**Titre**

Etude expérimentale et modélisation de la durée de vie en fretting-fatigue des conducteurs aériens pour le transport d’énergie

**Résumé**

Ce travail de recherche porte sur la prévision de durée de vie des conducteurs aériens soumis à des vibrations éoliennes. Les actions combinées du vent et des pinces de serrage accélèrent les processus de dégradation des conducteurs, et entrainent des ruptures prématurées des brins les constituant. Ce type d’assemblage sous forme de câble métallique induit de nombreux contacts entre ces brins qui peuvent être ainsi soumis à des sollicitations de fretting-fatigue. Ce phénomène survient lorsque deux corps en contact subissent un mouvement relatif de faible amplitude et ce travail propose de quantifier l’endommagement associé à ce type de sollicitation. Le type de conducteur étudié est le CROCUS 412, constitué de couches de brins en acier en son centre et de deux couches externes de brins d’aluminium.

La stratégie adoptée repose sur une modélisation numérique multi-échelle appuyée par des campagnes d’essai expérimentales. Deux modèles ont été développés et décrits dans ce mémoire : un modèle global simulant une portion complète de conducteur avec une pince de serrage, et un modèle local reproduisant un mono-contact entre deux brins d’aluminium. A partir d’un chargement macroscopique de tension mécanique et d’oscillation, le modèle global permet d’estimer les conditions de chargement en fretting-fatigue pour chaque contact détecté entre les couches d’aluminium. Ces conditions sont ensuite appliquées au modèle local pour évaluer le risque d’amorçage voire rupture des brins.

L’amorçage de fissure est étudié à l’aide du critère de fatigue multiaxial de Crossland associé à une méthode de distance critique calibrée en fretting simple. Il a ainsi été montré que si cette approche permet de prévoir l’amorçage de fissure en fretting-fatigue sur un mono-contact, elle ne permet pas de conclure quant à la possibilité de rupture totale du brin. Pour prolonger cette approche, la propagation de fissure et plus précisément l’arrêt de fissuration sont étudiés. Basés sur observations expérimentales d’arrêt de fissuration en fretting-fatigue, l’étude des Facteurs d’Intensité des Contraintes en pointe de fissure selon l’hypothèse élastique montre que la propagation est gouvernée majoritairement par le cisaillement. Ainsi, un seuil d’arrêt de fissuration en cisaillement ΔKII,th est proposé. Une approche alternative est également approfondie en englobant amorçage et propagation jusqu’à rupture. Trois critères de fatigue associés à la méthode de la distance critique ont été appliqués et calibrés sur la rupture en fretting-fatigue. Pour chaque critère, une distance critique fixe est considérée, et les différences de performances sont discutées.

Enfin, un essai technologique sur conducteur complet en vibration a pu être exploité et expertisé. Les résultats expérimentaux sont comparés aux résultats de prévision de la démarche numérique et il est conclu que cette méthode, bien que conservative, permet de donner une estimation exploitable du nombre de brins rompus ainsi que leur position avant dix millions de cycle.

**Mots-clés:** fretting simple, fretting-fatigue, amorçage de fissure, propagation de fissure, modélisation numérique aux éléments finis, aluminium, conducteur aérien

**Title**

Experimental study and modeling of the fretting-fatigue lifetime of overhead conductors for energy transmission.

**Abstract**

This research work focuses on the lifetime prediction of overhead conductors subjected to aeolian vibrations. The combined effects of the wind and the clamp on the conductor hasten the damaging process and induce premature failures of the strands. This type of wire rope assembly involves many contacts in between its strands, which can be subjected to fretting-fatigue. This phenomenon occurs when two contacting bodies sustain a small relative oscillatory displacement and this work try to quantify the associated damage. The studied conductor is the CROCUS 412, composed of inner layers of steel strands and outer layers of aluminium strands.

The adopted strategy relies on a multi-scale numerical modelling supported by experimental campaigns. Two models have been developed and described in this manuscript: a global model simulating a whole portion of conductor with the associated clamp, and a local model reproducing a single contact between two aluminium strands. Based on macroscopic loadings (tensile and oscillatory), the global model allows to assess the fretting-fatigue loadings applied for all detected contacts between the aluminium layers. Then, these loading conditions are applied through the local model to estimate the cracking risk and failure possibility.

The crack nucleation is studied through the use of the Crossland multiaxial fatigue criterion associated with the critical distance approach based on plain fretting. It has been observed that this approach manages to predict the crack nucleation in fretting-fatigue on a single contact, but cannot predict the complete failure of the strand. To further extend these conclusions, crack propagation and especially crack arrest phenomena are studied. Based on experimental observations of arrested cracks in fretting-fatigue, Stress Intensity Factors investigations revealed that when the elastic hypothesis is considered, crack propagation seems driven by shear mechanisms. Thus, a shear-based crack arrest threshold ΔKII,th is proposed. An alternate approach is also developed, covering both nucleation and propagation until failure. Three multiaxial fatigue criteria associated with the critical distance method have been applied and calibrated based on fretting-fatigue failure. For each criterion, a unique critical distance is considered, and the accuracy and discrepancy are then discussed.

Finally, a technological test on a vibrating conductor has been conducted and used for this study. Experimental results are compared to the predictions obtained through the numerical strategy and it is concluded that this method, while being conservative, is able to give realistic predictions about the number of failed strands as well as their location before ten million cycles.

**Keywords:** Fretting wear; Flat-on-flat contact; Contact oxygenation concept (COC); Oxidational-abrasive adhesive wear; Advection-Dispersion-Reaction model (ADR).