

S. Derfouf<sup>1</sup> A. Brima<sup>1</sup> et T. Baudin<sup>2,3</sup>

## Analyse par diffraction neutrons de la texture d'un acier industriel à faible pourcentage en carbone avant et après emboutissage

S. Derfouf<sup>1</sup> A. Brima<sup>1</sup> et T. Baudin<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>: Département de Mécanique, Université de Biskra, 07000 Biskra

<sup>2</sup>: CNRS, UMR8182, ICMMO, Laboratoire de Physico-Chimie de l'Etat Solide, Orsay, F-91405

<sup>3</sup>: Université Paris-Sud, Orsay, F-91405.

E-mails : [cderfouf@lgm-ubiskra.net](mailto:cderfouf@lgm-ubiskra.net) et [Thierry.Baudin@u-psud.fr](mailto:Thierry.Baudin@u-psud.fr).

**Résumé :** Dans ce travail, une analyse de texture par diffraction neutrons avant et après déformation mécanique par le procédé d'emboutissage d'un acier faiblement allié et à faible pourcentage en carbone (0,19%) à été étudié, cet acier est destiné à la fabrication des réservoirs à gaz.

Pour réaliser notre objectif deux types de spécimens ont été investis, le premier concerne le métal de base à son état de livraison et le second après son passage à la presse sous une force de 200 tonnes soit après le procédé d'emboutissage. La fibre  $\alpha$  et la fibre  $\gamma$  ont été clairement identifiés ainsi que leurs composantes.

Ce travail représente une contribution quantitative dans l'étude de ce type d'acier industriel par l'usage de la caractérisation des diffractions neutrons et l'analyse ODF des neutrons.

**Mots clés :** Diffraction Neutrons- aciers à faible pourcentage en carbone- texture- emboutissage.

### Introduction:

La texture du Fer et des aciers faiblement alliés à faible pourcentage en carbone et indépendante de leurs composition et des différents procédés de leurs obtentions même si les non homogénéités microstructurales sont majeurs des bandes durs dans de tels matériaux leur effet est minime. [1], la déformation des textures des métaux qui cristallisent selon le système CC ainsi que leurs éléments alliés aussi sont généralement très complexes relativement aux métaux qui cristallisent selon les systèmes CFC et en dépit du fait que la dominante importance des aciers industriels n'ont pas été tellement pris en compte dans le domaine de la recherche [1] (Tableau 3.3) de [1] donne les indices de Miller et même les angles de Miller des différentes importantes composantes de textures des métaux CC.

Cependant dans plusieurs cas, la plus importante information peut être retrouvée juste dans la seule section particulière à  $\Phi_2=45^\circ$  et la majorité des auteurs actuellement préfèrent cibler leurs discussions sur les textures CC des aciers en terme de cette section.

C'est à dire que les composantes principales s'allongent en deux bandes pour former une lettre. La bande d'en haut à droite représente la fibre partielle de texture avec l'axe de la fibre

$\langle 110 \rangle$  parallèle à la direction d'enroulement et se propage de  $(001)[110]$  à approximativement  $(111)[110]$  de manière que l'angle  $\Phi$  varie de  $0^\circ$  à  $\approx 55^\circ$ , et qui inclut les composantes  $\{001\}\langle 110 \rangle$ ,  $\{211\}\langle 011 \rangle$  et  $\{111\}\langle 011 \rangle$  habituellement connue comme la fibre  $\alpha$ . La bande horizontale produite de  $\Phi \sim 55^\circ$  et qui se propage vers toutes les valeurs de  $\Phi$ . Cette fibre  $\gamma$  peut être décrite comme une fibre de texture complète avec  $\langle 111 \rangle$  qui est parallèle à la plaque normale [1].

L'emboutissage dépend surtout de l'anisotropie et en conséquence de la texture. Les matériaux des structures cubique centrées CC ont une texture idéal pour l'emboutissage lorsqu'un grand nombre de grains sont orientés avec le plan  $\{111\}$  parallèle à la plaque plane. Ce type de texture est connu comme la fibre  $\gamma \langle 111 \rangle // ND$ . La fibre  $\gamma$  est produite le long de  $\phi_1$  a des valeurs constantes de  $\Phi_2 = 45^\circ$  et  $\Phi = 55^\circ$ .

Deux intéressantes références dans le domaine du formage à froid et sa relation avec l'emboutissage pour les aciers à faible pourcentage en carbone et faiblement allié ont été publiés par Hutchinson (1984) [4] and Ray et al. (1994). [5]

En plus, il existe une nouvelle vue d'ensemble par Humphreys and Hatherly (2004) [1] dans la texture des matériaux dans le système CC, la fibre  $\beta$  qui représente la ligne du squelette (skeleton line), est aussi influencé par le procédé de l'emboutissage.

La ligne du squelette est définie comme la ligne qui lie et connecte les points des intensités maximales dans les sections  $\Phi_1$ , qui ont comme variable  $\Phi_2$  et comme coordonnées  $\Phi$ . Daniel and Jonas (1990) [6] and Daniel et al. (1993) [7] ont étudié le phénomène d'anisotropie dans les aciers emboutis.

Dans leurs travaux, ils ont conclu que dans les aciers emboutis développent une forte fibre  $\gamma$  et la ligne de squelette se dévie quelque peu de la fibre  $\alpha$  passant à travers l'orientation  $\{554\} \langle 225 \rangle$ .

La propagation de la direction normale (ND) varie selon le type de l'acier et selon  $\phi_1$ . La plus grande est disséminée dans la ligne de. [3].

La diffraction neutron a été utilisée pour déterminer les contraintes résiduelles [8] et dans ce but une extensive analyse avec usage d'outils modern d'analyse de textures ont fait objet de notre travail.

Ce travail est aussi une recherche d'éventuelles composantes et confirme la tendance des théories développées dans les textures des aciers faiblement allié et à faible pourcentage en carbone après emboutissage.

## **Procédure expérimentale**

L'acier utilisé est destiné à la fabrication des bouteilles à gaz sa composition chimique est donné dans le tableau suivant cet acier subit le procédé de déformation plastique par emboutissage dans une presse hydraulique sous une charge de 200 MPa.

Acier	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Al%	Ni%	Mo%	Ti%
%	0.19	0.25	0.4	0.025	0.015	0.09	0.009	0.05	0.03

**Tableau 1:** composition chimique de l'acier utilisé

L'analyse de Texture par la diffraction neutron à été utilisé pour l'acier dès son état de livraison et après emboutissage, au laboratoire (LLB, CEA, Saclay, France), au laboratoire Léon Brillouin sur le diffractomètre à quatre - cercles 6T1. La description complète des détails expérimentaux peuvent être consultés sur le LLB web site ([www.llb.cea.fr](http://www.llb.cea.fr)).

De la mesure de {110}, {200} et {211} (en utilisant une grille de 5° x 5°) et des figures de pôles corrigées, la distribution des fonctions des orientations (ODF) en anglais « the orientation distribution function » sont calculées par l'usage du logiciel LaboTex ([www.labosoft.com.pl](http://www.labosoft.com.pl)) permettant la détermination de la fraction volumique et les composantes de la texture.

## Résultats et discussion

Les seules sections particulières des ODF a  $\varphi_2 = 45^\circ$  de l'acier à l'état livré et après procédé d'emboutissage sont montrés dans les figures 2 a-b. à noter que la plus importantes information peut être dévoilé par ces seules sections particulières des ODF. Principalement, la texture de ce matériau est typique à celle de la texture des métaux CC et les éléments alliés constituent essentiellement les composantes des fibres  $\alpha$  et  $\gamma$ .

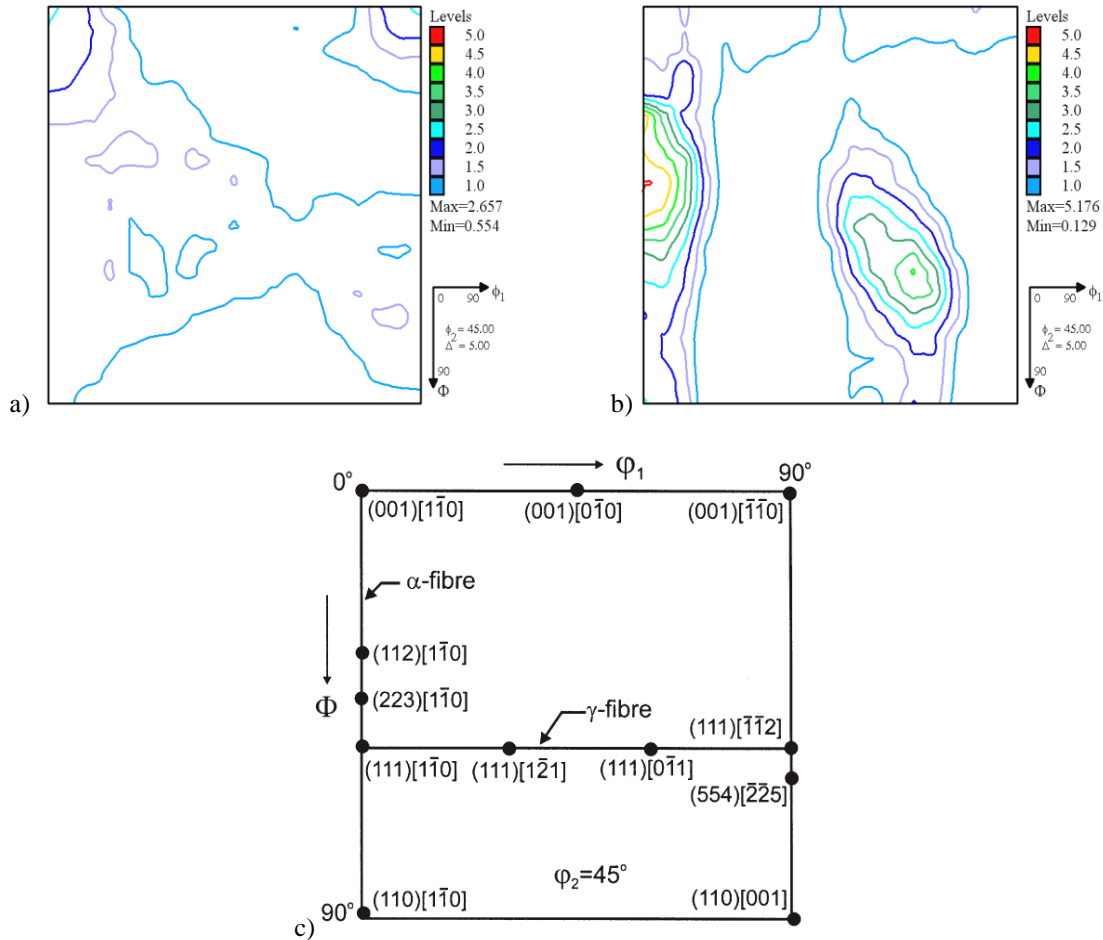
L'évaluation quantitative des ODF et la fraction volumique des composantes de la texture et des fibres des différents spécimens caractérisés sont présentés dans le Tableau 2. La Figure 3 incrémente les densités des orientations le long des fibres  $\alpha$  et  $\gamma$  de l'acier faiblement allié à faible pourcentage en carbone après la déformation plastique à froid de l'emboutissage.

L'acier industriel faiblement allié et à faible pourcentage en carbone et à son état livré montre une faible texture (Figure 2a) spécifié par la composante notable {001} <1-10>. Manifestement il n'y à aucune trace évidente qui marque les fibres ou leurs composantes. Une telle texture à déjà était observée dans les aciers faiblement allié et à faible pourcentage en carbone après une faible déformation et peut être expliqué par la rotation du cristal qui est observé dans les spécimens à textures initiales tranchantes [4].

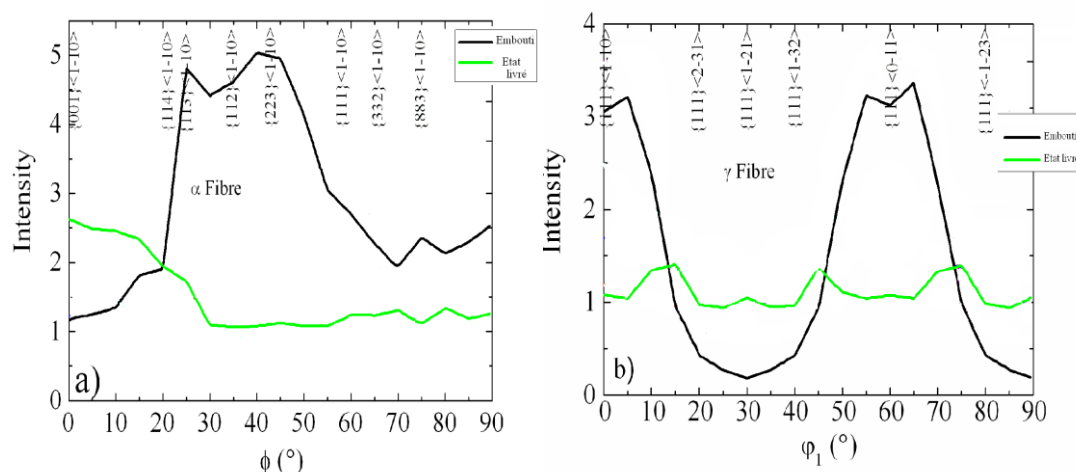
La figure 2b montre que le procédé de déformation plastique qui est l'emboutissage modifie complètement la texture initiale. Les composantes des fibres  $\alpha$  et  $\gamma$  se distinguent comme

suit : fibre  $\alpha$  (avec  $\{113\} \langle 0-11 \rangle$ ,  $\{112\} \langle 0-11 \rangle$ ,  $\{223\} \langle 0-11 \rangle$ ) et  $\gamma$  (avec  $\{111\} \langle 1-10 \rangle$ ,  $\{111\} \langle 0-11 \rangle$ ).

La fraction volumique maximale est pour la composante de la fibre  $\alpha$  pour une valeur de 8.5 de la composante  $\{101\} \langle 1-10 \rangle$ , ces résultats confirment que la texture obtenue après emboutissage d'un acier faiblement allié et à faible pourcentage en carbone est typique pour les matériaux CC.



**Figure 2:** ODF d'un acier industriel à faible pourcentage en carbone a) état livré, b) après emboutissage, c) localisations importantes des composantes de texture des matériaux CC ([10]).



**Figure 3:** Les densités d'orientation  $f(g)$  le long des fibres a)  $\alpha$  et b)  $\gamma$  fibres a  $\phi_2 = 45^\circ$  pour un acier industriel faiblement allié à faible pourcentage en carbone : à son état livré et après emboutissage

Acier	Etat livré		Après emboutissage	
	$f(g)$	$f_v$	$f(g)$	$f_v$
{001}<1-10>	2.63	6.49	1.14	8.54
{113}<1-10>	1.60	3.41	4.16	7.52
{112}<1-10>	1.07	2.90	4.57	7.14
{223}<1-10>	1.10	2.49	4.80	6.50
{111}<2-31>	1.05	2.72	0.52	5.16
{111}<0-11>	1.07	1.77	3.10	4.05

**Table 2:** Valeurs ODF et la fraction volumique des composantes de la texture calculées pour un acier industriel à faible pourcentage en carbone à son état de livraison et après emboutissage.

### Conclusion:

Enfin et après interprétation des résultats obtenus nous pouvons conclure que :

- L'acier étudié dès son état et conditions de livraison présente une microstructure contenant de la ferrite et de la perlite, avec une faible texture dans laquelle les fibres  $\alpha$  et  $\gamma$  sont absentes.
- Le résultat de déformation après emboutissage conduit à la formation d'une texture caractérisée par la présence des composantes des fibres  $\alpha$  et  $\gamma$ .

### References:

[1] HUMPHREYS F.J., HATHERLY M.: Recrystallization and Related Annealing Phenomena, Second Edition (Pergamon Materials Series),

- [2] HUTCHINSON W.B., 1984. Development and control of annealing textures in low-carbon steels. *Int. Met. Rev.* 29, 25–42.
- [3] RAY R.K., JONAS J.J., HOOK R.E., 1994. Cold rolling and annealing textures in low carbon and extra low carbon steels. *Int. Mat.Rev.* 39, 129–172.
- [4] INAGAKI H. and SUDA T., *Texture*, 1972, Vol.1, 129-140.
- [5] CLAPHAM L., ABDULLAH K., JESWIET J.J., WILD P.M., ROGGE R., 2004. Neutron diffraction residual stress mapping in same gauge and differential gauge tailor-welded blanks, *Journal of Materials Processing Technology* 148, 177–185.
- [6] LORENTZEN T. and IBSO J.B., 1995. Neutron diffraction measurements of residual strains in offshore welds. *Mater. Sci. Eng. A (I)* 197 (2), 209-214.
- [7] PEARCE S.V. and LIN V.M., 2006. Neutron diffraction measurement of residual stress in high strength, highly restrained, thick section steel welds, *Physica B* 385–386, 590–593.
- [8] ALMOJIL M, BATE P.S. 2010. Cold Rolling and Annealing Microstructures and Textures of Low Carbon Steels. *Materials Science Forum* Vols. 654-656, 214-217
- [9] SAMAJDAR I, VERLINDEN B, KESTENS L, VAN HOUTTE P, 1999. Physical parameters related to the developments of recrystallization textures in an ultra low carbon steel. *Acta mater.* Vol. 47, No. 1, pp. 55-65.
- [10] HUTCHINSON W.B, RYDE L, 1997. In *Thermomechanical Processing*, eds. Hutchinson et al., ASM, Ohio, 145.