

## EFFET DU CHARGEMENT CYCLIQUE MULTIAXIAL SUR LE PHENOMENE DE ROCHET DE L'ACIER INOXYDABLE AUSTENITIQUE 304L

Fatiha. BOUSSALIH<sup>1</sup>, Salim. MEZIANI<sup>2</sup>, Atman FOUATHIA<sup>3</sup>

1,2, Laboratoire de Mécanique, université des Frères Mentouri Constantine 1 Algérie

3 Ista Mécanique, université des Frères Mentouri Constantine 1, Algérie

Reçu le 17 Janvier 2018 – Accepté le 10 Juin 2018

### Résumé

Ce travail traite de l'écrouissage et l'analyse du comportement macroscopique phénoménologique non linéaire de l'acier inoxydable austénitique 304L, soumis à un chargement mécanique cyclique multiaxial de traction/ torsion à déformation et à contrainte imposées. On évoquera ainsi la manifestation de deux phénomènes : sur-écrouissage et Rochet. Un essai comparatif entre Rochet 1D et 2D ayant la même contrainte moyenne a été discuté.

Le comportement du matériau sous chargement cyclique est modélisé en utilisant le modèle de Chaboche..

**Mots clés** : *Chargement cyclique croisé ; Elasto-plastique ; Sur-écrouissage ; Rochet ; Chaboche.*

### Abstract

This work deals with work hardening and the analysis of the macroscopic nonlinear macroscopic behavior of austenitic stainless steel 304L, subjected to a cyclic mechanical loading of multiaxial tensile / torsion strain and strain imposed. We will thus evoke the manifestation of two phenomena: over-hardening and Rochet. A comparative test between Rochet 1D and 2D with the same average stress was discussed.

The behavior of the material under cyclic loading is modeled using the Chaboche model.

**Key words**: *Cyclic cross loading; Elasto-plastic; Over-hardening; Rochet, Chaboche.*

### ملخص

يتعامل هذا العمل مع تصلب العمل وتحليل السلوك العياني غير الخطي المجهرى للفولاذ المقاوم للصدأ الأوستنيتي L304 ، الذي يخضع للتحميل الميكانيكي الدوري لسلالة الشد / الالتواء المتعددة المحاور والسلالة المفروضة. وبالتالي فإننا سوف نستحضر مظاهر ظاهرتين: الإفراط في تصلب وروشيت. تمت مناقشة اختبار مقارنة بين Rochet 1D و D2 مع متوسط الإجهاد نفسه. على غرار سلوك المواد تحت تحميل دوري باستخدام نموذج تشابوش.

**الكلمات المفتاحية** : *تحميل الصليب دوري. Elasto البلاستيك ؛ الإفراط في تصلب. روشيت ، تشابوش.*

## NOMENCLATURE

$\varepsilon_{11}, \varepsilon_{zz}$ : Déformation uni- axiale.	p: Déformation plastique cumulée
$\varepsilon_{12} : \varepsilon_{z\theta}$ Déformation de torsion	$\gamma(p)$ : Fonction exprime du durcissement cyclique du matériau
$\varepsilon^T$ : Déformation totale	R : Variable d'écrouissage isotrope
$\varepsilon^e$ : Déformation élastique	$\underline{X}$ : Tenseur variable d'écrouissage cinématique
$\varepsilon^p$ : Déformation plastique	b : Constante indiquant la rapidité de la stabilisation
$\varepsilon_{max}, \varepsilon_{min}$ : Valeurs extrêmes de la déformation axiale	Q : Variable de mémoire de l'écrouissage
$\gamma_{z\theta}$ : Déformation angulaire	C : Constante cinématique
$\gamma_{max}, \gamma_{min}$ : Valeurs extrêmes de la déformation axiale	<b>N : Nombre de cycle</b>
$\sigma_y$ : Taille initiale du domaine d'élasticité	$I_2$ : Deuxième invariant du tenseur
$\sigma_{zz}$ : Contrainte axiale	E : Module d'élasticité d'Young
$\sigma_{z\theta}$ : Contrainte de torsion	f: Fonction de charge
$\sigma_{zm}$ : Contrainte moyenne	$\underline{\sigma}^D$ : Partie déviatorique du tenseur de contrainte de Cauchy

## 1. INTRODUCTION

Le présent article s'intéresse à la connaissance du comportement élasto-plastique des matériaux utilisés, constituant un pré requis au dimensionnement. On se focalise sur les deux phénomènes macroscopiques : le sur-écrouissage et le rochet des aciers inoxydables austénitiques et la caractérisation de leur comportement cyclique sous sollicitation biaxiale à amplitudes variables.(Shafiqul Bari& Tasnim Hassan,2000),(Guozheng Kang & al., 2002),(X.Chen & al.,2003),(L.Vincent & al.,2004) ,(Guozheng Kang &al.,2005), (Lakhdar.Taleb&al.,2011), (Lakhdar Taleb& al 2013) , (Marco Antonio Meggiolaro 2015),(Tayeb Kebir & al,2017) ,( V. Mazánová, J &al 2017), (Mohammed. Saleh &al.,2018) et d'autres, furent parmi les chercheurs qui ont mené des expériences sur la multiaxialité du chargement des aciers inoxydables.

(P. Delobelle & al., 1995) ont démontré que, sous sollicitation uni- axiale, la déformation progressive est régie par les effets de la contrainte moyenne , tandis que pour les chargements biaxiaux, la déformation plastique est gouvernée par des effets de l'écoulement directionnel, dont la charge primaire (direction axiale) et secondaire (direction de cisaillement) influent sur la vitesse de déformation progressive. La réponse du matériau a été caractérisée par la manifestation du Rochet dans la direction axiale et la consolidation cyclique dans la direction de cisaillement.

(Tasnim Hassan &al., 2008); (Lakhdar Taleb & Annie Hauet,2009),(Lynda Djimli,2010), (Youcef. Bouafia &al.,2014),ont contribué d'après leurs travaux de recherche contemporaine à mieux appréhender le comportement de l'acier 304L, sous sollicitation biaxiale à trajet de

chargement proportionnel croisé, en tenant compte des différents facteurs agissant sur la réponse, tels que le trajet de chargement, l'Histoire, l'effet croisé, le taux de chargement, la température, le vieillissement, et enfin, les interactions entre ces facteurs.

Le présent article traite des essais cycliques sous chargement multiaxial contrôlés par déformation, montrant le phénomène de sur-écrouissage cyclique.(Lakhdar Taleb & Annie Hauet,2009) ont démontré que ce phénomène révélant un durcissement croisé se produit par l'application de deux chargements proportionnels combinés( traction-compression/torsion) dans deux directions différentes.

Une attention particulière a été portée sur l'analyse du phénomène phénoménologique de Rochet, représentant l'un des phénomènes le plus important qui devrait être considéré, dans la conception de composants structurels, ce phénomène phénoménologique est testé à l'aide des essais à contrainte imposée.

Une investigation consiste à la confrontation de deux Rochet 1D et 2D, autour d'une même contrainte ne moyenne non nulle, afin de mieux apprécier la sensibilité du phénomène de Rochet.

L'analyse des résultats macroscopiques permet d'évaluer l'évolution de la contrainte en fonction de la déformation plastique. En conclusion constitue la synthèse des principaux résultats de simulation obtenus est présentée.

## 2. Modèle élastoplastique de Chaboche

Une meilleure description du comportement du matériau macroscopique nécessite le choix d'un modèle adéquat et la mise en place des différentes étapes, conduisant à son utilisation en simulation numérique ;

c'est- à-dire mettre une loi de comportement, identifier les paramètres de caractérisation et appréhender son comportement sous chargement cyclique.

Le modèle élastoplastique choisi est celui de Chaboche, modèle le plus connu à ce jour. Il est constitué d'une combinaison décrivant le comportement du matériau d'une façon phénoménologique macroscopique, sous l'effet de deux écrouissages isotropique R (Figure 1) et cinématique non linéaire X (Figure 2).

Dans le cas d'un écrouissage isotrope superposé à un écrouissage cinématique, la modification du domaine élastique se fait par dilatation (R) et translation (X).

Les paramètres du modèle de Chaboche utilisé dans ce travail sont ceux obtenus à partir des travaux de (Djimli, 2010) implémentés dans le code de calcul ZéBulon (J. Besson & al.,1998).

Eq.(1) fait intervenir la déformation: en déformation élastique et déformation inélastique qui peut être une déformation plastique ou viscoplastique.

$$\underline{\varepsilon}^T = \underline{\varepsilon}^e + \underline{\varepsilon}^p \quad (1)$$

La fonction de charge s'écrit, en utilisant le critère de Von Mises, de la façon suivante :

$$f = I_2(\underline{\sigma} - \underline{X}) - R - \sigma_y \quad (2)$$

$I_2$  : Deuxième invariant du tenseur déviateur des contraintes défini par la relation

$$I_2 = \sqrt{\frac{3}{2}(\underline{\sigma}^D - \underline{X})/(\underline{\sigma}^D - \underline{X})} \quad (3)$$

$\underline{\sigma}^D$  : est la partie déviatorique du tenseur de contrainte de Cauchy

$$\underline{\sigma}^D = \underline{\sigma} - \frac{1}{3} \text{tr} \underline{\sigma} \cdot \mathbf{1} \quad (4)$$

La variable R d'écrouissage isotrope croît avec le taux de déformation plastique cumulée et sa loi d'évolution s'écrit :

$$dR = b(Q - R)dp \quad (5)$$

b et Q sont les paramètres de l'écrouissage isotrope qui dépendent du matériau.

Les variables d'écrouissage cinématique non linéaire sont contenues dans le tenseur dont l'évolution est décrite par la relation :

$$d\underline{X} = \frac{2}{3} dp C(p) d\underline{\varepsilon}^p - \gamma(p) \underline{X}dp \quad (6)$$

C et  $\gamma$  sont des paramètres du matériau

$\gamma(p)$  : Fonction traduisant le durcissement cyclique du matériau, définie par la relation

$$\gamma(p) = \gamma_{\infty} + (\gamma_0 - \gamma_{\infty})e^{-bp} \quad (7)$$

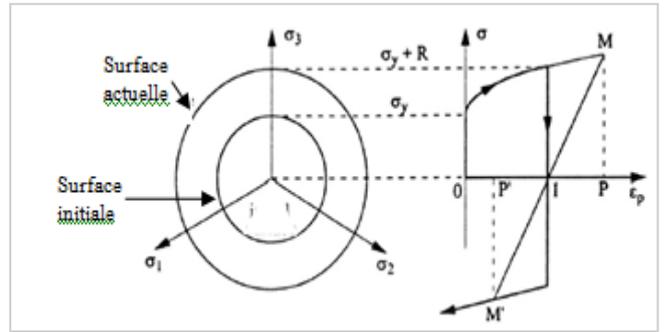


Fig. 1: Illustration de l'écrouissage isotrope: à gauche, dans le plan déviatorique, à droite, la contrainte en fonction de la déformation plastique (J.L. Chaboche,2008).

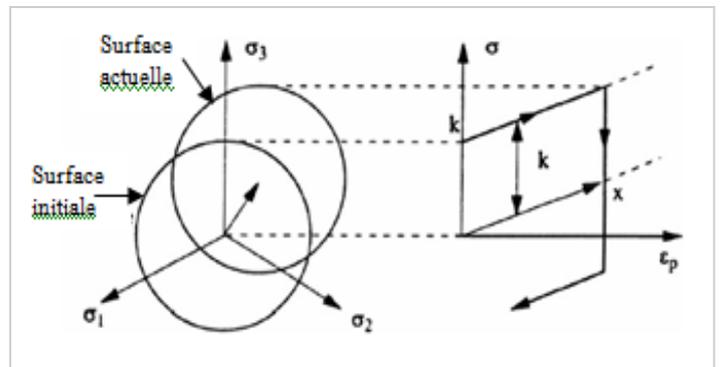


Fig. 2 : Illustration de l'écrouissage cinématique : à gauche, dans le plan déviatorique; à droite, la contrainte en fonction de la déformation plastique (J.L. Chaboche, 2008).

### 3. ESSAIS ET RÉSULTATS

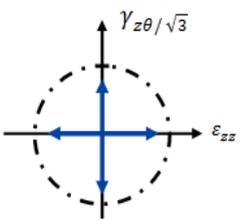
#### 3.1 Essai croisé à déformation contrôlée

Ces essais visent à confirmer les observations liées à l'effet de trajectoire croisée à chargement multiaxial, qui consiste à combiner deux chargements à déformation imposée dans des directions différentes. Les essais se classent en deux catégories selon les conditions de chargement et l'effet hiérarchique de l'amplitude progressive de la déformation imposée voir Figures 3 et 4.

##### 3.1.1 Effet hiérarchique de l'amplitude progressive de la déformation de torsion

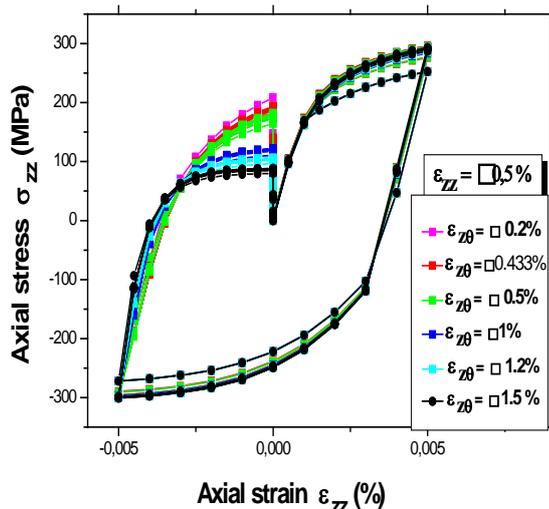
Une classe comporte un essai multiaxial croisé cyclique composé de six Histoires de chargement, réalisées en 10 cycles combinés à déformation imposée (DI) où un cycle est composé d'une traction compression entre +0.5% et -0.5% suivies d'une torsion entre +0.2% et -0.2%, puis un cycle de type traction-compression entre +0.5% et -0.5% (taux de déformation axiale constant dans toutes les Histoires) suivi d'un cycle de type torsion entre +0.433% et -0.433% et ainsi de suite..... voir Tableau 1.

**Tableau 1:** Conditions de chargement de l'essai croisé ( $\epsilon_{zz} = \text{Cte} = 0.5\%$ ,  $\epsilon_{z\theta} = \pm 0.2\%, 0.433\%, 0.5\%, 1\%, 1.2\%, 1.5\%$ )

Trajet de chargement	Histoire de chargement	Traction-compression		Torsion	
		$\epsilon_{zz}$	$\epsilon_{zz}$	$\epsilon_{z\theta}$	$\epsilon_{z\theta}$
	H1	+ 0.5 %	-0.5%	+ 0.2 %	- 0.2%
	H2			+ 0.433 %	- 0.433%
	H3			+ 0.5 %	- 0.5%
	H4			+ 1 %	- 1%
	H5			+ 1.2 %	- 1.2 %
	H6			+ 1.5 %	- 1.5 %

La manifestation du phénomène du sur écrouissage a été étudié par (Taleb & Hauet, 2009) dans le cas d'un chargement croisé causé par l'application d'un chargement en alternance proportionnel dans une direction donnée et un autre chargement proportionnel de même amplitude de déformation équivalente dans une autre direction. Il a été démontré que le cross multiple conduit à un comportement similaire à celui observé sous un trajet de chargement circulaire.

La figure 3 montre des courbes cycliques manifestant un caractère durcissant atteignant une contrainte de 300MPa à une déformation axiale +0.5% à 10 cycles et convergent vers un point d'intersection de coordonnée (- 0.3% - 52 MPa). Le sur-écrouissage du au chargement secondaire (torsion) est improportionnel à la déformation de torsion imposée, correspond à une décroissance de la contrainte axiale à une déformation axiale nulle voir Tableau 2.



**Fig. 3 :** Manifestation du comportement cyclique de l'acier 304L sous chargement multiaxial croisé ( $\epsilon_{zz} = \text{Cte} = 0.5\%$ ,  $\epsilon_{z\theta} = \pm 0.2\%, 0.433\%, 0.5\%, 1\%, 1.2\%, 1.5\%$ )

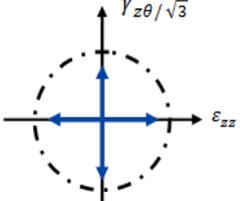
**Tableau 2 :** Déformations de torsion, déformation axiale constante imposées et contraintes axiales correspondantes

DI = $\epsilon_{zz} = \pm 0.5\%$ (traction-compression)						
DI = $\epsilon_{z\theta}$ % (torsion)	$\pm 0.2$	$\pm 0.433$	$\pm 0.5$	$\pm 1$	$\pm 1.2$	$\pm 1.5$
$\sigma_{11}$ (MPa) Pour $\epsilon_{zz} = 0.5\%$	300	300	300	300	300	300
$\sigma_{zz}$ (MPa) Pour $\epsilon_{zz} = 0\%$	200	190	180	110	100	80

### 3.1.2 Effet hiérarchique de l'amplitude progressive de la déformation axiale :

La seconde classe consiste en une démarche inverse constituée d'un essai multiaxial cyclique croisé à déformation imposée combinant six Histoires de chargement réalisées en 10 cycles où un cycle est composé d'une traction compression entre + 0. 2% et -0. 2% suivies d'une torsion entre + 0. 5% et - 0. 5% puis un cycle de type traction-compression entre + 0. 433% et - 0. 433% puis un cycle de type torsion entre + 0. 5% et - 0. 5% (taux de déformation de torsion constant dans toutes les Histoires) et ainsi de suite.....voir Tableau 3.

**Tableau 3:** Conditions de chargement de l'essai croisé  
(  $\epsilon_{zz} = \pm 0.2 \%, 0.433 \%, 0.5 \%, 1 \%, 1.2 \%, 1.5 \%$   
,  $\epsilon_{z\theta} = \text{Cte} = 0.5\%$  )

Trajet de chargement	Histoire de chargement	Traction-compression		Torsion	
		$\epsilon_{zz}$	$\epsilon_{zz}$	$\epsilon_{z\theta}$	$\epsilon_{z\theta}$
	H1	+ 0.2 %	- 0.2 %	+ 0.5 %	- 0.5%
	H2	+ 0.433%	- 0.433 %		
	H 3	+ 0.5%	- 0.5%		
	H 4	+ 1 %	- 1 %		
	H 5	+ 1.2 %	- 1.2%		
	H 6	+ 1.5 %	- 1.5%		

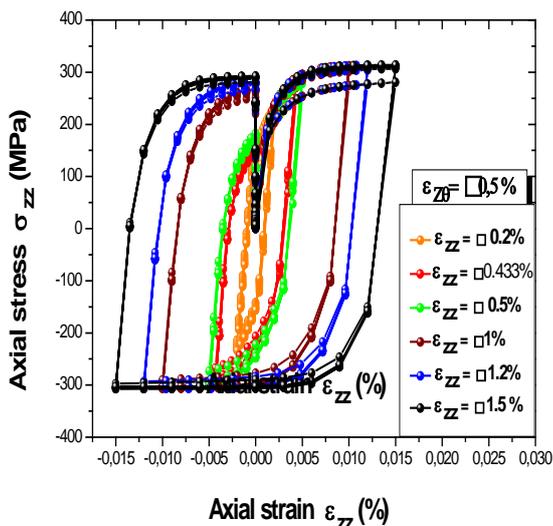
(Lakhdar Taleb & Annie Hauet, 2009) ont constaté d'après les essais expérimentaux que la combinaison de chargement de deux trajectoires proportionnelles alternativement de traction compression/torsion produit un écrouissage croisé (Cross-hardening) manifestant un sur-écrouissage. Il a été démontré aussi que le durcissement cyclique croît avec l'amplitude de déformation imposée et les amplitudes de contrainte équivalente obtenues à 1% sont supérieures à celles obtenues à 0,22%.

A la figure 6 un durcissement est observé il est causé par l'augmentation de la contrainte axiale en fonction de la croissance de l'amplitude de déformation axiale imposée.

Le sur-écrouissage évolue en fonction de la déformation axiale imposée hiérarchiquement correspond à une croissance de la contrainte axiale à une déformation axiale nulle voir Tableau 4.

**Tableau 4 :** Déformations axiales, déformation de torsion constante imposées et contraintes axiales correspondantes

Dl $\epsilon_{zz}$ %	DI = $\epsilon_{z\theta} = \pm 0.5 \%$ (torsion)					
	$\pm 0.2$	$\pm 0.433$	$\pm 0.5$	$\pm 1$	$\pm 1.2$	$\pm 1.5$
$\sigma_{zz}$ (MPa)	230	290	295	310	310	310
$\sigma_{zz}$ (MPa) Au point d'origine	150	155	180	260	270	290



**Fig .4 :** Manifestation du comportement cyclique de l'acier 304L sous chargement multiaxiaL croisé  
(  $\epsilon_{zz} = \pm 0.2 \%, 0.433 \%, 0.5 \%, 1 \%, 1.2 \%, 1.5 \%$ ,  $\epsilon_{z\theta} = \text{Cte} = 0.5\%$  )

En conclusion, les résultats de simulation obtenus à partir des essais réalisés observés dans les figures 3 et 4 montrent que le sur-écrouissage ne se manifeste pas de la même manière, exposant deux comportements macroscopiques phénoménologiques différents :

- Le premier comportement représente un sur-écrouissage disproportionnel à la déformation de torsion imposée, correspond à une décroissance de la contrainte axiale pour une déformation axiale nulle.

Le deuxième comportement représente un sur-écrouissage proportionnel à la déformation axiale, correspond à une évolution de la contrainte axiale en fonction de la déformation axiale avec des niveaux de déformation plastique plus élevé manifestant un caractère durcissant.

### 3.2 Essai comparatif de Rochet

Dans le but de comparer le Rochet 1D et 2D nous effectuons deux essais portant sur deux tests :

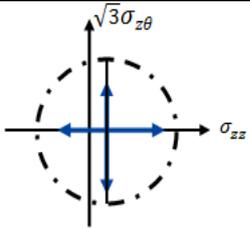
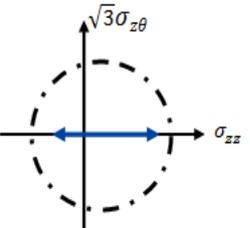
- Le premier test consiste à simuler un essai « croisé » combinant deux histoires de chargement à contrainte imposée, i) on applique 50 cycles, où un cycle de type traction- compression entre 300 MPa et -100 MPa (contrainte moyenne 100 MPa) réalisé dans la direction

axiale puis un cycle de type torsion entre 250 MPa et -250 MPa puis un cycle de type traction-compression et ainsi de suite....

traction-compression entre 300 MPa et -100 MPa autour d'une contrainte moyenne  $\sigma_{zm} = 100$  MPa voir Tableau 5.

- Le second test est un essai « uniaxial » à contrainte imposée qui consiste à réaliser 50 cycles combinés en

**Tableau 5.** : Trajets, Histoires de chargement, contraintes imposées et rapports de charge de l'essai : « uniaxial » et « croisé »

Trajets de chargement	Histoire de chargement	Ref	Contrainte axiale		Contrainte de torsion		Contrainte moyenne
			$\sigma_{zz\max}$ (MPa)	$\sigma_{zz\min}$ (MPa)	$\sqrt{3}\sigma_{z\theta\max}$ (MPa)	$\sqrt{3}\sigma_{z\theta\min}$ (MPa)	$\sigma_{zm}$ (MPa)
	H1	Fig.5	300	-100	250	-250	100
	H2	Fig.6	300	-100	/	/	100

Les Figures 5a et 6a représentent l'évolution de la contrainte axiale en fonction de la déformation axiale des essais de Rochet 1D et 2D ayant la même contrainte moyenne, représentées par des boucles d'hystérésis avec des cycles progressifs indiquant un adoucissement.

La Figure 5b présente l'essai cyclique uniaxial (Rochet 1D) illustré par un accroissement de la déformation plastique puis une stabilisation. En revanche la Figure 6b montre l'évolution de la déformation plastique de l'essai croix (Rochet 2D) en fonction du nombre de cycles, correspond à un accroissement progressif continu cycle après cycle.

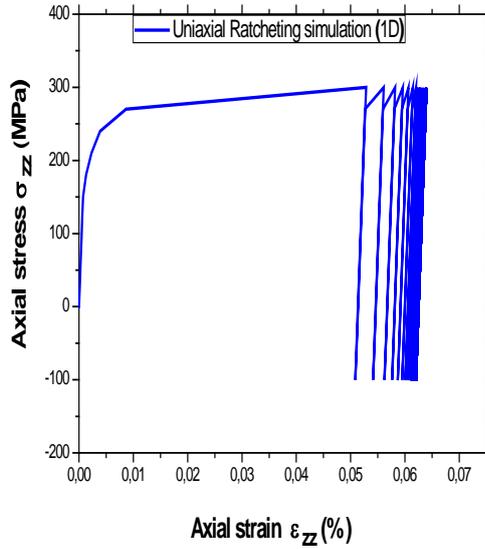
En superposant les courbes d'hystérésis de simulation contrainte –déformation obtenues des deux Rochet avec une même contrainte moyenne sur la figure 9a, on remarque que le Rochet 1D est plus lent que le Rochet 2D, ce qui est confirmé par l'essai expérimental élaboré par (Lakhdar Taleb & Annie Hauet., 2009) sur l'acier 304L, ils ont démontré aussi que, la déformation incrémentale dans l'essai croix est plus importante que la déformation dans l'essai uniaxial (voir figure 9b). On conclut que, les résultats de simulations obtenus confirment les résultats expérimentaux.

La figure 9c montre une bifurcation des deux courbes relatives aux deux essais cycliques précédents « croix » et « uni ». La courbe cyclique de l'essai uni présente un

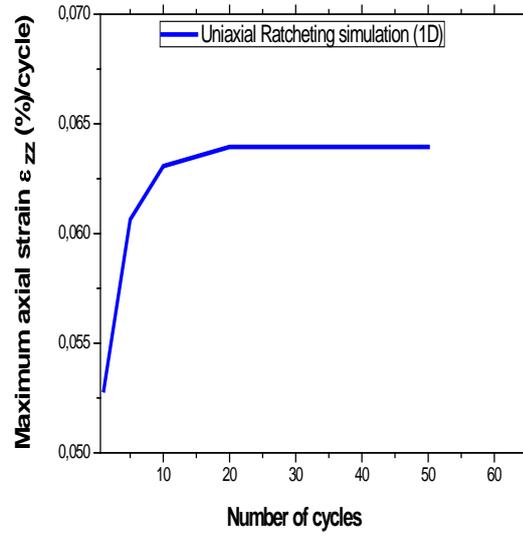
accroissement de la déformation progressive jusqu'à 10 cycles, à ce stade la courbe se stabilise, atteignant un taux de 0.062 % à 50 cycles et passe en dessous de la courbe de l'essai « croix ».

La courbe cyclique de l'essai croix montre une augmentation continue de la déformation atteignant un taux de 0.205% à 50 cycles. Cette constatation peut s'interpréter par un fait évident qui consiste à observer que le comportement croix est gouverné par le chargement en torsion.

a)

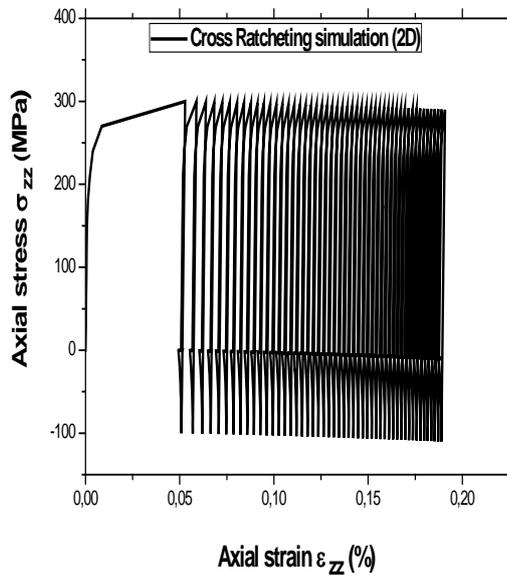


b)

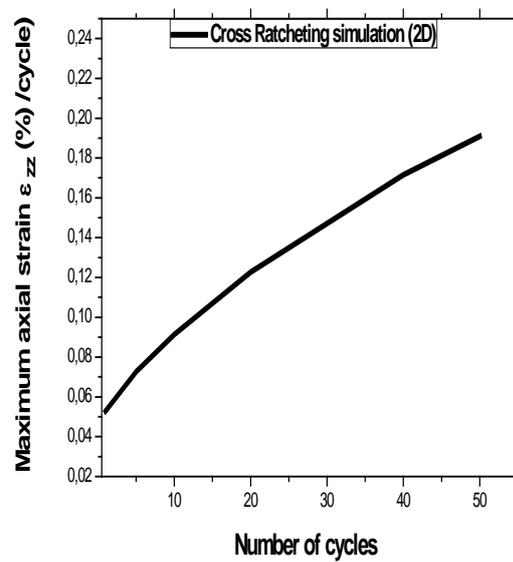


**Fig. 5 :** Résultat de simulation de l'essai uniaxial de l'acier 304L, a ) illustration de Rochet (1D)  
b) évolution du maximum de la déformation plastique en fonction du nombre de cycles

a)

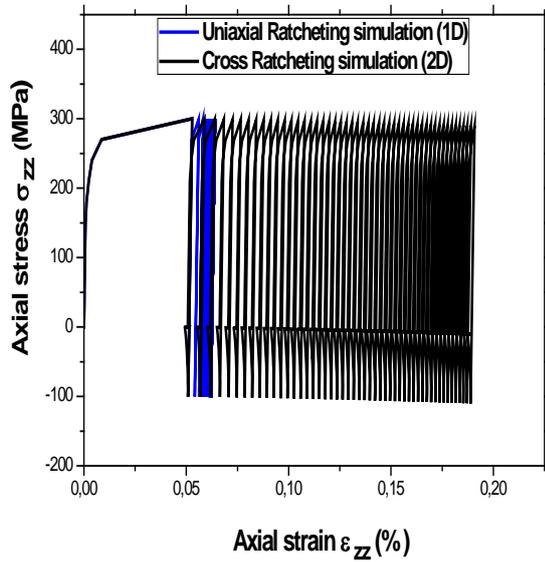


b)

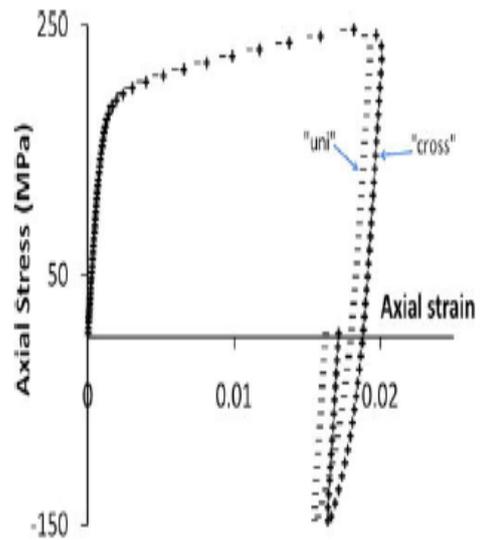


**Fig. 6 :** Résultat de simulation de l'essai croisé de l'acier 304L : a ) illustration de rochet (2D),  
b) évolution du maximum de la déformation plastique en fonction du nombre de cycles

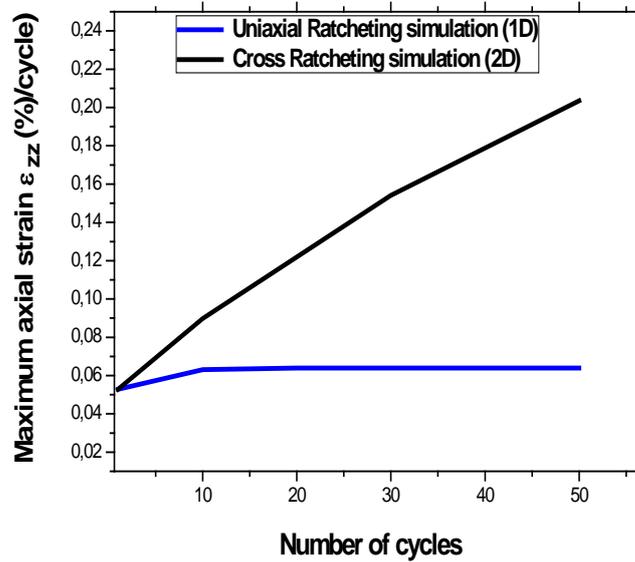
a)



b)



c)



**Fig .9** : Comparaison entre l'essai uniaxial et croisé , a) contrainte axiale en fonction de la déformation axiale ( essai effectué dans le présent travail ) ,b) comparaison effectuée entre les premiers cycles de l'essai uniaxial et croisé sur l'acier 304L (Lakhdar Taleb & Annie Hauet.,2009), c) maximum de la déformation plastique en fonction du nombre de cycles relatif aux deux essais 'uni' et 'croisé'

#### 4. CONCLUSIONS

Cet article a permis d'étudier le comportement de l'acier inoxydable austénitique 304L sous chargement multiaxial à trajet de chargement croisé, permettant l'accès à des informations relatives aux deux phénomènes de sur-écrouissage et de Rochet.

La première partie de ce travail est consacrée à l'étude du comportement de l'acier sous sollicitation cyclique pour cela, deux essais ont été réalisés. Le premier essai consiste à solliciter le matériau par des amplitudes croissantes de contrainte imposée dans le sens de torsion d'une part et d'autre part on fixe la contrainte dans le sens axial. Le second essai est réalisé avec une démarche inverse : on sollicite le matériau par des amplitudes croissantes de contrainte imposée dans le sens axial et on maintient à une déformation imposée en torsion. Les résultats de simulation ont montré que le sur-écrouissage ne se manifeste pas de la même manière dans les deux essais : le premier représente un sur-écrouissage improportionnel à la déformation de torsion imposée, correspond à une décroissance de la contrainte axiale pour une déformation axiale nulle. Le deuxième représente un sur-écrouissage proportionnel à la déformation axiale, correspond à une évolution de la contrainte axiale en fonction de la déformation axiale manifestant un caractère durcissant.

Dans la deuxième partie, on s'est intéressé à la confrontation du Rochet 1D et Rochet 2D, autour d'une même contrainte moyenne. La déformation plastique de l'essai « uni » croît en fonction du nombre de cycles, elle se stabilise à 10 cycles. Par contre la courbe cyclique de l'essai croix montre une évolution de la déformation plastique en fonction du nombre de cycles, de façon continue jusqu'à 50 cycles. Outre les résultats de simulation obtenus ont montré que le Rochet 1D est plus lent que le Rochet 2D.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- G. Kang, Q. Gao, C. Lixun, S. Yafang "Experimental study on uniaxial and nonproportionally multiaxial ratcheting of SS304 stainless steel at room and high temperatures", *Nuclear Engineering and Design*. Vol. 216, 2002, pp. 13–26.
- G. Kang, Li Youguo, Q. Gao "Non-proportionally multiaxial ratcheting of cyclic hardening materials at elevated temperatures Experiments and simulations", *Mechanics of Materials*. vol. 37, 2005, pp.1101–1118.
- J. Besson, R. Leriche, R. Foerch, G. Cailletaud, "Object Oriented Programming Applied to the finite Element Method. Part II. Application to Material Behaviors", *Revue Européenne des Éléments Finis*. 1998, pp. 567–588.
- J.L. Chaboche, "A review of some plasticity and viscoplasticity constitutive theories", *International Journal of Plasticity* .vol.24, 2008, pp.1642–1693.
- L. Djimli, "Analyse du phénomène de rochet : essais et modélisation", Université mentouri de constantine, 21 juin 2010.
- L. Taleb, A. Hauet, "Multiscale experimental investigations about the cyclic behavior of the 304L SS", *International Journal of Plasticity* .vol.25, 2009, pp. 1359–1385.
- L. Taleb, G. Cailletaud, "Cyclic accumulation of the inelastic strain in the 304L SS under stress control at room temperature: Ratcheting or creep ? ", *International Journal of Plasticity*. vol 27, 2011, pp. 1936–1958.
- L. Taleb, A. May, M. Amine Belouchrani "Experimental investigations on the cyclic behavior and fatigue of extruded 2017 aluminum alloy", 13th International Conference on Fracture June. 2013, pp.16–21
- M. Antonio Meggiolaro, J. Tupiassú Pinho de Castro, H. Wub, "Computationally-efficient non-linear kinematic models to predict multiaxial stress-strain behavior under variable amplitude loading", *Procedia Engineering* .vol.101, 2015, pp. 285 – 292.
- M. Saleh, M.M. Kariem, V. Luzin, K. Toppler, L. Huijun, D. Ruan, "High strain rate strain of ARMOX 500T and effects on texture development using neutron diffraction techniques and SHPB testing", *Materials Science & Engineering A*. vol. 709, 2018, pp. 30–39
- P. Delobelle, P. Robinet, L. Bocherelobelle, "Experimental Study And Phenomenological Modelization of Ratchet Under Uniaxial And Biaxial Loading On An Austenitic Stainless Steel", *International Journal of Plasticity*. vol. 11, 1995, pp. 295–330.
- S. Bari, T. Hassan, "An advancement in cyclic plasticity modeling for multiaxial ratcheting simulation", *International Journal of Plasticity*. vol. 18, 2002, pp. 873–894.
- S. Vincent, D. Calloch, Marquis "A general cyclic plasticity model taking into account yield surface Distortion formultiaxial ratcheting" ,*International Journal of Plasticity* 20 (2004) 1817–1850
- T. Hassan, L. Taleb, S. Krishna "Influence of non-proportional loading on ratcheting responses and simulations by two recent cyclic plasticity models" *International Journal of Plasticity* 24 (2008) 1863–1889.
- T. Kebir, M. Benguediab, A. Miloudi, A. Imad, " simulation of the cyclic hardening behavior of aluminum alloys". Vol. 79, 2017.
- V. Mazánová, J. Polák, V. Škorík, T. Kruml, " Multiaxial elastoplastic cyclic loading of austenitic 316L steel" *Frattura ed Integrità Strutturale*. vol. 40, 2017, pp. 162–169,
- X. Chen, R. Jiao, K.S. Kim "Simulation of ratcheting strain to a high number of cycles under biaxial loading", *International Journal of Solids and Structures*. vol. 40, 2003, pp. 7449–7461.
- Y. Bouafia, R. Smahi, H. Dumonte, M. Said Kachi, "Modeling the behavior of concrete by damage mechanics with a Poisson's ratio variable", *Procedia Materials Science*. vol. 3, 2014, pp. 714 – 719.