



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

Monsieur Hamza Mediouni

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

Spécialité : Génie électrique

Le Samedi 15 Mars 2025 à 11h00 au Grand Amphi à l'ENSAM de Rabat

Intitulé de la thèse

**Modeling and Simulation of Electric Vehicle Powertrain
Components for Energy Consumption Prediction and Analysis:
Using Artificial Intelligence Techniques**

Président :

Pr. Larbi Belarbi, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Directeur de thèse :

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

Co-Encadrant

Pr. Mounir Ghogho, PES, Université Internationale de Rabat

Rapporteurs :

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

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

Pr. Mustapha Faqir, PES, Université Internationale de Rabat

Examineurs :

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

Pr. Ahmed El Akkary, PES, EST-Salé, Université Mohammed V de Rabat

Résumé :

Récemment, la hausse significative des émissions de gaz à effet de serre, principalement générée par les véhicules à moteur à essence, a exacerbé les problématiques énergétiques mondiales en raison de la distribution limitée et inégale des réserves de combustibles fossiles. En réponse, les gouvernements et les communautés internationales ont préconisé des alternatives énergétiques plus propres, les véhicules électriques (VE) étant en tête de file pour établir un écosystème de transport à faibles émissions de carbone. Cependant, l'adoption généralisée des VE se heurte à des obstacles tels que des coûts initiaux élevés, une infrastructure de recharge limitée, des temps de recharge prolongés et une autonomie restreinte, suscitant des inquiétudes, notamment en ce qui concerne "l'anxiété liée à l'autonomie". Dans le cadre de cette étude, nous avons développé un modèle complet d'un véhicule électrique, en l'occurrence la Renault Zoe Q210, en utilisant des modèles basés sur le Blockset Powertrain et des équations mathématiques. Ce modèle englobe des composants essentiels tels que le moteur électrique, l'électronique de commande, les batteries hautes et basses tensions, la transmission et la dynamique longitudinale du véhicule. Grâce à cette modélisation, nous avons réalisé des simulations exhaustives et des tests de performance dans diverses conditions de conduite et environnementales. De plus, nous avons entrepris une exploration comparative des techniques de contrôle de vitesse des machines synchrones à aimants permanents (PMSM), en comparant les contrôleurs conventionnels à des équivalents basés sur l'intelligence artificielle, tels que le contrôleur flou, le contrôleur neuronal, et des combinaisons hybrides. Notre évaluation a porté sur des aspects tels que la vitesse, la précision, la robustesse et la capacité de rejection des perturbations. De plus, nous avons effectué un examen approfondi et une comparaison des divers modèles d'apprentissage automatique pour l'estimation de l'état de charge de la batterie à savoir : les régressions linéaires, les machines à vecteurs de support, les techniques d'ensemble comme l'ensemble bagging et le boosting, et les régressions par processus gaussien. Ces évaluations ont été menées à l'aide d'une batterie LG HG2 de 3 Ah de type NMC, testée dans des conditions de température et de conduite différentes, en mettant l'accent sur la précision et la robustesse. Pour faciliter notre recherche, nous avons conçu et développé un simulateur de VE avec MATLAB/Simulink. Cet outil nous a permis de prédire et d'analyser la consommation d'énergie des véhicules électriques dans des conditions de conduite réelles, avec la Renault Zoe Q210 comme étude de cas. Pour étayer notre modélisation de la consommation d'énergie, nous avons généré un jeu de données synthétique comprenant la puissance mécanique aux roues et les besoins en énergie de la batterie correspondants dans diverses conditions de conduite, notamment des pentes, des topographies de route, des charges supplémentaires et des variations de la vitesse du vent. De plus, nous avons utilisé une application Android pour mesurer et enregistrer les données du réseau de communication du véhicule (CAN) via un contrôleur embarqué (OBD). Les données du CAN ont fourni des informations cruciales sur le couple, la force des roues, la vitesse du véhicule, la tension et le courant de la batterie. Nous avons utilisé ces données expérimentales pour calculer les fonctions de freinage régénératif

instantané lors de la décélération, avec ou sans application de frein, et pour déterminer l'efficacité de la régénération du freinage en fonction du niveau de décélération final.

Mots-clés : Véhicules électriques, anxiété liée à l'autonomie, dynamique longitudinale des véhicules, commande de vitesse PMSM, modèles d'apprentissage automatique, estimation de l'état de charge, simulateur de VE, modélisation de la consommation d'énergie, fonction de freinage régénératif instantané.

Abstract:

In recent years, the significant increase in greenhouse gas emissions, largely originating from fossil fuel-driven vehicles, has worsened global energy issues due to the limited and unequal distribution of fossil fuel resources. In response, governments and international communities have advocated cleaner energy alternatives, with electric vehicles (EVs) leading the charge towards establishing a low-carbon transportation ecosystem. Nonetheless, the widespread adoption of EVs confronts hurdles like high initial costs, limited charging infrastructure, extended charging durations, and restricted driving ranges, giving rise to concerns, notably "range anxiety". In this study, we developed a comprehensive model of a real EV, specifically the Renault Zoe Q210, using Powertrain Blockset and equation-based models. This model encompasses essential components like the electric motor, drive electronics, high and low-voltage batteries, driveline, transmission, and longitudinal vehicle dynamics. Through this modeling, we conducted exhaustive simulations and performance tests across a range of driving and environmental scenarios. Furthermore, we embarked on a comparative exploration of PMSM speed control techniques, contrasting conventional controllers with AI-based counterparts, such as the fuzzy controller, neural controller, and hybrid combinations. Our assessment considered factors like speed, accuracy, robustness, and disturbance rejection. In addition, we conducted a thorough review and comparison of various machine learning models for battery state of charge estimation, including Linear Regression (LR), Support Vector Machine (SVM), ensemble techniques like ensemble bagging (eBag) and boosting (eboost), and Gaussian Process Regression (GPR). These evaluations were conducted using a 3 Ah LG HG2 NMC battery cell tested under different temperatures and driving conditions, focusing on accuracy and robustness. To facilitate our research, we designed and built an EV simulator within MATLAB/ Simulink. This simulator enables us to predict and analyze the energy consumption of electric vehicles under real-world driving conditions, with the Renault Zoe Q210 serving as a case study. To underpin our energy consumption modeling, we generated a synthetic dataset encompassing mechanical power at the wheels and the corresponding battery power requirements across diverse driving conditions. This dataset covered a wide array of scenarios, including slope angles, road topography, additional loads, and variable wind speeds. Furthermore, we harnessed an Android application to measure and record data from the vehicle's controller area network (CAN) via an onboard controller (OBD).



جامعة محمد الخامس بالرباط
Université Mohammed V de Rabat

The CAN data provided crucial insights into torque, wheel force, vehicle speed, battery voltage, and current. We employed this experimental data to calculate instantaneous regenerative braking functions during deceleration, both with and without brake application. This analysis also enabled the determination of regenerative braking power efficiency relative to the final deceleration level.

Keywords: Electric vehicles, range anxiety, longitudinal vehicle dynamics, PMSM speed control, machine learning models, state of charge estimation, EV simulator, energy consumption modelling, instantaneous regenerative braking function.