	6,20	0
ε1p4	5,10	32,33
ε2p4	4,4	49,63
ε3p4	3,7	64,38
ε4p4	3,20	73,36

### II.4-Le tréfilage multi-passe

L'entreprise TREFISOUD utilise ce procédé tréfilage des tréfileuses multi-passe afin de rentabiliser la production. Il y a lieu de noter que le nombre de filières varie d'une tréfileuse à une autre. La même tréfileuse peut contenir jusqu'à huit filières selon la dimension de la section du fil à produire. Les deux principales machines utilisées sont les tréfileuses trois passes et quatre passes.

La tréfileuse trois passes (figure16) est caractérisée par une vitesse d'entrée environ à 5,0 m/s, et qui contient trois filières où la section du fil à tréfiler passe du diamètre initial  $D_0$  égale à 6,20 mm jusqu'au diamètre final  $D_f$  égal à 3.9 mm.

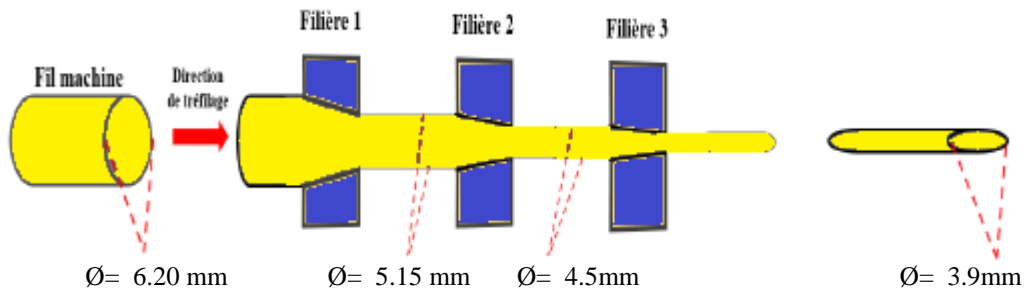


figure17 : Schéma explicatif d'une Tréfileuse à trois passes

La tréfileuse quatre passe (figure17) possède la même une vitesse d'entrée et le diamètre du fil à la sortie atteint la valeur de 3.20 mm.

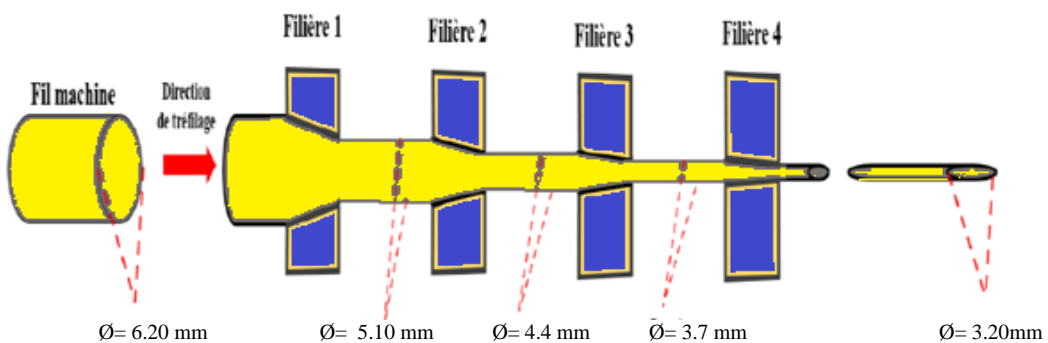


Figure 15: Schéma explicatif d'une Tréfileuse à quatre passes

Les lubrifiants utilisés sont des savons à base de calcium, type X8G pour les deux premières passes et de savon à base de sodium pour le reste des passes.

### II.5-Préparation métallographique des échantillons

#### II.5.1-Découpage, enrobage et polissage

Le prélèvement des échantillons est effectué à chaque étape de tréfilage. Dans le but d'avoir le maximum d'informations sur l'évolution de la forme des grains. Les échantillons sont découpés sous forme de coupes transversales et une autre longitudinale de 1.5 cm de longueur.

Pour faciliter le polissage des échantillons découpés, on leur a fait un enrobage à froid dans des résines époxy mélangées à un durcissant à froid (Figure 18)

Les échantillons enrobés sont ensuite polis mécaniquement aux papiers abrasifs de désignation : 120 , 180 , 240 , 320, 800, 1200 , 2000 et au papier feutré couvert d'une pâte diamantée ( $3\mu\text{m}$  et  $1\mu\text{m}$ ), sous un lubrifiant approprié.



Figure 18: résultat de l'enrobage des échantillons

#### Caractérisation de la microstructure

#### II.5.2-Attaques chimiques

L'attaque chimique est l'opération qui suit directement le polissage mécanique, elle est réalisée dans le but de révéler la microstructure. Elle fait apparaître le contraste des joints de grains et des différentes phases présentes dans l'échantillon. Chaque matériau a plusieurs réactifs, chaque réactif à une application bien précise spécifique qui a un rapport avec la pureté et les éléments présents. Pour les fils tréfilés en acier doux on utilise le Nital. C'est une solution composée de 96% d'éthanol et de 4% d'acide nitrique pour une durée d'attaque entre 20 et 45 secondes, et ceci selon l'état de l'échantillon (tréfilé)



### II.6-Techniques d'analyse et de caractérisation

#### II.6.1-Microscopie optique

Pour une compréhension primaire de l'état de fusion de l'échantillon ont effectué une observation microscopique, car on peut observer et déterminée, l'évolution des grains (la taille, la forme, la porosité ...), la répartition des précipités et des autres éléments présent, mouvement du joint de grain, les macles, et bien d'autres caractéristiques structurales. Pour cela, on à utiliser un microscope métallographique de type OPTIKA équipée d'un appareil photo numérique qui nous permis de prendre des micrographies de la structure des échantillons étudiés pour des grossissement allant jusqu'à 1000 fois [19].

#### II.6.2-Micro dureté

La micro dureté consiste à utiliser des indenteurs de taille submillimétrique. Les empreintes ne couvrent alors qu'un à quelques grains, et les résultats présentent une dispersion significative, ce qui nécessite de multiplier les mesures. [20]

#### II.6.3-Essai Vickers

La méthode Vickers est une méthode d'essai de dureté statique qui se caractérise comme suit [21] :

- Elle fait partie des méthodes normalisées (ISO 6507, ASTM E92, ASTM E384).
- La méthode Vickers présente une gamme de charges à partir de 1 gf selon ISO respectivement de 1 gf jusqu'à 120 kgf selon ASTM, ce qui signifie qu'elle peut mesurer la dureté dans toutes les gammes de charges (de la micro-dureté à la macro-dureté en passant par la gamme faibles charges). [22]
- Il s'agit d'une méthode optique. Cela signifie que pour déterminer la dureté d'un échantillon, on mesure la taille de l'empreinte laissée par le pénétrateur.
- la distance entre les centres de deux empreintes successives supérieure à 6 fois la diagonale pour éviter l'interaction entre celles-ci.
- Forme et matériau du pénétrateur Le pénétrateur est une pyramide équilatérale (base carrée) en diamant avec un angle au sommet entre faces de  $136^\circ$ .
- L'épaisseur de l'échantillon doit être supérieure à 1,5 fois la diagonale des empreintes (soit environ 7,5 fois la profondeur d'enfoncement h) [20]

La valeur de la dureté Vickers HV est donnée par le rapport de la charge appliquée sur l'aire projetée de l'empreinte résiduelle. Elle est déduite des dimensions des diagonales de l'empreinte. (Figure 19)

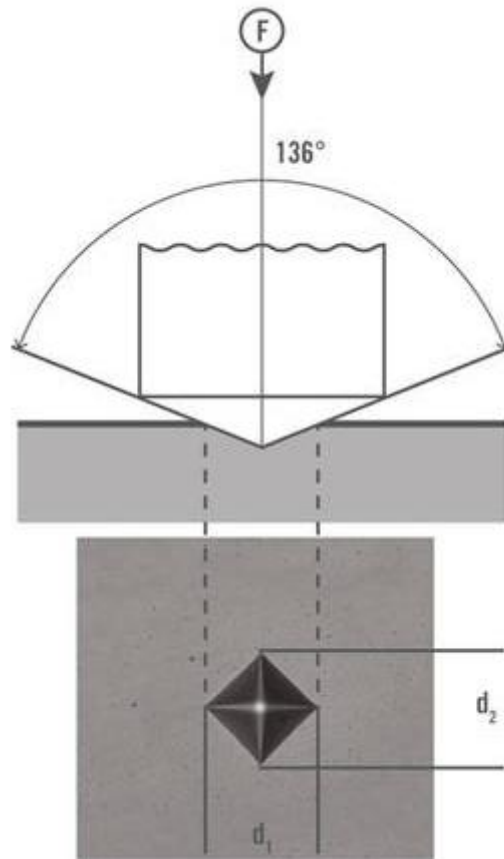


Figure 19: schéma descriptif de la méthode Vickers [21]

### II.6.4-Essai de traction

L'essai de Traction est le procédé expérimental le largement plus utilisé dans l'étude du comportement mécanique des métaux et alliages, il consiste à appliquer à une éprouvette, un effort de traction et à mesurer l'allongement correspondant, ou bien à imposer un allongement et à mesurer l'effort de traction.

Dans une machine d'essai de traction les éprouvettes sont solidement maintenues par leurs têtes entre les mâchoires de la machine. En s'écartant l'une de l'autre. Exercent une force de traction suivant l'axe géométrique de l'éprouvette de telle manière que la sollicitation soit répartie uniformément sur toute la largeur des extrémités. (Figure 20)

La vitesse de traction doit être bien déterminée au préalable, pour cela il faut consulter les normes relatives à l'exécution de l'essai de traction.

Dans notre expérience, nous avons utilisé une machine de type **Zwich/ Roell (Z 100)** au laboratoire de l'entreprise ENICAB de Biskra. La machine est connectée à un micro-ordinateur équipé d'un logiciel d'acquisition des données. Les éprouvettes sont des fils tréfilés.



Figure 20: Photo de machine de traction zwick/ roell ( Z 100) utilisée dans ce travail

### II.7-Résultats et interprétation

#### II.7-1-Observation au microscope optique

La (figure 21) illustre la microstructure du matériau suivant la section transversale du fil machine. Comme on peut le constater, c'est un acier ferritoperlitique à matrice ferritique majoritaire traduisant ainsi les données de l'analyse chimique rapportées dans le (tableau 2).

Sur les micrographies des fils tréfilés, on remarque une diminution de la taille des grains suivant la section transversale. Cette diminution devient très apparente après la deuxième passe de chaque gamme (voir les figures 22 et 23).

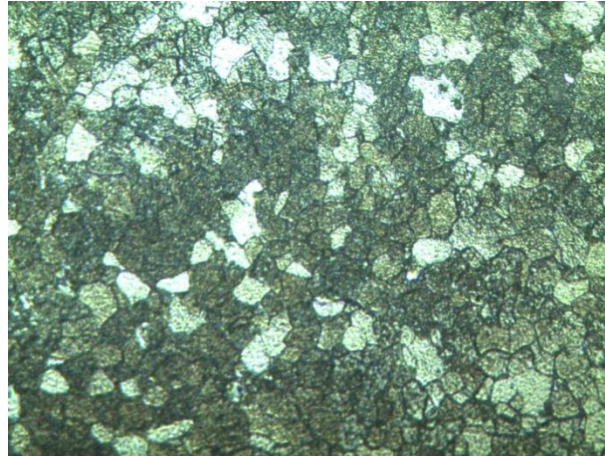


Figure 21: microstructure du fil machine  $\epsilon=0\%$  (agrandissement X500).

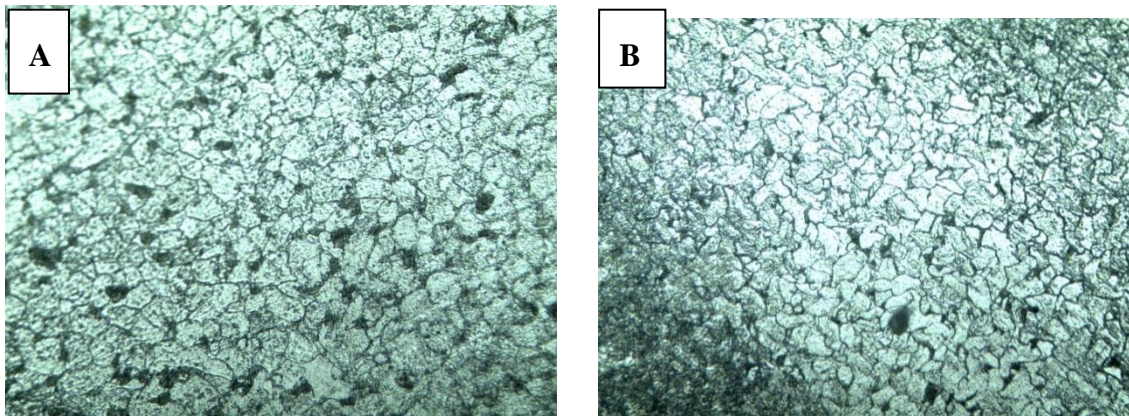


Figure 22 : microstructure des échantillons de la gamme 3 passes coupe transversal (A: 1ere passe,  $\epsilon=31\%$ )(B: 2eme pass , $\epsilon= 47.43\%$ ) agrandissement X500.

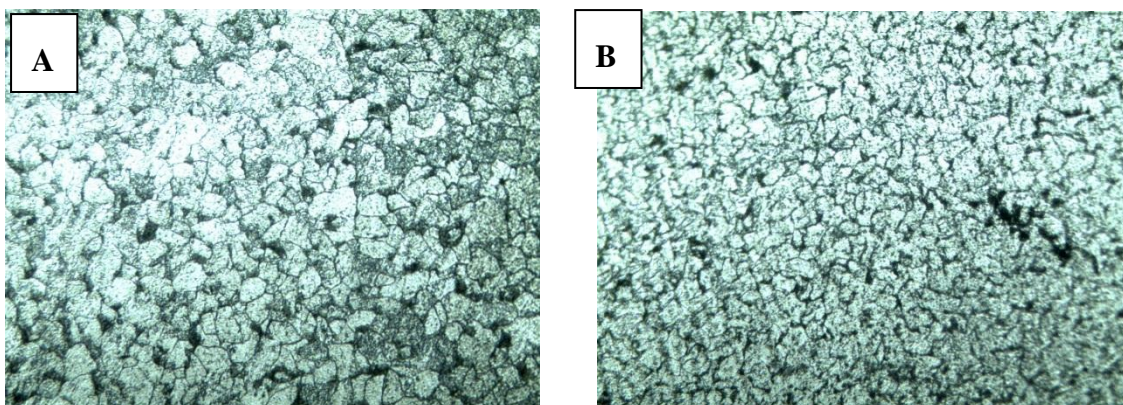


Figure 23: microstructure des échantillons de la gamme 4 passes coupe transversal (A : 1ere passe  $\epsilon= 32.33\%$ , B : 2eme passe  $\epsilon= 49,63\%$ ) agrandissement X500.

### II.7.2-Evolution des propriétés mécaniques

#### II.7.2.1-Evolution de la micro dureté

##### Gammes 3 passes

Tableau5 : résultat de la dureté HV par rapport a la déformation de la gamme 3 passe.

déformation	Diamètre (mm)	$\epsilon$	Dureté transversale (HV)
$\epsilon_0$	6,20	0	131,9
$\epsilon_{1p3}$	5,15	31 %	208,85
$\epsilon_{2p3}$	4,5	47 %	234,9
$\epsilon_{3p3}$	3,9	60,43 %	247

##### Gammes 4 passes

Tableau6 : résultat de la micro dureté par rapport à la déformation de la gamme 4passe.

Déformation	Diamètre (mm)	$\epsilon$	Dureté transversale (HV)
$\epsilon_0$	6,20	0	131,9
$\epsilon_{1p4}$	5,10	32,33	224,65
$\epsilon_{2p4}$	4,4	49,63	243,65
$\epsilon_{3p4}$	3,7	64,38	279,15
$\epsilon_{4p4}$	3,20	73,36	300

La filliation de la micro dureté sur les fils tréfilés des deux gammes est illustrée sur la (figure 24)

On constate l'augmentation de la dureté des fils tréfilé en fonction de la déformation subie. L'allure des deux courbes (des deux gamme) est semblable, et c'est la courbe de la gamme à quatre passe qui est au-dessus de celle à trois passes. Ce constat est très cohérent avec les déformations subies par le fil dans chaque gamme.

Le durcissement des fils traduit un phénomène d'écrouissage qui évolue avec la déformation appliquée. Au niveau de la microstructure, cette écrouissage se manifeste par la diminution de la taille du grain vu suivant la section transversale.

Dans ce qui suit nous allons tenter de voir la réponse de cet écrouissage vis-à-vis l'essai de traction

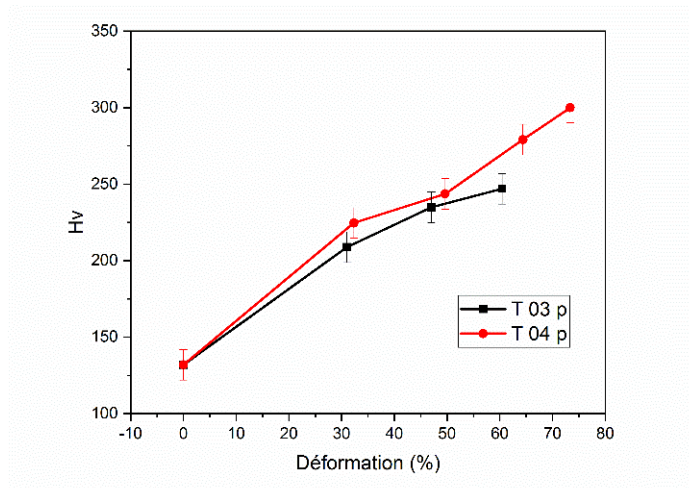


Figure 16: Variation de la micro dureté Vickers en fonction du taux de réduction (4passe et 3 passes)

La courbe dans la figure 24 montre l'évolution de la dureté du fil par rapport a la déformation subit

### II.7.2.2-Evolutions des contraintes mécaniques

Les tableaux dessous représentent les résultats de l'essai de traction sur les deux gammes.

Tableau 7: resultat de l'essai de traction sur la gamme de 4p

4P	$\epsilon$ (%)	$\epsilon$	Re	Rm	A(%)
6.20	0	$\epsilon_0$	245.42	414.25	20.50
5.10	32.33	$\epsilon_{1p4}$	391.83	651.34	4.62
4.4	49.63	$\epsilon_{2p4}$	473.18	741.76	4.23
3.7	64.38	$\epsilon_{3p4}$	551.86	810.57	1.50
3.20	73.36	$\epsilon_{4p4}$	620.31	878.60	1.38

Tableau 8: résultat de l'essai de traction sur la gamme 3P.

3P	$\epsilon$ (%)	$\epsilon$	Re	Rm	A(%)
6.20	0	$\epsilon_0$	245.42	414.25	20.50
5.15	31	$\epsilon_{1p3}$	395.91	666.68	5.28
4.5	47	$\epsilon_{2p3}$	446.35	722.53	4.29
3.9	60.43	$\epsilon_{3p3}$	534	805.07	2.17

La( figure 25) représente l'évolution de la limite élastique et la résistance mécanique en fonction de la déformation. Les quatre courbes ont une même allure croissante ; cette croissance est due à l'écroutissage qui est causé par le passage du fil à travers la filière (réduction de section) qui explique le durcissement des fils tréfilés.

Les courbes de Re 03p et Re 04p semblent presque pareilles, la même chose est dite pour les courbes Rm03p et Rm04p. Les petites différences, qui existent, restent dans l'intervalle de la barre d'erreur et peuvent être attribuées à la précision de la machine. Ceci qui explique les intersections observées entre les deux courbes de chaque contrainte. Cependant, suivant les déformations obtenus, c'est plus les courbes de la gamme à quatre passes qui doivent être au-dessus des celles de la gamme à trois passe. On remarque aussi que les courbes des Rm et les courbes des Re semblent être presque parallèles l'un par rapport à l'autre.

Selon les résultats obtenus, la comparaison des déformations des fils des deux gammes à la même passe ne donne pas toujours la même différence entre les limites élastiques ou les résistances mécaniques à la même passe. Par exemple, la différence entre  $\varepsilon_{1p4}$  et  $\varepsilon_{1p3}$  est 1,33 % et la différence entre  $Re_{1p4}$  et  $Re_{1p3}$  est 1,01 % deux valeurs proches quoique ici  $Re_{1p4} < Re_{1p3}$ . En revanche, entre  $\varepsilon_{2p4}$  et  $\varepsilon_{2p3}$  on a une différence de 2,63%, et entre  $Re_{1p4}$  et  $Re_{1p3}$  on a 5,70% de différence, ces deux valeurs sont différentes. Ceci dit que bien que les deux gammes subissent le même mode de déformation, leurs réponses à une sollicitation quelconque ne peuvent être liées et peuvent différer d'une gamme à une autre.

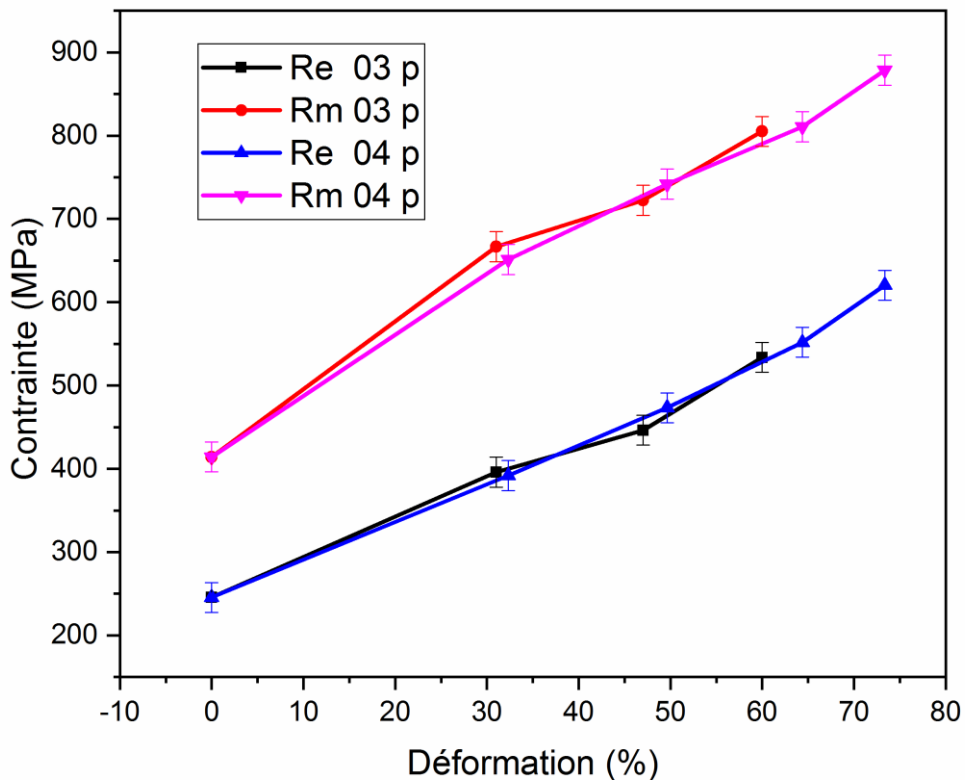


Figure 25: Courbe de variation de contrainte (Re/ Rm) en fonction du taux de réduction ( 4pass et 3 pass).

### II.7.2.3-evolution de l'allongement

La( figure 26) illustre l'évolution de l'allongement par rapport la déformation subit . comme il est connu un durcissement est généralement suivi par une réduction de la ductilité i,e de l'étirement, c'est ainsi qui décri l'allongement.

Sur ce graphe, on remarque une variation de la l'allure des deux coubes pendant la déformation. Une telle variation n'a pas été observée dans les précédentes courbes. Cette variation d'allure peut traduire des manifestations de phénomènes produient pendnant la déformation.

De même, la comparaison entre les deux gammes exprime des réponses différentes à cette sollicitation indépendantes des déformations subient.

En vue des comparaison effectuées, on peut dire que malgré que l'évolution d'écrouissage est liée d'une facon directe à la déformation appliquée, sa réponse à toute sollicitation ultérieure ne peut être relié aux différents points de déformation subis par le matériau.



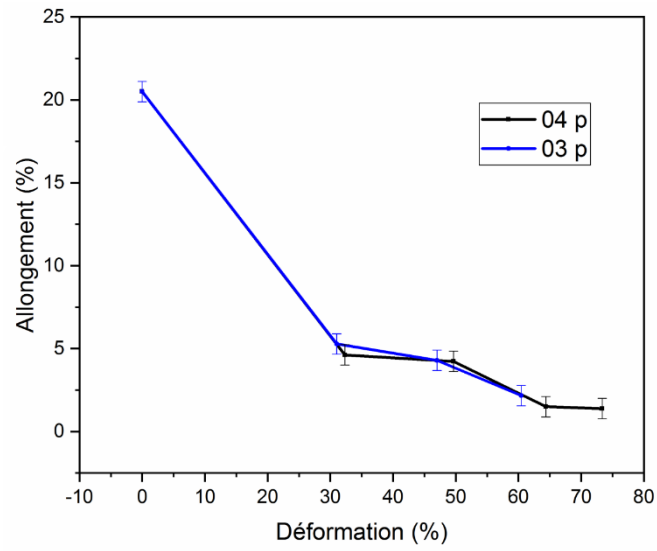


Figure 26: .Courbe de variation de Allongement (%) en fonction du taux de réduction ( 4 passes et 3 passes).

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale

L'étude des fils d'acier tréfilés, nous a permis de déduire les conclusions suivantes :

- Une diminution de la taille des grains des grains suivant la section transversale.
- Cette diminution est accompagnée par un durcissement qui augmente avec la déformation appliquée.
- Les courbes d'évolution de la limite élastique et la résistance mécanique au cours du tréfilage semblent parallèles.
- L'examen de l'allongement du fil en fonction de la déformation semble exprimer un phénomène produit lors du tréfilage multi passe.
- La comparaison effectuée, sur les deux gammes étudiées, n'a pas permis d'établir une relation de loi de comportement.
- L'écroutissement induit par la déformation plastique passe par différentes configurations qui ne peuvent être décrites par une seule loi de comportement

# **REFERNCES BIBLIOGRAPHIQUE**

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

---

- [1] FELLAH Lahcen « Etude des fils électrique tréfilés », thèse de Magister, université de biskra, 2010
- [2] DJIMAOUI Toufik « Etude de comportement structural et mécanique des fils tréfilés en Acier doux destinés pour la fabrication des électrodes de soudure à TREFISOUD » thèse de doctorat, université de biskra ,2018
- [3] ZIDANI Mosbah « texture et recristallisation lors de recuit de fil d'acier doux (0.06%C) tréfiler a froid », thèse de doctorat, université de BISKRA ,2006
- [4] precis de métallurgie metallurgie applique 3eme edition, Lvoisier, 1981.
- [5] [<http://deuns.chez.com/sciences/matiere/disloc34.html>].
- [6] Jean Philibert, Alain Vignes, Métallurgie – 2ème édition,2013.
- [7] I.Lakhtine. Métallographie et traitements thermiques des métaux 3eme edit.mir 1982
- [8] BAYARASO Mokhtar « Effet des traitements de vieillissement sur l'évolution de la structure et les propriétés mécaniques des fils en alliages d'aluminium (AGS) tréfilés à L'ENICAB». Thèse de doctorat , université de Biskra, 2018
- [9] BAIRA Fayçal « étude de l'évolution de la microstructure et la texture et des propriétés mécaniques et électriques dans les fils de cuivre tréfiles industriellement et recuits » these de doctorat, université de Biskra, 2017
- [10] Mohamed Djamel HADID, « Etude et caractérisation de la microstructure et la texture d'un fil d'un fil d'aluminium (tréfilé/recuit »Thèse Doctorat, université – Biskra,2017
- [11] G. VEGA et al , Comportement mécanique en grandes déformations : cas du tréfilage d'un cuivre , 9ième Congrès de Mécanique, FS Semlalia, Marrakech .
- [12] André LEFORT , Tréfilage de l'acier , Techniques de l'Ingénieur 2010.

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

---

[13] Carole LEVRAU « Compréhension et modélisation des mécanismes de lubrification lors du tréfilage des aciers inoxydables avec les savons secs » Thèse de Doctorat, Ecole nationale Supérieure des mines de PARIS.

[14] technique de l'ingénieur, article M3125

[15] Maryline CLERGÉ, « Simulation numérique du soudage à l'électrode Enrobée d'assemblages d'angle en acier S535» Thèse de Doctorat, Université de METZ.

[16] TREFISOUE « Manuel de l'entreprise »

[17] JAMES A.PENDER « LE SOUDAGE »

[18] Adnen KECHAOU«ETUDE DU SOUFFLAGE MAGNETIQUE DE L'ARC ELECTRIQUE DE SOUDAGE »Thèse de Doctorat, Université de Liège,2013.

[19] GNMEBA. Préparation des échantillons pour les observations en MEB et analyses. Version de 28/11/2007.

[20] Marc Blétry « méthodes de caractérisation mécanique des matériaux ,2006/2007.

[21]<https://www.emcotest.com/fr/lunivers-des-essais-de-durete/connaissances-de-la-durete/theorie-des-essais-de-durete/vickers-96/deroulement-de-la-methode-d-aposessai-vickers-445/> consulte 6/13/2019 à 14 :10

[22] Claudia PALACIO ESPINOSA « Etude du comportement élastique et plastique de revêtements élaborés par projection plasma : Mise au point d'une méthode de caractérisation des propriétés mécaniques par perforation et comparaison avec les propriétés obtenues par indentation » archives ouvertes HAL 2017.

### المخلص :

تهدف هذه الدراسة إلى مقارنة خصائص ميكانيكية لعينات أسلاك من الفلاذ اللين مصنعة بالقلذ، ولقد أخذنا سلسلتين 3 و4

ومقارنة التشوه الناتج عنهما وتوضيح منحنيتهما حيث استنتجنا:

- زيادة الصلاده مع زيادة التشوه.

وجدنا توازي منحنيات السلسلتين في حد المرونة والمقاومة الميكانيكية القصوى عند اختبار الشد

وبالمقارنة لم نتمكن من إيجاد علاقة مقارنة ثابتة في هذا التشوه اللدن والتي نأخذ عنها مستقبلا.