



## Avis de Soutenance

Monsieur Huan LI

Présentera ses travaux en soutenance

Soutenance prévue le **vendredi 07 décembre 2018** à 13h00  
Lieu : UTBM site de Sévenans rue de Leupe 90400 SEVENANS  
salle Amphi P 228

Titre des travaux : Minimisation de la consommation d'énergie des véhicules hybrides à pile à combustible

Ecole doctorale : SPIM - Sciences Physiques pour l'Ingénieur et Microtechniques

Section CNU : 63

Unité de recherche : FEMTO-ST Franche Comté Electronique Mécanique Thermique et Optique - Sciences et Technologies

Directeur de thèse : Abdesslem DJERDIR

Codirecteur de thèse :  HDR  NON HDR

Soutenance :  Publique  A huis clos

Membres du jury :

<u>Nom</u>	<u>Qualité</u>	<u>Etablissement</u>	<u>Rôle</u>
M. Abdesslem DJERDIR	Maître de Conférences	Université Bourgogne - Franche-Comté	Directeur de these
M. Mohamed BENBOUZID	Professeur des Universités	universités au LBMS (Laboratoire Brestois de Mécanique et des Systèmes) IUT de Brest	Rapporteur
M. Demba DIALLO	Professeur des Universités	universités au GeePs (Génie Electrique et Electronique de Paris). CentraleSupelec	Rapporteur
M. Alexandre RAVEY	Maître de Conférences	FEMTO	CoDirecteur de these
M. Damien GUILBERT	Maître de Conférences	IUT de Longwy	Examineur
M. Abdoul N'DIAYE	DOCTEUR / INGENIEUR	FEMTO	Examineur
Mme Delphine RIU	Professeur des Universités	G2Elab (Grenoble Electrical Engineering Laboratory) ENSE3	Examineur
M. Rachid OUTBIB	Professeur des Universités	Université Aix-Marseille	Examineur

## Résumé de la thèse (en français) :

Le réchauffement climatique, la pollution de l'environnement et l'épuisement des énergies pétrolières ont attiré l'attention de l'humanité dans le monde entier. Les véhicules électriques hybrides à pile à combustible (FCHEV), utilisant l'hydrogène comme carburant et n'émettant aucune émission, sont considérés par les organismes publics et privés comme l'un des meilleurs moyens de résoudre ces problèmes. Cette thèse de doctorat considère un FCHEV avec trois sources d'énergie: pile à combustible, batterie et supercondensateur, ce qui complique l'élaboration d'une stratégie de gestion de l'énergie (EMS) pour répartir la puissance entre différentes sources d'alimentation. Parmi les méthodes de gestion de l'énergie de la littérature actuelle, la stratégie de minimisation de la consommation équivalente (ECMS) a été sélectionnée car elle permet une optimisation locale sans connaissance préalable des conditions de conduite et cela en donnant des résultats optimaux. En raison de la faible densité énergétique du supercondensateur, sa consommation équivalente d'hydrogène est négligée dans la plupart des références bibliographiques, ce qui va non seulement à l'encontre de l'objectif de minimiser la consommation totale d'hydrogène, mais accroît également la complexité du système EMS en raison du besoin d'un système EMS supplémentaire pour calculer la demande en puissance du supercondensateur. Ainsi, une stratégie ECMS à programmation quadratique séquentielle (SECMS) est proposée pour prendre en compte le coût énergétique des trois sources d'énergie dans la fonction objectif. Une stratégie de contrôle basée sur des règles (RBCS) et une stratégie hybride (HEOS) a été également conçues pour être comparée à SECMS. La dégradation des sources d'énergie représente un défi majeur pour la stabilité du système SECMS développé. Basé sur l'estimation en ligne de l'état de santé de la pile à combustible et de la batterie, le système ECMS adaptatif (AECMS) a été implémenté en ajustant le facteur équivalent et le taux de changement dynamique de la pile à combustible. Les résultats de la simulation montrent que l'AECMS peut assurer le maintien de la charge de la batterie et l'augmentation de la durabilité de la pile à combustible. Pour valider les algorithmes de gestion de l'énergie et les modèles numériques proposés, un banc d'essai expérimental a été construit autour de l'interface temps réel DSPACE. La comparaison des résultats de la simulation numérique et des résultats expérimentaux a montré que le système SECMS proposé fonctionne à un rendement maximal, que le supercondensateur fournit la puissance de pointe et que la batterie fonctionne comme un tampon d'énergie. Il a été prouvé que la négligence de la consommation d'hydrogène équivalente au supercondensateur dans l'ECMS conduit à un fonctionnement non optimal. Comparé à RBCS et HEOS, la SECMS a le moins d'hydrogène consommé et le courant de pile à combustible le plus stable.

## Abstract (in English)

Global warming, environment pollution and exhaustion of petroleum energies have risen their attention of the humanity over the world. Fuel cell hybrid electric vehicle (FCHEV) taking hydrogen as fuel and have zero emission, is thought by public and private organisms as one of the best ways to solve these problems. This PhD dissertation consider a FCHEV with three power sources: fuel cell, battery and supercapacitor, which increases the difficult to design an energy management strategy (EMS) to split the power between the different power sources. Among the EMS available in the current literature, the Equivalent consumption minimization strategy (ECMS) was selected because it allows a local optimization without rely on prior knowledge of driving condition while giving optimal results. Due to low energy density of supercapacitor, its equivalent hydrogen consumption is neglected in most bibliographic references, which not only counter to the aim of minimizing whole hydrogen consumption but also increase the complication of EMS due to the need of an additional EMS to calculate supercapacitor power demand. Thus, a sequential quadratic programming ECMS (SECMS) strategy is proposed to consider energy cost of all three power sources into the objective function. A rule based control strategy (RBCS) and hybrid strategy (HEOS) are also designed in order to to be compared with SECMS. Degradation of energy sources represents a major challenge for the stability of the developed SECMS system. So, based on online estimating state of heath of fuel cell and battery, an adaptive ECMS (AECMS) has been designed through adjusting the equivalent factor and dynamical change rate of fuel cell. The simulation results show that the AECMS can ensure the charge sustenance of battery and the increase of fuel cell durability. To validate the proposed energy management algorithms and the numerical models an exerimental test bench has been built around the real time interface DSPACE. The comparison of the simulation and experimental results showed that the proposed SECMS is operated at around maximum efficiency, supercapacitor supplies peak power, battery works as the energy buffer. It has been proved that the neglect of supercapacitor equivalent hydrogen consumption in ECMS leads to not optimal operation. Compared with RBCS and HEOS, SECMS has least hydrogen consumption and most stable fuel cell current.