

# Influence de la contrainte $T$ lors d'un chargement de fatigue en mode I

**B. Sadriji<sup>a</sup>, B. Raka<sup>a</sup>, F. Brugier<sup>a</sup>, Y. Guilhem<sup>a</sup>, D. Soria<sup>b</sup> & S. Pommier<sup>a</sup>**

a. LMT, ENS Cachan, CNRS, Université Paris-Saclay, 94235 Cachan, France

b. Safran Aircraft Engines, 77550 Moissy-Cramayel, France

## Résumé

*Certains composants de moteurs d'avion, tels que les disques de turbine, sont assujettis à des campagnes de certification très strictes. De plus, pendant les phases de maintenance, ces composants sont exposés à la création de défauts de surface tels que des chocs ou des rayures. Ces derniers peuvent induire la création de petites fissures qui amènent à considérer l'effet de la contrainte  $T$  dans le traitement de ces défauts en durée de vie. Cette étude vise à caractériser l'effet de la contrainte  $T$  durant un chargement de fatigue en mode I. Basé sur un modèle 2D, les efforts adéquats liés à la longueur de fissures sont appliqués dans le but d'avoir un chargement représentatif d'une fissure courte. Puis, des essais bi-axiaux multi-instrumentés sont réalisés sur une éprouvette cruciforme contenant une entaille. Plusieurs blocs de chargement de différentes contraintes  $T$  sont explorés dans le but de capturer leur effet sur la propagation. Les premiers résultats montrent une accélération de la propagation de fissure. Il s'agira de comparer ces résultats à ceux obtenus sur des fissures courtes « réelles » dans le futur.*

**Mots clés :** fatigue ; petite fissure ; contrainte  $T$  ; bi axial

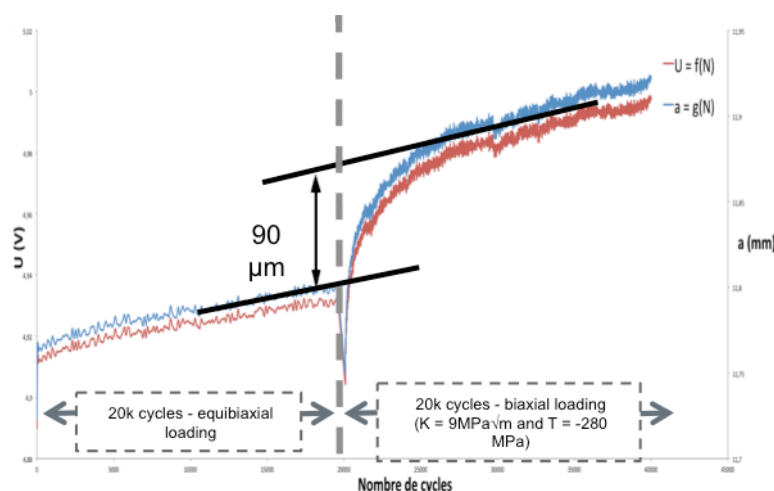
## 1. Introduction

Les disques de turbine font parti des pièces les plus critiques composant un moteur d'avion. Dans le but d'accroître la compétitivité de nouvelles conceptions et de proposer des outils efficaces pour les cas en service, Safran Aircraft Engines s'attache à mieux prendre en compte les phénomènes mécaniques mis en jeu lors de la durée de vie en fatigue de ces composants. Durant les opérations de maintenance, les disques de turbine peuvent être exposés à des impacts de faible énergie induisant des défauts de surface tels que des rayures ou des chocs. De nos jours, les études de durée de vie concernant ces défauts présentent un conservatisme non négligeable; les défauts de surface sont considérés comme des fissures déjà initiées. Ainsi le but est de caractériser les premières étapes de propagation en terme de micro-fissure. Cette étude présente la méthode expérimentale ainsi que les résultats obtenus pour caractériser l'effet de la contrainte  $T$  lors d'un chargement de fatigue en mode I.

## 2. Fissure courte et contrainte T

La propagation de fissure en terme de  $\Delta K$  dépend de sa longueur initiale. En effet, la vitesse d'avancée de fissure d'une fissure courte est plus élevée que celle d'une fissure longue [1]. De plus, la limite de fatigue dépend également de la longueur de fissure, pour les courtes la limite de fatigue tend à être constante [2,3]. En ajoutant la contrainte T, terme non singulier, aux expressions des contraintes données par la mécanique linéaire de la rupture, l'effet susmentionné peut être représenté. Des travaux précédents réalisés par Brugier [4] sur la propagation de fissures courtes ont montré que l'effet de la contrainte T ne peut être négligé à la différence des fissures longues. Ainsi, en supposant que la différence entre fissures longue et courte réside dans la contrainte T (mode I), le but est de voir son effet sur la propagation. Des essais bi-axiaux avaient été menés sur des éprouvettes cruciformes contenant une entaille de 20mm, dans le but de faire propager une fissure longue comme si elle était courte. Ceci est possible en modifiant l'état de biaxialité du chargement i.e. créer un chargement ( $K_I$ , T) représentant une fissure courte : l'extrémité de la fissure « voit » le même chargement qu'une petite fissure. Trois chargements en amplitude constante avaient été appliqués, le premier étant un chargement équi-biaxial (contrainte T nulle) et deux autres chargements bi-axiaux (contraintes T non nulles et négatives) représentant des petites fissures. Le suivi par mesure du potentiel est utilisé et permet de tracer l'évolution de la tension en fonction du nombre de cycles. À l'aide de la courbe de calibration déterminée post mortem, l'évolution de la longueur de fissure peut être reliée au nombre de cycles. Les résultats ont montré, pour les facteurs d'intensité élevés, que la vitesse de propagation du chargement équi-biaxial (contrainte T nulle) est plus élevée que les autres, ce qui va à l'encontre de ce qui était attendu. En effet, la contrainte T négative augmenterait la vitesse de propagation de la fissure.

Après réflexion, l'effet de contrainte T est, d'après ce qui est supposé, liée à une fissure courte or, en amplitude constante la fissure devient longue et par conséquent la contrainte T n'a plus d'effet. Ainsi, l'idée a été d'appliquer des séquences composées de deux blocs de chargement en contraintes T différentes dans les deux blocs. L'attention s'est donc portée à la transition entre les deux blocs, où la contrainte T change. À partir de la loi de calibration déterminée post-mortem, il est possible, à partir de la tension du suiveur de fissure, de remonter à l'avancée de fissure en fonction du nombre de cycles.



**Figure 1.** Tension  $U(V)$  et longueur de fissure  $a(mm)$  en fonction du temps.

La figure 1 présente le résultat obtenu lors d'une séquence de 40k cycles décomposées en deux blocs de 20k cycles de chargements équi-biaxial et biaxial (contrainte T non nulle) respectivement. La tension ainsi que l'avancée de fissure sont tracées en fonction du nombre de cycles. À la transition entre les deux blocs, un saut de tension est observé synonyme d'une avancée de fissure de 90  $\mu\text{m}$  qui s'étend sur environ 5k cycles. La discontinuité de la transition est, a priori, due à des phénomènes qui sont hors intérêt. D'autres séquences sont en cours d'étude pour voir l'effet de la contrainte T à la transition. Des observations MEB ont été menées et sont étudiées pour afin de voir les mécanismes de propagation dans les différents blocs.

### 3. Conclusion

Ces essais ont permis, d'après les premiers résultats, de mettre en évidence l'effet de la contrainte T sur un chargement de fatigue en mode I et de le lier aux fissures courtes. Un chargement en terme de couple ( $K_I$ , T) représentant une petite fissure est appliqué suite à un chargement équi-biaxial (contrainte T nulle) afin de caractériser l'effet de la contrainte T. Les premiers résultats montrent une augmentation de la vitesse de fissure, ce qui est cohérent avec ce qui est attendu. Des efforts sont réalisés pour quantifier l'accélération et les mécanismes de propagation. Le but étant de pouvoir intégrer cet effet dans un modèle de prévision de durée de vie à terme.

### Références

- [1] C. Santus, D. Taylor, *Physically short crack propagation in metals during high cycle fatigue*, Int. J. Fatigue, **27**(10-12): 1297-1306 (2009) Smith, J.C. Green, Titre de l'article, Titre du journal, 10 (2009) 55-72
- [2] H. Kitagawa, S. Takahashi, *Applicability of fracture mechanics to very small cracks or cracks at early stage*, page 627-631, Boston (1976)
- [3] M. Endo, A. McEvily, *Prediction of the behaviour of small fatigue cracks*, Material Science and Engineering, A, 468-470:51-58 (2007)
- [4] F. Brugier, ENS Cachan, PhD thesis (to be published)