



جامعة محمد الخامس بالرباط  
Université Mohammed V de Rabat

**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 Hamza CHAABANI**

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

**Spécialité : Génie Mécanique**

**Le Samedi 02 Décembre 2023 à 16h00 à l'Amphi 4 à l'ENSAM de Rabat**

**Intitulé de la thèse**

### **MODÉLISATION DU FLAMBAGE DES PLAQUES FGM PAR LA MÉTHODE ASYMPTOTIQUE NUMÉRIQUE**

**Président :**

Pr. Rhali BENAMAR, PES, EMI, Université Mohammed V de Rabat

**Directeur de thèse :**

Pr. Khalid EL BIKRI, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

**Co-directeur de thèse :**

Pr. Lhoucine BOUTAHAR, PH, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

**Rapporteurs :**

Pr. Mohamed ABOUSSALEH, PES, ENSAM, Université Moulay Ismaïl, Meknès

Pr. Mounia EL KADIRI, PES, EMI, Université Mohammed V de Rabat

Pr. Oussama BOURIHANE, PH, FST, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès

**Examineur :**

Pr. Nor-Eddine LAGHZALE, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat



**Résumé:** Le présent travail de thèse vise à étudier le comportement des plaques sandwich en matériaux à gradation fonctionnelle (FGM) en utilisant la théorie de la déformation par cisaillement d'ordre élevé (HSDT) et la Méthode Asymptotique Numérique (MAN) avec Méthode des Éléments finis (MAN-MEF-HSDT).

L'objectif principal de cette recherche est d'analyser le flambage et le post-flambage des plaques FGM, en prenant en compte la non-linéarité géométrique. Le modèle MAN-MEF-HSDT utilisé dans cette thèse présente des avantages tels qu'une longueur de pas adaptative, ce qui le rend efficace pour résoudre les problèmes non linéaires et détecter les points de bifurcation. Il combine le développement en série de Taylor, la méthode des éléments finis et la procédure de continuation pour calculer la solution complète branche par branche.

Le travail de thèse comprend également des exemples numériques pour illustrer l'efficacité et la précision du modèle MAN-MEF-HSDT dans l'analyse du comportement des plaques sandwich FGM. Les résultats obtenus fournissent une meilleure compréhension du flambage et du post-flambage de ces structures et contribuent à une conception plus précise et fiable des plaques FGM.

La performance de l'algorithme utilisé est évaluée en comparant les résultats obtenus avec ceux d'une méthode itérative, en particulier en termes du nombre d'inversions de la matrice tangente. Une diminution du nombre d'inversions indiquerait une meilleure performance en termes de temps de calcul. Cette comparaison permet de démontrer l'efficacité de l'algorithme utilisé par rapport à une méthode itérative, ce qui renforce la confiance dans les résultats obtenus.

**Mots-clés:** Bifurcation, Compressions non uniformes, FGM sandwich, Flambage et poste-flambage, Méthode Asymptotique Numérique, Méthode des Éléments Finis, Plaque FGM, Porosité, Théorie de la déformation par cisaillement d'ordre élevé (HSDT).

**Abstract:** The aim of the present thesis work is to study the behavior of sandwich plates made of functionally graded materials (FGM) using high order shear deformation theory (HSDT) and the Asymptotic Numerical Method (ANM) with Finite Element Method (ANM-FEM-HSDT).

The main aim of this research is to analyze the buckling and post-buckling of FGM plates, taking geometric non-linearity into account. The ANM-FEM-HSDT model used in this thesis has advantages such as an adaptive step length, making it effective for solving nonlinear problems and detecting bifurcation points.



It combines Taylor series development, the finite element method and the continuation procedure to calculate the complete solution branch by branch.

The thesis also includes numerical examples to illustrate the effectiveness and accuracy of the ANM-FEM-HSDT model in analyzing the behavior of FGM sandwich plates. The results obtained provide a better understanding of the buckling and post-buckling of these structures and contribute to a more accurate and reliable design of FGM plates.

The performance of the algorithm used is assessed by comparing the results obtained with those of an iterative method, particularly in terms of the number of inversions of the tangent matrix. A reduction in the number of inversions would indicate better performance in terms of computation time. This comparison demonstrates the efficiency of the algorithm used compared to an iterative method, which reinforces confidence in the results obtained.

**Keywords:** Asymptotic Numerical Method, Bifurcation, Buckling and post-buckling, FGM plate , FGM sandwich, Finite Element Method, High-order Shear Deformation Theory (HSDT), Non-uniform compression, Porosity.