

"ENDOMMAGEMENT DES EPROUVETTES(SENT, SENB,CT ET DENT) EN ACIER P265GH "

"LAHLOU Mohammed"¹

"MOUHIB Nadia"²

"HACHIM Abdelilah "²

"BARAKAT Mohammed "²

"EL GHORBA Mohamed" ¹

¹Ecole Nationale Supérieur d'Electricité et de Mécanique (ENSEM), Laboratoire de Contrôle et Caractérisation Mécanique des Matériaux et des Structures(LCCMMS), Casablanca, Maroc Lahloumohammed89@gmail.com"

²Institut Supérieur d'Etudes Maritimes, Km 7 Route d'El Jadida , Casablanca, Maroc"

Résumé :

Au cours du fonctionnement, la plupart des structures mécaniques sont soumises à des sollicitations variables dans le temps, ce qui conduit à leur rupture des accidents graves. La durée de vie d'une structure mécanique est décomposée en trois stades : stade I ; l'amorçage, stade II ; la propagation lente et le stade III ; la propagation brutale.

L'objectif de cet article est de déterminer l'endommagement et la durée de vie d'un équipement sous pression en établissant une modélisation numérique par éléments finis sur différentes éprouvettes (SENT, SENB , DENT ,CT) à l'aide du code de calcul CASTEM2013. Le matériau étudié est l'Acier P265GH utilisé couramment sous forme de tôle dans les chaudières et les appareils à pression.

Les résultats trouvés montrent que la Criticité du dommage de l'éprouvette SENT est plus importante, suivi par l'éprouvette DENT, en suit l'éprouvette CT et finalement SENB.

1. Introduction

L'outil informatique est devenu un outil incontournable dans nos jours plus précisément dans les secteurs industriels. Pour les raisons de la compétitivité et du développement, les entreprises cherchent à prédire la durée de vie et d'envisager des solutions dans la conception et l'entretien des pièces et des structures. La méthode des éléments finis permet de résoudre ces problèmes plus précisément les problèmes mécaniques [1].

Tout matériau présent à l'échelle microscopique des défauts (hétérogénéités, inclusions, défauts de fabrication, etc.) et toute pièce peut présenter des changements de section ou des états de surfaces plus ou moins rugueuses. Or, puisque toutes ces conditions favorisent l'apparition de concentrations des contraintes, il faut bien souvent tenir compte de la possibilité d'amorçage des fissures ainsi que de leurs propagations éventuelles quand on calcule une structure. C'est pourquoi les responsables de la conception de structures ou d'éléments soumis à des chargements cycliques doivent non seulement envisager la possibilité de formation de fissures, mais également évaluer leur vitesse de propagation, afin de s'assurer que ces fissures n'atteignent pas la longueur critique qui entraînera inévitablement la rupture [2, 3].

Pour répondre à cette problématique, les méthodes numériques type éléments finis, couplés à la mécanique de la rupture et à la fatigue sont utilisés par plusieurs auteurs. On peut citer les travaux de A. HACHIM [4,5] portant sur l'étude numérique d'une éprouvette bi-entaillée en Acier S355, il a étudié le comportement du matériau en présence du défaut. Y. HIROSHI [6] a étudié le facteur d'intensité de contrainte critique sur les éprouvettes simplement entaillées. Saffih [7] a étudié la nocivité des fissures semi-elliptiques circonférentielles ou axisymétriques dans une coque cylindrique comportant une transition d'épaisseur. Elhakimi [8] a pour objective de réaliser un formulaire de calcul du Facteur d'Intensité de Contrainte couvrant une large étendue des formes de défauts et de tubes.

Ce travail est consacré à l'analyse par éléments finis des différentes éprouvettes (SENT, SENB, DENT, CT) à l'aide du code de calcul CASTEM2013, afin de classer la criticité de ces éprouvettes.

1. Expérimentation

Pour extraire les caractéristiques mécaniques de l'acier P265GH qui sera utilisé dans notre programme, des essais de traction ont été effectués au centre technique des industries mécaniques Maroc (Cetim). Afin de comparer les caractéristiques dans le sens de laminage, des éprouvettes filetées (figure 1) [9] ont été extraites dans les sens longitudinal et transversal. Les courbes d'essai donnant la contrainte en fonction de l'allongement sont données par la figure 2 :

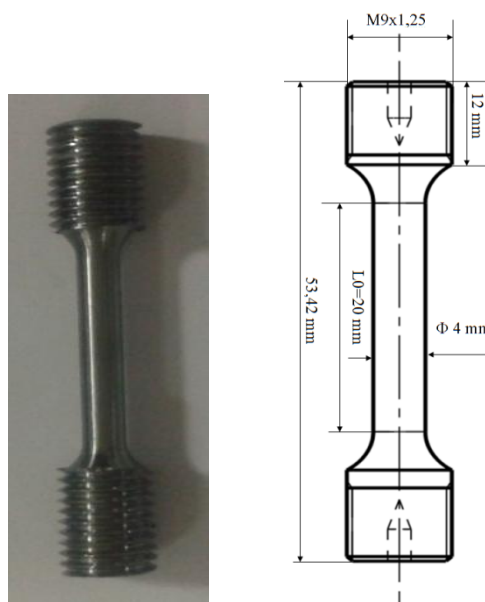


Figure 1. Dimensions de l'éprouvette filetée

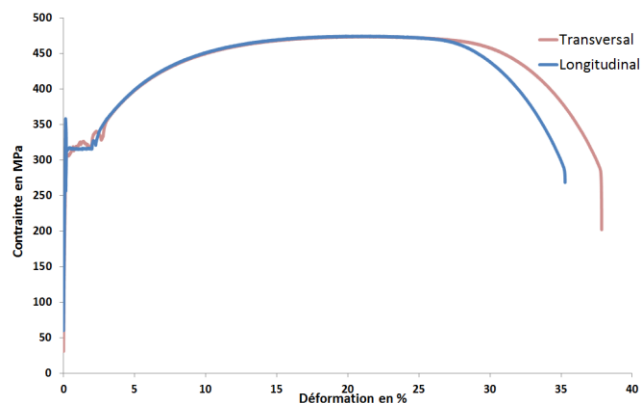


Figure 2. Courbe de traction

Les principales caractéristiques mécaniques de l'acier P265GH, à la température ambiante, sont reportées dans le tableau 1

Tableau 1 principales caractéristiques mécaniques de l'acier P265GH

Le module de Young : E (MPa)	La limite d'élasticité : σ_e (MPa)	La contrainte ultime : σ_u (MPa)	Allongement %	Coefficient de poisson ν
2.10^5	320	470	35	0,3

Nous remarquons que l'allongement est de l'ordre de 35 % qui est supérieur à 14 % exigé par le CODAP[10]. De ce fait, cet acier P265GH est bien adapté pour les structures sous pression.

2. Modélisation numérique

Le code de calcul Cast3m 2013 est utilisé pour construire un modèle éléments finis pour l'analyse des différentes éprouvettes (SENT, SENB, DENT [11], CT).

1. Géométrie

Les géométries et les dimensions des éprouvettes sont illustrées dans la figure 3. L'étude étant restreinte au mode I,

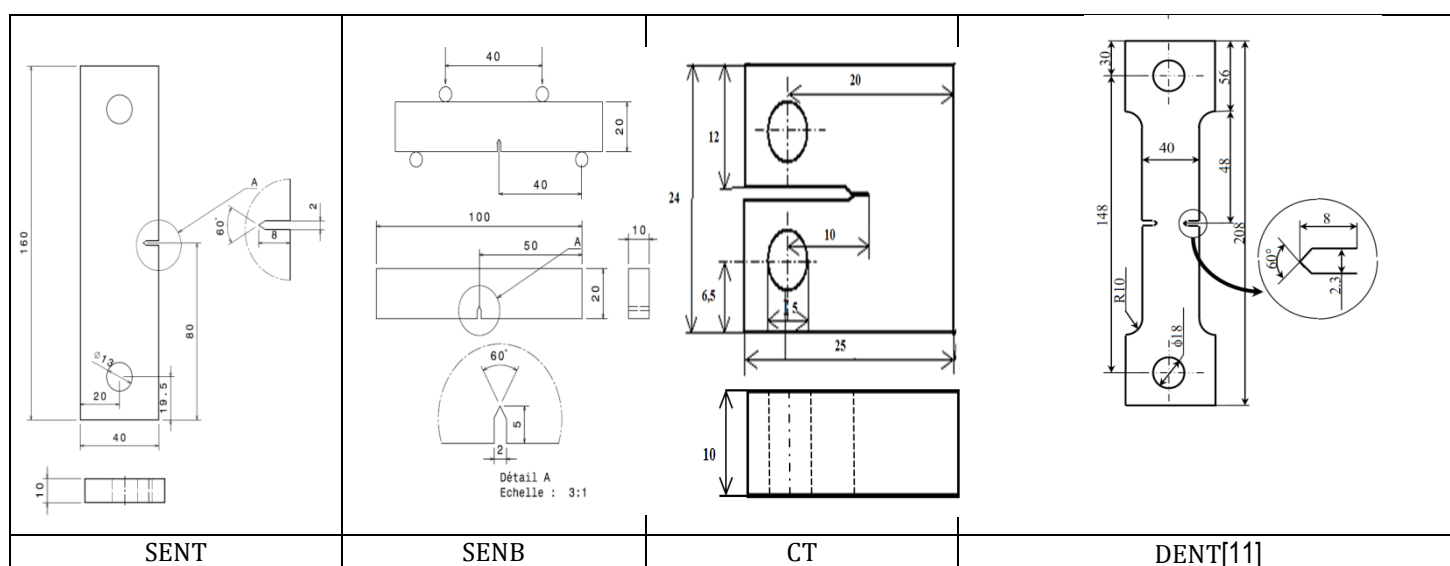


Figure 3. Dimensions des éprouvettes (mm)

2. Maillage et conditions aux limites

Il apparaît que pour l'éprouvette DENT il existe deux plans de symétrie. Par conséquent, seul le quart de cette éprouvette est modélisé [12]. Par contre, pour les éprouvettes (SENT, CT, SENB), seul un plan de symétrie apparaît, donc la moitié est modélisée.

Les résultats numériques étant destinés à une analyse en mécanique de la rupture, une attention particulière est accordée au maillage notamment en fond de fissure et dans son voisinage. Pour ce faire, on utilise un maillage très fin avec des éléments de Barsoum [13].

le maillage des éprouvettes est illustré dans la figure 4

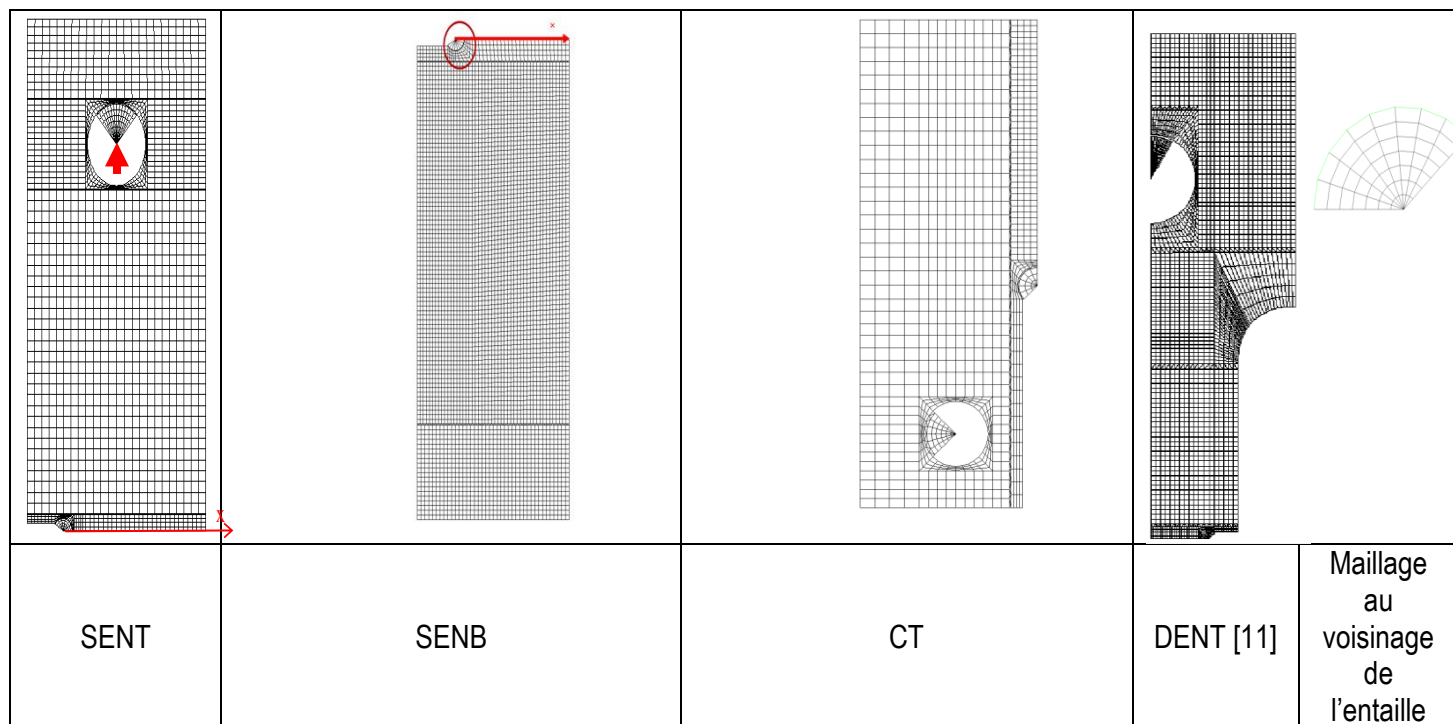


Figure 4. Maillage des éprouvettes (mm)

3. Résultats & discussions

1. Contrainte adimensionnelle

Pour l'ensemble des éprouvettes, la fraction de vie β correspond à la longueur d'entaille sur la largeur d'éprouvette ($\beta=a/w$) [14].

Les courbes de la figure 5 montrent l'évolution de la contrainte adimensionnelle (σ_{ur}/σ_u) en fonction de la fraction de vie pour les éprouvettes SENT, DENT, SENB et CT

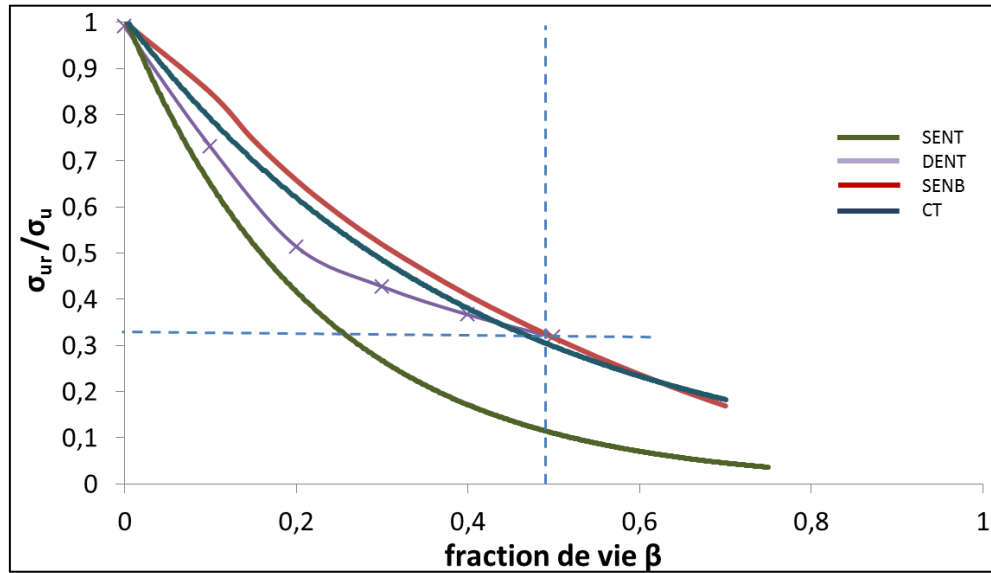


Figure 5. Contrainte adimensionnelle en fonction de la fraction de vie pour les éprouvettes SENT, DENT, SENB et CT

D'après la figure 5, nous remarquons qu'à partir du 0,5 de la fraction de vie la contrainte adimensionnelle de l'ensemble des éprouvettes est inférieure à 0,33% (un facteur de sécurité égal à 3). Pour cette raison, nous définissons la fraction de vie utile ($\beta_u = a/w_u$) comme étant le rapport de la longueur d'entaille et la longueur des éprouvettes utiles (avec un coefficient de sécurité égal à 3).

2. Dommages statique

Le modèle du dommage statique consiste à déterminer l'évolution de la contrainte résiduelle en fonction de la fraction de vie utile (relation 1)[15 , 16].

$$D = \frac{1 - \frac{\sigma_{ur}}{\sigma_u}}{1 - \frac{\sigma_a}{\sigma_u}} \quad (1)$$

Avec :

σ_u : la valeur de la contrainte ultime à l'état initial (éprouvette vierge);

σ_{ur} : la valeur de la contrainte ultime résiduelle ;

σ_a : la contrainte juste avant la rupture dans la zone utile.

La variation du dommage en fonction de la fraction de vie utile β_u pour les éprouvettes (SENT ,DENT,SENB et CT) est illustrée par la courbe de la figure 6 :

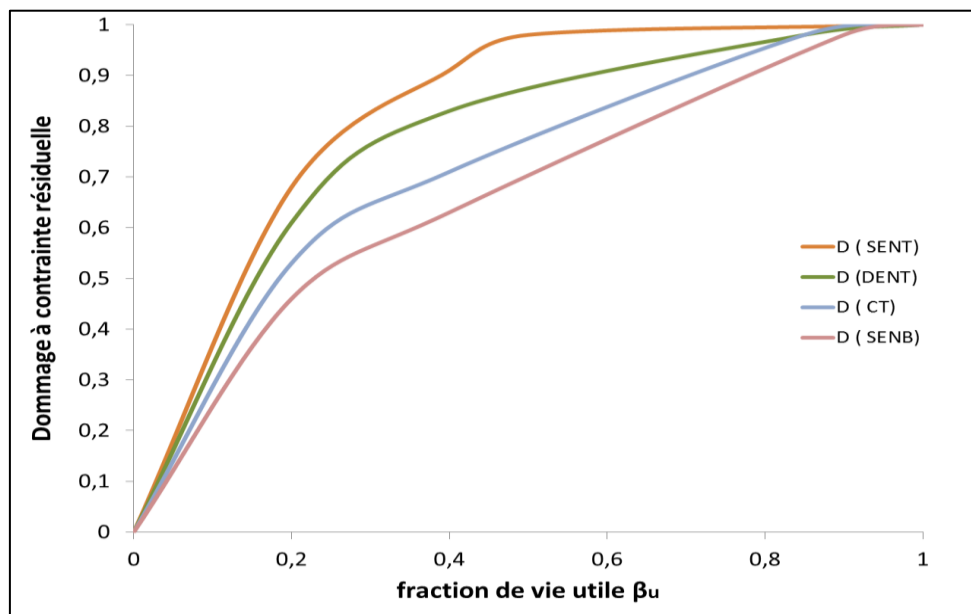


Figure 6. Évolution du dommage statique à contrainte résiduelle en fonction de la fraction de vie utile des éprouvettes SENT, DENT, CT et SENB.

L'accroissement du dommage signifie l'augmentation de la perte en résistance en traction statique des éprouvettes. D'après les courbes de la figure 6 nous constatons que l'évolution de dommage de l'éprouvette de traction (SENT) est la plus critique pour une même fraction de vie, tandis que le dommage de l'éprouvette de flexion (SENB) est le moins nocif.

3. dommage et la fiabilité

La fiabilité varie en sens inverse du dommage, l'équation (2) permet d'écrire la relation entre le dommage et la fiabilité [17, 18]. :

$$R(\beta_u) + D(\beta_u) = 1(2)$$

L'équation obtenue nous permet de tracer la courbe de variation de la fiabilité avec celle de dommage (figure 7) pour les éprouvettes SENT, DENT, CT et SENB.

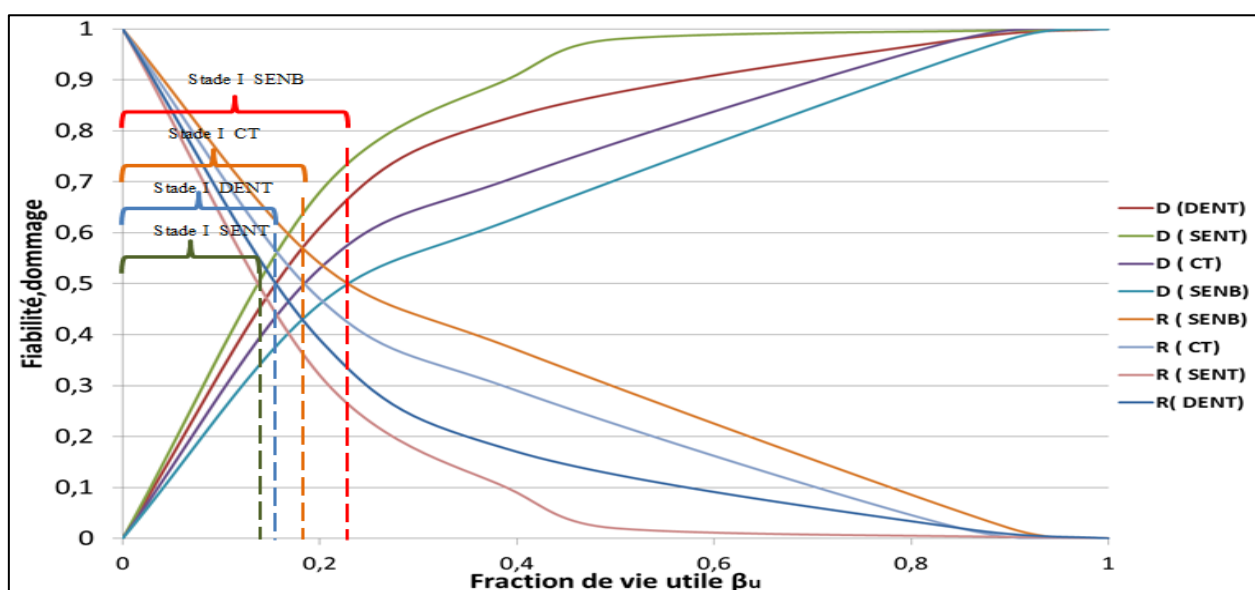


Figure 7. Fiabilité- dommage en fonction de la fraction de vie utile des éprouvettes SENT, DENT, CT et SENB.

Les courbes Fiabilité-dommage de chaque éprouvette se croisent à un point d'intersection β_{ui} . Ce point d'intersection coïncide avec une inversion de situation. En effet, la fiabilité qui était initialement supérieure au dommage devient plus faible au-delà de ce point. Ce qui correspond à l'accélération des dommages.

La figure 7 montre que Le Stade I défini par le début du dommage et le point d'intersection β_{ui} de l'éprouvette SENT est le plus restreint suivi par l'éprouvette DENT, l'éprouvette CT et finalement l'éprouvette SENB.

Le tableau 2 représente le β_{ui} ainsi la criticité du dommage de chaque éprouvette étudiée

Tableau 2 Résultats des méthodes du dommage statique par contraintes résiduelles

éprouvette	SENT	DENT	CT	SENB
β_{ui}	0,16	0,17	0,19	0,22
Criticité du dommage	importante	modérée	modérée	minimale

4. Conclusion

Dans le domaine des structures à risque comme les équipements sous pression par exemple, en présence de défaut ou de fissure et pour des raisons de sécurité évidentes, il est fondamental de connaître de manière précise le degré de nocivité du défaut. La modélisation numérique par la méthode des éléments finis est un outil très efficace permettant de répondre à cette problématique. L'analyse des résultats montre que l'évolution de dommage de l'éprouvette de traction (SENT) est la plus critique pour une même fraction de vie, tandis que le dommage de l'éprouvette de flexion (SENB) est le moins nocif.

5. Bibliographie

- [1.]Lahlou, M., Hachim, A., Mouhib, N., Ouamar, H., Rachik, M., & El Ghorba, M. (2015). Numerical modeling and analytical validation of stress intensity factor and crack velocity for SENT tensile specimen of. International Journal of Research, 2(6), 489-494.
- [2.]Damien Fournier, (2011) Analyse et Développement de Méthodes de Raffinement hp en Espace pour l'Equation de Transport des Neutrons, Mémoire de thèse doctorat Université de Provence Marseille,
- [3.]LAHLOU, M., et al. "Numerical modeling and analytical validation of stress and stress intensity factor for SENT tensile specimen of P265GH steel material."IPASJ International Journal of Mechanical Engineering (IJME):Volume 3, Issue 4, April 2015 pp. 042–048
- [4.]A. Hachim, Etude numérique et validation expérimentale des mécanismes d'endommagement et de fissuration de l'acier S355 : application aux équipements sous pression, Mémoire de thèse doctorat, Faculté des Sciences-Aïn Chock,Casablanca, 27/04/2013
- [5.]A. Hachim, Numerical Evaluation and Experimental Validation of Stress Concentration and Crack Propagation a Bi-notched Specimen of Steel S355, International Journal of Research and Reviews in Mechatronic Design and Simulation (IJRRMDS) Vol. 2, No. 3, September 2012, ISSN: 2046-6234
- [6.]Yoshihara, H., 2013: "Mode II critical stress intensity factor of medium-density fiberboard measured by asymmetric four-point bending tests and analyses of kink crack formation". BioResources 8 (2): 1771-1789.
- [7.]A. Saffih, S. Hariri, Numerical study of elliptical cracks in cylinders with a thickness transition, International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol 83, No. 1, pp. 35-41, 2006.
- [8.]A. El Hakimi, P. Le Grogne, S. Hariri "Numerical and analytical study of severity of cracks in cylindrical and spherical shells" Engineering Fracture Mechanics 75 (2008) 1027–1044.
- [9.]LAHLOU, M. et al. Numerical modeling and analytical validation of stress and stress intensity factor for SENB bending specimen of P265GH steel material. International Journal of Research, [S.I.], v. 2, n. 6, p. 468-472, jun. 2015.
- [10.]CODAP: Code de Construction des Appareils à Pression non soumis à la flamme 2005
- [11.]A. HACHIM, (2012) Numerical evaluation of stress triaxiality at the top of notch for a specimen steel notched bi-S355, International Journal of Engineering and Science, Vol. 1, Issue 1, PP 088-93

- [12.] LAHLOU, M., HACHIM, A., OUAOMAR, H., MOUHIB, N., & EL GHORBA, M. (2015). Procedure for the numerical modeling of the specimen (SENB) using CAST3M calculation code. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 19(2), 259-266.
- [13.] Barsoum, Further application of quadratic isoparametric elements to linear fracture mechanics of plate bending and general shells. *Int. J. Num. Meth. Engng*, 11, 167-169. (1976).
- [14.] N. Mouhib, H. Ouaomar, M. Lahlou, A. Ennaji, M. El Ghorba "Tensile test of a strand with 2 broken wires artificially damaged and life prediction", *The International Journal Of Engineering And Science (IJES)*, Volume 4, Issue 4, Pages 11-16, 2015"
- [15.] H. Ouaomar, N. Mouhib, M. Lahlou, A. Barakat and M. El Ghorba, 'Study of specific energy in elastic phase of the different elements of a low voltage underground power cable' *Int. J. Adv. Res. Sci. Technol.* Volume 4, Issue 6, 2015, pp. 406-408.
- [16.] N. Mouhib*, H. Ouaomar, M. Lahlou, M. Barakat and M. El Ghorba 'Application of Student and Weibull statistical distributions on experimental tensile test results of steel wires extracted from antigratory wire rope (19x7)'. *Int. J. Adv. Res. Sci. Technol.* Volume 4, Issue 6, 2015, pp. 498-501.
- [17.] MOUHIB, N., OUAOMAR, H., LAHLOU, M., & EL GHORBA, M. 'Static tests of a steel wire strand (1+ 6 wires) containing 3/7 damaged wires and prediction of its life time'. *International Journal of Mechanical Engineering (IJME)*, 2015, vol. 3, no Issue 4, p. 30-35.
- [18.] Mouhib, N., Ouaomar, H., Lahlou, M., & El Ghorba, M. 'Characterization of residual energy loss and Damage Prediction of 7-wire strand extracted from a steel wire rope and subjected to a static test'. *International Journal of Research*, 2015, vol. 2, no 6, p. 473-478.