

THESE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 641

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

Spécialité : Génie Electrique

Par

«Hadi MOJTABA»

**«Load Forecasting and Uncertainty-Aware Sizing and Energy
Management of Multi-Energy Microgrids Considering Green Hydrogen
Integration»**

«Optimal Sizing and Energy Management»

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 24 septembre 2026

Unité de recherche : LABISEN / SATIE

Rapporteurs avant soutenance :

Lahoucine IDKHAJINE
Mickaël HILAIRET

Professeur, CY Cergy Paris Université, France
Professeur, École Centrale de Nantes, France

Composition du Jury :

Président : Prénom Nom Fonction et établissement d'exercice (8)(à préciser après la soutenance)
Examinatrice : Manuela SECHILARIU Professeure, Université de Technologie de Compiègne, France

Dir. de thèse : Maher JRIDI Professeur, ISEN Yncréa Ouest, Nantes, France
Co-dir. de thèse : Elhoussin ELBOUCHIKHI Maître de Conférences HDR, CY Cergy-Paris Université, France
Co-encadrant : Abdelhakim SAIM Maître de Conférences, Nantes Université, Saint-Nazaire, France

Invité(s)

Zhibin ZHOU Enseignant chercheur, ISEN Yncréa ouest, Brest, France

Titre : Contribution à la prévision de la demande, au dimensionnement robuste et à la gestion optimale sous incertitudes des micro-réseaux multi-énergies avec intégration de l'hydrogène vert.

Mots clés : Micro-réseaux Multi-Énergies ; Gestion de l'Énergie ; Optimisation Robuste ; IGDT ; Prévision de Charge ; Hydrogène Vert.

Résumé : L'intégration croissante de la production d'énergie renouvelable, des charges flexibles, des systèmes de stockage et des technologies de couplage sectoriel transforment les micro-réseaux conventionnels en micro-réseaux multi-énergies (MEMGs). La gestion coordonnée de l'électricité, de la chaleur, du gaz et de l'hydrogène est essentielle ; toutefois, l'intermittence des énergies renouvelables, la variabilité de la demande et les erreurs de prévision introduisent des incertitudes qui affectent la planification et l'exploitation des MEMGs.

Cette thèse développe un cadre unifié pour le dimensionnement et la gestion énergétique des MEMGs, en évoluant d'une exploitation déterministe vers une planification tenant compte des incertitudes et une prise de décision assistée par l'intelligence artificielle.

Un système de gestion de l'énergie (EMS) déterministe est d'abord proposé pour la coordination électricité-chaleur avec cogénération (CHP) et mécanisme de flexibilité de la charge. Le cadre est ensuite étendu par l'optimisation robuste et l'Information Gap Decision Theory (IGDT), tandis que les technologies hydrogène renforcent la flexibilité du système. Enfin, un modèle hybride CNN-LSTM prévoit les demandes d'électricité, de chaleur et de gaz et est intégré dans un EMS fondé sur l'IGDT. Les résultats montrent que la combinaison de la gestion multi-énergies, de l'optimisation sous incertitude et de la prévision par IA améliore la fiabilité, la robustesse, la performance économique et le fonctionnement bas carbone des micro-réseaux multi-énergies.

Title : Load Forecasting and Uncertainty-Aware Sizing and Energy Management of Multi-Energy Microgrids Considering Green Hydrogen Integration

Keywords: Multi-Energy Microgrids; Energy Management; Load Forecasting; Robust Optimization; IGDT; Green Hydrogen.

Abstract: The integration of renewable generation, flexible demand, storage, and sector-coupling technologies is transforming conventional microgrids into Multi-Energy Microgrids. Coordinated management of electricity, heat, gas, and hydrogen is essential, but renewable intermittency, demand variability, and forecasting errors introduce uncertainties that affect planning and operation of MEMGs.

This thesis develops a unified framework for MEMG sizing and energy management, moving from deterministic operation toward uncertainty-aware planning and AI-supported decision-making. A deterministic EMS is first developed for CHP-based electricity-heat coordination with demand response.

The framework is then extended using robust optimization and Information Gap Decision Theory (IGDT) to address uncertainty in sizing and scheduling, while hydrogen-based technologies are incorporated to enhance system flexibility. Finally, a hybrid CNN-LSTM model is used to forecast electricity, heat, and gas demands and is integrated into an IGDT-based EMS to address forecasting uncertainty. The results show that combining coordinated multi-energy management, uncertainty-aware optimization, and AI-based forecasting improves reliability, robustness, economic performance, and low-carbon operation of MEMGs.