



Démarrage décembre 2016 ou janvier 2017

Titre	ETUDE DE L'EXPANSION DANS LES METAUX DURS	
Responsable scientifique à contacter :	Alain DAIDIE INSA Génie Mécanique alain.daidie@insa-toulouse.fr	
Laboratoire d'accueil	Institut Clément Ader (ICA UMR CNRS 5312) 3 Rue Caroline Aigle 31400 TOULOUSE www.institut-clement-ader.org	

I. Contexte industriel

Le besoin constant d'amélioration de la performance énergétique et économique du transport aérien impose la conception d'aéronefs toujours plus éco-efficients et dont les coûts d'exploitation et de production sont les plus faibles. Au sein des structures primaires aéronautiques, on retrouve des composants et sous-ensembles hautement techniques, garants de l'intégrité et de l'efficacité globale de l'appareil. Le mât réacteur, unique lien mécanique reliant le moteur à l'aile, est l'un des sous-ensembles les plus critiques pour l'intégrité de l'appareil. Le cahier des charges pour sa conception et sa fabrication est un vrai défi. Il doit permettre de transmettre la poussée des moteurs à la cellule, tout en présentant une excellente aérodynamique avec une robustesse remarquable et assurant une intégration fonctionnelle totale des réacteurs. Avec l'arrivée de réacteurs de plus en plus performants sur le marché aéronautique, les contraintes de température et les sollicitations mécaniques supportées par l'architecture métallique caissonnée du mât réacteur ont imposé l'utilisation d'alliages de haute performance telle que les métaux durs. Les alliages métalliques de la famille des « métaux durs » possèdent des propriétés physiques qui présentent de nombreux intérêts. Ils permettent d'obtenir les meilleurs compromis entre densité et caractéristiques d'usage recherchées. Celles fréquemment retenues sont leur tenue sous des sollicitations mécaniques ponctuelles et cycliques alternées, parfois sur de larges spectres de température. Au sein de cette famille de matériaux, on peut citer les très attractifs alliages de titane, les aciers à très hautes performances et les superalliages à base nickel ou cobalt dont l'utilisation est désormais courante dans le secteur aéronautique et le spatial.

II. Enjeux scientifiques

La mission du Post-doc s'inscrit dans la maîtrise de paramètres liés à l'emploi des métaux durs, favorisant son attrait dans le secteur aéronautique. La majorité des structures métalliques sont rivetées ou vissées entre elles. Les trous nécessaires à l'installation de ces fixations sont par définition des discontinuités géométriques et par conséquent de hauts lieux de concentration de contrainte sous charge. C'est pour répondre à cette problématique que des procédés d'expansion à froid sont développés. Ces procédés d'expansion consistent à déformer plastiquement le matériau pour créer, à la périphérie de l'alésage, des contraintes résiduelles de compression irréversibles et ainsi retarder l'initiation de fissures tout en modérant le risque de concentration de contraintes.

1/ Performance en fatigue des assemblages boulonnés à fort transfert de charges

Les travaux concernent la poursuite de la campagne d'essais sur éprouvettes d'assemblages initiée lors d'une thèse sur l'expansion des métaux durs. Cette campagne doit être étendue en considérant de nouvelles configurations d'assemblages et d'expansion, qui permettront de couvrir des applications de joints aéronautiques standardisés (simple cisaillement, réalésages axiaux...). Cette tâche impose la définition de nouvelles éprouvettes ainsi que le suivi de leur fabrication auprès de sous-traitants. Les opérations d'expansion à froid, d'assemblage et de tests seront effectuées conjointement avec Airbus. Une nouvelle campagne expérimentale sera mise en place pour traiter de l'impact de l'expansion dans une condition de « réparation » des assemblages. L'étude visera à déterminer les niveaux de précontrainte axiale envisageables qui permettront de minimiser les problématiques de

contacts dans les assemblages. Plus particulièrement, l'évolution de la déformation de surface des trous expansés, nommée aussi déformation « volcan », doit être considérée. Un critère pourra être défini, afin de respecter des méthodes d'assemblage adéquates, en fonction de la configuration de l'empilage traité. Les résultats de cette étude peuvent conduire au développement d'une méthodologie et/ou d'un procédé permettant d'optimiser les bénéfices en fatigue apportés.

2/ Maîtrise du risque de relaxation des contraintes résiduelles autour des alésages expansés

Les travaux à conduire traiteront des relaxations de contraintes résiduelles pouvant intervenir autour des alésages expansés. Au cours des travaux antérieurs réalisés sur le sujet dans le cadre d'une thèse, il a été démontré que des relaxations significatives pouvaient être observées lors des étapes d'usinages. Particulièrement, le procédé de réalésage a été étudié à l'aide de moyens thermographiques et l'incidence de la température, lors de l'opération de calibrage, doit être analysée pour vérifier s'il existe un lien avec ces phénomènes de relaxation. Les travaux dans le cadre du Post-doc doivent permettre de répondre à cette interrogation. Du point de vue industriel, l'objectif est d'établir une démarche adéquate du procédé de réalésage en fonction des bénéfices souhaités sur une pièce finie. Par ailleurs, il s'agit d'analyser le risque de relaxation des contraintes liées à une exposition élevée en température des pièces constituant les mâts réacteurs. L'objectif est la détermination des températures seuils de tolérance. Des moyens de mesure de contrainte pourront être utilisés sur des éprouvettes de faisabilité de procédés.

3/ Approche numérique

Des travaux de thèse ont conduit au développement de modèles numériques axisymétrique qui simulent le procédé d'expansion à froid dans les alésages métalliques. Deux axes de travail se détachent, afin de poursuivre les travaux sur cette thématique. Dans un premier temps, une modélisation tridimensionnelle du procédé doit être établie, afin d'améliorer la représentativité des modèles et la connaissance du comportement des métaux durs sujets à l'expansion. Elle permettrait de simuler les potentielles anisotropies dans le plan des matériaux testés et de simuler le comportement local de la zone de la fente de la bague qui est sujet à une forte évolution de gradients de contraintes et de déformations. Le couplage avec un critère de rupture permettrait de détecter les limites potentielles du matériau suivant la configuration testée. Dans un second temps, la stratégie de modélisation axisymétrique proposée dans la thèse pourrait être automatisée à l'aide d'une chaîne de calcul. L'objectif est de pouvoir simuler de manière efficace les champs de contraintes (intensités et étendues) et de déformations (surfaces et interfaces) pour des configurations diverses, dans le cas d'alésages isolés, mais aussi pour des empilages de pièces serrées. Les principales variables pour ces modèles sont les diamètres de trous, épaisseurs de tôles, taux d'expansion appliqués, matériaux traités, natures des empilages, précontrainte appliquée. Des stratégies d'expansion d'empilages multi-matériaux pourraient être également simulées.

V. Organisation des travaux de recherche

Les travaux seront encadrés conjointement par :

- Airbus (au sein du sous-domaine assemblage mécanique ESCMA3) ;
- Institut Clément Ader (ICA), laboratoire de recherche.

Ce projet nécessite de s'intéresser à des approches théoriques, numériques et expérimentales. Le couplage de ces approches doit aboutir à une meilleure compréhension du comportement de l'alésage soumis aux procédés d'expansion à froid puis à une optimisation des paramètres du procédé pour aboutir à une tenue en service optimale impactant l'efficacité du taux de transfert de charge au niveau des fixations.

Les différentes étapes théoriques, expérimentales et numériques constituant ce travail de recherche sont décrites ci-dessous :

1. Bibliographie

- Mise à jour de la bibliographie sur l'expansion à froid et approfondissement de l'état de l'art concernant la tenue mécanique d'un assemblage précontraint sous des sollicitations de type statique ou fatigue.
- Bibliographie sur les technologies industrielles du procédé d'expansion à partir des études et brevets récents. Evaluation de la mise en œuvre de ces technologies vis-à-vis des contraintes industrielles d'assemblage (telles que les exigences de maintenance, de réparation, d'accessibilité ...).

2. Approche expérimentale

- Développement de nouvelles campagnes expérimentales sur éprouvettes d'assemblages initiées lors d'une thèse sur l'expansion des métaux durs.
- Mise en place d'une instrumentation adaptée permettant l'étude des contraintes résiduelles dans la zone des trous expansés.

- Développement de nouvelles approches d'expérimentation permettant de traiter de l'impact de l'expansion dans une condition de « réparation » des assemblages.
- Mise en place de procédures expérimentales spécifiques permettant l'évaluation de la robustesse du procédé d'expansion dans un contexte d'application industrielle.
- Extension de l'étude préalablement réalisée à d'autres nuances métalliques utilisées dans les assemblages aéronautiques.

3. Approche numérique

- Réalisation d'une étude par des simulations analytiques et numériques pour évaluer les contraintes dans la zone expansée dans les matériaux durs.
- Réalisation d'une étude approfondie des différents paramètres générant l'effet « volcan » au droit des trous et leurs effets sur les résultats de fatigue.
- Fiabilisation de l'outil numérique préalablement développé pour permettre la prise en compte d'incertitudes et de phénomènes non pris en compte jusqu'à présent (de type gradient de contrainte).
- Optimisation du procédé d'expansion afin d'améliorer les gains en fatigue de structures assemblées par des fixations.

V. Bibliographie

- [1] Canivenc R. (2009). "Assemblage de bagues par expansion - Définition de modèles et d'outils d'assistance utiles aux phases de prédimensionnement". Thèse de doctorat, Université de Toulouse, INSA de Toulouse.
- [2] Adam L. (2011). "Etude expérimentale et numérique du procédé d'assemblage par fixations aveugles dans des structures composites". Thèse de doctorat, Université de Toulouse, INSA de Toulouse.
- [3] Benhaddou T., Chirol C., Daidié A., Guillot J., Stephan P., Tuery J.-B. (2014). "Pre-tensioning effect on fatigue life of bolted shear joints". *Aerospace Science and Technology*. 36, pp 36-43.
- [4] Benhaddou T. (2015). "Influence de la précharge sur la tenue statique et fatigue des assemblages boulonnés". Thèse de doctorat, Université de Toulouse, INSA de Toulouse.
- [5] Achard V., Daidié A., Paredes M., Chirol C. (2016), "Optimization Of The Cold Expansion Process For Titanium Holes", *Journal Advanced Engineering Materials*, Wiley, vol 17 Issue 3, pp. 303_1-13.
- [6] Achard V., Daidié A., Paredes M., Chirol C. (2016), "Cold expansion process on hard alloy holes - experimental and numerical evaluation", *Mechanics and Industry*, EDP Sciences, vol 17 Issue 3, pp. 1-16.
- [7] Achard V. (2016). "Etude du procédé d'expansion à froid des alésages au sein des structures aéronautiques en métaux durs". Thèse de doctorat, Université de Toulouse, INSA de Toulouse.

VI. Compétences attendues du candidat

- Maîtrise des outils CAO (ex : CATIA V5)
- Maîtrise des outils de calcul par éléments finis (ex : Abaqus, ...)
- Maîtrise d'un langage de programmation (ex : Matlab, C++, Python,...)
- Avoir une compétence sur des activités expérimentales (essais statiques et de fatigue) serait un plus.

VII. Rémunération mensuelle

Un contrat d'engagement à durée déterminée de 24 mois (CDD) sera proposé pour réaliser ces travaux de recherche.

VIII. Contact

Transmettre une lettre de candidature motivée avec un CV à :

Alain Daidié
alain.daidie@insa-toulouse.fr