



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**

**Madame Nisrine NASERI**

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

**Spécialité** : Génie électrique

**Le Samedi 19 Octobre 2024 à 11h00 au Grand Amphi à l'ENSAM de Rabat**

**Intitulé de la thèse**

**Modeling, Control, and Management of a Microgrid-Based  
Green Hydrogen Conversion Unit**

**Président :**

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

**Directeur de thèse :**

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

**Rapporteurs :**

Pr. Saïd GUEDIRA, PES, École Nationale Supérieure des Mines de Rabat

Pr. Osama MOHAMMED, Professor, Florida International University, Miami, USA

Pr. Abdelmajid ABOULOIFA, PES, ENSEM, Université Hassan II, Casablanca

**Examineur(s) :**

Pr. Mohamed SBIHI, PES, EST, Université Mohammed V Rabat



**Résumé :** L'objectif d'atteindre la cible de carboneutralité et l'objectif de décarbonisation visant à maintenir le réchauffement planétaire à 1,5 °C et à lutter contre les changements climatiques conformément à l'Accord de Paris de novembre 2016, ainsi que la nature intermittente des sources d'énergie renouvelables en tant que sources de production de puissance non-dispatchables ont conduit à la nécessité de technologies modernes de stockage d'énergie. Power-to-X (PtX), qui consiste en la conversion des surplus d'énergie renouvelable en carburant, en stockage et en reconversion vers l'électricité, est une voie prometteuse pour atteindre l'objectif de décarbonisation. En intégrant le stockage d'hydrogène vert dans les micro-réseaux, il est possible de réduire les émissions de gaz à effet de serre et d'atteindre la neutralité climatique mondiale.

Le sujet de thèse tourne autour de la modélisation, la simulation, le contrôle et la gestion d'un micro-réseau hybride intégrant la production, le stockage et la re-électrification d'hydrogène vert. Ce système permet le stockage de l'énergie électrique à petite échelle en intégrant des batteries et du stockage d'hydrogène vert. Cette étude présente un contrôle hiérarchique à deux niveaux avec une approche droop autonome d'un micro-réseau solaire iloté à basse tension avec une unité de conversion d'hydrogène vert dans des conditions de changement de charge. Considérant qu'il n'y a pas de support par le réseau principal, la tension et la stabilité de la fréquence du micro-réseau iloté doivent être assurées. Le type de droop contrôle direct  $P/F$ ,  $Q/V$  avec une impédance de sortie virtuelle appliquée sur le micro-réseau autonome composé de PV, batterie, électrolyseur d'eau, stockage d'hydrogène comprimé, et une pile à combustible à hydrogène avec leurs convertisseurs, vise à maintenir la tension et la fréquence du micro-réseau isolé à leurs valeurs d'état stables.

Afin de garantir une répartition efficace de la puissance, entre les systèmes de stockage d'énergie et les unités de production distribuées, une gestion de l'énergie est appliquée sur la base d'une approche d'optimisation connue sous le nom de stratégie de minimisation de la consommation équivalente afin de minimiser le carburant équivalent consommé par la batterie et la pile à hydrogène. Cette stratégie permet au système hybride d'utiliser moins d'hydrogène tout en prolongeant la durée de vie de la pile à combustible et en gérant l'énergie de manière plus efficace dans des conditions de changement de charge.

**Mots-clés :** Contrôle hiérarchique, droop contrôle, gestion de l'énergie, micro-réseau DC iloté, stratégie de minimisation de la consommation équivalente, unité de conversion d'hydrogène.

**Abstract:** The goal of meeting the net-zero emissions target and the decarbonization objective to maintain global warming to 1.5 °C and combat climate change according to the Paris Agreement of November 2016, as well as the intermittent nature of renewable energy sources such as non-dispatchable power generation units, have resulted in the need for sophisticated energy storage systems. Power-to-X (PtX), consisting of renewable energy surplus conversion into fuel, storage, and reconversion back to electricity, is a promising pathway to the decarbonization objective. By incorporating green hydrogen storage into microgrids, it is possible to lower greenhouse gas emissions and achieve global climate neutrality.

The thesis revolves around the remodeling, simulation, control, and management of a hybrid microgrid integrating green hydrogen production, storage, and re-electrification. This system allows for the storage of electrical energy on a small scale by integrating batteries and green hydrogen storage. This study presents a two-level hierarchical control with an autonomous droop approach of an islanded low-voltage solar microgrid with a green hydrogen conversion unit under load step-change conditions.

The islanded microgrid's voltage and frequency stability must be ensured because there is no utility grid support. The direct droop control type  $P/F$ ,  $Q/V$  with a virtual output impedance applied on the stand-alone/off-grid microgrid composed of PV, battery, water electrolyzer, compressed hydrogen storage, and a hydrogen fuel cell with their different converters aims to maintain the voltage and frequency of the islanded microgrid at their steady-state values.

To ensure power-sharing between the distributed generation units and the energy storage systems in an efficient manner, an energy management strategy is applied based on an optimization approach known as the equivalent consumption minimization strategy to minimize the equivalent fuel consumed by the battery and the hydrogen fuel cell. This strategy allows the hybrid system to use less hydrogen while extending the lifetime of the fuel cells and managing energy more efficiently under load step-change conditions.

**Keywords:** Droop control, Energy management, Equivalent Consumption Minimization Strategy, Hierarchical control, Hydrogen conversion unit, Islanded DC microgrid.