

**Titre de la thèse :** Poursuite du point d'efficacité maximum pour un système à pile à combustible

**Laboratoire d'accueil :** FEMTO-ST

**Spécialité du doctorat préparé :** Génie Electrique

**Mots-clefs :** Pile à combustible, MPPT, hydrogène, convertisseur, vieillissement

**Descriptif détaillé de la thèse :**

**Introduction / contexte :**

L'équipe SHARPAC travaille depuis de nombreuses années sur le sujet du diagnostic des systèmes pile à hydrogène, dans le contexte de leur vieillissement calendaire et d'usage. Par ailleurs, en s'intéressant au système pile à hydrogène dans son intégralité (incluant donc les auxiliaires nécessaires à son fonctionnement : convertisseur statique, alimentation en air, système de refroidissement, alimentation en hydrogène, ...) il en ressort que, pour un point de fourniture énergétique donnée, un point de fonctionnement optimisé d'un point de vue de la consommation énergétique primaire d'hydrogène, peut être obtenu. L'équipe SHARPAC travaille également depuis plusieurs années sur l'association de plusieurs systèmes pile à hydrogène, en série ou en parallèle, en vue de la montée en puissance grâce à la modularité de ces objets.

En faisant la synthèse de ces travaux de recherche, couplée à des essais expérimentaux, il semble aujourd'hui possible de pouvoir définir un suivi du point de fonctionnement d'un système pile à hydrogène, en fonction de son vieillissement d'usage et calendaire, en optimisant la consommation énergétique primaire d'hydrogène, pour une fourniture énergétique donnée en sortie du système pile à hydrogène.

A notre sens, de tels travaux, confortés par l'expérimentation, n'existent pas encore à l'échelle internationale. Il s'agit donc de travaux complètement prospectifs, nous permettant de conserver notre avance dans ce domaine scientifique en pleine effervescence.

Le travail se déroulera également dans le cadre d'un nouveau projet international de recherche avec l'Université de Sydney en Australie (UNSW), en lien avec le réseau international de recherche CNRS FACES.

**Travaux envisagés :**

Ce travail de thèse sera décomposé en plusieurs étapes :

- T0 → T0 + 6 mois : analyse bibliographique, synthèse des travaux déjà effectués au sein du laboratoire sur les différents sujets (diagnostic PAC, vieillissement PAC, système PAC et son vieillissement, segmentation de puissance, etc.).
- T0 + 6 mois → T0 + 18 mois : définition, réalisation et validation (y compris expérimentale) des modèles du système pile à hydrogène (en version faible puissance, refroidissement à air, et en version plus forte puissance, refroidissement à eau). L'outil logiciel utilisé sera Matlab/Simulink. Intégration du vieillissement dans les modèles.

- T0 + 18 mois → T0 + 30 mois : définition et optimisation (versus la consommation primaire d'hydrogène, pour une fourniture énergétique donnée) du contrôle du système pile à hydrogène considéré. Différents cas seront étudiés (selon leur niveau de puissance, leur niveau d'hybridation électrique, leur niveau de segmentation de puissance).
- T0 + 30 mois → T0 + 36 mois : validation expérimentale sur des systèmes pile à hydrogène de puissance réduite. Rédaction du manuscrit final de thèse.

De manière plus générale, les attendus en termes de publications et communications scientifiques seront fixés à 2 publications dans des revues internationales de très bon niveau, ainsi qu'à 3 communications scientifiques dans des conférences internationales avec actes.

#### **Références bibliographiques :**

- [1] M. Becherif, D. Hissel, MPPT of a PEMFC based on air supply control of the motocompressor group, International Journal of Hydrogen Energy, vol. 35, pp. 12521-12530, 2010.
- [2] D. Herrera Vega, N. Marx, L. Boulon, A. Hernandez, Maximum efficiency point tracking for hydrogen fuel cells, IEEE 27th Canadian conference on electrical and computer engineering, Toronto, Canada, 2014.
- [3] Callegaro L., Konstantinou G., Rojas C.A., Avila N.F., Fletcher J.E., Testing Evidence and Analysis of Rooftop PV Inverters Response to Grid Disturbances, IEEE Journal of Photovoltaics, Vol. 10, No. 6, pp. 1882-1891
- [4] Callegaro L., Ciobotaru M., Pagano D.J., Fletcher J.E., Feedback linearization control in photovoltaic module integrated converters, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 34, No. 7, 2019, pp.6876-6889
- [5] Callegaro L., Ciobotaru M., Pagano D.J., Fletcher J.E., Control design for photovoltaic power optimizers using bootstrap circuit, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 34, No. 1, 2019, pp 232-242

#### **Profil demandé :**

Titulaire de diplôme d'Ingénieur ou de Master, avec une solide formation en Génie Electrique et Automatique.

Des connaissances en Matlab, Labview, Arduino, capteurs seraient appréciées.

Très bonne connaissance de la langue anglaise, à l'oral et à l'écrit.

Motivé(e) et apte à travailler en équipe comme en autonomie.

#### **Financement :** Contrat doctoral établissement

Dossier à envoyer pour le XXX (le plus tôt possible)

Début du contrat : octobre 2021

#### **Direction / codirection de la thèse :**

Mohamed BECHERIF (UTBM, FEMTO-ST/ENERGIE, FCLAB)

mohamed.becherif@utbm.fr

Daniel HISSEL (Université de Franche-Comté, FEMTO-ST/ENERGIE, FCLAB)

daniel.hissel@univ-fcomte.fr

**PhD title: Towards Maximum Efficiency Point Tracking of PEM fuel cell systems**

**Host laboratory: FEMTO-ST**

**Speciality of PhD:** Electrical engineering

**Keywords:** Proton exchange membrane fuel cell, MPPT, hydrogen, power converter, aging

**Job description:**

Optimal fuel consumption is required for any fuel powered power system. Regarding especially proton exchange membrane fuel cell systems (dedicated to stationary or transport applications), high efficiency can only be achieved over a narrow band of the power range. Operating the fuel cell system within this narrow band at the maximum efficiency point [1][2] is then critical and key to maximize the performances of the whole fuel cell system. However, the maximal efficiency point is evolving in real time as the operating conditions vary. Parameters such as operating temperature, operating gas pressures, and operating humidity are factors that affect the maximum efficiency point. Moreover, this maximum efficiency point is also varying when the system is aging (calendar and usage aging). Thus, an approach for developing MEPT (Maximum Efficiency Point Tracking) strategies, inspired by MPP tracking systems for renewable sources such as PV [3-5] panels and wind generation that are used to follow their maximum power point could be useful on the way of implementing fuel cell systems.

**Framework:**

This PhD will be a support to a new collaboration between UBFC (France) and UNSW (Australia) in the framework of the CNRS FACES international research network.

**References :**

- [1] M. Becherif, D. Hissel, MPPT of a PEMFC based on air supply control of the motocompressor group, International Journal of Hydrogen Energy, vol. 35, pp. 12521-12530, 2010.
- [2] D. Herrera Vega, N. Marx, L. Boulon, A. Hernandez, Maximum efficiency point tracking for hydrogen fuel cells, IEEE 27th Canadian conference on electrical and computer engineering, Toronto, Canada, 2014.
- [3] Callegaro L., Konstantinou G., Rojas C.A., Avila N.F., Fletcher J.E., Testing Evidence and Analysis of Rooftop PV Inverters Response to Grid Disturbances, IEEE Journal of Photovoltaics, Vol. 10, No. 6, pp. 1882-1891
- [4] Callegaro L., Ciobotaru M., Pagano D.J., Fletcher J.E., Feedback linearization control in photovoltaic module integrated converters, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 34, No. 7, 2019, pp.6876-6889

[5] Callegaro L., Ciobotaru M., Pagano D.J., Fletcher J.E., Control design for photovoltaic power optimizers using bootstrap circuit, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 34, No. 1, 2019, pp 232-242

**Candidate Profile:**

Master degree (or equivalent) in electrical engineering or automatic control.

English is mandatory (written and oral)

Skills in Matlab, Labview, Arduino and sensors would be a plus.

Motivated and able to work in a team as well as being autonomous.

**Financing Institution:** 3-year doctoral contract

**Application deadline:** xxx (The earlier is the best)

**Start of contract:** october 2021

**Supervisor(s):**

Mohamed BECHERIF (UTBM, FEMTO-ST/ENERGIE, FCLAB)

mohamed.becherif@utbm.fr

Daniel HISSEL (UFC, FEMTO-ST/ENERGIE, FCLAB)

daniel.hissel@univ-fcomte.fr