



HAL
open science

Multi modélisation des phénomènes thermiques dans les piles type SOFC planaire

Hocine Ben Moussa, Bariza Zitouni, Kafia Oulmi, Slimane Saighi

► **To cite this version:**

Hocine Ben Moussa, Bariza Zitouni, Kafia Oulmi, Slimane Saighi. Multi modélisation des phénomènes thermiques dans les piles type SOFC planaire. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. 5p. <hal-00164705>

HAL Id: hal-00164705

<https://hal.science/hal-00164705v1>

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.



HAL Authorization

MULTI MODELISATION DES PHENOMENES THERMIQUES DANS LES PILES TYPE SOFC PLANAIRE

¹Hocine BEN MOUSSA, ¹Bariza ZITOUNI, ²Kafia OULMI, ¹Slimane SAIGHI

¹Laboratoire d'étude des systèmes énergétiques industriels (LESEI)

²Laboratoire de chimie et de chimie de l'environnement. Faculté de science,
Université de Batna, Algérie 00 213 33 81 21 43

zitounibariza@yahoo.fr hocine_b@hotmail.com k_oulmi@yahoo.com

Résumé:

C'est l'enthalpie de formation de l'eau qui est l'origine de la transformation de l'énergie chimique en énergie électrique dans les piles à combustible. Dans le cas des piles SOFC, le carburant et le comburant respectivement à l'anode et à cathodique diffusent à travers les deux électrodes vers les interfaces avec l'électrolyte où les réactions chimiques endothermiques et exothermiques auront lieu. Dans le cadre de ce travail, l'augmentation de la température dans la partie solide de SOFC en fonction des types de source de chaleur a été étudiée. Les résultats d'une étude numérique bidimensionnelle montrent l'augmentation de la température sous l'effet de la chaleur due aux pertes d'activation, celle due à l'effet Joule et la chaleur due à la réaction électrochimique. La localisation de la plus haute température sous l'effet de chaque type de source de chaleur et cela dans deux types de plans traversant la pile.

Mots clés: SOFC, température, source de chaleur, surtension d'activation, effet Joule

1. INTRODUCTION

La transformation d'énergie chimique en énergie électrique dans la pile SOFC est basée sur une réaction d'oxydoréduction, dans laquelle l'hydrogène et l'oxygène réagissent pour former de l'eau. Pour une utilisation efficace de ce système électrochimique, la modélisation mathématique tend à mieux comprendre les phénomènes à l'intérieur de la pile et prévoir le comportement sous l'effet des paramètres de fonctionnement, structurelles et géométrique. Plusieurs travaux antérieurs ont été abordés concernant la modélisation thermoélectrique de la pile SOFC. La simulation de la performance de SOFC été faite par développement de code; LeMasters [1] par son code informatique au différences finies, analyse des contraintes mécaniques pendant le démarrage et le fonctionnement de la pile. Ce code était comparé au code commercial FLUENT, par contre Srividya Valluru [2] dans son travail caractérisant les contraintes thermiques durant le fonctionnement des piles, utilise le code ANSYS par un modèle en deux et trois dimensions. Parmi les paramètres influencant sur les transferts thermiques, Jinliang Yuan et al. [3]; par son analyse numérique tridimensionnelle, montrent que parmi les divers paramètres, la configuration du canal et les propriétés de la couche anodique poreuse ont des effets significatifs tant sur le flux du gaz que sur le transfert thermique. David L. et al. [4] et K.J. Daun et al. [5], ont étudié le transfert radiatif dans les électrodes et l'électrolyte, aussi bien que le transfert radiatif.

L'augmentation de la température dans la partie solide de la pile SOFC est due aux différentes sources de chaleur dans la pile. Elle est due aux surtensions d'activation aux électrodes, aux surtensions Ohmiques dans les électrodes et l'électrolyte et à la réaction chimique exothermique. Dans le cadre de ce travail, l'augmentation de la température dans la partie solide

de SOFC en fonction des trois types de source de chaleur a été étudiée suivants deux plans de calcul bidimensionnel (P1) et (P2) (Figure 1).

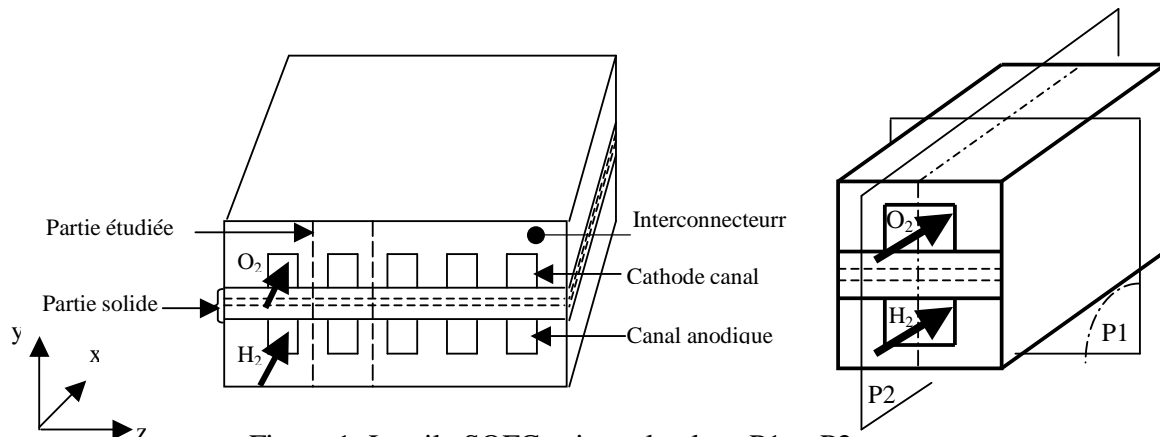


Figure 1: La pile SOFC suivant le plans P1 et P2

2. MODELISATION MATHEMATIQUE

L'étude numérique bidimensionnelle concerne la distribution de température dans la partie solide de la pile ; anode, électrolyte et dans la cathode sous l'effet de différents types de sources de chaleur; chaleur due aux pertes d'activation, celle due aux pertes Ohmiques et la chaleur due à la réaction électrochimique suivant deux plans de calcul (P1) et (P2) (Figure 2) et suivant un modèle électrothermique de calcul.

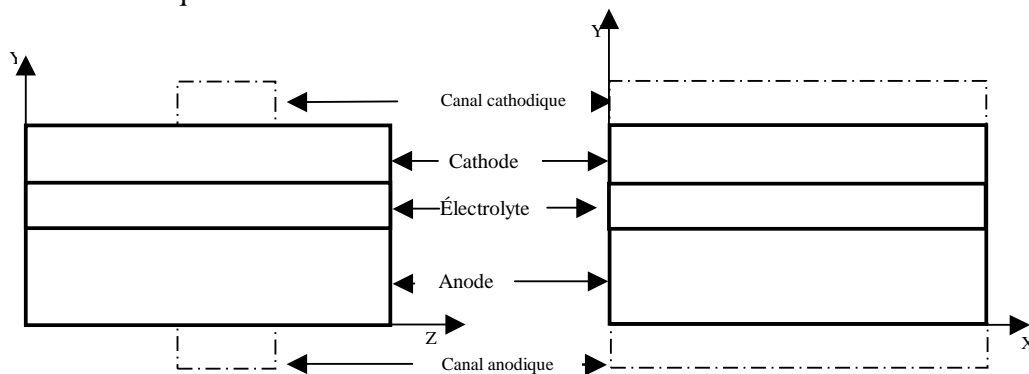


Figure 2: La pile SOFC suivant le plans P1 et P2

La modélisation thermoélectrique et bidimensionnelle dans chacun des deux plan P1 et P2 en négligeant le terme convective de l'équation d'énergie, est donné par:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \phi = 0 \quad (1)$$

Les trois sources sont les suivant: Source due à l'effet de joule, source due aux pertes, d'activation et la source due à la réaction électrochimique.

2.1. Le terme source

La source due à l'effet de joule est donnée par:

$$\phi = \frac{j^2}{\sigma} \quad (2)$$

Les conductivités électriques les trois parties respectivement anode, électrolyte, cathode sont calculées suivant [2]:

$$\sigma_{an} = \frac{95.10^6}{T} .e^{-1150/T} \quad (3)$$

$$\sigma_{ca} = \frac{42.10^6}{T} .e^{-1200/T} \quad (4)$$

$$\sigma_{elec} = \frac{3.34.10^4}{T} .e^{-10300/T} \quad (5)$$

Les pertes d'activation à l'anode et à la cathode sont exprimées suivant l'approche de Tafel:

$$\eta = \frac{(R.T)}{\alpha.n.F} \ln\left(\frac{i}{i_0}\right) \quad (6)$$

$$i_0 = \frac{R.T}{n.F} K.exp\left(\frac{-E}{R.T}\right) \quad (7)$$

La source due à la réaction électrochimique est exprimée par:

$$\phi = \frac{T.\Delta S.j}{2.F} \quad (8)$$

Where the entropy is expressed by:

$$\Delta S = \Delta S_0 + \int \frac{\Delta C_{p_r}}{T} .dT \quad (9)$$

$$\Delta C_{p_r} = C_{p_{H_2O}} - C_{p_{H_2}} - 0.5.C_{p_{O_2}} \quad (10)$$

2.2. La résolution numérique

La résolution numérique de l'équation d'énergie (1) est faite par la méthode des volumes finis. La partie solide de la pile (anode, électrolyte et la cathode) a été discrétisé suivant deux plans; plan (XY) et le plan (YZ). Un programme au langage Fortran était développé pour le calcul de la température en tous point de la pile (Tableau 1).L'équation d'énergie (1) exprimée dans un volume de contrôle par la méthode des volumes finis.

Tableau 1: Les parametres [11], [12] et [13]

F	96500 (C/mol)	E_{an}	$1,4 \cdot 10^5$ (J/mol)
R	8,318 (J/mol. K)	E_{ca}	$1,37 \cdot 10^5$ (J/mol)
K_{an}	$6,54 \cdot 10^{11}$ ($\Omega^{-1} m^{-2}$)	ΔS_0	- 44,4 (J/mol. K)
K_{ca}	$2,35 \cdot 10^{11}$ ($\Omega^{-1} m^{-2}$)	ΔH_r^0	$4,4 \cdot 10^{-7}$ ($m^3 s^{-1}$)
α	0,5	λ	2 (W/m k)

3. RESULTATS

Les résultats de ce modèle électrothermique montrent l'effet des trois types de source de chaleur; effet Joule, chaleur due à la réaction électrochimique et celle due aux pertes d'activation, sur l'élévation de la température dans la partie solide d'une cellule de la pile SOFC (cathode,

électrolyte et anode). Cette élévation de température est analysée dans deux plans; un plan perpendiculaire et un autre parallèle au sens de l'écoulement de gaz.

Pour tous les types et sous effet d'un type de source de chaleur, la pile présente plus d'élévation de température suivant le plan (P1) que dans le plan (P2) Figure 3. L'élévation maximale de température est causée par la source de chaleur due à l'effet Joule Figure 3(a, b). Les pertes d'activation présente aussi une élévation importante de température Figure 3 (c, d).

Les plus hautes températures sont localisées dans les endroits situés au contact de l'inter connecteur. Cette région se comporte comme une résistance thermique pour la propagation de la chaleur. Par contre, la partie solide de la pile située entre deux canaux; l'un coté anodique et l'autre du coté cathodique, présente moins d'élévation de température. C'est à cause de l'évacuation de la chaleur à travers les gaz qui s'écoulent dans les canaux anodiques et cathodiques. Figure 3, (a, c et e). Dans le plan (P2), l'effet des différentes sources de chaleur est le même que dans le plan (P1) Figure 3 (b, d et f). La chaleur due à la réaction électrochimique n'a pas d'effet sur l'élévation de température Figure 3 (f). Les hautes températures se localisent dans l'électrolyte à cause de sa faible conductivité ionique sous effet Joule. Sous l'effet de la source chimique, elle se localise à l'interface anode / électrolyte. Sous l'effet des pertes d'activation, un maximum de température est localisé dans les électrodes.

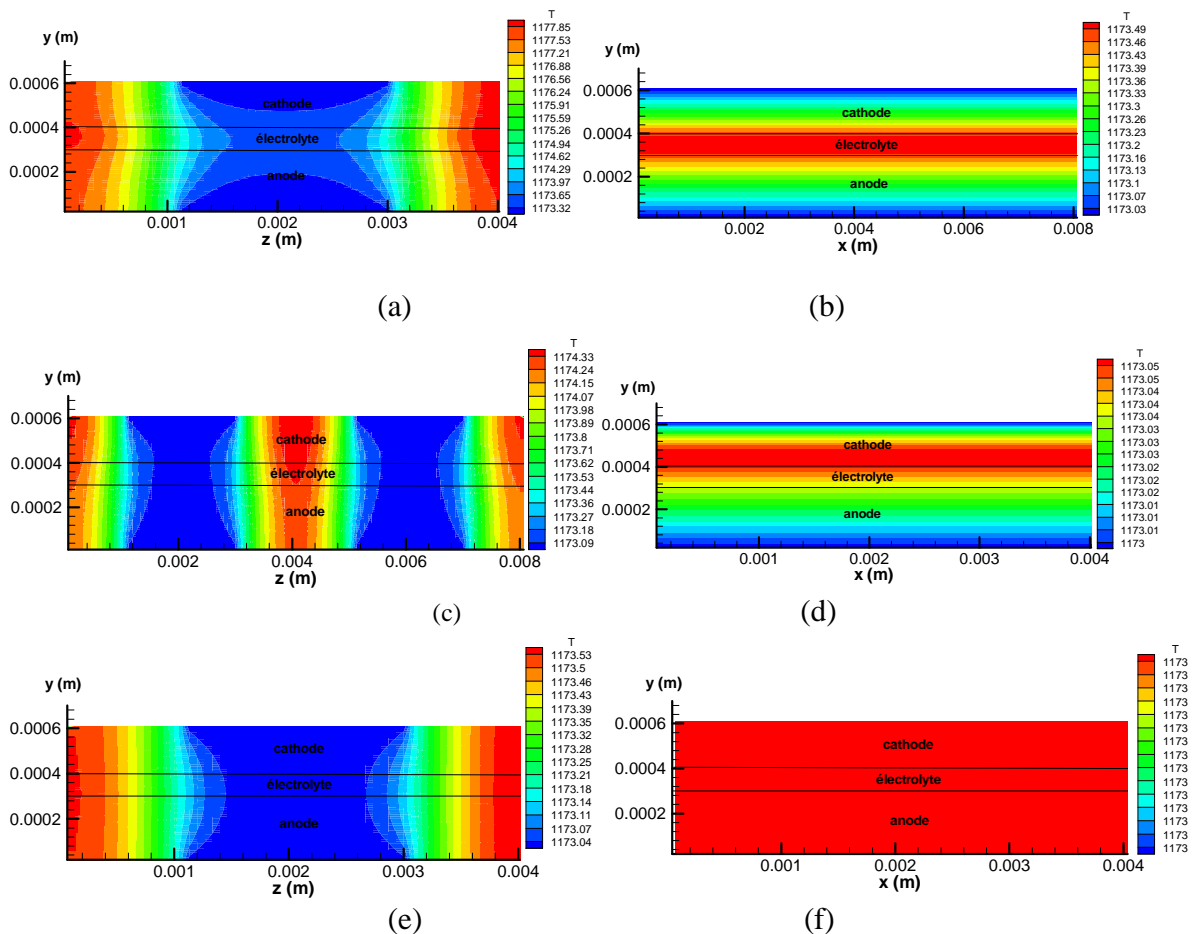


Figure 3: Effet des différentes sources de chaleur sur la distribution de la température: (a), (b) : Effet Joule, (c) et (d): Pertes d'activation, (e) et (f): réaction électrochimique

CONCLUSION

La température dans l'anode, électrolyte et la cathode de la pile SOFC s'élève sous l'effet des trois types de sources de chaleur; effet Joule, chaleur dégagée par la réaction électrochimique et la chaleur due aux pertes de tensions de type activation.

C'est dans le plan perpendiculaire au sens de l'écoulement de gaz qu'on a une élévation de température importante que dans le plan parallèle. Les plus hautes températures sont localisées dans les endroits situés au contact de l'inter connecteur. La valeur de cette température maximale est selon le type de source de chaleur. Elle est plus élevée dans le cas de l'effet Joule et plus faible par effet de la surtension de réaction. Les plus hautes températures se localisent dans l'interface anode/électrolyte sous effet de la chaleur dû à la réaction chimique, dans l'électrolyte sous effet Joule et dans les électrodes sous effet de la chaleur dû aux surtensions d'activation.

Nomenclature

Symbole	Nom, unité	Symbole	Nom, unité
Cp	capacité thermique molaire, $J.mol^{-1}.K^{-1}$	η	pertes de tension, <i>Volt</i>
j	La densité de courant, $A.m^{-2}$	F	constante de Faraday, $C.K^{-1}$
S	entropie, $J.mol^{-1} K^{-1}$	ϕ	Source de chaleur $W . m^{-3}$
		σ	conductivité électrique, $\Omega^{-1}m^{-1}$

Références

- [1] Jason LeMasters, Thermal stress analysis of Ica-based solid oxide fuel cells. Master of Science in Mechanical Engineering, 2004. Georgia Institute of Technology.
- [2] Eduardo Hernandez-Pacheco, Electro-thermal model for a solid oxide fuel cell. Doctor of Philosophy, 2004. Grand Forks, North Dakota.
- [3] Jinliang Yuan, Masoud Rokni, Bengt Sundén. Three-dimensional computational analysis of gas and heat transport phenomena in ducts relevant for anode-supported solid oxide fuel cells *International Journal of Heat and Mass Transfer* 46, 2003, 809–821.
- [4] David L. Damm, Andrei G. Fedorov. Radiation heat transfer in sofc materials and components, *Journal of Power Sources* 143, 2005, 158–165.
- [5] K.J. Daun, S.B. Beale, F. Liu, G.J. Smallwood Radiation heat transfer in planar SOFC electrolytes *Journal of Power Sources*, 2005.
- [6] P. Mandin, C. Bernay, S. Tran-Dac, A. Broto, D. Abes, and M. Cassir. SOFC Modelling and Numerical Simulation of Performance, *Journal Fuel cells* 06, 2006, No1, 71-78.
- [7] P. Aguiar, C.S. Adjiman, N. P. Brandon. Anode supported intermediate temperature direct internal reforming solid oxide fuel cell. I: model based study state performance. *Journal of power sources*, 138, 2004, 120-136.
- [8] Yixin Lu, Numerical Simulation of a flat tube high power density Solid Oxide Fuel Cell. PhD thesis, 2005