



AVIS DE SOUTENANCE DE THESE

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

Mme **SALIME Hassna**
Soutiendra : **le Vendredi 11/07/2025 à 15H00**
Lieu : **FSDM – Centre Visioconférence**

Une thèse intitulée :

**« Commande robuste adaptative à base d'intelligence artificielle
évolutionnaire pour un système éolien à GSAP : Conception, simulation et
validation expérimentale sur dSPACE 1104 »**

En vue d'obtenir le Doctorat

FD : Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication
Spécialité : Génie électrique

Devant le jury composé comme suit :

Nom et prénom	Etablissement	Grade	Qualité
KARIM Mohammed	Faculté des Sciences Dhar EL Mahraz, Fès	PES	Président
LAGRIOUI Ahmed	Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Meknès	PES	Rapporteur
EL ALAMI Rachid	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	MCH	Rapporteur
ZAKRITI Alia	Ecole Nationale des Sciences Appliquées, Tétouan	PES	Rapporteur
EL BEKKALI Chakib	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, , Fès	PES	Examineur
EL GHZAoui Mohammed	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	PES	Examineur
BOSSOUFI Badre	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	PES	Directeur de thèse



Résumé :

Dans un contexte mondial marqué par l'urgence environnementale et la nécessité de diversifier les sources de production d'électricité, l'énergie éolienne s'impose comme une alternative propre et durable. Ce type de production ne cesse de gagner du terrain dans les politiques énergétiques internationales, en raison de sa capacité à générer de l'énergie sans émissions de gaz à effet de serre. Toutefois, malgré une large adoption des technologies fondées sur les génératrices asynchrones à double alimentation (GADA), ces systèmes se heurtent à plusieurs limites techniques, notamment en termes d'efficacité énergétique, de fiabilité mécanique et de gestion de la puissance réactive.

La présence d'un multiplicateur de vitesse, ainsi que la nécessité de compenser une forte consommation de puissance réactive, constituent des freins à l'optimisation des performances des systèmes GADA. Pour surmonter ces obstacles, les chercheurs s'orientent de plus en plus vers des génératrices synchrones à aimants permanents (GSAP), qui offrent une alternative à la fois innovante et performante. En plus de leur compacité, ces machines permettent un entraînement direct, réduisant ainsi les pertes mécaniques et les besoins en maintenance, tout en augmentant la fiabilité et la densité de puissance du système.

Cette thèse s'inscrit dans une démarche de recherche visant à concevoir des stratégies de commande avancées adaptées aux caractéristiques particulières des systèmes éoliens utilisant des GSAP. L'étude se concentre sur la mise en œuvre de méthodes de contrôle performantes capables d'optimiser à la fois la qualité de l'énergie produite et la stabilité du système en conditions variables. Les algorithmes développés incluent des approches classiques comme le contrôle vectoriel à flux orienté (FOC) et le contrôle vectoriel à tension orientée (VOC), mais aussi des méthodes plus robustes telles que le Backstepping adaptatif et les techniques issues de l'intelligence artificielle, notamment les algorithmes génétiques.

L'ensemble des lois de commande développées a été validé par des simulations numériques rigoureuses dans l'environnement MATLAB/Simulink, puis expérimenté à l'aide d'un banc d'essai basé sur la carte de prototypage dSPACE 1104. Cette étape a permis de tester les performances des différents contrôleurs dans un environnement proche des conditions réelles. Les résultats expérimentaux obtenus attestent non seulement de la faisabilité de l'implémentation, mais également de la capacité des commandes non linéaires à améliorer la réactivité, la précision et la robustesse du système de conversion éolien étudié. Les résultats mettent en évidence des gains notables en termes de performances dynamiques et de stabilité, notamment grâce à l'utilisation des stratégies non conventionnelles comme le Backstepping adaptatif et l'optimisation génétique. Ces contributions ouvrent des perspectives intéressantes pour le développement de systèmes éoliens plus intelligents, capables de s'adapter aux variations de charge, aux perturbations environnementales et aux contraintes structurelles.

Mots clés : Génératrice Synchrone à Aimant Permanent, Chaîne de conversion d'énergie éolienne, Contrôle Backstepping adaptatif, Contrôle (FOC), Contrôle (VOC), Algorithme génétique, Kit de prototypage dSPACE 1104.



Abstract :

In a global context marked by environmental urgency and the need to diversify electricity production sources, wind energy has emerged as a clean and sustainable alternative. This mode of energy generation continues to gain ground in international energy policies due to its ability to produce electricity without greenhouse gas emissions. However, despite the widespread adoption of technologies based on Doubly-Fed Induction Generators (DFIGs), these systems face several technical limitations, particularly regarding energy efficiency, mechanical reliability, and reactive power management.

The presence of a gearbox and the need to compensate for high reactive power consumption hinder the optimization of DFIG-based systems. To overcome these challenges, researchers are increasingly turning to Permanent Magnet Synchronous Generators (PMSGs), which offer an innovative and high-performance alternative. In addition to their compactness, these machines enable direct-drive configurations, thereby reducing mechanical losses and maintenance requirements while improving system reliability and power density.

This thesis is part of a research initiative aimed at designing advanced control strategies tailored to the specific characteristics of wind energy systems based on PMSGs. The study focuses on the implementation of high-performance control methods capable of optimizing both the quality of the produced energy and the system's stability under varying conditions. The developed algorithms include classical approaches such as Field-Oriented Control (FOC) and Voltage-Oriented Control (VOC), as well as more robust techniques like Adaptive Backstepping and methods derived from artificial intelligence, particularly genetic algorithms. All proposed control laws have been validated through rigorous numerical simulations using the MATLAB/Simulink environment and further tested on an experimental setup based on the dSPACE 1104 prototyping board. This phase enabled performance evaluation of the various controllers in a setting close to real-world operating conditions. The experimental results demonstrate not only the feasibility of implementation but also the ability of nonlinear control methods to enhance the responsiveness, precision, and robustness of the wind energy conversion system. The findings highlight significant improvements in dynamic performance and system stability, particularly due to the use of unconventional strategies such as Adaptive Backstepping and genetic optimization. These contributions offer promising prospects for the development of smarter wind systems capable of adapting to load variations, environmental disturbances, and structural constraints.

Keywords: Permanent Magnet Synchronous Generator, Wind Energy Conversion Chain, Adaptive Backstepping Control, Field-Oriented Control (FOC), Voltage-Oriented Control (VOC), Genetic Algorithm, dSPACE 1104 Prototyping Kit.