**Abstract - Modelling of friction contacts under dynamic loads with experimental comparison**

A typical aero engine is a complex mechanical structure made of many assemblies whose components are connected by mechanical joints. These joints introduce interfaces that are subjected to various static and dynamic loads during the engine's operational life. These conditions can lead to high structural vibrations and cycle fatigue failures, resulting in energy losses and reduced performance. The damages could be increased especially when the operating frequencies of the system are close to the resonant frequencies of the structure. Some common friction joints in turbomachines, such as interfaces between disk and blade, shroud contacts and friction under-platform dampers, are designed to undergo relative micro-sliding motion at the interfaces and provide friction damping at the contact interfaces to reduce the amplitude vibration levels by dissipating energy. However, dry friction is also one of the most critical sources of nonlinearities and uncertainty for predicting the global dynamic behaviour of assembled structures. The vibrations induced by repeated dynamic loads can cause fretting wear.

Friction and wear problems are multi-scale and multi-physical by nature. Fretting wear occurs at the micro-scale level of the asperities, over a long period, deteriorating the contact surface geometry by producing wear debris through material removal and dissipating energy. The worn geometry can affect the dynamic response of the whole system over time and limit the operating lifetime. With this aim, improving numerical simulation methods and developing predicting tools is essential to prevent when operational vibration levels become critical for anticipating potential failures in the first design phases and planning appropriate maintenance.

In this context, this PhD work aims at improving the understanding of the physics of frictional contacts by evaluating the effect of fretting wear on dynamics. This is achieved by validation through experimental evidence of an efficient prediction tool developed to simulate the nonlinear dynamic behaviour arising from friction contact. The proposed numerical method allows calculating simultaneously vibrational behaviour and wear evolution in fretting wear problems. The coupling between dynamics and wear is implemented through a multi-scale approach by considering two-time scales: a fast scale for dynamics and a slow scale for tribological phenomena. The numerical study of fretting wear under dynamic loading is based on a fretting test campaign performed at Imperial College London. In particular, the experimental test rig reproduces the dynamic behaviour observed in friction dampers. Hence, it can give an additional detailed description of contact interfaces and allow more accurate modelling of these elements.

The results obtained are consistent with those given from experimental evidence making it possible to demonstrate the method’s applicability and evaluate the dynamic/wear coupling, with some limitations related to the assumptions used.  In addition, numerical simulations enable the evaluation of local scenarios for quantities not directly measured by experiments, such as distribution of wear over the interface and the evolution of the wear volume during the time, pointing out that the constant dialogue between experiments and updated simulations can enable one to go beyond the measurements or calculations alone.

**Keywords**: nonlinear dynamic, friction contact, fretting wear, multi-scale problem

**Résumé - Modélisation d’interfaces frottantes sous chargements dynamiques avec comparaison expérimentale**

Un moteur d'avion est une structure mécanique complexe composée de nombreux assemblages dont les composants sont reliés par des jonctions mécaniques. Ces jonctions introduisent des interfaces qui sont soumises à diverses charges statiques et dynamiques au cours de la vie opérationnelle du moteur. Ces conditions peuvent entraîner des vibrations structurelles de niveau élevé et des défaillances causées par des chargements cycliques, entraînant des pertes d'énergie et des performances réduites. Les dommages pourraient être accentués surtout lorsque les fréquences de fonctionnement du système sont proches des fréquences de résonance de la structure. Certaines jonctions utilisées dans les turbomachines, tels que les surfaces entre l'aube et le disque et les d'amortisseurs par frottement sec situés sous les plate-formes, sont conçus pour subir un mouvement de microglissement relatif aux interfaces et fournir un amortissement de friction aux interfaces afin de réduire les niveaux vibratoires en dissipant l'énergie. Cependant, le frottement sec est également l'une des sources les plus critiques de non-linéarités et d'incertitude pour prédire le comportement dynamique global des structures assemblées et les vibrations induites par des charges dynamiques répétées peuvent provoquer une usure par fretting.

Les problèmes de frottement et d'usure sont multi-échelles et multiphysiques par nature. L'usure par frottement se produit au niveau microscopique des aspérités, sur une longue période, détériorant la géométrie de la surface de contact en produisant des débris d'usure par enlèvement de matière et par dissipation d'énergie. La géométrie usée peut affecter la réponse dynamique du système global et limiter sa durée de vie. Dans ce but, l'amélioration des méthodes de simulation numérique et le développement d'outils de prédiction sont essentiels pour prévenir le moment où les niveaux de vibration opérationnels deviennent critiques pour anticiper les dommages potentiels déjà dans les premières phases de conception.

Dans ce contexte, cette thèse vise à améliorer la compréhension de la physique des contacts frottants en évaluant l'effet de l'usure par fretting sur la dynamique vibratoire. Ceci est réalisé à travers la validation par des essais expérimentaux d'un outil de prédiction numérique efficace développé pour simuler le comportement dynamique non linéaire. La méthode numérique proposée permet de calculer simultanément le comportement en vibration et l'évolution de l'usure.

Le couplage entre dynamique et usure est mis en œuvre à travers une approche multi-échelle en considérant deux échelles de temps : une échelle rapide pour la dynamique et une échelle lente pour les phénomènes tribologiques. En particulier, l'étude numérique de l'usure par fretting vibratoire est basée sur une campagne d'essais de fretting réalisée à l'Imperial College London. Le banc d'essai expérimental reproduit le comportement dynamique observé dans les amortisseurs à friction. Par conséquent, il peut donner une description détaillée supplémentaire des interfaces de contact et permettre une modélisation plus précise de ces éléments.

Les résultats obtenus de prévision numérique sont cohérents avec ceux donnés par les essais permettant de démontrer l'applicabilité de la méthode et d'évaluer le couplage dynamique/usure, avec quelques limitations liées aux hypothèses utilisées. De plus, des simulations numériques supplémentaires ont permis d'évaluer des scénarios locaux pour des grandeurs non directement mesurées par les essais, comme l’observation locale au niveau de la zone de contact c'est-à-dire la répartition de l'usure sur l'interface et l'évolution du volume usé au cours du temps. Les résultats obtenus pourront aussi servir aux expérimentateurs pour proposer des protocoles expérimentaux pour l’étude du fretting sous chargement dynamique. Pour finir, la validation numérique d’un essai expérimental a permis de souligner l'importance d'un dialogue constant entre essais expérimentaux et simulations numériques pour aller au-delà des mesures et des calculs.

**Mots-clés** : dynamique non-linéaire, frottement, usure par fretting, problème multi-échelle