

THESE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 602
Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes
Spécialité : Mécanique des structures

Par

Clément Freyssinet

Approximation stochastique du dommage en fatigue pour le suivi en service de structure

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 19/12/2023

Unité de recherche : Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (GeM), UMR CNRS 6183

Rapporteurs avant soutenance :

Laurent Gallimard Professeur, Université Paris Nanterre
Claude Blanze Professeur, Cnam

Composition du Jury :

Président :

Examineurs : Laurent Gallimard	Professeur de universités, Université Paris Nanterre
Claude Blanze	Professeur, Cnam
Nicolas Feld	Ingénieur de recherche, Safran Transmission Systems
Nicolas Gayton	Professeur, Clermont Auvergne INP
Tanguy Moro	Ingénieur de recherche, IRT Jules Verne

Dir. de thèse : Franck Schoefs Professeur, Nantes Université

Co-dir. de thèse : Valentine Rey Maître de conférences, Nantes Université

Invité :

Martin Guiton Maître de conférences, Polytechnique

Titre : Approximation stochastique du dommage en fatigue pour le suivi en service de structure

Mots clés : Fiabilité, Fatigue, Modèle d'endommagement, Métamodèle, Krigeage

Résumé : L'endommagement par fatigue est un phénomène s'initiant à l'échelle microscopique. Sous l'effet de sollicitations répétées et de faibles amplitudes, de microfissures apparaissent jusqu'à générer l'amorçage d'une fissure à l'échelle macroscopique. Cette dernière peut alors se propager et mener jusqu'à la ruine de la structure. Pour prévenir ce risque, la modélisation et la simulation de ce phénomène est une nécessité. Du fait des dizaines de milliers de cycles considérés, l'estimation précise du dommage en fatigue est un véritable défi. En conséquence, le calcul du dommage est généralement réalisé en négligeant l'influence de l'historique de chargement. Cette approximation a l'avantage de grandement diminuer les coûts numériques. Grâce à ce gain, des approches fiabilistes ont pu être développées afin de prendre en compte différentes sources d'incertitudes telles que le chargement, la géométrie ou le matériau. Cependant, dans un objectif d'optimisation de la durée vie et de la fiabilité des structures, le besoin d'une représentation réaliste de l'historique et des incertitudes matériau est grandissant. Ceci constitue le ressort des travaux présentés dans ce mémoire. Un modèle d'endommagement prenant en compte l'historique de chargement est sélectionné et calibré à partir de courbes SN probabilistes. Son coût numérique est réduit par la mise en place de métamodèles. Il en résulte deux approches numériques prenant en compte la variabilité matériau. La première permet d'estimer l'évolution de la probabilité de défaillance au cours du temps lors du dimensionnement de structures. La seconde permet d'estimer l'instant auquel la probabilité de défaillance dépasse une valeur critique et peut servir d'aide à la planification des opérations de maintenance. Ces deux approches sont appliquées sur un cas d'étude réel : la station de mesures.

Title: Stochastic fatigue damage approximation for in-service monitoring

Keywords: Reliability, Fatigue, Damage model, Surrogate model, Kriging

Abstract: Fatigue damage is a phenomenon beginning at the microscopic scale. Under the effect of repeated low-amplitude stresses, micro-cracks appear and initiate a crack at the macroscopic scale. This crack may spread and lead to the failure of the structure. To prevent this risk, it is crucial to model and simulate this phenomenon. Considering that thousands of cycles are involved, computing the damage evolution accurately is a numerical challenge. As a result, the influence of the loading history is usually neglected, which greatly reduces computational costs. Therefore, reliability approaches can be applied to consider different sources of uncertainty, such as loading, geometry or material. However, optimizing lifetime and reliability requires an accurate computation of the damage history. This work aims at answering these questions. First, a damage model that takes into account the loading history is selected and calibrated with probabilistic SN curves. Second, computational costs are managed by using a kriging-based approximation of the damage. It results in two numerical strategies that take material variability into account. The first one is used to estimate the probability of failure over time at the design stage. The second one is used to estimate the moment when the probability of failure exceeds a critical value and may guide the planning of maintenance operations. These two approaches are applied to an offshore measurement station.