

**École Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes**  
Centre d'Études Doctorales en Sciences des Technologies de l'Information et de l'Ingénieur

## **AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE DE DOCTORAT**

**Monsieur Anas Ouzizi**

Soutiendra publiquement sa thèse de Doctorat en Sciences de l'ingénieur

**Spécialité** : Génie Mécanique

**Le Samedi 28 Septembre 2024 à 10h au Grand Amphi à l'ENSAM de Rabat**

**Intitulé de la thèse**

### **Nonlinear Fractional Viscoelastic Foundations Effects on Dynamic Analysis of Structures Subjected to Moving Loads: A Numerical Approach**

**Président :**

Pr. Omar OUSSOUADDI, PES, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Rabat

**Directeur de thèse :**

Pr. Lahcen AZRAR, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

**Co-Directeur de thèse :**

Pr. Farah ABDOUN, MCH, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

**Rapporteurs :**

Pr. Mohammed HJIAJ, Professeur des Universités, INSA de Rennes, Rennes, France

Pr. Miloud RAHMOUNE, PES, EST, Université Moulay Ismail, Meknès

Pr. Driss SARSRI, PES, ENSA-Tanger, Université Abdelmalek Essaâdi, Tétouan

**Examineurs :**

Pr. Mohammed-Khalil FERRADI, Associate Professor, Université Mohammed VI Polytechnic, Benguerir

Pr. Amine SBITTI, MCH, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

**Résumé:** Cette thèse présente une exploration approfondie de l'analyse dynamique de structures reposant sur des fondations non linéaires, y compris celles basées sur les dérivées fractionnaires de matériaux viscoélastiques. La recherche combine des investigations analytiques et numériques pour acquérir des insights sur le comportement et l'impact des dérivées d'ordre fractionnaire sur les paramètres linéaires et non-linéaires. Les aspects clés étudiés incluent la non-linéarité géométrique, la viscoélasticité, l'amortissement, la vitesse de la masse mobile et le coefficient non linéaire de la fondation.

L'étude se penche spécifiquement sur la réponse dynamique non linéaire des poutres avec de grandes amplitudes reposant sur une fondation caractérisée par une non-linéarité viscoélastique d'ordre fractionnaire dans le modèle de Winkler. En utilisant le schéma de Galerkin, un système couplé de dérivées fractionnaires non linéaires est obtenu, permettant des solutions numériques par une méthode de différences centrées avec une discrétisation fractionnaire. Une étude paramétrique complète est menée, révélant l'influence des paramètres du système sur le déplacement transversal et mettant en évidence l'impact significatif de l'ordre de la dérivée fractionnaire ( $\alpha$ ).

De plus, une approche méthodologique a été introduite pour analyser la réponse dynamique non linéaire de poutres reposant sur une fondation Pasternak viscoélastique fractionnaire et soumises à une masse mobile. L'étude utilise une combinaison de la méthode de Newmark et de la discrétisation fractionnaire, incorporant plusieurs modes couplés dans la méthode de Galerkin. Une étude paramétrique complète examine les effets dépendants du temps sur le déplacement transversal et met en évidence l'impact des paramètres physiques d'ordre fractionnaire ( $\alpha$ ,  $\lambda$ ). Les résultats montrent que la déviation verticale maximale diminue avec l'augmentation de l'ordre de la dérivée fractionnaire et démontrent l'effet prononcé de ( $\alpha$ ) par rapport à ( $\lambda$ ) sur la réponse temporelle.

Pour la comparaison et en raison des limitations du code FE industriel ANSYS, le code FE ANSYS est également utilisé. En tirant parti du logiciel commercial ANSYS pour simuler le mouvement de la masse sur la poutre, une fonction d'excitation spéciale a été appliquée en utilisant l'analyse transitoire sur ANSYS. Une sous-routine bien adaptée pour l'historique temporel de charge à tous les nœuds est effectuée. Les résultats numériques FE obtenus dans cette section ont été réalisés dans le domaine temporel en utilisant le schéma implicite de Newmark avec une intégration temporelle directe. En utilisant le code FE ANSYS introduit, une large gamme de résultats a pu être extraite du modèle FE ANSYS actuel. Les résultats obtenus sont bien comparés avec des solutions existantes ainsi qu'avec ceux obtenus en utilisant le logiciel FE ANSYS.

Enfin, un modèle analytique est présenté pour la vibration transversale d'une poutre de Bernoulli-Euler couplée à un absorbeur dynamique de vibrations caractérisé par des dérivées fractionnaires dans ses propriétés d'amortissement. L'étude, utilisant la méthode de Galerkin et la méthode de Newmark avec un schéma de dérivée fractionnaire, révèle que la réponse dynamique diminue avec la diminution de l'ordre fractionnaire. De plus, une augmentation de l'amortissement de l'absorbeur conduit à une réponse dynamique réduite, avec des paramètres d'absorbeur optimaux conduisant à une déviation moindre par rapport aux absorbeurs classiques.

**Mots-clés:** : ANSYS, Charge mobile, Comportement non linéaire, Dérivée fractionnaire, Élasticité fractionnaire, MEF, Modélisation mathématique, Fondations, Vibrations non linéaires, Viscoélastique, Vitesse variable, Schéma différentiel

**Abstract:** This thesis offers a comprehensive exploration of the vibration analysis of structures placed upon non-linear foundations, including those based on fractional derivatives of viscoelastic materials. The research combines analytical and numerical investigations to gain insights into the behavior and impact of fractional-order derivatives on both linear and non-linear parameters. Key aspects studied include geometric non-linearity, viscoelasticity, damping absorbers, the velocity of moving mass, and the non-linear effect of the foundation. The study specifically delves into the non-linear dynamic response of beams with large amplitudes resting on a foundation characterized by fractional-order viscoelastic non-linearity in the Winkler model. Employing the Galerkin scheme, a coupled non-linear fractional differential system is derived, allowing for numerical solutions through a central difference method with fractional discretization. For accurate results and stability with respect to the used eigenmodes, higher eigenmodes are required. This results in very large coupled differential systems that are numerically solved.

A comprehensive parametric study is conducted, revealing the influence of system parameters on transverse displacement and highlighting the significant impact of the fractional derivative order ( $\alpha$ ). Furthermore, a methodological approach is introduced for analyzing the non-linear dynamic response of beams resting on a fractional viscoelastic, non-linear Pasternak foundation and subjected to a moving mass. The study employs a combination of the Newmark method and fractional discretization, incorporating multiple coupled modes in Galerkin's method. A comprehensive parametric study investigates time-dependent effects on transverse displacement and shear, emphasizing the impact of

physical fractional order parameters ( $\alpha$ ,  $\lambda$ ). The results show that the maximum vertical deflection decreases with an increase in the order of the fractional derivative and demonstrate the pronounced effect of ( $\alpha$ ) compared to ( $\lambda$ ) on the time response. For comparison and industrial FE code limitations, the ANSYS FE code is also used. Taking advantage of the commercial software ANSYS to simulate the movement of the mass on the beam, a special excitation function was applied using the transient analysis in ANSYS.

A well-adapted subroutine for the load time history at all nodes is performed. The obtained FE numerical results in this section were carried out in the temporal domain using a predefined implicit Newmark scheme with direct time integration. Using the introduced ANSYS FE, a wide range of results could be extracted from the present ANSYS FE model. The obtained outcomes are well compared with existing solutions as well as the obtained ones using the ANSYS FE software. Finally, an analytical model is presented for the transverse vibration of a Bernoulli-Euler beam coupled with a dynamic vibration absorber characterized by fractional derivatives in its damping properties. The study, utilizing Galerkin's method and Newmark's method with a fractional derivative scheme, reveals that the dynamic response decreases with decreasing fractional order. Additionally, an increase in the absorber's damping leads to reduced dynamic response, with optimal absorber parameters resulting in less deflection compared to conventional absorbers.

**Keywords:** ANSYS FEM, Differential scheme, Foundations, Fractional derivative, Fractional elasticity, Mathematical Modeling, Moving load, Newmark method, Non-linear behavior, Non-linear vibration, Variable speed, Viscoelastic