

# Sujet de Thèse : Dimensionnement en fatigue de Structures Collées pour des ruptures interfaciales et cohésives

IRDL, UMR CNRS 6027, ENSTA Bretagne, F-29200 Brest, France

## Contexte

Les structures aéronautiques peuvent être soumises à des environnements sévères et des chargements mécaniques répétés pouvant amorcer des défauts ou des endommagements. D'un point de vue de l'utilisateur cela peut induire une maintenance et une indisponibilité d'aéronefs pour réparation. Ces problèmes peuvent dans certains cas se révéler de manière assez précoce au regard de la durée d'exploitation visée. Le renforcement et la réparation des structures se fait généralement par des patchs à base de composites collés sur les éléments endommagés. Ce type de réparation, outre des temps et des coûts de maintenance réduits, présente aussi l'intérêt de la légèreté de la solution. De plus, ces patchs assemblés par collage peuvent s'adapter aux géométries complexes d'un fuselage ou d'une voilure. Afin de fiabiliser et d'évaluer la pérennité de la structure de l'appareil réparé, il est nécessaire d'estimer la durabilité de la réparation qui lui a permis d'être maintenue en service. Dans le cadre de l'étude de la durabilité des matériaux et des assemblages, la question de la capacité de ces patchs à endurer les cycles de chargement mécaniques représentatifs des conditions d'exploitation se pose donc. Même si le comportement en fatigue des assemblages collés est assez largement traité dans la littérature, certains aspects restent encore relativement discrets dans l'état de l'art. Concernant la fatigue des assemblages la problématique est souvent traitée grâce à des bases expérimentales onéreuses en temps d'essais et s'appuie sur des essais normés tels que l'essai simple recouvrement (Dessureault et al., 1997) (Crocombe, 1999) (Gamdani, 2022) (Sahin, 2021). Les amorçages en fatigue pour ce type d'essai sont régulièrement observés à proximité des interfaces. Pourtant, les travaux effectués sur éprouvettes massives d'adhésifs abordent la problématique de la fatigue d'un point de vue matériaux, sans prendre en compte le procédé de collage ni le traitement de surface et son influence. Ainsi, pour caractériser la rupture au niveau de l'interface, un certain nombre de travaux récents s'appuient sur un essai de flexion 3 points développé en 1982 par Roche et al. (Birro, 2021)(Zabar, 2020). Néanmoins, l'ensemble de ces études concernent des chargements monotones (Leplat, 2020) et aucune ne cherche par cet essai, développé pour des amorçages à l'interface, à établir des critères en fatigue.

## Objectifs

Dans un premier temps le doctorant s'appropriera les protocoles d'assemblages et les modèles numériques qui ont pu être mis en place lors de travaux précédents sur adhésifs (Ilioni, 2018). En effet, un modèle de comportement aura été identifié pour cet adhésif au sein d'assemblages collés et un critère de ruine déterminé pour des ruptures au sein du joint de colle : ruptures dites «cohésives». Afin de bénéficier d'un outil complet en termes de prévision de la rupture d'assemblages en fatigue, il sera alors demandé de traiter le cas de ruptures localisées au niveau des interfaces. Dans le cadre de la thèse, un essai spécifique sera donc développé afin de caractériser ces ruptures dites «adhésives» (ou «interfaciales»). La caractérisation concernera différents types de sollicitations cycliques en faisant évoluer la fréquence et le rapport de charge. La définition des moyens de mesures dédiés à la caractérisation des propriétés mécaniques de l'interface seront le point central du travail. Pour ces essais monotones sur des éprouvettes dites «interface», il sera recherché un amorçage de fissure au niveau de l'interface sur des longueurs facilement caractérisables grâce aux équipements du laboratoire. Les outils de caractérisation pour ces ruptures seront définis afin d'établir un critère d'arrêt à l'amorçage pour les essais de fatigue.

En parallèle, un modèle numérique basé sur la méthode des éléments finis sera développé afin de déterminer les propriétés des interfaces par corrélation essais/calculs. L'ensemble des données matériaux correspondant à des ruptures «cohésives»

et «adhésives» sera ensuite implémenté dans des modèles complets, qui devront être à même de prévoir le nombre de cycles à l'amorçage d'une fissure et de définir son site d'amorçage pour différents cas de chargements cycliques et géométries d'assemblages. Grâce à cet outil le doctorant cherchera ensuite à définir un «cas d'étude» pour privilégier une rupture « cohésive » dans certains cas et « adhésive » dans d'autres. Une validation de la démarche sera envisagée par comparaison avec des essais réalisés sur des éprouvettes représentatives de structures d'aéronefs. Ce travail se fera en concertation avec DGA TA sous forme d'échanges techniques et de transferts de technologies.

**Mots clés : Méthodes expérimentales, Modélisation, Assemblages multimatériaux, Adhésifs, Durabilité, Fatigue.**

### Profil du candidat

La.e candidat.e, titulaire d'un Master de recherche ou d'un diplôme d'ingénieur, devra posséder des connaissances en mécanique des structures et des matériaux. Elle.Il devra avoir un goût prononcé pour les études expérimentales. Une connaissance approfondie des outils numériques de modélisation sera nécessaire (codes de calculs par éléments finis en particulier).

### Financement et durée

Cette thèse sera financée pour une durée de 36 mois. Le salaire mensuel brut est de l'ordre de 2200€ ou 2420€ (incluant des activités complémentaires d'enseignement).

### Dossier de candidature et Contacts

La.e candidat.e intéressé.e adressera par mail son **CV, une lettre de motivation, un relevé des notes obtenues au cours de la scolarité ainsi qu'une copie du diplôme d'ingénieur ou du Master** sont à envoyer pour le **20 Novembre 2023** aux personnes suivantes :

**David THEVENET**, professeur de l'ENSTA Bretagne : david.thevenet@ensta-bretagne.fr

**Pierre BIDAUD**, maître de conférences de l'ENSTA Bretagne : pierre.bidaud@ensta-bretagne.fr

### Références

- (Dessureault, et al.,1997) : Observation of fatigue crack initiation and propagation in an epoxy adhesive, Dessureault M., Spelt J. K., International Journal of Adhesion and Adhesives (1997). (Crocombe, et al., 1999) : Assessing stress state and mean load effects on the fatigue response of adhesively bonded joints, Crocombe A. D., Richardson, G., International Journal of Adhesion and Adhesives (1999).
- (Gamdani, et al., 2022) : Fatigue behavior of hybrid multi-bolted-bonded single-lap joints in woven composite plates, F. Gamdani, R. Boukhili, A. Vadean, International Journal of Fatigue (2022).
- (Sahin, et al., 2021) : The effects of adherend thickness on the fatigue strength of adhesively bonded single-lap joints, R. Sahin, S. Akpınar, International Journal of Adhesion and Adhesives (2021).
- (Birro, 2021) : Assessment of interface failure behaviour for brittle adhesive using the three-point bending test, T.V. Birro, M. Aufray, E. Paroissien, F. Lachaud, International Journal of Adhesion and Adhesives (2021).
- (Zebar, 2020) : Interfacial fracture toughness measurement in both steady state and transient regimes using four-point bending test, M. E. M. Zebar, M. L. Hattali, N. Mesrati, International Journal of Fracture (2020).
- (Ilioni, 2018) : A viscoelastic-viscoplastic model to describe creep and strain rate effects on the mechanical behaviour of adhesively bonded assemblies, A. Ilioni, C. Badulescu, N. Carrere, P. Davies, D. Thévenet, International Journal of Adhesion and Adhesives (2018).
- (Leplat, 2020) : Investigation of the mode I fracture properties of adhesively bonded joints after water ageing, J. Leplat, G. Stamoulis, P. Bidaud, D. Thévenet, The Journal of Adhesion (2020).