

**Proposition de thèse - Ph.D position offer**  
**Etude de l'état de contrainte en bord de trou dans les structures  
aéronautiques suite au procédé de perçage**  
**Study of residual stress distribution near the hole edge in aeronautical  
structures after drilling**

Employer : Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UPS)  
Contact : Yann LANDON, [yann.landon@univ-tlse3.fr](mailto:yann.landon@univ-tlse3.fr)



### **Contexte**

La compréhension et l'amélioration du comportement des assemblages aéronautiques est un enjeu industriel important afin d'optimiser la conception de ces assemblages et de viser l'allègement des structures. Pour les structures métalliques, cette problématique se traduit par la nécessité de comprendre et optimiser le comportement de la liaison mécanique. Les logements de fixation constituent en effet les lieux privilégiés d'endommagement des structures du fait des concentrations importantes de contraintes [1-2]. L'optimisation de la performance des assemblages passe donc par la compréhension de l'état de contrainte en bord de trou suite aux procédés d'obtention de l'alésage et à l'installation d'un élément de fixation, éventuellement avec interférence (jeu négatif). En effet, les étapes du processus d'assemblage (perçage, alésage et mise en place de la fixation) ont un impact sur l'état du matériau en bord de trou. Les opérations de perçage, de par les sollicitations thermo-mécaniques qu'elles imposent, modifient l'état mécanique résiduel du matériau [3-4]. Cet impact dépend totalement du process utilisé (perçage axial ou orbital, lubrification, conditions opératoires...) [5]. Ensuite, l'installation d'une fixation dans l'alésage, potentiellement avec interférence [6], génère à nouveau des déformations imposées et donc des contraintes. Enfin, les sollicitations cycliques imposées à l'assemblage peuvent potentiellement engendrer une relaxation en fatigue des contraintes qui n'est pas souhaitable [7-10].

### **Context**

Understanding and improving the behaviour of aeronautical assemblies is a major industrial challenge to optimize the design of these assemblies, aiming structures lightening. Concerning metallic structures, this issue results in the need to understand and optimize the behaviour of the mechanical joint. The fastener holes are indeed the privileged sites of structure damage due to high stress concentration [1-2]. Optimizing the performance of aeronautical assemblies thus necessarily includes understanding of the stress distribution near the hole edge after the processes used for hole generation and the installation of a fastener, eventually with interference (negative clearance). It is a real challenge since the steps of the assembly process (drilling, reaming, installation of the fastener) have an impact on the mechanical state of the material near the hole edge. The drilling operations, by the thermomechanical stresses generated, modify the residual mechanical strength of the structure [3-4]. This impact depends on the considered process (axial drilling, orbital drilling, lubrication, operating conditions...) [5]. Then, the installation of the fastener into the hole, potentially with interference [6],

generates again deformations and stresses. Finally, the cyclic loading imposed on the assembly may result in a relaxation of the stresses which is not desired [7-10].

### **Projet de recherche**

L'objectif de ce projet de recherche est donc de comprendre et modéliser l'évolution de l'état de contrainte dans la matière en bord de trou lors de la réalisation du procédé de perçage-alésage et lors de l'insertion d'un élément de fixation avec interférence. Cela doit permettre par la suite, au niveau industriel, d'optimiser l'ensemble du processus d'assemblage, depuis la réalisation du logement de fixation jusqu'à l'installation de la fixation, dans le but de maîtriser les coûts d'assemblage.

Le projet s'intéressera essentiellement aux alliages d'aluminium afin d'analyser les gains potentiels en durée de vie des assemblages aéronautiques. Une étude complémentaire dans les métaux durs (de type titane, inconel et/ou acier) sera menée.

Afin de mener à bien ce projet, il sera indispensable d'identifier les phénomènes physiques impliqués lors des différentes phases de l'assemblage (perçage-alésage, installation de la fixation) pour développer des modèles de calcul permettant la simulation de l'évolution de l'état de contrainte en bord de trou. Une approche couplée expérimental/simulation sera mise en œuvre.

L'étude de l'impact du procédé de perçage sur l'état de la matière en périphérie de l'alésage consistera d'abord à identifier expérimentalement les mécanismes de génération de contraintes et de modification microstructurale du matériau lors du perçage. Ces mécanismes seront corrélés avec les paramètres opératoires. Les procédés et méthodologies de perçage utilisés industriellement dans le domaine aéronautique seront mis en œuvre et comparés pour comprendre les différences obtenues sur l'état matière. Cette phase expérimentale devra permettre d'identifier les phénomènes qui sont à l'origine de la modification du matériau en bord de trou. L'objectif est d'identifier les grandeurs d'intérêt, afin d'être en mesure de mettre en place ensuite une modélisation numérique de l'impact de l'opération de perçage avec une approche globale (modèle macroscopique simplifié). L'impact de cette modification mécanique et microstructurale du matériau sur la tenue en fatigue sera également investigué, intégrant l'étude de la relaxation de l'état de contrainte sous chargement cyclique. L'objectif est d'identifier les conditions (paramètres influents) et les niveaux de relaxation obtenus, et leur influence sur la tenue mécanique.

Le procédé de pose d'une fixation avec interférence sera ensuite étudié en termes de taux de déformation et de niveau de contrainte imposés. La fixation avec interférence restant en place, la relaxation des contraintes sous chargement est probablement modifiée par rapport à l'utilisation d'une fixation avec jeu. L'étude des phénomènes liés à la modification de l'état de contrainte en bord de trou lors de la phase d'installation d'une fixation avec interférence sera étudiée avec une approche similaire expérimentale et numérique. Plusieurs paramètres procédés pourront être investigués, le niveau d'interférence figurant en première place des facteurs à prendre en compte. Cette phase d'installation de la fixation faisant suite aux procédés de génération de l'alésage, l'interaction avec les états de contraintes obtenus après alésage sera considérée.

Finalement, une validation des résultats sera envisagée, à travers la réalisation d'une campagne expérimentale dédiée pouvant intégrer des essais de fatigue.

---

## Research project

The objective of the present research project is thus to understand and model the evolution of the stress distribution near the hole edge during drilling, reaming, and during the fastening operation considering interference. From an industrial point of view, this should allow to optimize all the assembly process, from the hole realisation to the installation of the fastener, with the aim of reducing the assembly costs.

The project will essentially focus on aluminium alloys in order to analyse the possible gains in fatigue life of aeronautical assemblies. A complementary study on hard metals (titanium alloys, nickel alloys and/or steels) will be conducted.

To carry out this project, it will be necessary to identify the physical phenomena involved in the different steps of the assembly process (drilling, reaming, fastening) in order to develop computational models for simulation of the evolution of the stress distribution near the hole edge. A dual approach experimentation/simulation will be implemented.

The study of the impact of the drilling process on the mechanical state of the material near the hole edge will firstly consist in experimentations to identify the mechanisms leading to stress redistribution and microstructural changings that occur during drilling. These mechanisms will be correlated with operating parameters. Processes and methodologies used in the aeronautical industry will be implemented, tested and compared to understand the differences obtained in terms of stress distribution and magnitude. This experimental part of the study will lead to the identification of phenomena that are responsible for changing in state of the material near the hole edge. The objective is to identify the variables of interest, in order to be able to set up a numerical modelling of the impact of the drilling process with a global approach (simplified macroscopic model). The impact of this mechanical and microstructural changing on the fatigue strength will also be investigated, including study of stress relaxation under cyclic load. The objective is to identify influent parameters and associated relaxation rates, and their impact on the residual mechanical strength.

The fastening process, considering interference, will be then studied in terms of strain rate and stress level that are imposed. As the fastener remains into the hole, elastic springback is not possible. The stress relaxation and redistribution is thus probably modified in comparison with the case of a fastener fitted with a positive clearance. The study of the phenomena linked to the stress distribution near the hole edge during the fastening process will thus be conducted, with a similar approach experimental and numerical. Several operating parameters will be investigated, the interference rate appearing as the main factor to be considered. As this step of fastener installation follows the hole generation processes, interaction with the stress distribution and magnitude previously obtained will be studied.

Finally, a validation of the results will be conducted, through specific experimentations, including fatigue tests.

## Références

- [1] H. Neuber, "Theory of notch stresses", Office of technical services, 1961.
- [2] R.E. Peterson, "Stress concentrations factors", John Wiley ed., 1974.
- [3] D. Ulutan, T. Ozel, "Machining induced surface integrity in titanium and nickel alloys, a review", International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol.51, pp.250-280, 2011.
- [4] W.C. Ralph, W.S. Johnson, A. Makeev, J.C. Newman Jr., "Fatigue performance of production-quality aircraft fastener holes", International Journal of Fatigue, Vol.29, pp.1319-1327, 2007.
- [5] P.A. Rey, J. Senatore, Y. Landon, "Characterization of the cutting phenomenon in orbital drilling of titanium alloys (TiAl6V4)", 11<sup>th</sup> International Conference High Speed Machining - Advances in Manufacturing Technology, Prague, Czech Republic, September 11<sup>th</sup>-12<sup>th</sup>, 2014.
- [6] N. Nefissi, "Modélisation et mesure des efforts axiaux le long d'une fixation montée avec interférence. Application aux structures aéronautiques", Thèse de doctorat, Université de Toulouse, INSA, 2012.
- [7] A.T. Ozdemir, L. Edwards, "Relaxation of residual stresses at cold-worked fastener holes due to fatigue loading", Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, Vol.20, pp.1443-1451, 1997.
- [8] A.A. Garcia-Granada, V. D. Lacarac, P. Holdway, D. J. Smith, M. J. Pavier, "Creep Relaxation of Residual Stresses Around Cold Expanded Holes", Journal of Engineering Materials and Technology, Vol. 23, pp.125-131, 2001.
- [9] W.Z. Zhuang, G.R. Halford, "Investigation of residual stress relaxation under cycling load", International Journal of Fatigue, Vol.23, pp.31-37, 2001.
- [10] O.S. Zarog, A. Ali, B.B. Sahari, R. Zahari, "Modeling of residual stress relaxation in 2024-T351 aluminium alloy", International Journal of Fatigue, Vol.33, pp.279-285, 2011.

### **Candidat**

Le cœur du travail de thèse consiste au développement de modèles numériques et à la confrontation essais/calcul. Le candidat recherché doit donc posséder de bonnes compétences en calcul scientifique, en modélisation numérique et sur le comportement mécanique des matériaux métalliques. Il devra faire preuve également de sens expérimental, notamment en usinage, en assemblage mais aussi en essais mécaniques et en caractérisation des matériaux, et être volontaire pour mener les actions nécessaires dans ce domaine.

### **Localisation**

Ces travaux de thèse se dérouleront dans les locaux de l'Institut Clément Ader à Toulouse.

### **Financement**

En accord avec les règles appliquées à l'Université, définies dans la « Charte des contractuels », l'UPS financera un salaire d'environ 2 000 € bruts par mois.

### **Date de démarrage**

Il est prévu que les travaux de thèse démarrent en avril 2017.

### **Conditions de candidature/recrutement**

Envoyer CV et lettre de motivation à Yann Landon.

L'UPS s'implique dans le processus d'intégration des principes de la Charte européenne des chercheurs et du Code de conduite pour le recrutement des chercheurs en adoptant la stratégie des ressources humaines pour les chercheurs (HRS4R).

### **Candidate**

The core work consists in the development of numerical models and computation/tests comparison. Thus the candidate must present good skills in scientific computing, numerical modelling and on mechanical behaviour of metallic materials. He will also have a good sense for experimentations, including machining, assembly but also in mechanical testing and material characterization, and be volunteer to conduct the necessary actions in this field.

### **Localisation**

This Ph.D work will be conducted in Institute Clément Ader - Toulouse, France.

### **Funding**

In accordance with the relevant standards applied at the University defined in the "Charte des contractuels", UPS will provide a gross monthly salary around 2000 € including social security and retirement contributions.

### **Start date**

The study is expected to begin in April 2017.

### **Application and recruitment conditions**

Send a CV and a covering letter to Yann Landon.

UPS is undertaking the process of incorporating the principles of the European Charter for researchers and Code of conduct for the recruitment of researchers by adopting the Human Resources strategy for researchers (HRS4R).