



جامعة محمد الخامس بالرباط  
Université Mohammed V de Rabat

**École Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes  
Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers de Rabat**

Centre d'Études Doctorales en Sciences des Technologies de l'Information et de l'Ingénieur

**AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE DE DOCTORAT**

**Monsieur Youness BOUMAALIF**

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

**Spécialité : Génie Electrique- Automatique**

**Le 29 Novembre 2025 à 10h00 au Grand Amphi à l'ENSAM de Rabat**

**Intitulé de la thèse**

**MODÉLISATION, COMMANDE ET OPTIMISATION DES ONDULATIONS DU  
COUPLE D'UNE MACHINE À RÉLUCTANCE VARIABLE : APPLICATION A LA  
TRACTION ÉLECTRIQUE**

**Président :**

Pr. Abderrahim EL QADI, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

**Directeur de thèse :**

Pr. Hamid OUADI, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

**Rapporteurs :**

Pr. Soumia EL HANI, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Pr. Adil BROURI, PES, ENSAM, Université Moulay Ismaïl, Meknès

Pr. Rachid LAJOUAD, PES, ENSET-Mohammedia, Université Hassan II, Casablanca

**Examineurs :**

Pr. Khalid EL MAJDOUB, PES, ENSEM, Université Hassan II, Casablanca

Pr. Mohammed KHAFELLAH, PES, ENSEM, Université Hassan II, Casablanca.

**Résumé:**



Cette thèse porte sur la modélisation, la commande et l'optimisation des machines à réluctance variable (MRV) pour les applications de traction électrique. Le recours à cette technologie de moteur s'inscrit dans une dynamique de transition énergétique visant à proposer des alternatives robustes, économiques et durables face aux moteurs synchrones à aimants permanents, dont la fabrication reste fortement dépendante des terres rares. Les caractéristiques intrinsèques des MRV — structure double saillante, comportement non linéaire, saturation magnétique et ondulations de couple — soulèvent toutefois des défis majeurs pour la conception de lois de commande efficaces. Les travaux de recherche abordés focalisent d'abord sur le développement d'un modèle non linéaire de la MRV, intégrant explicitement les effets de la saturation magnétique afin de mieux prédire son comportement dans un environnement embarqué. À partir de ce modèle, une stratégie de commande non linéaire fondée sur la technique de backstepping est proposée pour réguler la vitesse du moteur tout en tenant compte de la nature variable des paramètres magnétiques. Dans un second temps, une approche d'optimisation multi-étages est mise en place pour réduire les ondulations de couple, en adaptant en temps réel les angles d'excitation. Cette démarche combine l'optimisation par essais particuliers pour une recherche globale hors ligne et une technique d'extremum seeking pour l'adaptation dynamique en exploitation. Enfin, pour réduire le coût et la dépendance aux capteurs physiques, un observateur non linéaire adaptatif, basé sur la théorie de Lyapunov, est conçu, permettant une estimation robuste des variables d'état essentielles au pilotage de la MRV. L'ensemble de ces contributions vise à offrir un compromis optimal entre performance énergétique, confort de conduite et maîtrise des coûts, ouvrant ainsi des perspectives prometteuses pour l'adoption à grande échelle des MRV dans les véhicules électriques de demain.

**Mots-clés:**

Machine à Réluctance Variable, Ondulation de couple, Commande Backstepping, Multi-étages, Angles d'excitation, Algorithme d'optimisation par essais particuliers, Extremum seeking, Théorie de Lyapunov .

**Abstract:**



This thesis focuses on the modelling, control, and optimization of switched reluctance machines for electric traction applications. The adoption of this technology is part of the ongoing energy transition, aiming to provide robust, cost-effective, and sustainable alternatives to permanent magnet synchronous motors, whose production relies heavily on rare earth materials. In view of this challenge, which combines requirements for energy efficiency, manufacturing cost, and user comfort, the development of suitable control strategies is essential. However, the intrinsic characteristics of SRMs — double salient structure, highly nonlinear behaviour, magnetic saturation, and torque ripple — pose significant challenges for the design of effective control laws. Our research work first focuses on developing a nonlinear model of the SRM, explicitly accounting for magnetic saturation effects to better predict its real behaviour in an embedded environment. Based on this model, a nonlinear control strategy using the backstepping technique is proposed to regulate the motor speed while considering the highly variable nature of the magnetic parameters. Secondly, a multi-stage optimization approach is implemented to reduce torque ripple by adapting the phase excitation profiles in real time. This approach combines offline Particle Swarm Optimization (PSO) for global search with an Extremum Seeking (ES) technique for dynamic online adaptation. Finally, to reduce both the cost and the reliance on physical sensors, a nonlinear adaptive observer based on Lyapunov theory is designed, allowing robust estimation of the state variables essential for the control of the SRM. These contributions aim to provide an optimal trade-off between energy performance, driving comfort, and cost control, thereby opening up promising prospects for the large-scale adoption of SRMs in the electric vehicles of tomorrow.

**Keywords:**

Switched Reluctance Machine, Torque Ripple, Backstepping Control, Multi-Stage, Excitation Angles, Particle Swarm Optimization Algorithm, Extremum Seeking, Lyapunov Theory.