



HAL
open science

La gestion thermique dans les piles à combustible PEMFC

Bouziane Mahmah, Abdelhamid Mraoui, Maiouf Belhamel, Hocine Ben
Moussa, Abdel-Nasser Cherigui

► **To cite this version:**

Bouziane Mahmah, Abdelhamid Mraoui, Maiouf Belhamel, Hocine Ben Moussa, Abdel-Nasser Cherigui. La gestion thermique dans les piles à combustible PEMFC. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. 5p. hal-00167350

HAL Id: hal-00167350

<https://hal.science/hal-00167350>

Submitted on 29 Aug 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LA GESTION THERMIQUE DANS LES PILES A COMBUSTIBLE PEMFC

Bouziane MAHMAH^(*), Abdelhamid M'RAOUI^(*), Maïouf BELHAMEL^(*),
Hocine BENMOUSSA^(**), Abdel-Nasser CHERIGUI^(***)

^(*) Centre de Développement des Energies Renouvelables.

BP. 62 Route de l'Observatoire. Bouzaréah ; Alger – (Algérie)

^(**) Université Hadj Lakhdar de Batna, rue Chahid Boukhrouf – Batna (Algérie)

^(***) Université Joseph Fourier de Grenoble (France)

mah2bouziane@gmail.com - *mah2pemfc@yahoo.fr*

Résumé : Dans la pile à combustible à membrane échangeuse de protons PEMFC, certaines difficultés techniques restent à surmonter pour convaincre les principaux acteurs de l'intérêt du développement d'une économie de l'hydrogène, tels que la gestion de la chaleur et de l'eau dans la cellule, le module de stack et le système de cette pile PEMFC. En réalité, les piles à combustible sont formées d'un empilement de cellules élémentaires (stack) connectées en série afin d'obtenir des puissances plus élevées. Les stacks peuvent être composés au maximum d'une centaine de cellules, une augmentation du nombre de cellules engendre des difficultés pour la gestion thermique. Cet article présente une approche électrochimique pour comprendre la cinétique d'échauffement qui est trop important dans certaines parties (régions) de la pile et pour réduire les contraintes thermiques manifestées.

Mots clés : Pile à combustible, PEMFC, Hydrogène, Gestion thermique,

1. INTRODUCTION

Un élément nouveau est apparu dans la définition de la branche de thermique, depuis, l'interdisciplinarité naturelle de cette branche qui est maintenant intégrée par la prise en compte des différents couplages, l'exemple de la pile à combustible à membrane échangeuse de protons PEMFC qui présente le couplage (chaleur/espèces/charges électrique) [1]. Aussi, la pile PEMFC a récemment attiré une attention significative comme générateur d'énergie potentiel dans des applications multiples, et de nombreux avantages énergétiques et environnementaux sont attribués à cette technologie. Toutefois, certains problèmes techniques tels que la gestion de la chaleur et de l'eau dans la cellule, le module de stack et le système de cette pile PEMFC restent à surmonter pour convaincre les principaux acteurs de l'intérêt du développement d'une économie de l'hydrogène [2].

1.1. Etude phénoménologique du transfert thermique dans une cellule PEMFC

Dans la pile à combustible PEMFC, la quantité d'énergie produite (électrique et thermique) dépend fortement des conditions de fonctionnement, ainsi que, une grande quantité d'énergie thermique a pu être retenue dans l'électrolyte polymère de la pile, donc, il est nécessaire d'évacuer cette chaleur au niveau des plaques bipolaires pour éviter un échauffement trop important, qui peut mener à des problèmes de conductance [3]. Les divers phénomènes qui sont responsables de production de la chaleur par les cellules de piles à combustible sont: l'effet Joule dû à la résistivité protonique de la membrane [4], les réactions électrochimiques aux électrodes, et la sorption ou la désorption d'eau. Les sources de chaleur apparaissant aux interfaces (membrane/diffuseur de gaz) se composent de trois contributions:

Une part réversible correspondant aux demi-réactions d'oxydation de l'hydrogène à l'anode et de réduction de l'oxygène à la cathode, et pour surmonter les difficultés rencontrées dans de la littérature pour cette partie, dans notre travail on a assumés que l'oxydation d'hydrogène est isotherme, basons sur le modèle unidimensionnel isotherme de Springer, et al. (1991). Une part irréversible associée aux surtensions aux électrodes, ces surtensions qui se manifestent aux électrodes sont présentées dans le modèle semi-empirique d'Amphlett, et al. (1994-2002). Et enfin une part correspondant aux phénomènes de sorption ou la désorption de l'eau dans la membrane et aux interfaces (membrane/diffuseurs de gaz). [5]

1.2. Approche électrochimique

L'objectif de cette étude est de présenter une approche électrochimique basée sur un couplage de deux modèles unidimensionnels (le modèle de Springer, et al. (1991)) [6] et le modèle semi-empirique d'Amphlett, et al. (1994, 1995, 1996, 1998, 2000 et 2002).

2. EXPERIMENTATION

2.1. Dispositif Expérimental

Pour valider le nouveau modèle numérique couplé, nous avons procédé à des tests expérimentaux dans le Laboratoire d'Hydrogène Énergie au Centre de Développement des Energies Renouvelables (Algérie) sur des cellules unitaires et d'autres cellules identiques dans un assemblage en série de deux (02) et de quatre (04) cellules type PEMFC. Les paramètres de ces piles sont présentés dans le tableau-1, le dispositif expérimental est présenté dans la figure-1 et les résultats de l'expérimentation sont présentés dans les figures 2, 3 et 4.

Paramètres	Values	Unit	Paramètres	Values	Unit
n	4	-	RC	0,0003	Ω
A	16	cm^2	B	0,016	V
δ	230	μm	ζ_1 [Théorique]	- 0,948	V
T	303,15	K	ζ_1 [Expérimental]	- 1,053	V
P_{anode}	0,01	atm	λ	14	$mol(H_2O)/mol(SO_3)$
P_{cath}	0,02	atm	J_{max}	0,069	A/cm^2

Tableau 1 : Paramètres de la pile à combustible [H-TEC PEMPower1 FuelCell] utilisée.

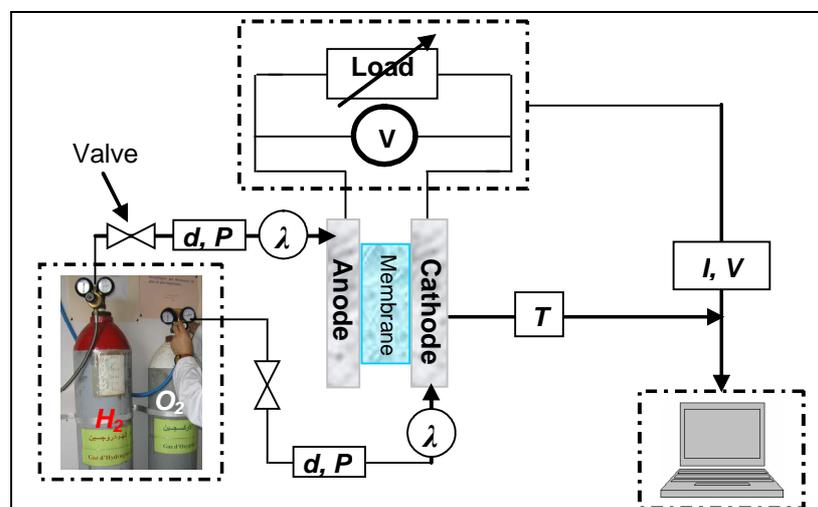


Figure 1: Dispositif expérimental (T : Température, P: pression, d: flux, et λ : humidification)

2.2. Résultats Expérimentaux

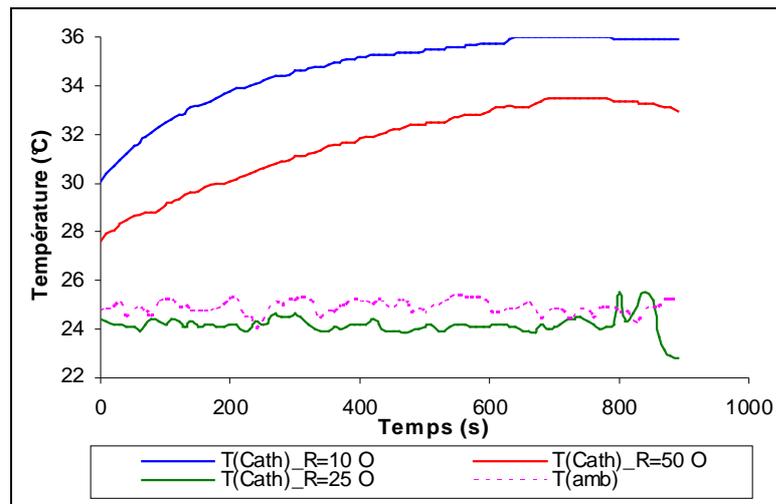


Figure 2 : Expérience effectuée d'une pile PEMFC unitaire avec trois charges $R=10, 25, 50 \Omega$

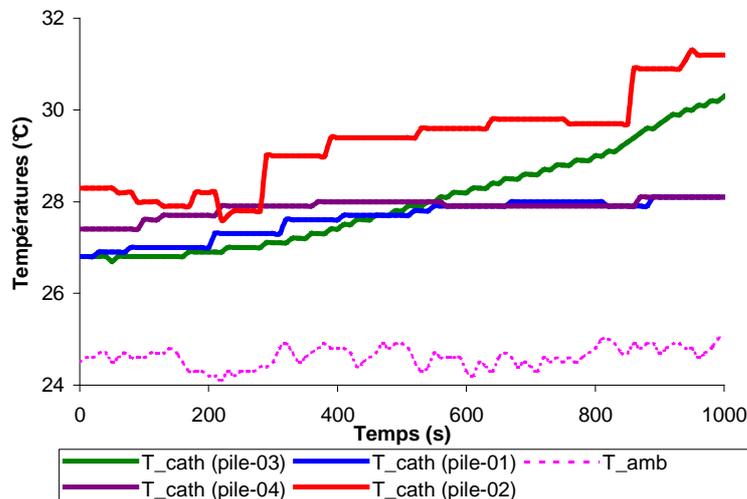


Figure 3 : Expérience effectuée pour quatre piles PEMFC en série avec une charge de $R=10 \Omega$

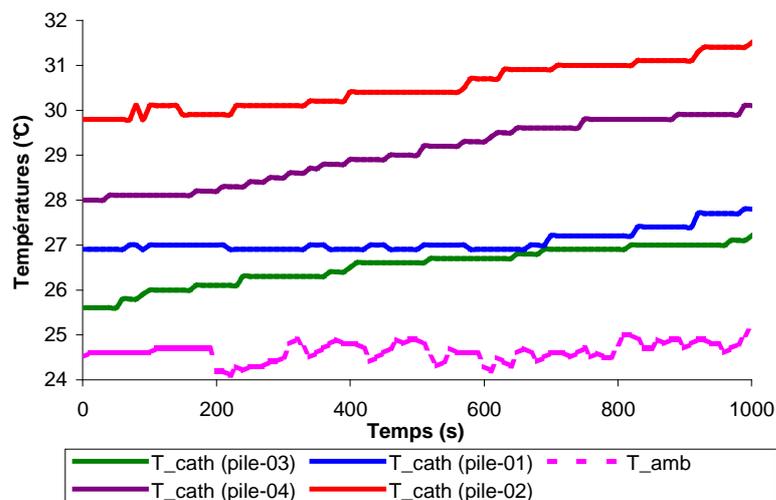


Figure 4 : Expérience effectuée pour quatre piles PEMFC en série avec une charge de $R=25 \Omega$

3. MODELISATION NUMERIQUE

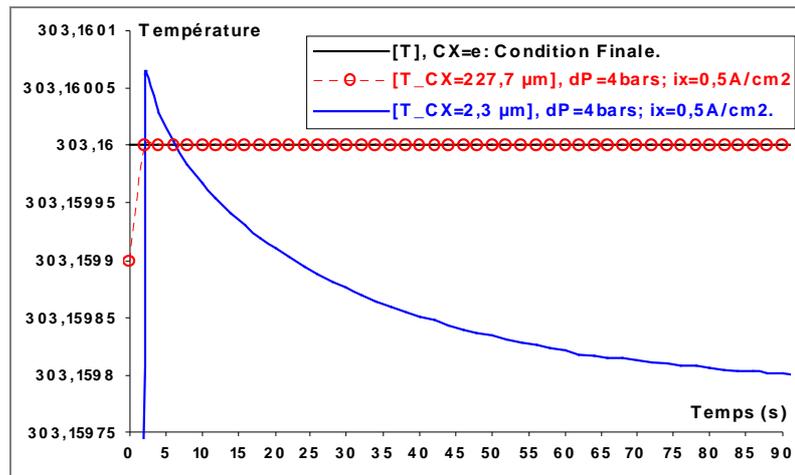


Figure 5 : Profils d'état de $T=30^{\circ}\text{C}$ aux bornes de l'épaisseur de la membrane

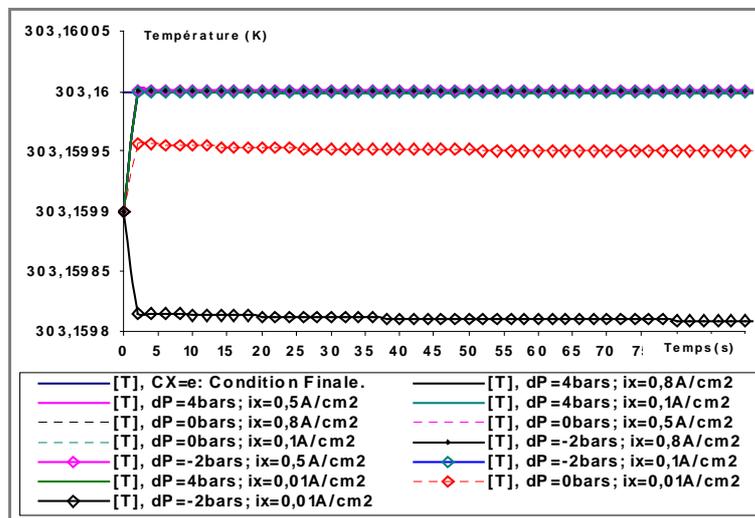


Figure 6: Profils de distribution de $T=30^{\circ}\text{C}$ au côté cathodique de la membrane

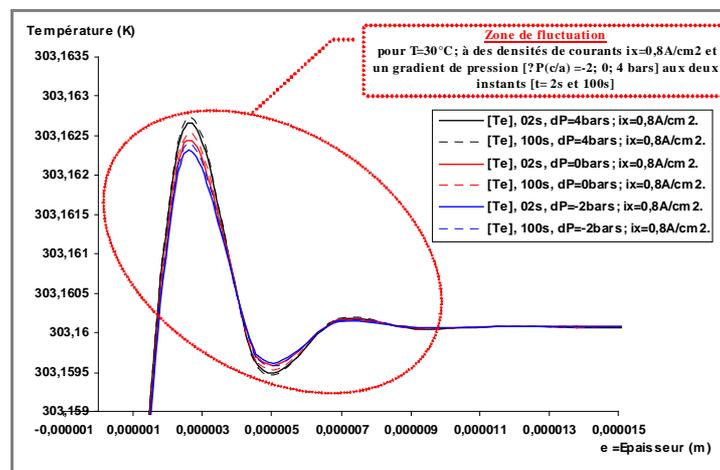


Figure 7 : Zones de fluctuation de $T=30^{\circ}\text{C}$; à des densités de courants élevées, à $[t= 2\text{s}, 100\text{s}]$

4. DISCUSSION

Des expériences effectuées pour déterminer le comportement thermique de la pile à son état dynamique. Quelques résultats de ces travaux expérimentaux, qui sont présentés sur les figures (du 02 au 07) indiquent :

- Les profils de températures présentent globalement la même allure par rapport à l'ambiante pour toutes les descriptions, dont quelques exemples sont donnés sur les figures (02, 03 et 04).
- La température du gaz influence sur la température diffusée dans les plaques bipolaires, et puis, l'excès de gaz sera lui aussi influencé par la température ce qui résulte un état d'échauffement dans la pile. En conséquence, les différences de température entre la température de fonctionnement de la pile (25°C à 90 °C) et la température ambiante (0 à 35 °C) sont un paramètre d'influence notable.
- Une conclusion importante est que les mesures de température effectuées directement sur les plaques bipolaires ne permettent pas une bonne évaluation de la température du cœur de pile.
- Les fluctuations thermiques présentées sur les figures (05 et 07), on peut les expliquer par la formation des puits transitoires de chaleur localisés au niveau de l'anode, causés par l'état de l'eau dans cette région et de l'effet de parois aux interfaces des compartiments de la cellule et aussi liées aux différents phénomènes physico-chimiques révélant des processus très variés au niveau des électrodes. La figure 5 présente aussi que le comportement de la température se stabilise rapidement du côté cathodique, au contraire du côté anodique où il remporte deux étapes au débit le profil de la température se produit rapidement sous forme d'un pic, puis il chute et l'écart avec l'état thermique de la cathode augmente.
- la confrontation de la simulation du couplage des deux modèles avec l'expérimentation, permettre d'avoir une bonne compréhension du phénomène thermique manifeste dans la pile et de présenter un protocole paramétrique pour une bonne gestion de la chaleur.

5. CONCLUSION

La complexité des phénomènes de transfert thermique est une réalité qui rend toujours l'estimation des quantités de chaleur distribuées dans les différentes parties de pile difficile. Ainsi que, la gestion thermique dans la pile à combustible est bien évidemment interdépendante avec la gestion de l'eau et se figure comme une tâche très compliquée et persiste toujours dans la littérature comme une problématique qui demande des approches extrêmement révolutionnaires pour conquérir les incertitudes !!!.

Références

- [1] SFT. "Livre blanc : la recherche en thermique, enjeux et perspectives en 2005". V 3, 2005.
- [2] C. Bao, M. Ouyang and B. Yi. "Analysis of the water and thermal management in proton exchange membrane fuel cell systems". Int. J. Hydrogen Energy 31 (1040 – 1057) 2006.
- [3] D. C. SEEL. "Thermal management issues and options for heat utilization in fuel cell system design applications". Rensselaer Polytechnic Institute. 12/2006.
- [4] B. MAHMAH, A. M'RAOUI, M. BELHAMEL et H. BENMOUSSA. "Analyse numérique de diffusion de chaleur dans une membrane échangeuse de protons (Nafion 117) de pile a combustible". 12^{èmes} JITH, Tanger – Maroc, 15-17 Novembre 2005.
- [5] J. RAMOUSSE, J. DESEURE, O. LOTTIN and S. DIDIERJEAN. "Modelling of heat, mass and charge transfer in a PEMFC single cell". J. Power Sources 145 (416–427) 2005.
- [6] B. MAHMAH et al. "Simulation numérique unidimensionnelle du phénomène de transfert de chaleur et de transport de masse et charge dans une pile à combustible à membrane échangeuse de protons". 11^{èmes} JITH, Alger, 21-23 Juin 2003.