



AVIS DE SOUTENANCE DE THESE

Le Doyen de la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz –Fès – annonce que

Mme **EL FADILI YATTOU**
Soutiendra : le Samedi 04/07/2026 à 10H00
Lieu : **FSDM – Centre Visioconférence**

Une thèse intitulée :

Intégration des algorithmes intelligents pour l'optimisation de l'énergie d'un système éolien

En vue d'obtenir le **Doctorat**

FD : Sciences et Techniques
Spécialité : Génie Electrique

Devant le jury composé comme suit :

Nom et prénom	Etablissement	Grade	Qualité
Pr. KABBAJ Mohammed Nabil	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	PES	Président
Pr. ABARKAN Mustapha	Faculté des Sciences, Meknès	PES	Rapporteur
Pr. BOUFUNAS El-Mahjoub	Faculté des Sciences, Meknès	MCH	Rapporteur
Pr. EL BAKRI Ayoub	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	MCH	Rapporteur
Pr. BOUKILI Bensalem	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	MCH	Examineur
Pr. SEFRITI Selma	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	MCH	Examineur
Pr. BOUMHIDI Ismail	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	PES	Directeur de thèse



Résumé :

Cette thèse, intitulée « Intégration des algorithmes intelligents pour l'optimisation de l'énergie d'un système éolien », est consacrée à la modélisation, à la conception, à la synthèse et à la simulation de stratégies de commande non linéaires avancées appliquées à un système de conversion d'énergie éolienne. Le système étudié repose sur une éolienne tripale à axe horizontal, fonctionnant à vitesse variable et couplée à une génératrice asynchrone à double alimentation, dont le stator est directement raccordé au réseau électrique tandis que le rotor est commandé par l'intermédiaire de deux convertisseurs bidirectionnels. L'objectif principal de ce travail est de maximiser l'extraction d'énergie éolienne en adaptant la vitesse de rotation aux variations du vent et en maintenant l'angle de calage des pales à sa valeur optimale. Par ailleurs, une attention particulière est portée à l'amélioration de la qualité de l'énergie électrique injectée au réseau, notamment par la réduction des oscillations indésirables liées au phénomène de bavardage.

Dans un contexte marqué par l'épuisement progressif des ressources énergétiques fossiles et fissiles, ainsi que par l'accentuation des préoccupations environnementales à l'échelle mondiale, l'énergie éolienne s'impose comme l'une des sources d'énergie renouvelable les plus prometteuses. Les aérogénérateurs représentent aujourd'hui une solution écologique, durable et compétitive pour la production d'électricité, aussi bien dans les parcs éoliens terrestres qu'offshore. Cependant, l'amélioration de leurs performances, de leur rentabilité et de leur fiabilité constitue un défi majeur. Le passage d'un fonctionnement à vitesse fixe à un fonctionnement à vitesse variable constitue une avancée majeure pour l'éolienne, permettant d'optimiser l'énergie captée, notamment grâce à l'amélioration du coefficient de puissance. Toutefois, le caractère stochastique du vent, la forte non-linéarité du système éolien due à son comportement aérodynamique, ainsi que la variabilité des conditions climatiques, rendent indispensable l'adoption de stratégies de commande robustes et performantes. Les méthodes classiques, telles que les régulateurs PID ou certaines approches conventionnelles par mode glissant, présentent en effet des limites significatives, notamment leur sensibilité aux perturbations externes et l'apparition du phénomène de bavardage.

Afin de pallier ces contraintes, cette thèse propose des lois de commande non linéaires avancées, spécifiquement adaptées à la zone de fonctionnement de l'éolienne en régime de vent faible. Dans un premier temps, un contrôleur par mode glissant amélioré est présenté, reposant sur une nouvelle synthèse de la surface de glissement ainsi que du terme discontinu du couple électromagnétique. Par la suite, cette stratégie est développée en intégrant l'algorithme génétique afin d'assurer un réglage automatique et optimal des paramètres de commande. Ensuite, la même stratégie est intégrée avec la logique floue, considérée comme un outil d'intelligence artificielle. Cette approche hybride vise à améliorer les performances globales de l'éolienne. Enfin, une loi de commande avancée basée sur le mode glissant en concevant une nouvelle expression pour le terme discontinu du couple. La stabilité des stratégies proposées a été démontrée théoriquement à l'aide de la théorie de Lyapunov.



Les résultats de simulation obtenus sous MATLAB mettent en évidence l'efficacité des stratégies proposées, notamment en termes de rapidité de convergence, de précision du suivi, ainsi que de réduction des oscillations indésirables et des contraintes mécaniques. Par ailleurs, une étude comparative réalisée avec des contrôleurs issus de la littérature consolide la supériorité des approches proposées. Bien que ces lois de commande présentent de bonnes performances, elles demeurent perfectibles et ouvrent la voie à des perspectives de recherche prometteuses en matière d'optimisation et d'intelligence artificielle appliquée aux systèmes éoliens.

Mots clés :

Algorithmes génétiques ; Commande non linéaire ; Logique floue ; MATLAB/Simulink ; Mode glissant ; Modèle à deux masses ; Phénomène de bavardage ; Système éolien ; Théorie de Lyapunov.



INTEGRATION OF INTELLIGENT ALGORITHMS FOR ENERGY OPTIMIZATION OF A WIND ENERGY SYSTEM

Abstract:

This thesis, entitled « Integration of intelligent algorithms for energy optimization of a wind energy system », is devoted to the modeling, design, synthesis, and simulation of nonlinear control strategies applied to a wind energy conversion system (WECS). The studied system is based on a three-bladed horizontal-axis wind turbine (WT) operating at variable speed and coupled to a doubly-fed induction generator. In this configuration, the stator is directly connected to the electrical grid, while the rotor is controlled through two bidirectional power converters. The primary objective of this work is to maximize wind energy extraction by adapting the rotational speed to wind variations and maintaining the blade pitch angle at its optimal value. Particular attention is also given to improving the quality of the electrical power injected into the grid, especially through the reduction of undesirable oscillations associated with the chattering phenomenon.

In a context marked by the progressive depletion of fossil and fissile energy resources, as well as the increasing global environmental concerns, wind energy has emerged as one of the most promising renewable energy sources. Wind turbines currently represent an environmentally friendly, sustainable, and competitive solution for electricity generation, both in onshore and offshore wind farms. However, improving their performance, profitability, and reliability remains a major challenge. The transition from fixed-speed to variable-speed operation represents a significant advancement, enabling more efficient energy capture, particularly through the improvement of the power coefficient. Nevertheless, the stochastic nature of wind, the strong nonlinearity of the WECS due to its aerodynamic behavior, and the variability of climatic conditions make the adoption of high-performance control strategies essential. Conventional methods, such as PID controllers or standard sliding mode approaches, exhibit significant limitations, particularly their sensitivity to external disturbances and the occurrence of the chattering phenomenon.

To overcome these constraints, this work proposes the development of advanced nonlinear control laws specifically tailored to the low wind speed operating region of the WT. First, an improved sliding mode controller is introduced, based on a new synthesis of the sliding surface and the switching term of the electromagnetic torque. Subsequently, this strategy is enhanced by integrating fuzzy logic, which is considered an intelligent tool. This hybrid approach aims to improve the overall performance of the WT. Finally, a hybrid control law combining sliding mode control and guidance law is developed and further optimized using genetic algorithms to ensure automatic and optimal tuning of the control parameters. The stability of the proposed strategies is theoretically demonstrated using Lyapunov theory.

The simulation results obtained using MATLAB/Simulink highlight the effectiveness of the proposed strategies, particularly in terms of fast convergence, high tracking accuracy, and reduction of undesirable oscillations and mechanical stresses. Furthermore, a comparative



study conducted with controllers reported in the literature further confirms the superiority of the proposed approaches. Although the proposed control laws demonstrate satisfactory performance, they remain open to further improvement and pave the way for promising research perspectives in optimization and artificial intelligence applied to wind energy systems.

Key Words:

Genetic algorithms; Nonlinear control; Fuzzy logic; MATLAB/Simulink; Sliding mode control; Two-mass model; Chattering phenomenon; Wind energy system; Lyapunov theory.