

Etude du comportement en fatigue de la bielle

– Application sous ANSYS –

M. ESSELMA^a, M. BOUCHETARA^b, E. ZOUBAI^c, S. SADEK^d

(a, b, c, et d) Faculté de génie mécanique

Université des sciences et de la technologie d'Oran

BP 1505, El Menaouer 31000 Oran, Algérie

Laboratoire des structures de composites et des matériaux innovants

a. mo.esselma@gmail.com

b. mbouchetara@hotmail.com

c. zoubai.elhadi@gmail.com

d. Sadek103@hotmail.com

Résumé:

Depuis son invention, la bielle fut l'objet de nombreuses études de recherche en raison de son rôle dans les systèmes mécaniques qui consiste en la transformation d'un mouvement rectiligne de translation en un mouvement de rotation tout en supportant des sollicitations en traction et compression sévères. La présente étude sur le comportement en fatigue de la bielle d'un moteur à combustion interne comporte deux parties, une étude de la distribution des contraintes et la localisation des zones critiques sous le code de calcul Ansys en 3D, puis une analyse comparative du comportement en fatigue en 2-D entre deux matériaux utilisés dans la construction des bielles, en créant des fissures aux endroits critiques.

Abstract:

Since its invention, the connecting rod was the object of several research studies, this is because of its role in a mechanical system which consists of converting a rectilinear translational motion into a rotational motion while supporting severe loads in tension and compression. The actual study on the fatigue behavior of the connecting rod of an internal combustion engine has two parts, a study of the stress distribution and location of critical areas done on Ansys in 3D, then a comparative analysis of fatigue behavior in 2-D between two materials used in the construction of the connecting rods, and this with the creation of cracks at critical regions.

Mots clefs :

Bielle, contraintes, fatigue, Ansys, fissure.

1. Introduction

L'apparition de la première bielle fut dans le premier moteur à combustion interne d'Etienne Lenoir en 1860 qui a développé un petit monocylindre à double effet. La fonction principale de la

bielle dans un moteur à combustion interne est la transformation du mouvement alternatif du piston en un mouvement de rotation du vilebrequin. La bielle est donc soumise à des sollicitations sévères qui se traduisent par des chargements cycliques importants, notamment des sollicitations axiales de traction, de compression et des sollicitations de flexion due à la force centrifuge, et par conséquent elle doit avoir une grande résistance à la rupture tout en assurant une bonne fiabilité.

De nombreux auteurs ont étudié différents aspects affectant la fiabilité de la bielle, parmi lesquels [1] qui compare le rapport qualité/coût de différents procédés de fabrication, et qui a conclu que les bielles en poudre métallique avec séparation du chapeau de bielle par fracture se distinguent par une meilleure fiabilité que les autres procédés existants. [2] et [3] se sont focalisés sur la définition des chargements axiaux de la bielle, et qui ont définis les phases d'admission et de détente par : la sollicitation de la bielle en traction de la tête de bielle puis du pied de bielle respectivement, et les phases de compression et de combustion par : la sollicitation de la bielle en compression de la tête de bielle et du le pied de bielle respectivement comme indiqué dans la fig.2. Suite a ces mêmes chargements, [3] a constaté une légère déformation de la bielle. [4] et [5] ont analysé à l'aide du code de calcul ANSYS la fiabilité de la bielle utilisé dans deux moteurs différents, et ont pu déduire que la zone critique se trouve au niveau du pied de bielle. De même [6] et [7] ont constaté que les zones les plus critiques se trouvent dans aux extrémités du corps de la bielle.

2. Modélisation et conditions aux limites de la bielle

2.1 Modèle de bielle

Afin de procéder une étude comparative, on a repris les mêmes dimensions géométriques et les mêmes conditions aux limites utilisées par [7].

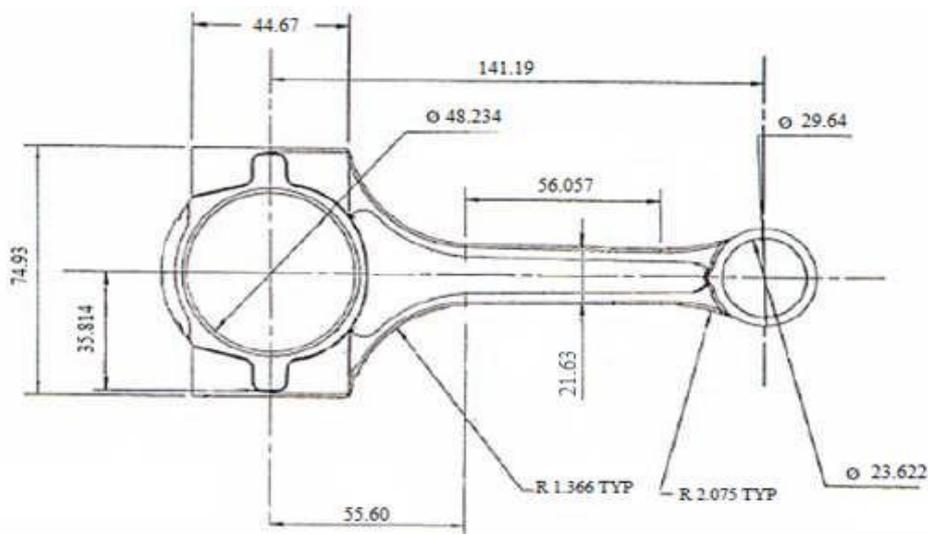


Fig.1 Dimension de la bielle (mm)

2.2 Conditions aux limites

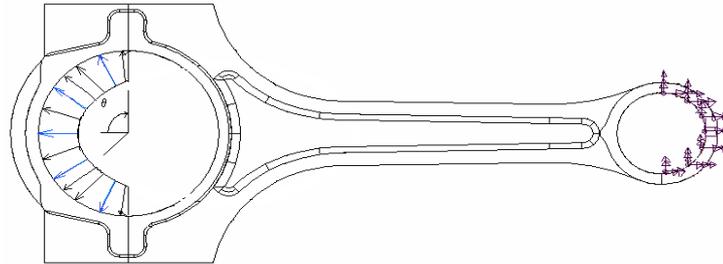
a) Traction de la bielle

Pour la phase d'admission, on suppose que la tête de bielle est soumise à un chargement uniforme de 180° avec une intensité de 35.7 MPa et le pied de bielle est encastré. Pour la phase de détente, le

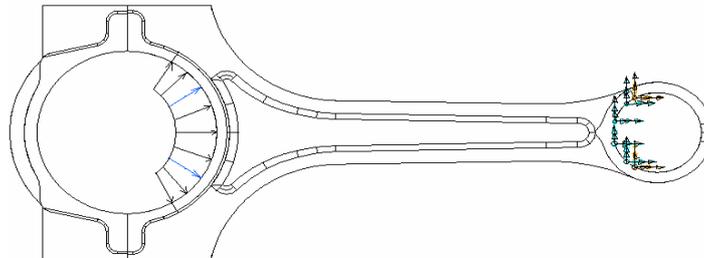
le pied de bielle est soumis à un chargement uniforme de 180° avec une intensité de 72.6 MPa et la tête de bielle est encastrée, fig. 2a et 2d.

b) Compression de la bielle

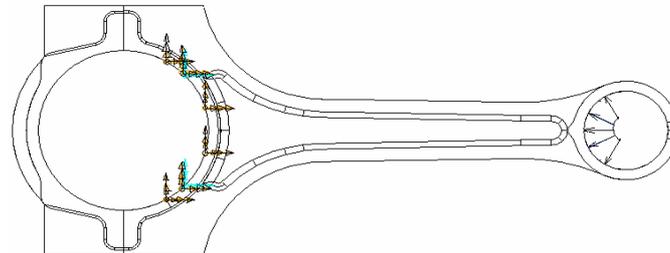
Pour la phase de compression, la tête de bielle est soumise à un chargement uniforme de 120° avec une intensité de 32.4 MPa et le pied de bielle est encastré. Et pour la phase de combustion, le pied de bielle est soumis à un chargement de 120° avec une intensité de 65.9 MPa et la tête de bielle est encastrée, fig.2b et 2c.



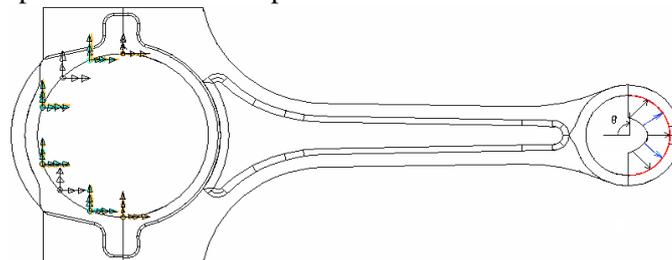
(a) Chargement de la tête de bielle en traction avec une intensité de 35.7 MPa (*Admission*)



(b) Chargement de la tête de bielle en compression avec une intensité de 32.4 MPa (*Compression*)



(c) Chargement du pied de bielle en compression avec une intensité de 65.9 MPa (*Combustion*)



(d) Chargement du pied de bielle en traction avec une intensité de 72.6 MPa (*Détente*)

Fig.2 : Chargement de bielle pour chaque phase du cycle de fonctionnement d'un moteur à quatre temps

3. Distribution des contraintes de la bielle

3.1 Distribution des contraintes de la bielle sans fissure

En appliquant les sollicitations définies pour chaque phase du cycle moteur et en respectant les conditions aux limites, on a pu obtenir à l'aide du code de calcul ANSYS les contraintes équivalentes de von Mises respectives de la bielle sans fissure, présentées dans les figures 3, 4, 5 et 6.

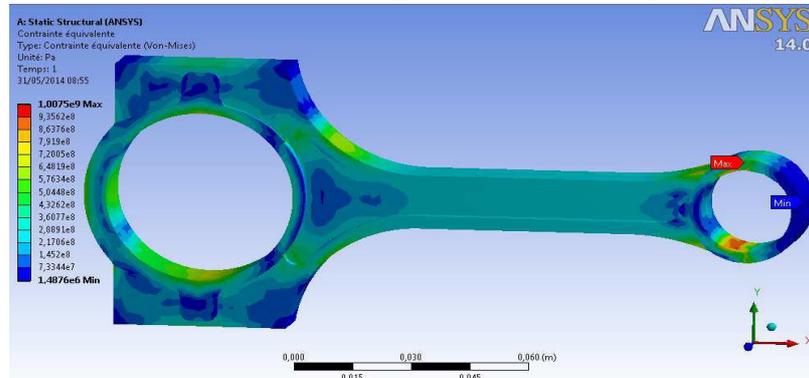


Fig. 3 : Distribution des contraintes équivalentes de la phase d'admission

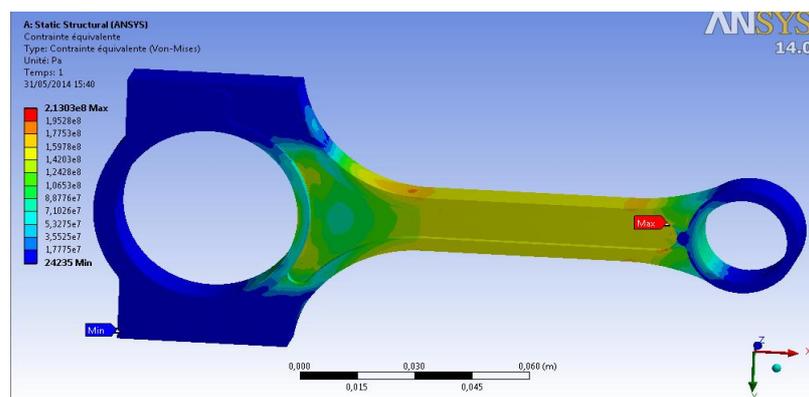


Fig. 4 Distribution des contraintes équivalentes de la phase de compression

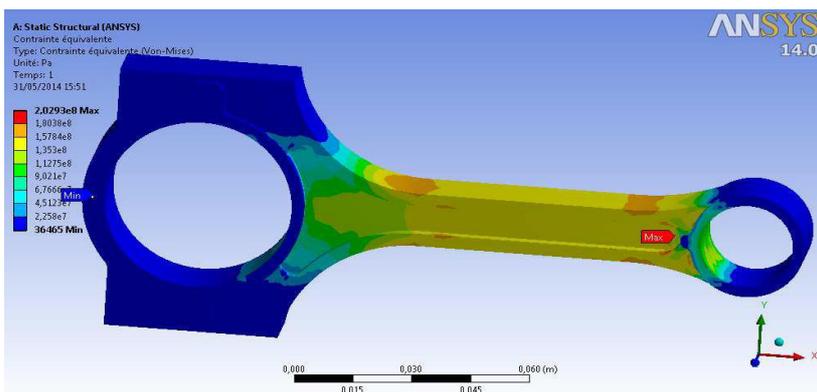


Fig. 5 Distribution des contraintes équivalentes de la phase de combustion

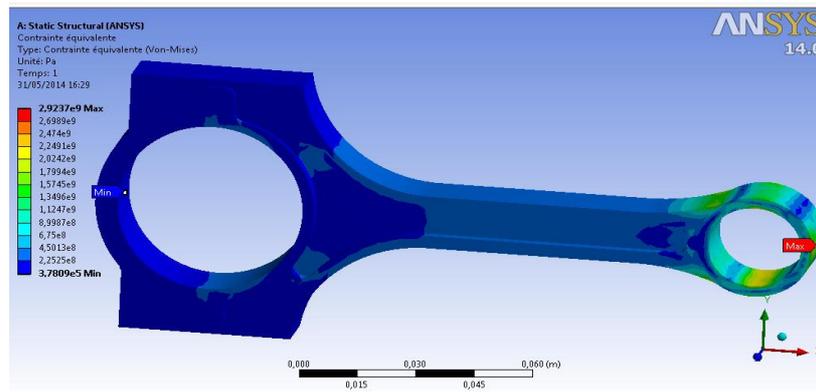


Fig. 6 Distribution des contraintes équivalentes de la phase de détente

Ces figures montrent que les contraintes équivalentes le long du corps de la bielle sont uniformes moyennant les 200 MPa pour les phases d'admission et de détente, et de 160 MPa pour les phases de compression et de combustion. Les valeurs maximales sont atteintes au niveau de l'extrémité du pied de bielle, ce qui est conforme aux résultats déjà obtenus par [7].

3.2 Distribution des contraintes de la bielle avec fissure

Dans le but de simuler les défauts de fabrication de bielles, on a créé une fissure dans la zone critique qui est la partie de raccordement entre le corps et le pied de bielle, fig.7. La taille de la fissure est comprise entre 0.25 et 1.5 mm. Les figures ci-dessous montrent les champs de contraintes équivalentes d'une bielle fissurée avec une taille de 1 mm pour les différentes phases du cycle moteur.

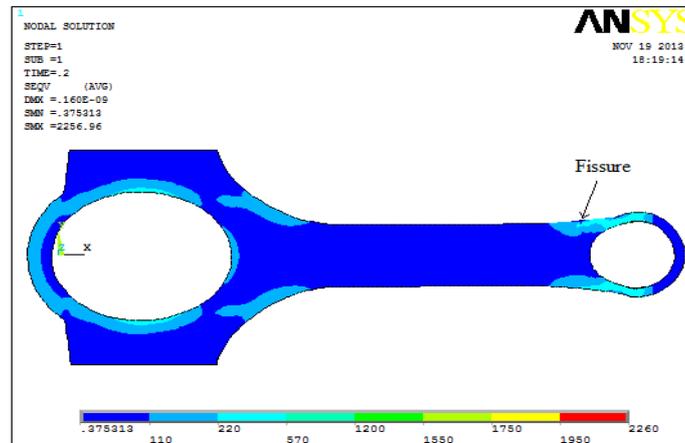


Fig. 7 Distribution des contraintes équivalentes de la phase d'admission

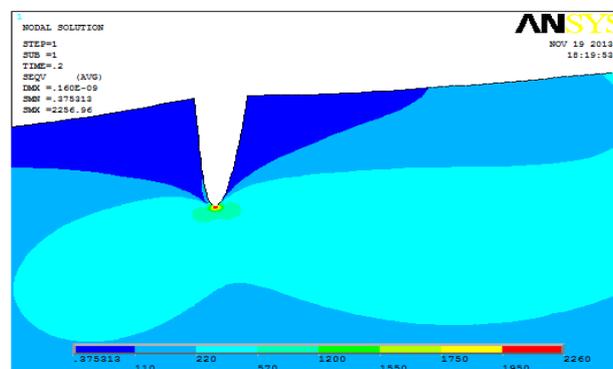


Fig. 8 Zoom du champ de contrainte de l'endroit de la fissure (phase d'admission)

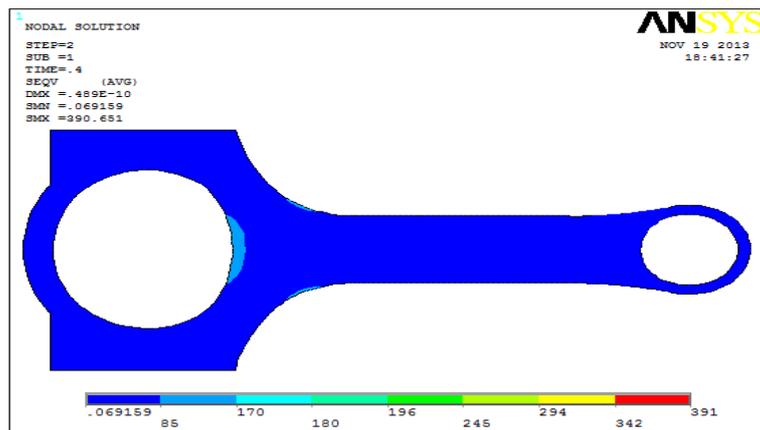


Fig. 9 Distribution des contraintes équivalentes de la phase de compression

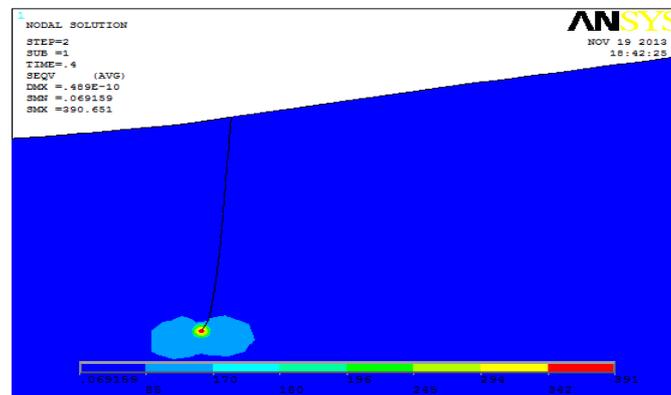


Fig. 10 Agrandissement du champ de contrainte de l'endroit de la fissure (phase de compression)

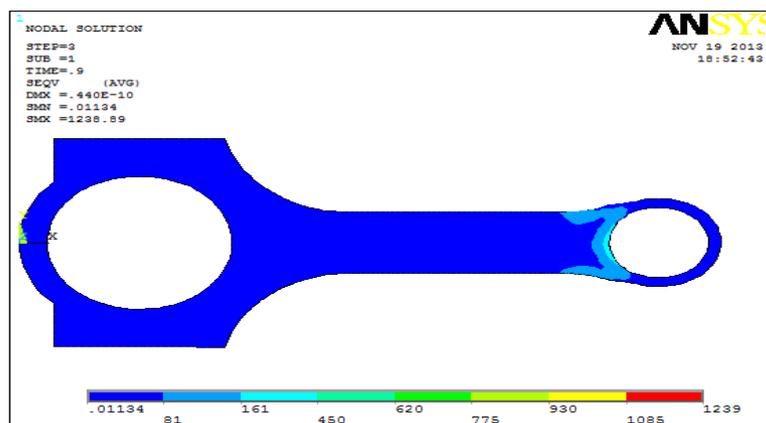


Fig. 11 Distribution des contraintes équivalentes de la phase de combustion

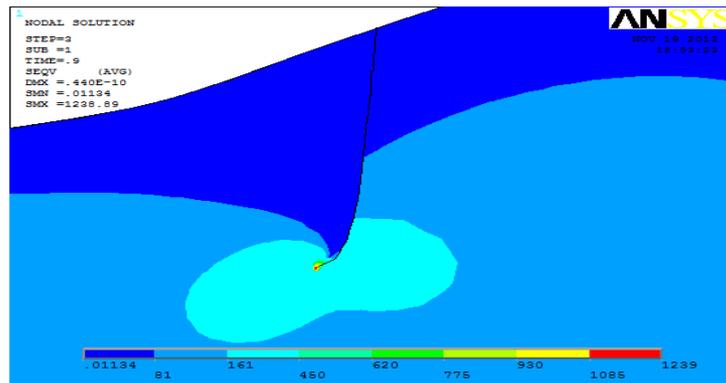


Fig. 12 Agrandissement du champ de contrainte de l'endroit de la fissure (phase de combustion)

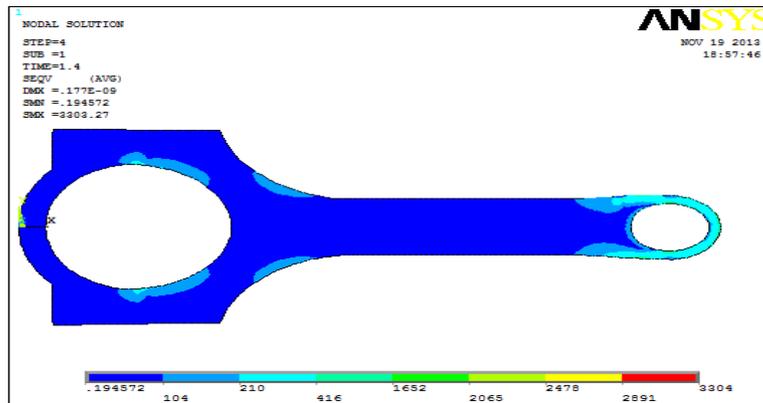


Fig. 13 Distribution des contraintes équivalentes de la phase de détente

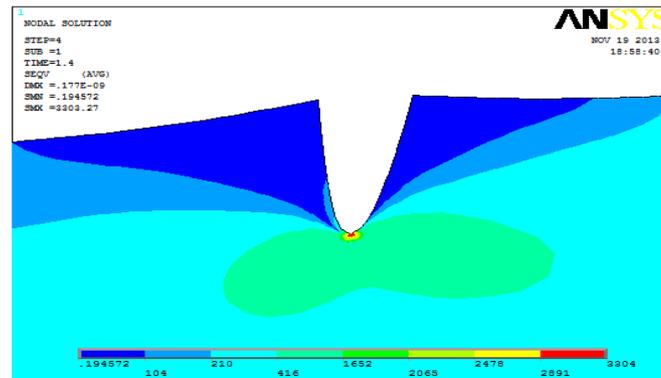


Fig. 14 Agrandissement du champ de contrainte de l'endroit de la fissure (phase de détente)

A partir de la distribution des champs de contraintes, on remarque clairement la région plastique qui informe sur le mode d'ouverture I pour chaque phase. L'amplitude des contraintes diffère de la sollicitation de la bielle en traction qui est beaucoup plus importante par rapport à sa sollicitation en compression, et donc on a une représentation claire sur le comportement des fissures dans cette région pendant le déroulement des phases du cycle moteur.

4. Fatigue de la bielle

4.1 Evolution du facteur d'intensité de contrainte

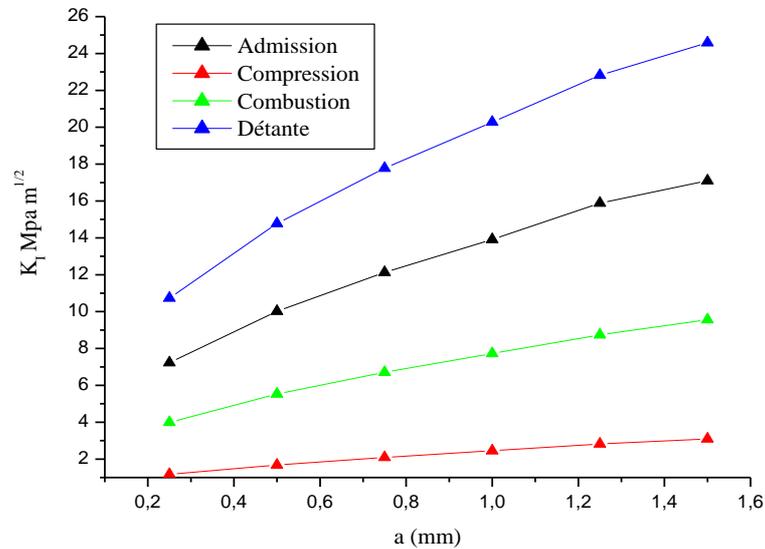


Fig. 15 Evolution du facteur d'intensité de contrainte en fonction de la taille de fissure

D'après la figure 15, le facteur d'intensité de contrainte en mode I augmente d'une manière presque linéaire avec la taille de la fissure. L'importance par l'amplitude du K_I des phases d'admission et de détente c'est-à-dire ceux qui sollicitent la bielle en traction est confirmé par rapport aux deux autres de la sollicitation en compression.

4.2 Comparaison entre matériaux utilisés dans la fabrication des biellets

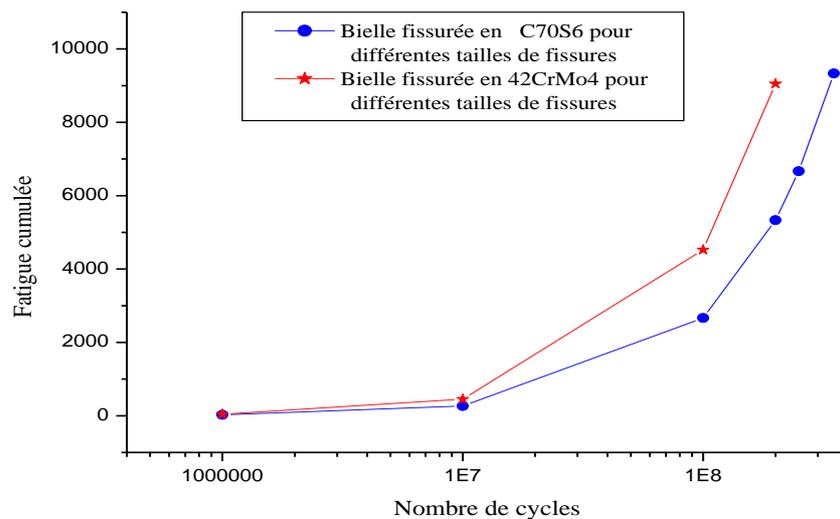


Fig. 16 Comparaison entre la fatigue de biellets fissurée avec matériaux différents en fonction du nombre de cycles

La figure 16 montre que quelque soit le matériau choisi la taille de fissure n'a aucune influence sur le comportement en fatigue de la bielle, puisque les courbes de chaque taille de fissure sont confondues pour la même bielle construite d'un même matériau.

Pour examiner l'influence de la taille de fissure sur la fatigue de la bielle, on a créé le même taille de fissure du coté de la tête de bielle. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 20.

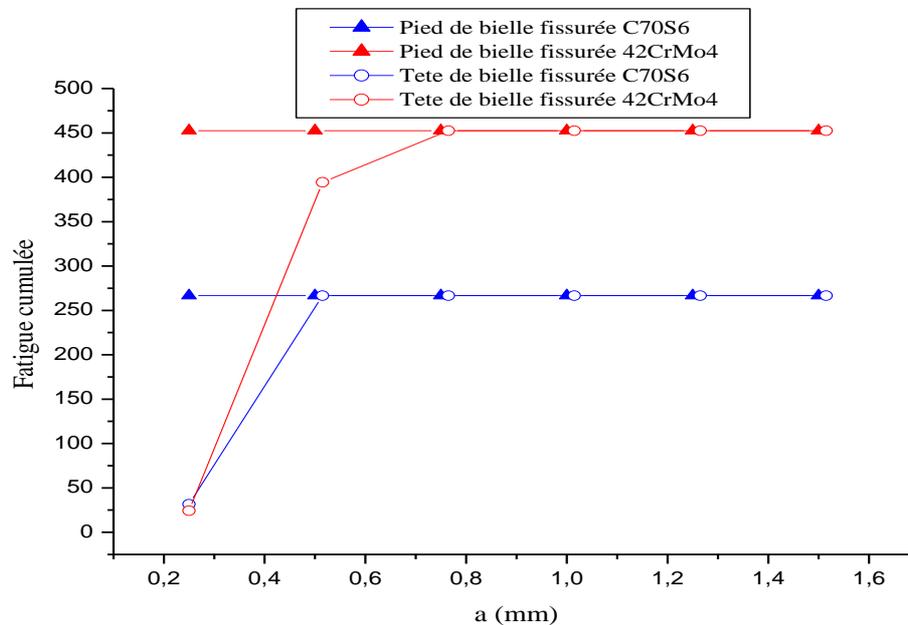


Fig. 17 Evolution de la fatigue cumulé par rapport à la taille de fissure pour 10 million de cycles

Dans cette figure, on remarque clairement l'influence de l'endroit de la fissure et de la taille de la fissure sur la fatigue de la bielle. La bielle fissurée au niveau de la tête de bielle résiste mieux que la bielle fissurée au pied de bielle, surtout pour les petites tailles de fissures ($a = 0,25$ mm et $a = 0,50$ mm). Les bielles au carbone sont plus résistantes que celles au chrome molybdène.

5. Conclusion

A travers cette étude théorique, on a pu remarquer que le comportement en fatigue de la bielle dépend principalement du :

- type de matériau,
- zone de défaut correspondant à la zone de forte concentration de contraintes,
- taille de la fissure

L'étude comparative a montré que les bielles en carbone présentent une meilleure résistance à la fatigue et une meilleure durée de vie, malgré que les bielles au chrome molybdène ont également un comportement en fatigue acceptable.

Une étude expérimentale est nécessaire pour pouvoir valider les résultats d'une simulation numérique en 3D du comportement en fatigue des bielles.

Références bibliographiques

- [1] Wittaker D, "The competition for automotive connecting rods" www.metal-powder.net, May (2001).
- [2] Tilbury R. J. "The prediction and measurement of axial forces, bending moments and accelerations in an engine connecting rod", DOI: 10.1111/j.1475-1305.1982 Volume 18, Issue 2, pages 55–60, May (1982).
- [3] Webster W, "A Three Dimensional Finite Element Analysis of a High Speed Diesel Engine Connecting Rod", SAE Technical Paper 831322, DOI: 10.4271/831322, (1983).
- [4] Omid M, "Fatigue analysis of connecting rod of U650 Tractor in the finite element code Ansys", Journal of Applied Sciences, 4338-4345, (2008).
- [5] Ranjbarkohan M, "Fatigue analysis of connecting rod of Samand engine by finite element method", Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(11):841-845, (2011).
- [6] Beretta S, "Defect tolerant design of automotive components", International Journal of Fatigue, Vol 19, No 4, pp. 319-333, (1997).
- [7] Afzal A, "Fatigue behavior and life predictions of forged steel and powder metal connecting rods", Thesis for a degree of master of science in mechanical engineering, university of Toledo, USA, May (2004).