



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 Hammadi LAGHRIDAT**

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

**Le Mardi 05 Juillet 2022 à 10h au Grand Amphi à l'ENSAM de Rabat**

**Intitulé de la thèse**

**DISPATCHING ET COMMANDES AVANCEÉS DES FERMES ÉOLIENNES  
BASEÉS SUR LES MACHINES ASYNCHRONES À DOUBLE ALIMENTATION  
ET À CAGE, INTEGREGÉS AU RÉSEAU ÉLECTRIQUE**

**Devant le Jury composé de :**

**Présidente :**

Pr. Malika ZAZI, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

**Directeur de thèse :**

Pr. Ahmed ESSADKI, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

**Co-Directeur de thèse :**

Pr. Tamou NASSER, PH, ENSIAS, Université Mohammed V de Rabat

**Rapporteurs :**

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

Pr. Ahmed ABOU, PES, EMI, Université Mohammed V de Rabat

Pr. Rachid LAJOUAD, PH, ENSET Mohammedia, Université Hassan II de Casablanca

**Examineurs :**

Pr. Lhoussain BAHATI, PES, ENSET Mohammedia, Université Hassan II de Casablanca

Pr. Ali NEJMI, PES, FEST Béni Mellal, Université Sultan Moulay Slimane



## Résumé :

Actuellement, l'intégration d'un système de production d'énergie éolienne (WECS) dans le réseau électrique de distribution est soumis à différents types de perturbations qui se produisent sur le réseau, à savoir les variations de fréquence et de tension, etc. En outre, les gestionnaires de réseaux de transport (GRT) sont de plus en plus préoccupés par la diminution de l'inertie du système due à la pénétration croissante des systèmes d'énergies renouvelables (SERs), en particulier l'énergie éolienne et à l'abandon des sources d'énergie conventionnelles. La production d'énergie éolienne est en évolution constante au niveau international et elle est devenue une source d'énergie essentielle dans le fonctionnement du réseau électrique dans la plupart des pays, raison pour laquelle il serait opportun d'investir massivement dans des projets d'infrastructure dans ce sens. A cet égard, la présente thèse de doctorat porte sur la supervision et le contrôle des parcs éoliens basés sur les générateurs à induction à double alimentation et les générateurs à induction à cage d'écureuil intégrés au réseau électrique. A cet effet, un aperçu des approches classiques pour le contrôle d'un système de conversion d'énergie éolienne à vitesse variable connecté au réseau a été présenté et discuté en termes des concepts de contrôle des stratégies existantes et celles qui peuvent être exploitées pour répondre aux nouveaux défis d'intégration des éoliennes au réseau électrique national. Par conséquent, il est nécessaire d'utiliser et de mettre en œuvre d'autres stratégies de contrôle plus robustes, afin d'améliorer et de réguler d'une manière optimale la puissance active et réactive des éoliennes. Dans ce contexte, nous avons utilisé une nouvelle stratégie de contrôle nommée contrôle actif par rejet des perturbations (ADRC) qui est proposée et utilisée pour contrôler les systèmes de conversion d'énergie éolienne basés sur des machines asynchrones (MADAs et MASs à cage), cette stratégie permet une très bonne élimination des perturbations en temps réel, qui peuvent être nombreuses sur un tel système. En raison du développement de l'énergie éolienne à grande échelle, les parcs éoliens sont intégrés pour fournir un échange de puissance active et réactive avec le réseau électrique. En effet, dans un parc éolien, chaque éolienne est fortement couplée aux conditions de fonctionnement des autres éoliennes. De plus, une unité centrale de supervision du parc éolien doit tenir compte de ces conditions de couplage lorsqu'elle produit des références de contrôle de puissance individuelles pour chaque éolienne. Dans cette unité, la répartition de la puissance d'un parc éolien est distribuée à tous les aérogénérateurs en utilisant l'algorithme de distribution proportionnelle. Fondamentalement, deux contributions principales ont été élaborées dans le cadre de cette thèse. La première concerne le contrôle de la puissance active et réactive pour une éolienne au point de couplage commun (PCC) en utilisant une nouvelle structure de contrôle par la stratégie ADRC. La seconde consiste en un II dispatching et un contrôle des puissances de sortie pour les parcs éoliens basés sur les GADAs et les GASs à cage, afin d'extraire la puissance maximale disponible du vent, et de fournir les puissances actives et réactives prédéterminées par l'opérateur du système de transmission du réseau, et de satisfaire les exigences de son code en considérant la capacité de passage en basse tension. Les résultats obtenus avec le logiciel MATLAB/Simulink démontrent que les stratégies proposées sont valides, efficaces et garantissent l'intégration sûre des parcs éoliens dans le réseau électrique tout en respectant les exigences du code du réseau et de la stabilité du système électrique.

**Mots clés :** ADRC, Commande, Éolienne, MADA, MAS à cage, Parc éolien, Supervision.



**Abstract :**

Nowadays, the integration of Wind Energy Conversion Systems (WECS) in the electricity distribution network is subject to many types of perturbations that occur to the grid such as the variations of frequency and voltage. In addition, the transmission system operators (TSOs) are increasingly concerned about the system inertia's reduction due to the growing penetration of the Renewable Energy Systems (RESs), especially the wind power, and the withdrawal of conventional energy sources. The wind power generation is continually evolving internationally and has become an essential energy source in the operation of electrical network in most countries. For that, it would be appropriate to invest massively in infrastructure projects related to this field. In this context, this thesis focuses on the supervision and control of Wind Farms (WFs) based on the Doubly Fed Induction Generators (DFIGs) and the Squirrel-Cage Induction Generators (SCIGs) integrated into the electrical grid. An overview on the classical approaches used for controlling a connected variable speed grid WECS is presented. Mainly, we discuss how the existing control strategies can be exploited to overcome the new grid integration challenges expected from wind turbines (WTs), which requires the use and implementation of other more robust control strategies, that was adopted and improved to optimally regulate the active and reactive WTs' powers. In this context, we have proposed a novel control strategy named the Active Disturbance Rejection Control (ADRC) utilized to control the WECSs based on the DFIGs and the SCIGs. This controller eliminates significantly the disturbances in real time, which can be numerous on such a wind system. Owing to the development of large-scale wind power, wind farms are integrated to provide active and reactive power exchange with the grid system as each turbine in WF is highly dependent on the operating conditions of other ones. Moreover, a central WF supervisory unit must take into account these coupling conditions when defining individual power controls reference for each WT. In this unit, the power dispatching of a WF is done and the power is distributed to all wind generators using the proportional distribution algorithm. Basically, two main contributions were addressed in this thesis. The first investigates the active and reactive powers' control for an WT at the Point of Common Coupling (PCC) using a novel control structure by the ADRC strategy, whereas in the second, a dispatching and control of output powers for the WFs-based DFIGs and SCIGs were considered, in order to extract the maximum available power from the wind, provide the active and reactive powers predetermined by the grid's TSO and satisfy its code requirements considering the Low Voltage Ride-Through (LVRT) capability. The obtained results leveraging MATLAB/Simulink software reveal that the proposed strategies are valid, efficient, and guarantee the safe integration of WFs into the electrical grid while respecting the grid code requirement and power system stability.

**Keywords :** ADRC, Control, DFIG, SCIG, Supervision, Wind Farm, Wind Turbine.

