http://lib.uliege.ac.be http://matheo.uliege.be

Master thesis : Experimental and numerical study of first passage time

Auteur : Delhez, Elise
Promoteur(s) : Golinval, Jean-Claude; Denoel, Vincent
Faculté : Faculté des Sciences appliquées
Diplôme : Master en ingénieur civil en aérospatiale, à finalité spécialisée en "aerospace engineering"
Année académique : 2017-2018
URI/URL : http://hdl.handle.net/2268.2/4622

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Experimental and numerical study of first passage time

Élise Delhez

Supervisors - J.-C. Golinval and V. Denoël
Master in Aerospace Engineering - University of Liège
Academic year 2017-2018

Abstract

Keywords - structural dynamics, first passage time, stochastic Mathieu equation.

The first passage time refers to the time required for a dynamical system to reach a target energy level for the first time, starting from a known initial state. This concept has been developed as an efficient alternative to the classical stability theories that are no longer relevant in the stochastic context. Analytical studies of single-degree-of-freedom systems governed by the linear Mathieu equation and subjected to broadband forced and parametric excitations have revealed the existence of different regimes for the first passage time.

This Master thesis aims at the experimental validation of the existence of these regimes for a real structure. The experimental set-up consists in a vertical strip pre-stressed by a mass and subjected to forced and parametric excitations. The complete process, from the structure design to the experimental validation, is conducted in this work.

A finite element model of the structure is built in MATLAB to get a numerical representation of the dynamics of the structure. The model is updated by implementing various state-of-the-art techniques from the field of experimental modal analysis. Data acquisition and signal processing are carried out using the LMS Test.Lab software and the LMS SCADAS Lab acquisition system.

A model reduction of the full multi-degree-of-freedom system is introduced to match the conditions of the analytical results. It is shown that the dynamics of the structure can be approached by a single-degree-of-freedom reduced model only when both the forced and parametric excitations are narrow-band processes triggering only one mode of the structure. The influence of narrow-band excitations on the first passage time is therefore studied numerically. Behaviors similar to the broadband excitations case considered in the analytical study can be recovered when the frequency band of the forced excitation includes the natural frequency of the oscillator and the frequency band of the parametric excitation contains the corresponding second harmonic. Depending on the other parameters of the problem, small quantitative differences can be observed but the dynamics remains qualitatively similar.

The results of this numerical preparatory study are used to define the conditions of the experimental tests. First passage time maps are reproduced experimentally in the framework of the linear single-degree-of-freedom Mathieu equation. Some tests are also carried out to get a first insight into the first passage time maps of nonlinear or multi-degree-of-freedom systems.

This work provides the first physical evidence that the first passage time of real multi-degree-of-freedom systems can be characterized with the physical properties of the structure. It also addresses for the first time the influence of narrow-band excitations. Therefore, it opens the way to broadening the scope of the first passage time theory beyond the context of one-degree-of-freedom linear systems subjected to broadband excitations considered so far.

Étude expérimentale et numérique du temps de premier passage

Élise Delhez

Promoteurs - J.-C. Golinval et V. Denoël
Master in Aerospace Engineering - Université de Liège
Année académique 2017-2018

Résumé

Mots-clés - dynamique des structures, temps de premier passage, équation de Mathieu stochastique.

Le temps de premier passage est défini comme le temps nécessaire pour qu'un système atteigne un niveau d'énergie donné pour la première fois, partant d'un niveau initial donné. Ce concept a été développé comme une alternative aux théories relatives à la stabilité de systèmes déterministes qui ne sont plus valables dans un contexte stochastique. Des études analytiques d'un oscillateur à un degré de liberté dont la dynamique est gouvernée par l'équation de Mathieu linéaire et soumis à des excitations paramétriques et forcées en bande large ont révélé l'existence de différents régimes pour le temps de premier passage.

Ce travail de fin d'études a comme objectif de valider expérimentalement l'existence de ces différents régimes pour une structure réelle. La structure étudiée est une bande verticale précontrainte par une masse et soumise à des excitations forcées et paramétriques. Le processus complet, de la conception de la structure aux validations expérimentales, est détaillé dans ce travail.

Un modèle éléments finis de la structure est construit dans MATLAB afin d'avoir une représentation numérique de la dynamique de la structure. L'implémentation de techniques d'analyse modale variées permet de corriger le modèle pour obtenir une représentation précise de la réalité. L'acquisition des données et le traitement des signaux sont réalisés avec le logiciel LMS Test.Lab et le système d'acquisition LMS SCADAS Lab.

Le modèle du système à plusieurs degrés de liberté est ensuite réduit pour correspondre aux conditions des résultats analytiques. La dynamique de la structure peut être décrite par un modèle réduit à un degré de liberté si les excitations forcées et paramétriques sont définies en bande étroite de sorte qu'elles n'excitent qu'un seul mode de la structure. L'influence des excitations en bande étroite sur les temps de premier passage est ensuite étudiée numériquement. Des comportements similaires à ceux obtenus pour des excitations en bande large sont observés pour autant que la bande de fréquences de l'excitation forcée contienne la fréquence naturelle de l'oscillateur et celle de l'excitation paramétrique la seconde harmonique de cette fréquence naturelle. En fonction des autres paramètres du problème, des différences quantitatives peuvent apparaitre, mais la dynamique reste qualitativement la même.

Les résultats de ces études sont ensuite exploités pour définir les conditions expérimentales des tests. Les cartes de temps de premier passage sont reproduites expérimentalement dans le contexte de l'équation de Mathieu linéaire et à un degré de liberté. Quelques tests expérimentaux sont également réalisés afin d'avoir une première vision des temps de premier passage de systèmes non-linéaires ou à plusieurs degrés de liberté.

Ce travail fournit les premières preuves physiques que le temps de premier passage d'un système réel à plusieurs degrés de liberté peut être caractérisé par les propriétés physiques de la structure. Il s'intéresse aussi pour la première fois à l'influence des excitations en bandes étroites. Ce travail incite ainsi à élargir la portée de la théorie des temps de premier passage au-delà des systèmes linéaires à un degré de liberté soumis à des excitations en bande large considérés jusqu'à présent.

Representative illustrations of the work

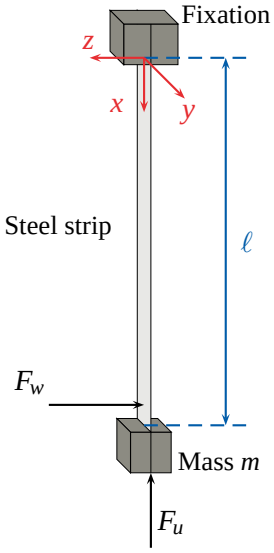

FIGURE 1 - Schematic view of the designed set-up (steel strip pre-stressed by a mass) subjected to forced and parametric excitations F_w and F_u.

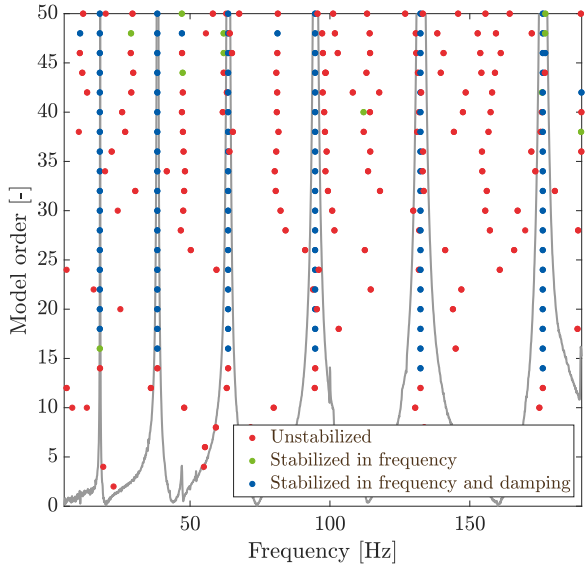

FIGURE 2 - Stabilization diagram obtained with the "Least Square Complex Exponential" method applied to the non-instrumented structure.

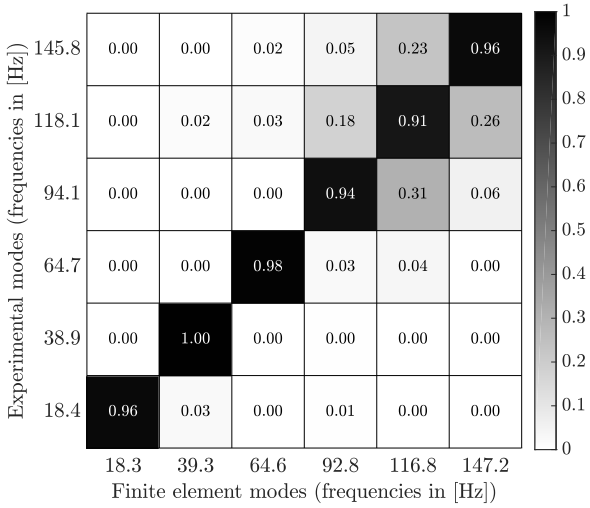

FIGURE 3 - MAC matrix between the numerical mode shapes and the experimental mode shapes (instrumented structure).

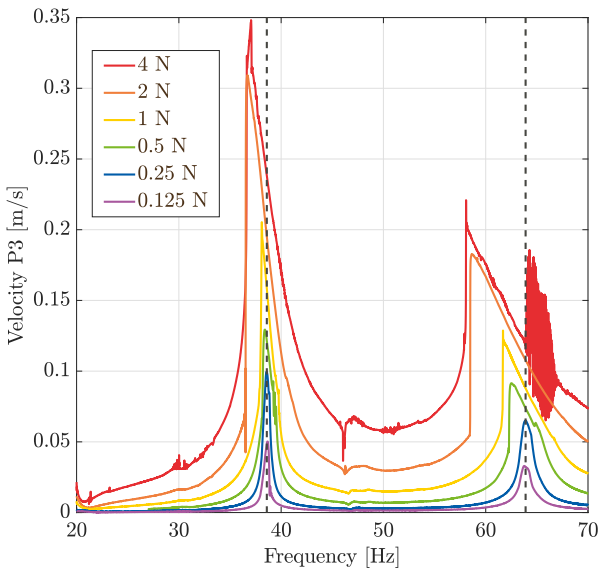

FIGURE 4 - Envelope of the velocity of the structure as a function of the frequency for different sine-sweep excitation amplitudes.

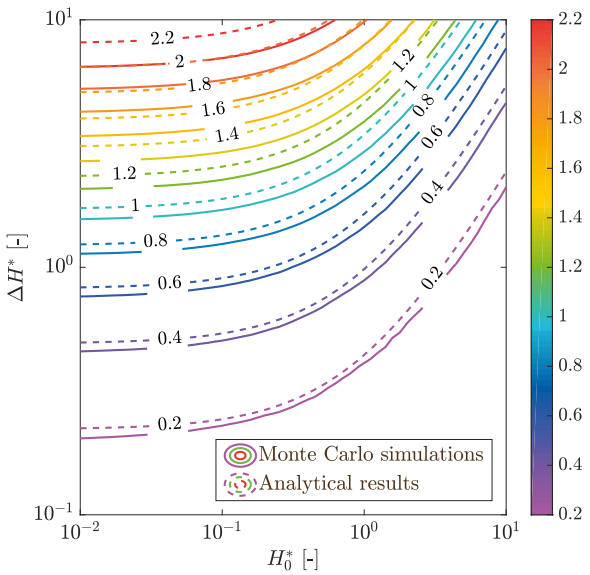

FIGURE 5 - Comparison of the reduced average first passage time maps obtained numerically for narrow-band excitations (F_u on $[0.1\,f_0\,;\,3\,f_0]$ and F_w on $[0.8\,f_0\,;\,1.2\,f_0]$) and analytically for broadband excitations ($a = 0$, $S_u = 10^{-3}$, $S_w = 5 \cdot 10^{-4}$).

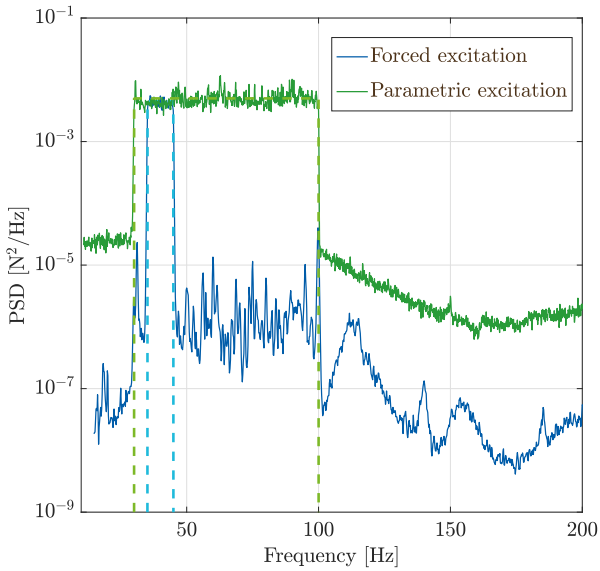

FIGURE 6 - Power spectral densities of the narrow-band forced and parametric excitations measured experimentally and reference power spectral densities (dotted lines).

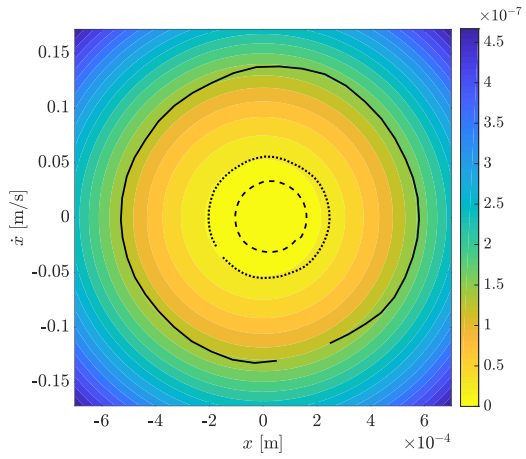

FIGURE 7 - Three fragments of the measured experimental trajectory of the system in the phase plane and contours of the Hamiltonian H. Illustration of the quasi-Hamiltonian system.

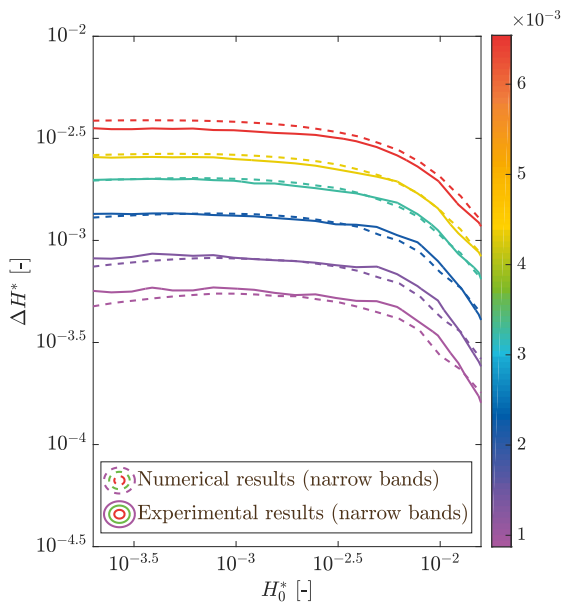

FIGURE 8 - Comparison of the reduced average first passage time maps obtained experimentally and numerically for narrow-band excitations (F_u on $[0.77\,f_0\,;\,2.57\,f_0]$, F_w on $[0.87\,f_0\,;\,1.13\,f_0]$, $a = 132$, $S_u = 1.8 \cdot 10^{-4}$, $S_w = 2.5 \cdot 10^{-10}$).