

THÈSE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITÉ

ÉCOLE DOCTORALE N° 641
*Mathématiques et Sciences et Technologies
de l'Information et de la Communication*
Spécialité : *Génie Electrique*

Par

Ahmad Eid EL IALI

**Optimisation énergétique multi-objectif d'un véhicule électrique
rechargeable à pile à combustible**

Thèse présentée et soutenue à l'IREENA, Saint Nazaire, le 12 Janvier 2026
Unité de recherche : Laboratoire IREENA UR4642

Rapporteurs avant soutenance :

Damien GUILBERT Professeur des universités, GREAH, Université Le Havre Normandie
Clovis FRANCIS Enseignant-Chercheur HDR, ENSAM, Châlons-en-Champagne

Composition du Jury :

Attention, en cas d'absence d'un des membres du Jury le jour de la soutenance, la composition du jury doit être revue pour s'assurer qu'elle est conforme et devra être répercutée sur la couverture de thèse

Président :	Prénom NOM	Fonction et établissement d'exercice (à préciser après la soutenance)
Examineurs :	Reine TALJ	Directrice de Recherche CNRS, HDS, UTC
	Jean-Christophe OLIVIER	Professeur des universités, IREENA, Nantes Université
	Jean-Paul GAUBERT	Professeur des universités, ENSI Poitiers
Dir. de thèse :	Mohamed MACHMOUM	Professeur des universités, IREENA, Nantes Université
Co-encadrant. de thèse :	Moustapha DOUMIATI	Enseignant-Chercheur, ESEO-IREENA

Invité(s) :

Lamya BELHAJ Responsable des centres techniques EMEA, PhD, Stellantis

Titre : Optimisation énergétique multi-objectif d'un véhicule électrique rechargeable à pile à combustible

Mot clés : Vehicules électriques hybrides rechargeables (PFCEV), dimensionnement multi-objectif, gestion d'énergie temps réel, vieillissement, logique floue, algorithme génétique, programmation quadratique.

Résumé : Intégrée au projet ANR V3EA (Véhicule Électrique, Économe en Énergie et Autonome), cette thèse propose un cadre global d'optimisation énergétique pour véhicules électriques autonomes hybrides en tenant compte du vieillissement des sources embarquées. L'étude porte sur une architecture PFCEV (batterie rechargeable, pile à combustible hydrogène, supercondensateur). Le premier axe présente un dimensionnement intégré en deux niveaux (algorithmes génétiques + programmation quadratique) générant des fronts de Pareto conciliant les coûts d'investissement, les coûts de conduite, émissions

de CO₂ et dégradation des sources. Le second axe conçoit des EMS temps réel — un optimiseur prédictive RT-QP en horizon récurrent et un contrôleur flou optimisé par GA — appuyés par une planification SoC basée sur GPS, avec inclusion de modèles de vieillissement pour préserver la durée de vie. Les simulations numériques, réalisées à l'aide de cycles de conduite normalisés, montrent que l'approche conjointe améliore l'efficacité énergétique, réduit les coûts opérationnels et ralentit le vieillissement par rapport aux architectures classiques.

Title: Multi-objective energy optimization of a plug-in fuel cell electric vehicle

Keywords: Plug-in fuel cell electric vehicle (PFCEV), multi-objective sizing, real-time energy management, aging, fuzzy logic, genetic algorithm, quadratic programming.

Abstract: Within the ANR V3EA (Electric Vehicle, Efficient in Energy and Autonomous) project, this thesis presents a unified framework for energy optimization of hybrid autonomous electric vehicles that explicitly accounts for the aging of onboard sources. Focusing on a PFCEV combining a rechargeable battery, a hydrogen fuel cell and a supercapacitor, the work introduces an integrated two-level sizing method (genetic algorithms + quadratic programming) that yields Pareto fronts balancing investment costs, driv-

ing costs, CO₂ emissions and degradation. It also develops real-time EMS solutions — a predictive receding-horizon RT-QP and a GA-tuned fuzzy controller — both aided by GPS-based SoC trajectory planning, with aging models embedded to preserve lifetime. Numerical tests across, carried out using standardized driving cycles, show the combined sizing-control approach improves energy efficiency, lowers operational costs and slows aging versus conventional architectures.