

6^e Colloque **LES** **ASSEMBLAGES**
mécaniques

ISAE-SUPMÉCA
3-4 JUILLET 2025

Évolutions récentes et perspectives

Programme du 6^{ème} Colloque Assemblages Mécaniques

3-4 juillet 2025

Jeudi 03 Juillet

8h30 – 9h00 Accueil des participants

Conférence d'ouverture

Présidence de session: Christian PALECZNY (Safran Aircraft Engines)

09h00 – 09h45 : Les enjeux et les perspectives des assemblages mécaniques dans Airbus Atlantic

Clément CHIROL ⁽¹⁾

(1) : AIRBUS Atlantic, Colomiers

Session 1 – Modélisation et simulation

Présidence de session : Christian PALECZNY (Safran Aircraft Engines)

09h45 - 10h10 Optimisation d'un assemblage sous contrainte acoustique 634664

Jacques MARCHESINI ⁽¹⁾, Reinhard HELFRICH ⁽²⁾

(1) : INTES France, Rambouillet

(2) : INTES GmbH, Stuttgart, Allemagne

10h10 - 10h35 Modèle de connecteur pour la simulation dynamique d'assemblages boulonnées sous chargement extrême 635710

Quentin LANÇON ⁽¹⁾, Pierre-Alain GUIDAULT ⁽¹⁾, **Pierre-Alain BOUCARD** ⁽¹⁾, Nicolas VALLINO ⁽²⁾

(1) : ENS Paris-Saclay

(2) : Safran Tech, Magny-les-Hameaux

10h35 - 10h40 Pitch exposant : INTES

10h40 - 10h45 Pitch exposant : Automatica

10h45 – 11h15 Café / exposition

Session 2 – Matériaux

Présidence de session : François DAILLEZ (Dassault Aviation)

11h15 – 11h40 Développement d'un revêtement électriquement conducteur pour application sur fixations aéronautiques 635663

Tom NAVEL ⁽¹⁾

(1) : LISI AEROSPACE, Saint-Ouen-L'Aumône

11h40 – 12h05 Caractérisation de la diffusion de l'eau dans un joint adhésif hétérogène, à l'aide de la micro-tomographie aux rayons X 634957

Andreea TINTATU ^{(1) (2)}, **Claudiu BADULESCU** ⁽¹⁾, Pierre BIDAUD ⁽¹⁾, Hervé BINDI ⁽²⁾, Philippe LE GROGNEC ⁽¹⁾

(1) : ENSTA Institut de Recherche Dupuy De Lôme, Brest

(2) : Thales DMS, Sophia Antipolis

Programme du 6^{ème} Colloque Assemblages Mécaniques

3-4 juillet 2025

12h05 – 12h30 Technologies innovantes d'assemblages : défis et solutions pour le montage de composites céramiques dans les moteurs aéronautiques 634965

Thomas REVEL ⁽¹⁾, Gaël BOUCHY ⁽¹⁾, Florent BOUILLON ⁽¹⁾, Thierry TESSON ⁽¹⁾

(1) : Safran Ceramics, Mérignac

12h30 – 12h35 Pitch exposant: LISI Aerospace

12h35 – 12h40 Pitch exposant: HEICO

12h40 – 14h10 Déjeuner / exposition

Session 3 – Géométrie des assemblages

Présidence de session : Pierre Alain BOUCARD (ENS Paris-Saclay)

14h10 – 14h35 Maximiser le coefficient de frottement pour sécuriser les assemblages ainsi que les transmissions mécaniques au travers une solution d'adhérence innovante 628309

Luc MOYART ⁽¹⁾, Frédéric BELLO ⁽¹⁾, Pierre MANGIN ⁽¹⁾

(1) : Gris-Group, Lesménils

14h35 – 15h00 Modèle de contact semi-analytique de surfaces rugueuses pour l'étude du frottement statique 648240

Julien FORTES DA CRUZ ⁽¹⁾, Maria-Letizia RAFFA ⁽¹⁾, Tony DA SILVA BOTELHO ⁽¹⁾, Loïc MAHO ⁽¹⁾, Karim DEMMOU ⁽²⁾

(1) ISAE-Supméca, Laboratoire Euler, France

(2) Safran Aircraft Engines, Villaroche, France

15h00 – 15h25 Étude comportementale d'un filetage dissymétrique. 634928

Lyne MEOUCHY ⁽¹⁾, Alain DAIDIÉ ⁽¹⁾, Manuel PAREDES ⁽¹⁾

(1) Institut Clément Ader, Toulouse

15h25 – 15h50 Étude d'un assemblage vissé associé à des filets rapportés. 635685

Camille GILLET ⁽¹⁾, Adeline FAU ⁽¹⁾, Alain DAIDIÉ ⁽¹⁾

(1) Institut Clément Ader, Toulouse

15h50 – 15h55 Pitch exposant: Gris Group

15h55 – 16h00 Pitch exposant: JPB Système

16h00 – 16h30 Café / exposition

Programme du 6^{ème} Colloque Assemblages Mécaniques

3-4 juillet 2025

Session 4 – Modélisation et simulation

Présidence de session : Alain DAIDIÉ (INSA Toulouse)

16h30 – 16h55 Modélisation hybride des séquences de serrage 633328

Zouhair CHAIB ⁽¹⁾, Christophe DELCHER ⁽¹⁾, **Adeline HOUSSAYE** ⁽²⁾

(1) : Centre Technique des Industries Mécaniques -Cetim, Saint-Étienne

(2) : Safran Aircraft Engines, Villaroche

16h55 – 17h20 Modélisation numérique simplifiée de l'usure de douilles au sein d'un mécanisme d'aubes à calages variables 635985

Vivien FOUQUET ^{(1) (2)}, Pierre-Alain GUIDAULT ⁽¹⁾, François LOUF ⁽¹⁾, Pierre-Alain BOUCARD ⁽¹⁾, Jean-Hilaire LEXILUS ⁽²⁾, Amakoe AHYEE ⁽²⁾, Nathalie SERRES ⁽²⁾

(1) : Laboratoire de Mécanique Paris-Saclay

(2) : Safran Aircraft Engines, Villaroche

17h20 - 17h45 Évaluation de la tenue par frottement statique induite à l'interface d'une liaison frettée soudée pour une application nucléaire 634499

Quentin BOURGET ^{(1) (2)}, Tudor BALAN ⁽¹⁾, Florent CUSENZA ⁽²⁾, Éric BECKER ⁽¹⁾, Thibault DEMOL ⁽³⁾

(1) : Arts et Métiers Sciences et Technologies, Université de Lorraine, LCFC, Metz

(2) : Framatome, Saint-Marcel

(3) : Framatome, Paris la Défense

19h00 – 23h00 Diner & Animations

Programme du 6^{ème} Colloque Assemblages Mécaniques

3-4 juillet 2025

Vendredi 04 Juillet

08h30 – 09h00 Accueil des participants

Conférence d'ouverture (2^{ème} jour)

Présidence de session : Clément CHIROL (Airbus Atlantic)

09h00 – 09h45 Tenue mécanique d'un assemblage serré dans le domaine plastique 632613
Alain DAIDIÉ ⁽¹⁾, **Zouhair CHAIB** ⁽²⁾, Louis MIKOLAJCZAK ⁽¹⁾, Adeline FAU ⁽¹⁾
(1) : Institut Clément Ader, Toulouse
(2) : Centre Technique des Industries Mécaniques -Cetim, Saint-Étienne

Session 5 – Comportement en service

Présidence de session : Clément CHIROL (Airbus Atlantic)

09h45 – 10h10 Effect of burrs on the fatigue strength of metallic structures: experimental study on open hole Ti-6Al-4V specimens with burrs 630188
Santiago FRUTOS-TARAVILLO ^{(1) (2)}, **Éric PAROISSIEN** ⁽²⁾, **Yann LANDON** ⁽²⁾, **Sébastien SCHWARTZ** ⁽²⁾, **Mathieu FRESSINET** ⁽¹⁾, **Clément CHIROL** ⁽³⁾
(1) : Airbus Operations SAS, Toulouse
(2) : Institut Clément Ader, Toulouse
(3) : AIRBUS Atlantic, Colomier

10h10 - 10h35 Influence du type de sollicitations sur la tenue au dévissage 631473
Christophe DELCHER ⁽¹⁾, **Antoine ROSSO** ⁽²⁾, **Élodie BOURGEOIS** ⁽²⁾
(1): Centre Technique des Industries Mécaniques – Cetim, Saint-Étienne
(2): MBDA, Le Plessis-Robinson

10h35 – 11h00 Desserrage et glissement sous sollicitations vibratoires 646331
Maylis VIALANEIX ⁽¹⁾
(1) : Liebherr Aerospace LTS, Aucamville

11h00 – 11h30 Café / exposition

Session 6 – Process et industrie 4.0

Présidence de session : Luc MOYART (Gris Group)

11h30 – 11h55 Transfert de technologies d'assemblage, de l'automobile à l'aéronautique 639461
Amaury BONNET ⁽¹⁾, **Joris LAFFAY** ⁽¹⁾
(1) : Airbus Helicopters (ETXLM), Marignane

11h55 – 12h20 Industrialisation 4.0 : retour d'expérience sur le serrage manuel et robotisé 633286
Thibault ROYER ⁽¹⁾, **Christophe DELCHER** ⁽¹⁾, **Ghislain FAUQUET** ⁽²⁾
(1) : Centre Technique des Industries Mécaniques -Cetim, Saint-Étienne
(2) : Safran Nacelles, Gonfreville-l'Orcher

Programme du 6^{ème} Colloque Assemblages Mécaniques

3-4 juillet 2025

12h20 – 12h45 Capteur de serrage "Smart Washer" - JPB Système 645752

Alan DESJONQUERES ⁽¹⁾, **Julien CHEVALIER** ⁽¹⁾

(1) : JPB Système, Montereau-sur-le-Jard

12h45 – 14h15 Déjeuner / exposition

Session 7 – Process et industrie 4.0

Présidence de session : Karim DEMMOU (Safran Aircraft Engines)

14h15 – 14h40 Démarche ALARA : réduction du temps d'opérations sur les liaisons étanches au travers de systèmes de déconnexion rapides (QDS) 633092

Loick ALLEGRE ⁽¹⁾, **Florent LEDRAPPIER** ⁽²⁾, **Geoffrey DOULSIER** ⁽¹⁾, **Gregory TOCHEPORT** ⁽³⁾

(1) : Maestral, Pierrelatte

(2) : Technetics, saint-Étienne

(3) : CEA ISEC, Marcoule

14h40 – 15h05 Assemblage par soudage laser des structures hybrides de Type Métal/ Composite thermoplastique 635331

Khaoula BOUKHADRA ⁽¹⁾ ⁽²⁾ ⁽³⁾, **Zouhaier JENDLI** ⁽¹⁾, **Jean-Christophe WALRICK** ⁽¹⁾,

Afia KOUADRI-HENNI ⁽²⁾ ⁽³⁾

(1) : ESTACA, Laval

(2) : INSA, Département GMA, Rennes

(3) : Laboratoire des sciences du numérique de Nantes

15h05 – 15h30 How to unlock widely the potential of lightweighting, thanks to ERWin®, an innovative & efficient multi-material assembly technology 640206

Maxime GROJEAN ⁽¹⁾

(1) : GAMING ENGINEERING, Lérrouville

16h00 Clôture du Colloque Assemblages Mécaniques 2025

SESSION 1: MODELISATION ET SIMULATION

OPTIMISATION D'UN ASSEMBLAGE SOUS CONTRAINTE ACOUSTIQUE

R. Helfrich¹, J. Marchesini²

1. INTES GmbH, Stuttgart, Allemagne

2. INTES France, Rambouillet, France

MOTS CLÉS : Assemblage mécanique, Contact, Optimisation, Transmissions mécaniques, Acoustique, Simulation.

INTRODUCTION

L'optimisation avec cas de charges statiques et dynamiques est fréquemment effectuée pour réduire la masse de systèmes mécaniques. Dans le cadre d'un assemblage mécanique, il est parfois nécessaire de prendre en compte les états de contact pour représenter correctement la rigidité du système et son comportement vibratoire lors des processus d'optimisation avec des exigences sur les niveaux de rayonnement acoustique.

Ce processus d'optimisation est appliqué sur un modèle en éléments finis d'un réducteur à engrenage présentant des interfaces boulonnées, des paliers, des roulements à billes, pour lequel un paramétrage de la forme du carter est étudié pour limiter le rayonnement acoustique tout en minimisant sa masse. Il s'agit d'une approche efficace qui combine dans la même itération d'optimisation, des analyses statiques avec contacts, des analyses modales et des réponses harmoniques pour aboutir à une forme de carter respectant des conditions de démoulabilité. La présentation suivante explique comment ce processus fonctionne, sa mise en œuvre et les résultats obtenus.

MODÉLISATION D'UN RÉDUCTEUR A ENGRENAGE

Le réducteur à engrenage est modélisé finement afin de prendre en compte les contacts présents dans l'ensemble des liaisons comme la boulonnerie, les roulements, la jonction de boîte et les dentures, omniprésents et essentiels dans ce type de système. Les roues dentées ont également été finement modélisées.

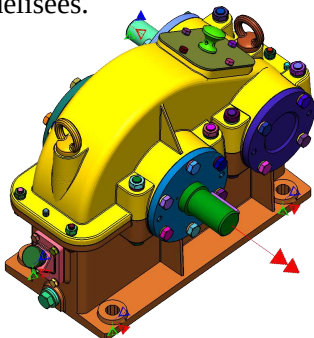


Figure 1: Réducteur à engrenage

STRATÉGIE D'OPTIMISATION

Pour des couples moteurs donnés (positif et négatif), la conception d'origine est conservatrice en termes de contraintes mécaniques, avec des marges autorisant potentiellement une réduction de masse. Cependant, la diminution des épaisseurs des parois augmente le niveau du rayonnement acoustique. Par conséquent, le scénario d'optimisation doit être précis et comprendre les conditions suivantes :

- un critère sur la valeur maximale à ne pas dépasser pour les contraintes principales,
- un niveau maximal de rayonnement acoustique à respecter,
- des directions de démoulage pour la fabricabilité du système.

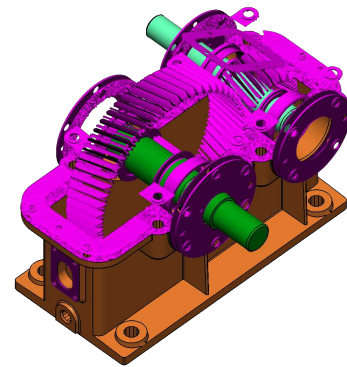


Figure 2: Zones de contact

RÉSULTATS

Au cours de cette étude, le système mécanique étudié a été soumis à une optimisation de forme impliquant pour chaque itération, des analyses de contact, des analyses modales, des réponses en fréquence, à la fois pour un couple positif et pour un couple négatif. La transition d'une analyse de contact non linéaire à une analyse dynamique linéaire a été réalisée à la volée et à chaque itération par une linéarisation appropriée des états de contact. L'optimisation et toutes les analyses associées sont exécutées en un seul calcul.

MODÈLE DE CONNECTEUR POUR LA SIMULATION DYNAMIQUE D'ASSEMBLAGES BOULONNÉS SOUS CHARGEMENT EXTRÊME

Q. Lançon¹, P.-A. Guidault¹, P.-A. Boucard¹ et N. Vallino²

1. Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, ENS Paris-Saclay, CNRS
LMPS – Laboratoire de Mécanique Paris-Saclay, 91190, Gif-sur-Yvette, France

2. Safran Tech, Digital Sciences & Technologies Department, Rue des jeunes bois, Châteaufort, 78114 Magny-les-Hameaux, France

MOTS-CLÉS : Dynamique rapide, Contact, Frottement, Élément utilisateur, Abaqus, Liaison Boulonnée

INTRODUCTION

Les assemblages boulonnés sont cruciaux en ingénierie mécanique, notamment en aéronautique, où un avion comme l'A380 peut compter jusqu'à 3 millions de liaisons. Leur optimisation repose sur des stratégies de calcul avancées prenant en compte de nombreuses non-linéarités comme le contact, le frottement, la plasticité ou encore la rupture. Toutefois, la modélisation détaillée en dynamique rapide reste un défi en raison du coût computationnel élevé des simulations 3D à l'échelle fine.

DESCRIPTION DU MODÈLE

Les logiciels commerciaux d'éléments finis (EF) proposent diverses approches simplifiées pour modéliser les assemblages boulonnés, mais celles-ci sont souvent limitées en précision ou difficiles à configurer, notamment dans un cadre transitoire [1]. Ce travail propose une extension d'un modèle de connecteur non linéaire [2] permettant de représenter fidèlement le comportement des assemblages boulonnés en simulation quasi-statique. La démarche proposée est présentée en Figure 1. L'innovation majeure réside dans la prise en compte du macro-glissement sous la tête de vis (ou sous l'écrou), ainsi que du contact entre le corps de la vis et l'alésage, rendant possible son application pour des calculs d'impact en dynamique non linéaire.

Implémenté en tant qu'élément utilisateur dans *Abaqus/Standard* (UEL) pour des formulations implicites et dans *Abaqus/Explicit* (VUEL) pour des formulations explicites, ce modèle de connecteur intègre des paramètres clés tels que la précharge, les coefficients de frottement et la géométrie du boulon. Son comportement axial prend en compte les effets de précharge et la raideur axiale, tandis que son comportement tangentiel modélise les interactions de contact et de frottement. Les performances de ce connecteur seront démontrées dans un cadre de

dynamique rapide, et ce pour différentes quantités d'intérêt comme les différents glissements au voisinage des liaisons ou encore les répartitions des champs de contrainte et de déplacement.

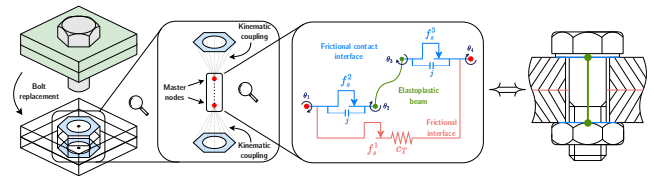


Figure 1: Démarche proposée.

CONCLUSION

L'utilisation d'un modèle de connecteur non linéaire pour la modélisation des assemblages boulonnés offre une alternative efficace aux simulations 3D détaillées, permettant une réduction significative des coûts de calcul tout en conservant une précision satisfaisante sur les quantités d'intérêt mentionnées. Cette étude comparera les résultats issus de simulations 3D fines avec ceux obtenus à l'aide du modèle de connecteur présenté dans des applications classiquement rencontrées en aéronautique.

RÉFÉRENCES

- [1] M. Hadjioannou *et al.* (2016) « *Development and validation of bolted connection modeling in LS-DYNA for large vehicle models* », 14th International LS-DYNA Users Conference.
- [2] R. Verwaerde *et al.* (2021) « *A non-linear finite element connector model with friction and plasticity for the simulation of bolted assemblies* », Finite Elements in Analysis and Design, volume (195).

SESSION 2: MATERIAUX

DEVELOPPEMENT D'UN REVETEMENT ELECTRIQUEMENT CONDUCTEUR POUR APPLICATION SUR FIXATIONS AERONAUTIQUES

T.NAVEL¹

1. LISI AEROSPACE – TECHNICAL CENTER – 14-16 rue Saint-Hilaire, 95310 Saint-Ouen-L'Aumône - FRANCE

MOTS CLES : Conductivité électrique, lubrification

INTRODUCTION

Les traitements de surface pour fixations aéronautiques ont pour but d'apporter aux pièces des propriétés de conductivité électrique, protection contre la corrosion, et une bonne lubrification (faible coefficient de frottement).

Aucun traitement de surface de référence, notamment le cadmium électrolytique, les revêtements aluminos-organiques ou le dépôt d'aluminium sous vide, ne confèrent aux fixations l'ensemble des propriétés cités tout en étant acceptable sur le plan environnemental.

Cette étude présente les résultats obtenus suite au développement d'un nouveau revêtement organique électriquement conducteur mais également lubrifiant.

ESSAIS DE CONDUCTIVITE ELECTRIQUE SUR ASSEMBLAGES

Les résistances électriques d'assemblages vis-écrou avec différents revêtements ont été testés. Les résultats sont exposés en figure 1

Le revêtement conducteur a été comparé au revêtement aluminos-organique de référence, non conducteur, et au cadmium, conducteur mais sujet à substitution dans le cadre de la réglementation REACH.

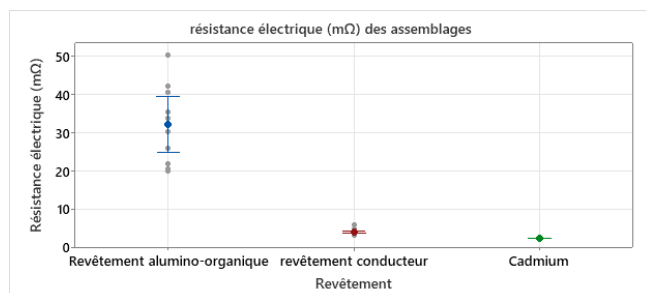


Figure 1: résistance électrique des assemblages.

Le revêtement conducteur présente des niveaux de résistance électrique en moyenne dix fois plus faibles que ceux de la référence aluminos-organique. Sa résistance électrique est proche de celle du cadmium.

ESSAIS COUPLE / TENSION

Le revêtement conducteur a été comparé au revêtement organique de référence par l'essai couple / tension suivant ISO16047 sur des fixations de diamètre 7,94 mm, montrant que les tensions dans les assemblages sont équivalentes.

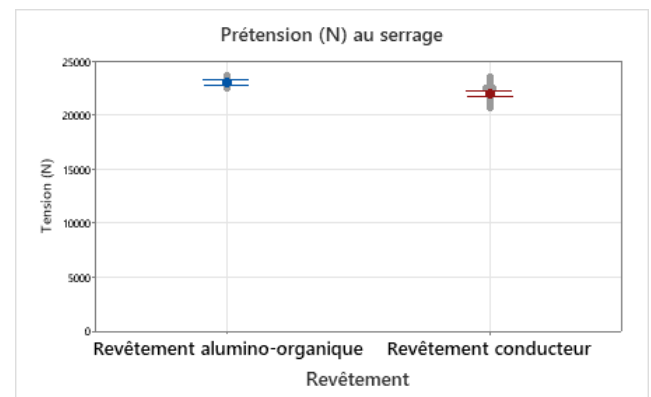


Figure 2: tensions dans les assemblages en fonction des revêtements.

Le revêtement conducteur est considéré comme analogue au revêtement de référence aluminos-organique en termes de coefficients de frottement.

CONCLUSION

Le revêtement conducteur développé est équivalent au revêtement de référence organique en termes de lubrification tout en apportant des propriétés de conductivité électrique proches de celles du cadmium.

Caractérisation de la diffusion de l'eau dans un joint adhésif hétérogène, à l'aide de la micro-tomographie aux rayons X

A. TINTATU^{1,2}, C. BADULESCU¹, P. BIDAUD¹, H. BINDI² et P. LE GROGNEC¹

1. ENSTA, UMR CNRS 6027, IRDL, F-29200 Brest, France)

2. Thalès DMS France, 525 route des Dolines, 06560, Valbonne, France

MOTS CLES : Adhésif, vieillissement hydrique, tomographie, pores

INTRODUCTION

Le collage structural est une technique de plus en plus utilisée dans le domaine industriel, notamment pour les applications dans des environnements agressifs tels que l'eau de mer.

La prévision de l'effet de l'humidité sur le comportement mécanique suscite un intérêt majeur pour l'industrie maritime, notamment en raison de la modification des propriétés mécaniques de ces matériaux lors d'une exposition prolongée à ces environnements humides.

OBJECTIFS

L'objectif de ce travail est d'analyser la diffusion de l'eau dans un matériau adhésif époxydique et de proposer une méthode robuste pour choisir le modèle de diffusion le plus approprié.

RESULTATS

Les études expérimentales d'absorption d'eau dans un adhésif structural époxy bicomposants, en utilisant la gravimétrie et la tomographie aux rayons X, ont d'abord été réalisées. La présence d'une population de défauts de type pore dans le joint polymère [1] a permis de caractériser l'évolution de la cinétique de diffusion de l'eau. Ainsi, deux mécanismes de diffusion [2] ont été identifiés : un premier lié à la migration des molécules d'eau au sein de la matrice adhésive, et un second lié à la pénétration de l'eau dans les pores.

Ensuite, les modèles Dual-Fick et Langmuir ont été retenus comme les deux modèles de diffusion les plus susceptibles de rendre compte des mécanismes susmentionnés.

CONCLUSION

Bien qu'il ait été démontré que les deux modèles pouvaient donner des résultats similaires en termes de comportement de diffusion global, les résultats découlant de ces deux modèles diffèrent à l'échelle locale, en particulier pour des périodes prolongées. C'est pourquoi une attention particulière a été accordée au second mécanisme d'absorption, et une comparaison entre les prédictions théoriques et les données tomographiques expérimentales a été réalisée.

Références

- [1] A. Tintatu, C. Badulescu, P. Bidaud, P. Le Grogne, J. Adrien, E. Maire, H. Bindi, C. Coguenanff, *Understanding of water uptake mechanisms in an epoxy joint characterized by pore-type defects*, **J Adhes.**, 2023,100:1, 103568
- [2] A. Tintatu, P. Bidaud, C. Badulescu, P. Le Grogne, J. Adrien, G. Bonnard, E. Maire, H. Bindi C. Coguenanff, *Robust water diffusion modeling in a structural polymer joint based on experimental X-ray tomographic data at the micrometer scale* **Polym. Degrad. Stab.**, 2023, 218, 110594

TECHNOLOGIES INNOVANTES D'ASSEMBLAGES : DEFIS ET SOLUTIONS POUR LE MONTAGE DE COMPOSITES CERAMIQUES DANS LES MOTEURS AERONAUTIQUES

T. Revel¹, G. Bouchy¹, F. Bouillon¹, et T. Tesson¹

1. Safran Ceramics, a Technology platform of Safran Tech, 105 Avenue Marcel Dassault, 33700 Mérignac, Nouvelle-Aquitaine, France

MOTS CLES : Composite à matrice céramique, Dilatation différentielle, Assemblage CMC-Métal

INTRODUCTION

Ces dernières années, l'intégration de matériaux composites à matrice céramique (CMC) dans les moteurs aéronautiques s'est révélée être une technologie prometteuse face aux enjeux de performance de cette industrie. Un des verrous technologiques inhérents à l'utilisation de ces matériaux est l'intégration de pièces dans les moteurs. Cela implique le développement de solutions innovantes d'assemblage des structures CMC aux structures métalliques présentes actuellement dans les turbines et échappements.

Le principal obstacle rencontré est la dilatation différentielle entre ces deux familles de matériaux, qui peut rendre les principes classiques d'intégration inefficaces. Le travail présenté ici explicite sur un cas d'application le principe d'intégration retenu pour accommoder ces écarts de dilatation, et la méthode de modélisation et de caractérisation permettant de valider le comportement de l'assemblage.

INTEGRATION CMC

Les propriétés de rigidités et thermiques des matériaux CMC présentent des particularités impactant la conception d'une jonction [1&2]. Les écarts de dilatation entre les matériaux imposent un fonctionnement avec jeu. De même, les propriétés hors plan réduites des CMC nécessitent un travail sur l'intégration de la tête de vis et sur les capacités à serrer l'assemblage.

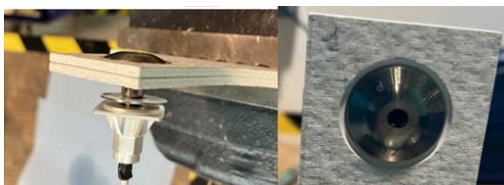


Figure 1 : Montage d'un assemblage boulonné de pièces en CMC oxyde

Des designs de jonction novatrice ont été mises au point pour compenser thermiquement les écarts entre pièces.

MODELISATION ET CARACTERISATION

La justification de ces nouveaux assemblages s'est accompagnée de multiples caractérisations afin de pouvoir décrire les mécanismes élémentaires (matage, arrachement) [1] et valider le dimensionnement complet de la jonction. Après avoir analysé la relation couple-tension, le comportement en traction à température ambiante et en température est étudié. Des modèles analytiques et éléments finis [3] sont associés à ces caractérisations et validés avec les paramètres issus des campagnes d'essais réalisés.

CONCLUSION

L'intégration des composites à matrice céramique dans les moteurs aéronautiques, par le biais de jonction à la conception innovante, associée à des méthodes de modélisation a démontré son potentiel à adresser les défis posés par les différences de matériaux.

Références

- [1] F Bouillon, F Lachaud, Composites à Matrice Céramique un tour d'horizon, Chapitre 20 : Les liaisons boulonnées : technologies et problématiques associées et intégration dans un système, 2024, GDR CMC², EDP sciences
- [2] M. Broutelle (2019) « Etude des mécanismes d'endommagement d'une liaison boulonnée de matériaux composites à matrice céramique oxyde-oxyde », Thèse de doctorat, Université de Toulouse
- [3] F. Bouillon, M. Guerder, T. Vandellos, F. Dupé (2019) « Etude du comportement d'assemblages boulonnés de structure CMC oxyde/oxyde : Instrumentation et modélisation », 21^{ème} JNC, ENSAM, hal-02424033

SESSION 3: GEOMETRIE DES ASSEMBLAGES

Maximiser le coefficient de frottement pour sécuriser les assemblages ainsi que les transmissions mécaniques au travers une solution d'adhérence innovante.

Luc Moyart⁽¹⁾, Frédéric Bello⁽¹⁾, Pierre Mangin⁽¹⁾

1. Gris-Group, Z.A. de La Louvière, 54700 Lesménils, France

MOTS CLES : GRIS, DIAMANT, NICKEL, FROTTEMENT, ASSEMBLAGE, TRANSMISSION

INTRODUCTION

La maîtrise du coefficient d'adhérence ou communément appelé facteur de frottement au plan de joint est une priorité dans le dimensionnement des assemblages mécaniques subissant diverses sollicitations.

A ce jour il existe peu de solutions répétables et pérennes qui permettent d'augmenter fortement ce coefficient de frottement.

Ces coefficients sont donnés arbitrairement dans des normes, quelques publications ou bien ils sont déterminés de manière expérimentale lors d'essais durant la qualification des produits.

Dans les assemblages ou les transmissions du couple, un faible coefficient de frottement peut entraîner des vibrations, des glissements indésirables et une perte d'efficacité pouvant aller jusqu'à la ruine du mécanisme, pouvant mettre en danger les personnes ou les biens.

Comment améliorer l'adhérence et la fiabilité des connexions, parfois, sans modifier le design des pièces existantes mais aussi sans recourir à des méthodes complexes ou coûteuses ?

CHOIX DE LA TECHNOLOGIE

La solution proposée par le groupe Gris repose sur l'intégration homogène de diamants de synthèse dans un mélange de nickel, déposé sur un substrat en acier ou en inox. Ce revêtement augmente significativement le coefficient de friction jusqu'à 0,8 μ ou dans la transmission du couple jusqu'à 4 fois plus élevé.

Il permet également d'optimiser la combinaison entre différents matériaux, en garantissant une interface stable résistante et sécuritaire.

L'épaisseur du dépôt sera définie en utilisant nos nombreux retours d'expériences enregistrés dans une base de données et connectés à un outil d'aide à la décision. Cela permet de définir la taille et la répartition des diamants en fonction des contraintes mécaniques à respecter de nos clients.

Cette technologie permet de sécuriser les assemblages en limitant le desserrage sous charge, réduisant par exemple le nombre de vis nécessaires, le couple de serrage ou encore le diamètre des vis.

De plus, cette solution s'applique sur des assemblages existants sans nécessiter de modifications structurelles, facilitant ainsi son adoption dans tous les domaines d'activités.

Les diamants de synthèse, en raison de leur dureté et de leur structure cristalline, permettent donc d'augmenter la rugosité sur les surfaces de contact entre les pièces afin de réduire drastiquement le risque de desserrage, le glissement et donc de cisaillement sous l'effet des vibrations et des charges dynamiques.

En variant la taille des diamants, il est possible d'optimiser la surface de contact en fonction des spécificités de l'application, ce qui permet d'ajuster le coefficient de frottement selon les besoins.

Les diamants de synthèse, d'une taille comprise entre 10 et 80 microns, peuvent être répartis avec une densité comprise entre 20 à 60 % sur la surface du substrat, assurant une performance optimale.

L'ensemble du produit fini apportera une protection contre la corrosion pouvant dépasser largement 1000 heures à la tenue au brouillard salin.

De plus en plus déployée, cette approche représente une avancée majeure pour améliorer la durabilité et l'efficacité des systèmes mécaniques, tout en simplifiant leur conception et leur maintenance.

Grâce à cette innovation, les assemblages mécaniques et les systèmes de transmission gagnent en fiabilité et en durabilité, réduisant ainsi les risques d'usure prématurée et améliorant la performance globale des équipements industriels. Une avancée technologique qui trouve aujourd'hui sa place dans de nombreux secteurs exigeants.

CONCLUSION

Cette solution a été choisie par le groupe Gris car il s'agit de proposer des solutions appropriées et individuelles à tous nos clients.

Nous étudions vos besoins et offrons un revêtement sur mesure parfaitement adapté à chaque composant. Il s'agit d'une solution extrêmement facile à mettre en œuvre et réutilisable après démontage.

Concernant la partie chimique, le groupe Gris travaille en partenariat avec Composite Coating Services qui apporte une expertise spécialisée dans le domaine de l'application du nickel chimique standard, du nickel chimique par dispersion, ainsi que d'autres revêtements fonctionnels basés sur des processus chimiques ou électrochimiques.

REFERENCES

<https://www.gris-group.com/>

Modèle de contact semi-analytique de surfaces rugueuses pour l'étude du frottement statique.

J. FORTES DA CRUZ^a, M.L. RAFFA^a, T. DA SILVA BOTELHO^a, L. MAHO^{a,b}, K. DEMMOU^b

a. ISAE-Supméca, Laboratoire Quartz EA7393, julien.fortesdacruz@isae-supmeca.fr

b. Safran Aircraft Engines, karim.demmou@safrangroup.com

Mots clés : modèle de contact semi-analytique; surface rugueuse; frottement statique

Résumé :

L'étude du contact entre deux surfaces rugueuses est une problématique récurrente en tribologie. Dans la plupart des situations, la géométrie de l'interface est transformée en un modèle équivalent rugueux/lisse, qui donne des résultats intéressants. Néanmoins, dès lors que l'on introduit un effort ou un déplacement tangential, de tels modèles atteignent leurs limites.

C'est pourquoi il est d'intérêt d'étudier le contact direct entre deux aspérités, non pas par leur sommet (contact ponctuel Hertzien classique), mais par le côté sous sollicitation quelconque. Dans cette conformation particulière, le mouvement relatif n'est pas nécessairement orienté selon la ligne des sommets d'aspérités ni la ligne des centres de courbure.

L'identification des paramètres géométriques caractéristiques des aspérités de surfaces rugueuses réelle passe classiquement par l'identification d'un modèle sphérique des points au voisinage du sommet. Le calcul analytique des efforts normaux et tangentiels résultants dépend essentiellement de l'écrasement et du rayon de courbure local. Les équations analytiques permettent de prendre en compte des modèles de plasticité. Les efforts normaux et tangentiels à l'échelle de la surface complète sont calculés à partir du comportement de chaque paire d'aspérités.

Dans cette communication nous présenterons la mise en œuvre d'un modèle de contact multi-aspérités sur des surfaces rugueuses industrielles pour estimer l'influence de la micro-géométrie sur le coefficient de frottement statique.

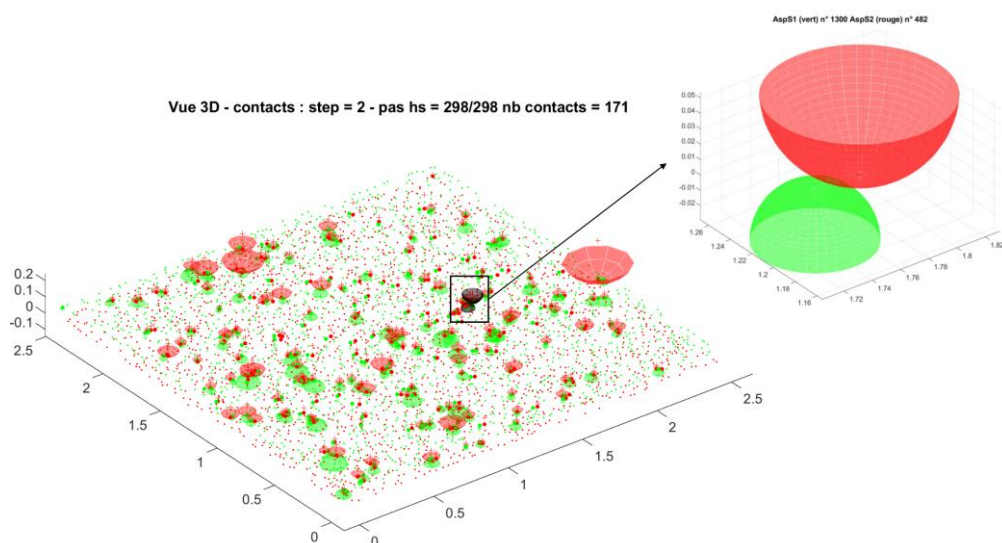


Figure 1: Modèle topographique sphérique des aspérités d'une surface rugueuse et détail d'un contact.

ETUDE COMPORTEMENTALE D'UN FILETAGE DISSYMETRIQUE

L. Meouchy¹, A. Daidié¹ et M. Paredes¹

1. Institut Clément Ader (ICA), Université de Toulouse, INSA, IMT MINES ALBI, ISAE-SUPAERO, UTIII, CNRS, Toulouse, France

MOTS CLES : Filetage dissymétrique, filetage dents de scie, comportement statique, arrachement des filets

INTRODUCTION

L'étude des assemblages mécaniques demeure un défi contemporain en raison de l'importance de ces liaisons dans la tenue des structures. Les liaisons filetées utilisent généralement des filetages symétriques avec des angles de 30° (ISO M, MJ, UTS [1-3]). Ce travail se concentre sur l'étude du filetage MJB [4], caractérisé par un profil en dents de scie avec un angle de 7° pour le flanc travaillant et un angle de dépouille de 45°. La Figure 1 présente une comparaison entre les deux profils de filetage.

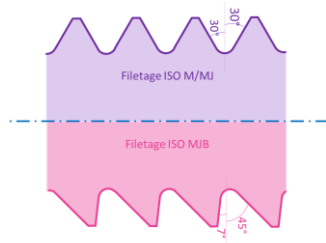


Figure 1- Comparaison profil filetage M et MJB

Ces types de filetages présentent des avantages significatifs dans les applications où les charges sont principalement ou exclusivement axiales.

ETUDE DE REPARTITION DES EFFORTS

La répartition des charges sur les filets est analysée pour les filetages M (symétrique) et MJB (dissymétrique), en se basant sur une approche de la raideur. Une modélisation équivalente par un système de ressorts est appliquée aux deux types de filetages (Figure 2). Pour le filetage MJB, une répartition similaire à celle du filetage M est observée avec environ 30 % de la charge globale appliquée sur le premier filet, diminuant progressivement sur les filets suivants.

ETUDE D'ARRACHEMENT DE FILETS

Une étude comparative de la résistance statique à l'arrachement entre les filetages MJB et M est également réalisée. La force d'arrachement augmente

de manière continue et proportionnelle pour le filetage M. Pour le filetage MJB, l'effort d'arrachement augmente linéairement pour les premiers filets puis atteint un plateau pour les suivants. (Figure 3).

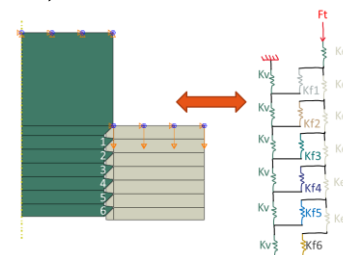


Figure 2- Equivalence géométrie/modèle de raideur

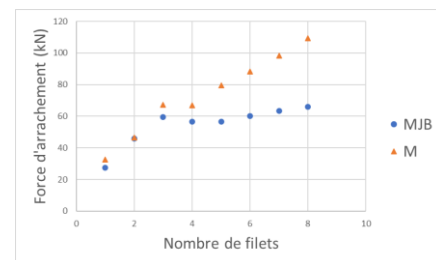


Figure 3- Force d'arrachement des filets pour des filetages M et MJB

CONCLUSION

Cette étude compare et analyse le comportement statique du filetage dissymétrique (MJB) par rapport au filetage conventionnel symétrique (M), mettant en évidence les avantages potentiels du filetage MJB dans des applications où les charges axiales prédominent.

REFERENCES

- [1] ISO 68-1:2023: ISO general purpose screw threads — Basic and design profiles — Part 1: Metric screw threads
- [2] ISO 10959:2016: Aerospace — MJ threads — Gauging
- [3] ASME B1.1: Unified Inch Screw Threads (UN, UNR, and UNJ Thread Forms)

[4] SAE International: Metric aerospace standard
MJB

ÉTUDE D'UN ASSEMBLAGE VISSÉ ASSOCIÉ À DES FILETS RAPPORTÉS

C. GILLET¹, A. FAU¹, A. DAIDIÉ¹

1. Institut Clément Ader (ICA), Université de Toulouse, INSA, UPS, ISAE-SUPAERO, IMT MINES ALBI, CNRS, 3 Rue Caroline Aigle, 31400 Toulouse, France

MOTS CLES : Assemblage vissé, filet rapporté, modélisation par éléments finis, caractérisation expérimentale

INTRODUCTION

Dans différents secteurs des transports, l'implantation d'inserts métalliques filetés dans des panneaux en aluminium est une solution d'assemblage permettant de transférer des sollicitations sévères complexes tout en bénéficiant d'un gain de masse. Les méthodes existantes de conception et de validation manquent encore de précision et nécessitent la réalisation de nombreux essais physiques. Les liaisons, dont le comportement est fortement non-linéaire, font l'objet de préoccupations majeures au niveau de leur tenue en service : précharge mal calculée, desserrage, accumulation de jeu, non adéquation des filets, usure des taraudages, mauvais alignement. Ces défauts peuvent mener à un mauvais transfert des charges, l'endommagement de la structure ou la rupture de la vis [1], [2].

L'objectif principal de ces travaux est donc d'étudier le comportement statique d'une liaison vissée comprenant des filets rapportés. Cette étude vise à analyser le transfert des charges entre les différents éléments technologiques (vis, filet rapporté et pièce taraudée) qui la constituent (Figure 1).

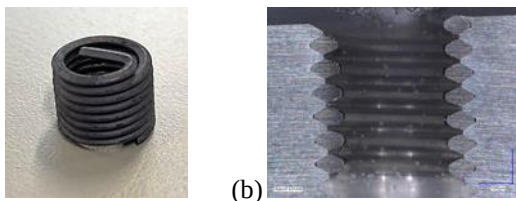


Figure 1 : (a) Filet rapporté, et (b) implantation dans un taraudage.

Il s'agit d'analyser le comportement mécanique des assemblages vissés métalliques avec des inserts filetés de type filet rapporté à travers deux configurations : assemblage (référence) et assemblage avec filet rapporté.

MODÉLISATION DU SERRAGE DE LA LIAISON VISSÉE AVEC FILET RAPPORTE

Dans cette première partie, des modélisations numériques par éléments finis des deux configurations sont développées. L'objectif est d'analyser le transfert

de charges dans l'assemblage ainsi que la répartition des contraintes dans le filetage. Ces modèles permettent de donner accès à des phénomènes physiques, intervenant lors de du serrage de l'assemblage, qui ne sont pas mesurables ou observables sans changer le comportement de la liaison. Les modèles sont validés par une comparaison avec des essais expérimentaux menés grâce à une instrumentation de ces derniers.

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE LA PHASE D'INSTALLATION DU FILET RAPPORTE

Cette seconde partie a pour objectif la mise en œuvre d'éprouvettes métalliques expérimentales, afin d'étudier la phase d'installation du filet rapporté et de serrage de l'assemblage. Les résultats expérimentaux permettent d'établir les relations couple-tension pour les différentes configurations d'assemblage. Ce travail s'intéresse également à l'influence du nombre de serrages sur la relation couple-tension. Le but est de comprendre le comportement réel des assemblages vissés avec filets rapportés ainsi que les phénomènes physiques se produisant lors du serrage. Ces résultats servent à alimenter les modèles numériques développés en parallèle.

CONCLUSION

L'analyse des résultats numériques montrent que l'utilisation des filets rapportés favorise une meilleure répartition des chargements dans les filets lors du serrage. L'association entre les approches numériques et expérimentales représente plus précisément ce phénomène et conduisent à différentes remarques sur la tenue mécanique de ce type d'assemblage.

Références

- [1] T. Hoernig (2017) « *Increased Thread Load Capability of Bolted Joints in Light Weight Design* », Int. J. Mater. Manuf., **11** (1), pp. 11-22.
- [2] J. Rojíček, Z. Paška, M. Fusek, J. Cienciala, et D. Ličková (2022) « *Finite Element Simulation of HELICOIL® Inserts* », Appl. Sci., **12** (22), pp. 1-37.

SESSION 4: MODELISATION ET SIMULATION

MODELISATION HYBRIDE DES SEQUENCES DE SERRAGE

Z. Chaib¹, C. Delcher¹ et A. Houssaye²

1. Centre Technique des Industries Mécaniques, 7 rue de la presse 42952 Saint Etienne cedex 1

2. SAFRAN Aircraft Engines, Site de Villaroche, Direction Technique

MOTS CLES : Modélisation, séquence de serrage

INTRODUCTION

Le choix des séquences de serrage dans l'industrie repose le plus souvent sur l'expérience de chaque entreprise et sur des règles génériques empiriques (maîtrise du plaquage, serrage en croix, mise en tension progressive, etc).

L'optimisation de la séquence peut être réalisée par la voie expérimentale ou par la voie numérique (présentée dans le colloque Supméca 2023). Mais ces voies sont chronophages. Afin de réduire la durée d'optimisation de la séquence, un développement d'une approche hybride a été réalisé. Il combine des calculs analytiques, des résultats numériques issus d'un modèle EF 3D réduit et des itérations numériques. La présentation proposée présente la démarche générique initiée sur un assemblage utilisé dans un turboréacteur.

MODELISATION DE SEQUENCE DE SERRAGE

L'assemblage qui sert de support à la présentation de l'approche proposée comporte des composants à répétition cyclique fixés par des rangées de N boulons. Cet assemblage présente la particularité de comporter des vis ajustées et des pièces dont le positionnement a un impact sur l'efficacité de serrage. Sur ce type d'assemblage, des séquences de serrage trop simples peuvent conduire à des dispersions de serrage importantes et il est souvent nécessaire de procéder à des séquences de serrage par paliers multiples.

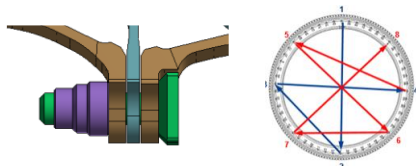


Figure 1 : Exemple de liaison étudiée et de séquence initiale de serrage.

La modélisation proposée est fondée sur une modélisation éléments finis d'un secteur de deux demi-fixations représentatif de la liaison étudiée. Deux calculs à plusieurs incréments permettent la

détermination des raideurs locales (axiales) et celles d'interactions entre les secteurs à partir des efforts de serrage appliqués et des déplacements relatifs entre la tête et l'écrou calculés par EF. Un modèle analytique composé de raideurs axiales et d'autres en flexion permet de calculer la perte ou surcharge des vis en fonction de la séquence de serrage.

EXEMPLES DE RESULTATS

La modélisation proposée permet de tracer l'évolution des efforts pour chaque vis en fonction de l'avancée des séquences mais aussi de quantifier l'évolution de la flexion ou des pressions de contact dans les zones d'intérêt. Comparée à la modélisation présentée dans le précédent colloque, cette modélisation a permis de réduire le temps de modélisation, de calcul, de post-traitement et surtout de simuler plusieurs séquences de serrage avec un seul calcul EF et de prédire les efforts dans toutes les fixations

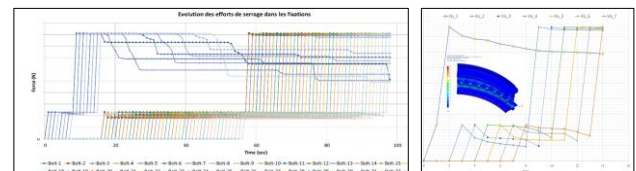


Figure 2 : Exemple comparatif des efforts de serrage (Modèle hybride-Modèle 3D réduit)

CONCLUSION

Les résultats initiaux proposés permettent d'envisager plusieurs applications :

- Amélioration de séquence de serrage afin de réduire les dispersions liées aux interactions et relâchements entre vis,
- Etude d'impact de changement de la définition de composant.

Parmi les axes d'amélioration de modélisation figurent les points suivants :

- Poursuite des études en évaluant les performances de cette modélisation et de la modélisation d'un secteur de « z » fixations via un modèle complet 360°,
- Evaluer les performances de cette modélisation sur d'autres cas industriels.

Modélisation numérique simplifiée de l'usure de douilles au sein d'un mécanisme d'aubes à calages variables

V. Fouquet^{1,2}, P.-A. Guidault¹, F. Louf¹, P.-A. Boucard¹, J.-H. Lexilus², A. Ahyee², N. Serres²

1. Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, ENS Paris-Saclay, CNRS, LMPS - Laboratoire de Mécanique Paris-Saclay, Gif-sur-Yvette, 91190, France

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

MOTS CLES : usure, prédimensionnement, VSV, douille, méthodes numériques

INTRODUCTION

La maîtrise des maintenances moteur est un enjeu primordial pour les compagnies de transport aérien. Pour éviter une immobilisation des appareils trop longue et coûteuse, il est stratégique de pouvoir prévoir les cycles de maintenance, et donc l'usure des systèmes. Dans ce contexte, on s'intéresse plus précisément aux systèmes VSV (*Variable Stator Vane*, ou aubes à calage variable [1]) qui jouent un rôle déterminant dans l'efficacité des compresseurs haute pression, réduisant ainsi la consommation moteur et atténuant le risque de pompage. Ces systèmes intègrent plusieurs composants critiques, dont les douilles. Le guidage d'une aube par rapport au stator est réalisé par deux douilles avec collerette et est sollicité radialement et axialement par des efforts induits par le flux d'air sur l'aube. Ce chargement, couplé aux mouvements du système génère une usure localisée des douilles, sur les zones cylindriques comme sur les zones planes. La maîtrise de ces phénomènes d'usure est donc essentielle pour garantir la fiabilité et l'efficacité des moteurs de nouvelle génération.

MODELISATION SIMPLIFIEE DE L'USURE

La détermination de la pression de contact, puis de l'usure, est réalisée à travers une approche globale-locale en petits déplacements qui étend les travaux de [2] à plusieurs douilles avec/sans collerette. L'usure suit une loi d'Archard [3] et le système d'équation non-linéaire qui en découle est résolu par un algorithme de Newton-Raphson avec opérateur tangent analytique pour accélérer les calculs : l'objet étant d'avoir un outil de prédimensionnement efficace à même de simuler des milliers d'heures de vol.

La formulation adoptée permet de créer des modèles de liaison élémentaires avec usure facilitant ainsi la modélisation d'assemblages plus complexes comportant plusieurs douilles. L'utilisation du formalisme des petits déplacements permet de

prendre en compte des défauts initiaux de positionnement et d'orientation qui peuvent avoir un impact important sur l'évolution et la répartition de l'usure.

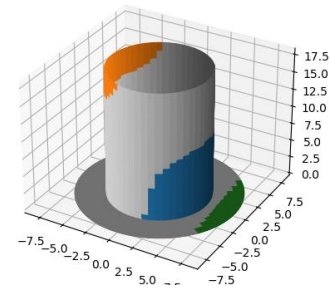


Figure 1: Zones usées dans une douille possédant une collerette.

CONCLUSION

Le modèle simplifié proposée pour simuler l'usure dans les liaisons à contact conforme permet de simuler des cycles longs d'usure avec la richesse d'une formulation 3D, pour un temps de calcul réduit, facilitant ainsi l'étape de prédimensionnement dans les bureaux d'étude. La construction générique des modèles sous forme de liaison élémentaires a pour but de les inclure dans des codes éléments finis commerciaux en tant qu'éléments utilisateurs.

Références

- [1] D. Kato, G. Pallot, A. Sugihara et M. Aotsuka (2014) « *Research and development of a high performance axial compressor* ». IHI Engineering Review, **volume 47(1)**, pp. 49–56.
- [2] M. Harnafi, P.-A. Guidault, P.-A. Boucard, C. Paleczny (2024) « *A simplified model for the wear prediction of plain bearings in the variable stator vane system* », Tribology international, **volume 196**, pp. 109-667.
- [3] J.-F. Archard (1953) « *Contact and Rubbing of flat surfaces* », Journal of Applied Physics, **volume 24 (8)**, pp. 981-988.

Évaluation de la tenue par frottement statique induite à l'interface d'une liaison frettée soudée pour une application nucléaire

Quentin BOURGET^{1,2}, Tudor BALAN¹, Florent CUSENZA², Éric BECKER¹ et Thibault DEMOL³

1. Arts et Métiers Sciences et Technologies, Université de Lorraine, LCFC, F-57070 Metz, France

2. Framatome, 2 Rue Louis Alphonse Poitevin, 71380 Saint Marcel, France

3. Framatome, 1 Place Jean Millier, 92084 Paris la Défense, France

MOTS CLES : Frettage, Contact, Modèle de Coulomb, Coefficient de frottement, Simulations numériques

INTRODUCTION

Dans la construction d'une cuve de centrale nucléaire, les tubes adaptateurs sont des composants clés. Ceux-ci permettent le passage des mécanismes de contrôle de la réaction nucléaire de l'extérieur vers l'intérieur de la cuve. Ils sont liés au couvercle de cuve par une liaison frettée-soudée et sont répartis sur le couvercle. Le frettage des tubes permet de mettre ces tubes en position et de les maintenir lors de l'opération de soudage.

Actuellement, lors des justifications mécaniques, la tenue de ces assemblages est intégralement prouvée par la contribution de la soudure, ignorant l'apport du frettage. Cependant, dans un souci de dégager des marges dans les études de conception, la prise en compte du frettage dans l'évaluation de la tenue et de son évolution au cours du temps apparaît alors comme un thème prometteur.

ESTIMATION DE L'EFFORT D'ARRACHEMENT ET DE LA PRESSION DE CONTACT

Dans la littérature, la tenue des assemblages frettés est largement représentée par le modèle de frottement de Coulomb [1]. Ce modèle estime l'effort d'arrachement du tube à partir de la connaissance de la pression de contact à l'interface et du coefficient de frottement entre les deux matériaux des pièces composant l'assemblage. Le travail propose d'estimer dans une première partie la pression de contact se développant à l'interface, qui n'est pas mesurable expérimentalement avec des moyens simples, puis de relier, dans un second temps, un coefficient de frottement aux conditions d'interface (pression, température, ...).

Plusieurs approches de complexité croissante ont été adoptées pour modéliser la pression de contact. Un modèle analytique, se basant sur la théorie des cylindres épais [2], montre les premières dépendances de la pression de contact aux paramètres d'entrée (géométrie, serrage, température, ...) et l'état de contraintes créées par le frettage. Cette approche ne donne accès qu'à des valeurs moyennes sur des géométries simples. Un modèle éléments finis

axisymétrique est proposé, représentatif de la géométrie du tube central. Des méthodes et bonnes pratiques sont développées afin d'obtenir le comportement du tube central lors des différentes conditions d'utilisation. Enfin, ces techniques ont été étendues à un modèle 3D, permettant d'étudier l'intégralité du champ de tubes, en particulier, ceux périphériques ayant un comportement dissymétrique.

DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX

Le coefficient de frottement est généralement déterminé dans la littérature à partir de dispositifs expérimentaux [3]. Cette approche sera favorisée pour déterminer les dépendances et variations du coefficient de frottement aux conditions tribologiques de l'interface à l'aide d'un essai ponctuel. L'objectif sera d'obtenir une cartographie du coefficient de frottement selon les paramètres jugés les plus influents. Enfin des essais d'arrachement permettront de comparer les prédictions aux essais.

CONCLUSION

Un modèle analytique reprenant les concepts du modèle des cylindres épais ainsi que des simulations éléments finis permettent de quantifier la pression se développant à l'interface de l'assemblage, à différents niveaux de raffinement et sous divers chargements.

En parallèle, un programme expérimental a été développé, permettant d'estimer le coefficient de frottement et de valider le modèle choisi.

Références

- [1] AFNOR (2022) « Transmissions mécaniques – Assemblages frettés sur portée cylindrique – Fonction, réalisation, calcul »
- [2] B. Clapeyron, G. Lamé (1831) « Mémoire sur l'équilibre intérieur des corps solides homogènes »,
- [3] P. Blau (2001) « *The significance and use of the friction coefficient* », Tribology International, **volume 34**, pp.585-591.

SESSION 5: COMPORTEMENT EN SERVICE

Tenue mécanique d'un assemblage serré dans le domaine plastique

A. Daidié¹, Z. Chaib², L. Mikolajczak¹, A. Fau¹

1. Institut Clément Ader (ICA), Université de Toulouse, CNRS, INSA, UPS, ISAE-SUPAERO, IMT Mines Albi, 3 Rue Caroline Aigle, 31400 Toulouse, France

2. CEntre Technique des Industries Mécaniques, 7 rue de la presse, 42952 Saint-Etienne cedex 1, France

MOTS CLES : Assemblage boulonné, Précharge, Serrage élastoplastique, Fatigue

INTRODUCTION

Le serrage élastoplastique constitue une approche prometteuse pour optimiser la performance des assemblages boulonnés précontraints, notamment dans des secteurs exigeants tels que l'automobile et le nucléaire. Traditionnellement, la plupart des assemblages structuraux démontables et fortement sollicités sont conçus avec une précontrainte appliquée dans le domaine élastique. Cependant, l'exploration d'un serrage dans le domaine plastique suscite un intérêt croissant, car elle modifie les champs de contraintes résiduelles dans la vis ainsi que l'état de contrainte dans les pièces assemblées. Lorsqu'elle est maîtrisée, cette technique pourrait améliorer significativement la tenue en fatigue en retardant l'initiation des fissures sous chargements cycliques [1–3].

Cette étude vise à analyser l'impact d'une précontrainte appliquée dans le domaine plastique sur la durée de vie en fatigue d'un assemblage boulonné. L'assemblage est soumis à deux types de sollicitations cycliques : un effort axial centré par rapport à la fixation et un chargement axial excentré. Ces deux configurations permettent d'évaluer l'intérêt d'un serrage élastoplastique et d'analyser la tenue en fatigue sous des conditions de chargement cycliques sévères.

ETUDE DU FILTRAGE

Dans les assemblages précontraints, le phénomène de filtrage joue un rôle clé. En présence de sollicitations cycliques, la tenue en fatigue des éléments filetés étant relativement faible, un choix optimisé du coefficient de filtrage contribue à améliorer la performance mécanique de l'assemblage. Lors de la conception du dispositif permettant de solliciter axialement une vis serrée dans son domaine plastique, ce phénomène a été analysé en détail. Une modélisation par éléments finis a été mise en place, afin de définir les paramètres géométriques et les matériaux des pièces assemblées. Le comportement en fatigue d'un assemblage précontraint a ensuite été évalué pour différents niveaux de serrage.

INFLUENCE DE LA FLEXION

Dans de nombreux cas industriels, la vis subit non seulement un effort de traction, mais également une flexion. Ce type de sollicitations combinées a été étudié à l'aide d'un dispositif expérimental spécifique permettant d'appliquer un chargement axial excentré sur la vis précontrainte. L'approche adoptée repose sur une combinaison de simulations numériques et d'essais expérimentaux. Des mesures ont été réalisées pendant les tests à l'aide de plusieurs techniques, notamment la corrélation d'images numériques et l'instrumentation par jauges de déformation sur la vis, afin de caractériser précisément l'évolution des contraintes et de la tenue en fatigue.

CONCLUSION

Cette étude a permis d'analyser le comportement en fatigue d'assemblages boulonnés serrés dans le domaine élastoplastique sous sollicitations cycliques sévères. Deux dispositifs expérimentaux ont été développés afin d'appliquer différents niveaux de serrage et de réaliser des essais en traction et en flexion. Les résultats obtenus apportent des éléments de compréhension sur l'influence du serrage élastoplastique et ouvrent des perspectives pour son optimisation dans les applications industrielles.

Références

- [1] I. Chapman, J. Newnham, P. Wallace (1986) « *The Tightening of Bolts to Yield and Their Performance Under Load* », *Journal of Vibration, Acoustics, Stress, and Reliability in Design*, **108**(2), pp. 213–221.
- [2] P.J. Gill (1975) « *The Yielding of Fastenings During Tightening* », *GKN Fasteners Ltd*, pp. 357–365.
- [3] K. Saruki, S. Hotta, T. Kanoh (1995) « *Fatigue Strength of Bolt Tightened in Plastic Region – Relation Between Fatigue Strength and Turning Angle at Tightening* », *Journal of the Society of Materials Science, Japan*, **44**(496), pp. 122–127.

Effect of burrs on the fatigue strength of metallic structures: experimental study on open hole Ti-6Al-4V specimens with burrs

S. Frutos-Taravillo^{1,2}, E. Paroissien², Y. Landon², S. Schwartz², M. Fressinet¹, C. Chirol³

1. Airbus Operations SAS, 316 Route de Bayonne, Toulouse 31300, France

2. Institut Clément Ader (ICA), Université de Toulouse, ISAE-SUPAERO, INSA, IMT MINES ALBI, UTIH, CNRS, 3 Rue Caroline Aigle, 31400 Toulouse, France

3. Airbus Atlantic, 1 Bd de l'Europe, Colomiers 31770, France

KEYWORDS: burrs, fatigue, Ti-6Al-4V, One-Way-Assembly

INTRODUCTION

Drilling produces an entry burr and a typically larger exit burr. When drilling stacks of several workpieces, exit and entry burrs are produced simultaneously at the interfaces. This concerns the burrs formed during the drilling of multistacks in a One-Way-Assembly (OWA) process, where deburring is not systematically applied. An interest to implement OWA has been recognised by several actors in the aerospace industry [1].

The presence of burrs can degrade the static and fatigue strengths of the parts and assemblies containing them. Reductions up to 70% in fatigue life have been reported, even though the explanatory rationale is not clear [1]. Diverse hypotheses have been proposed in the literature [2]. Burrs could act as stress concentrators due to its sharp geometry. The existence of local tensile residual stresses as a result of the burr formation process has also been observed [3]. Similarly, a burr could be considered as damaged material that may contain micro-cracks [4], reducing the experimentally observed fatigue life to a propagation phase from microscopic cracks. For assembly conditions, the burr may be a preferential load-passage zone, thus concentrating stresses and favoring the initiation of fatigue cracks.

As a first point to validate the hypotheses proposed in the literature, fatigue tests have been carried out on open hole Ti-6Al-4V specimens with burrs.

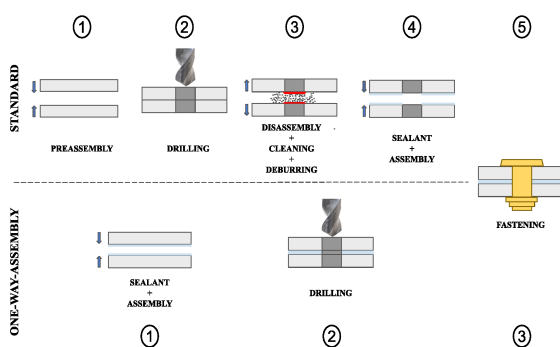


Figure 1 : Standard and One-Way-Assembly processes for the mechanical fastening of two plates

FATIGUE TESTS

Different configurations have been compared to a reference without burr: (i) regular burrs of height 0.2, 0.4 and 1.2 mm and (ii) burrs of height 1.2 mm with artificial irregularities. The first series aims to check the hypothesis of a burr acting as a macroscopic notch, with a greater detrimental impact the bigger the burr. The second one targets to study the influence of burr height not being uniform around the hole perimeter. The impact of the deburring technique has also been assessed by comparing two different processes resulting in different chamfer depths.

RESULTS AND DISCUSSION

Tests with regular burrs of different heights demonstrate that the knock down effect in fatigue does not increase monotonically with burr height. The hypothesis of burrs acting as a macro-notch is therefore insufficient. The impact is more detrimental at low than at high stress. The irregularities artificially introduced in 1.2 mm height burrs have a very detrimental impact on fatigue life. The impact is equally large at high and low applied stress. The influence of the deburring process has been proven to be small.

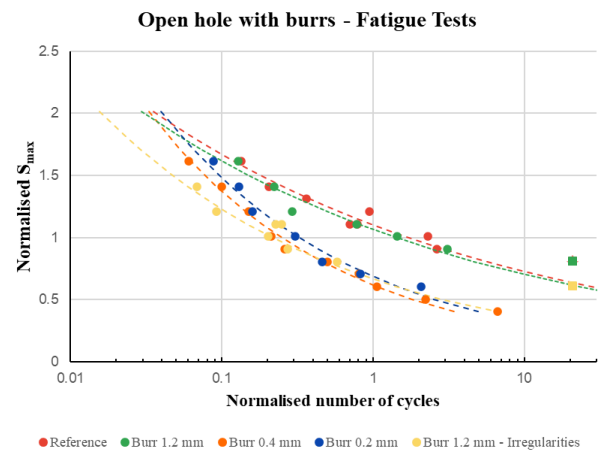


Figure 2: Fatigue test results for Ti-6Al-4V open hole with burrs

Alternative hypotheses such as the influence of residual stresses in the burr formation zone will be explored, taking benefit from this study which provides the basis for understanding more complex configurations of industrial interest.

REFERENCES

- [1] Jochum, R., Rufin, A., Sisco, T., and Swanstrom, F., 2019, "Fatigue Considerations in the Development and Implementation of Mechanical Joining Processes for Commercial Airplane Structures," Proceedings of the 30th Symposium of the International Committee on Aeronautical Fatigue, Krakow, Poland, June 2–7, pp. 215–227. DOI: 10.1007/978-3-030-21503-3_17
- [2] Frutos Taravillo, S., Paroissien, E., Landon, Y., Schwartz, S., Fressinet, M., and Chirol, C. (December 9, 2024). "A Review on Metallic Drilling Burrs: Geometry, Formation, and Effect on the Mechanical Strength of Metallic Assemblies." ASME. *J. Manuf. Sci. Eng.* April 2025; 147(4): 040801. DOI: 10.1115/1.4066979
- [3] Shiozaki, T., Tamai, Y., and Urabe, T., 2015, "Effect of Residual Stresses on Fatigue Strength of High Strength Steel Sheets With Punched Holes" *Int. J. Fatigue*, 80, pp. 324–331. DOI: 10.1016/j.ijfatigue.2015.06.018
- [4] A. International, 1989, *ASM Handbook Volume 16 – Machining*, ASM International, Almere, Netherlands. DOI: 10.31399/asm.hb.v16.9781627081887

INFLUENCE DU TYPE DE SOLLICITATIONS SUR LA TENUE AU DEVISSAGE

C. Delcher¹, A. Rosso², E. Bourgeois²

1. CETIM Saint-Etienne Pôle Ingénierie Des Assemblages (IDA)

2. MBDA Le Plessis-Robinson

MOTS CLES : dévissage spontané, desserrage, fiabilité, sécurisation

INTRODUCTION

L'objectif principal des travaux menés dans le cadre des projets CETIM (PSS FOVA [1]) et MBDA (Rapport de synthèse [2]) est d'étudier le comportement aux dévissage et desserrage pour différents types de sollicitations mécaniques (transversales, chocs, flexions) en fonction d'un large spectre de paramètres influents.

DEMARCHE ET CONDITIONS D'ESSAI SUIVANT NF E 25-046

La démarche repose sur la réalisation d'études expérimentales comparatives intégrant différents types de sollicitations et essais associés (voir Table 1).

Type	Sollicitation	Essais	Normes
1	Transversale (déplacement alterné)	"Junker test"	ISO 16130, DIN 65151, DIN 25201-4 B
2	Transversale (choc alterné)	"Impact vibration test"	ISO 7481, ISO 8642, NAS 3350, NASM 1312-7
3	Axiale excentrée (flexion alternée)	"Hélicoptère test"	XP E 25-046-2 [2]

Table 1 : Types de sollicitations et essais associés.

RESULTATS COMPARATIFS SUR FIXATIONS « INDUSTRIE » ET « AERONAUTIQUE »

Dans le cadre du projet CETIM les essais ont été réalisés avec des fixations de type « industrie » (matériaux et revêtement standards ou communément utilisés dans différents secteurs industriels).

De nombreux paramètres ont été étudiés et sont illustrés en partie en Figure 2.



Figure 2: Illustrations des éprouvettes du projet CETIM

Dans le cadre du projet MBDA les essais ont été réalisés avec des fixations sécurisées, répondant davantage aux contraintes aéronautique/défense (spécifications représentatives de ce domaine). Les solutions de sécurisations qui ont été étudiées sont illustrées en Figure 3.



Figure 3: Illustrations des éprouvettes du projet MBDA

CONCLUSION

Les résultats obtenus seront présentés, ils illustrent une influence significative du type de sollicitations sur la résistance et le comportement aux dévissage et desserrage.

Ces travaux serviront de base pour enrichir le guide de conception MBDA (document interne), ainsi que pour la mise à jour du guide CETIM n°9Q115 [5] (publication prévue en 2025).

Références

- [1] Synthèse des travaux sur la tenue au dévissage spontané - Etude CETIM n°272365 (2023) issue du projet PSS FOVA
- [2] Rapport de synthèse – Etude CETIM n°247281 sur la résistance au dévissage
- [3] XP E 25-046-2 (2022) : Fixations - Essais de résistance au dévissage/desserrage - Partie 2 : méthode d'essai par flexion alternée, dite " Hélicoptère "
- [4] NF E 25-046-1 (2022) : Fixations - Essais de résistance au dévissage/desserrage - Partie 1 : méthodologie de type " Escalier court "
- [5] Guide CETIM n°9Q115 (2009) : Guide de méthodologie pour le choix des technologies de lutte contre le dévissage des assemblages vissés

DESSERRAGE ET GLISSEMENT SOUS SOLlicitATIONS VIBRATOIRES

M. Vialaneix¹

1. LIEBHERR AEROSPACE, LTS, 37 Avenue de Lacourtenours, 31140, Aucamville

MOTS CLES : Desserrage, Glissement, Friction, Plastification, Vibrations, Fréquence, Calculs Eléments Finis

INTRODUCTION

Dans le cadre des qualifications des équipements de pressuration d'air de Liebherr Aerospace, une forte composante de vibration est requise. En effet, certains équipements, proches des moteurs, sont soumis à de forts niveaux vibratoires en random. Les pièces structurales ainsi que les pièces d'assemblage sont soumises aux calculs EF pour dérisquer de potentielles casses ou pertes d'intégration.

Les sous-systèmes les plus concernés par des niveaux vibratoires et thermiques élevés sont des vannes, assemblées principalement avec des vis.

PROBLEMATIQUE INDUSTRIELLE

Lors d'un essai vibratoire sur une vanne, un décalage en fréquence propre ainsi qu'une fuite d'air ont été détectés. Ces critères non conformes sont déterminants pour la qualification de cet équipement. Ces conséquences proviennent d'un manque de raideur et de potentielle tenue d'une vis structurale.

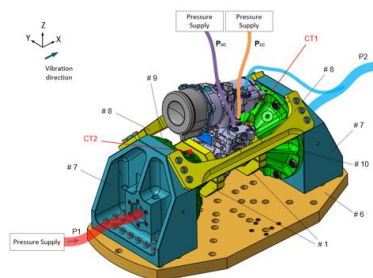


Figure 1: Montage d'essai vibratoire d'une vanne.

METHODOLOGIE DE RESOLUTION

Une étude du laboratoire exploite les conséquences observables. Des calculs EF expliquent les sources du problème. Une corrélation entre les essais vibratoires et le modèle EF, ainsi qu'un essai de caractérisation de serrage et un modèle EF semblent confirmer les phénomènes ayant eu lieu.

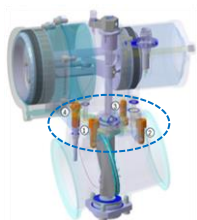


Figure 2 : Vis structurales concernées d'une vanne.

RESULTATS

- Etude du laboratoire : De fortes traces d'abrasion sont détectées sous la tête de vis.
- Calculs EF vibratoires : Le décalage en fréquence observé en essai est retrouvé lors de la déconnexion d'une vis.
- Calculs EF prétension de vis : La tête de vis plastifie avec le couple appliqué.
- Compilation calculs modèle EF : Les efforts transverses de la vibration sont supérieurs aux efforts de résistance au glissement de l'assemblage.
- Essai de caractérisation de serrage : Cet essai confirme les points précédents ainsi que les hypothèses de friction et couple de blocage de screw lock.

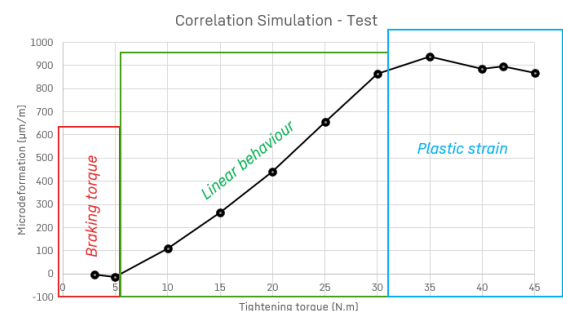


Figure 3: Essai de caractérisation au serrage.

CONCLUSION

Deux causes décorréées ont été pointées et doivent être surveillées pour les qualifications vibratoires.

La plastification de la vis n'est pas acceptable lors de sollicitations vibratoires car elle peut engendrer un desserrage progressif.

L'effort de serrage doit être suffisant pour obtenir une résistance au glissement qui contre les efforts transverses de la vibration.

Un point d'attention est également la variation du couple de blocage des screw locks.

Références

[1] Jean GUILLOT (2007) « Modélisation et calcul des assemblages vissés. Généralité ».

SESSION 6: PROCESS ET INDUSTRIE 4.0

Transfert de technologies d'assemblage, de l'automobile à l'aéronautique

A. Bonnet¹, J. Laffay²

1. / 2. Airbus Helicopters – Laboratoire Matériaux et Procédés (ETXLM)

MOTS CLES : rivet auto-poinçonneur (SPR), rivet auto-poinçonneur plein (RAPP), clinchage, vis fluo perceuse.

INTRODUCTION

Dans un contexte industriel toujours plus concurrentiel, la stratégie d'Airbus Helicopters repose sur trois principaux piliers : Augmentation des cadences de production (Ex : Production de ~ 500 x H140 par an), allongement de la durée de vie et fiabilisation des appareils.

Avec plusieurs dizaines de milliers de fixations (EX : ~ 70 000 sur H160) aujourd'hui installées par appareil, l'optimisation des assemblages apparaît comme une opportunité prometteuse. Un transfert de certaines technologies, largement déployées dans l'industrie automobile, est donc à l'étude.

Une démarche de sélection basée sur l'analyse d'assemblages multi-matériaux est présentée. Les challenges et opportunités associés sont détaillés.

SOLUTIONS D'ASSEMBLAGE OPTIMISEES

Plusieurs produits ont les avantages d'une installation ergonomique, rapide et facilement automatisable permettant une réduction des coûts et temps de fabrication :

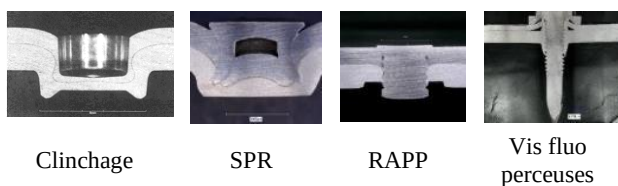
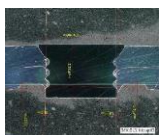


Figure 1 : Pré-sélection technologique

Ces technologies sont mises en œuvre en laboratoire sur différentes éprouvettes représentatives de structures aéronautiques. Une première évaluation de la robustesse du procédé et de la qualité des assemblages permet l'identification de bénéfices, challenges et limitations associées.

Avec rainures



Sans rainure

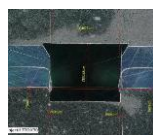


Figure 2 : Epreuve RAPP sur alu 2024

Un candidat est sélectionné afin de réaliser une étude plus approfondie des spécifications de procédé et des performances associées.

CHALLENGES DE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE

Un transfert de technologie de l'industrie automobile aux applications hélicoptères ne peut, néanmoins, se faire sans une démonstration de :

- Performances mécaniques (Ex : fatigue)
- Performances environnementale (Ex : corrosion)
- Contrôle de la qualité du produit, à un niveau aéronautique
- Répétabilité du procédé d'installation



Figure 3 : Rupture par déboutonnage – Essais traction simple cisaillement - RAPP sur alu 2024

Une adaptation des règles de design, une optimisation des moyens de pose, des standards existants ainsi qu'une reconsidération des exigences de maintenances est nécessaire.

Une vue d'ensemble de ces challenges ainsi que divers résultats sont exposés pour illustrer les opportunités liées à ces technologies.

CONCLUSION

D'un monde à l'autre, une série de défis restent à relever afin de valider le transfert de technologies automobiles au milieu aéronautique.

L'état des lieux des démarches entreprises par Airbus Helicopters en ce sens, ainsi que les opportunités et principaux challenges sont ici présentés.

INDUSTRIALISATION 4.0 : RETOUR D'EXPERIENCE SUR LE SERRAGE MANUEL ET ROBOTISE

T. Royer¹, C. Delcher¹, G. Fauquet²

1. CETIM Saint-Etienne, Pôle Ingénierie Des Assemblages (IDA)
2. SAFRAN NACELLES, Site de Gonfreville-l'Orcher, Direction industrielle

MOTS CLES : Industrialisation, Serrage, Robotisation, Datas, Vision

INTRODUCTION

Le monde industriel dispose à l'heure actuelle d'une multitude de nouvelles briques technologiques en support à l'amélioration des process d'assemblages. Celles-ci ont pour fonction la surveillance et la maîtrise des process, l'aide à l'opérateur (physique ou cognitive), l'automatisation d'un procédé, la collecte et le traitement des données pour optimiser le process en temps réel.

Le CETIM accompagne depuis de nombreuses années les entreprises à la conduite du changement et mène des travaux de R&D qui nous permettent d'évaluer l'ensemble de ces solutions.

Quelle est la performance de ces solutions, dans quel cas les employer ?

ASSEMBLAGE MANUEL ASSISTE

Sur un poste d'assemblages manuel, les nouvelles briques technologiques mettent l'accent sur la traçabilité / qualité du process et l'aide à l'opérateur.

Il s'agit donc de solutions permettant de contrôler la qualité des assemblages en temps réel (localisation des points d'assemblages, contrôle qualité par vision, analyse des données en temps réel, ...). Dans le cadre de projets FactoryLab [1] le CETIM a travaillé sur des projets d'outil de serrage avec mesure de tension intégrée et de localisation avancée.

D'un point de vue de l'aide à l'opérateur, les consignes d'assemblage peuvent être affichées par des solutions de réalité augmentée ou de vidéoprotection qui s'adaptent en temps réel.

La plateforme d'accélération QUATRIUM de Saint Etienne [2] dispose de ce type de matériel pour permettre aux industriels de pouvoir se projeter à l'utilisation de ceux-ci.

ASSEMBLAGE AUTOMATISE

L'automatisation d'une opération d'assemblage ne se limite pas à l'achat de matériel (bras robot,

broches de vissage, ...), il est nécessaire de mener une réflexion sur plusieurs aspects : technique, organisationnel, sécurité, matériel, humain, ... Il existe donc de nombreux verrous qui nécessitent des adaptations au-delà de la ligne de production : re-conception produit, modification des flux de production, maîtrise du procédé, embauche de personnel qualifié, gestion des données, ...

Les solutions récentes de robotisation apportent une aide à l'opérateur (manutention, préparation de pièces, ...), une programmation facilitée, la capacité à localiser une pièce par vision 3D, mais également une optimisation des trajectoires robot ou du traitement de données à l'aide d'intelligence artificielles.

Le CETIM réalise des travaux sur la robotique dans le cadre du PTT Robotique intelligente [3] ainsi que la mise au point de procédés spécifiques pour les industriels au moyen du démonstrateur assemblage robotisé de la plateforme d'accélération QUATRIUM [2].

SAFRAN NACELLES apportera son retour d'expérience sur un sujet de robotisation de procédé d'épinglage : quels sont les verrous rencontrés et comment minimiser les contraintes liées à la robotisation du procédé.

CONCLUSION

Pour l'ensemble de ces sujets, les problématiques ainsi que des exemples concrets seront présentés.

Références

- [1] FactoryLab : le consortium FactoryLab permet la rencontre entre des acteurs du monde académique, industriel et des fournisseurs de technologies. www.factorylab.fr
- [2] Plateforme d'accélération QUATRIUM : espace CETIL dédiée à l'accompagnement des industriels pour sécuriser vos investissements de modernisation industrielle : <https://www.cetim.fr/lp/quatrium/>
- [3] PTT Robotique intelligente

Capteur de serrage « Smart Washer » JPB SYSTEME - Alan Desjonquères¹, Julien Chevalier²

1. Ingénieur mécanique développement produit

2. Responsable marketing produit

MOTS CLES : capteur de serrage, desserrage, tension, couple, monitorer, traçabilité,

INTRODUCTION : Challenge de l'industrie

Quel que soit le secteur industriel, très souvent les assemblages vissés sont soumis à des contraintes sévères : vibrations, déformations répétées, variations de températures, chocs, passages répétés, ... autant de contraintes qui génèrent des desserrages.

Afin d'éviter des arrêts de production (pertes d'exploitation) et prévenir des accidents, les techniciens de maintenance mettent en œuvre des solutions de blocage d'écrous ou des contrôles périodiques de serrage.

Les contrôles périodiques systématiques prennent du temps, sont coûteux et sont parfois peu précis : contrôle aléatoire / échantillonnage, desserrage et resserrage au trait,...

PARTIE 1 : NOTRE TECHNOLOGIE

JPB Système a conçu et fabrique un capteur spécifique qui monitor le niveau de tension de serrage d'un boulon par rapport à un état initial. Le capteur JPB Système prend la forme d'une rondelle qui se positionne sous la tête de la vis. Un challenge important fût la miniaturisation du capteur pour rendre son installation rapide et simple dans un assemblage vissé, des jauges de déformations et une électronique spécifique ont été développées pour cela.

L'électronique traite et convertit les mesures en un signal numérique qui n'est pas affecté par la distance de communication ou les variations de température.

Des essais en laboratoires (matériaux différents, niveau de charge, température) ont permis de caractériser les efforts transmis dans le capteur et ainsi définir une loi de comportement garantissant une précision optimale sur la plage d'utilisation.



Figure 1: Capteur à transmission RFI

et son lecteur dédié développés par JPB Système



Figure 2: Capteur filaire transmission des données en 4G vers une application.

PARTIE 2 : NOS SOLUTIONS

Notre technologie de capteur de serrage est déclinée en 2 versions répondant à des besoins différents :

Capteur à transmission de données RFI : sans batterie et sans fil, cette version « autonome » est adaptée aux équipements sensibles (exemple : avion) : pas de perturbation électromagnétique, pas de connectivité web (cybersécurité maximum). Les données sont mesurées à l'aide d'un lecteur dédié. Les jauges de contraintes et l'électronique sont doublés pour rendre le système redondant ; fonction requise dans certains secteurs : aéronautique, défense.

Capteur à transmission de données 4G : alimenté en continue par un hub, cette version permet une consultation à distance et à tout moment au travers une application spécifique. Le contrôle peut être automatique (intervalle défini dans l'application) ou manuel. La traçabilité est automatique.

	Capteur RFI	Capteur filaire
Taille	M8 -M22	M8 – M24
T° d'utilisation	-20° à +50°C	-20° à +65°C
T° de résistance	-50° à +150°C	-30° à +90°C
Connectivité web / stockage	Non. Stockage données dans le capteur	Oui. Stockage données dans le cloud

CONCLUSION

Notre solution est facile et rapide à installer. Elle sécurise les assemblages vissés et permet de gagner du temps lors des contrôles de serrage.

SESSION 7: PROCESS ET INDUSTRIE 4.0

DEMARCHE ALARA : REDUCTION DU TEMPS D'OPERATIONS SUR LES LIAISONS ETANCHES AU TRAVERS DE SYSTEMES DE DECONNEXION RAPIDES (QDS)

L. ALLEGRE¹, G. TOCHEPORT², F. LEDRAPPIER¹, G. DOULSIER^{1,3}

1. *Maestral : TECHNETICS Group France, Laboratoire d'Étanchéité Maestral - 26700 Pierrelatte, France*

2. *TECHNETICS : TECHNETICS Group France - 42000 St Etienne, France*

3. *CEA : CEA, DES, ISEC, DE2D, SEAD, Laboratoire d'Étanchéité Maestral, Univ. Montpellier, Marcoule, France.*

MOTS CLES : ALARA, étanchéité, liaisons rapides, ESP

INTRODUCTION

Dans l'industrie nucléaire, la sécurité et l'efficacité sont primordiales. La démarche ALARA (As Low As Reasonably Achievable) guide la réflexion sur la minimisation de l'exposition des travailleurs et de l'environnement aux rayonnements dès la conception. Les liaisons de déconnexion rapide des brides avec joint (QDS) avec sa fonction de manipulation à distance permet d'améliorer la sécurité et l'efficacité opérationnelles dans les installations nucléaires. Les QDS sont utilisés pour leur capacité robuste à sécuriser les composants d'un assemblage étanche soumis à des usages sévères, garantissant l'intégrité du système lorsqu'ils sont soumis à des charges externes. La combinaison de ces technologies adhère non seulement aux principes ALARA, mais améliore également la fiabilité et la sécurité globales des opérations nucléaires.

DESIGN DES LIAISONS

Les systèmes d'assemblage proposés sont conçus pour simplifier les opérations de serrage avec une seule ou deux vis pour permettre la compression des joints métalliques.



Figure 1: Vue d'ensemble des liaisons

Ces liaisons assurent l'assemblage de brides avec des joints métalliques HELICOFLEX® (joints métalliques énergisés par des ressorts internes), requis pour les compatibilités avec les environnements nucléaires (rayonnements, température, pression...) et

permettant d'atteindre des très haut niveaux d'étanchéité ($Q < 10^{-10}$ Pa.m³/s). La conception doit se conformer aux codes de calculs de référence (CODAP, RCC-MRx, ASME...) en s'appuyant sur des règles de conception analytiques, et également par des simulations numériques des assemblages.

REDUCTION DES TEMPS D'OPERATION

L'utilisation de ces liaisons dites rapides en lieu et place de brides boulonnées permettent un gain de temps important sur les opérations de mise en place et de maintenance et de ce fait une exposition aux rayonnements minimisée.

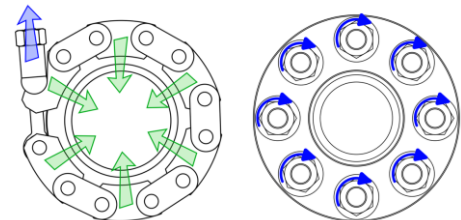


Figure 2 : Comparaison serrage QDS vs. bride boulonnées

A titre de comparaison, une maquette boulonnée classique à un temps de mise en place de l'ordre de l'heure pour quelques minutes pour la liaison QDS.

CONCLUSION

La solution de liaisons QDS permet donc à iso performances en étanchéité de minimiser l'exposition aux rayonnements des opérateurs par rapport aux brides boulonnées classiques. Ces liaisons sont dimensionnées pour se conformer aux codes applicables et adaptées pour des conditions d'utilisation sévères.

Des moyens expérimentaux et de simulation sont proposées pour réaliser la qualification de ces liaisons.

Assemblage par soudage laser des structures hybrides de Type Métal/ Composite thermoplastique

BOUKHADRA Khaoula^{1,2,3 a *}, JENDLI Zouhaier^{1,b}, WALRICK Jean-Chhristophe^{1,c} and KOUADRI-HENNI Afia^{2,3,d}

¹ESTACA, ESTACA'Lab-Laval, Laval F-53000, France²

²L'Institut national des sciences appliquées de Rennes (INSA), Département de Génie Mécanique et Automatique (GMA), 35708 Rennes, France

³Laboratoire des sciences du numérique de Nantes, équipe ROMAS, UMR CNRS 6004, 44300 Nantes, France

MOTS CLES : Soudage laser, Assemblage multi-matériaux, Structures hybrides, Comportement mécanique

INTRODUCTION

La nécessité croissante des structures allégées dans les industries automobile et aérospatiale a conduit à un intérêt accru pour les composites thermoplastiques, en raison de leur excellent rapport résistance/masse.

Cependant, l'assemblage de ces composites avec des alliages métalliques demeure un défi majeur en raison des différences significatives de leurs propriétés thermiques, mécaniques et physico-chimiques. Ces disparités peuvent entraîner des contraintes résiduelles, des défauts d'adhésion et des hétérogénéités structurales compromettant la performance des assemblages. Ainsi, le développement de procédés optimisés permettant d'assurer une liaison robuste et pérenne entre ces matériaux hétérogènes constitue un enjeu scientifique et industriel majeur.

PROCEDURE

Différentes techniques, telles que le collage structural, l'assemblage mécanique et le soudage par ultrasons, ont été étudiées pour l'assemblage des composites thermoplastiques avec les métaux [1]. Parmi celles-ci, le soudage laser se distingue par sa précision, sa rapidité et sa capacité à générer des liaisons robustes avec une dégradation minimale des matériaux.

Dans cette étude, le soudage laser Nd:YAG a été utilisé pour assembler des composites thermoplastiques à des substrats métalliques. La surface du métal DP600 a été préalablement texturée au laser afin d'améliorer l'adhérence [2], et le composite a été positionné de manière à optimiser la formation du joint.

Un système laser de 100 W (Figure 1) a été employé, en faisant varier des paramètres clés tels que la puissance du laser, la vitesse de balayage et la distance focale afin de contrôler l'apport thermique et de limiter les dommages thermiques.

Après le soudage, des essais mécaniques ainsi qu'une analyse microscopique ont été réalisés afin d'évaluer la résistance de l'assemblage et la qualité de l'interface de liaison.

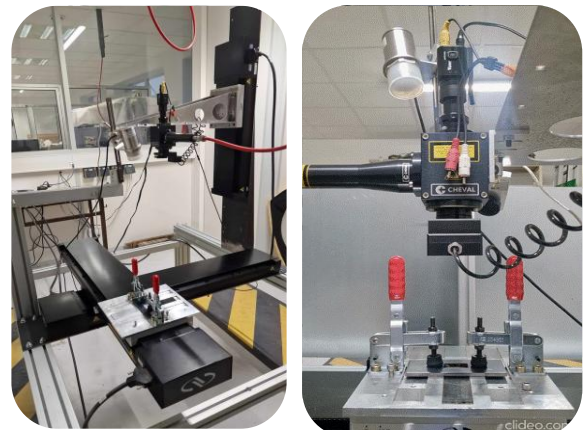


Figure 1 : (a) Configuration du procédé de soudage laser Nd:YAG, (b) Système de Clampage pour l'étape d'assemblage

CONCLUSION

En contrôlant avec précision les paramètres laser tels que la puissance, la vitesse de balayage et l'intensité du faisceau, le pré-traitement de la surface métallique et l'adhésion entre le PA6GF47 et le DP600 ont été optimisées. Ainsi, une tenue mécanique de 6,94 MPa en traction-cisaillement a été obtenue.

Références

- [1] F. Lambiase, S. Scipioni, C. Lee, D. Ko, F. Liu (2021) « A State-of-the-Art Review on Advanced Joining Processes for Metal-Composite and Metal-Polymer Hybrid Structures », *Materials*, 14, 1890.
- [2] F. Lambiase, P. Yanala, C. Leone, A. Paoletti (2023) « Influence of laser texturing strategy on thermomechanical joining of AA7075 aluminum

alloy and PEEK », Composite structures 315,
116974.

How to unlock widely the potential of lightweighting, thanks to ERWin®, an innovative & efficient multi-material assembly technology

As automotive OEMs explore new body-in-white architectures to accompany vehicle electrification and to meet their light-weighting objectives, the demand for cost-effective multi-material joining techniques is growing. Cost effective multi-material joining is one of the keys for the broader adoption of lightweight BiW designs in high-volume vehicle models and platforms.

ERWin® fasteners :

ERWin® is an efficient multi-material joining solution, developed by Gaming Engineering, to integrate light weight parts (composites, aluminium, or plastics) on steel or aluminium structures, using standard spot-welding equipment. This ERWin® insert is first punched into the lightweight part without a pre-hole, the lightweight part can then be welded to steel or aluminium. The specificity of this insert lies in its design, with the presence of a thermal decoupling and cutting ring around a central welding button. The self-cutting ring allows punching the insert into the light part without creating damage, the associated groove creates a thermal barrier preventing any damage to the lightweight material (burns or melting) during welding. The groove also accommodates the flow of the weld bath, offering a sound weld and a large tolerance of material thicknesses. The head of the insert does not rise in temperature, allowing large offsets of the welding electrodes. ERWin® offers many advantages; for example, it can be easily disassembled, it can also be used on brittle materials. For the specific case of Aluminium High Pressure Die Castings it allows suppression of the part heat treatment and to integrate recycled materials, saving costs and CO2.

ERWin® robotic cell :

To provide a complete 360° solution to its customers, Gaming Engineering has developed an innovative standardised robotic cell for functionalising light-weight components with ERWin® inserts that is compatible with all light-weight materials: plastics, composites, aluminium (stamped sheet/profiles/die-cast) and die-cast magnesium. The innovative concept and detailed design of this equipment solution has many advantages over existing equipment solutions that significantly reduce the upfront and running costs of REW insertion and increase the flexibility for joint location thanks to improved accessibility.

This game-changing standardised punching solution and together with the innovative ERWin® REW inserts lower the costs and barriers to multi-material joining by reducing assembly costs and enabling component cost savings by accepting all light-weight materials, such as less ductile as-cast die-casting components from cheaper recycled aluminium alloys, plastics, magnesium and composites.

Our proposed presentation will share our various technical assembly innovations and their patented design features. A full solution to game change multi-material designs.

More multi-material mixes available, more lightness, more efficient on assembly line, more simplicity, more competitiveness !

Key words :

ERWin; Innovation; Fixation; Multi-Matériau; Soudage par points; Soudage par résistance; Soudage; Automobile; Aéronautique; Composites; Aluminiums; Magnésiums; Aciers

