



**École Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes
Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers de Rabat**

Centre d'Études Doctorales en Sciences des Technologies de l'Information et de l'Ingénieur

AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE DE DOCTORAT

Madame Saida EL BAKALI

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

Spécialité : Sciences de l'Ingénieur – Génie Electrique

Le 03 Octobre 2026 à 10H au Grand Amphi à l'ENSAM de Rabat

Intitulé de la thèse

**L'intelligence artificielle pour la prévision et l'optimisation
énergétique de l'eau chaude dans un bâtiment à énergie positive**

Président :

Pr. Lahcen AZRAR, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Directeur de thèse :

Pr. Hamid OUADI, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Rapporteurs :

Pr. Saad LISSAN EL HAQ, PES, ENSEM, Université Hassan-II, Casablanca

Pr. Ahmed EL AKKARY, PES, EST Salé, Université Mohammed V de Rabat

Pr. Khalid EL MAJDOUB, PES, ENSEM Université Hassan-II, Casablanca

Examineur(s) :

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

Pr. Zeriab ESSADEK, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Résumé :

Cette thèse porte sur la gestion de l'énergie dans les bâtiments intelligents à forte demande thermique, dans le contexte de la transition énergétique. Le premier axe de recherche est consacré à la prévision à court terme de la production d'énergie renouvelable et de la consommation en eau chaude sanitaire (ECS). Un système de prévision est développé sur la base d'un modèle d'apprentissage automatique utilisant un algorithme d'empilement. Deux points d'amélioration sont proposés : un prétraitement optimisé des données opérationnelles par décomposition modale variationnelle, dont les paramètres sont ajustés par l'algorithme d'optimisation par essaim de salpes, permettant d'améliorer significativement la précision des prévisions ; et une amélioration des performances du modèle de prévision par le développement d'un modèle saisonnier. Le deuxième axe est consacré au développement d'un système de gestion de l'énergie (EMS) pour l'énergie consommée par le système d'eau chaude sanitaire. La stratégie adoptée s'articule sur deux niveaux : le premier est dédié à la gestion prévisionnelle à la veille, et le second à la gestion en temps réel. La gestion prévisionnelle exploite les prévisions de la demande en eau chaude, de la consommation énergétique, de la production d'énergie et des conditions météorologiques afin d'établir à l'avance un programme de puissance de chauffe. La gestion en temps réel, quant à elle, compense les écarts causés par les incertitudes et les perturbations affectant la demande en ECS et la production d'énergie. Le EMS s'appuie sur une optimisation multi-objectif visant à minimiser les coûts énergétiques, les émissions de CO₂, l'inconfort thermique lié à une température de consigne inadéquate de l'ECS, ainsi que la puissance de pointe soutirée du réseau. Le troisième axe porte sur le développement d'une approche de dimensionnement optimal visant à déterminer les capacités appropriées des différents composants du système, notamment les modules photovoltaïques, les systèmes de stockage par batterie et les chauffe-eaux électriques, tout en satisfaisant les contraintes technico-économiques ainsi que les objectifs de performance énergétique et de confort thermique.

Mots-clés :

Bâtiments intelligents, gestion énergétique, eau chaude sanitaire, prévision énergétique, optimisation multi-objectifs, confort thermique, dimensionnement optimal.

Abstract:

This thesis investigates energy management in smart buildings with high thermal demand within the framework of the energy transition. The first research axis focuses on short-term forecasting of renewable energy production and domestic hot water (DHW) consumption. A forecasting system is developed based on a machine learning model using the stacking algorithm. Two improvements are proposed: optimized preprocessing of operational data using variational mode decomposition, with parameters tuned by the Salp Swarm Optimization algorithm, significantly enhancing forecast accuracy; and performance improvement of the forecasting model through the development of a seasonal model. The second axis deals with the development of an energy management system (EMS) for DHW. The adopted strategy has two levels: the first is for day-ahead management, and the second for real-time management. Day-ahead management uses forecasts of hot water demand, energy consumption, energy production, and weather conditions to plan heating power in advance. Real-time management compensates for deviations due to uncertainties and disturbances affecting DHW demand and energy production. The EMS relies on multi-objective optimization aimed at minimizing energy costs, CO₂ emissions, discomfort from inadequate DHW setpoint temperature, and peak power drawn from the grid. The third axis focuses on the development of an optimal sizing approach to determine appropriate capacities for system components, including photovoltaic modules, battery storage systems, and electric water heaters, while respecting techno-economic constraints and achieving energy performance and thermal comfort objectives

Keywords:

Smart buildings, energy management, domestic hot water, energy forecasting, multi-objective optimization, thermal comfort, optimal sizing.