

## **ETUDE DE COMPORTEMENT AU TREFILAGE DES FILS EN ACIER DOUX DESTINES POUR DES APPLICATIONS INDUSTRIELS**

**T.Djimaoui<sup>1</sup>, M.Zidani<sup>1</sup>, A. Kistrane Bouzidi<sup>1</sup>, M.C.Nebbar<sup>1</sup>,  
L.Mebarki<sup>1</sup> T.Abid<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Laboratoire de Génie Energétique et Matériaux, Université de Biskra  
- B.P: 145 – Biskra – 07000 Algérie*

<sup>2</sup> *Tréfisoud - Z. I B.P 09 El Eulma – Sétif*

### **Résumé**

Dans cette étude, on a examiné l'influence de la composition et de la structure initiale du fil en acier doux destiné pour des applications industriels (fabrication des électrodes de soudure, la galvanisation à chaud...etc), ainsi que celle des conditions de tréfilage sur les caractéristiques mécaniques (dureté) des aciers à bas carbone. Un traitement préliminaire de décapage chimique ou mécanique, effectué avant tréfilage, permet d'améliorer les conditions de tréfilage. Ce procédé de mise en forme fait intervenir principalement des phénomènes de durcissement par écrouissage et de consolidation des propriétés mécaniques, dont certains évolutions et aspects ont été étudiés.

**Mots clés :** Fil Machine, Acier Doux, Tréfilage, Déformation Plastique, Taux de Réduction, Microstructure, Micro Dureté.

### **1. Introduction**

Les fils tréfilés constituent une gamme variée de produits obtenus par formage à froid. Les aciers utilisés pour ces applications doivent non seulement avoir une composition et une structure qui permettent un tréfilage sans incident dans les conditions industrielles, il faut aussi que les fils obtenus possèdent un ensemble de propriétés mécaniques garantissant une bonne mise en œuvre finale et un comportement en service satisfaisant [1]. Suivant les emplois visés, ces caractéristiques peuvent être : la limite d'élasticité, la résistance, le comportement lors du soudage, etc.

Les propriétés mécaniques obtenues après tréfilage dépendent d'un grand nombre de paramètres.

La composition chimique et la microstructure initiales fixent les caractéristiques de départ. Suivant les conditions du tréfilage cet état initial conduira à un niveau variable des différentes caractéristiques à l'état tréfilé : taux de réduction, nombre et géométrie des filières utilisées, vitesse de déformation, etc.

Le fil en acier doux destiné pour fabrication des électrodes de soudure et/ou la galvanisation à chaud, a été tréfilé à froid industriellement jusqu'à une réduction de section de 41 % après six passes de réduction successives (Tableau 2). Cette déformation entraîne d'importantes modifications de la microstructure et de la texture [2]. Nous avons donc, dans cette étude, examiné l'évolution de la microstructure et les caractéristiques mécaniques des fils tréfilés en fonction du taux de réduction de section et les conditions de tréfilage.

## 2. Matériau et méthode expérimentale

### 2.1 Acier étudié

L'étude a été réalisée sur un acier tréfilé contenant 0.097% en masse de carbone (acier doux), les teneurs en Si, Mn, S et P sont celles des nuances industrielles et sont reproductibles d'une coulée à l'autre. La composition exacte est donnée dans le tableau 1.

**Tableau 1. Composition chimique de fil machine (Etat brut)**

Eléments	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>Ni</b>	<b>Al</b>	<b>N</b>
(en %)	0.097	0.20	0.34	0.006	0.003	0.043	0.003	0.021	0.015	0.019
Eléments	<b>Co</b>	<b>Cu</b>	<b>Ti</b>	<b>Pb</b>	<b>Sn</b>	<b>As</b>	<b>Bi</b>	<b>Sb</b>	<b>Fe</b>	
(en %)	0.007	0.046	0.001	<0.002	0.004	0.009	<0.002	0.007	99.1	

### 2.2 Procédé de Tréfilage

Le tréfilage est un procédé de mise en forme à froid qui permet de réduire le diamètre d'un fil par passages successifs dans des filières de diamètre décroissant en présence de lubrifiant. Ceci entraîne une diminution de section du fil accompagnée d'un renforcement par écrouissage.

Le caractère continu de ce procédé de déformation implique la nécessité de conserver le débit volumique entre chaque passe (chaque filière). Il est ainsi possible dans certains cas d'atteindre des vitesses de tréfilage supérieures à 20 m/s pour les fils les plus fins, correspondant à une vitesse moyenne de déformation de l'ordre de  $2.10^4 \text{ s}^{-1}$ .

Le fil machine de diamètre 5.5 mm est tréfilé dans des conditions industrielles : décapage acide, passivation, tréfilage avec lubrification à l'aide de stéarate de calcium sec, Dans ce travail, on a prélevé des échantillons de fil à la sortie de toutes les filières.

Pour réaliser cette étude deux taux de déformation sont mesurés. Le taux de déformations est calculé à partir de l'équation suivante :

$$[(S - s)/S] \times 100 \quad (2.1)$$

S: section avant déformation

s : section après déformation

Le tableau II illustre les différents taux de déformations utilisés dans ce travail.

**Tableau 2 : Taux de déformation des fils d'acier**

Diamètre (mm)	Taux de déformations (%)
$\varnothing_{\text{Fil machine}} = 5.5$	0
$\varnothing_1 = 4$	$\varepsilon_1 = 28$
$\varnothing_2 = 3.25$	$\varepsilon_2 = 41$

### 3. Résultats d'analyses et discussion

#### 3.1 Evolution microstructurale

##### 3.1.1 Microstructure initiale du fil machine

La figure 1 montre la microstructure du fil machine à l'état de réception, état brut de refroidissement contrôlé après laminage, en effet, il s'agit d'une structure ferréto-perlitique relativement hétérogène dans la section du fil, due à la vitesse de refroidissement lors de la mise en forme des fils entre la zone centrale et la périphérie. Avec une forme équiaxiale des grains ferritiques de taille moyenne de  $10\mu\text{m}$ .

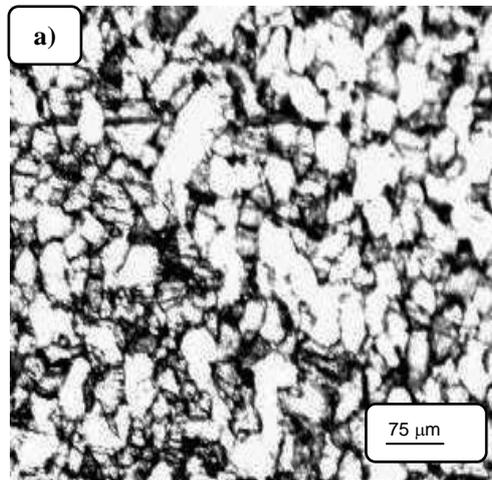
La ferrite  $\text{Fe}\alpha$ , constituant majeur, est une solution solide d'atomes de carbone situés dans les sites interstitiels d'un réseau cubique centré d'atomes de fer. A l'équilibre, la solubilité du carbone dans la ferrite est très faible : de l'ordre de 0,02 % en masse à  $723^\circ\text{C}$ ,

elle est inférieure à  $10^{-4}$  % en dessous de  $200^{\circ}\text{C}$ . A température ambiante, le paramètre de maille de la ferrite vaut  $a=0,2866$  nm.

La cémentite  $\text{Fe}_3\text{C}$  est un composé défini cristallin de maille primitive orthorombique contenant 12 atomes de fer et 4 atomes de carbone. A la température ambiante, les paramètres de cette maille valent  $a=0,4526$  nm,  $b=0,5091$  nm et  $c=0,6743$  nm [3].

La perlite constituant des fils, est un eutectoïde contenant 87% de ferrite ( $\text{fer}\alpha$ ) et 13% de cémentite ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). La photographie (Fig.1-a) prise sur un fil machine montre la structure lamellaire de cette perlite.

Les deux constituants de la perlite ont des caractéristiques très différentes, la ferrite a une dureté Brinell de 75HB, alors que celle de la cémentite est de l'ordre de 700HB. Il en résulte que durant le tréfilage, la majeure partie de la déformation s'effectue dans le domaine ferritique.



**Figure 1.** Microstructure par MO de : a) fil machine, état brut

### 3.1.2 Evolution de la microstructure du fil tréfilé

Comparativement à l'état initial, les microstructures obtenues pour des états tréfilés respectivement aux taux de réduction  $\varepsilon_1 = 28$  % et  $\varepsilon_2 = 41$  % (Figure.2) permettent de mettre en évidence la réduction de la distance interlamellaire de la perlite avec l'augmentation du taux de réduction par tréfilage (Figure.2 b-c). Embury et Fisher (1966) [4] et Languillame et al (1997) [5] avaient notés que l'effet de tréfilage provoque l'allongement de la microstructure de telle sorte que l'épaisseur des lamelles de cémentite diminue avec l'augmentation du taux de tréfilage. Donc, à faibles et moyennes déformations, les principaux phénomènes microstructuraux semblent agir à l'échelle

microscopique des lamelles. Ils correspondraient à une orientation des lamelles de cémentite dans l'axe de tréfilage, une déformation et un affinement de ces dernières [6].

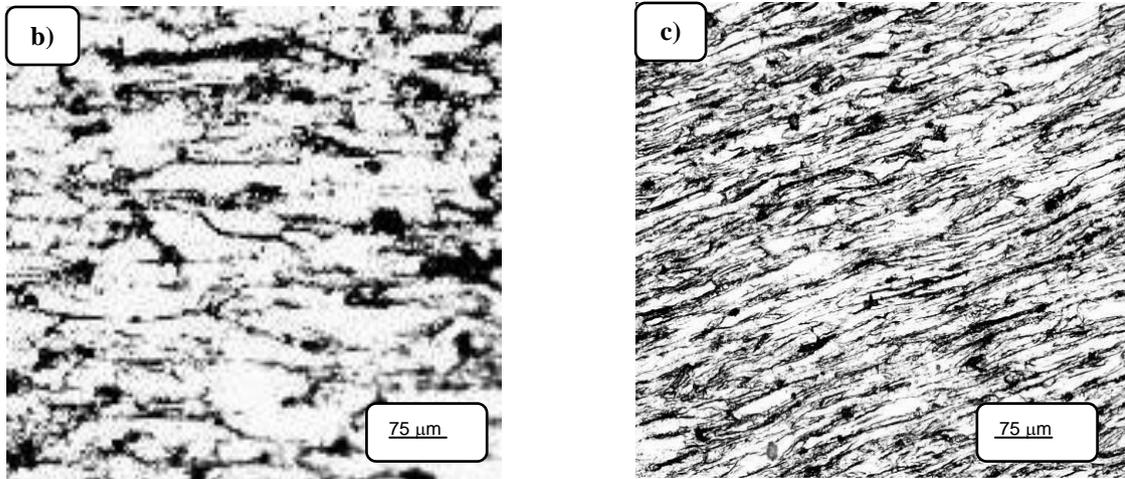


Figure 2. Microstructure par MO : **b)**  $\epsilon_1 = 28 \%$  et **c)**  $\epsilon_2 = 41 \%$

#### 4. Analyse par diffraction des rayons X

La figure 3 présente l'évolution des spectres des rayons x de l'état brut (a) et états tréfilés (b) et (c) liés respectivement aux taux de déformation  $\epsilon_1 = 28 \%$  et  $\epsilon_2 = 41 \%$ .

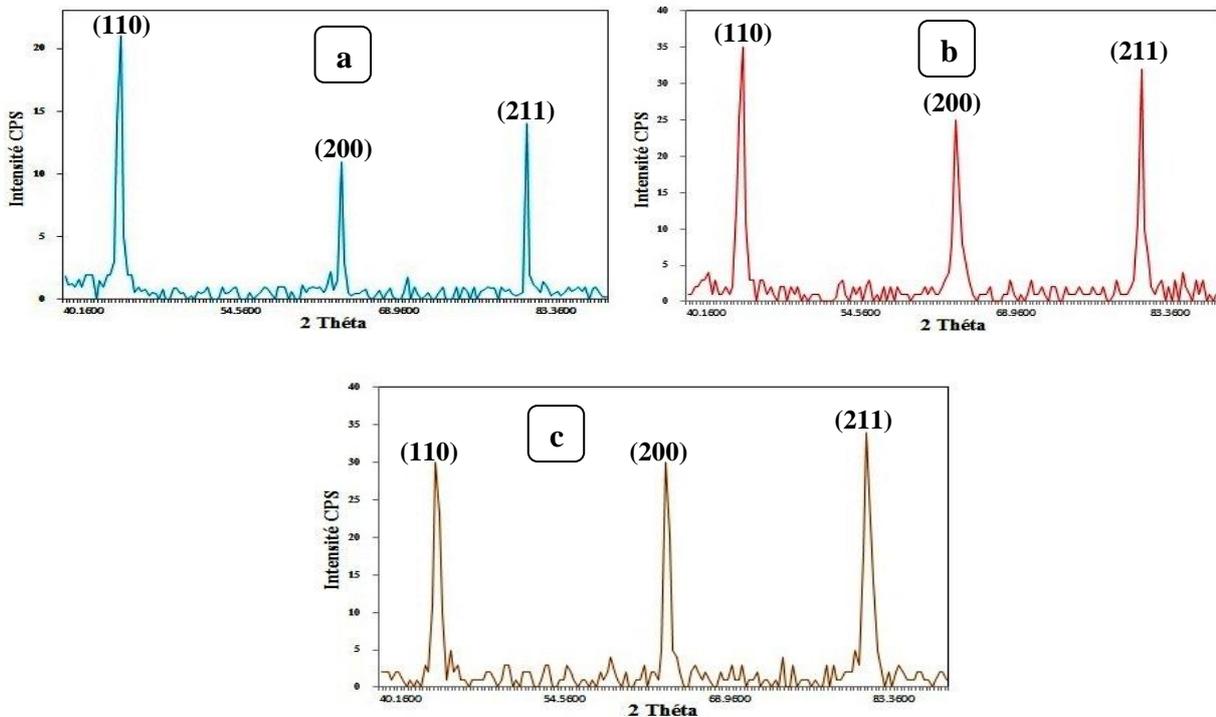
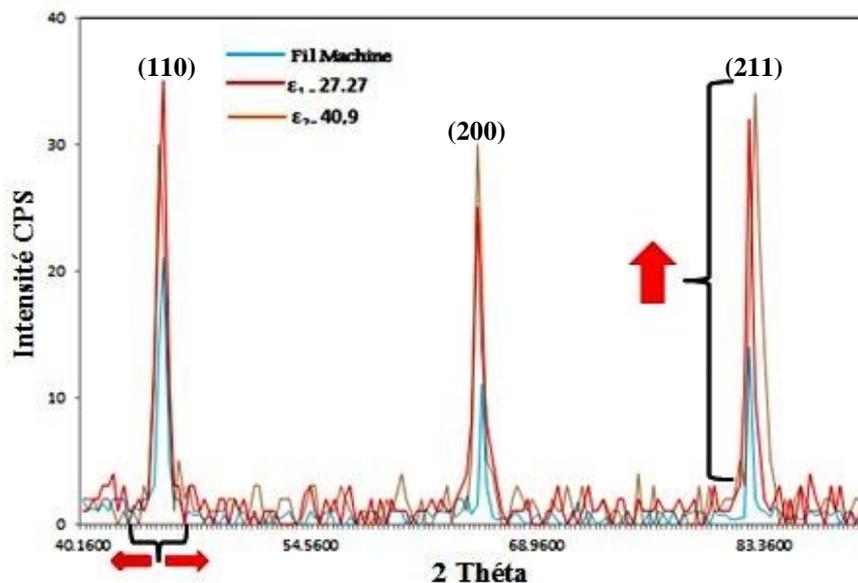


Figure 3. Spectres de DRX des échantillons : **a)** Fil machine (état brut) **b)**  $\epsilon_1 = 27.27 \%$  et **c)**  $\epsilon_2 = 40.9 \%$

L'analyse de ces spectres de diffraction (figure 3) montre qu'ils sont constitués de ferrite ( $Fe\alpha$ ). Nous pouvons remarquer d'une part des variations des intensités de pics par rapport l'état initial (fil machine) ou les intensités croissent d'une manière considérable (Figure 4). Cela indique que les grains s'orientent suivant l'axe de tréfilage (texture) et d'autre part nous pouvons constater l'élargissement des pics après déformation par tréfilage (Figure 4).

D'autre part, un phénomène d'élargissement des pics de la ferrite au cours de la déformation à froid par tréfilage a été observé. Cet élargissement des pics ferritiques est dû à l'affinement des grains après le procédé de tréfilage et à l'augmentation des contraintes internes au niveau de la structure comme montré par, l'autre cause est l'augmentation de l'énergie stockée avec le taux de déformation par tréfilage. Ce résultat ayant été abordé par plusieurs études menées dans ce sens par rayons X [2]



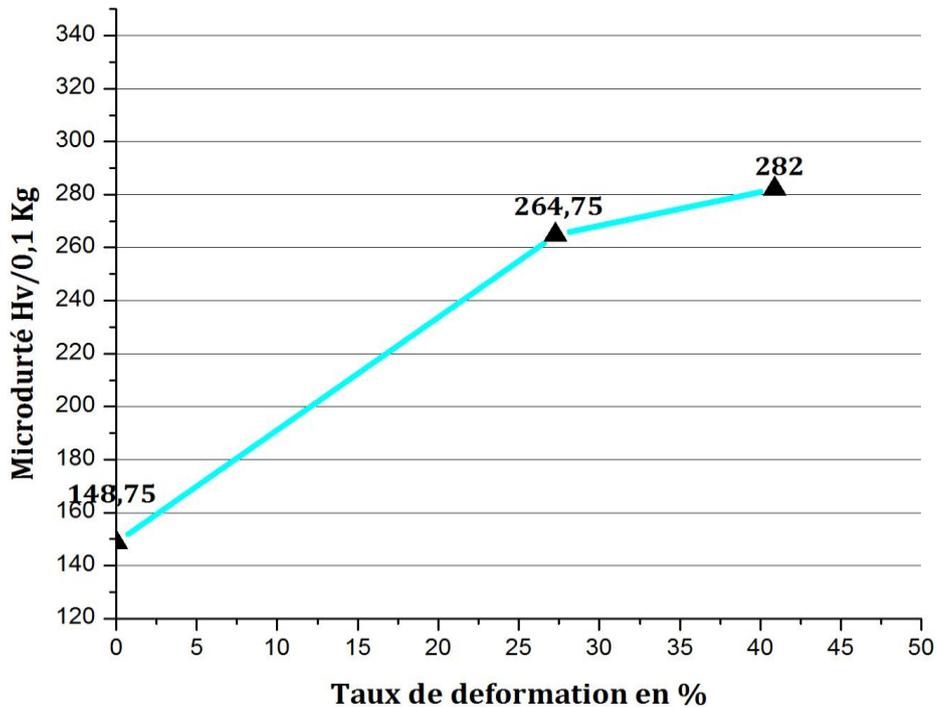
**Figure 4.** Superposition des spectres RX

#### 4. Evolution des propriétés des fils tréfilés

##### 4.1 Evolution de la microdureté

L'évolution des propriétés de fil machine et des fils tréfilés est principalement examinée par la variation de la microdureté en fonction du taux de déformation. La figure 5, montre clairement l'accroissement de la dureté graduellement en fonction avec l'augmentation du

taux de réduction en passant de 148 Hv, dureté de l'état initial à 264Hv puis 282 Hv respectivement des duretés mesurées des états tréfilés ( $\epsilon_1 = 27.27\%$  et  $\epsilon_2 = 40.9\%$ ). Ceci est en effet peut être expliqué par l'effet de la réduction de la distance interlamellaire de la perlite avec l'augmentation du taux de tréfilage, durant lequel des dislocations sont introduites et se multiplient tout en contribuant au durcissement du fil [7,8].



**Figure 5.** Evolution de la microdureté en fonction du taux de déformation  
 $\epsilon_1 = 27.27\%$  et  $\epsilon_2 = 40.9\%$

## 5. Conclusion

Ce travail consiste à l'étude du comportement au tréfilage des fils en aciers doux destinés principalement pour des électrodes de soudure et/ou la galvanisation à chaud. Cette étude des fils d'aciers tréfilés nous a permis de déduire les conclusions suivantes :

L'évolution microstructurale des fils d'acier doux cours du tréfilage est complexe et dépend de nombreux paramètres et mécanismes mis en jeu. Il semble qu'aux faibles et moyennes déformations, les principaux phénomènes microstructuraux semblent agir à l'échelle microscopique des lamelles. Ils correspondraient à une orientation des lamelles de cémentite dans l'axe de tréfilage, une déformation et un affinement de ces dernières.

- le tréfilage provoque un affinement des grains et l'augmentation de l'énergie stockée avec le taux de réduction par tréfilage, résultat expliqué par l'élargissement des pics de la ferrite au cours de la déformation à froid par tréfilage.
- le durcissement du matériau est expliqué par la réduction de la distance interlamellaire de la perlite avec l'augmentation du taux de tréfilage, durant lequel des dislocations sont introduites et croissent.

## Références

- [1] M. DEGUEN, J. DESALOS, L. ROESCH, G. SANZ " *Aptitude des Aciers au Formage à Froid* », Rapport Final (1.4.1975 - 30.9.1978) IRSID, Saint-Germain-en-Laye, (1981).
- [2] M.ZIDANI, " *Texture et recristallisation lors de recuits du fil d'acier doux (0,06% C) tréfilé à froid*", Thèse de doctorat, Université de Biskra, (2006).
- [3] A. LAMONTAGNE " *Etude Des Mechanisms Physiques Responsables des Evolutions Microstructurales des Aciers Perlitiques au Cours du Tréfilage et du Vieillissement Post-Tréfilage*" Thèse de Doctorat, INSA Lyon, (2014)
- [4] J. D. EMBURY R. M. FISHER" *The Structure and Properties of Drawn Pearlite*", Acta Metallurgica, Vol 14, P.147-159 (1966).
- [5] J. LANGUILLAUME, G. KAPELSKI, B. BAUDELET," *Cementite Dissolution in Heavily Cold Drawn Pearlitic Steel Wires*", Acta Materialia, vol.45, P.1201-1212 (1997).
- [6] M.ZIDANI, Z.BOUMERZOUG, T. BAUDIN and R. PENELLE, "*Texture and Evolution of Recrystallization in Low Carbon Steel Wire*". Materials Science Forum, Vol.514-516, p.554-558 (2006).
- [7] M.ZIDANI, Z.BOUMERZOUG, T. BAUDIN and D. SOLAS, "*Temperature and deformation effects on the recrystallization microstructure and texture of wire draw steel*", Materials Science Forum, Vol.550, p.447-452 (2007).
- [8] M.ZIDANI, S. MESSAOUDI, T. BAUDIN, D. SOLAS and M. H. MATHON, "*Deformation Textures in Wire Drawn Perlitic Steel*", International Journal of Material Forming, Vol.3, p.7-11 (2010).