



Pôle des Etudes Doctorales  
Centre des Etudes Doctorales  
Sciences et Techniques et Sciences Médicales

## AVIS DE SOUTENANCE DE THESE DE DOCTORAT

**Monsieur EL MOUSSATI Youssef**  
Présentera ses travaux de recherche en vue de l'obtention du  
Doctorat



**Formation Doctorale : Sciences et Techniques de l'Ingénieur**  
**Discipline : Physique**  
**Spécialité : Mécanique et Energétique**

**Le 30/06/2025 à 11H00 à la Salle de conférences, Faculté des  
Sciences et Techniques d'Al Hoceima, UAE**

**Sous le thème**

**Contribution au problème de la récupération d'énergie à  
partir des vibrations des structures en utilisant un circuit de  
van der Pol résonant**

**Devant le jury composé de :**

Nom et Prénom	Etablissement	Qualité
Pr. SOUHAR Khalid	EST de Casablanca, UHII	Président
Pr. KIRROU Ilham	ESEF de Berrechid, UH1	Rapporteur
Pr. KRIRAA Mounir	ENSA de Safi, UMI	Rapporteur
Pr. ROCHDI Rais	FST d'Al Hoceima, UAE	Rapporteur
Pr. EL FATHI Amine	FST d'Al Hoceima, UAE	Examineur
Pr. EL AKCHIOUI Nabil	FST d'Al Hoceima, UAE	Examineur
Pr. HAMDY Mustapha	FST d'Al Hoceima, UAE	Directeur

*Structure de recherche : Sciences Appliquées et théoriques, Systèmes Intelligents et Énergies  
Renouvelables.*

## Résumé



Les travaux de cette thèse portent sur l'efficacité énergétique, l'optimisation et la dynamique non linéaire des systèmes électromécaniques dédiés à la récupération d'énergie électrique (Energy Harvesting, EH) en utilisant des vibrations périodiques et quasi-périodiques générées par des sources mécaniques de l'environnement. En particulier les vibrations hydrodynamiques et structurelles. Ces systèmes électromécaniques sont modélisés par des modèles mathématiques basés sur les lois physiques et mécaniques régissant ces systèmes qui présentent un comportement non linéaire et un couplage entre les composants mécaniques et électriques. Le mécanisme de transduction de ce couplage est de type électromagnétique ou piézoélectrique, réalisé soit par un circuit simple classique, soit par un circuit RLC résonant, soit encore par un circuit RLC résonant intégrant un composant de van der Pol. Les structures mécaniques sont soumises à des forces aérodynamiques liées aux phénomènes de galop (galloping vibrations) et de vortex (vortex-induced vibrations), en intégrant des géométries non profilées des structures mécaniques, et à une excitation harmonique. L'étude et l'analyse de ces problématiques reposent sur des axes distincts qui sont : la résolution des problèmes mathématiques du couplage électromécanique non linéaires des structures piézoélectriques (des poutres capables de convertir des déformations mécaniques en énergie électrique) et électromagnétiques, l'analyse des vibrations et des flux des puissances, l'analyse de stabilité des solutions, l'analyse des performances, l'efficacité énergétique et l'optimisation de la récupération d'énergie. Ces résultats peuvent servir de base à des processus d'optimisation, pouvant à leur tour fournir des lignes directrices pour la conception de dispositifs de récupération d'énergie électrique électromagnétiques et piézoélectriques.

Les méthodes analytiques de perturbations, telles que la méthode de la balance harmonique de Blondel, la méthode des échelles multiples de Ali Hassan Nayfeh, la méthode de la double réduction de Belhaq et Houssni, la méthode de moyenne de Krylov-Bogoliubov et la méthode moyenne complexe de Manevitch, sont parmi les méthodes d'approximation les plus importantes qui peuvent toutes être utilisées pour trouver les équations de modulation amplitudes-phases. De plus, des méthodes numériques sont employées; comme la méthode itérative de Newton-Raphson pour résoudre les systèmes d'équations algébriques non linéaires, afin de déterminer les points d'équilibre et d'évaluer la stabilité des systèmes étudiés au voisinage de ces points d'équilibre et la méthode d'intégration de Runge-Kutta pour résoudre numériquement les équations différentielles ordinaires pour la validation numérique des résultats.

**Mots clés :** Vibrations périodiques et quasi-périodiques, Récupération d'énergie, Voltage, Puissance, Oscillateur de Duffing, Circuit RLC, Circuit résonant de van der Pol, Forces hydrodynamiques, Vibrations en galop, Vibrations induites par tourbillons, Méthodes de Perturbations, Matrice Jacobienne, Stabilité, Simulations numériques.