Titre de la thèse (version française) :

Réponses vibratoires non-linéaires à des excitations aléatoires multipoints dans un contexte industriel : essais et simulations.

Titre de la thèse (version anglaise) :

Nonlinear vibration responses of mechanical structures subjected to multipoint correlated random excitations in an industrial context: tests and simulations.

Mots-clefs (version française) :

Réponses vibratoires non-linéaires, essais, simulations, excitation aléatoire multipoints, CEA/CESTA

Mots-clefs (version anglaise) :

Nonlinear vibration responses, tests, simulations, multipoint correlated random excitations, CEA/CESTA

Résumé de la thèse (version française) :

Ces travaux de thèse portent sur l'étude numérique et expérimentale des réponses vibratoires non-linéaires de structures mécaniques soumises à des excitations aléatoires multipoints. Les études expérimentales menées au CEA/CESTA montrent que la réponse de certaines structures assemblées à des sollicitations vibratoires aléatoires multipoints est fortement dépendante d'une part du niveau de l'excitation et d'autre part de la corrélation de l'excitation aléatoire multipoints. Ces résultats expérimentaux ne peuvent pas être reproduits par une approche simulation vibratoire linéaire classique.

L'objectif de ces travaux est de proposer et de mettre en place une méthode numérique pour étudier ces réponses vibratoires non-linéaires en fonction de l'excitation considérée. Le critère de satisfaction de cet objectif passe par une comparaison essais-calculs réalisée suite aux études numériques et expérimentales de maquettes d'essais bien définies. Ces maquettes sont construites afin d'être représentatives des objets industriels étudiés au CEA/CESTA. Du point de vue expérimental, la réalisation d'essais se veut physiquement motivée et l'excitation expérimentale se rapproche au plus près des sources d'excitations aléatoires et multipoints sollicitant les objets industriels du CEA/CESTA. Du point de vue numérique, des techniques avancées sont développées afin de prédire les comportements vibratoires non-linéaires sous excitations diverses dans le but d'une application dans le contexte industriel au CEA/CESTA.

Le premier objet d'étude est une poutre métallique bi-encastrée, dont la non-linéarité est d'origine géométrique. La signature vibratoire non-linéaire de ce démonstrateur académique est étendue au cas des excitations aléatoires multipoints. La méthode de Balance Harmonique est adaptée à cette nouvelle source de vibrations non-linéaires et les résultats numériques sont comparés aux mesures obtenues lors d'essais réalisés avec un nouveau dispositif expérimental mis en place durant ces travaux de thèse.

La maquette d'étude au cœur de ces travaux de thèse est une maquette industrielle conçue pour être représentative des objets étudiés au CEA/CESTA. Il s'agit de la maquette « Hypervelocity Balistic 2 » (HB2). Cet assemblage présente des lames métalliques agissant comme des liaisons frottantes. Les essais réalisés en chambre acoustique permettent d'identifier le comportement dynamique linéaire et non-linéaire de cette structure et ainsi d'étudier l'évolution de la réponse vibratoire en fonction du niveau de l'excitation acoustique, assimilée à une excitation aléatoire multipoints. Un modèle numérique de la maquette HB2 est ensuite réalisé, réduit par une méthode de sous-structuration puis des relations non-linéaires de frottement sont introduites au niveau des liaisons frottantes. L'originalité de ces travaux de thèse provient également de la modélisation d'une excitation aléatoire multipoints sur un nombre réduit de vecteurs d'effort. Cette modélisation est ainsi idéalement adaptée au cas des modèles industriels de grande envergure réduits à un nombre restreint de degrés de liberté. La réponse vibratoire non-linéaire de ce modèle est enfin obtenue numériquement grâce à la méthode de Balance Harmonique adaptée aux excitations aléatoires multipoints. Des comparaisons essais-calculs sont présentées afin de valider la stratégie de modélisation et simulation numérique proposée.

Résumé de la thèse (version anglaise) :

This PhD work deals with the numerical and experimental study of the nonlinear vibration responses of mechanical structures subjected to multipoint correlated random excitations. Experimental studies led at CEA/CESTA show that the responses of some assembled structures to multipoint random vibration solicitations are strongly dependent on the level of excitation and on the correlation of the excitation. These experimental results cannot be numerically reproduced with the classical linear vibration simulation method.

The objective of this work is to propose and implement a numerical method in order to study these nonlinear vibration responses as a function of the considered excitation. The satisfaction of this objective goes with a tests-simulations comparison carried out following the numerical and experimental studies of well defined test structures. These structures are built to be representative of the industrial objects studied at CEA/CESTA. From the experimental point of view, the realization of tests is physically motivated and the experimental excitation is considered as close as possible to the sources of multipoint correlatd random excitations soliciting the industrial objects studied at CEA/CESTA. From the numerical point of view, advanced numerical techniques are developed to predict the nonlinear behavior of mechanical systems subjected to complex excitations. The final goal is to be able to use such a numerical strategy in the CEA/CESTA industrial context.

The first test structure is a clamped-clamped steel beam that has a geometrical nonlinearity. The experimental nonlinear signature of this academic structure is extended to the case of multipoint correlated random excitations. The Harmonic Balance Method (HBM) is adapted to this new source of nonlinear vibrations and the numerical results are compared to experimental results obtained during tests performed using two electrodynamic shakers.

The second test structure which is at the heart of this thesis work is an industrial assembly designed to be representative of the objects studied at CEA/CESTA. This structure is named “Hypervelocity Balistic 2” (HB2). This assembly presents metallic blades acting as friction joints. The tests led in an acoustic chamber allow to identify the linear and the nonlinear dynamic behavior of this assembly and thus to study the evolution of the vibration response according to the level of the acoustic excitation, considered as a multipoint random excitation. A numerical model of the HB2 model is then developed, reduced using a substructuring method and then linear joints are replaced by nonlinear friction models in the friction zone. The originality of this PhD work also comes from the modeling of a multipoint random excitation reduced on a restrained number of load vectors. This modeling is thus ideally suited to the case of large-scale industrial models reduced to a small number of degrees of freedom. The nonlinear vibration responses of this model are finally obtained numerically using the Harmonic Balance Method adapted to multipoint random excitations. Test-simulation comparisons are presented in order to highlight the proposed strategy based on nonlinear modeling and advanced numerical simulation tools.