CENTRALE LYON

Avis de Soutenance

Monsieur Raslen NEMER
Mécanique des solides des matériaux des structures et des surfaces
Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés
Détection des défauts dans les structures multicouches incertaines par excitation des ondes moyennes / hautes fréquences
Travaux dirigés par Monsieur Mohamed ICHCHOU et Monsieur Faker BOUCHOUCHA
Cotutelle avec l'université "Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sousse / Université de Sousse" (Tunisie)
Soutenance prévue le ***mercredi 09 décembre 2026*** à 14h00
Lieu : 36, avenue Guy de Collongue 69130 Écully
Salle : Amphi 203

Composition du jury proposé

M. Mohamed ICHCHOU	Professeur	Ecole Centrale de Lyon	Directeur de thèse
M. Faker BOUCHOUCHA	Professeur	Institut Préparatoire aux Etudes d'ingénieurs de Nabeul	Co-directeur de thèse
Mme Henia ARFA	Maîtresse assistante	Institut Supérieur du Transport et de la Logistique de Sousse	Co-encadrante de thèse
M. Denis DUHAMEL	Professeur	École nationale des ponts et chaussées	Examinateur
Mme Leila KHALIJ	Maîtresse de conférences HDR	INSA Rouen Normandie	Examinatrice
M. Olivier BAREILLE	Professeur	Institut national des sciences appliquées (INSA) de Rouen Normandie	Rapporteur
M. Mohamed amine BEN SOUF	Professeur	École nationale d'ingénieurs de Sfax ENIS	Rapporteur
M. Najeh BEN GUEDRIA	Institut Supérieur du Transport et de la Logistique de Sousse	Invité	
M. Lyes NECHAK	Ecole Centrale de Lyon	Invité	

Mots-clés : ondes guidées, methode WFE, structures multicouches, approche stochastique, détection des défauts

Résumé :

Dans cette these, un cadre avancè est développé pour étudier la propagation des ondes au sein de structures periodiques hétérogénes, en combinant la mèthode des éléments finis d'onde (Wave Finite Element Method, WFE) et la theorie du second gradient de déformation (Second Strain Gradient, SSG). Cette association permet d'integrer les effets d' échelle ainsi que les comportements non locaux, necessaires pour représenter avec précision les structures microscopiques et multicouches dans les gammes de moyennes et hautes frequences. Dans un premier temps, une formulation deterministe et stochastique de la méthode WFE classique est presentée pour l' étude de la propagation des ondes dans des structures unidimensionnelles isotropes et multicouches. L'influence des incertitudes materielles et géométriques sur les relations de dispersion est analysee, soulignant ainsi la sensibilité des caractéristiques de propagation aux changements des parametres physiques. La contribution majeure de ce travail consiste a incorporer la théorie SSG au sein de la méthode WFE. Les equations gouvernantes fortes et faibles sont dérivées pour des structures 3D, incluant les modes de flexion, de torsion et de traction-compression. Cette approche est ensuite etendue à une formulation stochastique (Stochastic Wave Finite Element, SWFE), afin d'evaluer les effets des incertitudes sur la dispersion des ondes. Dans une seconde etape, le cadre proposé est généralisé aux structures 2D périodiques. Une formulation WFE bidimensionnelles basee sur la théorie SSG est développée, permettant le calcul des surfaces de dispersion et l'analyse des phenoménes directionnels. L'approche stochastique associee est validée par comparaison avec des simulations de Monte Carlo, confirmant la robustesse et la precision du modéle. Enfin, une extension 3D du modele est proposée pour l'analyse de la propagation et de la diffusion des ondes dans des structures 3D. La formulation WFE–SSG permet d'etudier les mecanismes de réflexion, transmission en présence de défauts. Une stratégie de détection des defauts basée sur les signatures ondulatoires est développée, puis etendue au cas stochastique afin d'evaluer l'influence des incertitudes sur les indicateurs de diagnostic. Les resultats obtenus montrent que l'introduction de la théorie du second gradient améliore significativement la description des phenoménes de dispersion et de propagation dans les structures microstructure, par rapport aux approches classiques. L'intègration des incertitudes permet en outre de renforcer la fiabilite des prédictions dans un cadre réaliste. Ce travail contribué ainsi au developpement d'une modélisation multi- échelle robuste dédiée au suivi structural et à l'identification des defauts au sein de structures complexes.

Summary:

This thesis develops an advanced framework for investigating wave propagation in heterogeneous periodic structures through a combination of the Wave Finite Element Method (WFE) and the Second Strain Gradient (SSG) theory. This combination enables the incorporation of scale effects and nonlocal behaviors, which play a key role in accurately representing microstructured and multilayered systems over the mid- and high-frequency ranges. First, a deterministic and stochastic formulation of the classical WFE method is presented for the study of wave propagation in one-dimensional isotropic and multilayered structures. The influence of material and geometrical uncertainties on dispersion relations is investigated, highlighting the sensitivity of wave characteristics to variations in physical parameters. The primary contribution of this study consists in incorporating the SSG theory into the WFE framework. Strong and weak formulations of the governing equations are derived for three dimensional structures, including flexural, torsional, and longitudinal modes. This approach is further extended to a stochastic formulation, denoted as the Stochastic Wave Finite Element Method (SWFE), to evaluate the effects of uncertainties on wave dispersion. In a second step, the proposed framework is extended to two-dimensional periodic structures. A 2D WFE formulation based on SSG theory is developed, allowing the computation of dis persion surfaces and the analysis of directional wave propagation phenomena. The associated stochastic approach is validated through comparisons with Monte Carlo simulations, demon strating the robustness and accuracy of the model. Finally, the model is extended to three dimensions to investigate wave propagation and scattereing in complex structures. The WFE–SSG formulation enables the investigation of reflection and transmission mechanisms in the presence of defects. A wave-based defect detection strateegy is developed and subsequently incorporated into the stochastic framework to evaluate how uncertainties affect the diagnostic indicators. The obtained results demonstrate that the inclusion of second strain gradient theory significantly improves the description of dispersion and wave propagation phenomena in microstructured systems compared to classical models. Furthermore, the integration of uncertainties enhances the reliability of predictions in realistic conditions. This work therefore provides a significant contribution toward robust and multi-scale modeling for structural health monitoring and defect detection in complex heterogeneous structures.