

# THESE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 641

*Mathématiques et Sciences et Technologies du numérique,  
de l'Information et de la Communication*

Spécialité : *Génie Electrique*

Par

**« Sidlawendé Valère M. OUOBA »**

**« Stratégies de gestion d'énergie appliquées aux micro-réseaux  
intégrant des unités de stockage d'énergie décentralisées »**

Thèse présentée et soutenue à « Saint-Nazaire », le « 08 Décembre 2023 »

Unité de recherche : Institut de Recherche en Energie Electrique Nantes Atlantique (IREENA)

## Rapporteurs avant soutenance :

Alexandre De BERNARDINIS Professeur des Universités, Université de Lorraine, LMOPS  
Ilhem SLAMA-BELKHODJA Professeur des Universités, ENIT, Université de Tunis El Manar, LSE

## Composition du Jury :

Président :	Prénom Nom	Fonction et établissement d'exercice (8)(à préciser après la soutenance)
Examinateurs :	Chakib BOUALLOU	Professeur des Universités, MINES ParisTech, CES
	Seddik BACHA	Professeur des Universités, Université Grenoble Alpes, G2ELAB
	Serge PIERFEDERICI	Professeur des Universités, Université de Lorraine, LEMTA
Dir. de thèse :	Mohamed MACHMOUM	Professeur des Universités, Nantes Université, IREENA
Encadrant :	Azeddine HOUARI	Maître de Conférences HDR, Nantes Université, IREENA

## Invité(s)

Prénom Nom Fonction et établissement d'exercice

**Titre :** Stratégies de gestion d'énergie appliquées aux micro-réseaux intégrant des unités de stockage d'énergie décentralisées

**Mots clés :** Micro-réseau, Unité de stockage d'énergie décentralisée, Contrôle distribué par consensus, Gestion d'énergie, Dispatching économique, Stabilité.

**Résumé :** Dans ce travail de thèse, de nouvelles techniques de commandes coopératives sont proposées pour pallier les limites du réglage primaire des Micro-réseaux AC autonomes intégrant plusieurs unités de stockage d'énergie décentralisées (MG-DESU). Ces nouvelles commandes distribuées prennent en compte l'état des sources d'énergie et des unités de stockage comme l'état de charge (SoC) et le coût de production des batteries, ainsi que l'efficacité intrinsèque et la dynamique de chaque générateur distribué (DG). Ces commandes corrigent également les déviations de fréquence et de tension des DGs engendrées par le contrôle primaire, tout en garantissant la stabilité du système. Deux stratégies d'équilibrage du SoC (SoC balancing) des DESU basées sur le consensus sont d'abord développées pour éviter une dégradation inégale

des batteries, étendre leur durée de vie et réduire la charge de maintenance. Ensuite, une étude de stabilité petit signal du MG-DESU est réalisée afin d'évaluer l'influence des paramètres de contrôle, du délai de communication et des éléments du MG (lignes, charges etc.) sur la stabilité locale du système avec les stratégies proposées. Enfin, le coût global de la production d'énergie des MG-DESU est minimisé grâce à une stratégie de dispatching économique basée sur le consensus et le principe des coûts incrémentaux égaux. Les performances des différentes stratégies de contrôle élaborées dans cette thèse, sont validées expérimentalement sur un banc d'essai PHIL (Power Hardware In-the-Loop), développé au sein du laboratoire, et ce pour différents scénarios de fonctionnement du MG-DESU.

**Title:** Energy management strategies for microgrids integrating distributed energy storage units

**Keywords:** Microgrid, Distributed energy storage unit, Consensus control, Energy management, Economic dispatch, Stability.

**Abstract:** In this thesis work, new cooperative control techniques have been proposed to overcome the various limitations of primary control of autonomous AC Microgrids integrating multiple distributed energy storage units (MG-DESUs). These new controls take into account the state of energy sources and storage units, such as the state of charge (SoC) and production cost of batteries, as well as the intrinsic efficiency and dynamics of each distributed generator (DG). These controls also correct DG frequency and voltage deviations caused by primary control, while ensuring system stability. Two consensus-based SoC balancing strategies were first developed to avoid uneven degradation of the batteries,

extend their service life and reduce the maintenance burden. Secondly, a small-signal stability study of the MG-DESU was carried out in order to evaluate the influence of control parameters, communication delay and system elements (lines, loads, etc.) on the local stability of the system. Finally, the overall cost of the MG-DESU energy production is minimized thanks to an economic dispatching strategy based on consensus and equal incremental cost principle. The performance of the proposed control strategies in this thesis was validated experimentally on a laboratory-developed Power Hardware In-the-Loop test bench for various MG-DESU operating scenarios.