

Monsieur LUCA CAMPELLO**Génie Mécanique et Productique**

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés
Définition d'un nouveau setup d'essais équivalent pour l'analyse à fatigue multi-axiale aléatoire avec un pot vibrant uni-axiale

Travaux dirigés par Monsieur Roger SERRA, Madame Raffaella SESANA et Madame Cristiana DELPRETE

Ecole doctorale : Energie, Matériaux, Sciences de la Terre et de l'Univers - EMSTU

Unité de recherche : LaMé - Laboratoire de Mécanique Gabriel Lamé

Cotutelle avec l'université "Politecnico di Torino" (Italie)

Soutenance prévue le **lundi 30 mars 2026** à 14h00

Lieu : 3 Rue de la Chocolaterie, 41000 Blois

Salle : de soutenance

Composition du jury proposé

M. Roger SERRA	Professeur des universités	INSA Centre Val de Loire	Directeur de thèse
Mme Raffaella SESANA	Professeure	Politecnico di Torino	Co-directrice de thèse
M. Vivien DENIS	Maître de conférences	INSA Centre Val de Loire	Examineur
Mme Cristiana DELPRETE	Professeure	Politecnico di Torino	Co-encadrante de thèse
M. Carlo ROSSO	Associate Professor	Politecnico di Torino	Examineur
M. Jerome ANTONI	Professeur des universités	INSA Lyon	Rapporteur
M. Massimiliano AVALLE	Professeur des universités	Università di Genova	Rapporteur
M. Yves NADOT	Professeur des universités	ISAE-ENSM	Examineur

Mots-clés : Vibration Aléatoire, Fatigue Uni-axiale, Fatigue Multi-axiale, Analyse Dynamique, MEB, Analyse sur les Surfaces de Fissuration

Résumé :

Ce travail de recherche se focalise sur le développement d'un setup d'essais innovante pour l'évaluation de la fatigue multiaxiale des matériaux métalliques soumis à des vibrations aléatoires. À travers la combinaison d'une modélisation numérique, de la caractérisation expérimentale et analyse microstructurale, cette offre une nouvelle approche pour la prédiction de durée de vie pour des composants métalliques. Dans les environnements opérationnels modernes, les composants mécaniques subissent des sollicitations complexes combinant flexion et torsion. L'évaluation de la fissure à fatigue reste un phénomène difficile à prédire. La littérature offre nombreuses solutions: application des charges sur différentes axes en manière séquentielle, gestion des plusieurs pots vibrant en différents axes orthogonaux ou éprouvettes avec particuliers géométries. L'objectif principal de cette thèse est de proposer un nouveau dispositif de test capable d'induire des états de contraintes multiaxiaux à partir d'une excitation uni-axiale simple, tout en développant un modèle de dommage amélioré par une correction polynomiale des méthodes spectrales classiques. Au début de la thèse, on a introduit des outils mathématiques comme la Densité Spectrale de Puissance (DSP), les moments spectraux et pour caractériser la réponse dynamique des structures. Successivement, les techniques pour calculer la vie à fatigue comme la courbe de Wöhler et l'approche de méthode cumulative pour le calcul d'endommagement sont illustrés. Pour obtenir la valeur d'endommagement, on dispose de deux approches, ce temporelle et ce spectrale. Une attention particulière est portée au critère de contrainte équivalente de Von Mises (EVMS) appliqué au domaine fréquentiel. Après la présentation et la description théorique des outils mathématiques. Le modèle numérique du setup des essais est décrit. L'innovation majeure réside dans la conception d'une éprouvette à double entaille couplée à une masse asymétrique en "T". Cette configuration permet, par un simple mouvement vertical du vibreur, d'exciter des modes de flexion et de torsion simultanés. La modélisation par éléments finis (FEA) permet d'optimiser la géométrie de la masse en T pour équilibrer la participation des différents modes de résonance. L'analyse de sensibilité numérique confirme que les concentrations de contraintes maximales se situent précisément au niveau des entailles, indépendamment du matériau utilisé (CP800 ou Al-Li 2198). Ce chapitre introduit également le concept d'un nouveau facteur de correction polynomiale pour affiner les prédictions à fatigue. La phase expérimentale valide les modèles numériques sur un vibreur électrodynamique LDS V650. L'identification modale a montré une excellente corrélation, avec des erreurs de fréquence inférieures à 5.5%. Pour l'acier CP800, les tests de fatigue ont confirmé que la méthode fréquentielle est robuste pour les modes de flexion pure. Pour l'alliage Al-Li 2198, l'utilisation d'une base de données plus large permet de calibrer le modèle de dommage par une régression polynomiale. Les résultats prouvent que l'approche numérique prédit la rupture dans des intervalles de confiance acceptables pour l'ingénierie, même dans des scénarios bimodaux complexes. Enfin, l'analyse au microscope électronique à balayage (MEB) établit le lien entre le chargement et la réponse physique du matériau, confirmant que le passage d'un chargement multiaxial à uni-axial modifie radicalement la morphologie de la surface. Dans l'acier CP800, la microstructure multi-phases (ferrite, bainite, martensite) favorise un chemin de fissure tortueux avec de nombreuses fissures secondaires. À l'inverse, l'alliage Al-Li 2198 présente une rupture principalement transgranulaire, influencée par les précipités durcissants (phase T1), caractérisée par des facettes de glissement planes.

Summary:

This research focuses on the development of an innovative experimental setup for evaluating the multiaxial fatigue of metallic materials subjected to random vibrations. Through the combination of numerical modeling, experimental characterization, and microstructural analysis, this work offers a new approach for predicting the service life of metallic components. In modern operational environments, mechanical components undergo complex stresses combining bending and torsion. Fatigue crack evaluation remains a phenomenon that is difficult to predict. The literature offers several solutions, such as applying loads on different axes sequentially, managing several shakers on different orthogonal axes, or using specimens with specific geometries. The main objective of this thesis is to propose a new testing device capable of inducing multiaxial stress states from a simple uniaxial excitation, while developing a damage model improved by a polynomial correction of classical spectral methods. At the beginning of the thesis, mathematical tools such as Power Spectral Density (PSD) and spectral moments are introduced to characterize the dynamic response of structures. Subsequently, techniques for calculating fatigue life, such as the Wöhler curve and the cumulative damage approach, are illustrated. To obtain the damage value, two approaches are available: temporal and spectral. Particular attention is paid to the Von Mises equivalent stress (EVMS) criterion applied to the frequency domain. After the presentation and theoretical description of the mathematical tools, the numerical model of the test setup is described. The major innovation resides in the design of a double-notched specimen coupled with an asymmetric "T" mass. This configuration allows, through a simple vertical movement of the shaker, the simultaneous excitation of bending and torsion modes. Finite element analysis (FEA) allowed for the optimization of the T-mass geometry to balance the participation of different resonance modes. Numerical sensitivity analysis confirms that maximum stress concentrations are located precisely at the notches, regardless of the material used (CP800 or Al-Li 2198). This chapter also introduces the concept of a new polynomial correction factor to refine fatigue predictions. The experimental phase validates the numerical models on an LDS V650 electrodynamic shaker. Modal identification showed excellent correlation, with frequency errors below 5.5%. For CP800 steel, fatigue tests confirmed that the frequency method is robust for pure bending modes. For the Al-Li 2198 alloy, the use of a larger database allowed the damage model to be calibrated by polynomial regression. The results prove that the numerical approach predicts failure within acceptable engineering confidence intervals, even in complex bimodal scenarios. Finally, scanning electron microscope (SEM) analysis establishes the link between the loading and the physical response of the material, confirming that the transition from multiaxial to uniaxial loading radically modifies surface morphology. In CP800 steel, the multi-phase microstructure (ferrite, bainite, martensite) favors a tortuous crack path with numerous secondary cracks. Conversely, the Al-Li 2198 alloy presents a primarily transgranular failure influenced by hardening precipitates (T1 phase), characterized by planar slip facets.