

AVIS DE SOUTENANCE D'UNE THESE DE DOCTORAT

Le Directeur de l'Ecole Nationale des Sciences Appliquées a le plaisir d'informer le public
qu'une soutenance de thèse de Doctorat en

«**Sciences et ingénierie**»

aura lieu le 19/09/2026 à 10H00 à l'ENSA, Kénitra

La Thèse sera présentée par Mr BOUKAIBAT ACHRAF

Sous le thème :

**Hybrid Control Strategies and Real-Time Validation for Microgrid Renewable
Integration**

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Titre	Etablissement
RAIHANI ABDELHADI	Président	ENSET, Mohammedia
BAKHOUYA MOHAMED	Rapporteur	UIR, Rabat
BELHORA FOUAD	Rapporteur	ENSA, El Jadida
EL MOKHI CHAKIB	Rapporteur	EST, Kénitra
MESBAHI ABDELOUAHED	Examineur	ENSEM, Casablanca
MEZOUARI ABDELKADER	Examineur	EST, Kénitra
ROCHDI YOUSSEF	Co-Directeur de thèse	ENSA, Kénitra
KRAMI NISSRINE	Directeur de thèse	ENSA, Kénitra



Nom et Prénom : BOUKAIBAT ACHRAF

Date de soutenance : 19/09/2026

Directeur de Thèse : KRAMI NISSRINE

Sujet de thèse :

Hybrid Control Strategies and Real-Time Validation for Microgrid Renewable Integration

Résumé:

L'intégration croissante des sources d'énergie renouvelables dans les réseaux électriques modernes engendre d'importants défis liés à l'intermittence de production, à la stabilité de la tension et de la fréquence, à la qualité de l'énergie ainsi qu'à la gestion énergétique en temps réel. Dans ce contexte, les micro-réseaux apparaissent comme une solution prometteuse pour le développement de systèmes énergétiques résilients, flexibles et durables.

Cette thèse, intitulée « Hybrid Control Strategies and Real-Time Validation for Microgrid Renewable Integration », propose une architecture de contrôle hiérarchique intelligente destinée à l'intégration et à la gestion optimisée des sources d'énergie renouvelables, des systèmes de stockage d'énergie (ESS) ainsi qu'à la validation en temps réel des stratégies de contrôle au sein des micro-réseaux hybrides.

Un convertisseur bidirectionnel AC-DC/DC-AC basé sur une commande PWM vectorielle découplée est ensuite conçu et simulé afin d'assurer un échange bidirectionnel efficace de puissance, une amélioration de la qualité de l'énergie et un fonctionnement stable sous différentes conditions de charge. Par ailleurs, un système intelligent de gestion énergétique multi-agents (MA-EMS) intégrant le contrôle décentralisé par droop ainsi qu'un nouvel algorithme d'optimisation T-Cell est proposé afin d'améliorer la flexibilité du système, la répartition adaptative de puissance et l'exploitation des énergies renouvelables.

Les approches proposées sont validées à l'aide d'une plateforme Hardware-in-the-Loop (HIL) basée sur OPAL-RT, Raspberry Pi et JADE. Les résultats expérimentaux démontrent la faisabilité temps réel, la robustesse et la scalabilité de l'architecture développée dans des conditions dynamiques de fonctionnement. Dans l'ensemble, ce travail démontre que les stratégies de contrôle avancées et la gestion énergétique intelligente constituent des solutions efficaces pour les futurs micro-réseaux intelligents et durables.

Mots Clés: Micro-réseaux, Sources d'énergie renouvelables, Système de gestion énergétique, Systèmes multi-agents, Contrôle par droop, Convertisseur bidirectionnel, Hardware-in-the-Loop, Réseaux intelligents

Abstract:

The increasing penetration of renewable energy sources into modern power systems introduces significant challenges related to intermittency, voltage and frequency stability, power quality, and real-time energy management. In this context, microgrids have emerged as a promising solution for the development of resilient, flexible, and sustainable energy systems.

This thesis, entitled "Hybrid Control Strategies and Real-Time Validation for Microgrid Renewable Integration," proposes an intelligent hierarchical control framework for the efficient integration and management of renewable energy resources, Energy Storage Systems (ESSs), and the real-time validation of control strategies within hybrid microgrids.

A bidirectional AC-DC/DC-AC converter based on vector-decoupled PWM control is designed and simulated to ensure efficient bidirectional power flow, improved power quality, and stable operation under varying load conditions. Furthermore, a Multi-Agent Energy Management System (MA-EMS) integrating decentralized droop control and a novel T-Cell optimization algorithm is proposed to enhance system flexibility, adaptive power dispatch, and renewable energy utilization.

The proposed methodologies are validated through a Hardware-in-the-Loop (HIL) platform based on OPAL-RT, Raspberry Pi, and JADE multi-agent supervision. Experimental results demonstrate the real-time feasibility, robustness, and scalability of the proposed framework under dynamic operating conditions. Overall, this work demonstrates that advanced control strategies and intelligent energy management constitute effective solutions for future smart and sustainable microgrids.

Key words : Microgrids, Renewable Energy Sources, Energy Management System, Multi-Agent Systems, Droop Control, Bidirectional Converter, HIL.